

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TESIS

Parámetros de la Geometría Vial y el Índice de Rugosidad Internacional en Vías de Bajo Volumen de Tránsito

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Elaborado por

Francisco Sopla Maslucan

 [0009-0006-2167-9130](https://orcid.org/0009-0006-2167-9130)

Asesor

M.Sc. Edwin Wilder Apolinario Morales

 [0000-0003-1559-2988](https://orcid.org/0000-0003-1559-2988)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Sopla Maslucan [1]
Referencia/Reference	[1] F. Sopla Maslucan, " <i>Parámetros de la Geometría Vial y el Índice de Rugosidad Internacional en Vías de Bajo Volumen de Tránsito</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Sopla, 2025)
Referencia/Reference	Sopla, F. (2025). <i>Parámetros de la Geometría Vial y el Índice de Rugosidad Internacional en Vías de Bajo Volumen de Tránsito</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi padre Abraham Sopla Chamolí (†), por ser mi guía y ejemplo de vida; a mi madre, Rosa Hilder Maslucán Guadalupe, por su inmenso apoyo y ejemplo de lucha; a mis hermanos Gilma, Mirtha, Sergio, Abraham y Doris por ser mi gran apoyo; a mis sobrinos Dalma, José, Jesenya, Sharon, Greysi, Jerson, Anghela, Valentina, Jorge, Ariadna, Diego, Nayra y Luna; a mi esposa Mercedes Rojas García; y a mis hijos Gadiel André Sopla Rojas y Piero Francisco Sopla Rojas por ser mi inspiración para seguir adelante.

Agradecimientos

En especial, a Dios, por darme salud y vida y permitirme cumplir mis objetivos.

Al instituto de Investigación de la FIC UNI, por permitirme participar como miembro del mismo en donde inicié el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Teófilo Vargas Saavedra (†), por su valioso apoyo, motivación y orientación.

A mi profesor y asesor el M.Sc. Ing. Edwin Apolinario Morales, por su incondicional apoyo, asesoramiento y guía para materializar el presente trabajo.

A la empresa UNNA TRANSPORTE S.A.C (antes CONCAR S.A.) donde inicié mi vida profesional.

Un especial agradecimiento a mi Alma Mater, la Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil, por acogerme en sus aulas y brindarme un conocimiento sólido y de calidad para toda la vida.

Resumen

El estudio de la relación entre los parámetros de la geometría vial y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en vías de bajo volumen de tránsito ha adquirido creciente relevancia a nivel nacional e internacional. En el país, se ha evidenciado que muchas de estas vías no cumplen con los estándares de calidad superficial asociados al IRI, especialmente en tramos desarrollados sobre terrenos montañosos y escarpados, donde resulta complejo alcanzar los niveles de rugosidad exigidos en intervenciones de mejoramiento o conservación.

Esta situación ha generado cuestionamientos sobre la calidad de los procesos constructivos y los factores que inciden en el incremento del IRI en zonas con geometría vial compleja. En respuesta, diversas investigaciones han analizado la influencia de parámetros geométricos, principalmente asociados al alineamiento horizontal y vertical.

En este contexto, la motivación del presente estudio es analizar estadísticamente la relación y el grado de correlación entre cinco parámetros geométricos como son la longitud del radio de curva horizontal (LRCH), longitud de curva horizontal (LCH), longitud de transición entre curvas opuestas (Ls), longitud de curva vertical (LCV) y longitud de transición entre curvas verticales (LTCV) y el IRI. Para ello, se recopilieron datos topográficos referenciados a lo largo del corredor vial, y el IRI fue evaluado mediante un perfilómetro láser clase I, con mediciones cada metro. Con esta información se construyó una base de datos detallada, que permitió aplicar análisis de correlación y regresión, obteniendo parámetros estadísticos que validan la existencia y magnitud de la relación entre las variables analizadas.

Palabras clave: IRI, geometría vial, correlación, alineamiento vertical, alineamiento horizontal.

Abstract

The study of the relationship between roadway geometric parameters and the International Roughness Index (IRI) on low-volume roads has gained increasing relevance at both national and international levels. In Peru, a significant number of these roads fail to meet surface quality standards established through the IRI, particularly in mountainous and steep terrain, where achieving the required roughness levels during improvement or maintenance interventions is especially challenging.

This situation has raised concerns regarding construction quality and the factors that contribute to increased IRI values in corridors with complex geometric characteristics. Consequently, several studies have focused on identifying geometric parameters associated with horizontal and vertical alignment that influence pavement roughness.

In this context, the main objective of this research is to statistically analyze the relationship and degree of correlation between five geometric parameters such as horizontal curve radius length (LRCH), horizontal curve length (LCH), transition length between reverse horizontal curves (Ls), vertical curve length (LCV), and transition length between vertical curves (LTCV) and the IRI. Topographic data referenced along the roadway corridor were collected after project completion, and the IRI was measured using a Class I laser profilometer with one-meter intervals. This information was used to develop a detailed database that enabled the application of correlation and regression analyses, yielding statistical parameters that confirm the existence and strength of the relationship between the analyzed variables.

Keywords: IRI, road geometry, correlation, vertical alignment, horizontal alignment.

Prólogo

Según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), la red vial del Perú alcanza una longitud total de 182 674 km, de los cuales 15 451 km se encuentran asfaltados y 7 420 km cuentan con solución básica. Tanto en vías pavimentadas como no pavimentadas, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) ha establecido de manera obligatoria el cumplimiento de un parámetro de serviciabilidad denominado Índice de Rugosidad Internacional (IRI), indicador directamente asociado a la calidad del perfil longitudinal de la vía, el cual depende, a su vez, de su alineamiento en planta y en perfil. La exigencia de este parámetro se determina en función de un valor promedio más un factor de confiabilidad relacionado con el estudio de tráfico (IMDA) multiplicado por la desviación estándar. Sin embargo, se ha verificado que los umbrales actuales establecidos, especialmente para vías de bajo volumen de tránsito, son difíciles de cumplir. Esto ocurre principalmente porque, tras el mejoramiento, las características geométricas de estas vías suelen conservar el trazo original, lo que limita la posibilidad de alcanzar los niveles exigidos. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar y determinar la existencia y el grado de correlación entre cinco parámetros geométricos específicos como la longitud del radio de curva horizontal (LRCH), la longitud de curva horizontal (LCH), la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto (L_s), la longitud de curva vertical (LCV) y la longitud de transición entre curvas verticales (LTCV con el IRI. Para fines comparativos, se diseñó un formato que permitió agrupar dichos parámetros en rangos y relacionarlos con el valor de IRI correspondiente a cada uno. A través de este análisis, se demostró que sí existe correlación entre los parámetros geométricos y el IRI, identificándose relaciones lineales y exponenciales que permiten obtener mejores valores de coeficiente de correlación de Pearson (r) y coeficiente de determinación (R^2).

Finalmente, el presente estudio, junto con la metodología empleada, constituye un aporte fundamental para la definición de criterios técnicos más precisos, sentando las

bases necesarias para establecer umbrales de exigencia más realistas y acordes a las condiciones específicas de este tipo de carreteras. En este sentido, el análisis no se limita únicamente al volumen de tránsito, sino que incorpora de manera integral la influencia de la geometría vial, las características del tipo de pavimento y las particularidades del proceso constructivo, permitiendo así una evaluación más completa, coherente y ajustada al comportamiento real de la infraestructura vial a lo largo de su vida útil.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Prólogo	vii
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del Problema de Investigación	2
1.3 Objetivos del Estudio	4
1.4 Justificación	4
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Limitaciones de la Investigación	7
1.6.1.Limitaciones Técnicas	7
1.6.2.Limitaciones Metodológicas	7
1.6.3.Limitaciones Contextuales	8
1.7 Antecedentes Investigativos	8
Capítulo II. Marco Teórico	11
2.1 Antecedentes Bibliográficos	12
2.2 Investigaciones sobre el IRI y la Geometría Vial	13
2.3 El Índice de Rugosidad Internacional	15
2.3.1 Antecedentes del IRI	15
2.3.2 Definición del IRI	16
2.3.3 Conceptos Básicos del IRI	19
2.3.4 Escalas y Características del IRI	20

2.3.5 Clasificación de Métodos de Medición	21
2.3.6 Equipos de Medición del Índice de Rugosidad Internacional.....	23
2.3.7 Umbrales Admisibles del Índice de Rugosidad Internacional	24
2.3.8 Tipo Pavimento de la Zona de Estudio.....	32
2.4 Análisis Estadístico.....	34
2.4.1 Histograma de Frecuencias.....	34
2.4.2 Distribución de Frecuencias	34
2.5 Fundamento Teórico de la Geometría Vial	35
2.5.1 Parámetros Geométricos que Modifican el Perfil la Huella.....	35
2.5.2 Geometría Horizontal.	36
2.5.3 Geometría Vertical.	41
2.6 Marco Normativo del IRI.....	43
2.6.1 Normativa Nacional	43
2.6.2 Normativa Internacional	45
Capítulo III. Descripción del Objeto de Estudio	47
3.1 Descripción Geométrica del Proyecto.....	47
3.1.1 Características de la Geometría Según el Alineamiento Horizontal y Vertical.....	47
3.1.2 Resumen de Parámetros Geométricos del Trazo Horizontal y Vertical.	68
3.2 Parámetros Geométricos Considerados en el Estudio.	74
3.2.1 Parámetros de las Curvas Horizontales.	74
3.2.2 Parámetros de las Curvas Verticales	75
Capítulo IV. Evaluación del IRI en el Proyecto	76

4.1 Descripción General del Proyecto	76
4.2 Metodología de Evaluación del IRI	78
4.2.1 Equipo de Medición.....	78
4.2.2 Proceso de Calibración del Equipo	80
4.2.3 Singularidades y Eventos.....	82
4.3 Procesamiento de Datos	84
4.4 Medición del IRI en Campo.	84
4.5 Resultados Obtenidos	85
4.6 Diseño de Tabla para Análisis de Parámetros Geométricos.....	86
Capítulo V. Correlación de Parámetros	89
5.1 Diseño de Modelo.....	89
5.1.1 Información Utilizada.....	89
5.1.2 Metodología	89
5.1.3 Procedimiento de Muestreo.....	92
5.1.4 Descripción de Variables.....	92
5.1.5 Proceso de Variables	93
5.2 Análisis Estadístico de Parámetros Geométricos	97
5.2.1 Clasificación del Coeficiente de Correlación	97
5.2.2 Análisis de datos de IRI y Parámetros Geométricos -Tramo I.....	97
5.2.3 Análisis de Datos de IRI y Parámetros Geométricos Tramo – II.....	118
5.2.4 Análisis de Datos de IRI y Parámetros Geométricos Tramo – III.....	131
5.3 Correlaciones entre el IRI y Parámetros Geométricos.....	147

5.3.1 Análisis Correlacional del Tramo I	147
5.3.2 Análisis Correlacional del Tramo II	148
5.3.3 Análisis Correlacional del Tramo III	148
5.4 Influencia de los Parámetros de la Geometría Vial en el IRI	149
5.4.1 Análisis estadístico de medición de IRI	149
5.4.2 Incremento del IRI por la geometría.	150
5.5 Calificación del Tramo según el MTC	152
Capítulo VI. Análisis y Discusión de Resultados	154
6.1 Presentación de Resultados	155
6.2 Análisis de Resultados	158
6.3 Discusión de Resultados	159
6.4 Comparación con Investigaciones Previas	160
6.5 Implicaciones.....	161
Conclusiones.....	162
Recomendaciones.....	165
Referencias Bibliográficas	167
Anexos	171

Lista de Tablas

Tabla 1: Estado vial según la rugosidad	21
Tabla 2: Requerimientos de resolución del nivel en función del rango de rugosidad.....	22
Tabla 3: Rugosidad inicial - según tipo de carretera con asfalto en caliente	26
Tabla 4: Caminos no pavimentados	28
Tabla 5: Caminos pavimentados	28
Tabla 6: Valores máximos según el porcentaje de hectómetros.....	31
Tabla 7: Composición de la estructura del pavimento	32
Tabla 8: Parámetros de diseño del micropavimento definitivo.....	33
Tabla 9: Parámetros de diseño del suelo estabilizado.....	33
Tabla 10: Estado vial según la rugosidad	34
Tabla 11: Deflexiones máximas permitidas según la velocidad de diseño	37
Tabla 12: Longitud de tramos en tangente	38
Tabla 13: Longitud mínima en tangente según la velocidad directriz.....	40
Tabla 14: Estado vial de SUT según la rugosidad	49
Tabla 15: Sectores únicamente tangentes SUT de un subtramo del Tramo I.....	50
Tabla 16: Descrip. geométrica de la vía del Tramo I con sectores tangentes SUT.....	50
Tabla 17: Caract. geométricas para un sector con curvas horizontales y el IRI.....	54
Tabla 18: Sectores con curvas horizontales SUCH de un subtramo del Tramo I	54
Tabla 19: Descrip. geométrica de sector de Tramo I con curvas horizontales SUCH.....	55
Tabla 20: Caract. geométricas de sector tangente con curvas verticales ST-SCV e IRI..	59
Tabla 21: Sectores tangentes con curvas verticales ST-SCV de un subtramo (Tramo I)	59
Tabla 22: Sector del Tramo I con sectores tangentes con curvas verticales ST-SCV	60
Tabla 23: Sector con curvas horizontales y verticales SCH-SCV y el IRI	64
Tabla 24: Sector con curva horizontal y vertical SCH-SCV de subtramo (Tramo I).....	65
Tabla 25: Sector de la vía del Tramo I con curvas horizontales SCH-SCV	65
Tabla 26: Resumen de curvas horizontales de los tramos de estudio	68

Tabla 27: Resumen de curvas verticales de los tramos de estudio	72
Tabla 28: Parámetros geométricos del trazo horizontal de la vía para la investigación. ..	74
Tabla 29: Resumen de curvas horizontales de los tramos de estudio	75
Tabla 30: Parámetros geométricos del trazo vertical de la vía para la investigación.	75
Tabla 31: Clasificación por demanda	76
Tabla 32: Clasificación por orografía	77
Tabla 33: Tramos del Proyecto.....	78
Tabla 34: Clases de puntos críticos.....	83
Tabla 35: Resultados de IRI obtenidos por tramo.....	85
Tabla 36: Parámetros geométricos y el IRI en intervalos de 1 m en el tramo I	86
Tabla 37: Formato para el procesamiento de información	94
Tabla 38: Interpretación de la valoración según el coeficiente de correlación.	97
Tabla 39: Frecuencias para longitud de radio de curvas horizontales LRCH (Tramo I) ...	97
Tabla 40: Frecuencias para la longitud de curvas horizontales LCH (Tramo I).....	102
Tabla 41: Frecuencias entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls (Tramo I)	107
Tabla 42: Frecuencias para longitud de curvas verticales LCV (Tramo I).....	111
Tabla 43: Frecuencias de longitud de transición en curvas verticales LTCV (Tramo I)..	114
Tabla 44: Frecuencias de longitud de radio de curvas horizontales LRCH (Tramo II) ...	118
Tabla 45: Frecuencias para longitud de curvas horizontales LCH (Tramo III)	122
Tabla 46: Frecuencias entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls (Tramo II)	124
Tabla 47: Frecuencias para longitud de curva vertical LCV (Tramo II)	127
Tabla 48: Frecuencia de longitud de curva horizontal sentido opuesto Ls (Tramo II)	129
Tabla 49: Frecuencia para longitud de radio de curva horizontal LRCH (Tramo III)	131
Tabla 50: Frecuencias para longitud de curva horizontal LCH (Tramo III)	136
Tabla 51: Frecuencia de tangente de curva horizontal sentido opuesto Ls (Tramo III)..	139
Tabla 52: Frecuencias para longitud de curva vertical LCV -Tramo III	142
Tabla 53: Frecuencia de longitud de transición curva vertical LTCV LCH (Tramo III)....	144
Tabla 54: Resumen del análisis correlacional del Tramo I.....	147

Tabla 55: Resumen del análisis correlacional del Tramo II.....	148
Tabla 56: Resumen del análisis correlacional del Tramo III.....	148
Tabla 57: Frecuencias para el IRI en los Tramos I, II y III.....	149
Tabla 58: Clasificación porcentual por Tramos I, II y III	153
Tabla 59: Parámetros empleados en pruebas de hipótesis para normalidad y relación	154
Tabla 60: Tipo de correlación resultante de LRCH y el IRI para los tres tramos.....	155
Tabla 61: Tipo de correlación resultante de LCH y el IRI para los tres tramos.	155
Tabla 62: Tipo de correlación resultante de Ls y el IRI para los tres tramos.....	156
Tabla 63: Tipo de correlación resultante de LCV y el IRI para los tres tramos.	156
Tabla 64: Tipo de correlación resultante de LTCV y el IRI para los tres tramos.	156
Tabla 65: Variación del IRI según el parámetro geométrico y por tramos.	157

Lista de Figuras

Figura 1: Dependencia del IRI desde un enfoque geométrico	11
Figura 2: Modelo del cuarto de coche	17
Figura 3: Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos	20
Figura 4: Montaje del perfilómetro en la parte delantera y trasera del vehículo	24
Figura 5: Posibles parámetros geométricos que tienen relación con el IRI	36
Figura 6: Trazo de curvas opuestas con tramo tangente intermedio	39
Figura 7: Trazo de curvas en el mismo sentido con tramo tangente intermedio	40
Figura 8: Clasificación de las curvas según su forma y según las ramas	42
Figura 9: Clasificación geométrica de la vía	48
Figura 10: Proyección de eje de SUT en el plano horizontal y vertical	48
Figura 11: Proyección del eje SUCH en el plano horizontal y el plano vertical	53
Figura 12: Proyección del eje de ST-SCV en el plano horizontal y vertical	58
Figura 13: Proyección del eje del SCH-SCV en el plano horizontal y vertical.....	63
Figura 14: Distribución de frecuencias según las longitudes de Radio (Tramo I)	68
Figura 15: Distribución de frecuencias según las longitudes de Radio (Tramo II)	69
Figura 16: Distribución de frecuencias según las longitudes de Radio (Tramo III)	69
Figura 17: Cantidad de curvas horizontales por kilómetro (Tramo I)	70
Figura 18: Cantidad de curvas horizontales por kilómetro (Tramo II)	71
Figura 19: Cantidad de curvas horizontales por kilómetro (Tramo III)	71
Figura 20: Cantidad de curvas verticales por kilómetro (Tramo I)	72
Figura 21: Cantidad de curvas verticales por kilómetro (Tramo II)	73
Figura 22: Cantidad de curvas verticales por kilómetro (Tramo III)	73
Figura 23: Componentes Principales.....	79
Figura 24: Perfilómetro Láser Mark IV	81
Figura 25: Certificado de calibración	81
Figura 26: Obtención del perfil longitudinal de cada huella de la carretera (Tramo III)	84

Figura 27: Perfil obtenido por el equipo cada 2.5 cm y el perfil cada 25 cm	85
Figura 28: Flujograma de los pasos seguidos por cada tramo de estudio.	90
Figura 29: Sectores de la ruta estudiada	92
Figura 30: Gráfica de correlación entre el LRCH y el IRI del Tramo I	102
Figura 31: Correlación entre el LCH y el IRI del Tramo I	106
Figura 32: Correlación entre el LS y el IRI promedio Tramo I	110
Figura 33: Correlación entre el LCV y el IRI promedio Tramo I	114
Figura 34: Correlación entre el LTCV y el IRI promedio Tramo I	118
Figura 35: Correlación entre el LRCH y el IRI promedio Tramo III.....	121
Figura 36: Correlación entre el LCH y el IRI promedio Tramo II	124
Figura 37: Correlación entre el Ls y el IRI promedio Tramo II	126
Figura 38: Correlación entre el LCV y el IRI promedio (Tramo II).....	128
Figura 39: Correlación entre el LTCV y el IRI promedio Tramo II	131
Figura 40: Correlación entre el LRCH y el IRI Tramo III	136
Figura 41: Correlación entre el LCH y el IRI promedio Tramo III	138
Figura 42: Correlación entre el Ls y el IRI promedio Tramo III	141
Figura 43: Correlación entre el LCV y el IRI promedio Tramo III	144
Figura 44: Correlación entre el LTCV y el IRI promedio Tramo III	147
Figura 45: Histograma de frecuencias IRI para los Tramos I, II y III	150
Figura 46: Determinación de rangos del IRI según componentes principales.	151
Figura 47: Histograma de frecuencias acumuladas del IRI para los Tramos I, II y III	152
Figura 48: Ecuaciones de correlación para los Tramos I, II y III	158

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades

El control de la calidad de la superficie de un pavimento a nivel mundial, mediante el Índice de Rugosidad Internacional IRI, en las últimas décadas del siglo pasado, ha adquirido una notable relevancia debido a la necesidad de garantizar la calidad de los caminos y la relación directa que existe con los costos que realizan los usuarios al transitar por ellos.

Perú, como país en desarrollo, no está exenta de la aplicación de este parámetro, por lo contrario, ha establecido dentro sus manuales técnicos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones la aplicación del parámetro como principal exigencia para la recepción de una obra o la evaluación del nivel de servicio de una carretera. Ahora sí, muchas empresas ligadas al rubro vial se han visto en la necesidad de garantizar el cumplimiento de dicho parámetro como parte de sus obligaciones contractuales, adicionalmente existe la necesidad de entender el proceso y los factores que influyen en dicho parámetro en las diferentes etapas de un proyecto, por otra parte debemos resaltar que las investigaciones que hacen referencia al estudio del IRI tanto a nivel de universidades públicas y privadas respecto a la bondad del parámetro según, el modelo establecido por el Banco Mundial en la década de los 70 las características geométricas de nuestras vías, es un tanto general el cual no permite explicar los diferentes factores que influyen en el parámetro estudiado.

En ese sentido en el País, existen instituciones públicas y privadas ligadas a la gestión de pavimentos, que se encuentran con la necesidad de analizar y explicar las diversas relaciones que existen entre las características geométricas de cualquier proyecto vial con el IRI, esta información es necesaria para explicar las diversas relaciones que afectan o incrementan el IRI desde el ámbito geométrico. Por ende, en esta investigación el objeto de estudio recae en analizar y explicar la relación entre el Índice de Rugosidad

Internacional (IRI) y la geometría vial aplicada en la carretera de la ruta PE-3SF, entre Cusco y Apurímac.

Dada la problemática explicada en los párrafos anteriores, la pregunta central de investigación es, ¿cómo se relaciona los parámetros de la geometría de una vía con el IRI? La explicación tentativa se da en la hipótesis de la presente investigación “La geometría vial en la carretera ubicada en la ruta PE-3SF afecta el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)” y para lograr el alcance se planteó como objetivo general analizar la relación entre el IRI y la geometría vial en la carretera de la ruta PE-3SF, ubicada entre Cuso y Apurímac.

1.2 Descripción del Problema de Investigación

El Banco Mundial en la década de los 70 patrocinó varios programas de investigación y experimentos para caracterizar las vías en países en vías de desarrollo, varios de los cuales, concluyeron que un factor importante era la calidad de los caminos por los altos costos que significaba para los usuarios al transitar por ellos, producto de ello, en 1982 en Brasil, se realizó el “Experimento Internacional de Rugosidad para Carreteras” (IRRE por sus siglas en inglés), el cual propuso encontrar las mejores prácticas adecuadas para calificar la regularidad del perfil de una vía según los distintos equipos disponibles, así como también realizar comparaciones de datos de rugosidad obtenidos por diferentes procedimientos e instrumentos en el perfil de una huella, debido a que estos no arrojaban datos equivalentes de interpretación universal, tuvo la participación de países como Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica, después de haber realizado diversas evaluaciones en 49 sitios de prueba utilizando diversos equipos de prueba y características diferentes establecieron un modelo único de “Cuarto de Carro”, modelo dinámico teórico de ensayo y válido universalmente para obtener el “Índice de Rugosidad Internacional IRI”

Por otro lado, debido a la necesidad de cuantificar la regularidad, en la década de los 80 el Transportation Road Research Laboratory (TRRL, Inglaterra) diseñó el equipo MERLIN (Machine for Evaluating Roughness Using Low-Cost Instrumentation), cuyo principio y calibración fue en base a los datos obtenidos en el International Road Roughness Experiment (IRRE, Brasil 1982). El mismo que fue propuesto para países en vías de desarrollo por su fácil disposición y bajo costo de fabricación y operación.

Esta metodología y el IRI, fue adoptada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones como parámetro de exigencia en casi todos los proyectos viales, incluyendo los pavimentos urbanos, se desconoce las consideraciones que tuvieron el área normativa del MTC para establecer las exigencias en cada proyecto en particular, considerando las diferentes características propias de cada tipo de proyecto en estudio como la geometría, diseño, proceso constructivo, tipo de solución, tráfico, así como a la combinación de estos factores, en algunos casos esta situación ha llevado a incumplimientos del parámetro exigido y por consiguiente la necesidad de poder identificar y demostrar cuales son los parámetros que afectan directamente al valor del IRI considerando que el proceso constructivo en cualquier parte del proyecto en términos generales ha seguido un mismo procedimiento.

Como se describe en el párrafo anterior, si tomamos como referencia el umbral exigido de IRI Característico evaluado por kilómetro, a lo largo del corredor existen kilómetros que cumplen o presentan valores bajos, observamos que en términos generales estos se ubican en sectores cuya geometría o trazo geométrico cuentan con menos elementos de curva tanto vertical como horizontal por otro lado kilómetros que incumplen o con valores altos ubicados en sectores de la vía con mayor presencia de curvas verticales y horizontales.

1.3 Objetivos del Estudio

Objetivo General

- Analizar y explicar la relación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y la geometría vial, aplicada en la carretera de la ruta PE-3SF, entre Cusco y Apurímac.

Objetivos Específicos

- Identificación de las principales variables que influyen en la obtención del IRI.
- Análisis y cuantificación de la relación que existe entre el IRI y los parámetros geométricos (Radios de curvas horizontales, longitud de curva horizontal, longitud de curva vertical, longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto y longitud de transición entre curvas verticales).
- Influencia de la geometría vial y la calidad del pavimento básico.

1.4 Justificación

(1) El IRI es un parámetro de control de calidad utilizado por más de 40 años para evaluar la servicialidad de nuestras vías de bajo volumen de tránsito; sin embargo, los umbrales establecidos no toman en cuenta las características geométricas de una vía, el cual está ligado al tipo de orografía sobre las cuales se desarrolla.

(2) Las vías en el país según el IMDA se clasifican en vías de Clase I, II, III y IV, por características geométricas estas deben cumplir ciertas solicitudes de ancho, número de carriles, pendientes, que están asociadas e influenciadas por los diferentes tipos de orografía sobre las cuales se desarrollan, sin embargo, los umbrales exigidos de

IRI característico consideran únicamente IMDA y no toman en cuenta las consideraciones que dependen del trazo geométrico.

(3) El manual de diseño geométrico claramente indica que la dificultad del trazo depende de las diferentes magnitudes de movimiento de tierra según tipo de orografía, al no existir este tipo de actividades por la asignación de presupuestos reducidos a los pavimentos básicos, poco o nada se mejora la calidad del perfil que es el resultado directo del trazo.

(4) El alineamiento geométrico en este caso particular de estudio, según los Términos de Referencia, tanto el trazo en planta como en perfil es el resultado de la calzada existente sobre el cual se ejecutó el proyecto.

(5) Es importante sustentar y describir de manera objetiva los parámetros y/o elementos del trazo que influyen directamente en el incremento del IRI y que no provienen de fallas constructivas de forma que se conozcan objetivamente las causas que lo producen.

(6) Asimismo es necesario identificar, conocer todo tipo de eventos y singularidades que ocurren durante la evaluación, así como establecer criterios para la exclusión de sectores por la presencia de estos.

En tal sentido es necesario conocer la relación existente entre algunos parámetros geométricos y la influencia en los valores obtenidos del IRI, esto permitirá justificar, sustentar de manera objetiva los resultados cuantitativos del IRI.

Por tanto, entender las causas que afectan al parámetro del IRI que no deriven de fallas constructivas, será un punto importante de partida para evitar, rechazos en términos de calidad, problemas legales y económicos en un proyecto vial, además los criterios de la presente investigación podrán tomarse en cuenta al momento de establecer los límites

tolerables y exigibles para una situación similar considerando los aspectos particulares de cada proyecto.

Además según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) la red vial del Perú a diciembre del 2024 cuenta con una longitud total de 182 674 km del cual 141 7846 km corresponden a carreteras no pavimentadas, 34 006 km pavimentadas y 6 821 km proyectadas, asimismo según el GIS-WEB-OPP del MTC la Red Vial Nacional (RVN) cuenta con 29 451 km de los cuales 15 451km se encuentran asfaltadas, 7 420 km con solución básica, 4 654km no pavimentada y 1 926 km proyectada, como se observa la gran cantidad de carreteras en gestión así como las soluciones básicas (micropavimento) materia de nuestro estudio sustentan la necesidad de analizar las diferentes relaciones que existen entre los parámetros geométricos y el IRI para entender de manera objetiva los factores que afectan la calidad del perfil de las carreteras, considerando la gran longitud y los grandes recursos que se destinan en la gestión de las mismas.

1.5 Hipótesis

Hipótesis General

- Existe un grado de correlación de moderada a muy alta entre los parámetros geométricos y el índice de rugosidad internacional.

Hipótesis específica

- Existe un grado de correlación importante entre la longitud de radio de curva horizontal (LRCH), longitud de curva horizontal (LCH), longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto (Ls), longitud d curva vertical (LCV) y longitud de transición entre curvas verticales (LTCV) con el Índice de Rugosidad Internacional.

1.6 Limitaciones de la Investigación

La presente investigación se circunscribe al análisis de los parámetros geométricos y del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la carretera de la ruta PE-3SF, comprendida entre las regiones de Cusco y Apurímac, en un tramo caracterizado por su bajo volumen de tránsito, por una geometría complicada. En tal sentido, se reconocen una serie de limitaciones que condicionan el alcance de los resultados y que es necesario considerar para la adecuada interpretación de las conclusiones obtenidas.

1.6.1. Limitaciones Técnicas

Desde el punto de vista técnico, la ausencia de resultados obtenidos con equipos de clase 1 (como perfilómetro láser) después de culminado el mejoramiento, el mismo que se ejecutó entre abril del año 2017 al noviembre del 2018, debido a que los primeros meses la vía fue evaluado con un Rugosímetro III el cual en determinados tramos, las condiciones topográficas y climáticas; como pendientes pronunciadas, presencia de neblina o lluvias frecuentes, pueden alterar la calidad de las mediciones o impedir su ejecución continua, en ese sentido existe un intervalo de tiempo como mínimo de 1.5 años entre el fin del mejoramiento y la evaluación del IRI con equipo de clase1 realizado en agosto del 2020.

1.6.2. Limitaciones Metodológicas

La investigación se limita al análisis descriptivo y comparativo de la geometría vial y del IRI durante la operación de la vía (después de 2 años de culminado el mejoramiento), sin abordar de manera exhaustiva otros factores que también habrían incidido en el comportamiento superficial del pavimento, como los daños iniciales de la estructura del pavimento, las características del suelo de fundación, el tipo de mezcla asfáltica o las cargas dinámicas del tránsito. Asimismo, el estudio considera mediciones realizadas en un periodo determinado, por lo que los resultados reflejan una condición puntual de la vía.

De igual forma, no se incluye en el alcance del estudio la evaluación económica del mantenimiento, la modelación del deterioro del micropavimento, ni la correlación entre el IRI teórico a partir del trazo en planta y perfil y el IRI obtenido inmediatamente después de la ejecución. Estos aspectos podrían constituir líneas de investigación complementarias en futuros trabajos.

1.6.3. Limitaciones Contextuales

El estudio se desarrolla en un entorno donde las condiciones superficiales de la vía pueden variar por efectos de obras, intervenciones rutinarias, emergencias viales, lo que podría modificar parcialmente los valores de rugosidad después del mejoramiento durante la operación. Por lo tanto, las conclusiones del trabajo deben entenderse dentro del marco temporal y técnico establecido, sin pretender generalizar los resultados al tipo de solución básica (micropavimento) a la totalidad de las vías de bajo volumen de tránsito de la región.

1.7 Antecedentes Investigativos

La calidad del perfil de las huellas en un carril después de cualquier tipo de intervención a nivel de calzada está cuantificado por el IRI, este a su vez depende de los diferentes factores que le afectan durante las etapas del proyecto como el diseño y/o trazo, construcción y operación. Bajo este escenario podemos establecer una ecuación general para el IRI en un tiempo “t” del proyecto equivalente a la suma del IRI Inicial teórico o de diseño, más un incremento por proceso constructivo, más un incremento por los efectos del deterioro durante el tiempo de operación, más una reducción del IRI por un mantenimiento periódico u otro tipo de intervención.

Según Montoya (2013), en su trabajo de investigación “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú”, concluye que el parámetro que influye más en el valor del IRI es la curva horizontal debido que en esta hay 4 cambios de pendiente claramente identificables a comparación de la curva vertical en la que hay 3 cambios de pendiente; asimismo concluye que el conocimiento de la relación entre los

valores de IRI de diseño y la geometría de la vía, nos ayudará a mejorar la lógica en el establecimiento de las exigencias técnicas en los términos de referencia de futuras concesiones.

Según Marcobal et al. (2017), en la investigación realizada “Evaluación de la Rugosidad (IRI) en Caminos Pavimentados de Geometría Restringida: Cálculo del IRI Geométrico – Caso de Aplicación”, el estudio concluye que el IRI geométrico en las vías de penetración de Colombia caracterizado con una fuerte topografía, con una geometría de curvas sucesivas de radios reducidos, pendientes pronunciadas y cortas para el desarrollo del peralte, los resultados teóricos obtenidos varían de acuerdo a los elementos de curvas existentes independiente de la condición del pavimento y el proceso constructivo, en el caso de aplicación muestra el cálculo de un tramo de 20km en el departamento de Cajamarca en el cual se ha obtenido un IRI geométrico promedio de 2.9m/km, esto demuestra que la calidad del perfil de una vía al final de la construcción está influenciado por el IRI geométrico obtenido a partir del diseño o trazo inicial más un incremento asociado al proceso constructivo.

Según Sepúlveda et al. (2017), en el artículo “Geometría del Camino y su Influencia en el IRI”, demuestra que para tener un IRI teórico razonable es imperiosamente necesario modificar el trazo geométrico tanto en planta como en perfil, para lograr este objetivo se debería modificar el diseño de las curvas verticales horizontales y verticales.

Según Chang et al. (2017), en el artículo “Niveles de Servicio Basados en el Índice de Rugosidad Internacional (IRI)”, concluye que el IRI usualmente tiende a incrementarse en secciones con curvas horizontales consecutivas debido al cambio de peralte, mientras que en los tramos con peralte uniforme el IRI es menor, esta situación ocurre por los 4 cambios de pendiente claramente definidos, al inicio de la transición del bombeo al peralte, el punto donde se alcanza el máximo peralte, el punto donde comienza la transición del

peralte máximo de la curva al bombeo y el punto donde nuevamente se alcanza el bombeo natural de la pista.

Según Ramos (2021), en su trabajo de investigación “Análisis de variación del IRI aplicado en construcción de una carretera de bajo volumen de tránsito respecto al IRI topográfico” realizó el análisis estadístico de la variación del IRI topográfico respecto a una medición de campo, después de analizar 4 sectores encontró una variación probable para ambas huellas de circulación de +1.59m/km para el sector 1, +2.19m/km para el sector 2, +0.91m/km en el sector 3 y +1.84m/km en el Sector 4.

El desarrollo de la presente investigación permitirá analizar la relación que existe entre ciertos parámetros del trazo geométrico y el valor del IRI en una carretera de bajo volumen de tránsito a nivel de un pavimento básico (micropavimento).

Capítulo II. Marco Teórico

En el presente capítulo se aborda los antecedentes, teorías, conceptos y argumentos relacionados con el objetivo de la investigación, el cual permitirá definir, analizar y justificar el desarrollo de la investigación.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como resultado depende de la calidad de un perfil, el cual es el resultado de los parámetros de diseño, asimismo estos dependen del alineamiento tanto en planta como en perfil, estos últimos son el resultado de la orografía sobre el cual se desarrolla la vía.

El problema cobra importancia debido a la complejidad del alineamiento geométrico tanto en planta y perfil de las vías de bajo volumen de tránsito, así como a la variabilidad de los resultados obtenidos del IRI después del mejoramiento de una vía ejecutada con el mismo proceso constructivo a lo largo de todo el proyecto.

En la Figura 1 se muestra un esquema de dependencia desde un aspecto geométrico del perfil longitudinal el cual representa el IRI, el IRI es el resultado de un modelo matemático que depende del perfil longitudinal de la huella, el cual depende de los parámetros de diseño el cual depende del alineamiento en planta y perfil y este último depende de la orografía donde se desarrolla la vía.

Figura 1

Dependencia del IRI desde un enfoque geométrico



2.1 Antecedentes Bibliográficos

En la actualidad la "Rugosidad" es el principal parámetro que a partir de un perfil cuantifica la irregularidad de la superficie de un pavimento, se expresa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y forma parte de los controles de calidad de cualquier proyecto vial.

Según Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, and Cesar A. V. Queiroz (1986); definen el IRI como una propiedad del perfil longitudinal de la vía y es un parámetro estandarizado que representa las características de la regularidad superficial en los pavimentos a partir del perfil longitudinal obtenido por las mediciones de las cotas en las huellas de la vía.

El concepto de IRI está vinculado a la condición del perfil longitudinal, debiéndose de reconocer conceptos como la configuración geométrica que adoptan los diferentes elementos geométricos que componen el alineamiento longitudinal (perfil) y vertical como son; Curvas verticales cóncavas y convexas, curvas horizontales, curvas compuestas, curvas de inflexión o curva en "S", cada uno con sus respectivos parámetros de pendiente, curvatura, radio, coeficiente de fricción, bombeo, peralte, etc.

Según, Steven M. Karamihas Thomas D. Gillespie Starr D. Kohn Rohan W. Perer (1998); indica que cualquier perfil longitudinal medible en la superficie de la vía tendrá asociado un valor único de IRI, por lo tanto, el perfil longitudinal teórico tendrá también un valor de IRI ligado exclusivamente al diseño geométrico de la vía.

Asimismo, cuando hablamos de perfil longitudinal debemos considerar que según Michael & Steven (1998) "El IRI está influenciado por longitudes de onda que van desde 1.2 hasta 30 metros." (pág. 52), esto confirma que cuanto menor es la longitud de onda mayor es el valor del IRI.

2.2 Investigaciones sobre el IRI y la Geometría Vial

El análisis de la influencia de los parámetros geométricos de la vía sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) ha sido abordado por diversos investigadores a lo largo de la última década. Estos estudios han permitido evidenciar que las condiciones del trazo en planta y en perfil influyen significativamente en los valores del IRI medidos en campo, especialmente en vías de topografía accidentada o de geometría restringida.

En primer lugar, Montoya (2013), en su tesis de maestría titulada *“Análisis del IRI para un Proyecto de Carretera Sinuosa Concesionada en el Perú”*, determinó que los valores de rugosidad obtenidos en zonas de trazo sinuoso difieren notablemente de los registrados en tramos planos o rectos. El autor señala que comprender la relación entre los valores de IRI de diseño y la geometría de la vía puede contribuir a mejorar los criterios técnicos empleados en los términos de referencia de futuras concesiones viales y expedientes técnicos. Asimismo, explica que los cambios de pendiente longitudinal influyen en el plano horizontal de la vía, aunque con menor impacto que las curvas horizontales, debido a que estas últimas presentan tres cambios de pendiente definidos: la transición del bombeo al peralte, el desarrollo del peralte máximo y el retorno al bombeo natural de la pista.

Posteriormente, en el Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto realizado en Medellín (Colombia, 2017), se presentaron múltiples investigaciones orientadas al estudio de la geometría vial y su relación con el IRI.

Entre ellas, Chang et al. (2017), en su estudio *“Niveles de Servicio Basados en el Índice de Rugosidad Internacional (IRI)”*, destacan que el trazado vial es uno de los factores menos explorados a pesar de su notable influencia en las mediciones de rugosidad. Los autores enfatizan que las características geométricas de la carretera, en especial el número de curvas consecutivas con radios reducidos y las cortas distancias de transición para el desarrollo de peraltes, condicionan el IRI inicial. En carreteras de montaña, donde

predominan curvas horizontales sucesivas, estas configuraciones incrementan significativamente el valor del IRI. Entre sus conclusiones más relevantes destacan que:

- El IRI depende directamente del perfil longitudinal y de las características geométricas del trazado en alzado y planta.
- Las curvas con longitudes menores a los estándares (100 o 200 m) tienden a elevar los valores de IRI.
- El IRI se incrementa en tramos con curvas horizontales debido a los cambios de peralte, mientras que en secciones con peralte uniforme tiende a ser menor.

En esa misma línea, Marcobal et al. (2017), en la investigación *“Evaluación de la Rugosidad (IRI) en Caminos Pavimentados de Geometría Restringida: Cálculo del IRI Geométrico – Caso de Aplicación”*, analizaron un tramo vial colombiano ubicado en zona de cordillera, caracterizada por fuertes pendientes y curvas de radios reducidos. Los autores evidenciaron que, en estos sectores, los valores de IRI son elevados incluso cuando el pavimento se encuentra en buen estado estructural, atribuyendo este comportamiento únicamente al diseño geométrico. Concluyen que el modelo de “cuarto de carro”, empleado para el cálculo del IRI, se ve afectado por las bruscas variaciones del perfil longitudinal y por los cambios de peralte, lo que genera vibraciones que incrementan artificialmente los valores del indicador. Asimismo, señalan que en Colombia aún no se ha establecido una diferenciación que permita excluir de los análisis aquellos tramos singulares donde la geometría, por sí misma, genera valores intrínsecamente altos de IRI.

De igual forma, Puentes et al. (2017), en el estudio *“Geometría del Camino y su Influencia en el IRI”*, demostraron que en carreteras de montaña no es posible cumplir los valores de IRI exigidos durante la puesta en servicio, a menos que se realicen ajustes en el trazado geométrico. Según los autores, el paso directo de una curva a una contracurva sin tramo de transición recta constituye la situación más desfavorable, ya que el peralte cambia bruscamente en pocos metros, generando un incremento significativo del IRI

teórico. Se concluye que la rasante del proyecto influye en el IRI a través del bombeo, el peralte, la pendiente longitudinal y las longitudes de transición, por lo que resulta necesario modificar tanto el trazado en planta como en perfil para alcanzar valores de rugosidad aceptables. Cabe mencionar que el estudio se desarrolló sobre un perfil teórico, que no necesariamente coincide con el perfil real obtenido tras la ejecución de la obra.

Finalmente, Chiquilán & Silvera (2023), en su informe *“Evaluar la influencia de la geometría de la vía en el indicador IRI para planificar la conservación del mejoramiento de la carretera Oyón–Ambo, Tramo II (Km 181+000 – Km 188+000)”*, corroboraron que el 83.33% de los valores de IRI superan el umbral normativo establecido, mientras que solo el 16.67% se mantiene dentro de los límites aceptables. Los resultados muestran que los tramos con menor radio de curvatura presentan valores de IRI más altos, confirmando la relación directa entre la geometría de la vía y la rugosidad superficial.

En síntesis, los trabajos de Montoya (2013), Chang et al. (2017), Marcobal et al. (2017), Puentes et al. (2017) y Chiquilán y Silvera (2023) coinciden en señalar que los componentes geométricos del trazado en planta y perfil modifican la huella longitudinal de la vía, lo cual se refleja directamente en los valores del IRI. Sin embargo, pese a haberse demostrado una relación cualitativa entre ambos factores, aún no se ha establecido una correlación cuantitativa que permita determinar el grado de influencia de cada parámetro geométrico sobre el IRI. En ese sentido, el objetivo de la presente investigación es analizar dicha relación y determinar el nivel de correlación existente entre los parámetros de la geometría vial y el índice de rugosidad internacional en vías de bajo volumen de tránsito. Para ello, se procesarán y evaluarán parámetros específicos del trazado en planta y perfil del tramo de estudio de la ruta PE-3SF.

2.3 El Índice de Rugosidad Internacional

2.3.1 Antecedentes del IRI

Según Michael & Steven (1998) menciona lo siguiente:

Ya en la década de 1920, los ingenieros de carreteras instalaron dispositivos en los automóviles para registrar los desplazamientos de la suspensión como medida de rugosidad. Estos se llamaban medidores de desplazamientos y tenían varios nombres genéricos, incluyendo: sistemas de medición de rugosidad de carretera tipo respuesta (RTRRMS), sistemas de tipo respuesta y sistema de medidores de carretera. En estos sistemas el vehículo es un automóvil de pasajeros, una furgoneta, una camioneta ligera o un remolque especial. Un medidor de carretera es un transductor que acumula los movimientos de la suspensión”

Según Gillespie, et al. (1980), en el reporte denominado “Calibración de sistemas de medición de rugosidad de carreteras tipo respuesta”, dio los lineamientos básicos para el desarrollo de procedimientos para la calibración de sistemas de medición de rugosidad tipo respuesta (principalmente medidores de carreteras de tipo Mays y PCA).

Debido a que los datos de rugosidad obtenidos por diferentes procedimientos no arrojaban datos equivalentes de interpretación universal en Brasil en 1982 se llevó a cabo un evento importante denominado “El Experimento Internacional de Rugosidad para Carreteras (IRRE por sus siglas en Ingles) en el cual se evaluaron 49 sitios de prueba con diferentes equipos y se estableció el modelo matemático universal con el cual debía procesarse el perfil de la huella para la obtención del IRI.

2.3.2 Definición del IRI

Según Michael (1995) los siguientes puntos definen completamente el concepto del IRI:

1. El IRI se calcula a partir de un solo perfil longitudinal. El intervalo de muestra no debe ser mayor a 300 mm para cálculos precisos. La resolución requerida depende del nivel de rugosidad, siendo necesaria una resolución más fina para carreteras lisas. Una resolución de 0.5 mm es adecuada para todas las condiciones.

2. Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre los puntos de elevación muestreados.

3. El perfil se suaviza con un promedio móvil cuyo largo base es de 250 mm.

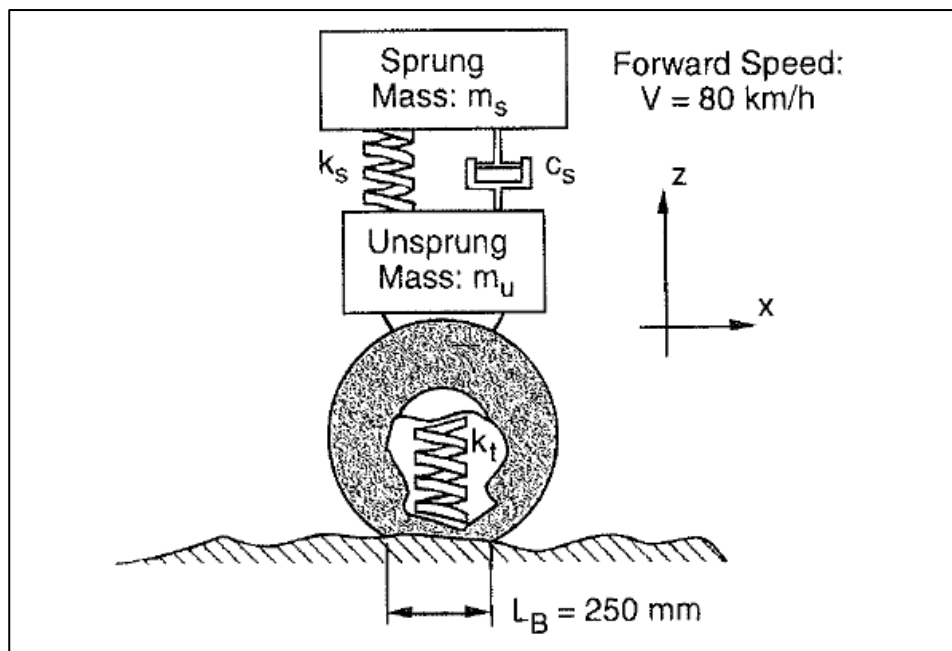
4. El perfil suavizado se filtra utilizando una simulación de cuarto de carro, con valores de parámetros específicos (Golden Car), a una velocidad simulada de 80 km/h (49.7 mph).

5. El movimiento de suspensión simulado se acumula linealmente y se divide entre la longitud del perfil para obtener el IRI. Así, el IRI tiene unidades de pendiente, como pulgadas por milla o metros por kilómetro.

La Figura 2 se muestra el modelo teórico dinámico universal el cual recorre el perfil real obtenido a una velocidad de 80km/h, la acumulación vertical de los desplazamientos verticales de la masa suspendida y no suspendida dividida entre la longitud, esta relación es el parámetro de validez universal denominado como el IRI.

Figura 2

Modelo del cuarto de coche



Nota: Reproducido del Modelo de cuarto de coche, Michael (1995)

La siguiente ecuación expresa el modelo y muestra los parámetros del modelo dinámico.

$$IRI = \int_0^{\frac{L}{V}} (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) dt \quad (1)$$

Asimismo, describe cada parámetro como:

C_s = Coeficiente del amortiguador de la masa suspendida

k_s = Coeficiente de rigidez del resorte en suspensión

k_t = Coeficiente de rigidez del resorte no suspendido

m_s = masa del cuerpo del vehículo soportada por una rueda

m_u = masa de la rueda, neumático y la mitad del eje/suspensión

$\frac{L}{V}$ = longitudinal entre la velocidad simulada del vehículo

Para simplificar los parámetros de las ecuaciones se realizan la siguiente normalización.

$$C = \frac{C_s}{m_s} \quad (2)$$

$$k_1 = \frac{k_t}{m_s} \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{k_s}{m_s} \quad (4)$$

$$u = \frac{m_u}{m_s} \quad (5)$$

$$k_t = 163\,250 \text{ N/m}, \quad k_s = 15\,825 \text{ N/m}$$

$$m_u = 37.5 \text{ kg}, \quad m_s = 250 \text{ kg}, \quad c_s = 1\,500 \text{ Ns/m}$$

2.3.3 Conceptos Básicos del IRI

El IRI es un parámetro estadístico de la regularidad de la superficie de un camino, el cual representa las características del estado superficial causados por diversos aspectos, dentro de las diferentes etapas del proyecto desde su concepción, ejecución y durante su mantenimiento.

El IRI inicial en una superficie ideal que adopta un valor de $IRI=0$ que significa que dicha superficie mantiene teóricamente los parámetros de diseño respecto a un control topográfico, lo cual en la realidad no ocurre debido a muchos factores ocasionados durante la ejecución del proyecto.

Para obtener el IRI por cualquier método se necesita evaluar los parámetros a tomar en cuenta para la cuantificación, un procedimiento directo se obtiene a través de perfil longitudinal que representa la huella por el cual transitan los vehículos.

El IRI se calcula para cada perfil, está asociado a cada huella dentro de la calzada y representa las irregularidades presentes. Es posible considerar un ancho variable de la huella debido a las características de la vía, algunas bondades del IRI son las siguientes.

- ✓ La universalidad de su interpretación se basa en el modelo matemático válido universalmente el cual proviene del análisis de un perfil topográfico
- ✓ La obtención del IRI está asociado a diversos factores tanto como de técnicas y procedimientos para los trabajos de campo.
- ✓ El adecuado uso de los equipos y la precisión de estos es un factor importante para considerar cuando se decide realizar trabajos de campo.
- ✓ Los procedimientos para el cálculo del IRI en la actualidad son diversos, desde los métodos básicos como el de Mira y Nivel hasta los más sofisticados y eficientes desde el punto de vista de la teoría de la productividad (Los perfilómetros dinámicos).

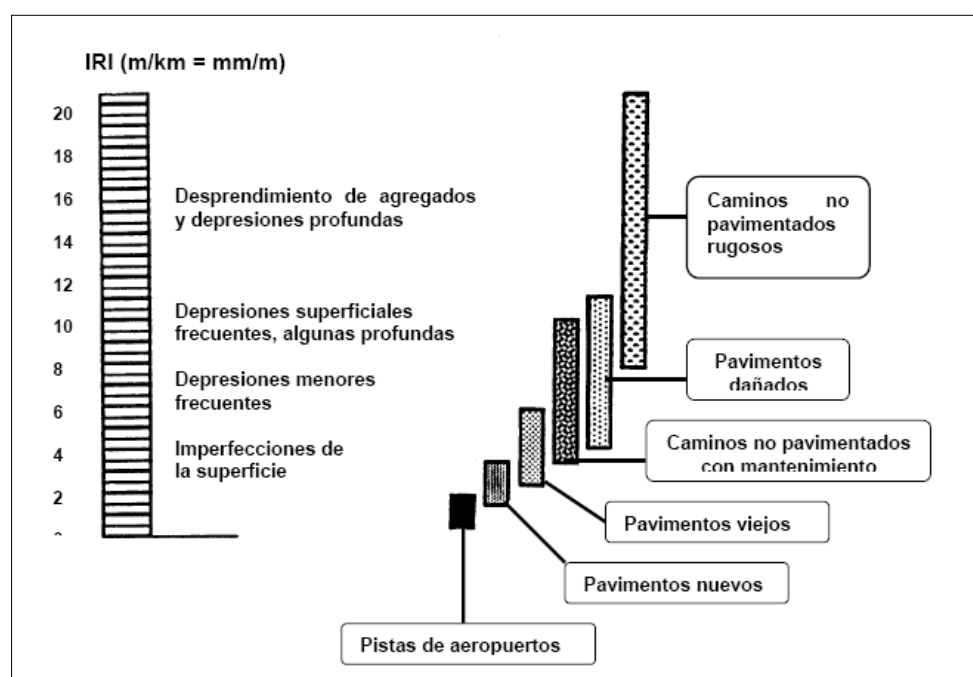
2.3.4 Escalas y Características del IRI

La clasificación del IRI y la valoración en términos de calidad dependen de muchos factores y varían en cada país, asimismo el Banco Mundial caracterizó los mismos en función de las características superficiales como se muestra en la siguiente figura.

La Figura 3 muestra los niveles y rangos establecidos por el Banco Mundial según los tipos de caminos.

Figura 3

Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos



Nota: Fuente: IMT- Publicación Técnica No 30-1991

En el caso del Perú el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha establecido rangos en función de los valores de regularidad, como constan en los diferentes manuales al respecto.

Según las “Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras” Aprobado por Resolución directoral No 051-2007-MTC/14 del 27 de agosto del año 2007. Indican ciertos niveles según estado o categorización los cuales indican en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1*Estado vial según la rugosidad*

	Pavimentadas	No pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < \text{IRI} \leq 2,8$	$\text{IRI} \leq 6$
Regular	$2,8 < \text{IRI} \leq 4,0$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
Malo	$4,0 < \text{IRI} \leq 5,0$	$8 < \text{IRI} \leq 10$
Muy Malo	$5 < \text{IRI}$	$10 \leq \text{IRI}$

Nota: Especificaciones Técnicas Generales para el Mantenimiento de Carreteras del MTC (2007)

En el mismo texto informa que dichos valores han sido obtenidos del MTC. Provías Nacional. Gerencia de Planificación y Presupuesto. Elaboración de Diagnóstico de la Unidad de Gestión de Carreteras e Implementación del Sistema de Gestión de Carreteras de Provías Nacional. Lima, noviembre de 2005. Además, menciona que La pertinencia de los valores anteriores para las condiciones de las redes viales en cuanto al tránsito y al territorio - Costa, Sierra, Selva – debe ser motivo de investigación rigurosa para la realidad del País.

Según lo mencionado anteriormente en el Perú los niveles definidos según el estado o categorización no han sido establecidos a partir de un estudio riguroso debiendo tomarse en cuenta cada vez que se haga referencia a la misma.

2.3.5 Clasificación de Métodos de Medición

Dentro de estos métodos se encuentra el método de Mira y Nivel cuyos procedimientos están referidos en la ASTM E1364 en la cual establece entre otros parámetros el nivel de precisión para los equipos según el nivel de rugosidad y según la clase, este método a pesar de ser fácil y sencillo sirve para evaluar ciertos tramos los cuales sirven para contrastar la precisión de otros equipos de medición de perfil como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2*Requerimientos de resolución del nivel en función del rango de rugosidad*

IRI Roughness Range, in./mile (m/km)	Required Resolution, in. (mm)	
	Class 1	Class 2
$0 (0) \leq \text{IRI} < 30 (.5)$	0.005 (0.125)	0.01 (0.25)
$30 (.5) \leq \text{IRI} < 63 (1)$	0.01 (0.25)	0.02 (0.5)
$63(1) \leq \text{IRI} < 190 (3)$	0.02 (0.5)	0.04 (1.0)
$190 (3) \leq \text{IRI} < 317 (5)$	0.04 (1.0)	0.08 (2.0)
$317 (5) \leq \text{IRI} < 444 (7)$	0.06 (1.5)	0.12 (3.0)
$444 (7) \leq \text{IRI}$	0.08 (2.0)	0.16 (4.0)

Nota: Adaptado de ASTM E 1364

En resumen, tenemos cuatro clases de medición.

- Primera clase:

Mediciones de alta precisión (según WTP-45 del Banco Mundial y ASTM E1364).

Se realizan con métodos como Mira y Nivel o perfilómetros dinámicos. Aunque son lentos y costosos, sirven como referencia y calibración para otros equipos.

- Segunda clase:

Ofrecen buena precisión, aunque menor que la clase I. Se usan perfilómetros de alta velocidad, incluidos en contratos y términos de referencia.

- Tercera clase:

Equipos tipo respuesta (ej. Bump Integrator, MERLIN). Más básicos, requieren calibración con equipos de clase I o II. Proporcionan precisión aceptable dentro de su categoría.

- Cuarta clase:

Mediciones subjetivas basadas en experiencia. Útiles solo para estimaciones preliminares de rugosidad con baja precisión, sin necesidad de calibración.

2.3.6 Equipos de Medición del Índice de Rugosidad Internacional.

Existen diversos equipos para medir el Índice de Rugosidad desde aquellos que trabajan a nivel de Perfil (Perfilómetros y Mira y Nivel), en base respuestas dinámicas del perfil de la superficie o aquellos que toman en cuenta la irregularidad en base a perfiles fijos. Como ejemplo podemos citar los siguientes

- a) La viga móvil de tres metros.
- b) El MERLIN
- c) El Bump Integrator.
- d) El Perfilómetro Láser.

2.3.6.1 El Perfilómetro Láser

Los perfilómetros actualmente han ocupado un buen papel dentro de la caracterización de una superficie. Si bien es cierto el Perfilómetro es un equipo en el cual sus procesos se basan en el perfil de una carretera existen diferentes en nuestro medio como son aquellos que funcionan con rayos láser y aquellos que funcionan mediante ondas de ultrasonido, en el mercado existen diversos tipos para las diversas clases de IRI según la precisión y exactitud de los requerimientos como lo indica la Norma ASTM E 950 por ejemplo.

En el mercado existen diversos modelos de equipos dentro de ellos podemos mencionar a los perfilómetros Mk III y Mk IV, cada uno de ellos permiten complementarse con otros accesorios para realizar mediciones de textura, pendiente, grados de curvatura y Ahuellamientos, según las especificaciones técnica, originalmente poseen la capacidad de medir el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y el RN (Ride Number).

Además, estos equipos pueden poseer según la versión una barra de ahuellamiento que se monta en el parachoque en el cual se alojan el láser, acelerómetros y la electrónica, la ventaja de estos equipos es que pueden ser montados en varios tipos de vehículos.

Figura 4

Montaje del perfilómetro en la parte delantera y trasera del vehículo



Nota: Imagen tomada de Dynatest

En Figura 4 se puede observar 2 equipos montados, el primero es un Perfilómetro con capacidad de medición de ahuellamiento mientras que el segundo es un equipo que no tiene la capacidad de medir Ahuellamiento debido a que según sus características puede contar hasta máximo 2 sensores láser y 2 acelerómetros para medir 2 perfiles por carril.

2.3.7 Umbrales Admisibles del Índice de Rugosidad Internacional

En la actualidad todos los países han adoptado ciertas normativas o en su efecto hacen referencias a las distintas normas internacionales, para obtener resultados válidos Internacionalmente; no está demás mencionar que el Documento Técnico No 46 del Banco Mundial también menciona sobre los procedimientos en la medición y calibración para la rugosidad en carreteras.

Sin embargo, los umbrales admisibles para el caso nacional están establecidos en las siguientes normas o documentos técnicos o a su vez forman parte de términos de referencia de algunos contratos.

Como se puede observar el tema normativo es muy amplio y las normas generales que se analizaron para el estudio de la presente investigación son las siguientes.

2.3.7.1 Proyecto Especial Rehabilitación Infraestructura de Transportes – PERT. Según el PERT en 1995 estableció las nuevas especificaciones para IRI como control en la recepción de obras según la expresión.

$IRI_c = IRI_p + 1.645\sigma$ para una confiabilidad del 95% donde IRI_p , σ corresponden al valor promedio y a la desviación estándar respectivamente según los umbrales siguientes:

- **Pavimentos asfálticos nuevos $IRI_c \leq 2.0$ m/km**

Se denomina pavimento asfáltico nuevo al revestimiento vial recientemente construido mediante mezclas asfálticas en caliente, diseñadas para proporcionar una superficie de rodadura uniforme, impermeable y resistente al deterioro prematuro.

De acuerdo con los estándares internacionales y el Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia, Pavimentos y Obras de Arte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2018), un pavimento nuevo debe presentar un Índice de Rugosidad Internacional (IRI_c) menor o igual a 2.0 m/km, lo cual refleja una condición de excelente calidad superficial y elevado confort de conducción.

- **Pavimentos con recapado asfáltico $IRI_c \leq 2.5$ m /km**

El recapado asfáltico corresponde a la aplicación de una o más capas de mezcla asfáltica sobre un pavimento existente con el propósito de restaurar su capacidad estructural y mejorar su condición superficial.

En este caso, el valor del $IRI_c \leq 2.5$ m/km indica una superficie de buena calidad, con irregularidades mínimas y adecuada confortabilidad para el usuario, aunque no alcanza la homogeneidad de un pavimento completamente nuevo.

Estos valores suelen emplearse como criterio de aceptación en proyectos de rehabilitación o mantenimiento periódico, en los cuales se busca prolongar la vida útil del pavimento y reducir el impacto del deterioro acumulado (Banco Mundial, 1993).

- **Pavimentos con sello asfáltico $IRI_c \leq 3.00$ m/km**

El sello asfáltico o tratamiento superficial bituminoso es una técnica de mantenimiento preventivo que consiste en aplicar una capa delgada de material bituminoso con agregado pétreo, destinada principalmente a impermeabilizar la superficie y mejorar el coeficiente de fricción de la vía.

En este tipo de pavimentos, el estándar técnico establece un $IRI_c \leq 3.0$ m/km, valor que corresponde a una condición de servicio aceptable a buena, adecuada para vías de bajo o medio volumen de tránsito, en las cuales se prioriza la funcionalidad y conservación económica más que la suavidad del rodaje (Federal Highway Administration, 2006).

Valores superiores a este rango indicarían la necesidad de un mantenimiento correctivo más profundo o de una rehabilitación estructural.

2.3.7.2 Manual de Carreteras. El Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013), establece los siguientes valores iniciales de la para un pavimento nuevo y un pavimento existente reforzado con carpeta asfáltica en caliente como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3

Rugosidad inicial - según tipo de carretera con asfalto en caliente

Tipo de Carretera	Característica	Característica	Característica	Observación
	Inicial	Inicial	Durante el	
	Pavimento	Pavimento	Periodo de	
	Nuevo	Reforzado	Servicio	
	IRI (m/km)	IRI (m/km)	IW (m/km)	
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día. de calzadas	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica. para una

Tipo de Carretera	Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Característica Durante el Periodo de Servicio IW (m/km)	Observación
separadas. cada una con dos o más carriles.				Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas cada una con dos o más carriles.	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica. para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día. de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica. para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día. de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica. para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día. de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica. para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Transite: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día. de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica. para una Confiabilidad de 85%

Nota: Fuente: MTC "Manual de carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", Lima 2013

Para la evaluación de niveles de servicio para caminos no pavimentados (afirmados) y para caminos pavimentados (flexibles, semi-rígidos) el manual indica los valores que se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5, respectivamente.

Tabla 4*Caminos no pavimentados*

Tipo de Carretera	Rugosidad característica Inicial Afirmado Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad característica Inicial Afirmado con Recapa IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Carreteras de Bajo Volumen de Transito No Pavimentadas Afirmadas.	5.00	6.00	8.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 70%

Nota: Fuente: MTC "Manual de carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", Lima 2013

Tabla 5*Caminos pavimentados*

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 98%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día. de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día. de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día. de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 90%

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un MDA entre 400-201 veh/día. de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: Fuente: MTC "Manual de carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", Lima 2013

El Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción EG-2013 indica lo siguiente:

- Para la aceptación la evaluación de IRI se realizará mediante Métodos Topográficos, Rugosímetros, Perfilómetros o cualquier otro método debidamente aprobado por el supervisor y las exigencias coinciden lo indicado en la Tabla 3.

Afirmados

- Para carreteras afirmadas indica que el valor de IRI no debe superar a 5m/km

Suelos estabilizados con productos químicos

- Para suelos estabilizados con productos químicos, indica que el IRI no debe ser superior a 6m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente, cuando se estabiliza a nivel de superficie de rodadura.

Suelos estabilizados con sales

- Suelos estabilizados con Cloruro de Sodio, el IRI no debe ser superior a 6m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente, cuando se estabiliza a nivel de superficie de rodadura.

- Suelos estabilizados con Cloruro de Calcio, el IRI no debe ser superior a 6m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente, cuando se estabiliza a nivel de superficie de rodadura.
- Suelos estabilizados con Cloruro Magnesio, el IRI no debe ser superior a 6m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente, cuando se estabiliza a nivel de superficie de rodadura.
- Suelos estabilizados Emulsión, el IRI no debe ser superior a 6m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente, cuando se estabiliza a nivel de superficie de rodadura

Pavimentos flexibles

- Tratamientos superficiales, tienen un IRI aceptable si el promedio por km o fracción tienen un valor de IRI igual o inferior a 2,5 m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente. Todas las áreas con defectos de calidad y que excedan en el presente numeral, deberán ser reconstruidas por el contratista a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones y la aprobación del supervisor. (Medición en tola la longitud, en secciones cada 100m, en ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, en los cuales las obras estén concluidas).
- Mortero Asfáltico, el IRI no podrá ser superior a 2,5 m/km, salvo que las especificaciones particulares establezcan un límite diferente. (Medición en tola la longitud, en secciones cada 100m, en ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, en los cuales las obras estén concluidas).
- Pavimento de concreto asfáltico en caliente y en Frio, el IRI tendrá un valor máximo de 2,0 m/km y podrá ser medido con métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros de alto rendimiento u otro equipo aprobado por el supervisor

(Medición en tola la longitud, en secciones cada 100m, en ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, en los cuales las obras estén concluidas), no se menciona la precisión de los equipos puesto que algunos equipos como los rugosímetros tienen una precisión de $\pm 0.5\text{m/km}$ y algunos además deben ser calibrados según las especificaciones técnicas del fabricante.

- Micropavimento, el IRI tendrá un valor máximo de 2.5 m/km, salvo que las especificaciones particulares establezcan un límite diferente, no se aplica para micropavimentos contruidos sobre carpetas asfálticas. En este caso el proyecto deberá indicar el nivel de rugosidad aceptable. (Medición en tola la longitud, en secciones cada 100m, en ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, en los cuales las obras estén concluidas).
- Pavimento de concreto asfáltico con mezclas porosas, las medidas se harán en cada carril, se representarán por tramos de 5 km, registrando mediciones cada 100m, cumpliendo con los valores de la siguiente tabla. Si los resultados del IRI exceden los límites especificados el tramo será rechazado.
- Fresado de pavimento asfáltico, indica que las medidas deben incluir ambas huellas y las medidas se presentarán cada 5km con mediciones, en los cuales las obras estén concluidas, registrando mediciones cada 100m. La superficie fresada debe de cumplir los valores según la Tabla 6, de no cumplir con lo especificado se realizará un fresado adicional en los sectores que el Supervisor indique.

Tabla 6

Valores máximos según el porcentaje de hectómetros

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI (m/km)
40	1,9
80	2,5
100*	3,0

Nota: Se recomienda la medición en secciones de 100 m, fuente: MTC, EG-2013, Lima 2013.

- Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en caliente, el IRI tendrá un valor máximo de 2,0 m/km y podrá ser medido con métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros de alto rendimiento u otro equipo aprobado por el supervisor (Medición en toda la longitud, en secciones cada 100m, en ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, en los cuales las obras estén concluidas).
- Pavimento de concreto hidráulico, el IRI no debe superar el valor de 3m/km. (Medición en toda la longitud, en secciones cada 100m, en ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, en los cuales las obras estén concluidas).

En términos generales para efectos de la evaluación con fines de recepción del micropavimento, las medidas se realizaron en cada uno de los carriles del pavimento construido (carril único) y los valores del IRI se registraron en secciones cada 100 m y los tramos son establecidos por el supervisor, para este caso se utilizaron secciones de 1 km.

2.3.8 Tipo Pavimento de la Zona de Estudio.

Según el Plan de Gestión Vial (PGV 2016) el tipo de pavimento corresponde a un micropavimento Tipo III cuya estructura está compuesto por una base granular de 15 cm, un suelo estabilizado de 10 a 12cm y un micropavimento de 1.3 cm.

Tabla 7

Composición de la estructura del pavimento

TRAMO	MICROPAVIMENTO	SUELO ESTABILIZADO	CAPA GRANULAR
	(CM)	CON EMULSIÓN (CM)	(CM)
Tramo I	1.3	12.0	15.0
Tramo II	1.3	10.0	15.0
Tramo III	1.3	11.0	15.0

Nota: Adaptado del diseño definitivo del pavimento, PGV, 2016

El micropavimento consiste en la colocación de una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros y agregados pétreos según los principales parámetros de diseño definitivo que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 8

Parámetros de diseño del micropavimento definitivo

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN/ DOSIFICACIÓN
Material	Agregado fino chancado
Cantera	Zurite
Peso volumétrico suelto	1510kg/m ³
Combinación de agregados	100%
Cemento (de situ)	0.50%
Aditivo	0.5%
Agua	8%
Emulsión tipo cqs-1p	12.1%
Cemento (de situ)	0.178bls/m ³
Aditivo	2.0gl/m ³
Agua	31.9gl/m ³
Emulsión tipo cqs-1p	48.3gl/m ³

Nota: Reproducido del diseño definitivo del micropavimento PG, 2016

Asimismo, en la siguiente tabla se muestra los principales parámetros de diseño del suelo estabilizado con emulsión asfáltica sobre el cual se ha colocado un micropavimento.

Tabla 9

Parámetros de diseño del suelo estabilizado

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN/ DOSIFICACIÓN
% Arena	45.6%
% Grava	48.0%
% Finos	6.4%
Cemento portland	0.0%
Agua	4.9%
Emulsión CSS-1	3.3%
P.V.S seco agregados	1557.0 kg/m ³

Cemento portland	0.0 bl/m3
Agua	20.2 gl/m3
Emulsión CSS-1	13.6 gl/m3
Humedad de mezcla	4.9%
Humedad total en la mezcla	6.2%
Humedad de compactación	4.5%

Nota: Reproducido del diseño definitivo del micropavimento PG, 2016

2.4 Análisis Estadístico

2.4.1 Histograma de Frecuencias

Este con esta herramienta estadística se analizará los rangos de variación del parámetro según los intervalos de análisis propuesto, considerando intervalos de IRI de 0.5 m/km.

2.4.2 Distribución de Frecuencias

Este método estadístico básico se realizará con el fin de calcular e interpretar las principales medidas de variabilidad del IRI, la muestra lo constituirán todos los valores del IRI en intervalos de 100m según la EG 2013, con estos resultados se realizará una evaluación en porcentajes para contrastar de manera comparativa el nivel de cumplimiento según las escalas de valoración propuestas por el MTC como se indica en la Tabla 10.

Así como verificar cual es la variabilidad de los resultados y el rango de variación por los efectos de la geometría.

Tabla 10

Estado vial según la rugosidad

	Pavimentadas	No pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2,8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2,8 < IRI \leq 4,0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4,0 < IRI \leq 5,0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy Malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

Nota: Fuente: Especificaciones Técnicas Generales Para el Mantenimiento de Carreteras

2.5 Fundamento Teórico de la Geometría Vial

La geometría vial constituye uno de los componentes fundamentales del diseño de carreteras, pues define la forma, dimensiones y disposición espacial de la vía, garantizando la seguridad, comodidad y eficiencia del tránsito vehicular (MTC, 2018). Su diseño busca lograr una integración armónica entre el vehículo, el conductor y el entorno físico, considerando las condiciones topográficas, climáticas y de operación. Desde una perspectiva técnica, la geometría vial combina los principios de la ingeniería del tránsito, la dinámica vehicular y la percepción humana, con el propósito de mantener un desplazamiento seguro y confortable a una velocidad de proyecto determinada (Garber & Hoel, 2015).

El diseño geométrico de una carretera se compone de dos dimensiones principales: la geometría horizontal, que describe el trazado de la vía en planta, y la geometría vertical, que representa el perfil longitudinal del eje de la carretera. Ambos conjuntos de parámetros se interrelacionan directamente con la calidad del desplazamiento vehicular y con el comportamiento funcional del pavimento, expresado en indicadores como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (Sayers & Karamihas, 1998).

2.5.1 *Parámetros Geométricos que Modifican el Perfil la Huella.*

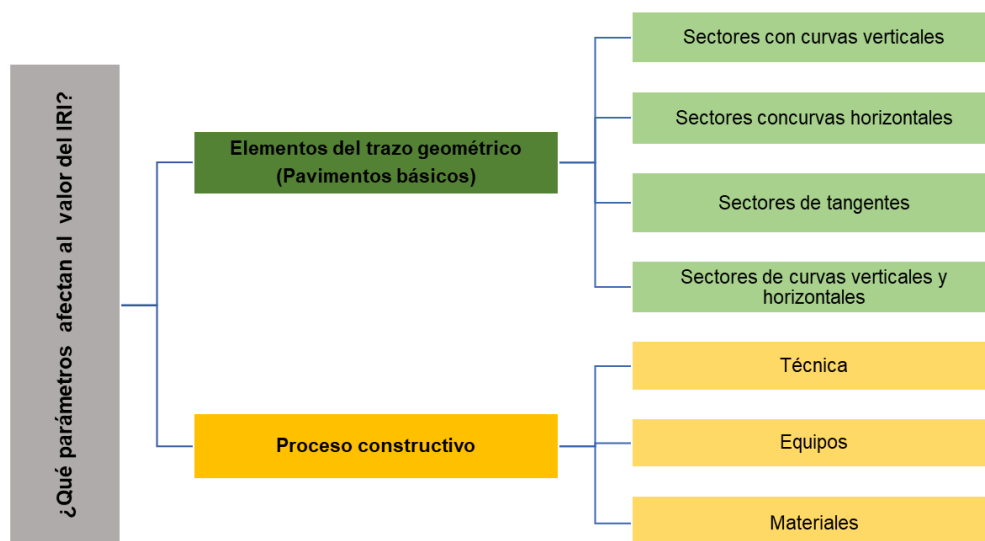
El resultado final del perfil de una huella representativa a lo largo de un carril para el proyecto de estudio, en términos generales, depende del diseño geométrico el cual se encuentra ligado al relieve del terreno, del tipo de pavimento y del proceso constructivo.

El objeto de estudio se enfoca únicamente en los aspectos geométricos de la vía que es el resultado del tipo de geografía sobre la cual se desarrolla el trazo de la vía; describir, analizar y encontrar las relaciones que existen entre los elementos geométricos del alineamiento vertical y horizontal con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), esto permitirá confirmar que tipo de correlación existe con el parámetro.

En el siguiente mapa conceptual se muestra los parámetros de la geometría vial que se consideran para analizar la correlación con el valor del IRI, para ello elegiremos los elementos del trazo geométrico.

Figura 5

Posibles parámetros geométricos que tienen relación con el IRI



2.5.2 Geometría Horizontal.

La geometría horizontal describe la trayectoria de la carretera proyectada sobre el plano horizontal. Está conformada por alineamientos rectos, curvas circulares y curvas de transición, las cuales determinan la comodidad y seguridad de la conducción, para el presente estudio el cuadro de curvas horizontales se encuentra en el Anexo V.

a) Alineamientos rectos

Los tramos rectos permiten una conducción estable, facilitan las maniobras y aseguran una adecuada visibilidad longitudinal. Su longitud mínima se determina en función de la velocidad de diseño, el tipo de terreno y la necesidad de evitar monotonía visual o pérdida de atención del conductor (MTC, 2018).

b) Curvas horizontales.

Las curvas horizontales enlazan alineamientos rectos mediante un cambio gradual de dirección. Su diseño se fundamenta en el equilibrio entre la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo y la fuerza de fricción lateral disponible en la superficie de rodadura. El radio mínimo de curvatura se obtiene de la siguiente expresión:

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)} \quad (6)$$

donde:

R = radio mínimo de curvatura (m);

V = velocidad de diseño (km/h);

e = peralte (m/m);

f = coeficiente de fricción lateral.

Valores reducidos de radio o peralte insuficiente generan aumentos en la fuerza centrífuga no compensada, lo que puede afectar la estabilidad del vehículo y aumentar la rugosidad percibida del pavimento (Garber & Hoel, 2015).

La norma DG2018 establece que en carreteras de tercera clase no será necesario disponer de curva horizontal cuando la deflexión máxima no supere los valores de la Tabla 11.

La velocidad directriz para el proyecto va de 30 a 40km/h, en ese sentido los ángulos de deflexión máximos permitidos para prescindir de las curvas son 2°30' y 2°15'.

Tabla 11

Deflexiones máximas permitidas según la velocidad de diseño

Velocidad de diseño km/h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30'
40	2° 15'

Velocidad de diseño km/h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
50	1° 50'
60	1° 30'
70	1° 20'
80	1° 10'

Nota: Fuente: DG2018

La DG 2018 menciona lo siguiente:

Para ángulos de deflexión pequeño, las curvas deberán ser lo suficientemente largas y para evitar una mala apariencia. Las curvas deberán tener una longitud de 150 m para un ángulo central de 5° y la longitud mínima deberá aumentarse 30m por cada grado de disminución del ángulo central.

Para carreteras principales, se considera como longitud de curva mínima deseada la longitud obtenida con la formula $L=3V$ (Longitud de curva en metros y V= velocidad en km/h).

En Tabla 12 se muestra las longitudes mínimas tangentes que debe existir entre dos curvas horizontales sucesivas.

Tabla 12

Longitud de tramos en tangente

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

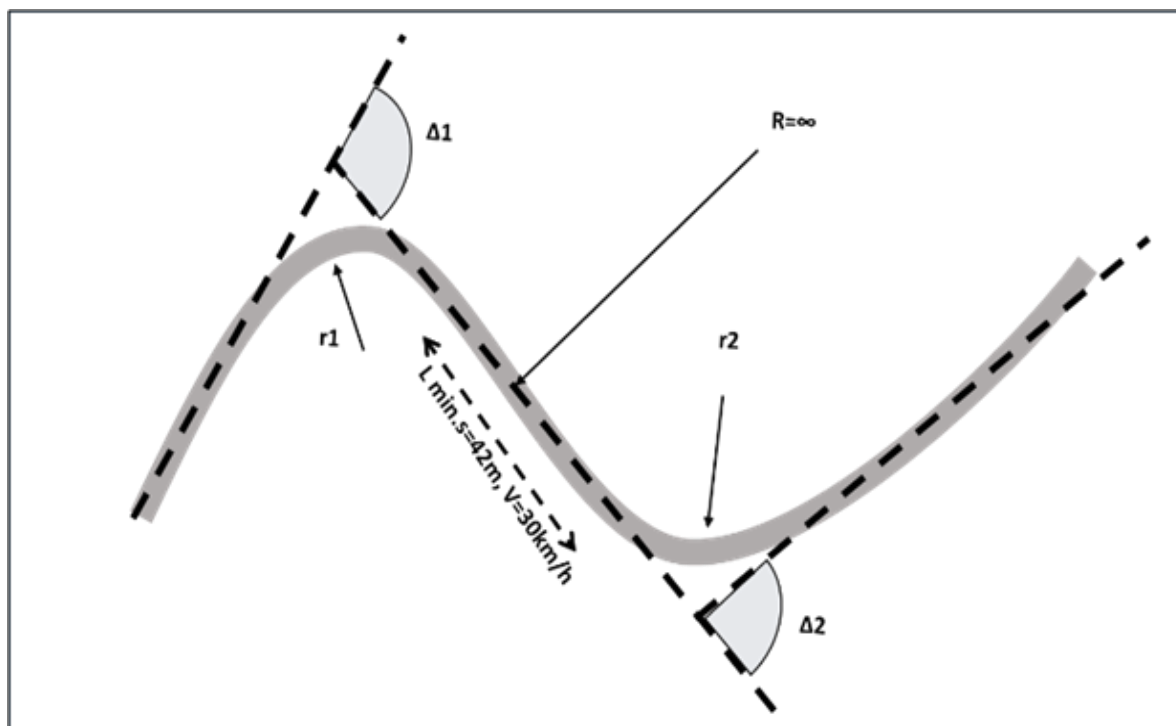
Nota: L min s: Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario). L min o: Longitud mínima (m) para el resto de los casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido). L max: Longitud maxima deseable (m). V: Velocidad de diseño (km/h). Fuente DG2018.

c) Curvas circulares con el mismo sentido.

En el caso de curvas opuestas, extensión mínima de la tangente intermedia deberá permitir la transición del peralte, por ejemplo, según la Tabla 12 la longitud mínima debe ser de 40 m.

Figura 6

Trazo de curvas opuestas con tramo tangente intermedio



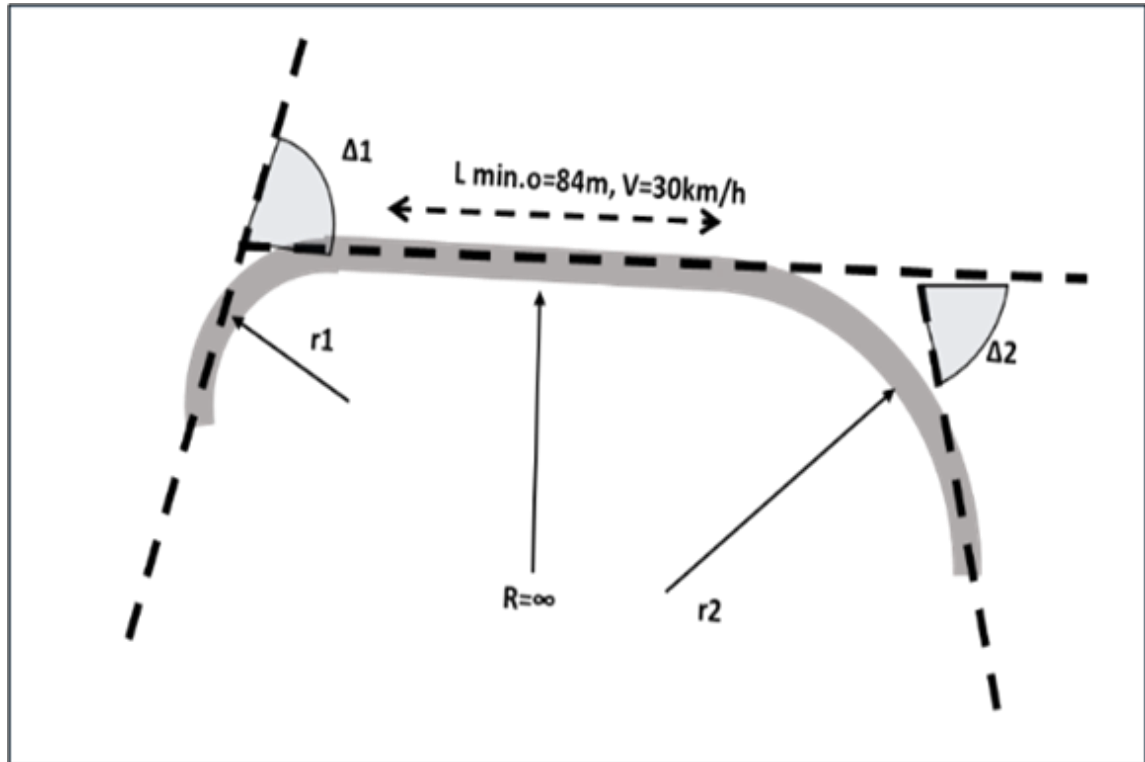
En conclusión, el trazado en planta debe ser homogéneo, las curvas y tangentes deben mantener armonía con un adecuado dimensionamiento de los elementos de curva y tangentes existentes entre estas.

d) Curvas circulares con el mismo sentido.

Curvas circulares con el mismo sentido.

Figura 7

Trazo de curvas en el mismo sentido con tramo tangente intermedio



Para el desarrollo adecuado del peralte entre dos curvas sucesivas del mismo sentido, la norma del MTC indica que debe existir un tramo mínimo en tangente como se indica en la Tabla 13.

Tabla 13

Longitud mínima en tangente según la velocidad directriz

Velocidad (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Longitud min. (m)	40	55	70	85	100	110	125	140	155	170	190

Nota: Elaborado a partir de la Tabla 304.08 Tramos mínimos en tangente entre curvas del mismo sentido (Norma MTC)

e) Peralte

El peralte corresponde a la inclinación transversal de la calzada en curvas, diseñado para contrarrestar los efectos de la fuerza centrífuga y mejorar la adherencia neumático y pavimento. De acuerdo con el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (MTC, 2018), los valores máximos de peralte se establecen según la categoría de la vía y la velocidad de diseño, pudiendo variar entre 6 % y 10 %. Un desarrollo inadecuado del peralte o una transición abrupta puede provocar vibraciones laterales que se reflejan en un incremento del IRI en tramos curvos.

f) Curvas de transición.

Las curvas de transición o espirales permiten el cambio progresivo del radio desde un alineamiento recto hacia una curva circular. Su longitud se determina en función de la variación gradual del peralte y la aceleración lateral admisible. Estas curvas favorecen la estabilidad del vehículo y el confort del usuario, reduciendo los esfuerzos dinámicos sobre el pavimento (AASHTO, 2018).

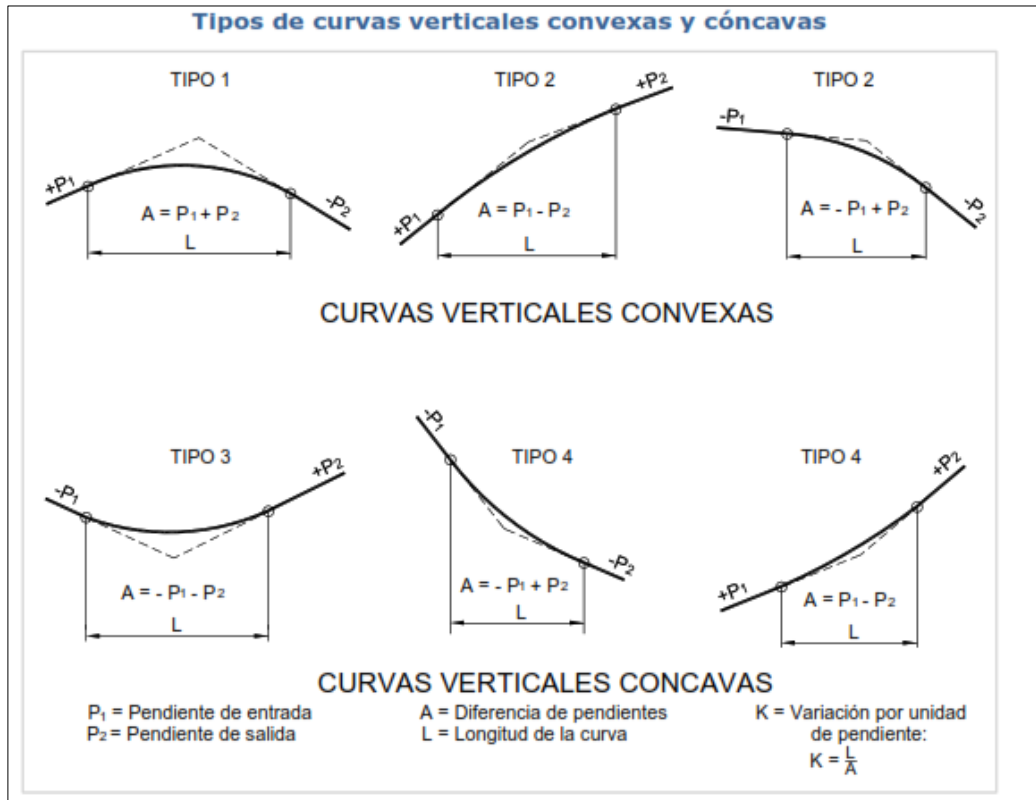
2.5.3 Geometría Vertical.

La geometría vertical representa el perfil longitudinal de la carretera, describiendo la variación de la rasante con respecto al terreno natural. Está constituida por pendientes longitudinales y curvas verticales (convexas y cóncavas). Este conjunto de parámetros influye de forma directa en la seguridad, la visibilidad y el rendimiento del vehículo, para el presente estudio el cuadro de curvas verticales se encuentra en el Anexo VI.

Según el Manual de Diseño Geométrico del MTC (DG218) las curvas por su forma se clasifican en convexas y cóncavas y de acuerdo con sus ramas que las formas se pueden clasificar en simétricas y asimétricas.

Figura 8

Clasificación de las curvas según su forma y según las ramas



Nota: Reproducido del Manual de Diseño Geométrico DG2018

En el proyecto de estudio dado que no cuenta con un diseño geométrico la presencia de curvas verticales en sus múltiples formas se encuentran presentes en todo el corredor vial, los cuales serán materia de análisis.

a) Curvas verticales cóncavas

Las curvas cóncavas enlazan pendientes descendentes con ascendentes, proporcionando una transición suave entre ambas. Su diseño se rige por criterios de confort dinámico y visibilidad nocturna, asegurando que los faros del vehículo iluminen correctamente la calzada sin generar deslumbramientos. Un cambio abrupto de pendiente puede inducir aceleraciones verticales incómodas y contribuir a una mayor irregularidad superficial percibida (Sayers & Karamihas, 1998).

b) Curvas verticales convexas

Las curvas convexas se disponen en los puntos de cambio entre pendientes ascendentes y descendentes. Su función principal es garantizar la visibilidad de parada, permitiendo que el conductor pueda detenerse ante un obstáculo en la vía. El diseño de estas curvas se basa en la longitud mínima necesaria para mantener una línea de visión continua y libre de interferencias con la rasante (AASHTO, 2018).

c) Pendiente longitudinal

La pendiente longitudinal expresa la inclinación del eje de la vía con respecto a la horizontal. Su valor se determina considerando la potencia de los vehículos, la velocidad de diseño y las condiciones topográficas. Pendientes excesivas reducen la capacidad de ascenso y aumentan el consumo de combustible y el desgaste de frenos. En vías de montaña, el Manual de Carreteras (MTC, 2018) admite pendientes de hasta 9 % en carreteras secundarias, siempre que existan tramos de recuperación y curvas de seguridad adecuadas.

2.6 Marco Normativo del IRI

El presente estudio se desarrolla en concordancia con la normativa nacional e internacional aplicable al diseño, evaluación y conservación de carreteras. El marco normativo tiene como finalidad establecer las bases legales y técnicas que sustentan el análisis de la geometría vial y del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en vías de bajo volumen de tránsito.

2.6.1 Normativa Nacional

a) Manual de Carreteras: Mantenimiento Rutinario (MTC, 2013)

El Manual de Mantenimiento Rutinario define los procedimientos técnicos para la conservación de vías pavimentadas y no pavimentadas. Reconoce al Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como un indicador fundamental del estado funcional del pavimento y del

nivel de servicio que ofrece una carretera. Asimismo, establece los umbrales de condición superficial que permiten determinar la frecuencia y el tipo de intervención requerida.

b) Manual de Carreteras: Rehabilitación y Mantenimiento Periódico (MTC, 2013)

Este documento complementa las actividades de conservación mediante la definición de parámetros técnicos para la programación de intervenciones. En sus especificaciones, se establecen los valores de referencia del IRI crítico (IRI_c) según el tipo de superficie:

- Pavimentos asfálticos nuevos: IRI_c ≤ 2,0 m/km
- Pavimentos con recapado asfáltico: IRI_c ≤ 2,5 m/km
- Pavimentos con sello asfáltico: IRI_c ≤ 3,0 m/km

Estos valores sirven como límite aceptable de rugosidad para evaluar el desempeño y el confort del pavimento.

c) Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (MTC, 2018)

El Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018), emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), constituye la norma técnica que regula los criterios de diseño, verificación y control geométrico de las carreteras pertenecientes al Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

Este documento establece los parámetros de trazado en planta y perfil, como el radio mínimo de curva, la pendiente máxima, la longitud de transición y los peraltes, los cuales son determinantes en la seguridad vial y el confort del usuario. En el contexto de la presente investigación, estos parámetros permiten analizar la relación existente entre la geometría de la vía y los valores del IRI, como indicador de la condición superficial del pavimento.

d) Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.070 Pavimentos (MTC, 2018)

La Norma E.070 Pavimentos del Reglamento Nacional de Edificaciones complementa las disposiciones técnicas sobre diseño estructural y control de calidad de pavimentos. Aunque su enfoque principal no es la rugosidad superficial, establece especificaciones relacionadas con la regularidad, la compactación y la granulometría, que inciden directamente en los valores del IRI.

2.6.2 Normativa Internacional

a) Banco Mundial – Technical Paper No. 46 (Gillespie et al., 1980)

El documento Calibration of Response-Type Road Roughness Measuring Systems elaborado por Gillespie y colaboradores fue el antecedente técnico que permitió definir el IRI como un indicador universal. Este trabajo desarrolló la metodología de calibración de los equipos de medición de rugosidad y estableció la escala de referencia internacional, posteriormente adoptada por ASTM y AASHTO.

b) ASTM E1926-08 (Reapproved 2015)

La norma *ASTM E1926* define el método estandarizado para la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a partir de perfiles longitudinales obtenidos mediante equipos de precisión. Esta norma formaliza el cálculo del IRI utilizando el modelo del “cuarto de carro” (quarter-car simulation model), desarrollado durante el International Road Roughness Experiment (IRRE) organizado por el Banco Mundial en 1982.

c) AASHTO R 43-13 (2018)

La práctica estándar Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) proporciona los lineamientos para cuantificar y utilizar el IRI en la gestión de activos viales.

Esta norma recomienda procedimientos para la toma de datos, el procesamiento de perfiles y la interpretación de resultados con fines de evaluación funcional y mantenimiento.

d) ASTM E950/E950M-09 (Reapproved 2020)

Esta norma regula los requisitos técnicos de los perfilómetros utilizados para la medición de rugosidad superficial. Garantiza la exactitud, repetibilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos por diferentes equipos y operadores, constituyendo la base para la calibración de los sistemas de medición utilizados por las instituciones de control y mantenimiento vial.

Capítulo III. Descripción del Objeto de Estudio

Para identificar la relación que existe entre los parámetros de la geometría vial y el valor del índice de rugosidad, objeto del estudio, resulta importante describir los parámetros geométricos que modifican el perfil de la huella, la geometría del trazo según la norma de diseño geométrico DG2018, las características geométricas del proyecto y los parámetros considerados en el presente estudio.

3.1 Descripción Geométrica del Proyecto

3.1.1 *Características de la Geometría Según el Alineamiento Horizontal y Vertical*

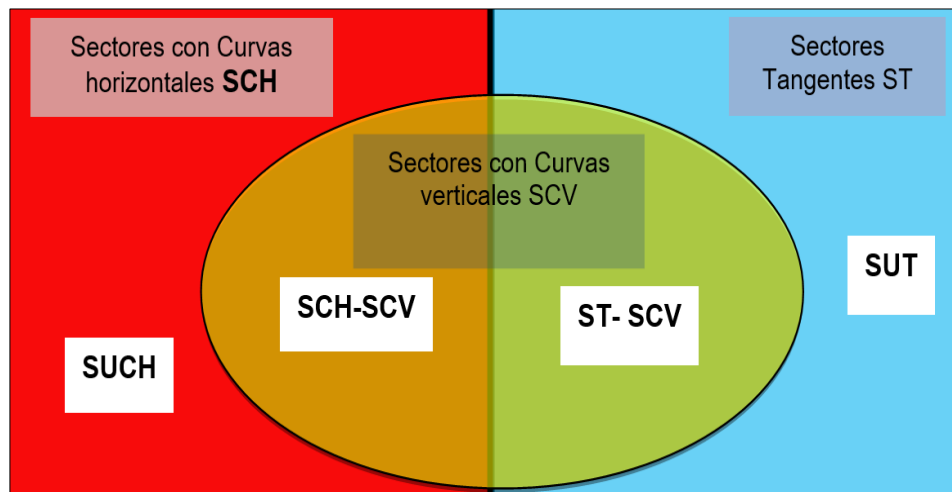
Desde el punto de vista el alineamiento en planta del eje de la vía proyectado sobre un plano horizontal está conformado por una sucesión de curvas horizontales con sectores en tangente, de la misma forma el alineamiento vertical del eje representado en un plano de elevación está conformado por una sucesión de curvas verticales con sectores de transición en tangente o tramos rectos con pendientes uniformes.

Según la combinación de los sectores con curvas horizontales **SCH** y sectores en tangente **ST** del alineamiento en planta, con los sectores con curvas verticales **SCV** del alineamiento vertical y con el apoyo de la teoría de conjuntos podemos identificar y clasificar geométricamente a un carril en 4 sub grupos de manera tridimensional según los elementos y las características que la conforman: Sectores únicamente tangentes (**SUT**), Sectores únicamente con curvas horizontales (**SUCH**), Sectores con curvas horizontales y verticales (**SCH-SCV**) y sectores tangentes con curvas verticales (**ST-SCV**).

En la Figura 9 se representa mediante la teoría de conjuntos los sectores que componen a una vía según las características descritas del alineamiento en planta y perfil, el cual abarca todas las posibles situaciones encontradas en la zona de estudio, asimismo en el Anexo V se muestra el cuadro de curvas horizontales y en el Anexo VI el cuadro de curvas verticales.

Figura 9

Clasificación geométrica de la vía



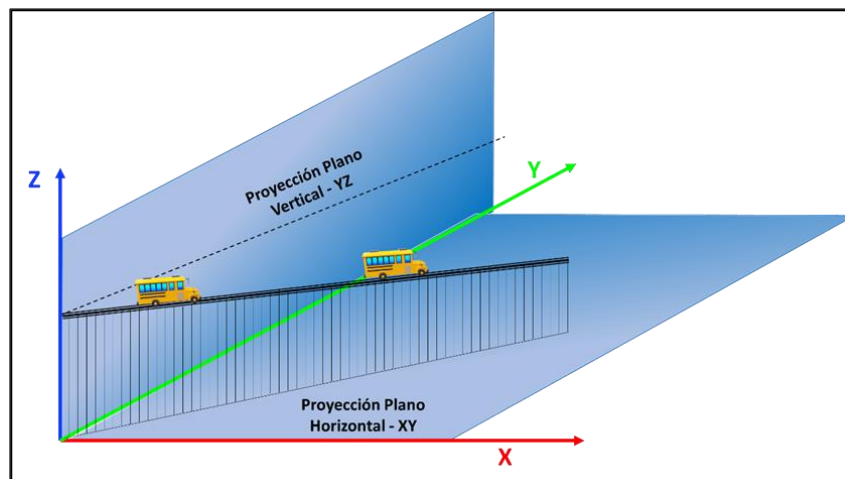
Nota: La clasificación se realiza mediante la teoría de conjuntos para el alineamiento en planta (SCH y ST) y el alineamiento vertical (SCV).

Sectores únicamente tangentes (SUT). El alineamiento del eje en planta es lineal y en perfil tiene una pendiente constante, son cortos en longitud, generalmente contienen en los extremos las longitudes de transición entre el bombeo y el peralte de las curvas horizontales, cuando la longitud de este sector es casi nula se producen las curvas sucesivas tanto verticales como horizontales en el mismo sentido o en sentido opuesto.

El perfil de las huellas mantiene una pendiente constante a excepción en los sectores donde corresponden a longitudes de transición de curvas horizontales.

Figura 10

Proyección de eje de SUT en el plano horizontal y vertical



El impacto en la dinámica del vehículo por la forma del perfil es que no debe producirle ningún tipo de aceleración vertical a excepción de aquellos sectores donde las huellas están influenciadas por las longitudes de transición para los cambios de bombeo a peralte o de peralte a bombeo, o por aquellos puntos singulares como la presencia de reductores de velocidad u otros elementos ajenos a la superficie.

Si consideramos la forma tridimensional del perfil que adopta una huella como el resultado de la combinación del perfil del eje de la vía y de la variación de la pendiente transversal generada por la presencia de curvas horizontales, se puede notar la afectación de forma cualitativa que le genera cada parámetro de acuerdo a la forma geométrica que adopta tanto en el plano horizontal como en el plano vertical, como el resultado de la proyección, se puede afirmar que, si la forma es sinuosa es una condición desfavorable y si la forma es recta es una condición favorable para el IRI como se describe en la Tabla 14, Se puede apreciar que según la geometría no existe ninguna característica desfavorable frente a 6 características favorables en función del IRI.

Tabla 14

Estado vial de SUT según la rugosidad

Características	Pendiente	Alineamiento	Alineamiento	Pendiente
Perfil		en planta	vertical	Transversal carril
Eje de la vía	Constante	Recto (favorable)	Recto (favorable)	
Eje Huella Der.	Constante	Recto (favorable)	Recto (favorable)	Constante
Eje huella Izq.	Constante	Recto (favorable)	Recto (favorable)	

En la Tabla 15 se muestra la descripción geométrica de un subtramo de la vía desde la progresiva km 400.148 al km 400.473 del tramo I en intervalos de 1m en el cual se muestra los sectores únicamente tangentes, que son aquellos donde no existe la presencia de ningún tipo de curvas horizontales y verticales identificados por la columna (Longitud Transición CV), el cual define la longitud de transición, este proceso se ha realizado para la totalidad de los tramo I, II y III de la zona de estudio.

Asimismo, en la Tabla 16 se muestra un resumen de los sectores únicamente tangentes con sus respectivas longitudes.

Tabla 15

Sectores únicamente tangentes SUT de un subtramo del Tramo I

PR Inicio	PR Final	Longitud SUT (m)
400.148	400.151	3
400.332	400.354	22
400.370	400.386	16
400.437	400.473	36

Tabla 16

Descrip. geométrica de la vía del Tramo I con sectores tangentes SUT

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales								Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	N° de Curv a HZ	CH	Long CH (m)	Deflexió n (°)	Radi o CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transici ón	L o (m)	L s (m)	N° Curva Vertic al	Lon g CV (m)	Longitud Transici ón CV (m)
400.148	400.149						18	S		18			12
400.149	400.150						18	S		18			12
400.150	400.151						18	S		18			12
400.332	400.333						30	S		30			29
400.333	400.334						30	S		30			29
400.334	400.335						30	S		30			29
400.335	400.336						30	S		30			29
400.336	400.337						30	S		30			29
400.337	400.338						30	S		30			29
400.338	400.339						30	S		30			29
400.339	400.340						30	S		30			29
400.340	400.341						30	S		30			29
400.341	400.342						30	S		30			29
400.342	400.343						30	S		30			29
400.343	400.344						30	S		30			29

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales										Parámetros de curvas verticales			
PR Inicio @1m	PR Final @1m	Nº de Curva a HZ	CH	Long CH (m)	Deflexión (°)	Radi o CH (m)	Longitud Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	Longitud Lo (m)	Ls (m)	Nº Curva Vertical	Longitud CV g CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.344	400.345						30	S		30			29
400.345	400.346						30	S		30			29
400.346	400.347						30	S		30			29
400.347	400.348						30	S		30			29
400.348	400.349						30	S		30			29
400.349	400.350						30	S		30			29
400.350	400.351						30	S		30			29
400.351	400.352						30	S		30			29
400.352	400.353						30	S		30			29
400.353	400.354						30	S		30			29
400.370	400.371						19	C	19				16
400.371	400.372						19	C	19				16
400.372	400.373						19	C	19				16
400.373	400.374						19	C	19				16
400.374	400.375						19	C	19				16
400.375	400.376						19	C	19				16
400.376	400.377						19	C	19				16
400.377	400.378						19	C	19				16
400.378	400.379						19	C	19				16
400.379	400.380						19	C	19				16
400.380	400.381						19	C	19				16
400.381	400.382						19	C	19				16
400.382	400.383						19	C	19				16
400.383	400.384						19	C	19				16
400.384	400.385						19	C	19				16
400.385	400.386						19	C	19				16
400.437	400.438						56	S		56			36
400.438	400.439						56	S		56			36
400.439	400.440						56	S		56			36
400.440	400.441						56	S		56			36
400.441	400.442						56	S		56			36
400.442	400.443						56	S		56			36
400.443	400.444						56	S		56			36
400.444	400.445						56	S		56			36
400.445	400.446						56	S		56			36
400.446	400.447						56	S		56			36
400.447	400.448						56	S		56			36
400.448	400.449						56	S		56			36

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales							Parámetros de curvas verticales						
PR Inicio @1m	PR Final @1m	N° de Curv a HZ	CH	Long CH (m)	Deflexió n (°)	Radi o CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transici ón	L o (m)	L s (m)	N° Curva Vertic al	Lon g CV (m)	Longitud Transici ón CV (m)
400.449	400.450						56	S		56			36
400.450	400.451						56	S		56			36
400.451	400.452						56	S		56			36
400.452	400.453						56	S		56			36
400.453	400.454						56	S		56			36
400.454	400.455						56	S		56			36
400.455	400.456						56	S		56			36
400.456	400.457						56	S		56			36
400.457	400.458						56	S		56			36
400.458	400.459						56	S		56			36
400.459	400.460						56	S		56			36
400.460	400.461						56	S		56			36
400.461	400.462						56	S		56			36
400.462	400.463						56	S		56			36
400.463	400.464						56	S		56			36
400.464	400.465						56	S		56			36
400.465	400.466						56	S		56			36
400.466	400.467						56	S		56			36
400.467	400.468						56	S		56			36
400.468	400.469						56	S		56			36
400.469	400.470						56	S		56			36
400.470	400.471						56	S		56			36
400.471	400.472						56	S		56			36
400.472	400.473						56	S		56			36

Nota: La tabla muestra un subsector de 325m del tramo I

Sectores únicamente con curvas horizontales (SUCH). El alineamiento del eje en planta plano XY es una curva o sucesión de curvas, son elementos cortos en longitud, contienen la longitud constante del peralte y en los extremos las longitudes de transición de peralte positivo a contraperalte cuando son curvas sucesivas y en sentido contrario; el alineamiento del eje en el plano vertical YZ tiene una pendiente constante.

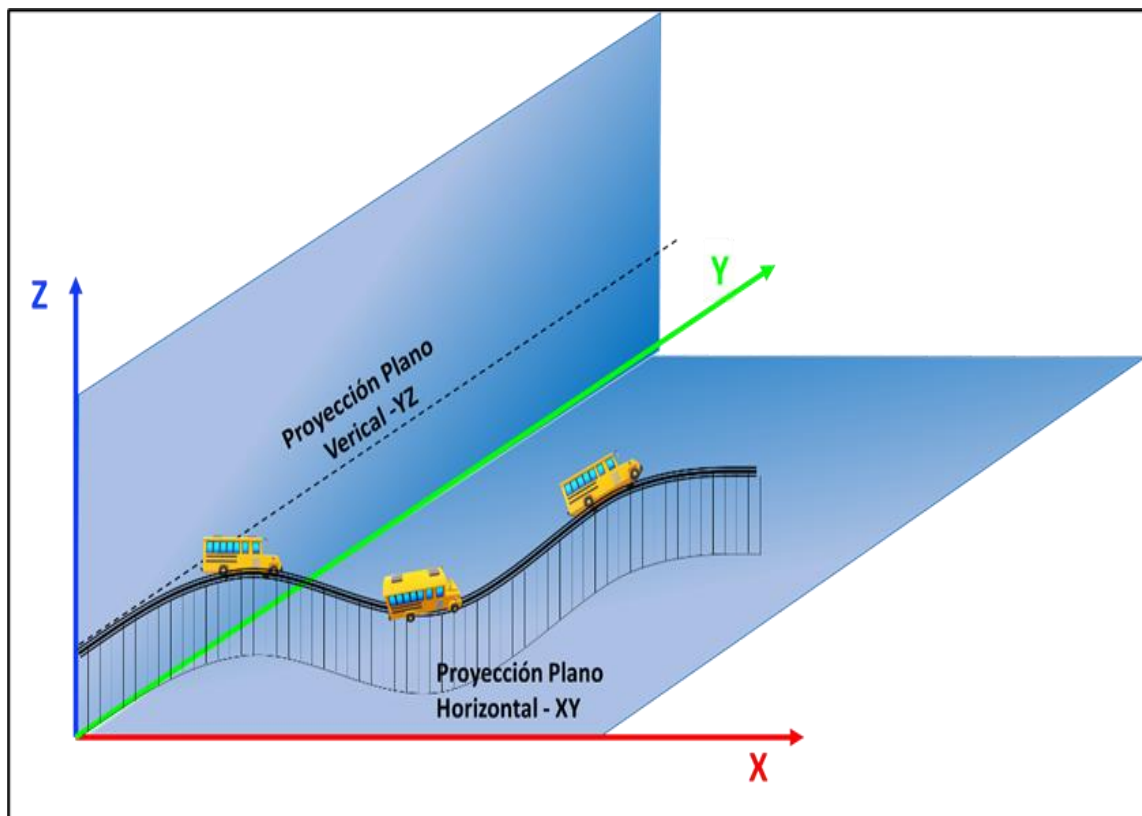
El perfil de las huellas mantiene una pendiente variable en toda la extensión y estos cambian según la longitud de transición, si bien es cierto puede tener un alineamiento del eje constante en el plano YZ, sin embargo, se producen cambios de pendiente del perfil de

la huella y la magnitud de estos cambios dependen de la longitud y radio de la curva, así como a la densidad de curvas en un tramo de la vía.

En la Figura 11 se muestra la proyección del eje del sector únicamente con curvas horizontales (SUCH) en el plano horizontal y el plano vertical.

Figura 11

Proyección del eje SUCH en el plano horizontal y el plano vertical



El impacto en la dinámica del vehículo por el alineamiento horizontal produce aceleraciones horizontales que limitan la velocidad desde el punto de vista de la seguridad y obligan al diseño a dotar de elementos de peralte.

En la Tabla 17 se muestra las características geométricas de un sector con presencia de curvas únicamente horizontales, así como la afectación cualitativa como resultado de la proyección de los perfiles del eje del carril y de las huellas en un plano horizontal y vertical, se puede apreciar que según la geometría existen 5 características desfavorables frente a 1 característica favorable en función del IRI.

Tabla 17*Caract. geométricas para un sector con curvas horizontales y el IRI*

Características Perfil	Pendiente	Alineamiento en planta	Alineamiento vertical	Pendiente Transversal carril
Eje de la vía	Constante	<i>Sinuoso (Desfavorable)</i>	<i>Recto (favorable)</i>	Variable
Eje Huella Der.	Variable	<i>Sinuoso (Desfavorable)</i>	<i>Sinuoso (Desfavorable)</i>	
Eje huella Izq.	Variable	<i>Sinuoso (Desfavorable)</i>	<i>Sinuoso (Desfavorable)</i>	

En la Tabla 18 se muestra la descripción geométrica de un subtramo de la vía desde la progresiva km 399.949 al km 400.212 del tramo I en intervalos de 1m en el cual se muestra los sectores únicamente con curvas horizontales, que son aquellos donde no existe la presencia de ningún tipo de curvas verticales identificados por la columna (Long CH), el cual define la longitud de la curva, este proceso se ha realizado para la totalidad de los tramos I, II y III de la zona de estudio.

Asimismo, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los sectores únicamente con curvas horizontales con sus respectivas longitudes.

Tabla 18*Sectores con curvas horizontales SUCH de un subtramo del Tramo I*

PR Inicio	PR Final	Longitud SUCH (m)
399.949	399.965	16
399.965	399.995	30

PR Inicio	PR Final	Longitud SUCH (m)
400.040	400.046	6
400.120	400.130	10
400.151	400.160	9
400.194	400.212	18

Tabla 19

Descrip. geométrica de sector de Tramo I con curvas horizontales SUCH

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales										Parámetros de curvas verticales		
PR Inicio @1m	PR Final @1m	N° de Curva HZ	Long CH (m)	Deflexión (°)	Radio CH (m)	Long Tipo Lo y de Ls Trans (m)	Lo(m)	Ls(m)	N° Curva Vertical	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)	
399.949	399.950	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.950	399.951	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.951	399.952	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.952	399.953	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.953	399.954	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.954	399.955	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.955	399.956	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.956	399.957	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.957	399.958	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.958	399.959	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.959	399.960	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.960	399.961	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.961	399.962	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.962	399.963	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.963	399.964	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.964	399.965	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15						
399.965	399.966	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105						
399.966	399.967	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105						
399.967	399.968	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105						
399.968	399.969	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105						

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales							Parámetros de curvas verticales						
PR Inicio @1m	PR Final @1m	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Deflexión (°)	Radio CH (m)	Long Tipo Lo y de Ls Trans (m) ición	Lo(m)	Ls(m)	N° Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
399.969	399.970	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.970	399.971	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.971	399.972	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.972	399.973	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.973	399.974	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.974	399.975	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.975	399.976	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.976	399.977	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.977	399.978	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.978	399.979	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.979	399.980	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.980	399.981	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.981	399.982	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.982	399.983	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.983	399.984	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.984	399.985	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.985	399.986	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.986	399.987	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.987	399.988	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.988	399.989	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.989	399.990	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.990	399.991	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.991	399.992	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.992	399.993	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.993	399.994	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.994	399.995	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
400.040	400.041	C3372	CH	6	1°50'35.21"	200							
400.041	400.042	C3372	CH	6	1°50'35.21"	200							
400.042	400.043	C3372	CH	6	1°50'35.21"	200							
400.043	400.044	C3372	CH	6	1°50'35.21"	200							
400.044	400.045	C3372	CH	6	1°50'35.21"	200							
400.045	400.046	C3372	CH	6	1°50'35.21"	200							
400.120	400.121	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.121	400.122	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.122	400.123	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales								Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Deflexión (°)	Radio CH (m)	Long Tipo Lo y de Ls Trans (m) ición	Lo(m)	Ls(m)	N° Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.123	400.124	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.124	400.125	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.125	400.126	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.126	400.127	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.127	400.128	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.128	400.129	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.129	400.130	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52							10
400.151	400.152	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.152	400.153	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.153	400.154	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.154	400.155	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.155	400.156	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.156	400.157	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.157	400.158	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.158	400.159	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.159	400.160	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							12
400.194	400.195	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.195	400.196	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.196	400.197	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.197	400.198	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.198	400.199	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.199	400.200	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.200	400.201	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.201	400.202	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.202	400.203	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.203	400.204	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.204	400.205	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.205	400.206	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.206	400.207	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.207	400.208	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.208	400.209	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.209	400.210	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.210	400.211	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28
400.211	400.212	C3374	CH	61	92°12'32.75"	37.814							28

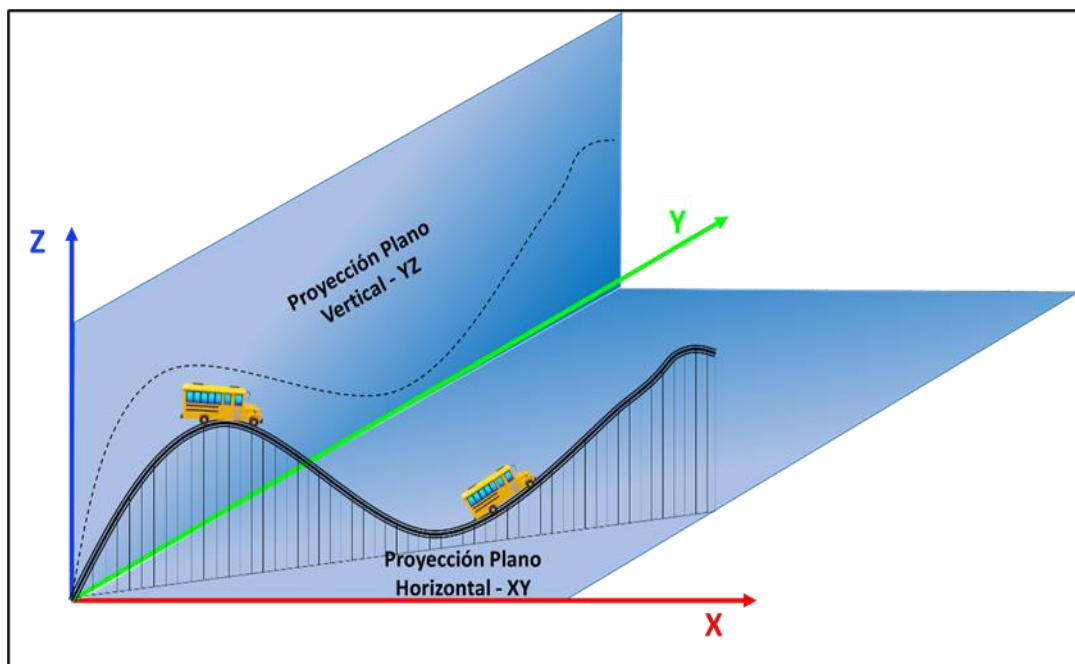
Nota: La tabla muestra un subsector de 263 m del tramo I.

Sectores tangentes con curvas verticales (ST- SCV). El alineamiento del eje en planta en el plano XY es una tangente, el alineamiento del perfil plano YZ tienen una pendiente variable en el caso que no exista una longitud de transición entre ellas, son curvas verticales cóncavas o convexas de longitudes cortas que pueden estar unidas por sectores tangentes, contienen longitudes de transición de peralte o bombeo o viceversa cuanto anteceden o preceden a una curva horizontal, cuando son curvas sucesivas y en sentido contrario estas adoptan una forma ondulada como se muestra en la Figura 12.

El perfil del eje de las huellas es paralelo con el perfil del eje en todo momento, a excepción en aquellos extremos que contienen los elementos de transición con una curva horizontal.

Figura 12

Proyección del eje de ST-SCV en el plano horizontal y vertical



El impacto en la dinámica del vehículo por la forma del perfil es que le produce aceleraciones verticales que limitan la velocidad desde el punto de vista de la seguridad.

En la Tabla 20 se muestra las características geométricas de un sector con presencia de curvas únicamente verticales, así como la afectación cualitativa como

resultado de la proyección de los perfiles del eje del carril y de las huellas en un plano horizontal y vertical, Se puede apreciar que según la geometría existen 3 características desfavorables frente a 3 características favorables en función del IRI.

Tabla 20

Caract. geométricas de sector tangente con curvas verticales ST-SCV e IRI

Características Perfil	Pendiente	Alineamiento planta	Alineamiento vertical	Pendiente Transversal carril
Eje de la vía	Variable	Recto (favorable IRI)	Sinuoso (Desfavorable)	Constante
Eje Huella Der.	Variable	Recto (favorable IRI)	Sinuoso (Desfavorable)	
Eje huella Izq.	Variable	Recto (favorable IRI)	Sinuoso (Desfavorable)	

En la Tabla 21 se muestra la descripción geométrica de un subtramo de la vía desde la progresiva km 400.814 al km 400.904 del tramo I en intervalos de 1 m en el cual se muestra los sectores tangentes con curvas verticales, que son aquellos donde no existe la presencia de ningún tipo de curvas horizontales identificados por la columna Long CV y Longitud de transición CV, el cual define la longitud de la curva y la longitud de transición respectivamente, este proceso se ha realizado para la totalidad de los tramo I, II y III de la zona de estudio.

Asimismo, en la siguiente Tabla 21 se muestra un resumen de los sectores únicamente con curvas verticales con sus respectivas longitudes.

Tabla 21

Sectores tangentes con curvas verticales ST-SCV de un subtramo (Tramo I)

PR Inicio	PR Final	Longitud ST (m)	Longitud SCV (m)
400.814	400.833		19
400.833	400.846	13	

PR Inicio	PR Final	Longitud ST (m)	Longitud SCV (m)
400.846	400.863		17
400.891	400.904	28	

Tabla 22

Sector del Tramo I con sectores tangentes con curvas verticales ST-SCV

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales										Parámetros de curvas verticales			
PR Inicio @1m	PR Final @1m	N° de Curva HZ	Long CH (m)	Deflexión n (°)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición n	Lo(m)	Ls(m)	N° Curva Verti cal	CV	Long CV (m)	Longitud Transición n CV (m)
400.814	400.815					65	C	65		V18	CV	19	
400.815	400.816					65	C	65		V18	CV	19	
400.816	400.817					65	C	65		V18	CV	19	
400.817	400.818					65	C	65		V18	CV	19	
400.818	400.819					65	C	65		V18	CV	19	
400.819	400.820					65	C	65		V18	CV	19	
400.820	400.821					65	C	65		V18	CV	19	
400.821	400.822					65	C	65		V18	CV	19	
400.822	400.823					65	C	65		V18	CV	19	
400.823	400.824					65	C	65		V18	CV	19	
400.824	400.825					65	C	65		V18	CV	19	
400.825	400.826					65	C	65		V18	CV	19	
400.826	400.827					65	C	65		V18	CV	19	
400.827	400.828					65	C	65		V18	CV	19	
400.828	400.829					65	C	65		V18	CV	19	
400.829	400.830					65	C	65		V18	CV	19	
400.830	400.831					65	C	65		V18	CV	19	
400.831	400.832					65	C	65		V18	CV	19	
400.832	400.833					65	C	65		V18	CV	19	
400.833	400.834					65	C	65					13
400.834	400.835					65	C	65					13
400.835	400.836					65	C	65					13
400.836	400.837					65	C	65					13
400.837	400.838					65	C	65					13
400.838	400.839					65	C	65					13
400.839	400.840					65	C	65					13
400.840	400.841					65	C	65					13
400.841	400.842					65	C	65					13

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales								Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	Nº de Curva CH HZ	Long CH (m)	Deflexió n (°)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transició n	Lo(m)	Ls(m)	Nº Curva Verti cal	CV	Long CV (m)	Longitud Transició n CV (m)
400.842	400.843					65	C	65					13
400.843	400.844					65	C	65					13
400.844	400.845					65	C	65					13
400.845	400.846					65	C	65					13
400.846	400.847					65	C	65		V19	CV	17	
400.847	400.848					65	C	65		V19	CV	17	
400.848	400.849					65	C	65		V19	CV	17	
400.849	400.850					65	C	65		V19	CV	17	
400.850	400.851					65	C	65		V19	CV	17	
400.851	400.852					65	C	65		V19	CV	17	
400.852	400.853					65	C	65		V19	CV	17	
400.853	400.854					65	C	65		V19	CV	17	
400.854	400.855					65	C	65		V19	CV	17	
400.855	400.856					65	C	65		V19	CV	17	
400.856	400.857					65	C	65		V19	CV	17	
400.857	400.858					65	C	65		V19	CV	17	
400.858	400.859					65	C	65		V19	CV	17	
400.859	400.860					65	C	65		V19	CV	17	
400.860	400.861					65	C	65		V19	CV	17	
400.861	400.862					65	C	65		V19	CV	17	
400.862	400.863					65	C	65		V19	CV	17	
400.863	400.864					65	C	65					28
400.864	400.865					65	C	65					28
400.865	400.866					65	C	65					28
400.866	400.867					65	C	65					28
400.867	400.868					65	C	65					28
400.868	400.869					65	C	65					28
400.869	400.870					65	C	65					28
400.870	400.871					65	C	65					28
400.871	400.872					65	C	65					28
400.872	400.873					65	C	65					28
400.873	400.874					65	C	65					28
400.874	400.875					65	C	65					28
400.875	400.876					65	C	65					28
400.876	400.877					65	C	65					28
400.877	400.878					65	C	65					28
400.878	400.879					65	C	65					28
400.879	400.880					65	C	65					28

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales								Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	Nº de Curva CH HZ	Long CH (m)	Deflexió n (º)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transició n	Lo(m)	Ls(m)	Nº Curva Verti cal	CV	Long CV (m)	Longitud Transició n CV (m)
400.880	400.881					65	C	65					28
400.881	400.882					65	C	65					28
400.882	400.883					65	C	65					28
400.883	400.884					65	C	65					28
400.884	400.885					65	C	65					28
400.885	400.886					65	C	65					28
400.886	400.887					65	C	65					28
400.887	400.888					65	C	65					28
400.888	400.889					64	C	64					28
400.889	400.890					64	C	64					28
400.890	400.891					64	C	64					28
400.891	400.892					64	C	64		V20	CV	13	
400.892	400.893					64	C	64		V20	CV	13	
400.893	400.894					64	C	64		V20	CV	13	
400.894	400.895					64	C	64		V20	CV	13	
400.895	400.896					64	C	64		V20	CV	13	
400.896	400.897					64	C	64		V20	CV	13	
400.897	400.898					64	C	64		V20	CV	13	
400.898	400.899					64	C	64		V20	CV	13	
400.899	400.900					64	C	64		V20	CV	13	
400.900	400.901					64	C	64		V20	CV	13	
400.901	400.902					64	C	64		V20	CV	13	
400.902	400.903					64	C	64		V20	CV	13	
400.903	400.904					64	C	64		V20	CV	13	

Nota: La tabla muestra un subsector de 263 m del tramo I

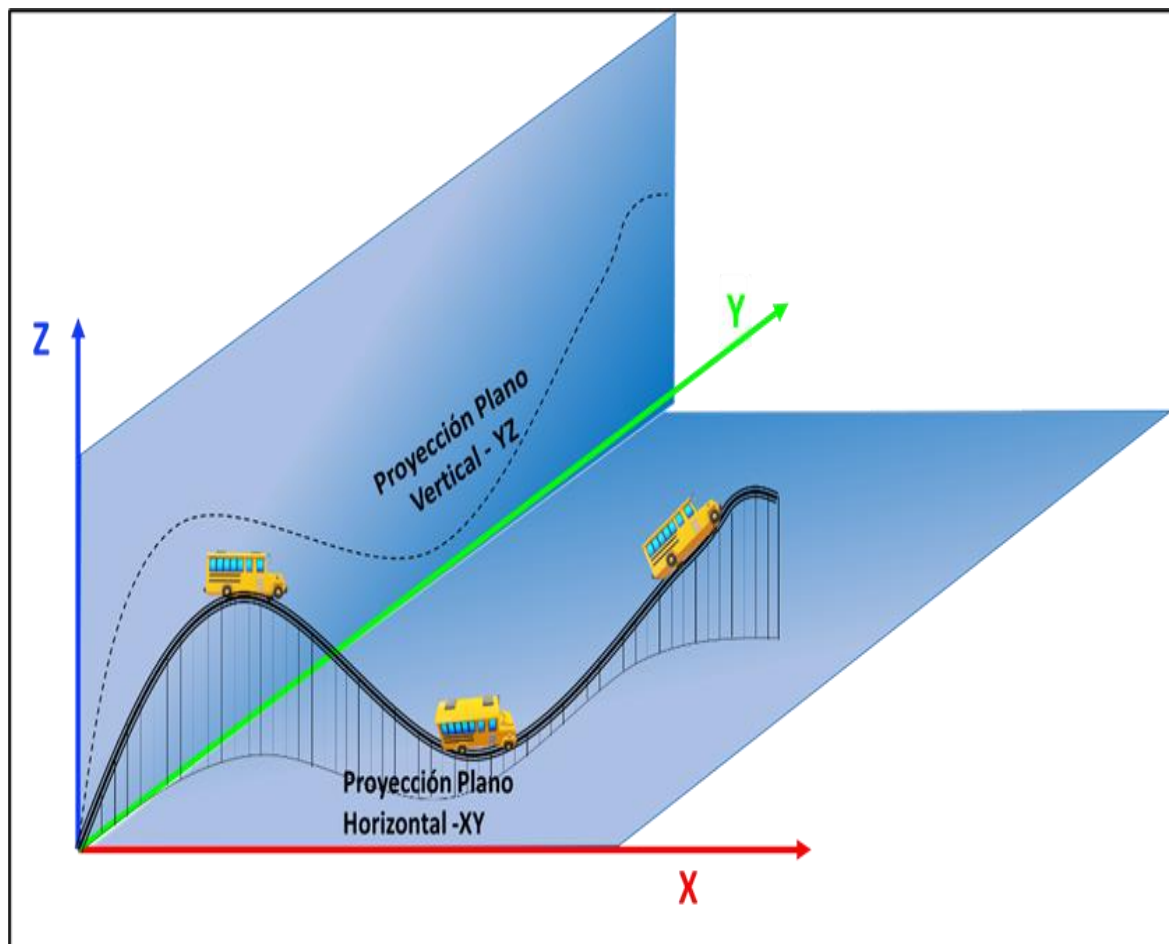
Sectores con curvas horizontales y verticales (SCH-SCV). El alineamiento en planta plano XY es una curva o sucesión de curvas, son elementos cortos en longitud, contienen la longitud constante del peralte y en los extremos las longitudes de transición de peralte positivo a contraperalte cuando son curvas sucesivas y en sentido contrario; el alineamiento del eje en planta plano XY es una curva o sucesión de curvas, el alineamiento del perfil del eje en el plano YZ tienen una pendiente variable, son curvas verticales cóncavas o convexas de longitudes cortas, contienen longitud constante del peralte o bombeo o longitudes de transición de bombeo a peralte o de peralte a bombeo.

El alineamiento de eje del perfil de las huellas sufre la mayor alteración tanto por el trazo vertical y horizontal.

En la Figura 13 se muestra la Proyección del eje del sector con curva horizontales y verticales (SCH-SCV) en el plano horizontal y vertical.

Figura 13

Proyección del eje del SCH-SCV en el plano horizontal y vertical



El impacto en la dinámica del vehículo por la forma del perfil es que le produce aceleraciones verticales y horizontales que limitan la velocidad desde el punto de vista de la seguridad vial, esta es la situación más adversa en una carretera que la norma prohíbe, sin embargo, por las características del proyecto estas se presentan con mucha frecuencia a lo largo de todo el corredor.

En la Tabla 23 se muestra las características geométricas de un sector con presencia de curvas horizontales y verticales, así como la afectación cualitativa como resultado de la proyección de los perfiles del eje del carril y de las huellas en un plano horizontal y vertical, Se puede apreciar que según la geometría existen 6 características desfavorables frente a ninguna característica favorable en función del IRI.

Tabla 23

Sector con curvas horizontales y verticales SCH-SCV y el IRI

Características Perfil	Pendiente	Alineamiento planta	Alineamiento vertical	Pendiente Transversal carril
Eje de la vía	Variable	<i>Sinuoso</i> <i>(Desfavorable)</i>	<i>Sinuoso</i> <i>(Desfavorable)</i>	
Eje Huella Der	Variable	<i>Sinuoso</i> <i>(Desfavorable)</i>	<i>Sinuoso</i> <i>(Desfavorable)</i>	Variable
Eje huella Izq	Variable	<i>Sinuoso</i> <i>(Desfavorable)</i>	<i>Sinuoso</i> <i>(Desfavorable)</i>	

En la Tabla 24 se muestra la descripción geométrica de un subtramo de la vía desde la progresiva km 400.814 al km 400.904 del tramo I en intervalos de 1m en el cual se muestra los sectores tangentes con curvas verticales, que son aquellos donde no existe la presencia de ningún tipo de curvas horizontales identificados por la columna Long CV y Longitud de transición CV, el cual define la longitud de la curva y la longitud de transición respectivamente, este proceso se ha realizado para la totalidad de los tramos I, II y III de la zona de estudio.

Asimismo, en la Tabla 25 se muestra un resumen de los sectores únicamente con curvas horizontales con sus respectivas longitudes.

Tabla 24

Sector con curva horizontal y vertical SCH-SCV de subtramo (Tramo I)

PR Inicio	PR Final	Longitud SCH-SCV (m)
400.097	400.120	23
400.130	400.133	3
400.160	400.194	34
400.222	400.244	22

Tabla 25

Sector de la vía del Tramo I con curvas horizontales SCH-SCV

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales										Parámetros de curvas verticales			
PR Inicio	PR Final	N° de Curva	CH	Long CH (m)	Deflexión (°)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	Long Lo(m)	Ls(m)	N° Curva Vertical	CV	Longitud Transición CV (m)
400.097	400.098	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.098	400.099	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.099	400.100	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.100	400.101	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.101	400.102	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.102	400.103	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.103	400.104	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.104	400.105	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.105	400.106	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.106	400.107	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.107	400.108	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.108	400.109	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.109	400.110	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.110	400.111	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.111	400.112	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.112	400.113	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.113	400.114	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.114	400.115	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26
400.115	400.116	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52					V1	CV	26

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales										Parámetros de curvas verticales				
PR	N° de		Long	Deflexión	Radio	Tipo		N°	Long	Longitud				
Inicio	PR Final	Curva				Long	de							
@1m	@1m	HZ	CH (m)	(°)	CH (m)	Lo y Ls (m)	Tran si ción	Vertical	(m)	CV (m)	CV (m)	Transición	CV (m)	
400.116	400.117	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52		V1	CV	26				
400.117	400.118	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52		V1	CV	26				
400.118	400.119	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52		V1	CV	26				
400.119	400.120	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52		V2	CV	18				
400.130	400.131	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52		V2	CV	18				
400.131	400.132	C3373	CH	36	40°09'33.00"	52		V2	CV	18				
400.160	400.161	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.161	400.162	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.162	400.125	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.163	400.126	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.164	400.127	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.165	400.128	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.166	400.129	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.167	400.130	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.168	400.131	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.169	400.132	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.170	400.133	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.171	400.134	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.172	400.135	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.173	400.136	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.174	400.137	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.175	400.138	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.176	400.139	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.177	400.140	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.178	400.141	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.179	400.142	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.180	400.143	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.181	400.144	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.182	400.145	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.183	400.146	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.184	400.147	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.185	400.148	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.186	400.149	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.187	400.150	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.188	400.151	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				
400.189	400.152	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38		V3	CV	34				

TRAMO I KM3 Parámetros de curvas horizontales								Parámetros de curvas verticales				
PR	PR Final @1m	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Deflexión (°)	Radio CH (m)	Long de Lo y Ls (m)	Tipo de Tran si ción	N° Curva Vertical	CV (m)	Long CV (m)	Longi tud Transi ción CV (m)
Inicio @1m												
400.190	400.153	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38			V3	CV	34	
400.191	400.154	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38			V3	CV	34	
400.192	400.155	C3374	CH	61	92°12'32.75"	38			V3	CV	34	
400.222	400.223	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.223	400.224	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.224	400.225	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.225	400.226	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.226	400.227	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.227	400.228	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.228	400.229	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.229	400.230	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.230	400.231	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.231	400.232	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.232	400.233	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.233	400.234	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.234	400.235	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.235	400.236	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.236	400.237	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.237	400.238	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.238	400.239	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.239	400.240	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.240	400.241	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.241	400.242	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.242	400.243	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	
400.243	400.244	C3375	CH	53	8°47'31.79"	346			V4	CV	22	

Nota: La tabla muestra un subsector de 263m del tramo I de manera ilustrativa

3.1.2 Resumen de Parámetros Geométricos del Trazo Horizontal y Vertical.

3.1.2.1 Curvas Horizontales. Para describir la sinuosidad de la vía al nivel de trazo en planta, en la siguiente tabla se muestra un resumen de curvas horizontales presentes en los tramos I, II y III de la zona de estudio, en el Anexo V se muestra el detalle de cada una incluyendo los parámetros de diseño.

Tabla 26

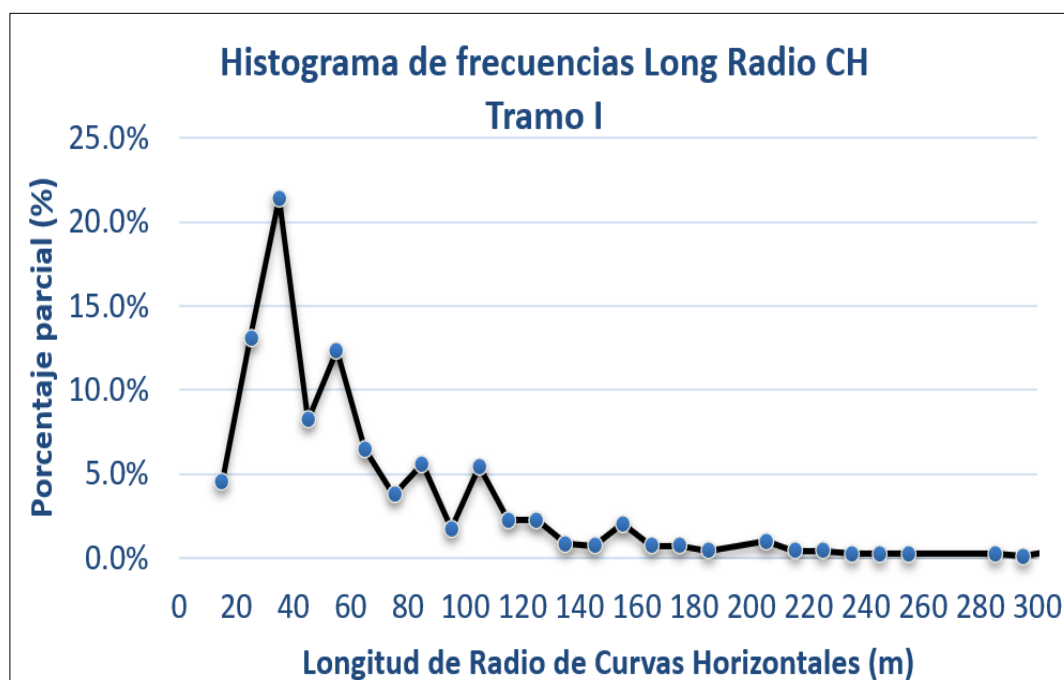
Resumen de curvas horizontales de los tramos de estudio

Tramo	Cantidad (Und)	Longitud Total (m)	Longitud promedio (m)	% del Tramo	Curvas Prom por km
Tramo I	674	14,997	22.25	43%	19.11
Tramo II	1698	34,850	20.52	51%	24.98
Tramo III	1576	54,068	34.31	54%	15.71

En adelante se muestra la distribución de las longitudes de radio de curvas horizontales por tramos, en la siguiente se muestra para el Tramo I.

Figura 14

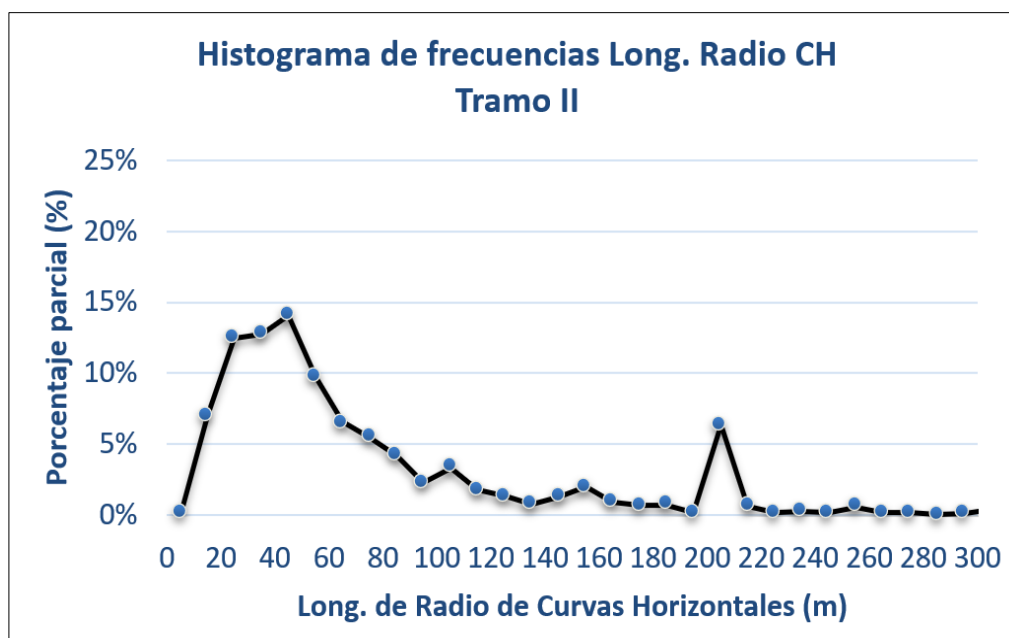
Distribución de frecuencias según las longitudes de Radio (Tramo I)



En la siguiente figura observamos la distribución de las longitudes de radio de curvas horizontales del tramo II.

Figura 15

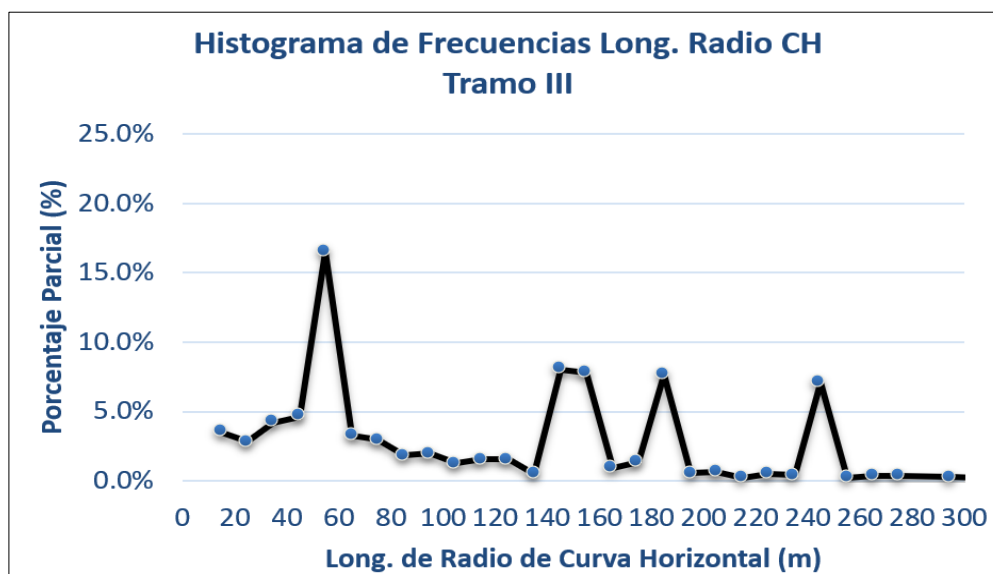
Distribución de frecuencias según las longitudes de Radio (Tramo II)



En la siguiente figura observamos la distribución de las longitudes de radio de curvas horizontales del tramo III.

Figura 16

Distribución de frecuencias según las longitudes de Radio (Tramo III)

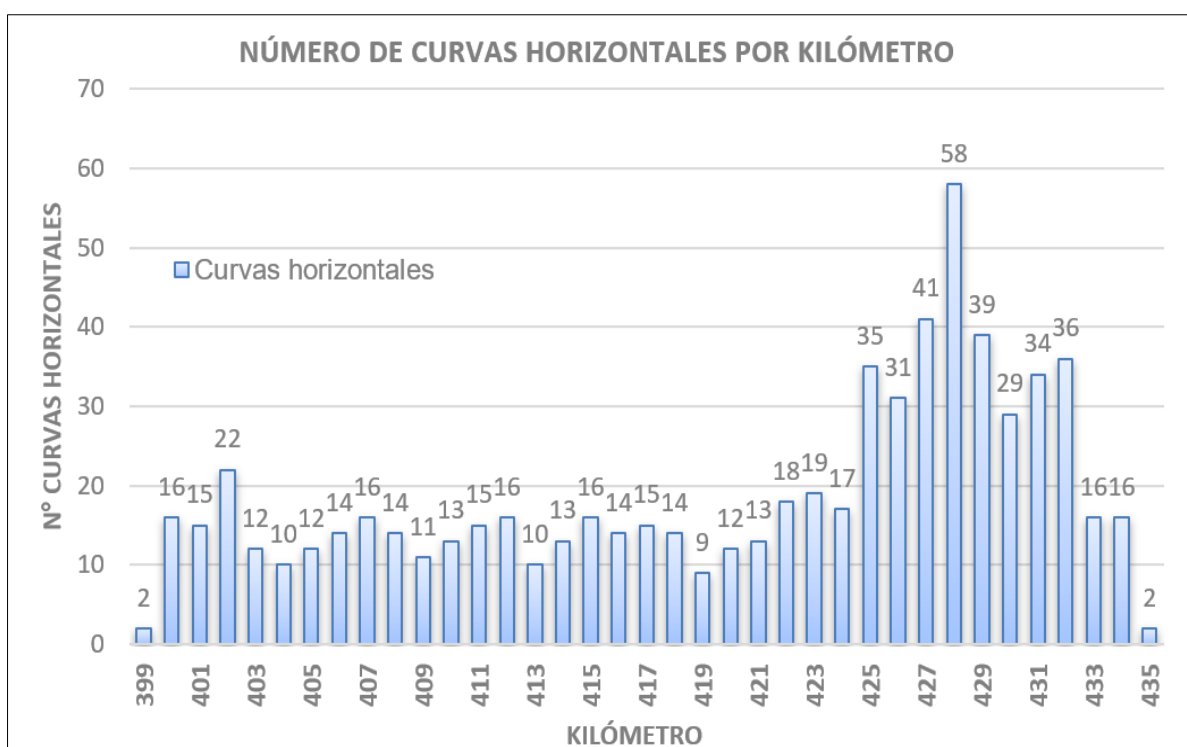


De las gráficas de los Tramos I y II se observa que el porcentaje (%) para las longitudes de radios menores a 40 m predominan en comparación con el Tramo III se presentan en menor proporción, esto guarda sentido con la sinuosidad de los tramos.

En la Figura 17 se muestra la cantidad de curvas que existen por cada kilómetro del tramo I. Se observa que el promedio de curvas por cada kilómetro es igual a 19 unidades, con una longitud promedio de 22.25 m, valor significativamente inferior a la longitud mínima de 90m establecida por la norma para una velocidad de diseño de 30km/h.

Figura 17

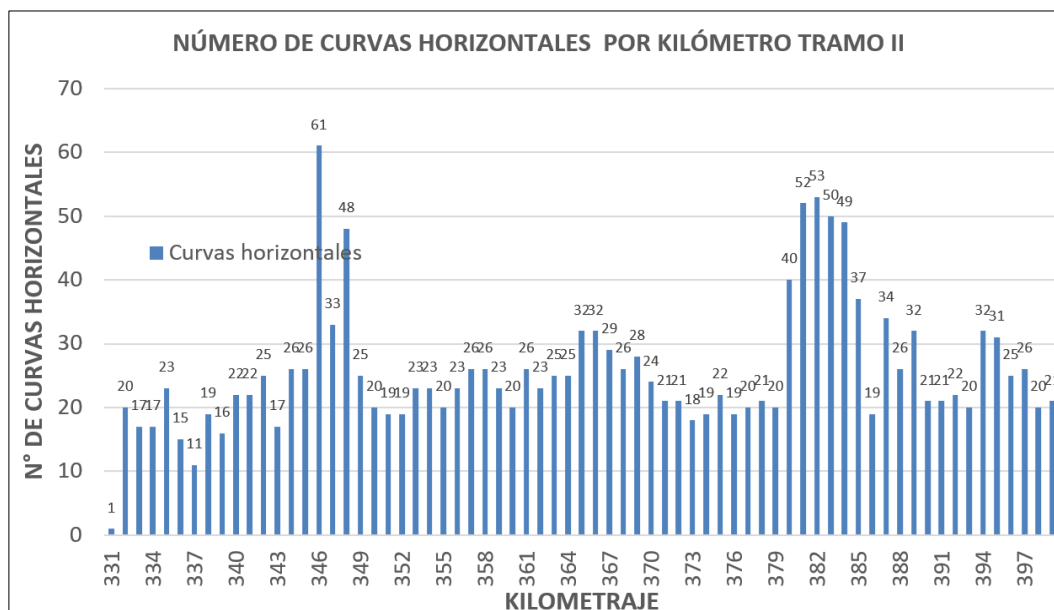
Cantidad de curvas horizontales por kilómetro (Tramo I)



En la Figura 18 se muestra la cantidad de curvas que existen por cada kilómetro del tramo II. Se observa que el promedio de curvas horizontales por cada kilómetro es igual a 25 unidades, con una longitud promedio es de 20.52 m, valor significativamente inferior a la longitud mínima de 90m establecida por la norma para una velocidad de diseño de 30km/h.

Figura 18

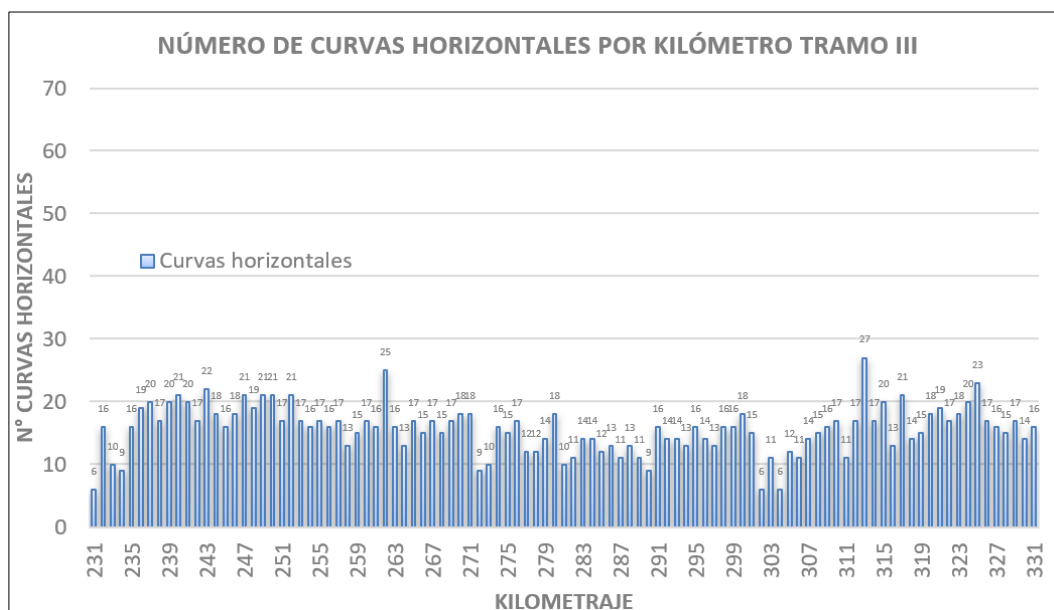
Cantidad de curvas horizontales por kilómetro (Tramo II)



En la Figura 19 se muestra la cantidad de curvas que existen por cada kilómetro del tramo III. Se observa que el promedio de curvas horizontales por cada kilómetro es igual a 16 unidades, la longitud promedio es de 34.3 m, valor significativamente inferior a la longitud mínima de 90m establecida por la norma para una velocidad de diseño de 30km/h.

Figura 19

Cantidad de curvas horizontales por kilómetro (Tramo III)



3.1.2.2 Curvas Verticales. Para describir el alineamiento del trazo geométrico en el plano vertical, en la siguiente tabla se muestra un resumen de curvas verticales presentes en los tramos I, II y III de la zona de estudio. en el Anexo VI se muestra el detalle de cada una incluyendo los parámetros de diseño.

Tabla 27

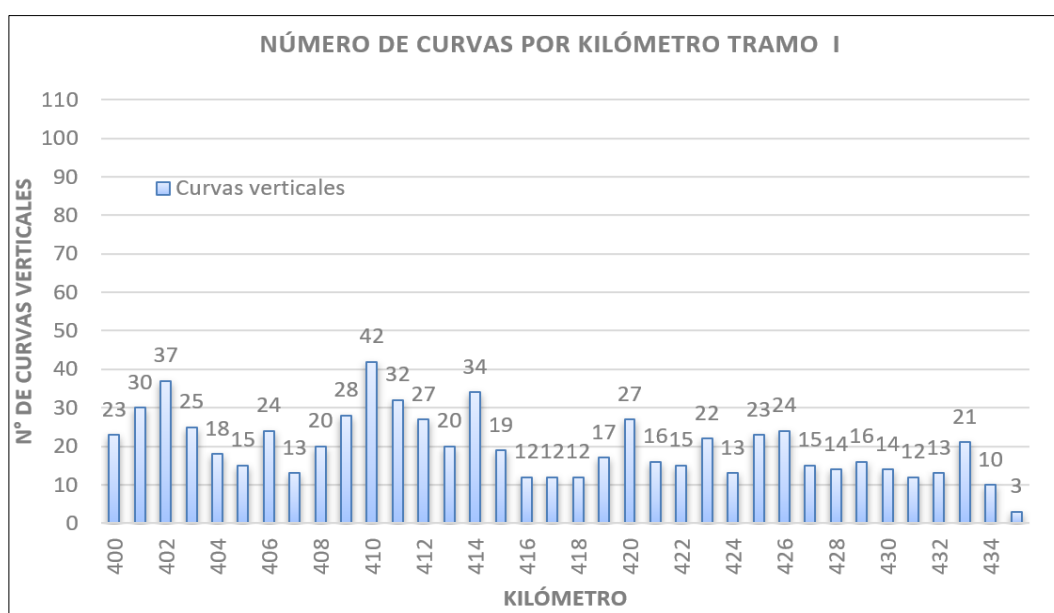
Resumen de curvas verticales de los tramos de estudio

Tramo	Cantidad (Und)	Longitud Total (m)	Longitud promedio (m)	% del Tramo	Curvas Prom por Km
Tramo I	718	13,458	18.17	38%	20.36
Tramo II	2468	24,884	10.08	37%	36.30
Tramo III	1954	49,176	25.17	49%	19.47

En la Figura 20 se muestra la cantidad de curvas verticales que existen por cada kilómetro del tramo I, el promedio de curvas horizontales por cada kilómetro es igual a 20 unidades, la longitud promedio es de 18 m, esta situación refleja la forma sinusoidal u ondulaciones que presenta la vía.

Figura 20

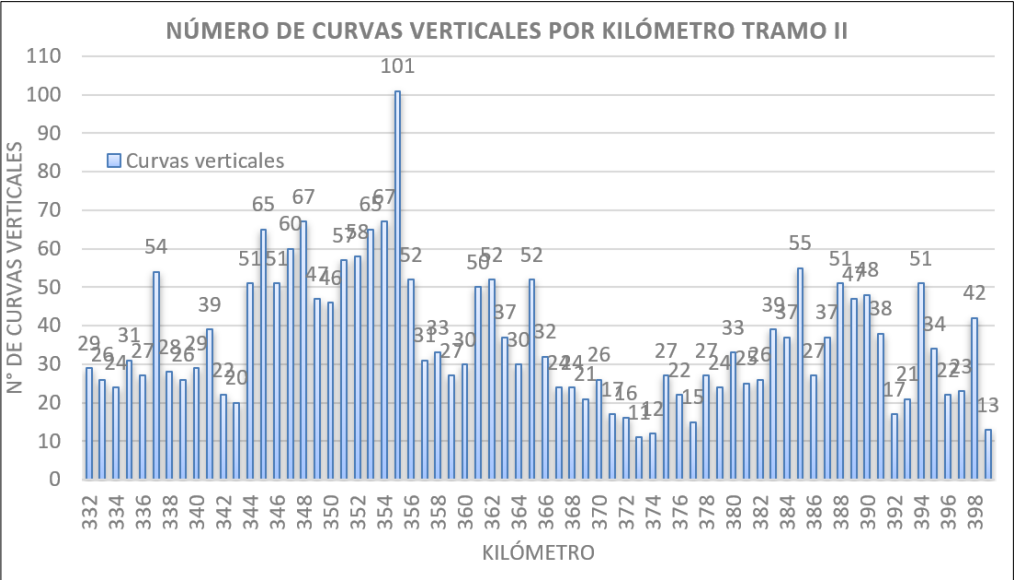
Cantidad de curvas verticales por kilómetro (Tramo I)



En la Figura 21 se muestra la cantidad de curvas verticales que existen por cada kilómetro del tramo II, el promedio de curvas horizontales por cada kilómetro es igual a 36

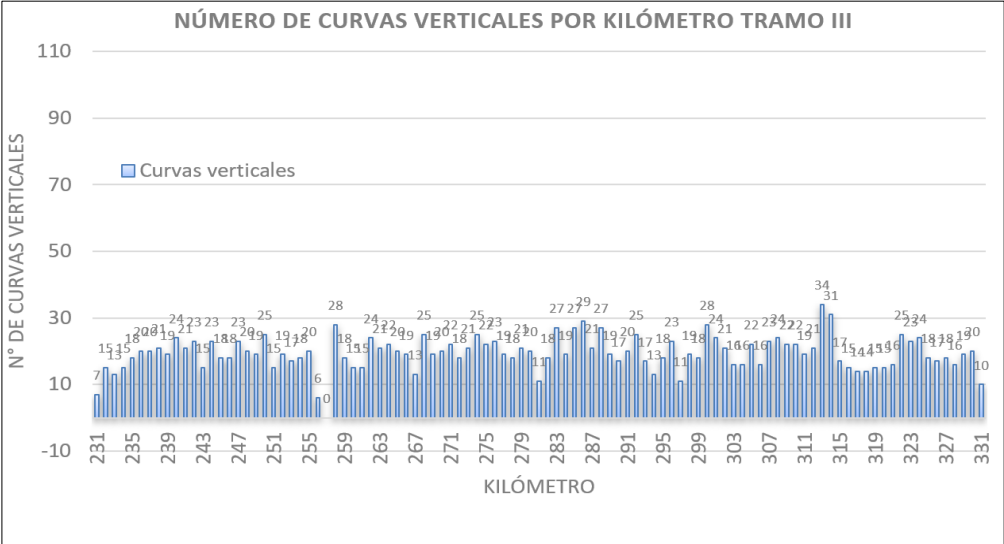
unidades, la longitud promedio es de 10.8 m, esta situación refleja las ondulaciones que presenta la vía.

Figura 21
Cantidad de curvas verticales por kilómetro (Tramo II)



En la Figura 22 se muestra la cantidad de curvas verticales que existen por cada kilómetro del tramo III, el promedio de curvas horizontales por cada kilómetro es igual a 19 unidades, la longitud promedio es de 25 m, esta situación refleja las ondulaciones que presenta la vía.

Figura 22
Cantidad de curvas verticales por kilómetro (Tramo III)



3.2 Parámetros Geométricos Considerados en el Estudio.

Considerando que el IRI es la acumulación de desplazamientos producidos por modelo dinámico teórico, generado por el perfil de una huella de un pavimento, entonces es importante analizar qué elementos geométricos de la vía generan cambios en el alineamiento vertical del perfil representativo de la huella.

3.2.1 Parámetros de las Curvas Horizontales.

En la siguiente tabla se lista como muestra un grupo de curvas horizontales con los parámetros geométricos del trazo, a partir de la cual se ha extraído los parámetros geométricos como la longitud de radio, longitud de curva y la longitud de transición entre curvas horizontales en sentido opuesto para establecer el tipo de correlación con el IRI, los parámetros corresponden a los planos de replanteo después de la ejecución del mejoramiento el cual se realizó entre el 2017 y 2018, en el Anexo V se muestra a detalle con sus parámetros geométricos.

Tabla 28

Parámetros geométricos del trazo horizontal de la vía para la investigación

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL										
CURVA Nº	ANG	SENTI DO	RADIO	TANG	EXTER NA	PC	PI	PT	PI	LCH
PI-108	41°33'51.88"	I	99.363	37.709	6.915	231+584	231+584	231+657	231+622	73
PI-110	17°42'06.87"	D	103.425	16.105	1.246	231+719	231+719	231+751	231+735	32
PI-111	52°02'06.26"	I	117.635	57.419	13.265	231+766	231+766	231+873	231+823	107
PI-112	7°05'24.68"	I	231.747	14.357	0.444	231+896	231+896	231+925	231+911	29
PI-113	8°46'11.38"	D	125.359	9.613	0.368	231+953	231+953	231+972	231+963	19
PI-114	34°03'25.95"	I	75.718	23.191	3.472	231+972	231+972	232+017	231+996	45
PI-115	16°01'03.41"	D	95.994	13.506	0.945	232+106	232+106	232+133	232+120	27
PI-116	16°21'55.54"	I	55.691	8.008	0.573	232+161	232+161	232+177	232+169	16

Nota: Datos del proyecto de conservación Chinchaypujio

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros geométricos de curva horizontal de los tramos del estudio.

Tabla 29*Resumen de curvas horizontales de los tramos de estudio*

Tramo	Cantidad (Und)	Longitud Total (m)	Longitud promedio (m)	% del Tramo	Curvas Prom por km
Tramo I	674	14,997	22.25	43%	19.11
Tramo II	1698	34,850	20.52	51%	24.98
Tramo III	1576	54,068	34.31	54%	15.71

3.2.2 Parámetros de las Curvas Verticales

En la siguiente tabla se muestra un grupo como muestra de curvas verticales con sus parámetros geométricos del trazo vertical, a partir de la cual se ha extraído la información de longitud de curvas verticales y la longitud de transición entre curvas verticales para establecer el tipo de correlación con los valores de IRI, los parámetros corresponden a los planos de replanteo después de la ejecución del mejoramiento el cual se realizó entre el 2017 y 2018, en el Anexo VI se muestra a detalle con sus parámetros geométricos.

Tabla 30*Parámetros geométricos del trazo vertical de la vía para la investigación.*

CUADRO DE CURVAS VERTICALES							
PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LCV	Curva
231+585	231+596	231+606	3,620.41	3,620.43	3,620.20	21.00	Convexa
231+608	231+628	231+649	3,620.18	3,619.74	3,619.10	41.00	Convexa
231+649	231+653	231+656	3,619.08	3,618.97	3,618.90	7.00	Cóncava
231+755	231+761	231+767	3,617.04	3,616.92	3,616.93	12.00	Cóncava
231+814	231+829	231+844	3,616.99	3,617.01	3,616.81	30.00	Convexa
231+879	231+883	231+888	3,616.33	3,616.27	3,616.23	9.00	Cóncava
231+920	231+959	231+998	3,615.93	3,615.59	3,614.43	78.00	Convexa
232+117	232+131	232+144	3,610.51	3,610.06	3,610.22	27.00	Cóncava

Nota: Datos del proyecto de conservación vial Chinchaypujio

Capítulo IV. Evaluación del IRI en el Proyecto

4.1 Descripción General del Proyecto

De acuerdo con el Programa de Gestión Vial, clasifica al corredor vial por las características geométricas como una carretera tipo trocha carrozable, con un pavimento básico, con anchos variables de 3.00m a 5.10 m de una sola vía y un mejoramiento en algunos sectores críticos hasta tener un ancho de 4.5 m.

El Plan de Gestión Vial, indica que las velocidades de operación registradas son de 20 a 40 km/h para los sectores donde el afirmado se encontraba en estado regular, mientras que en los sectores con afirmado en buen estado las velocidades se encontraban entre los 25 a 50 km/h, también podemos advertir que, por un tema de seguridad vial, la velocidad de operación está ligado a las características geométricas de la vía y a la calidad de la superficie.

Asimismo, en el Plan de Gestión Vial la clasificación de la Red Vial está en función de la demanda, como se muestra en la siguiente Figura 33, el manual de diseño geométrico DG-2018 para una vía de tercera clase la calzada indica que la vía debe contar con 2 carriles de 3.00 m por carril (excepcionalmente 2.50m) y para una trocha carrozable la calzada debe tener un ancho mínimo de 4.00m, esto demuestra que la Ruta PE-3SF estudiada se encuentra mal clasificada por no cumplir las características geométricas.

Tabla 31

Clasificación por demanda

Tramo	Demanda
Tramo 1	Segunda Clase / Tercera Clase
Tramo 2	Trocha Carrozable
Tramo 3	Trocha Carrozable / Segunda Clase

Nota: Tomado de la fuente PGV

Por otro lado, la clasificación de la red vial por orografía nos indica que nos encontramos en un terreno con una geografía complicada que presenta grandes dificultades en el trazado que no es materia del presente documento, en la siguiente tabla se detalla la clasificación por tramos.

Tabla 32

Clasificación por orografía

Tramo	Orografía
Tramo 1	Tipo 1, 2 y 3
Tramo 2	Tipo 1, 2 y 3
Tramo 3	Tipo 1, 2, 3 y 4

Nota: Tomado de la fuente PGV

La clasificación de la vía aún después de la etapa de mejoramiento en general mantiene sus características geométricas iniciales de trocha carrozable, Además como indica en el TDR en caso el tráfico se incremente considerablemente y de manera sostenible en el corredor vial, se podrá iniciar el ciclo del proyecto de inversión pública (perfil, factibilidad y estudios definitivos) para mejorar la capacidad del tramo ensanchando la vía, y mejorando su capacidad estructural a nivel de carpeta asfáltica con todos los elementos de drenaje, obras de arte, señalización, etc., según se indica en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras y de acuerdo a la normatividad vigente.

Desde el caso geométrico se presentan sectores con calzadas angostas, curvas de vuelta o de desarrollo con radios reducidos y carentes de una distancia mínima de visibilidad de parada, además de trazos sinuosos, de estos se intervinieron 64 sectores de la ruta en el tramo estudiado que suman una longitud 24.93 km y representan un 12,21% del tramo estudiad.

El Proyecto en conformidad a los Términos de Referencia se ha dividido en 4 tramos como se observa en la siguiente tabla, de los cuales nuestro estudio se basa en los tramos 1, 2 y 3.

Tabla 33

Tramos del Proyecto

N°	Tramo	Ruta	Tramo				
			Inicio	km	Fin	km	Long
1	Tramo 1	PE-3SF	Chinchaypujio	399+920	Emp. PE-3S	435+174	35.264
2	Tramo 2	PE-3SF	Cotabambas	331+934	Chinchaypujio	399+920	67.986
3	Tramo 3	PE-3SF	Pte. Ichuray	231+584	Cotabambas	331+934	100.35
4	Tramo 4	PE-3SF	Challhuahuacho	219+882	Dv. Pamputa	231+584	11.702

4.2 Metodología de Evaluación del IRI

La medición de rugosidad IRI se realizó mediante un equipo de alto rendimiento denominado Perfilómetro Láser Mark IV, modelo Dynatest, RSP 5051 (Road Surface Profilometer, RSP).

4.2.1 Equipo de Medición

El perfilómetro láser Mark IV es un equipo de medición clasificado por Banco Mundial como Clase 1, sin embargo, a diferencia de otros equipos de esta misma clase, las incertidumbres asociadas con el vehículo, tales como la suspensión, la velocidad o la vibración del vehículo, son eliminadas midiendo directamente un perfil sobre cada huella a través del cual calcula el IRI. El sistema es adecuado para su uso en carreteras y es capaz de recolectar varios kilómetros de datos a una velocidad oscilante entre 20 km/h a 110 km/h.

El sistema de medición se compone de dos acelerómetros inerciales (uno por huella) cuya función es de neutralizar los desplazamientos verticales por efectos de vibración y dos láseres ubicados en la parte delantera (uno por huella), el cual registra la

distancia entre el dispositivo y la superficie el cual mediante un odómetro instalado en el vehículo halla el perfil para calcular inmediatamente el valor del IRI.

Figura 23

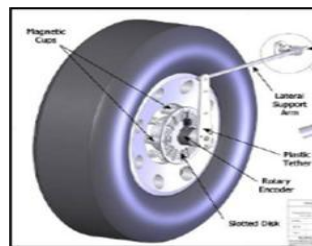
Componentes Principales



LASER



ACELERÓMETRO



ENCODER (ODÓMETRO)



SISTEMA DE GEORREFERENCIACIÓN GPS

Los accesorios y componentes utilizados del equipo son los siguientes:

- ✓ DPU (Unidad de procesamiento fijado en la Barra transversal)
- ✓ Distanciómetro DMI
- ✓ Acelerómetro izquierdo y derecho (LA, RA)
- ✓ Láser izquierdo y derecho (LW, RW)
- ✓ Sistema de posicionamiento GPS
- ✓ PC (laptop de procesamiento)
- ✓ Vehículo de evaluación

Luego de culminar con la evaluación en campo, los datos base son almacenados en archivos de extensión RSP según la configuración de prueba (Test Setup) a partir del

cual con la opción Report se pueden generar reportes de IRI, RI Number y eventos en archivos diferentes con extensión .IRI y .EVT los cuales pueden ser abiertos con Microsoft Word o con cualquier editor de texto.

4.2.2 Proceso de Calibración del Equipo

La calibración del equipo lo realiza por el fabricante de manera anual no obstante a ello antes de iniciar con la evaluación se realizan calibraciones relativas de los componentes del equipo.

Los 2 láseres utilizados para obtener el perfil son calibrados con el bloque metálico que cuenta con dimensiones definidas de 25mmx50mmx75mm, los cuales deben de tener una precisión menor a 0.1mm para considerarse una evaluación de clase1

Los 2 acelerómetros que aseguran un sistema inercial son calibrados de acuerdo con la ubicación geográfica donde se realiza la evaluación.

El enconder o distanciómetro es el componente que brinda la longitud referencial, este dispositivo se calibra en un tramo definido con topografía de 1km de longitud.

Estos 3 componentes integrados permiten representar el perfil de la huella para posteriormente en tiempo real mediante el modelo matemático del cuarto de carro calcular el Índice de Rugosidad Internacional IRI

En la siguiente Figura 24 se muestra el perfilómetro utilizado acondicionado en la parte delante del vehículo, así como en la Figura 25 se muestra el certificado de calibración que garantiza la calidad de los resultados, en el Anexo II se muestra un panel fotográfico de la medición.

Figura 24

Perfilómetro Láser Mark IV



Figura 25

Certificado de calibración



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

DATOS DEL SOLICITANTE:

Empresa solicitante: **CONCAR S.A.**
Dirección: **Av. Petit Thouars Nro. 4957 – Miraflores, Lima, Perú.**

DATOS DEL EQUIPO:

NOMBRE DEL EQUIPO: **PERFILOMETRO LASER**
MARCA: **DYNATEST**
MODELO: **5051-4-203 DYNATEST RSP**
N.º DE SERIE: **203**

METODOLOGÍA APLICADA

LA METODOLOGÍA APLICADA ESTUVO ENMARCADA EN LO INDICADO POR LA **NORMA ASTM E950-94**. ADJUNTO A ESTE DOCUMENTO SE REMITE EL REPORTE DE MANTENIMIENTO (MAINTENANCE REPORT). LO CUAL GARANTIZA LOS RESULTADOS PRECISOS Y EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

CALIBRACIÓN Y/O MANTENIMIENTO

FECHA	MANTENIMIENTO	CALIBRACIÓN	FECHA PROXIMA CALIBRACION	OBSERVACION
19/08/2020	NO	SI	12 MESES	

RESPONSABLE TECNICO DE LA CALIBRACIÓN:

JUAN JOSÉ GARCÍA ESPINOSA
SERVICE ENGINEER
DYNATEST PERÚ S.A.C.
jgarcia@dynatestlatam.com

4.2.3 Singularidades y Eventos

En los TDR indica que Las mediciones se deben realizar sin tener en consideración las alteraciones que produzcan las gibas, pontones, puentes, badenes y puntos críticos u otro elemento ajeno a la superficie de rodadura.

Asimismo, la EG-2013 (Pag 349) indica lo siguiente: “Singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementan el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, etc., los cuales serán definidos por el Supervisor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder con la determinación del IRI”

En mención a lo indicado definimos las siguientes singularidades y eventos para la ruta PE-3SF, los mismos que se presentan unos con más frecuencia que otros:

a) Singularidades

Tomando en consideración las EG-2013 se lista las siguientes singularidades

- ✓ Puentes y Pontones
- ✓ Badenes
- ✓ Reductores de velocidad
- ✓ Pozos de inspección
- ✓ Cruces importantes
- ✓ Peajes
- ✓ Pesajes
- ✓ Buzones

b) Eventos de operación.

- ✓ Paradas de emergencia
- ✓ Adelantamientos
- ✓ Cruces con vehículos usuarios
- ✓ Condiciones fuera de las especificaciones técnicas del equipo (velocidades menores a 20km/h)

- ✓ Desvíos (atajos por interrupciones en la vía)
- ✓ Vehículo de medición fuera de calzada (Por medidas de seguridad)

c) Eventos estacionales

- ✓ Caída de rocas
- ✓ Deslizamiento de lodo y tierra
- ✓ Obstáculos en la vía.
- ✓ Trabajos en la vía (intervenciones de mantenimiento, instalación de servicio público)

Asimismo, debemos indicar que en los contratos de conservación y/o mantenimiento vial actualmente el Ministerio de Transporte y Comunicaciones indica que sean tratados como Singularidad a los Puntos Críticos, el cual según el Manual de Inventarios Viales del MTC-2014 indica que los Puntos Críticos son aquellos sectores que por razones geológicas, geotécnicas, problemas hidrológicos o que por geografía de la zona alteran la transitabilidad de la carretera, incluido aquellas zonas con alto deterioro, de riesgo inminente o probable, que representan una amenaza a la existencia de la propia infraestructura e implícitamente a la seguridad de las personas.

Tabla 34

Clases de puntos críticos

Clase	Descripción
Fallas Constructivas	Comentario libre
Fallas Geológicas	Problemas de geodinámica externa, sectores construidos sobre piroclastos
Fallas Geotécnicas	Erosión de plataforma o taludes, huaycos, inestabilidad de talud, derrumbes, caída de rocas. suelos blandos (arcillas. turbas, etc.).
Problemas Hidrológicos	Inundaciones, nevadas, zonas con nivel freático muy superficial, zonas de gran penetración de las heladas, crecida y desborde de cauces de agua.
Geografía de la Zona	Zonas inundables, carreteras próximas a cauces de agua, pérdida de la plataforma
Zonas con alto Deterioro	Comentario libre
Zonas de Riesgo Elevado	Puentes, pontones u otras estructuras por colapsar

Nota: Fuente: Manual de Inventarios Viales MTC 2014

4.3 Procesamiento de Datos

El procesamiento consiste en la revisión, depuración y ordenamiento de toda la información evaluada, así como la elaboración de tabla de datos que nos permitan analizar de forma paralela los resultados de la evaluación del IRI y los parámetros de la geometría vial del proyecto en estudio.

4.4 Medición del IRI en Campo.

Las mediciones se llevaron a cabo los días 28, 29 y 30 de agosto 2020 en los tramos I, II y III del proyecto, el equipo utilizado es un perfilómetro láser Mark IV de la marca Dynatest. El certificado de la calibración vigente realizada el día 19/09/2020 y las especificaciones técnicas del perfilómetro utilizado se presentan en el Anexo 1

El perfilómetro laser Mark IV de clase I es un equipo inercial que está compuesto por dos acelerómetros y dos láseres, el ensayo para obtener el perfil longitudinal en intervalos de 25mm(2.5cm) consiste en recorrer la vía a una velocidad entre 22 y 110 km/h a partir del cual se obtiene un nuevo perfil filtrado con intervalos de 250mm(25cm), este último es el INPUT para ejecutar el algoritmo del modelo y el cálculo final del IRI en las diferentes unidades de muestreo que requiera el usuario.

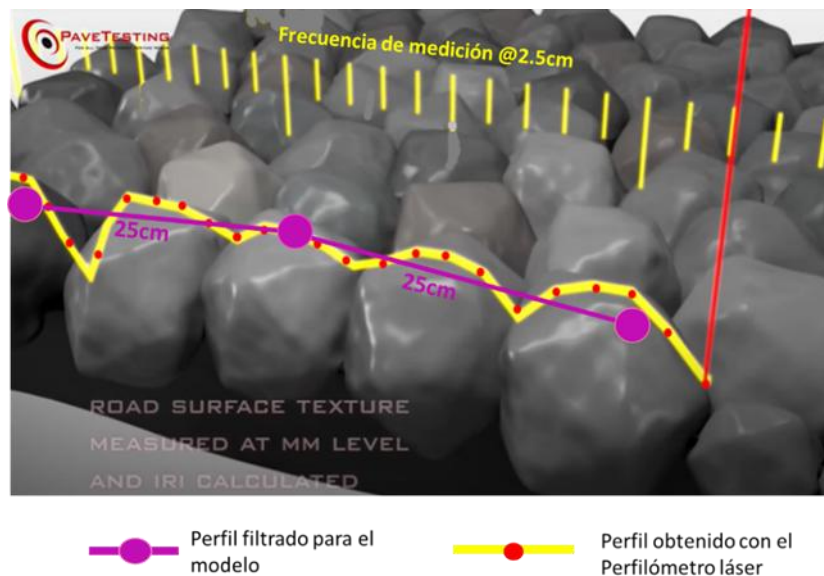
Figura 26

Obtención del perfil longitudinal de cada huella de la carretera (Tramo III)



Figura 27

Perfil obtenido por el equipo cada 2.5 cm y el perfil cada 25 cm



Nota: Fuente: www.PaveTesting.com

Los datos obtenidos de la medición del IRI han sido discretizados en intervalos de cada 1.00 metro con el objetivo de poder ubicar de manera más precisa el valor correspondiente a los distintos elementos que componen una carretera (curvas y tangentes).

4.5 Resultados Obtenidos

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos por tramos, como se observa estos superan el valor umbral de 3.00 el cual está especificado en el PGV.

Tabla 35

Resultados de IRI obtenidos por tramo

Tramo	IRI promedio (m/km)	Desviación Estándar	IRIc (m/km)
TRAMO I	3.76	0.89	4.23
TRAMO II	3.66	0.93	4.14
TRAMO III	3.19	1.18	3.81

Asimismo, considerando que los valores de IRI se presentan en intervalos definidos con progresivas múltiples y por otro lado la ubicación de los elementos viales no sigue la misma lógica y tienen dimensiones geométricas distintas. En ese sentido para el mejor análisis los valores del IRI se han obtenido en intervalos de 1m.

4.6 Diseño de Tabla para Análisis de Parámetros Geométricos

Con la finalidad de realizar una comparación y establecer una correlación entre los parámetros geométricos (elementos de curva tanto verticales y horizontales) con el IRI se ha discretizado la presencia de dichos elementos en intervalos de 1m con las descripciones siguientes como se muestra en la Tabla 36 , como referencia se observa la presencia de una curva horizontal de radio 15m y longitud 16 m que inicia en la progresiva km 399.949 y culmina en la progresiva km 399.965, en el Anexo VII se muestra el detalle del formato que contiene al IRI y a los parámetros geométricos a evaluar.

Tabla 36

Parámetros geométricos y el IRI en intervalos de 1 m en el tramo I

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales					Parámetros de curvas verticales		
PR Inicio (km)	PR Final (km)	IRI Huella Izq Cda1 m	IRI Huella Der Cda1 m	Singularidades TDR	Nº de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	Lo de Ls (m)	NºC urva Vertical	Longitud Transición CV (m)
399.949	399.950	4.47	11.67	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.950	399.951	2.71	5.93	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.951	399.952	7.77	9.3	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.952	399.953	5.08	4.04	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.953	399.954	3.69	4.93	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.954	399.955	7.04	4.32	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.955	399.956	5.75	4.70	Pav.Rígido	3370	H	16	15					

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales				Parámetros de curvas verticales			
PR Inicio (km)	PR Final (km)	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	Singularidades TDR	Nº de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long y Ls (m)	Tipo de Transición	Longitud de Ls (m)	Nº de Curva Vertical	Longitud de Transición CV (m)
399.956	399.957	3.75	10.3	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.957	399.958	7.45	7.01	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.958	399.959	5.44	6.74	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.959	399.960	4.06	9.80	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.960	399.961	2.15	9.10	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.961	399.962	6.36	5.65	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.962	399.963	9.40	4.53	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.963	399.964	4.05	10.81	Pav.Rígido	3370	H	16	15					
399.964	399.965	5.60	7.66	Pav.Rígido	3370	H	16	15					

Nota: En el Anexo VII se muestra el formato o tabla con mayor detalle.

Asimismo, para una mejor comprensión del gráfico se describe el encabezado de cada columna de dicha tabla.

PR Inicio (km). - Referencia el inicio del intervalo de 1m evaluado.

PR Final (km). - Referencia el final del intervalo de 1m evaluado.

IRI Huella Izq Cda1m. - IRI del perfil de la huella izquierda.

IRI Huella Der Cda1m. - IRI del perfil de la huella derecha

Singularidades TDR. - Singularidades y o eventos presentes en la evaluación.

Nº de Curva HZ. - Representa una identificación de la curva.

CH. - Indica la presencia de curva horizontal en el intervalo.

Long CH (m). - Indica la longitud de la curva presente que está presente en el intervalo.

Radio CH (m). - Indica la longitud de radio la curva presente que está presente en el intervalo.

Long Lo y Ls (m). - Indica la longitud de transición Lo si la transición es entre curvas en el mismo sentido y Ls si la transición es entre curvas de sentido opuesto.

Tipo de Transición. - C si la transición es entre curvas del mismo sentido o S si la transición es entre curvas de sentido opuesto.

L o (m). - Longitud de transición entre curvas horizontales del mismo sentido.

L s (m). - Longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto.

N° Curva Vertical. - identificación de la curva vertical.

CV. - Indica la presencia de curva vertical en el intervalo.

Long CV (m). - Indica la longitud de la curva vertical.

Longitud Transición CV (m). - Longitud de transición entre curvas verticales.

Como se mencionó anteriormente, una vez realizada la discretización de los parámetros geométricos según lo presentado en las Tablas 17, 20, 23 y 26 del capítulo III y completado la medición y procesamiento de los datos de IRI en intervalos de 1m de acuerdo con el Capítulo IV, toda la información fue consolidada en un solo formato que integra tanto los valores de IRI como los parámetros geométricos correspondientes, tal como como se muestra en el Anexo VII.

Así los datos procesados en el Capítulo III y Capítulo IV son la base del análisis correlacional que se realiza en el siguiente Capítulo V.

Capítulo V. Correlación de Parámetros

5.1 Diseño de Modelo

En el presente anexo se detalla el diseño del modelo seguido para la identificación y selección de los parámetros geométricos que guardan algún tipo de correlación con el IRI

5.1.1 Información Utilizada

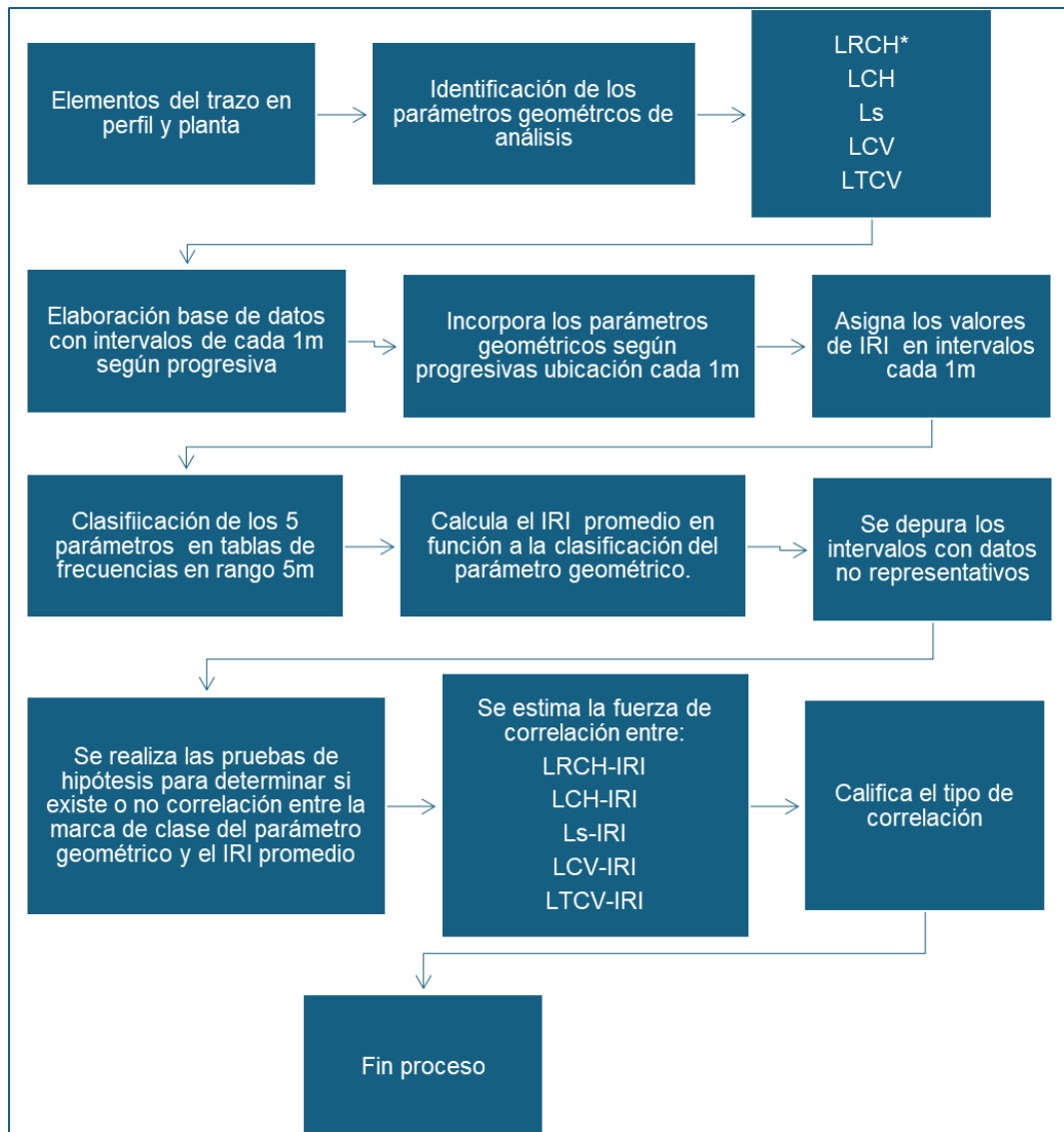
- Información geométrica del alineamiento horizontal del Tramo I, II y III del corredor vial (Radio de curvas horizontales, Longitud de curvas horizontales, transición entre curvas horizontales)
- Información geométrica del alineamiento vertical de todo el corredor vial (Curvas verticales, longitud de transición entre curvas verticales)
- Resultados de la medición del IRI por cada kilómetro en intervalos de 1 metro, según las progresivas del Plan de Gestión Vial, la misma que fue realizada con un perfilómetro láser modelo Mark IV de Clase I de la marca Dynatest.

5.1.2 Metodología

El proceso seguido paso a paso para alcanzar el objetivo se muestra en el flujograma de la figura.

Figura 28

Flujograma de los pasos seguidos por cada tramo de estudio.



Nota: LRCH Longitud de radio de curva horizontal, LCH longitud de curva horizontal, Ls longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto, LCV longitud de curva vertical, LTCV longitud de transición entre curvas verticales.

- a) Elementos del trazo en planta y perfil, para el caso de las Curvas Horizontales se identificaron los parámetros geométricos más relevantes, según: longitud de curva, radio y ángulo de deflexión y longitud de transición entre curvas del mismo sentido y sentido opuesto; Mientras para el caso de las Curvas Verticales estas quedaron

definidas según: longitud de curvas verticales, la deflexión de curvas verticales y la longitud entre curvas verticales.

- b) Definidas las características geométricas a analizar se procedió a elaborar una tabla con los valores de cada una de ellas (base de datos), referenciándose según el elemento de la muestra (cada metro) en función de las progresivas definidas según el clasificador de rutas con inicio en Challhuahuacho, adicionalmente a la tabla se incorporaron los valores del IRI de cada metro obtenido en cada uno de estos sectores.
- c) Se incorpora a la base de datos los parámetros geométricos según la ubicación y longitud.
- d) Se incorpora a la base de datos los resultados de la medición del IRI en intervalos de 1m.
- e) Elabora una tabla de frecuencias para datos agrupados de cada uno de los parámetros geométricos con un intervalo de 5m.
- f) Se calcula y asigna el IRI promedio a cada intervalo según los intervalos de cada parámetro geométrico.
- g) Se depura los intervalos con datos no representativos
- h) Se realiza las pruebas de hipótesis para determinar si existe o no existe relación.
- i) Se estima la fuerza de correlación entre los cinco parámetros de análisis
- j) Finalmente se califica el tipo de correlación existente, este proceso se ha seguido para cada uno de los tres tramos estudiados.

5.1.3 Procedimiento de Muestreo

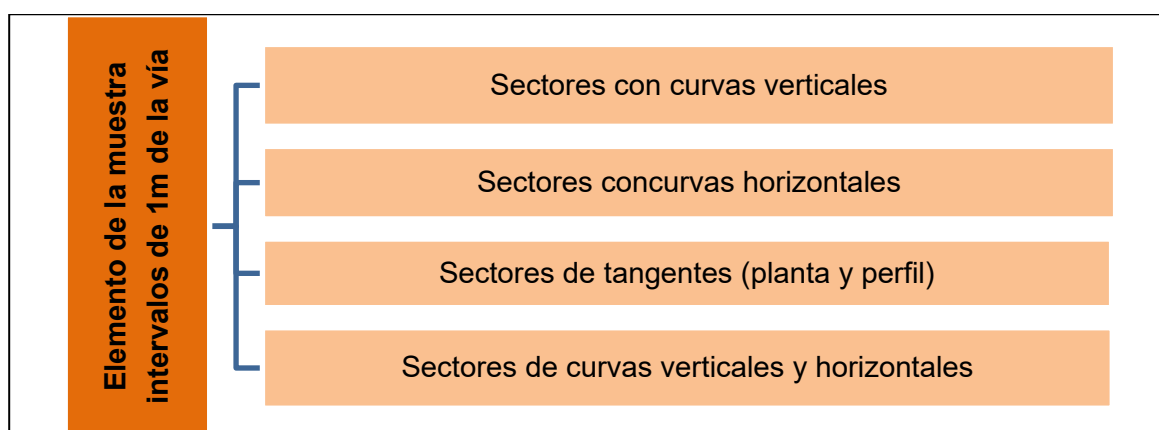
Los elementos de la población muestral son intervalos de 1m de la vía las cuales se sub agrupan según los parámetros geométricos definidos según el alineamiento en planta y perfil.

Elementos de la muestra

Cada elemento de la muestra tiene un valor de IRI y cada una de ella según la progresiva y ubicación cuenta con la presencia de uno o más elementos geométricos con características definidas según el alineamiento en planta y perfil, en la sección 5.4 (Influencia de los parámetros de la geometría vial en el IRI) se analiza cual sería el impacto por geométrico de acuerdo al análisis de distribución de frecuencias.

Figura 29

Sectores de la ruta estudiada



Nuestra técnica de muestreo es no probabilística y por la disponibilidad de los datos abarca el 100% de la población (información relevada).

5.1.4 Descripción de Variables

Variable dependiente. La variable dependiente para cada elemento de la muestra es el valor IRI obtenido por cada metro de la vía, este elemento muestra la calidad del perfil de la huella el cual depende de varios parámetros geométricos.

Variables independientes. Las variables independientes según los parámetros geométricos pueden ser múltiples, en el presente estudio se han considerado aquellos que por la disponibilidad y características tienen algún tipo de relación con el valor del IRI para el cual se han considerado las siguientes variables.

- Longitud de radio de curva horizontal (LRCH)
- Longitud de curva horizontal (LCH)
- Longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto (Ls)
- Longitud de curvas verticales (LCV)
- Longitud de transición entre curvas verticales (LTCV)

5.1.5 Proceso de Variables

A partir de las variables geométricas independientes estudiadas en el Capítulo III generamos las tablas de frecuencias en intervalos de 5m (clasificación según la longitud) y a cada intervalo se asigna el valor promedio del IRI, como valor representativo, el cual se correlaciona con la marca de clase de cada intervalo, este procedimiento se sigue para todos los parámetros objetivos y se procede con la validación estadística.

En la tabla 37 se muestra un sector de tramo III en el formato de análisis para IRI y parámetros geométricos en el Anexo VII se muestra con mayor detalle.

Tabla 37

Formato para el procesamiento de información

TRAMO I KM399+920 al KM 435+174							Parámetros de curvas horizontales					Parámetros de curvas verticales					
PR	IRI		IRI		Singularidade	N° de	CH	Long	CH (m)	Deflexión	Radio	Long	Tipo de	N°	Long	Longitud	
Inicio	PR Final	Huella	IRI	Huella													s
@1m	@1m	Izq	Centro	Der	TDR	HZ				(°)	(m)	Lo y Ls (m)	n	Vertical	(m)	CV (m)	
399.949	399.950	4.470	5.860	11.670	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.950	399.951	2.710	3.830	5.930	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.951	399.952	7.770	8.540	9.300	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.952	399.953	5.080	4.300	4.040	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.953	399.954	3.690	1.250	4.930	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.954	399.955	7.040	3.520	4.320	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.955	399.956	5.750	4.330	4.700	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.956	399.957	3.750	6.850	10.300	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.957	399.958	7.450	7.180	7.010	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.958	399.959	5.440	6.090	6.740	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.959	399.960	4.060	4.990	9.800	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.960	399.961	2.150	5.360	9.100	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.961	399.962	6.360	5.980	5.650	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.962	399.963	9.400	6.570	4.530	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.963	399.964	4.050	6.270	10.810	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.964	399.965	5.600	5.430	7.660	Pav.Rígido	C3370	CH	16	60°30'39.92"	15							
399.965	399.966	11.790	7.000	2.570	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.966	399.967	12.680	9.620	7.080	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.967	399.968	11.030	7.510	4.430	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							
399.968	399.969	6.450	10.600	14.760	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105							

TRAMO I KM399+920 al KM 435+174							Parámetros de curvas horizontales					Parámetros de curvas verticales						
PR	IRI		IRI		Singularidad	N° de	CH	Long	CH (m)	Deflexión	Radio	Long	Tipo de	L o (m)	L s (m)	N°	Long	Longitud
Inicio	PR Final	Huella	IRI	Huella														
@1m	@1m	Izq	Centro	Der	TDR	HZ				(°)	(m)	Ls	n			Vertical	(m)	CV (m)
		Cda1m		Cda1m								(m)						
399.969	399.970	8.050	10.950	13.850	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.970	399.971	1.510	3.630	6.000	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.971	399.972	7.120	8.740	10.370	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.972	399.973	6.620	5.930	6.070	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.973	399.974	3.390	7.570	12.060	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.974	399.975	3.860	2.680	3.410	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.975	399.976	6.330	3.750	1.780	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.976	399.977	7.190	3.100	8.770	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.977	399.978	11.720	7.830	4.140	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.978	399.979	12.710	7.110	2.680	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.979	399.980	1.840	2.170	5.900	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.980	399.981	3.820	5.200	6.620	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.981	399.982	2.720	3.050	4.350	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.982	399.983	2.940	1.460	1.360	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.983	399.984	9.700	9.120	9.200	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.984	399.985	2.440	2.540	6.670	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.985	399.986	4.880	1.580	1.720	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.986	399.987	5.890	1.210	5.760	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.987	399.988	4.560	2.190	4.470	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.988	399.989	2.200	3.940	9.620	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.989	399.990	1.580	2.790	5.590	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								
399.990	399.991	13.400	13.810	14.220	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105								

TRAMO I KM399+920 al KM 435+174										Parámetros de curvas horizontales					Parámetros de curvas verticales				
PR	IRI		IRI		Singularidad	N° de				Deflexión	Radio	Long	Tipo de				N°	Long	Longitud
Inicio	PR Final	Huella	IRI	Huella															
@1m	@1m	Izq	Centro	Der	s	Curva	CH	Long	CH (m)	(°)	CH	Lo y	Transició	L o (m)	L s (m)	Curva	CV	CV	Transición
		Cda1m		Cda1m	TDR	HZ					(m)	Ls (m)	n			Vertical	(m)		CV (m)
399.991	399.992	8.580	5.460	2.580	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105									
399.992	399.993	11.000	10.260	9.510	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105									
399.993	399.994	8.180	9.060	9.930	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105									
399.994	399.995	1.740	1.720	3.100	Pav.Rígido	C3371	CH	30	16°42'10.82"	105									
399.995	399.996	5.150	6.800	8.630	Pav.Rígido							45	C	45					
399.996	399.997	5.200	6.450	7.900	Pav.Rígido							45	C	45					
399.997	399.998	7.180	6.220	5.260	Pav.Rígido							45	C	45					

Nota: Formato para el análisis y procesamiento de información del IRI y los parámetros geométricos.

5.2 Análisis Estadístico de Parámetros Geométricos

5.2.1 Clasificación del Coeficiente de Correlación

Para la valoración de la fuerza de correlación se realizará según el coeficiente estadístico y según lo planteado por Bisquerra (2009) en su libro “Metodología de la Investigación Educativa” como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 38

Interpretación de la valoración según el coeficiente de correlación.

COEFICIENTE	INTERPRETACIÓN
De 0 a 0.20	Correlación prácticamente nula.
De 0.21 a 0.40	Correlación baja.
De 0.41 a 0.70	Correlación moderada.
De 0.71 a 0.90	Correlación alta.
De 0.91 a 1.00	Correlación muy alta

Nota: Fuente Bisquerra (2009)

5.2.2 Análisis de datos de IRI y Parámetros Geométricos -Tramo I

Tabla 39

Frecuencias para longitud de radio de curvas horizontales LRCH (Tramo I)

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje intervalo	% de datos acumulados
2.50	>=0	<5		3.99		0	0.00%	0%
7.50	>=5	<10	6.99	3.99	6.99	57	0.38%	0.4%
12.50	>=10	<15	6.23	3.98	6.32	537	3.58%	4.0%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje intervalo	% de datos acumulados
17.50	>=15	<20	5.43	3.91	5.68	1297	8.65%	12.6%
22.50	>=20	<25	4.83	3.76	5.39	900	6.00%	18.6%
27.50	>=25	<30	3.91	3.68	4.94	1167	7.78%	26.4%
32.50	>=30	<35	4.13	3.65	4.74	1174	7.83%	34.2%
37.50	>=35	<40	4.28	3.59	4.70	561	3.74%	38.0%
42.50	>=40	<45	3.91	3.55	4.61	794	5.29%	43.3%
47.50	>=45	<50	4.14	3.52	4.57	491	3.27%	46.5%
52.50	>=50	<55	3.66	3.48	4.44	1255	8.37%	54.9%
57.50	>=55	<60	3.67	3.44	4.40	446	2.97%	57.9%
62.50	>=60	<65	3.57	3.43	4.34	593	3.95%	61.8%
67.50	>=65	<70	3.55	3.41	4.31	351	2.34%	64.2%
72.50	>=70	<75	3.53	3.40	4.28	417	2.78%	66.9%
77.50	>=75	<80	4.72	3.39	4.28	83	0.55%	67.5%
82.50	>=80	<85	3.75	3.37	4.26	478	3.19%	70.7%
87.50	>=85	<90	3.83	3.33	4.25	176	1.17%	71.9%
92.50	>=90	<95	4.27	3.31	4.25	149	0.99%	72.9%
97.50	>=95	<100	3.49	3.27	4.24	69	0.46%	73.3%
102.50	>=100	<105	3.67	3.26	4.22	476	3.17%	76.5%
107.50	>=105	<110	2.72	3.21	4.20	184	1.23%	77.7%
112.50	>=110	<115	3.14	3.23	4.18	270	1.80%	79.5%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje intervalo	% de datos acumulados
117.50	>=115	<120	3.10	3.24	4.16	196	1.31%	80.8%
122.50	>=120	<125	3.05	3.25	4.14	294	1.96%	82.8%
127.50	>=125	<130	3.68	3.27	4.13	133	0.89%	83.7%
132.50	>=130	<135	3.94	3.24	4.13	92	0.61%	84.3%
137.50	>=135	<140	3.18	3.23	4.12	166	1.11%	85.4%
142.50	>=140	<145	2.89	3.23	4.11	48	0.32%	85.7%
147.50	>=145	<150	3.03	3.24	4.09	207	1.38%	87.1%
152.50	>=150	<155	3.23	3.26	4.08	186	1.24%	88.3%
157.50	>=155	<160	3.26	3.26	4.08	45	0.30%	88.6%
162.50	>=160	<165	3.40	3.26	4.07	104	0.69%	89.3%
167.50	>=165	<170	2.81	3.25	4.05	200	1.33%	90.7%

Nota: Resultados de la evaluación de medición del IRI (agosto 2020)

Prueba de normalidad para el valor de la longitud de radio de las curvas horizontales – Tramo I

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: Los valores de la longitud del radio de las curvas horizontales tienen distribución normal.

Ha: Los valores de la longitud del radio de las curvas horizontales difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.957$$

d) Comparación de p y α

$$p = 0.212 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Acepta H_0

f) Conclusión

H_a : Los valores de la longitud del radio de las curvas horizontales tienen una distribución normal.

Prueba de normalidad para valores de IRI.

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : Los valores de IRI tienen distribución normal.

H_a : Los valores de IRI difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.835$$

d) Comparación de p y α

$$p = 0.000 < \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Rechazo H_0

f) Conclusión

H_a : Los valores de IRI difieren de una distribución normal.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre el valor de la longitud de radio de las curvas horizontales y el valor del Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo I

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : No existe relación significativa entre el radio de curva horizontal y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

H_a : Existe relación significativa entre el radio de curva horizontal y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Spearman} = -0.781$$

d) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

e) Decisión

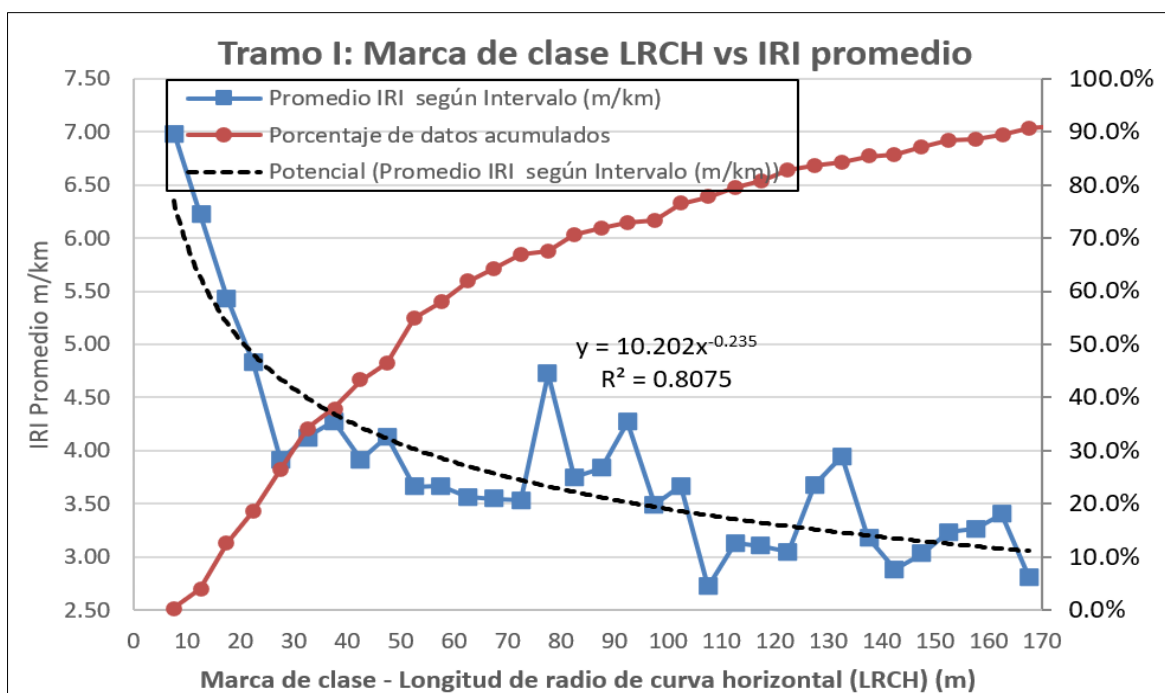
Rechazo H_0

f) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre el Índice de Rugosidad Internacional IRI y el Radio de curvatura en el Tramo I como se muestra en la siguiente figura.

Figura 30

Gráfica de correlación entre el LRCH y el IRI del Tramo I



Según la figura 30 para longitudes de radio de curva horizontal LRCH menor a 21 m se obtendría un valor de IRI muy malo (umbral 5m/km) según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

Tabla 40

Frecuencias para la longitud de curvas horizontales LCH (Tramo I)

Longitud de Curva Intervalo (m)	R		Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) > Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje	(%) de datos acumulados
	Longitud CH Límite Inferior intervalo (m)	Longitud CH Límite Superior intervalo (m)						
2.50	>=0	<5	4.38	3.99	4.38	226	1.51%	1.51%
7.50	>=5	<10	4.14	3.98	4.18	1065	7.10%	8.6%
12.50	>=10	<15	4.38	3.97	4.26	966	6.44%	15.0%

Longitud de Curva Intervalo (m)	R		Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) > Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje	(%) de datos acumulados
	Longitud CH Límite Inferior intervalo (m)	Longitud CH Límite Superior intervalo (m)						
17.50	>=15	<20	4.13	3.94	4.22	1062	7.08%	22.1%
22.50	>=20	<25	4.31	3.92	4.25	1099	7.33%	29.5%
27.50	>=25	<30	4.54	3.88	4.31	1179	7.86%	37.3%
32.50	>=30	<35	4.05	3.80	4.24	1778	11.86%	49.2%
37.50	>=35	<40	4.12	3.74	4.22	1420	9.47%	58.6%
42.50	>=40	<45	4.05	3.65	4.20	1552	10.35%	69.0%
47.50	>=45	<50	3.70	3.52	4.15	1121	7.47%	76.5%
52.50	>=50	<55	3.61	3.47	4.11	887	5.91%	82.4%
57.50	>=55	<60	3.55	3.42	4.07	909	6.06%	88.4%
62.50	>=60	<65	3.95	3.35	4.07	550	3.67%	92.1%
67.50	>=65	<70	3.27	3.07	4.05	332	2.21%	94.3%
72.50	>=70	<75	2.86	3.00	4.03	285	1.90%	96.2%

Nota: Tomado de PGV Proyecto- Informe de mejoramiento

Prueba de normalidad para el valor de la longitud de curva horizontal – Tramo

I

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: Los valores de la longitud de las curvas horizontales tienen distribución normal.

Ha: Los valores de la longitud de las curvas horizontales difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

Shapiro-Wilk= 0.964

d) Comparación de p y α

$p = 0.755 > \alpha = 0.05$

e) Decisión

Acepta H_0

f) Conclusión

Ha: Los valores de la longitud de las curvas horizontales tienen una distribución normal.

Prueba de normalidad para valores de IRI.

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : Los valores de IRI tienen distribución normal.

H_a : Los valores de IRI difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$\alpha = 5\%$

c) Valor de prueba

Shapiro-Wilk= 0.924

d) Comparación de p y α

$p = 0.221 > \alpha = 0.05$

e) Decisión

Acepto H_0

f) Conclusión

H_a : Los valores de IRI tienen una distribución normal.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre el valor de la longitud de las curvas horizontales y el valor del Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo I

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : No existe relación significativa entre la longitud de la curva horizontal y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

H_a : Existe relación significativa entre la longitud de la curva horizontal y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Rho Spearman} = -0.839$$

d) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

e) Decisión

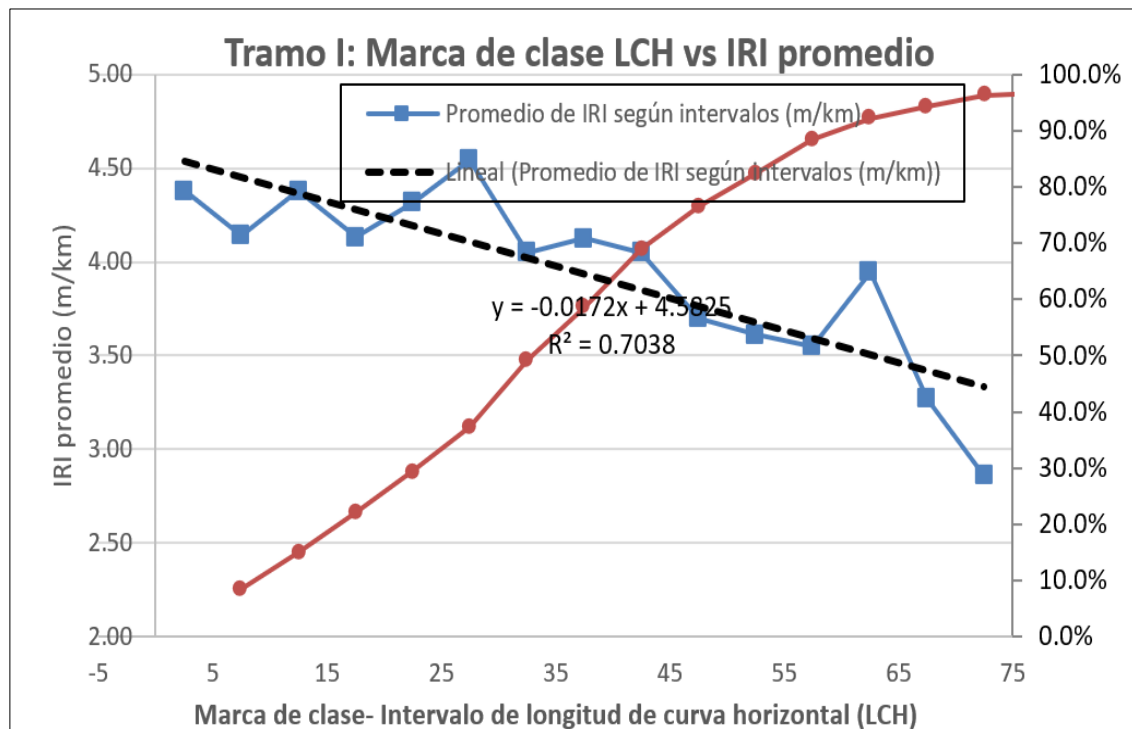
Rechazo H_0

f) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de curva horizontal y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo I como se muestra en la siguiente figura.

Figura 31

Correlación entre el LCH y el IRI del Tramo I



Según la figura 31 para longitud de curva horizontal LCH menor a 33 m se obtendría un valor de IRI malo (umbral 4m/km) según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

En la Tabla 41 se muestran los valores de frecuencias para tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls en el Tramo I.

Tabla 41*Frecuencias entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls (Tramo I)*

Long Ls Intervalo (m)	Long Ls Límite inferior intervalo (m)	Long Ls Límite superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite inferior	Promedio IRI (m/km) <Límite superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje intervalo	(%) de datos Acumulados
2.5	>=0	<5	4.58	3.58	4.58	50	0.38%	0%
7.5	>=5	<10	3.89	3.58	4.02	245	1.86%	2.2%
12.5	>=10	<15	3.57	3.57	3.76	389	2.96%	5.2%
17.5	>=15	<20	4.10	3.57	3.92	604	4.59%	9.8%
22.5	>=20	<25	3.89	3.54	3.91	828	6.29%	16.1%
27.5	>=25	<30	3.59	3.52	3.81	948	7.20%	23.3%
32.5	>=30	<35	3.93	3.51	3.84	979	7.44%	30.7%
37.5	>=35	<40	3.41	3.46	3.79	550	4.18%	34.9%
42.5	>=40	<45	3.37	3.47	3.73	755	5.74%	40.6%
47.5	>=45	<50	3.65	3.48	3.72	788	5.99%	46.6%
52.5	>=50	<55	3.78	3.46	3.73	822	6.25%	52.9%
57.5	>=55	<60	3.47	3.42	3.70	857	6.51%	59.4%
62.5	>=60	<65	4.26	3.41	3.72	312	2.37%	61.8%
67.5	>=65	<70	3.27	3.35	3.69	598	4.54%	66.3%
72.5	>=70	<75	3.56	3.36	3.68	791	6.01%	72.3%
77.5	>=75	<80	3.17	3.32	3.65	608	4.62%	76.9%
82.5	>=80	<85	2.71	3.35	3.62	329	2.50%	79.4%
87.5	>=85	<90	2.58	3.43	3.59	267	2.03%	81.5%

Nota: Tomado de PGV Proyecto- Informe de mejoramiento

Prueba de normalidad para la tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls – Tramo I

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: Los valores de la tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls tienen una distribución normal en el Tramo I

Ha: Los valores de la tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls difieren de una distribución normal en el Tramo I

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.961$$

d) Comparación de p y α

$$p = 0.629 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Acepto H_0

f) Conclusión

H_a : Los valores de la tangente entre las curvas horizontales de sentido opuesto
Ls tienen una distribución normal.

Prueba de normalidad para valores de IRI.

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : Los valores de IRI tienen distribución normal.

H_a : Los valores de IRI difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.964$$

d) Comparación de p y α

$$\rho = 0.688 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Rechazo H_0

f) Conclusión

Ha: Los valores de IRI tienen una distribución normal.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto y el valor del Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo I

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : No existe relación significativa entre la tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto L_s y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

H_a : Existe relación significativa entre la tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto L_s y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Spearman} = -0.826$$

d) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

e) Decisión

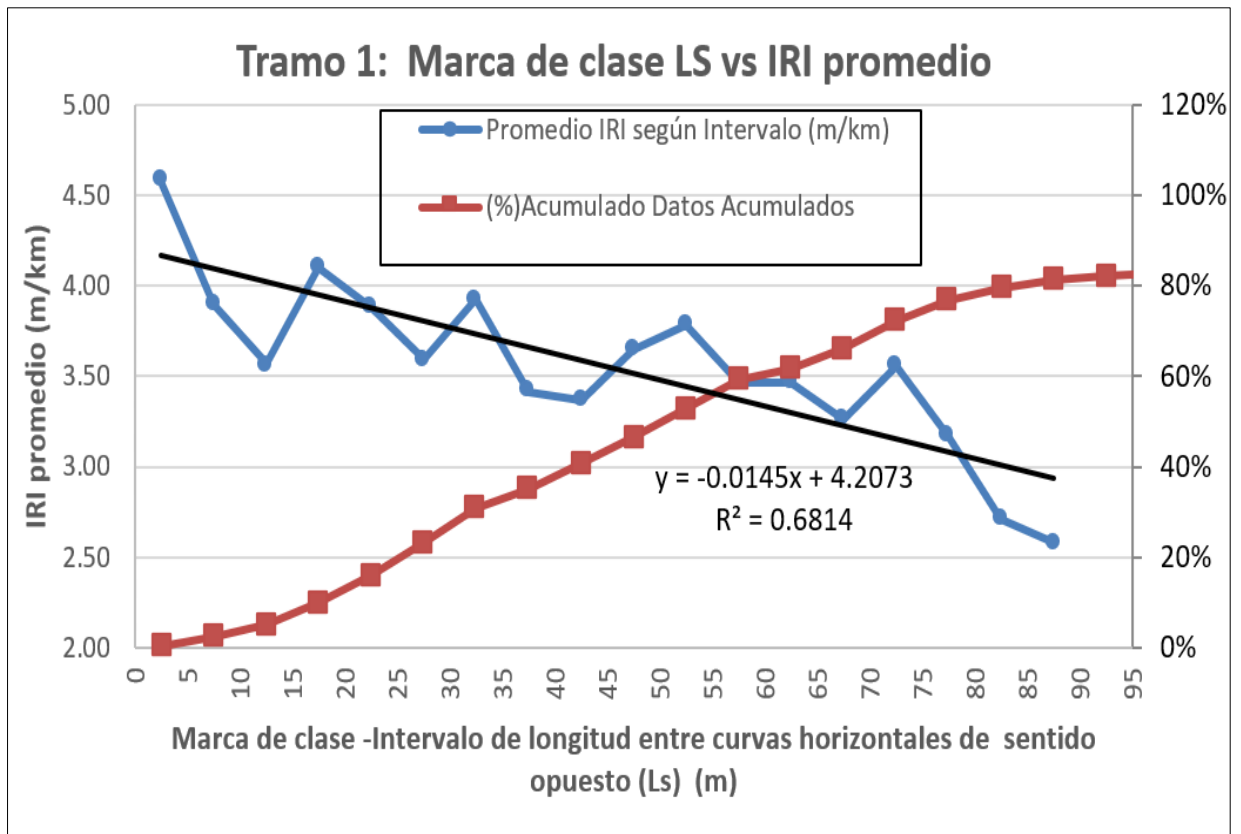
Rechazo H_0

f) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la tangente entre curvas de sentido opuesto Ls y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo I

Figura 32

Correlación entre el LS y el IRI promedio Tramo I



Según la figura 32 para la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto menor a 14 m se obtendría un valor de IRI malo (umbral 4m/km) según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

Tabla 42*Frecuencias para longitud de curvas verticales LCV (Tramo I)*

Long	Long	Long	Promedi	Promedi	Promedi	Cantida		
CV	CV	CV	o IRI	o IRI	o IRI	d de	Porcentaj	(%) de
Interval	Límite	Límite	Interval	(m/km)	(m/km)	datos	e	datos
o (m)	Inferior	superio	o	>Límite	<límite	según	Intervalo	acumulad
	interval	r	o	>Límite	<límite	intervalo		os
	o (m)	interval	(m/km)	inferior	superior	s		
		o (m)						
2.5	>=0	<5	3.95	3.90	3.95	76	0.6%	1%
7.5	>=5	<10	3.85	3.90	3.85	1163	8.6%	9.2%
12.5	>=10	<15	3.99	3.91	3.94	2296	17.1%	26.3%
17.5	>=15	<20	3.98	3.88	3.95	1694	12.6%	38.9%
22.5	>=20	<25	3.72	3.87	3.90	1670	12.4%	51.3%
27.5	>=25	<30	3.92	3.90	3.90	1450	10.8%	62.0%
32.5	>=30	<35	3.60	3.90	3.87	1085	8.1%	70.1%
37.5	>=35	<40	3.65	3.98	3.85	668	5.0%	75.1%

Nota: Los datos geométricos son del Informe de Mejoramiento y el IRI fue evaluación agosto (2020)

Prueba de normalidad para la longitud de curva vertical LCV – Tramo I

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: Los valores de la longitud de curva vertical LCV tienen una distribución normal en el Tramo I

Ha: Los valores de la longitud de curva vertical LCV difieren de una distribución normal en el Tramo I

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.975$$

d) Comparación de p y α

$$p = 0.933 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Acepto H_0

f) Conclusión

H_a : Los valores de la longitud de curva vertical LCV tienen una distribución normal en el Tramo I

Prueba de normalidad para valores de IRI.

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : Los valores de IRI tienen distribución normal.

H_a : Los valores de IRI difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.879$$

d) Comparación de p y α

$$p = 0.182 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Acepto H_0

f) Conclusión

Ha: Los valores de IRI tienen una distribución normal.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de curvas vertical LCV y el valor del Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo I

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de curva vertical LCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de curva vertical LCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.718$$

d) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.045 < \alpha = 0.05$$

e) Decisión

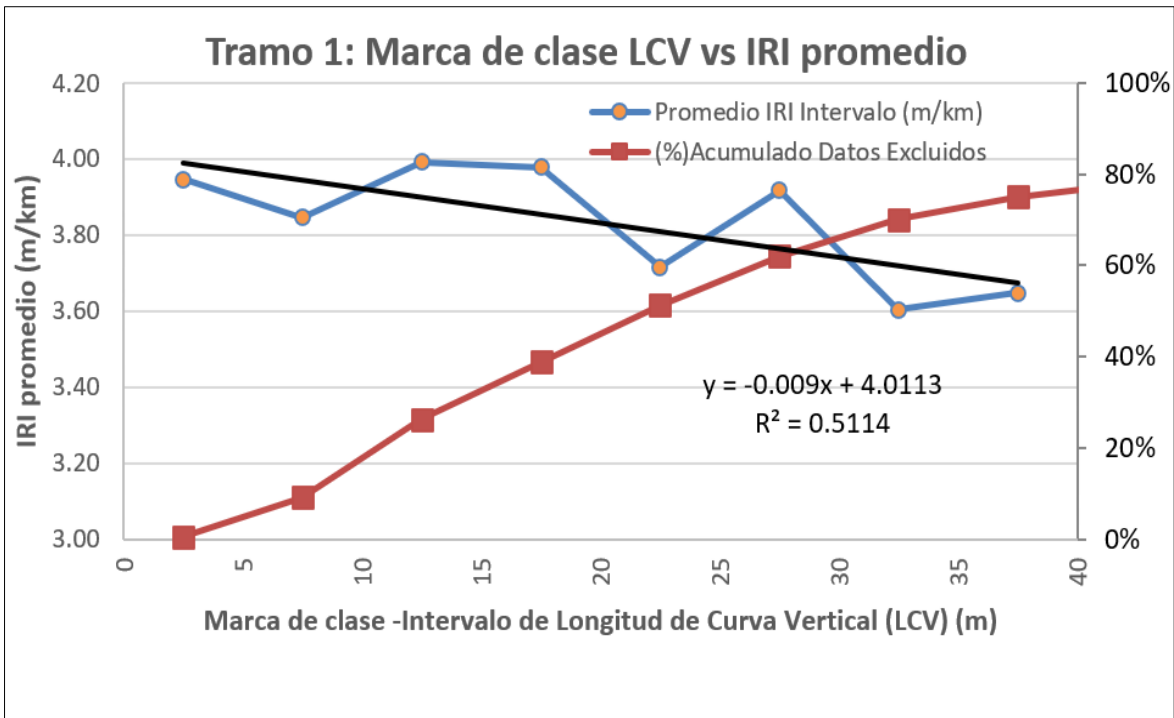
Rechazo Ho

f) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de curvas verticales y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo I

Figura 33

Correlación entre el LCV y el IRI promedio Tramo I



Según la figura 33 para todas las longitudes de curva vertical LCV los sectores estarían en estado regular rango [2.8 m/km 4 m/km> según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

En la Tabla 43 se muestran los valores de las frecuencias para longitudes de transición entre curvas verticales LTCV pertenecientes al Tramo I.

Tabla 43

Frecuencias de longitud de transición en curvas verticales LTCV (Tramo I)

Longitud	Longitud							
Transició	n CV	Transició	Promedi	Promedi	Promedi	Cantidad		(%) de
n	Límite	n CV	o IRI	o IRI	o IRI	de datos	Porcentaj	datos
intervalo	inferior	Superior	Intervalo	>Límite	<Límite	según	e	acumulado
(m)	intervalo	intervalo	(m/km)	inferior	superior	s	Intervalo	s
	(m)	(m)						
2.5	>=0	<5	3.84	3.67	3.84	161	0.74%	1%

Longitud	Longitud	Longitud	Promedi	Promedi	Promedi	Cantidad		(%) de
Transició	n CV	n CV	o IRI	o IRI	o IRI	de datos	Porcentaj	datos
n	Límite	Límite	Intervalo	>Límite	<Límite	según	e	acumulado
intervalo	inferior	Superior	(m/km)	inferior	superior	intervalo	Intervalo	s
(m)	intervalo	intervalo				s		
	(m)	(m)						
7.5	>=5	<10	3.96	3.67	3.94	595	2.75%	3.5%
12.5	>=10	<15	4.11	3.66	4.04	1158	5.36%	8.9%
17.5	>=15	<20	3.86	3.63	3.97	1294	5.98%	14.8%
22.5	>=20	<25	3.78	3.62	3.91	1261	5.83%	20.7%
27.5	>=25	<30	3.81	3.61	3.89	1488	6.88%	27.6%
32.5	>=30	<35	3.74	3.59	3.87	925	4.28%	31.8%
37.5	>=35	<40	3.61	3.58	3.82	1494	6.91%	38.7%
42.5	>=40	<45	3.76	3.57	3.81	1636	7.57%	46.3%
47.5	>=45	<50	3.60	3.55	3.79	1230	5.69%	52.0%
52.5	>=50	<55	3.84	3.54	3.79	876	4.05%	56.0%
57.5	>=55	<60	3.41	3.52	3.76	970	4.49%	60.5%
62.5	>=60	<65	3.44	3.53	3.74	795	3.68%	64.2%
67.5	>=65	<70	3.47	3.54	3.73	742	3.43%	67.6%
72.5	>=70	<75	3.62	3.54	3.72	788	3.64%	71.3%

Nota: Los datos geométricos son del Informe de Mejoramiento y el IRI fue evaluación agosto (2020)

Prueba de normalidad para la longitud de transición entre curvas verticales

LTCV – Tramo I

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: Los valores de la longitud de transición entre curvas verticales LTCV tienen una distribución normal en el Tramo I

Ha: Los valores de la longitud de transición entre curvas verticales LTCV difieren de una distribución normal en el Tramo I

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.964$$

d) Comparación de p y α

$$p = 0.755 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Acepto H_0

f) Conclusión

H_a : Los valores de la longitud de transición entre curvas verticales LCV tienen una distribución normal en el Tramo I

Prueba de normalidad para valores de IRI.

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : Los valores de IRI tienen distribución normal.

H_a : Los valores de IRI difieren de una distribución normal.

b) Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

c) Valor de prueba

$$\text{Shapiro-Wilk} = 0.963$$

d) Comparación de p y α

$$\rho = 0.738 > \alpha = 0.05$$

e) Decisión

Acepto H_0

f) Conclusión

Ha: Los valores de IRI tienen una distribución normal.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el valor del Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo I

a) Hipótesis (H_0 = Hipótesis nula; H_a = Hipótesis alternativa)

H_0 : No existe relación significativa entre la longitud de transición de curvas verticales LTCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I

H_a : Existe relación significativa entre la longitud de transición de curvas verticales LTCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo I.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.797$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

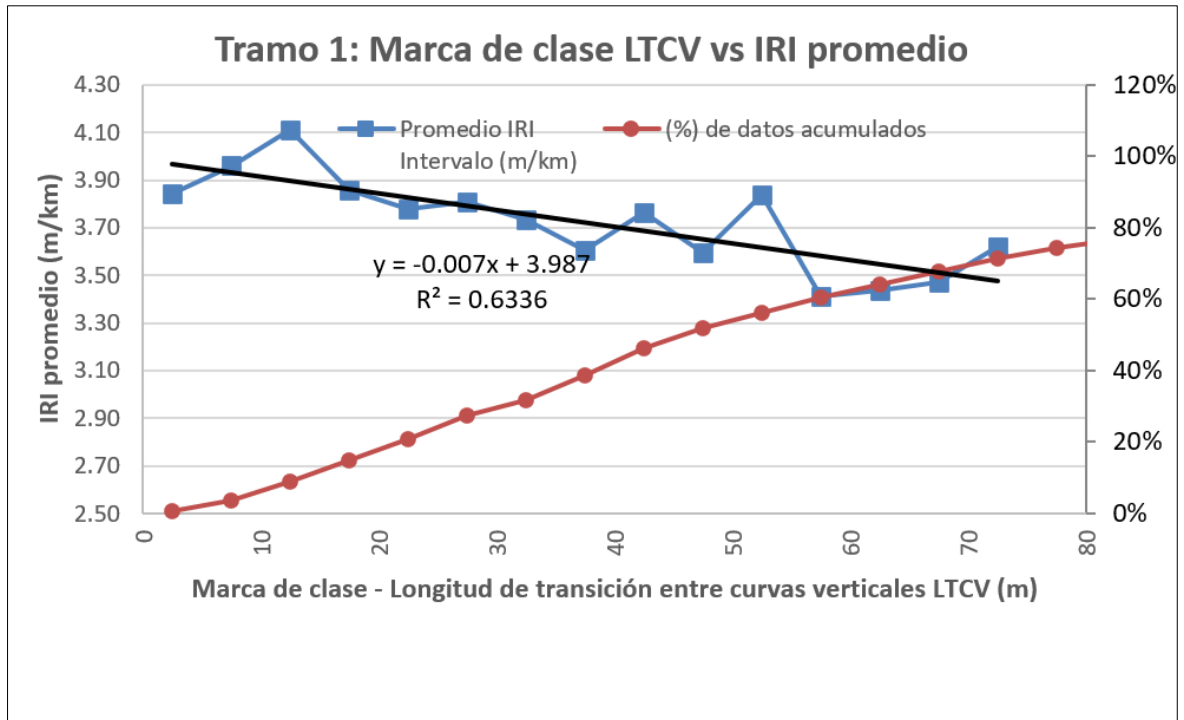
Rechazo H_0

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo I

Figura 34

Correlación entre el LTCV y el IRI promedio Tramo I



Según la figura 34 para todas las longitudes de curva de transición entre curvas verticales LTCV los sectores estarían en estado regular, rango [2.8 m/km 4 m/km> según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

5.2.3 Análisis de Datos de IRI y Parámetros Geométricos Tramo – II

Tabla 44

Frecuencias de longitud de radio de curvas horizontales LRCH (Tramo II)

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior (m)	Radio CH Límite Superior (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) > Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje	% de datos acumulados
2.5	>=0	<5		3.87		3	0.01%	0%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje	% de datos acumulados
7.5	>=5	<10	6.71	3.87	6.71	587	1.68%	1.7%
12.5	>=10	<15	6.15	3.82	6.40	889	2.55%	4.2%
17.5	>=15	<20	5.30	3.78	5.87	1274	3.66%	7.9%
22.5	>=20	<25	4.92	3.72	5.53	1401	4.02%	11.9%
27.5	>=25	<30	4.75	3.67	5.26	1929	5.54%	17.5%
32.5	>=30	<35	4.33	3.60	5.02	1968	5.65%	23.1%
37.5	>=35	<40	4.07	3.55	4.83	1926	5.53%	28.6%
42.5	>=40	<45	3.95	3.51	4.66	2315	6.64%	35.3%
47.5	>=45	<50	4.14	3.46	4.59	1759	5.05%	40.3%
52.5	>=50	<55	3.66	3.41	4.48	1791	5.14%	45.5%
57.5	>=55	<60	3.75	3.38	4.42	1211	3.47%	48.9%
62.5	>=60	<65	3.68	3.36	4.35	1708	4.90%	53.8%
67.5	>=65	<70	3.47	3.32	4.30	1131	3.25%	57.1%
72.5	>=70	<75	3.34	3.31	4.26	940	2.70%	59.8%
77.5	>=75	<80	3.43	3.31	4.22	922	2.65%	62.4%
82.5	>=80	<85	3.45	3.30	4.19	853	2.45%	64.9%
87.5	>=85	<90	3.40	3.29	4.17	645	1.85%	66.7%
92.5	>=90	<95	3.37	3.29	4.15	502	1.44%	68.2%
97.5	>=95	<100	3.17	3.28	4.12	592	1.70%	69.9%
102.5	>=100	<105	3.27	3.29	4.09	942	2.70%	72.6%
107.5	>=105	<110	3.02	3.29	4.08	311	0.89%	73.5%
112.5	>=110	<115	3.35	3.30	4.06	681	1.95%	75.4%
117.5	>=115	<120	4.03	3.30	4.06	167	0.48%	75.9%
122.5	>=120	<125	3.35	3.28	4.04	508	1.46%	77.3%
127.5	>=125	<130	3.75	3.28	4.04	247	0.71%	78.1%
132.5	>=130	<135	2.89	3.26	4.04	104	0.30%	78.4%
137.5	>=135	<140	3.38	3.27	4.02	487	1.40%	79.8%
142.5	>=140	<145	3.52	3.26	4.02	134	0.38%	80.1%
147.5	>=145	<150	3.29	3.26	4.01	268	0.77%	80.9%
152.5	>=150	<155	3.57	3.25	4.01	518	1.49%	82.4%
157.5	>=155	<160	3.02	3.23	4.00	283	0.81%	83.2%
162.5	>=160	<165	3.28	3.24	3.99	209	0.60%	83.8%
167.5	>=165	<170	4.03	3.24	3.99	85	0.24%	84.0%
172.5	>=170	<175	3.95	3.22	3.99	210	0.60%	84.6%
177.5	>=175	<180	3.88	3.20	3.99	185	0.53%	85.2%
182.5	>=180	<185	3.03	3.18	3.98	225	0.65%	85.8%
187.5	>=185	<190	4.10	3.19	3.98	96	0.28%	86.1%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior (m)	Radio CH Límite Superior (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI >Límite Inferior (m/km)	Promedio IRI < Límite Superior (m/km)	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje	% de datos acumulados
192.5	>=190	<195	4.69	3.17	3.98	21	0.06%	86.2%
197.5	>=195	<200	3.17	3.16	3.98	97	0.28%	86.4%
202.5	>=200	<205	3.21	3.16	3.93	1933	5.55%	92.0%

Nota: Los datos geométricos son del Informe de Mejoramiento y el IRI fue evaluación agosto (2020)

Prueba de normalidad para la longitud de radio de curva horizontal LRCH e Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

	Shapiro-Wilk		Prueba de normalidad	
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
LRCH	0.956	40	0.124	Cumple > 0.05
IRI	0.812	40	0.000	No cumple < 0.05

Se observa que la longitud de radio de curva horizontal cumple con la prueba de normalidad, mientras que el IRI no cumple con la prueba de normalidad.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de radio de curva horizontal LRCH e Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de radio de curva horizontal y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de radio de curva horizontal LRCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Rho de Spearman} = -0.497$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.001 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

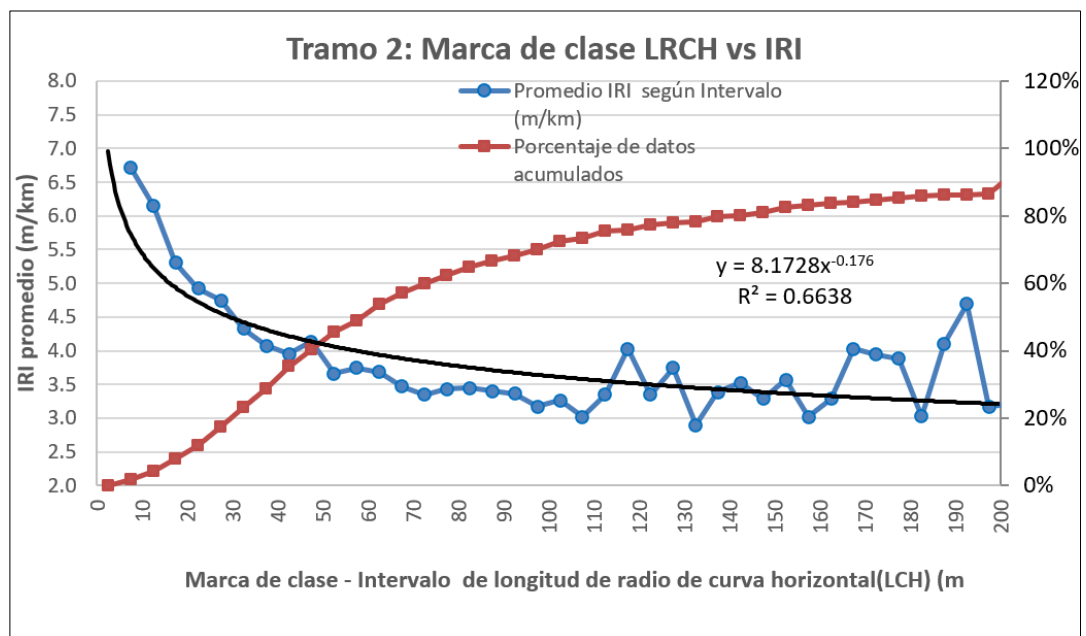
Rechazo H_0

e) Conclusión

Existe relación moderada inversa y significativa entre la longitud de radio de curva horizontal LRCH y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo II

Figura 35

Correlación entre el LRCH y el IRI promedio Tramo III



Según la figura 35 para la longitud de radio de curva horizontal menor a 22 m se obtendría un IRI muy malo, mayor a 5 m/km según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

Tabla 45*Frecuencias para longitud de curvas horizontales LCH (Tramo III)*

Intervalo o (m)	Longitud	Longitud							Porcentaje e	% de datos acumulados
	Longitud	d CH	Promedio	Promedio	Promedio	Cantidad				
	d CH	Límite	o IRI	Prom IRI	o IRI	o IRI	de datos			
	Límite	Superior	según	Depurado	(m/km)	(m/km)	según			
	Intervalo	inferior	Intervalo	o	>Límite	< Límite	intervalos			
o (m)	Intervalo	inferior	Intervalo	o	>Límite	< Límite	Intervalo	o (m)	Intervalo	o (m)
2.5	>=0	<5	3.75	3.75	3.87	3.75	454	1.30%	1%	
7.5	>=5	<10	4.08	4.08	3.87	4.02	2298	6.59%	7.9%	
12.5	>=10	<15	3.91	3.91	3.85	3.97	2514	7.21%	15.1%	
17.5	>=15	<20	4.10	4.10	3.85	4.02	3835	11.00%	26.1%	
22.5	>=20	<25	4.05	4.05	3.81	4.03	4725	13.56%	39.7%	
27.5	>=25	<30	4.11	4.11	3.76	4.05	4451	12.77%	52.4%	
32.5	>=30	<35	3.81	3.81	3.67	4.01	3633	10.42%	62.9%	
37.5	>=35	<40	3.83	3.83	3.63	3.99	3055	8.77%	71.6%	
42.5	>=40	<45	3.84	3.84	3.57	3.97	3488	10.01%	81.6%	
47.5	>=45	<50	3.61	3.61	3.43	3.94	2347	6.73%	88.4%	
52.5	>=50	<55	3.33	3.33	3.32	3.92	1252	3.59%	92.0%	
57.5	>=55	<60	3.28	3.28	3.32	3.90	855	2.45%	94.4%	
62.5	>=60	<65	3.35	3.35	3.34	3.89	741	2.13%	96.6%	
67.5	>=65	<70	3.26	3.26	3.33	3.88	264	0.76%	97.3%	

Nota: Los datos geométricos son del Informe de Mejoramiento y el IRI fue evaluación agosto (2020)

Prueba de normalidad para la longitud de curva horizontal LCH e Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

	Shapiro-Wilk		Prueba de normalidad	
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
LCH	0.966	14	0.837	Cumple
IRI	0.863	14	0.043	No cumple

La longitud de la curva horizontal cumple con la prueba de normalidad, sin embargo, el IRI no cumple la prueba de normalidad.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de curva horizontal LCH e Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de curva horizontal LCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de curva horizontal LCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Rho de Spearman} = -0.879$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

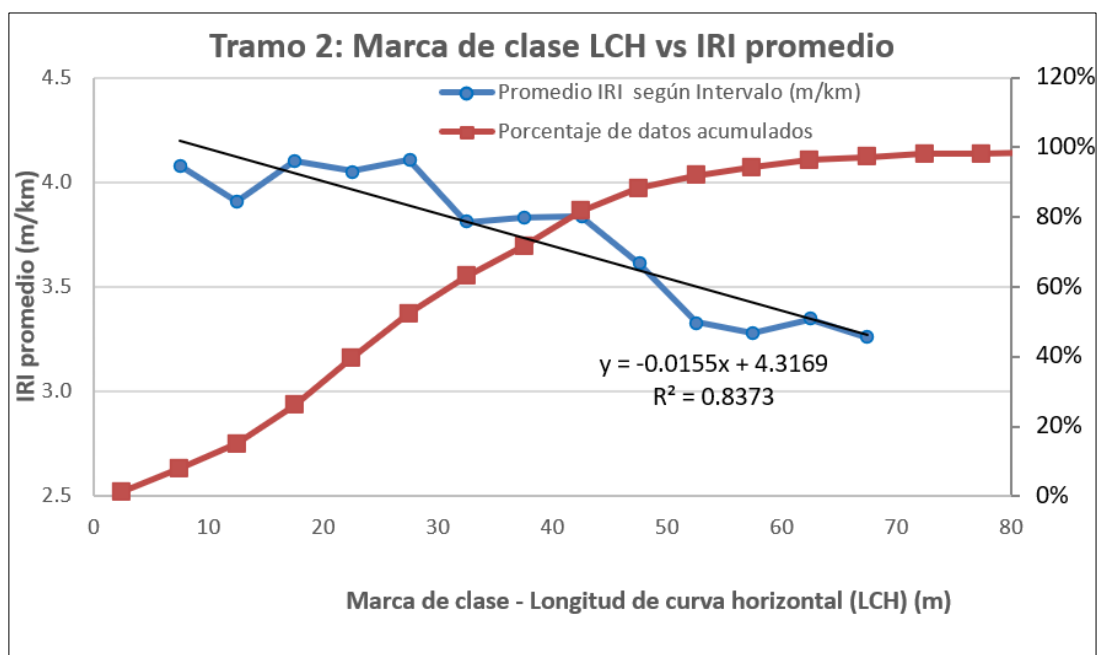
Rechazo Ho

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de curva horizontal LCH y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo II.

Figura 36

Correlación entre el LCH y el IRI promedio Tramo II



Según la figura 36 para de curva horizontal LRCH menor a 20 m se obtendría un valor de IRI malo (umbral 4m/km) según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

Tabla 46

Frecuencias entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls (Tramo II)

Long Ls Intervalo (m)	Long Ls Límite inferior intervalo (m)	Long Ls Límite superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) > Límite inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje	% de datos acumulados
2.5	>=0	<5	4.37	3.49	4.37	272	1.35%	1%
7.5	>=5	<10	4.50	3.48	4.48	1217	6.06%	7.4%
12.5	>=10	<15	3.91	3.41	4.15	2058	10.25%	17.7%
17.5	>=15	<20	3.80	3.35	4.01	2251	11.21%	28.9%
22.5	>=20	<25	3.50	3.28	3.87	2133	10.63%	39.5%
27.5	>=25	<30	3.49	3.25	3.79	2148	10.70%	50.2%
32.5	>=30	<35	3.53	3.19	3.76	1495	7.45%	57.7%
37.5	>=35	<40	3.33	3.14	3.71	1319	6.57%	64.2%
42.5	>=40	<45	3.24	3.10	3.67	1134	5.65%	69.9%
47.5	>=45	<50	3.27	3.07	3.64	1172	5.84%	75.7%
52.5	>=50	<55	2.94	3.02	3.60	846	4.21%	79.9%
57.5	>=55	<60	3.06	3.04	3.57	916	4.56%	84.5%
62.5	>=60	<65	3.44	3.04	3.57	247	1.23%	85.7%
67.5	>=65	<70	3.13	3.00	3.56	470	2.34%	88.1%
72.5	>=70	<75	3.52	2.98	3.56	357	1.78%	89.8%
77.5	>=75	<80	3.05	2.87	3.55	233	1.16%	91.0%
82.5	>=80	<85	2.59	2.85	3.54	247	1.23%	92.2%
87.5	>=85	<90	2.95	2.90	3.52	438	2.18%	94.4%

Prueba de normalidad para la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls e Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

	Shapiro-Wilk		Prueba de normalidad	
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
Ls	0.961	18	0.629	Cumple
IRI	0.942	18	0.316	Cumple

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.839$$

c) Comparación de p y α

$$p = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

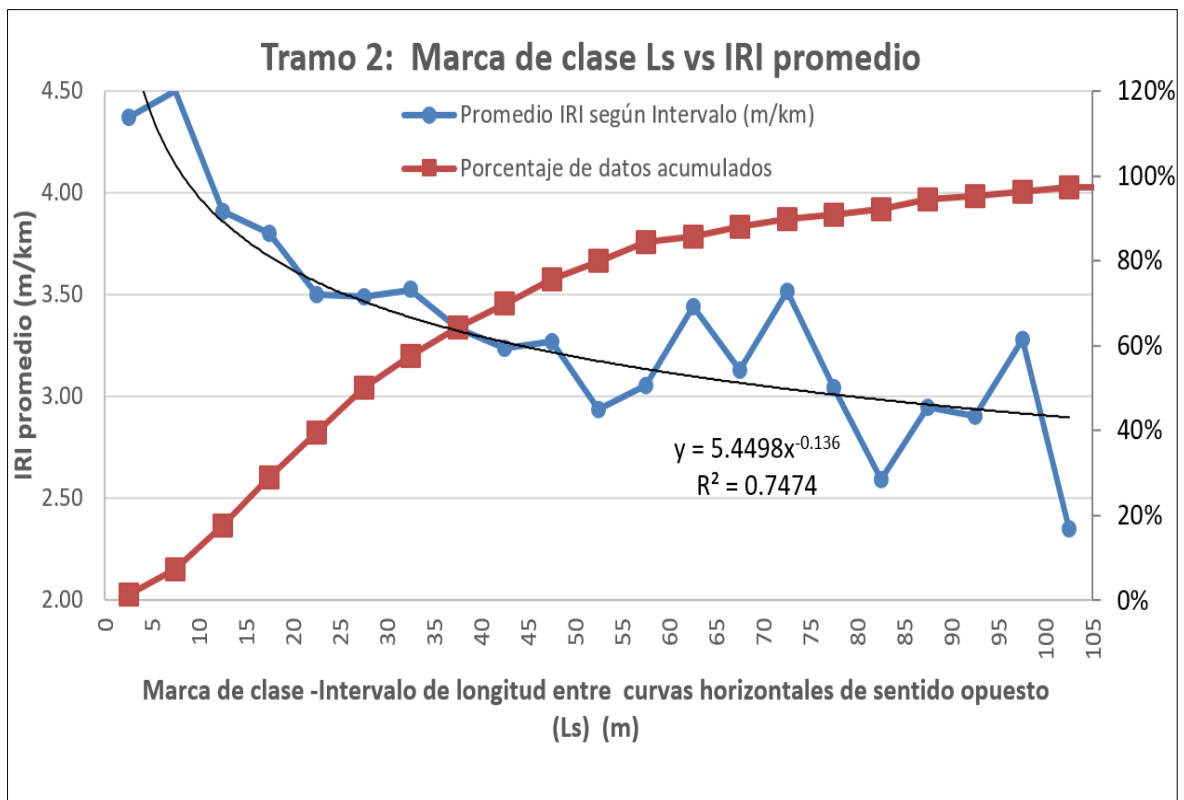
Rechazo H_0

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto L_s y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo II.

Figura 37

Correlación entre el L_s y el IRI promedio Tramo II



Según la figura 37 para la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto menor a 10 m se obtendría un valor de IRI malo (umbral 4m/km) según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

Tabla 47

Frecuencias para longitud de curva vertical LCV (Tramo II)

Long CV Intervalo (m)	Long CV Límite Inferior intervalo (m)	Long CV Límite superior intervalo (m)	Promedi o IRI Intervalo (m/km)	Promedi o IRI >Límite inferior (m/km)	Promedi o IRI <límite superior (m/km)	Cantida d de datos según intervalo s	Porcentaj e de intervalo	% de datos acumulad os
2.5	>=0	<5	4.22	3.78		590	2.37%	2.4%
7.5	>=5	<10	3.93	3.77	3.95	7383	29.67%	32.0%
12.5	>=10	<15	3.77	3.70	3.87	5778	23.22%	55.3%
17.5	>=15	<20	3.71	3.66	3.84	4137	16.63%	71.9%
22.5	>=20	<25	3.62	3.63	3.80	3526	14.17%	86.1%
27.5	>=25	<30	3.61	3.65	3.78	2013	8.09%	94.1%
32.5	>=30	<35	3.66	3.70	3.78	645	2.59%	96.7%
37.5	>=35	<40	3.48	3.73	3.77	388	1.56%	98.3%

Nota: Los datos geométricos son del Informe de Mejoramiento y el IRI fue evaluación agosto (2020)

Prueba de normalidad para la longitud de curva vertical LCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

	Shapiro-Wilk			Prueba de normalidad
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
LCV	0.975	8	0.933	Cumple
IRI	0.896	8	0.268	Cumple

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de curva vertical LCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de curva vertical LCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de curva vertical LCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.897$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.003 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

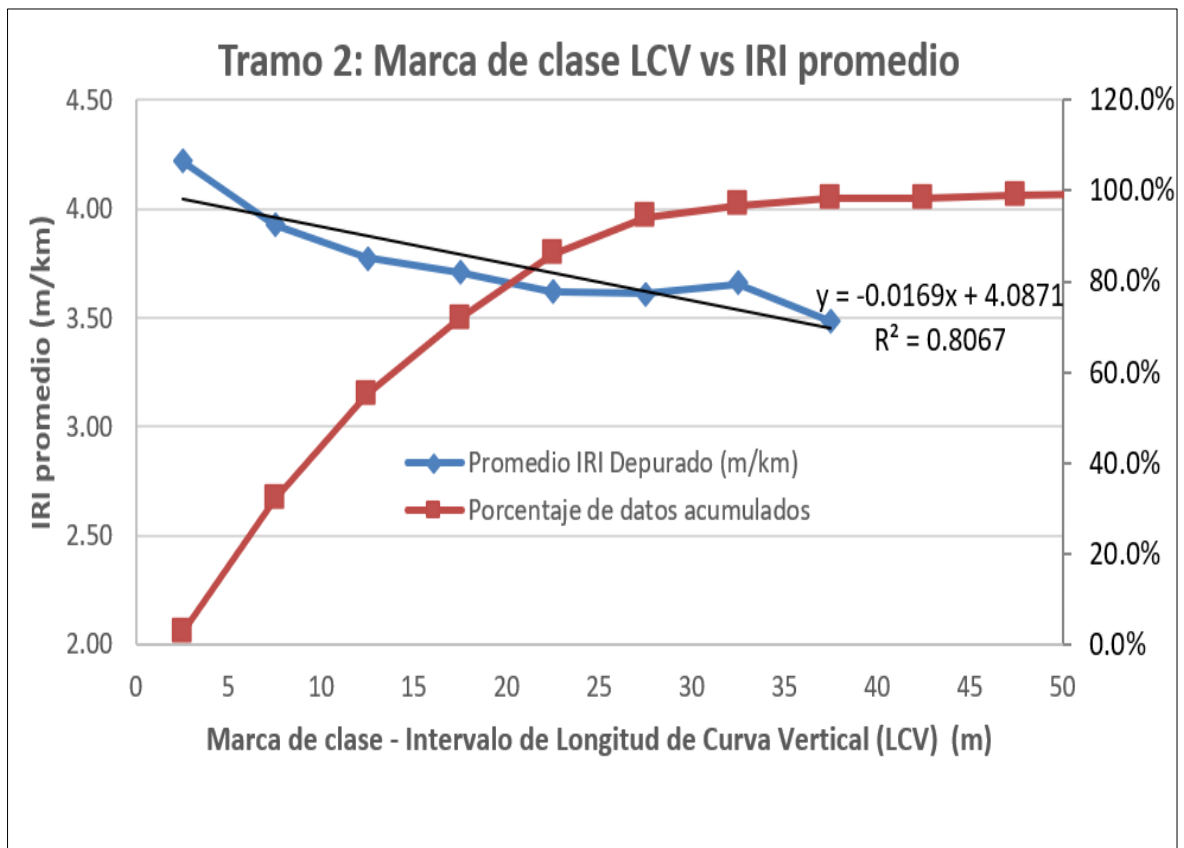
Rechazo H_0

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de curva vertical y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo II.

Figura 38

Correlación entre el LCV y el IRI promedio (Tramo II)



Según la figura 38 para todas las longitudes de curva vertical LCV los sectores estarían en estado regular rango [2.8 m/km 4 m/km> según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

Tabla 48

Frecuencia de longitud de curva horizontal sentido opuesto Ls (Tramo II)

Longitud Transición intervalo (m)	Longitud Transición CV Límite inferior intervalo (m)	Longitud Transición CV Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI Intervalo (m/km)	Promedio IRI Depurado (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite inferior	Promedio IRI (m/km) <Límite superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje intervalo	% de datos acumulados
2.5	>=0	<5	3.94	3.94	3.58	3.94	1393	3.3%	3.3%
7.5	>=5	<10	3.75	3.75	3.57	3.81	3408	8.0%	11.2%
12.5	>=10	<15	3.81	3.81	3.55	3.81	4365	10.2%	21.4%
17.5	>=15	<20	3.64	3.64	3.52	3.75	4194	9.8%	31.2%
22.5	>=20	<25	3.70	3.70	3.51	3.74	4253	9.9%	41.2%
27.5	>=25	<30	3.60	3.60	3.47	3.72	3487	8.1%	49.3%
32.5	>=30	<35	3.66	3.66	3.45	3.71	3424	8.0%	57.3%
37.5	>=35	<40	3.25	3.25	3.41	3.67	2407	5.6%	62.9%
42.5	>=40	<45	3.64	3.64	3.44	3.67	2485	5.8%	68.7%
47.5	>=45	<50	3.55	3.55	3.40	3.66	2008	4.7%	73.4%
52.5	>=50	<55	3.37	3.37	3.37	3.65	1611	3.8%	77.2%
57.5	>=55	<60	3.34	3.34	3.37	3.64	1017	2.4%	79.6%
62.5	>=60	<65	3.33	3.33	3.38	3.63	1173	2.7%	82.3%
67.5	>=65	<70	3.49	3.49	3.38	3.62	940	2.2%	84.5%
72.5	>=70	<75	3.54	3.54	3.37	3.62	511	1.2%	85.7%
77.5	>=75	<80	3.29	3.29	3.35	3.61	1081	2.5%	88.2%
82.5	>=80	<85	3.54	3.54	3.37	3.61	413	1.0%	89.2%
87.5	>=85	<90	3.56	3.56	3.36	3.61	433	1.0%	90.2%
92.5	>=90	<95	3.18	3.18	3.34	3.61	274	0.6%	90.8%
97.5	>=95	<100	3.03	3.03	3.35	3.60	585	1.4%	92.2%
102.5	>=100	<105	3.31	3.31	3.40	3.59	410	1.0%	93.2%

Nota: Los datos geométricos son del Informe de Mejoramiento y el IRI fue evaluación agosto (2020)

Prueba de normalidad para la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

	Shapiro-Wilk		Prueba de
Estadístico	$\alpha=0.05$	Sig.	normalidad

				$\alpha=0.05$
LTCV	0.960	21	0.515	Cumple
IRI	0.983	21	0.960	Cumple

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de transición entre curvas vertical LTCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo II

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.793$$

c) Comparación de p y α

$$p = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

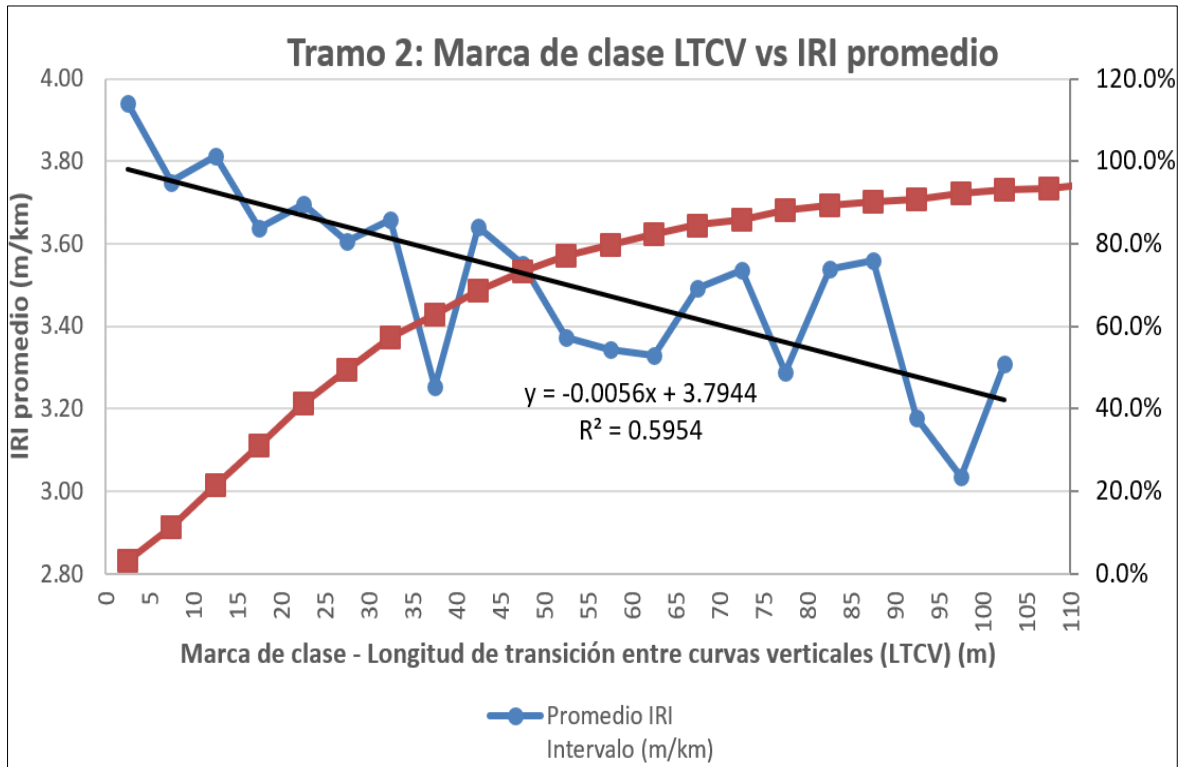
Rechazo Ho

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo II.

Figura 39

Correlación entre el LTCV y el IRI promedio Tramo II



Según la figura 39 para todas las longitudes de curva de transición entre curvas verticales LTCV los sectores estarían en estado regular, rango [2.8 m/km 4 m/km> según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

5.2.4 Análisis de Datos de IRI y Parámetros Geométricos Tramo – III

Tabla 49

Frecuencia para longitud de radio de curva horizontal LRCH (Tramo III)

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) > Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje Intervalo	% de datos acumulados
2.5	>=0	<5		3.22		0	0.0%	0.0%
7.5	>=5	<10	7.68	3.22	7.68	378	0.7%	0.7%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje Intervalo	% de datos acumulados
12.5	>=10	<15	5.82	3.20	6.25	1191	2.2%	2.9%
17.5	>=15	<20	5.13	3.15	5.81	738	1.4%	4.3%
22.5	>=20	<25	4.35	3.13	5.17	1508	2.8%	7.1%
27.5	>=25	<30	4.11	3.09	4.80	1764	3.3%	10.3%
32.5	>=30	<35	3.73	3.06	4.48	2080	3.8%	14.2%
37.5	>=35	<40	3.84	3.03	4.32	2362	4.4%	18.5%
42.5	>=40	<45	3.58	2.99	4.21	1602	3.0%	21.5%
47.5	>=45	<50	3.48	2.96	4.07	2711	5.0%	26.5%
52.5	>=50	<55	3.66	2.93	4.02	2148	4.0%	30.5%
57.5	>=55	<60	3.26	2.89	3.93	2049	3.8%	34.3%
62.5	>=60	<65	3.43	2.87	3.88	1823	3.4%	37.6%
67.5	>=65	<70	3.52	2.84	3.86	1575	2.9%	40.6%
72.5	>=70	<75	2.94	2.81	3.80	1308	2.4%	43.0%
77.5	>=75	<80	3.10	2.80	3.76	1341	2.5%	45.5%
82.5	>=80	<85	3.28	2.79	3.74	1171	2.2%	47.6%
87.5	>=85	<90	2.90	2.77	3.69	1355	2.5%	50.1%
92.5	>=90	<95	2.82	2.76	3.65	1470	2.7%	52.8%
97.5	>=95	<100	2.80	2.76	3.62	834	1.5%	54.4%
102.5	>=100	<105	2.89	2.76	3.59	1091	2.0%	56.4%
107.5	>=105	<110	3.21	2.75	3.58	789	1.5%	57.9%
112.5	>=110	<115	2.92	2.74	3.56	978	1.8%	59.7%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje Intervalo	% de datos acumulados
117.5	>=115	<120	2.99	2.73	3.54	1070	2.0%	61.7%
122.5	>=120	<125	3.34	2.71	3.54	1017	1.9%	63.5%
127.5	>=125	<130	2.99	2.68	3.53	548	1.0%	64.6%
132.5	>=130	<135	2.53	2.67	3.51	681	1.3%	65.8%
137.5	>=135	<140	2.79	2.68	3.49	653	1.2%	67.0%
142.5	>=140	<145	3.32	2.67	3.49	841	1.6%	68.6%
147.5	>=145	<150	3.07	2.64	3.49	319	0.6%	69.2%
152.5	>=150	<155	2.57	2.63	3.47	638	1.2%	70.3%
157.5	>=155	<160	2.68	2.64	3.46	277	0.5%	70.9%
162.5	>=160	<165	2.64	2.63	3.46	272	0.5%	71.4%
167.5	>=165	<170	2.89	2.63	3.45	348	0.6%	72.0%
172.5	>=170	<175	2.57	2.63	3.44	642	1.2%	73.2%
177.5	>=175	<180	3.18	2.63	3.43	539	1.0%	74.2%
182.5	>=180	<185	2.25	2.61	3.43	237	0.4%	74.6%
187.5	>=185	<190	2.29	2.62	3.42	402	0.7%	75.4%
192.5	>=190	<195	2.70	2.63	3.41	648	1.2%	76.6%
197.5	>=195	<200	2.91	2.62	3.40	294	0.5%	77.1%
202.5	>=200	<205	2.85	2.62	3.39	570	1.1%	78.2%
207.5	>=205	<210	3.19	2.60	3.39	119	0.2%	78.4%
212.5	>=210	<215	3.06	2.60	3.39	364	0.7%	79.1%
217.5	>=215	<220	2.59	2.58	3.38	329	0.6%	79.7%

Radio Intervalo (m)	Radio CH Límite Inferior intervalo (m)	Radio CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	Promedio IRI (m/km) >Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje Intervalo	% de datos acumulados
222.5	>=220	<225	3.11	2.58	3.38	184	0.3%	80.0%
227.5	>=225	<230	2.62	2.58	3.38	180	0.3%	80.3%
232.5	>=230	<235	2.89	2.58	3.38	259	0.5%	80.8%
237.5	>=235	<240	2.49	2.57	3.37	333	0.6%	81.4%
242.5	>=240	<245	2.62	2.57	3.37	164	0.3%	81.7%
247.5	>=245	<250	2.68	2.57	3.36	176	0.3%	82.1%
252.5	>=250	<255	2.14	2.57	3.36	265	0.5%	82.6%
257.5	>=255	<260	2.76	2.58	3.35	271	0.5%	83.1%
262.5	>=260	<265	2.50	2.57	3.35	249	0.5%	83.5%
267.5	>=265	<270	2.77	2.58	3.35	137	0.3%	83.8%
272.5	>=270	<275	2.84	2.57	3.34	205	0.4%	84.1%
277.5	>=275	<280	2.46	2.57	3.34	124	0.2%	84.4%
282.5	>=280	<285	2.15	2.57	3.34	167	0.3%	84.7%
287.5	>=285	<290	2.43	2.58	3.33	348	0.6%	85.3%
292.5	>=290	<295	2.56	2.58	3.32	264	0.5%	85.8%

Prueba de normalidad para la longitud de radio de curvas horizontales LRCH y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

Kolmogorov-Smirnov ^a		Prueba de normalidad	
Estadístico	gl	Sig.	α=0.05

LRCH	0.064	58	,200*	Cumple
IRI	0.195	58	0.000	No cumple

La longitud de radio de curva horizontal cumple la prueba de normalidad, sin embargo, el IRI no cumple la prueba de normalidad.

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de radio de curva horizontal LRCH y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de radio de curva horizontal LRCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de radio de curva horizontal LRCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Rho Spearman} = - 0.792$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

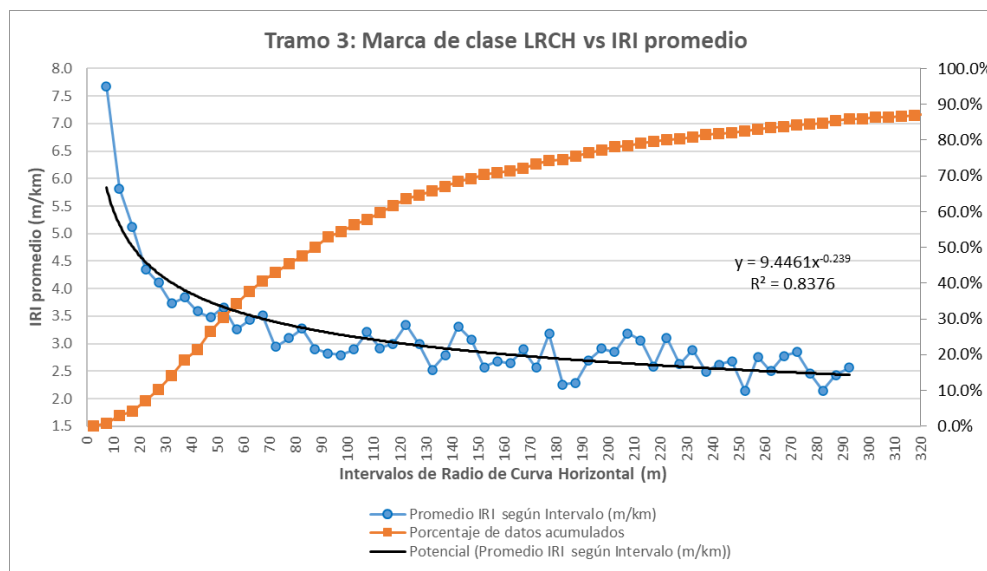
Rechazo Ho

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de radio de curva horizontal y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo II.

Figura 40

Correlación entre el LRCH y el IRI Tramo III



Según la figura 40 para la longitud de radio de curva horizontal LRCH menor a 15 m se obtendría un IRI muy malo, mayor a 5 m/km según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

Tabla 50

Frecuencias para longitud de curva horizontal LCH (Tramo III)

LCH Intervalo (m)	Longitud CH Límite Inferior intervalo (m)	Longitud CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	IRI Depurado	Promedio IRI (m/km) > Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje Intervalo	% de datos acumulados
2.5	>=0	<5	2.44	2.44	3.22	2.44	13	0.0%	0.0%
7.5	>=5	<10	3.79	3.79	3.22	3.72	252	0.5%	0.5%
12.5	>=10	<15	4.11	4.11	3.22	4.04	1297	2.4%	2.9%
17.5	>=15	<20	4.44	4.44	3.20	4.32	3397	6.3%	9.2%
22.5	>=20	<25	3.48	3.48	3.11	3.88	5374	9.9%	19.1%
27.5	>=25	<30	3.44	3.44	3.07	3.74	4817	8.9%	28.0%
32.5	>=30	<35	3.34	3.34	3.03	3.61	6402	11.8%	39.9%
37.5	>=35	<40	3.30	3.30	2.97	3.55	5075	9.4%	49.2%
42.5	>=40	<45	3.01	3.01	2.91	3.47	4810	8.9%	58.1%

LCH Intervalo (m)	Longitud CH Límite Inferior intervalo (m)	Longitud CH Límite Superior intervalo (m)	Promedio IRI según Intervalo (m/km)	IRI Depurado	Promedio IRI (m/km) > Límite Inferior	Promedio IRI (m/km) < Límite Superior	Cantidad de datos según intervalos	Porcentaje Intervalo	% de datos acumulados
47.5	>=45	<50	2.93	2.93	2.89	3.40	4028	7.4%	65.6%
52.5	>=50	<55	2.99	2.99	2.88	3.36	3915	7.2%	72.8%
57.5	>=55	<60	3.09	3.09	2.85	3.34	3374	6.2%	79.1%
62.5	>=60	<65	3.04	3.04	2.77	3.33	1740	3.2%	82.3%
67.5	>=65	<70	3.01	3.01	2.73	3.31	1678	3.1%	85.4%
72.5	>=70	<75	2.67	2.67	2.67	3.29	2144	4.0%	89.4%
77.5	>=75	<80	2.64	2.64	2.66	3.27	922	1.7%	91.1%
82.5	>=80	<85	2.74	2.74	2.67	3.26	823	1.5%	92.6%
87.5	>=85	<90	2.63	2.63	2.65	3.25	956	1.8%	94.4%

Prueba de normalidad para la longitud de curvas horizontales LCH y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

	Shapiro-Wilk		Prueba de normalidad	
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
LCH	0.962	17	0.670	Cumple
IRI	0.900	17	0.069	Cumple

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de curva horizontal LRCH y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de curva horizontal LCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de curva horizontal LCH y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo II.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.885$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

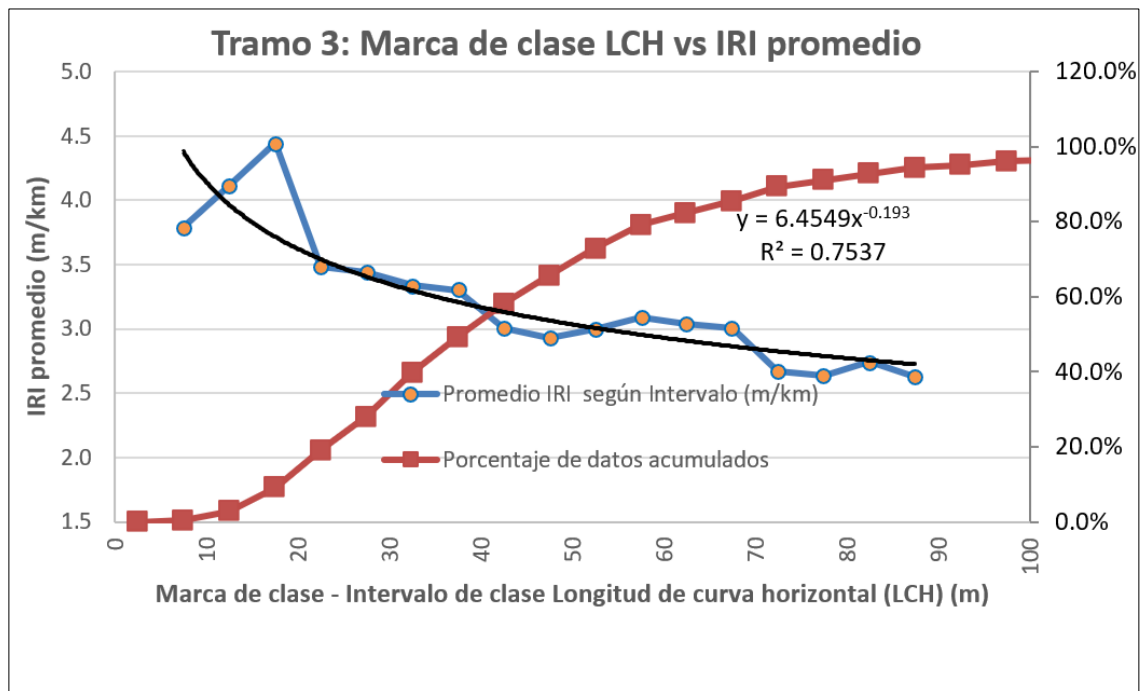
Rechazo H_0

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de curva horizontal y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo III.

Figura 41

Correlación entre el LCH y el IRI promedio Tramo III



Según la figura 41 para la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto menor a 12 m se obtendría un valor de IRI malo (umbral 4m/km) según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

Tabla 51

Frecuencia de tangente de curva horizontal sentido opuesto Ls (Tramo III)

Long Ls	Long Ls	Promedi	Promedi	Promedi	Cantidad				
Long Ls	Límite	Límite	o IRI	IRI	o IRI	o IRI	de datos	Porcenta	% de
Intervalo	inferior	superior	según	Depurad	(m/km)	(m/km)	según	je	datos
(m)	intervalo	intervalo	Intervalo	o	>Límite	<Límite	intervalo	intervalo	acumula
	(m)	(m)	(m/km)		inferior	superior	s		dos
2.5	>=0	<5	3.94	3.94	3.10	3.94	172	0.57%	0.6%
7.5	>=5	<10	3.89	3.89	3.09	3.90	805	2.65%	3.2%
12.5	>=10	<15	3.68	3.68	3.07	3.75	2023	6.66%	9.9%
17.5	>=15	<20	3.18	3.18	3.03	3.47	2767	9.11%	19.0%
22.5	>=20	<25	3.23	3.23	3.01	3.39	3014	9.92%	28.9%
27.5	>=25	<30	2.94	2.94	2.98	3.29	2423	7.97%	36.9%
32.5	>=30	<35	3.15	3.15	2.99	3.26	2426	7.98%	44.9%
37.5	>=35	<40	3.60	3.60	2.96	3.31	2185	7.19%	52.1%
42.5	>=40	<45	2.89	2.89	2.88	3.26	1799	5.92%	58.0%
47.5	>=45	<50	3.21	3.21	2.87	3.26	1180	3.88%	61.9%
52.5	>=50	<55	3.03	3.03	2.84	3.24	1644	5.41%	67.3%
57.5	>=55	<60	3.14	3.14	2.81	3.24	1139	3.75%	71.0%
62.5	>=60	<65	2.62	2.62	2.77	3.21	984	3.24%	74.3%
67.5	>=65	<70	2.72	2.72	2.79	3.19	729	2.40%	76.7%
72.5	>=70	<75	2.72	2.72	2.79	3.16	1582	5.21%	81.9%
77.5	>=75	<80	3.21	3.21	2.81	3.16	770	2.53%	84.4%
82.5	>=80	<85	2.57	2.57	2.75	3.14	821	2.70%	87.1%

Long Ls	Long Ls	Promedi	Promedi	Promedi	Cantidad				
Límite inferior	Límite superior	o IRI según Intervalo	IRI Depurado	o IRI (m/km) >Límite inferior	o IRI (m/km) <Límite superior	de datos según intervalos	Porcentaje intervalos	% de datos acumulados	
87.5	>=85	<90	3.03	3.03	2.78	3.14	698	2.30%	89.4%
92.5	>=90	<95	2.79	2.79	2.73	3.14	366	1.20%	90.6%

Prueba de normalidad para la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

	Shapiro-Wilk			Prueba de normalidad
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
LS	0.961	19	0.590	Cumple
IRI	0.928	19	0.162	Cumple

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de tangente entre curvas de sentido opuesto Ls y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo III

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de tangente entre curvas de sentido opuesto Ls y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo III.

. Nivel de significancia (α)

$\alpha= 5\%$

b) Valor de prueba

Pearson = - 0750

c) Comparación de ρ y α

$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$

d) Decisión

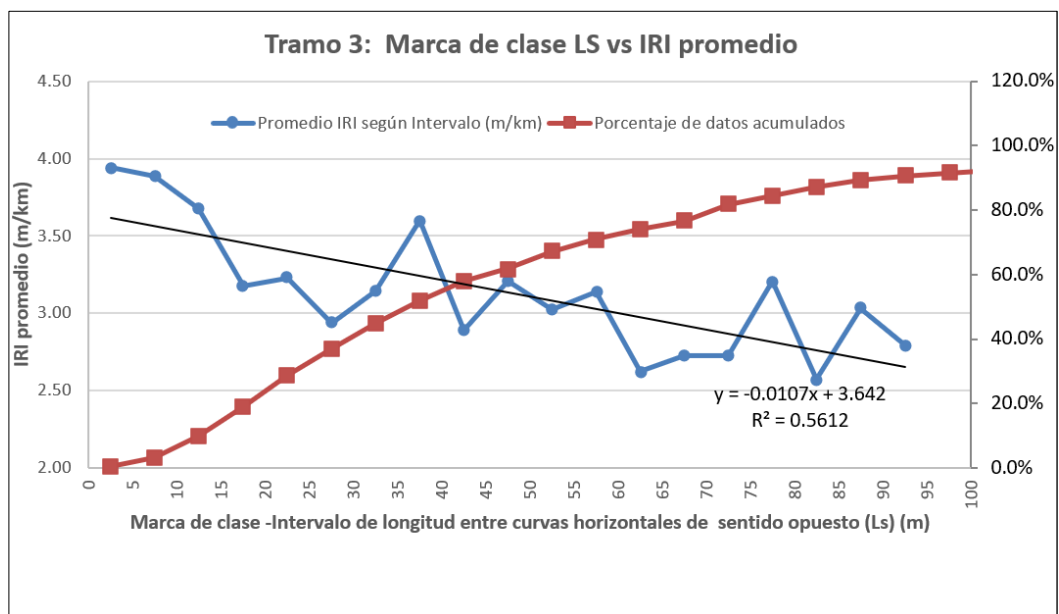
Rechazo H_0

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de tangente entre curvas horizontales de sentido opuesto L_s y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo III.

Figura 42

Correlación entre el L_s y el IRI promedio Tramo III



Según la figura 42 para todas las longitudes de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto L_s el valor de IRI tiene un valor regular, rango [2.8 m/km 4 m/km >

según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007.

Tabla 52

Frecuencias para longitud de curva vertical LCV -Tramo III

Long CV	Long CV	Promedio	Promedio	Cantidad				
Límite	Límite	IRI	IRI	IRI	de datos	Porcentaje	% de datos	
Intervalo	Intervalo	Intervalo	(m/km)	(m/km)	según	intervalo	acumulados	
(m)	(m)	(m/km)	>Límite inferior	<límite superior	intervalos			
2.5	>=0	<5	3.76	3.18	46	0.09%	0.1%	
7.5	>=5	<10	3.42	3.18	781	1.59%	1.7%	
12.5	>=10	<15	3.33	3.17	5921	12.04%	13.7%	
17.5	>=15	<20	3.28	3.15	6292	12.79%	26.5%	
22.5	>=20	<25	3.22	3.13	5531	11.25%	37.8%	
27.5	>=25	<30	3.28	3.11	4632	9.42%	47.2%	
32.5	>=30	<35	3.28	3.09	3790	7.71%	54.9%	
37.5	>=35	<40	3.05	3.05	3960	8.05%	62.9%	
42.5	>=40	<45	3.17	3.05	3240	6.59%	69.5%	
47.5	>=45	<50	3.22	3.03	3459	7.03%	76.6%	
52.5	>=50	<55	3.07	2.97	2131	4.33%	80.9%	
57.5	>=55	<60	3.16	2.95	2007	4.08%	85.0%	
62.5	>=60	<65	2.85	2.89	1731	3.52%	88.5%	
67.5	>=65	<70	3.19	2.90	731	1.49%	90.0%	
72.5	>=70	<75	2.67	2.86	1223	2.49%	92.5%	
77.5	>=75	<80	2.92	2.92	1148	2.33%	94.8%	
82.5	>=80	<85	2.95	2.93	658	1.34%	96.1%	
87.5	>=85	<90	2.57	2.92	519	1.06%	97.2%	

Prueba de normalidad para la longitud de curvas verticales LCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

	Shapiro-Wilk		Prueba de normalidad	
	Estadístico	gl	Sig.	$\alpha=0.05$
LCV	0.962	17	0.670	Cumple
IRI	0.916	17	0.129	Cumple

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de curvas verticales LCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de curvas verticales LCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo III

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de curvas verticales LCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo III.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.884$$

c) Comparación de ρ y α

$$\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

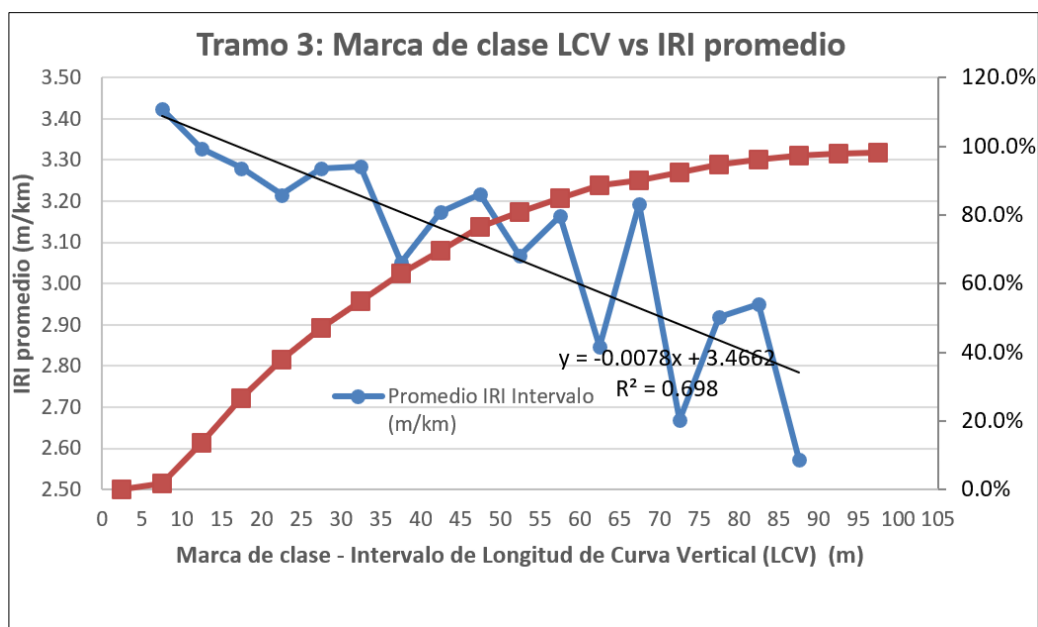
Rechazo Ho

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de curva vertical LCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo III.

Figura 43

Correlación entre el LCV y el IRI promedio Tramo III



Según la figura 43 para todas las longitudes de curva vertical LCV los sectores estarían en estado regular, rango [2.8 m/km 4 m/km] según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

Tabla 53

Frecuencia de longitud de transición curva vertical LTCV LCH (Tramo III)

Longitud	Longitud								
Longitud	Transici	Transici	Promedi		Promedi	Promedi	Cantida		
Transici	ón CV	ón CV	o IRI	IRI	o IRI	o IRI	d de	Porcenta	% de
ón	Límite	Límite	Interval	Depurad	(m/km)	(m/km)	datos	je	datos
intervalo	inferior	Superior	o	o	>Límite	<Límite	según	Intervalo	acumulad
(m)	intervalo	intervalo	(m/km)		inferior	superior	interval		os
	(m)	(m)					os		
2.5	>=0	<5	3.39	3.39	3.12	3.39	573	1.1%	1.1%
7.5	>=5	<10	3.42	3.42	3.12	3.41	1590	3.1%	4.2%
12.5	>=10	<15	3.41	3.41	3.11	3.41	3032	5.9%	10.2%

Longitud		Longitud				Cantida			
Longitud	Transici	Transici	Promedi	Promedi	Promedi	Promedi	d de	Porcenta	% de
Transici	ón CV	ón CV	o IRI	IRI	o IRI	o IRI	datos	je	datos
ón	Límite	Límite	Interval	Depurad	(m/km)	(m/km)	según	Intervalo	acumulad
intervalo	inferior	Superior	o	o	>Límite	<Límite	interval		os
(m)	intervalo	intervalo	(m/km)		inferior	superior	os		
	(m)	(m)							
17.5	>=15	<20	3.44	3.44	3.09	3.42	3510	6.9%	17.1%
22.5	>=20	<25	3.22	3.22	3.06	3.36	4067	8.0%	25.0%
27.5	>=25	<30	2.92	2.92	3.04	3.25	3862	7.6%	32.6%
32.5	>=30	<35	3.34	3.34	3.06	3.27	4036	7.9%	40.5%
37.5	>=35	<40	3.01	3.01	3.02	3.23	3813	7.5%	48.0%
42.5	>=40	<45	3.11	3.11	3.02	3.22	3234	6.3%	54.3%
47.5	>=45	<50	3.02	3.02	3.01	3.20	2788	5.5%	59.8%
52.5	>=50	<55	3.02	3.02	3.00	3.18	2539	5.0%	64.8%
57.5	>=55	<60	3.02	3.02	3.00	3.17	2222	4.4%	69.1%
62.5	>=60	<65	3.00	3.00	3.00	3.17	1560	3.1%	72.2%
67.5	>=65	<70	3.09	3.09	3.00	3.16	1601	3.1%	75.3%
72.5	>=70	<75	2.78	2.78	2.99	3.15	1155	2.3%	77.6%
77.5	>=75	<80	2.87	2.87	3.01	3.14	1387	2.7%	80.3%
82.5	>=80	<85	2.92	2.92	3.03	3.13	1541	3.0%	83.3%
87.5	>=85	<90	2.75	2.75	3.06	3.12	1041	2.0%	85.4%

Prueba de normalidad para la longitud de transición entre curvas verticales

LTCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

Shapiro-Wilk			Prueba de normalidad
	Estadístico	gl	
LTCV	0.961	18	0.629
IRI	0.918	18	0.118

Ambos parámetros geométricos cumplen la prueba de normalidad

Prueba de hipótesis establecer la relación entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI – Tramo III

a) Hipótesis (Ho= Hipótesis nula; Ha= Hipótesis alternativa)

Ho: No existe relación significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo III

Ha: Existe relación significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el Tramo III.

. Nivel de significancia (α)

$$\alpha = 5\%$$

b) Valor de prueba

$$\text{Pearson} = -0.861$$

c) Comparación de p y α

$$p = 0.000 < \alpha = 0.05$$

d) Decisión

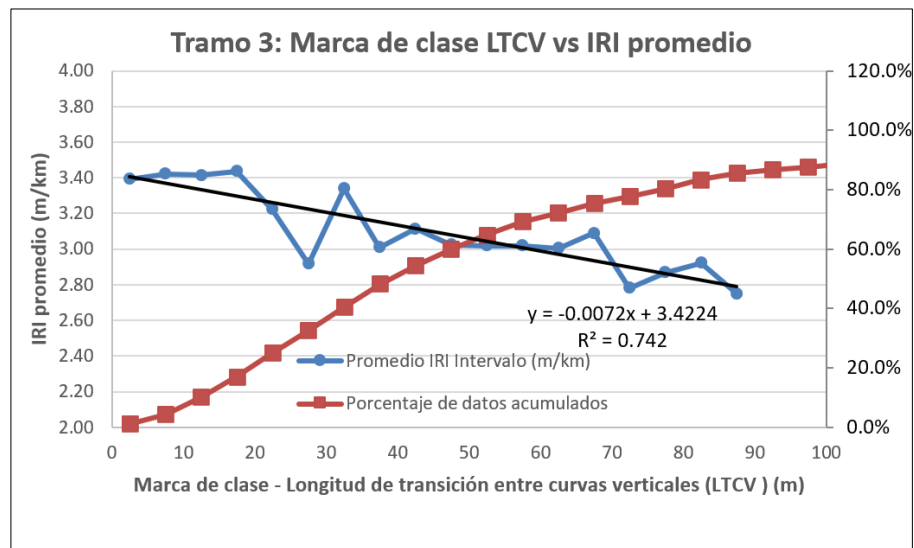
Rechazo Ho

e) Conclusión

Existe relación alta inversa y significativa entre la longitud de transición entre curvas verticales LTCV y el Índice de Rugosidad Internacional IRI en el Tramo III.

Figura 44

Correlación entre el LTCV y el IRI promedio Tramo III



Según la Figura 44 para todas las longitudes de curva de transición entre curvas verticales LTCV los sectores estarían en estado regular, rango [2.8 m/km 4 m/km> según las Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del 2007

5.3 Correlaciones entre el IRI y Parámetros Geométricos

5.3.1 Análisis Correlacional del Tramo I

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados del análisis correlacional entre los parámetros geométricos y el IRI de tramo I.

Tabla 54

Resumen del análisis correlacional del Tramo I.

Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
LRCH - IRI	90.7	Rho Spearman	0.000	0.05	-0.781	Alta inversa y significativa
LCH-IRI	98.5	Pearson	0.000	0.05	-0.839	Alta inversa y significativa
Ls - IRI	81.5	Pearson	0.000	0.05	-0.826	Alta inversa y significativa
LCV - IRI	75.1	Pearson	0.045	0.05	-0.718	Alta inversa y significativa
LTCV - IRI	71.3	Pearson	0.000	0.05	-0.797	Alta inversa y significativa

5.3.2 Análisis Correlacional del Tramo II

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados del análisis correlacional entre los parámetros geométricos y el IRI de tramo II.

Tabla 55

Resumen del análisis correlacional del Tramo II

Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
LRCH - IRI	92.0	Rho Spearman	0.001	0.05	-0.497	Moderada inversa y significativa
LCH-IRI	97.3	Rho Spearman	0.000	0.05	-0.879	Alta inversa y significativa
Ls - IRI	97.3	Pearson	0.000	0.05	-0.839	Alta inversa y significativa
LCV - IRI	98.3	Pearson	0.003	0.05	-0.897	Alta inversa y significativa
LTCV - IRI	93.2	Pearson	0.000	0.05	-0.769	Alta inversa y significativa

5.3.3 Análisis Correlacional del Tramo III

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados del análisis correlacional entre los parámetros geométricos y el IRI de tramo III.

Tabla 56

Resumen del análisis correlacional del Tramo III

Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
LRCH - IRI	85.8	Rho Spearman	0.000	0.05	-0.792	Alta inversa y significativa
LCH-IRI	94.4	Pearson	0.000	0.05	-0.895	Alta inversa y significativa
Ls - IRI	90.6	Pearson	0.000	0.05	-0.750	Alta inversa y significativa
LCV - IRI	97.2	Pearson	0.000	0.05	-0.837	Alta inversa y significativa
LTCV - IRI	85.4	Pearson	0.000	0.05	-0.861	Alta inversa y significativa

5.4 Influencia de los Parámetros de la Geometría Vial en el IRI

5.4.1 Análisis estadístico de medición de IRI

Para este propósito se analiza los valores de IRI mediante una distribución de frecuencias para datos agrupados con los valores de IRI en intervalos o unidades de muestra de 100m tomando como referencia lo que indica la norma EG2013 en referencia al IRI.

Seguidamente para analizar la influencia de la geometría en el IRI se ha relaborado una tabla estadística con anchos de clase por conveniencia de 0.5m/km para ver con mejor detalle la variabilidad del parámetro dependiente en términos de porcentajes, así como los valores más bajos obtenidos.

Con el histograma de frecuencias parciales y con el polígono de frecuencias acumuladas establecemos los valores más bajos que corresponden a los resultados encontrados en campo por el equipo.

En la siguiente tabla para los tramos I y II se observa que los valores de IRI son mayores 2.00 m/km.

En el Tramo III se observa que los valores son mayores que son mayores a 1.00 m/km.

Tabla 57

Frecuencias para el IRI en los Tramos I, II y III

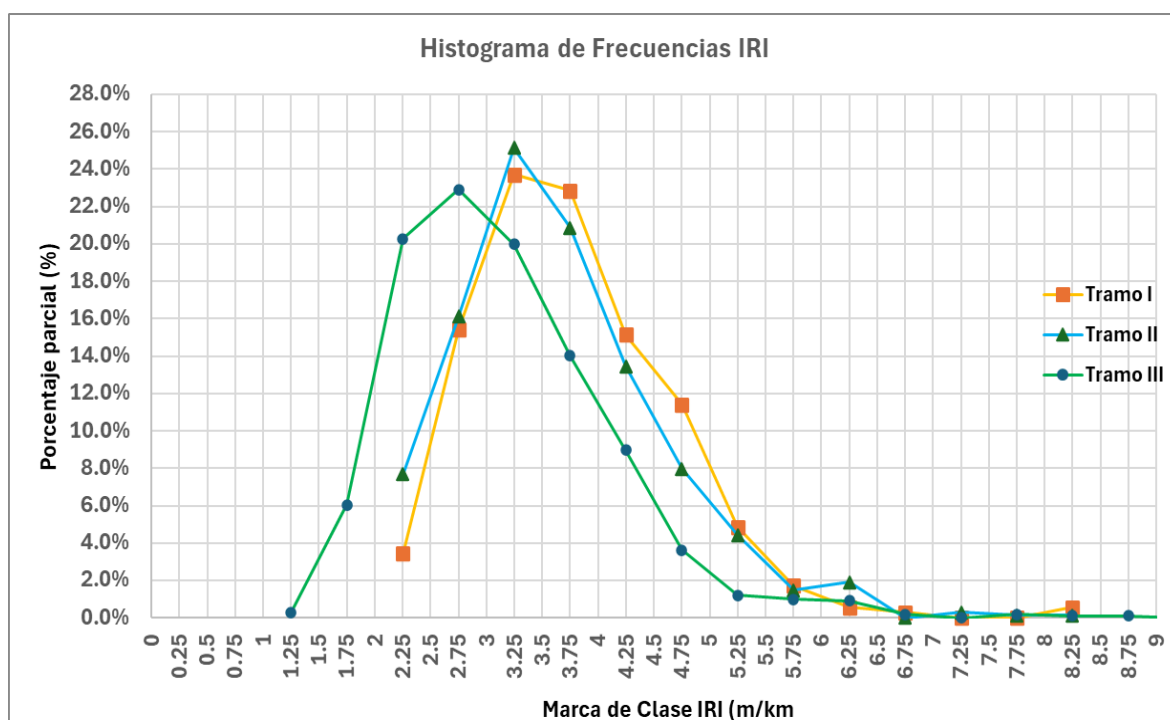
CLASIFICACIÓN DEL IRI (m/km)			Tramo I		Tramo II		Tramo III	
Lim Inferior	Límite Superior	Marca de Clase	% Parcial	%Acumulado	% Parcial	%Acumulado	% Parcial	%Acumulado
>=1	<1.5	1.25					0.3%	0.3%
>=1.5	<2	1.75					6.1%	6.4%
>=2	<2.5	2.25	3.4%	3.4%	7.7%	8.0%	20.3%	26.6%
>=2.5	<3	2.75	15.4%	18.9%	16.1%	24.1%	22.9%	49.5%
>=3	<3.5	3.25	23.7%	42.6%	25.1%	49.3%	20.0%	69.5%
>=3.5	<4	3.75	22.9%	65.4%	20.9%	70.1%	14.0%	83.6%
>=4	<4.5	4.25	15.1%	80.6%	13.5%	83.6%	9.0%	92.5%
>=4.5	<5	4.75	11.4%	92.0%	8.0%	91.6%	3.6%	96.2%
>=5	<5.5	5.25	4.9%	96.9%	4.4%	96.0%	1.2%	97.4%
>=5.5	<6	5.75	1.7%	98.6%	1.5%	97.5%	1.0%	98.4%

CLASIFICACIÓN DEL IRI (m/km)			Tramo I		Tramo II		Tramo III	
Lim Inferior	Límite Superior	Marca de Clase	% Parcial	%Acumulado	% Parcial	%Acumulado	% Parcial	%Acumulado
>=6	<6.5	6.25	0.6%	99.1%	1.9%	99.4%	0.9%	99.3%
>=6.5	<7	6.75	0.3%	99.4%	0.0%	99.4%	0.2%	99.5%
>=7	<7.5	7.25	0.0%	99.4%	0.3%	99.7%	0.0%	99.5%
>=7.5	<8	7.75	0%	99%	0.1%	99.9%	0%	100%
>=8	<8.5	8.25	1%	100%	0.1%	100.0%	0%	100%
>=8.5	<9	8.75					0%	100%
>=9	<9.5	9.25					0%	100%
>=9.5	<10	9.75					0%	100%
>=10	<10.5	10.25					0%	100%

En la siguiente figura se muestra el polígono de frecuencias parciales para los tramos analizados en el cual se observa los valores de IRI más bajos para cada tramo.

Figura 45

Histograma de frecuencias IRI para los Tramos I, II y III



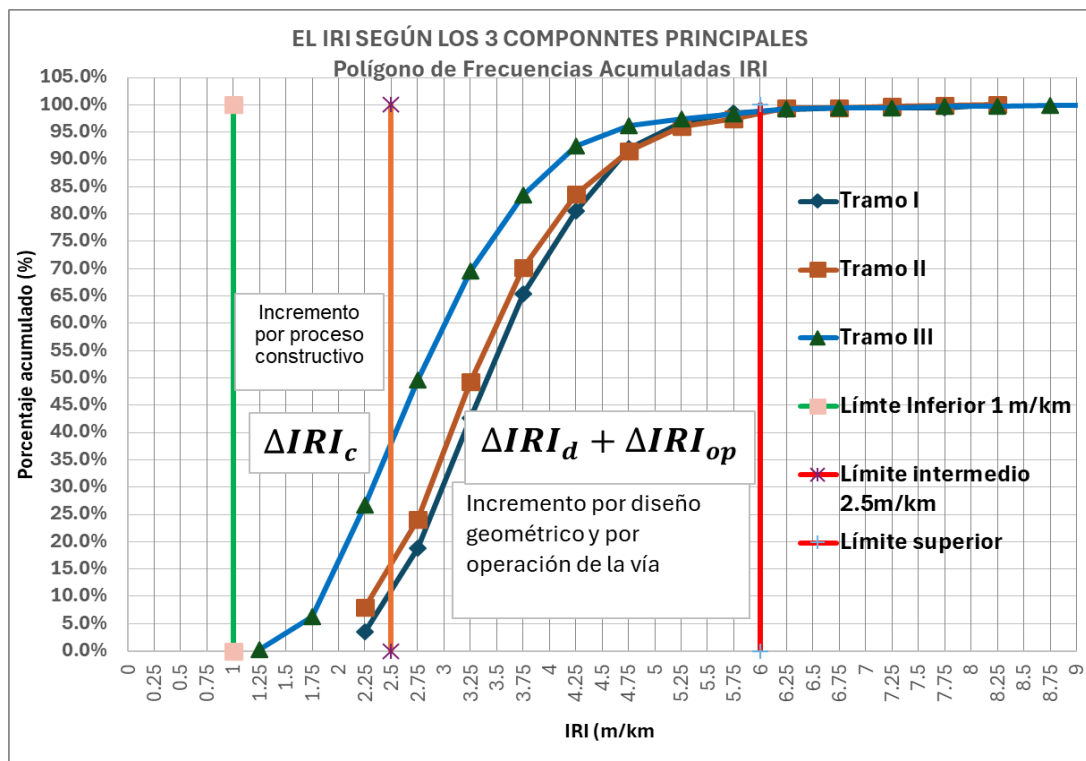
5.4.2 Incremento del IRI por la geometría.

Del análisis de distribución de frecuencias se observa que los valores más bajos del IRI se encuentran entre 1 m/km y 2.5m/km estos valores enmarcan a las variaciones encontradas por Ramos (2021) en el cual luego de analizar cuatro tramos encontró las variaciones promedios 1.60 m/km para Sector 1, 2.19m/km para sector 2, 0.9m/km para sector 3 y 1.84 para el sector 4, en ese sentido para nuestro análisis atribuimos a los

valores mayores a 2.5 m/km como un valor de IRI como influencia de la geometría y también como influencia de la operación de la vía, dado que la evaluación se realizó dos años después de haber culminado el micropavimento.

Figura 46

Determinación de rangos del IRI según componentes principales.



Nota: La ecuación del IRI según los componentes principales $IRI_{t=2 \text{ años}} = IRI_d + \Delta IRI_c + \Delta IRI_{op}$

De la figura 46 se aprecia claramente que el polígono de la curva del tramo III se encuentra distanciada del tramo I y II, esto en razón que fue el último tramo ejecutado el cual presenta mejores características geométricas y superficiales por la puesta en operación de la vía. El iRI por proceso constructivo se encontraría entre los valores de 1m/km a 2.5m/km y el IRI asociado a las características geométricas de la vía entre 0 m/km y 3.5 m/km como mejor representa el tramo III en la figura en mención.

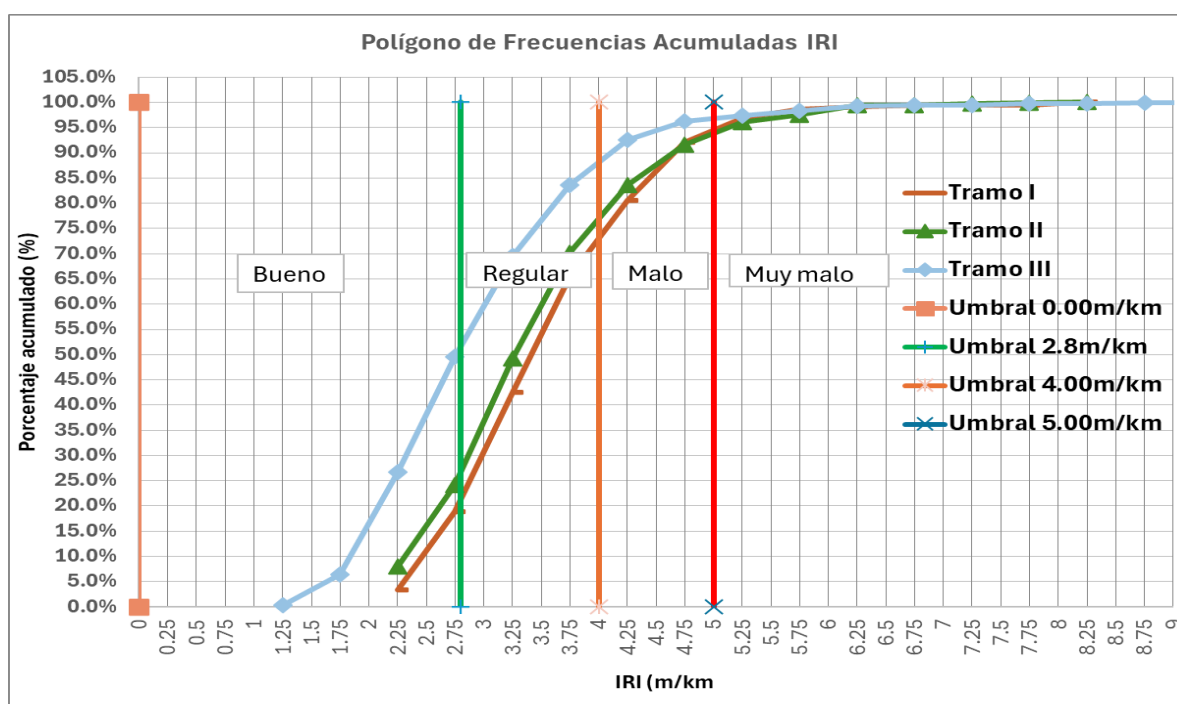
5.5 Calificación del Tramo según el MTC

Para la calificación del tramo en bueno regular, malo y muy malo según las Especificaciones Técnicas Generales Para el Mantenimiento de Carreteras se considera como una superficie bueno para un intervalo mayor a 0.00m/km y menor o igual a 2.80m/km; regular para un intervalo mayor a 2.80m/km y menor o igual a 4; malo para un intervalo mayor a 4.00m/km y menor o igual a 5 y muy malo para un intervalo mayor que 5.0m/km.

De la siguiente gráfica se observa que los valores de IRI varían entre 1.00m/km y 6.0 m/km, rango que evidencia la influencia de los diferentes parámetros geométricos, tanto curvas verticales como horizontales, sobre la rugosidad de la vía.

Figura 47

Histograma de frecuencias acumuladas del IRI para los Tramos I, II y III



En la siguiente tabla se muestra la calificación en porcentajes en intervalos a partir de valores promedios según las especificaciones Técnicas Para el Mantenimiento de Carreteras del 2007.

Tabla 58*Clasificación porcentual por Tramos I, II y III*

Intervalo IRI		Tramo I		Tramo II		Tramo III		Estado
>0	<=2.8	46	13%	116	17%	403	41%	Bueno
>2.8	<=4	183	52%	358	53%	425	43%	Regular
>4	<=5	93	27%	145	21%	125	13%	Malo
>5	<10	28	8%	57	8%	40	4%	Muy malo

En la tabla anterior se observa que el porcentaje total entre un estado regular y bueno suma un porcentaje total del 84%.

Capítulo VI. Análisis y Discusión de Resultados

En este capítulo se presentan y discuten los resultados a partir del procesamiento y comparación de datos del IRI con cinco parámetros geométricos que definen el alineamiento horizontal y vertical del tramo en estudio (las longitudes radios de curvas horizontales LRCH, la longitud la longitud de curvas horizontales LCH, la longitud transición entre curvas horizontales de sentido opuesto Lo, la longitud de curvas verticales LCV y la longitud transición entre curvas verticales LTCV IRI).

Para lograr este propósito se discretizaron los tramos evaluados en intervalos de 1m en al cual se asignó el valor de IRI correspondiente, así como los parámetros geométricos presentes, con esta información, se elaboraron una tabla de frecuencias para cada parámetro, con la marca de clase de cada intervalo de frecuencias y con el promedio del valor del IRI, se realizaron las pruebas de hipótesis para establecer si existe correlación, así como el encontrar el coeficiente de correlación cuyos resultados se muestran en el ítem 6.1.

Tabla 59

Parámetros empleados en pruebas de hipótesis para normalidad y relación

PARÁMETRO	Prueba de Hipótesis para normalidad	Prueba de Hipótesis de relación con el IRI
Índice de rugosidad internacional IRI	si	-
Longitud de radio de curva horizontal LRCH	si	si
Longitud de curva horizontal LCH	si	si
Longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls	si	si
Longitud de curva vertical LCV	si	si
Longitud de transición entre curvas verticales LTCV	si	si

6.1 Presentación de Resultados

Los valores obtenidos validan nuestra hipótesis general y cada una de las hipótesis específicas, así como muestran la fuerza de correlación entre la variable dependiente (IRI) y las variables independientes de los parámetros geométricos.

Tabla 60

Tipo de correlación resultante de LRCH y el IRI para los tres tramos

Tramo	Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
I	LRCH - IRI	90.7	Rho Spearman	0.000	0.05	-0.781	Alta inversa y significativa
II	LRCH - IRI	92.0	Rho Spearman	0.001	0.05	-0.497	Moderada inversa y significativa
III	LRCH - IRI	85.8	Rho Spearman	0.000	0.05	-0.792	Alta inversa y significativa

Tabla 61

Tipo de correlación resultante de LCH y el IRI para los tres tramos.

Tramo	Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
I	LCH-IRI	98.5	Pearson	0.000	0.05	-0.839	Alta inversa y significativa
II	LCH-IRI	97.3	Rho Spearman	0.000	0.05	-0.879	Alta inversa y significativa
III	LCH-IRI	94.4	Pearson	0.000	0.05	-0.895	Alta inversa y significativa

Tabla 62*Tipo de correlación resultante de Ls y el IRI para los tres tramos.*

Tramo	Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
I	Ls - IRI	81.5	Pearson	0.000	0.05	-0.826	Alta inversa y significativa
II	Ls - IRI	97.3	Pearson	0.000	0.05	-0.839	Alta inversa y significativa
III	Ls - IRI	90.6	Pearson	0.000	0.05	-0.750	Alta inversa y significativa

Tabla 63*Tipo de correlación resultante de LCV y el IRI para los tres tramos.*

Tramo	Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
I	LCV - IRI	75.1	Pearson	0.045	0.05	-0.718	Alta inversa y significativa
II	LCV - IRI	98.3	Pearson	0.003	0.05	-0.897	Alta inversa y significativa
III	LCV - IRI	97.2	Pearson	0.000	0.05	-0.837	Alta inversa y significativa

Tabla 64*Tipo de correlación resultante de LTCV y el IRI para los tres tramos.*

Tramo	Correlación	% Datos	Estadístico	ρ	α	Valor de prueba	Tipo de correlación
I	LTCV - IRI	71.3	Pearson	0.000	0.05	-0.797	Alta inversa y significativa
II	LTCV - IRI	93.2	Pearson	0.000	0.05	-0.769	Alta inversa y significativa
III	LTCV - IRI	85.4	Pearson	0.000	0.05	-0.861	Alta inversa y significativa

En la siguiente tabla se muestra las variaciones del IRI según los cinco parámetros para los tres tramos estudiados.

Tabla 65

Variación del IRI según el parámetro geométrico y por tramos.

Parámetro	Variación del IRI	Variación del IRI	Variación del IRI
	Tramo I (m/km)	Tramo II (m/km)	Tramo III (m/km)
LRCH - IRI	[2.72 - 6.99] (4.27)	[3.82 - 6.71] (2.89)	[2.14 - 7.68] (5.54)
LCH-IRI	[2.86 - 4.54] (1.68)	[3.26 - 4.11] (0.85)	[2.66 - 4.44] (1.78)
Ls - IRI	[2.58 - 4.58] (2.00)	[2.35 - 4.50] (2.15)	[2.57 - 3.94] (1.37)
LCV - IRI	[3.60 - 3.99] (0.39)	[3.48 - 4.22] (0.74)	[2.57 - 3.42] (0.85)
LTCV - IRI	[3.41 - 4.11] (0.70)	[3.03 - 3.94] (0.91)	[2.75 - 3.10] (0.35)

Se observa claramente que la mayor variación del IRI ocurre para el parámetro de longitud de radio de curva horizontal LRCH que presenta variaciones de 4.27m/km, 2.89m/km y 5.54m/km para los Tramos I, Tramo II y Tramo III respectivamente.

De la comparación de la Longitud de Radio de Curva Horizontal LRCH se observa lo siguiente:

Para el Tramo I si correlacionamos la LRCH con longitudes menores a 75m con el IRI obtenemos una ecuación de correlación con un $R^2=0.9408$

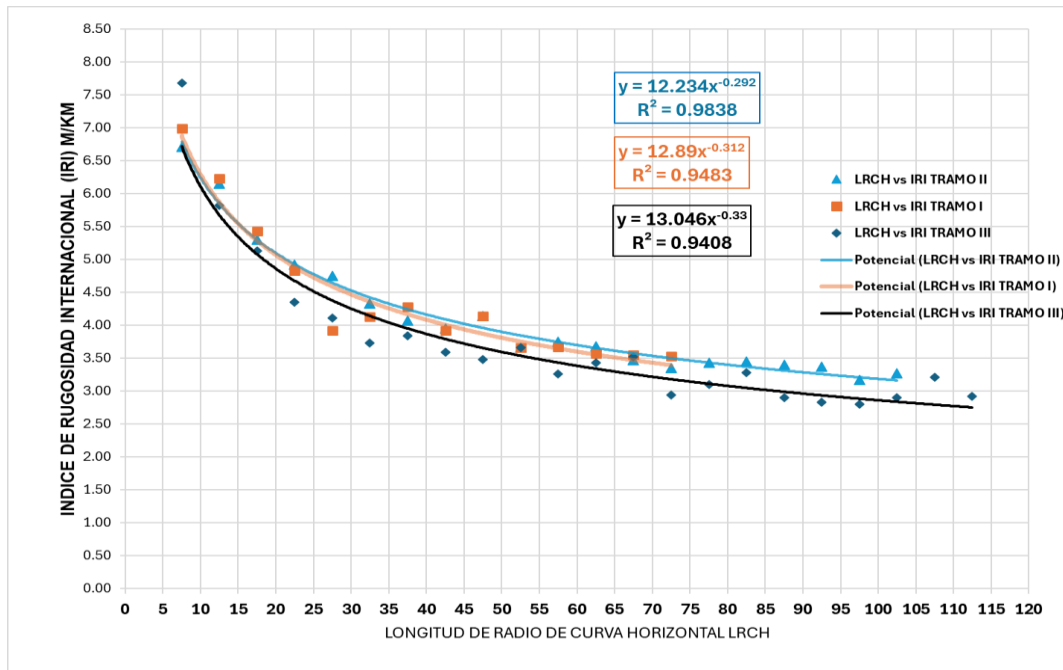
Para el Tramo II si correlacionamos la LRCH con longitudes menores a 105m tenemos una ecuación de correlación con un $R^2=0.9838$.

Para el Tramo III si correlacionamos la LRCH con longitudes menores a 115m tenemos una ecuación de correlación con un $R^2=0.9408$.

En la figura 48 se observa las ecuaciones de correlación entre el parámetro de la longitud de radio de curva horizontal (LRCH) y el IRI para radios con longitudes menores a 115m, se puede apreciar un grado de correlación muy alto para los tres tramos, así como las mayores variaciones del IRI respecto a los parámetros estudiados véase Tabla 64.

Figura 48

Ecuaciones de correlación para los Tramos I, II y III



6.2 Análisis de Resultados

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud del radio de curva **LRCH** y el IRI según el estadístico Rho Spearman oscilan entre -0.792 a -0.497 el cual demuestra que el tipo de correlación va de inversa alta y significativa a una correlación inversa moderada y significativa

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de curva horizontal **LCH** y el IRI según el estadístico Pearson y Rho Spearman oscilan entre -0.895 a -0.839 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto **Ls** y el IRI según el estadístico Pearson oscilan entre -0.839 a -0.750 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de curvas verticales de sentido opuesto **LCV** y el IRI según el estadístico Pearson oscilan entre -0.897 a -0.718 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de transición entre curvas verticales **LTCV** y el IRI según el estadístico Pearson oscilan entre -0.861 a -0.769 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es alta inversa y significativa.

6.3 Discusión de Resultados

Se ha realizado los análisis bicomponente entre los parámetros independientes de la Longitud de radio de curva horizontal LRCH, Longitud de curva horizontal LCH, Longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls y Longitud de curva vertical LCV con el Índice de Rugosidad Internacional IRI.

Las variaciones porcentuales máximas encontradas en los 3 tramos según la tabla 64, para un valor referencial de IRI = 3 m/km es como se indica a continuación, para el parámetro LRCH es el 156%, para el parámetro LCH y Ls es del 53%, para el parámetro LCV es de 41% y para LTCV es del 37%, esto notablemente indica la LRCH es el parámetro más influyente en el IRI.

Los elementos han sido comparados en pares, a partir de cual se demuestra la existencia y la fuerza de correlación, debido a que los cinco parámetros geométricos se

presentan en forma aleatoria no se ha podido realizar un análisis multivariable que explique el grado de influencia en una sola expresión general (fórmula polinómica).

La comparación de resultados se aplica a un porcentaje superior a 75% de los parámetros estudiados esto debido a que en ciertos rangos los elementos son únicos y no representativos los cuales son excluidos.

6.4 Comparación con Investigaciones Previas

No se han realizado correlaciones para los parámetros estudiados en la forma que se ha planteado, sin embargo, Montoya (2013) en su tesis de maestría denominada: "Análisis Del IRI Para un Proyecto de Carretera Sinuosa Concesionada en el Perú" maestría realizó un análisis de correlación entre el IRI calculado a partir del trazo geométrico de una vía de 2 carriles de 93 kilómetros y la curvatura horizontal expresado en ($^{\circ}/\text{km}$) obteniendo un $R^2=0.2119$ para una tendencia lineal el cual considera como aceptable.

Asimismo, estudios realizados por la Federal Highway Administration (FHWA, 2006) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2011) señalan que la geometría del trazado incide directamente en la regularidad superficial y en el confort del usuario. Estos organismos recomiendan la incorporación de parámetros geométricos en los modelos de predicción del IRI, especialmente en vías rurales.

En el contexto peruano, los resultados obtenidos complementan lo establecido en el Manual de Carreteras del MTC (2018), el cual considera el IRI como un parámetro de evaluación funcional, pero no incluye factores geométricos en su cálculo. Por tanto, este estudio aporta evidencia empírica para la actualización normativa, proponiendo la inclusión de un componente geométrico en la estimación del IRI y en la definición de valores de aceptación según la clase y ubicación de la vía.

Según Díaz (2022) en su tesis de maestría denominada “Influencia de la geometría de una vía del Perú en su evaluación funcional. Análisis en su medición y normatividad” en un tramo de carretera de 82.8 km de segunda clase de 2 carriles con geometría restringida menciona que obtuvo un IRI - teórico o geométrico en el rango de 0.23 m/km hasta 3.25 m/km en función de la cantidad de curvas por kilómetro y concluye que la relación del IRI – teórico ya la cantidad de curvas por kilómetro son variables directamente proporcionales, así como el parámetro que más influye en la rugosidad es la curva horizontal. Esta conclusión coincide con lo demostrado en la presente tesis sobre el nivel de influencia de la curva horizontal con el IRI.

6.5 Implicaciones

Las existencia de correlaciones fuertes entre los cinco parámetros geométricos estudiados y el IRI permiten explicar la influencia de la geometría de la vía en el Índice de Rugosidad Internacional IRI, esto demuestra que para obtener un IRI adecuado no solo es necesario mejorar la superficie constructivamente, sino mejorar el trazo geométrico dotando de los elementos adecuados hasta obtener un perfil suave que evite la presencia longitudes de onda menores a 30m, los cuales según Michael & Steven (1998) son los que influyen en el IRI.

Conclusiones

De los parámetros estudiados, se ha identificado y verificado que la longitud del radio de la curva horizontal LRCH, la longitud de curva horizontal LCH, la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls, la longitud de curva vertical LCV y la longitud de transición entre curvas verticales LTCV son los cinco parámetros que tienen una relación inversa muy importante con los valores de IRI, de los cuales la LRCH es la más incidente y sensible por la forma potencial en que varían.

Los parámetros geométricos determinan en gran medida el nivel de servicio, el Índice de Rugosidad Internacional y las condiciones operativas de la vía. La existencia de curvas verticales y horizontales con longitudes inadecuadas generan el incremento de la rugosidad, lo que reduce el confort y aumenta el riesgo de accidentes. Por ello, deben cumplirse con las dimensiones geométricas mínimas y máximas alineados con la velocidad de diseño y la topografía.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud del radio de curva **LRCH** y el IRI según el estadístico Rho Spearman oscilan entre -0.497 a -0.792 el cual demuestra que el tipo de correlación va de inversa moderada y significativa a una correlación inversa alta y significativa

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de curva horizontal **LCH** y el IRI según el estadístico Pearson y Rho Spearman oscilan entre -0.839 a -0.895 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto **Ls** y el IRI según el estadístico Pearson oscilan entre -0.750 a -0.839 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de curvas verticales de sentido opuesto **LCV** y el IRI según el estadístico Pearson oscilan entre -0.718 a -0.897 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Los valores de prueba del análisis estadístico para la correlación entre la longitud de transición entre curvas verticales **LTCV** y el IRI según el estadístico Pearson oscilan entre -0.769 a -0.861 el cual demuestra que el tipo de correlación en los 3 tramos es inversa alta y significativa.

Se observa que la mayor incidencia en la influencia del IRI le corresponde al parámetro de Longitud de Radio de Curva Horizontal LRCH, los valores máximos para radios de curvas entre 5m a 10m el IRI llega a un máximo de 7.5, esta situación ocurre en las curvas de volteo, en laderas, así como en los tramos con curvas sucesivas (sinuosas).

De acuerdo a las consideraciones del ítem 5.4 y al análisis estadístico del IRI, la ecuación general del IRI después a 2 años queda expresada en la siguiente ecuación el cual toma en cuenta el incremento en términos de variaciones por el diseño geométrico, por el deterioro de la vía y la variación por proceso constructivo para este proyecto en particular.

$$IRI_{t=2años} = (IRI_d + \Delta IRI_{op})[0.00 \text{ m/km} - 3.500 \text{ m/km}] + (\Delta IRI_c)[1.00 \text{ m/km} - 2.5 \text{ m/km}]$$

En consecuencia, todas las hipótesis específicas fueron validadas empíricamente, demostrando que los parámetros geométricos de la vía ejercen una influencia directa y significativa sobre la rugosidad superficial, expresada a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Los resultados obtenidos y los procedimientos aplicados en esta investigación pueden ser utilizados como base técnica para definir valores umbrales de IRI en función de la geometría vial, los cuales podrían incorporarse en los manuales normativos del

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, contribuyendo así a una exigencia más objetiva y representativa de la rugosidad en vías de bajo volumen de tránsito.

Recomendaciones

Se recomienda replicar esta investigación para vías de bajo volumen de tránsito u otros con el objetivo de establecer correlaciones que permitan sustentar técnicamente los valores de IRI obtenidos y su relación con los parámetros de la geometría vial.

El análisis estadístico de los resultados para cada tipo de vía debe realizarse inmediatamente después de culminando las intervenciones de mejoramiento o mantenimiento periódico, para evitar la influencia de cualquier otro factor externo.

Se recomienda ampliar este tipo de análisis incorporando otros parámetros geométricos, tales como cambios de pendiente y curvatura de la vía (expresada en °/km), que pueden influir significativamente en los valores de rugosidad, establecer valores admisibles que consideren la geometría vial permitirá justificar técnicamente los niveles de IRI que no se originen en deficiencias constructivas, y servirá de base para definir incrementos admisibles a lo largo del tiempo durante la etapa de conservación, en función del deterioro por operación de la vía.

En los proyectos viales futuros, se propone incorporar un ítem específico que contemple el análisis de los perfiles de las huellas de rodadura, a fin de obtener un IRI inicial teórico derivado directamente del trazo en planta y perfil, esta práctica permitirá identificar tempranamente los sectores con mayores valores de IRI y estimar el incremento atribuible al proceso constructivo del pavimento.

Asimismo, para futuras investigaciones se propone dividir al IRI como la suma de cuatro componentes importantes según la siguiente expresión general.

$$IRI_t = IRI_d + \Delta IRI_c + \Delta IRI_{op} - \Delta IRI_m$$

IRI_t = IRI en un tiempo t durante la vida del proyecto para un tipo de pavimento

IRI_d = IRI de diseño o teórico obtenido a partir del diseño geométrico.

ΔIRI_c = Incremento del IRI por proceso constructivo según el tipo de pavimento.

ΔIRI_{op} = Incremento del IRI por la operación de la vía y por los trabajos rutinarios.

ΔIRI_m = Reducción del IRI por la ejecución del mantenimiento periódico del pavimento.

Finalmente, sería valioso desarrollar investigaciones complementarias que relacionen la evolución del IRI con el tipo de estructura del pavimento, el volumen de tráfico, la geometría vial y las condiciones geotécnicas e hidrológicas que influyen en su comportamiento a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *A policy on geometric design of highways and streets* (7.^a ed.). AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *AASHTO R 43-13: Standard practice for quantifying roughness of pavements*. AASHTO.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM E1926-08 (Reapproved 2015): Standard practice for computing International Roughness Index of roads from longitudinal profile measurements*. ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM E950/E950M-09 (Reapproved 2020): Standard test method for measuring the longitudinal profile of traveled surfaces with an accelerometer established inertial profiling reference*. ASTM International.
- Banco Mundial. (1993). *Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III): Model description and user's guide* (World Bank Technical Paper No. 46). World Bank.
- Bisquerra, R. (2009). *Metodología de la investigación educativa*, Madrid, España.
- Contreras, R., Fuentes, L. & Sepúlveda, C. (2017). Geometría del camino y su influencia en el IRI. En *Congreso Ibero–Latinoamericano del Asfalto (CILA)*, Medellín, Colombia.
- Chang, C., Marcobal, J., & Muñoz, P. (2017). Niveles de servicio basados en el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). En *Congreso Ibero–Latinoamericano del Asfalto (CILA)*, Medellín, Colombia.
- Chiquilán, J., & Silvera, R. (2023). *Evaluar la influencia de la geometría de la vía en el indicador IRI para planificar la conservación del mejoramiento de la carretera Oyón–*

Ambo, Tramo II (Km 181+000 – Km 188+000) [Informe técnico]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_29f3c4bc11bb9f0152216908ac91e54a.

Cundill, M.A. (1991). *El MERLIN Máquina de Medición de Rugosidad de Bajo Costo para Carretera* [Informe 301, Laboratorio de Investigación del Transporte]. Crowthorne, Inglaterra.

Díaz, E. (2022). *Influencia de la geometría de una vía del Perú en su evaluación funcional. Análisis en su medición y normatividad* [Tesis de maestría, Universidad de Piura]. Repositorio institucional PIRHUA <https://hdl.handle.net/11042/5501>.

Federal Highway Administration (FHWA). (2006). *Pavement smoothness: Technical brief – International Roughness Index (IRI)*. U.S. Department of Transportation.

Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2015). *Traffic and highway engineering* (5th ed.). Cengage Learning.

Gillespie, T. D., Sayers, M. W., & Queiroz, C. A. (1980). *Calibration of response-type road roughness measuring systems* (World Bank Technical Paper No. 46). World Bank.
<https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/476>

Marquez, W., Díaz, R., & Saldaña, D. (2017). Evaluación de la rugosidad (IRI) en caminos pavimentados de geometría restringida: Cálculo del IRI geométrico – Caso de aplicación. En *Congreso Ibero–Latinoamericano del Asfalto (CILA)*, Medellín, Colombia.

Michael, S., & Steven, K. (1998). *Road roughness measurement systems and the development of the International Roughness Index (IRI)*. Transportation Research Board.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2013). *Manual de carreteras: Mantenimiento rutinario*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2013). *Manual de carreteras: Rehabilitación y mantenimiento periódico*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). *Manual de carreteras: Suelos, geotecnia, pavimentos y obras de arte. Volumen V: Pavimentos*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). *Reglamento nacional de edificaciones – Norma E.070 Pavimentos*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2015). Términos De Referencia: Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: “Emp. Pe – 3s (Mollepuquio) – Chinchaypujio – Cotabambas – Tambobamba – Chalhuanahuacho”.
- Montoya, J. (2013). *Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuoso concesionada en el Perú* [Tesis de maestría, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://hdl.handle.net/11042/1967>
- Ramos, F. (2021). *Análisis de Variación del IRI Aplicado en Construcción de una Carretera de Bajo Volumen de Tránsito* [tesis pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22106>.
- Sayers, M.W. (1995). Cálculo del IRI de la Carretera Longitudinal de Perfil [Paper No 950842, Transportation Research Boards]. Washington.

Sayers, M. W., & Karamihas, S. M. (1998). *The little book of profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles*. University of Michigan Transportation Research Institute.

Sayers, M.W., Gillespie T.D., and Queiroz C.A. V. (1982) "El Experimento de Rugosidad Internacional Para Carreteras [Publicación técnica WTP 45, Banco Mundial]. Washington.

Anexos

Anexo 1: Matriz de Consistencia	1
Anexo 2: Panel Fotográfico de la Medición del IRI	2
Anexo 3: Panel Fotográfico Zona de Estudio	3
Anexo 4: Plano Zona de Estudio - Plano General	6
Anexo 5: Plano Zona de Estudio - Tramo I Y II	7
Anexo 6: Plano Zona de Estudio -Tramo III	8
Anexo 7: Cuadros de Curvas Horizontales	9
Anexo 8: Cuadros de Curvas Verticales	15
Anexo 9: Formato de Análisis Para IRI y Parámetros Geométricos.....	21

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Parámetros de la Geometría Vial y el Índice de Rugosidad Internacional en Vías de Bajo Volumen de Tránsito

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
Problema general: P Qué relación existe entre los parámetros geométricos de una vía y el IRI Problemas específicos: P1 Que relación existe entre la longitud de radio de curva horizontal y el IRI. P2 Que relación existe entre la longitud de curva horizontal y el IRI P3 Que relación existe entre la longitud de transición entre curvas horizontales y el IRI. P4 Que relación existe entre la longitud de curvas verticales y el IRI P5 Que relación existe entre la longitud tangente entre curvas verticales y el IRI	Objetivo general: O Identificar la relación que existe entre los diferentes parámetros geométricos del trazo de la vía (V1) el índice de Rugosidad Internacional IRI (V2) Objetivos Específicos: O1 Identificar la relación que existe entre la longitud del radio de curva horizontal (LRCH) y el índice de rugosidad internacional. O2 Identificar la relación que existe entre la longitud de curva horizontal (LCH) y el índice de rugosidad internacional O3 Identificar la relación que existe entre la longitud de tangentes entre curvas horizontales de sentido opuesto (Ls) y el índice de rugosidad internacional. O4 Identificar la relación que existe entre la longitud de curvas verticales (LCV) y el índice de rugosidad internacional. O5 Identificar la relación que existe entre la longitud de transición entre curvas verticales (LTCV) y el índice de rugosidad internacional.	Hipótesis general: Existe un grado de correlación de moderada a muy alta entre los parámetros geométricos y el índice de rugosidad internacional. Hipótesis específica: Existe un grado de correlación importante entre la longitud de radio de curva horizontal (LRCH), longitud de curva horizontal (LCH), longitud de transición entre curvas horizontales de sentido opuesto (Ls), longitud d curva vertical (LCV) y longitud de transición entre curvas verticales (LTCV) con el Índice de Rugosidad Internacional	Variable Independiente: PARÁMETRO GEOMÉTRICO (V1) Indicadores: I1 Longitud de radio de curva horizontal LRCH I2 Longitud de curva horizontal LCH I3 Longitud de tangentes entre curvas horizontales de sentido opuesto Ls I4 Longitud de curva vertical LCV I5 Longitud de transición entre curvas verticales LTCV Variable dependiente: El índice de rugosidad internacional IRI (V2)	Tipo de investigación: Descriptivo correlacional y explicativo Describiremos cada parámetro geométrico y sus mediciones geométricas. Correlacional porque vamos a encontrar las correlaciones entre variables Explicativo porque vamos a indicar a partir de que valores influyen más en el IRI de los parámetros elegidos. Diseño de la investigación: El diseño de la investigación es Experimental debido a que observamos el comportamiento de la variable dependiente conforme varía la variable independiente.	Población: Cantidad de intervalos de 1 metro que conforman todo el corredor vial. Muestra: N=200000 por conveniencia Técnica: No Experimental Instrumento: Instrumento de medición directa, perfilómetro Laser.

Anexo 2: Panel Fotográfico de la Medición del IRI

	
Equipo de medición de IRI Tramo III	Equipo de medición de IRI Tramo III
	
Equipo de medición de IRI Tramo III	Equipo de medición de IRI Tramo I
	
Equipo de medición de IRI Tramo I	Equipo de medición de IRI Tramo I

Anexo 3: Panel Fotográfico Zona de Estudio

Panel fotográfico Tramo I

	
Tramo I Chinchaypujio - Inquilpata	Tramo I Chinchaypujio - Inquilpata
	
Tramo I Chinchaypujio - Inquilpata	Tramo I Chinchaypujio - Inquilpata
	
Tramo I Chinchaypujio - Inquilpata	Tramo I Chinchaypujio - Inquilpata I

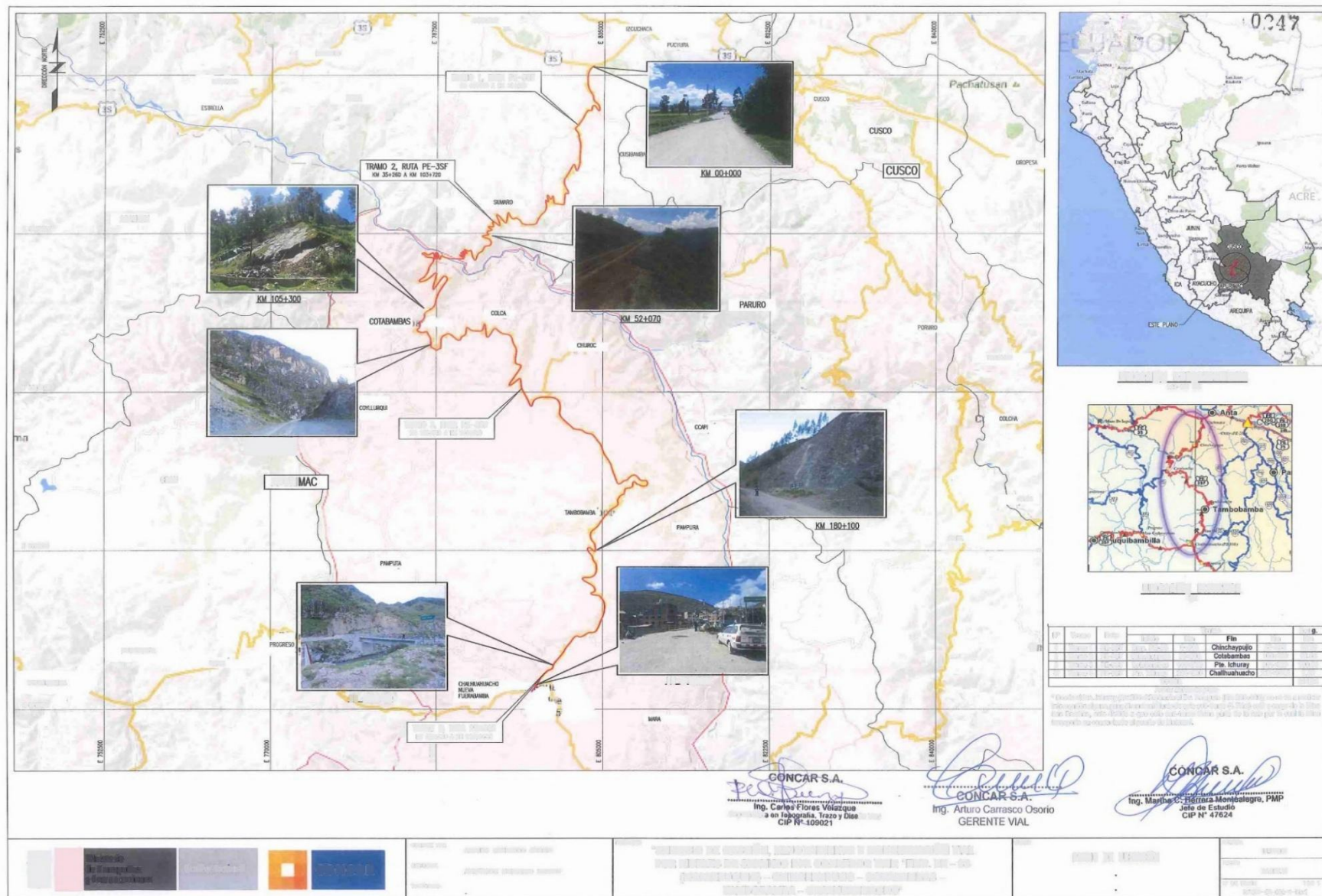
Panel Fotográfico Tramo II

	
Tramo II Cotambambas - Chinchaypujio	Tramo II Cotambambas - Chinchaypujio
	
Tramo II Cotambambas - Chinchaypujio	Tramo II Cotambambas - Chinchaypujio
	
Tramo II Cotambambas - Chinchaypujio	Tramo II Cotambambas - Chinchaypujio

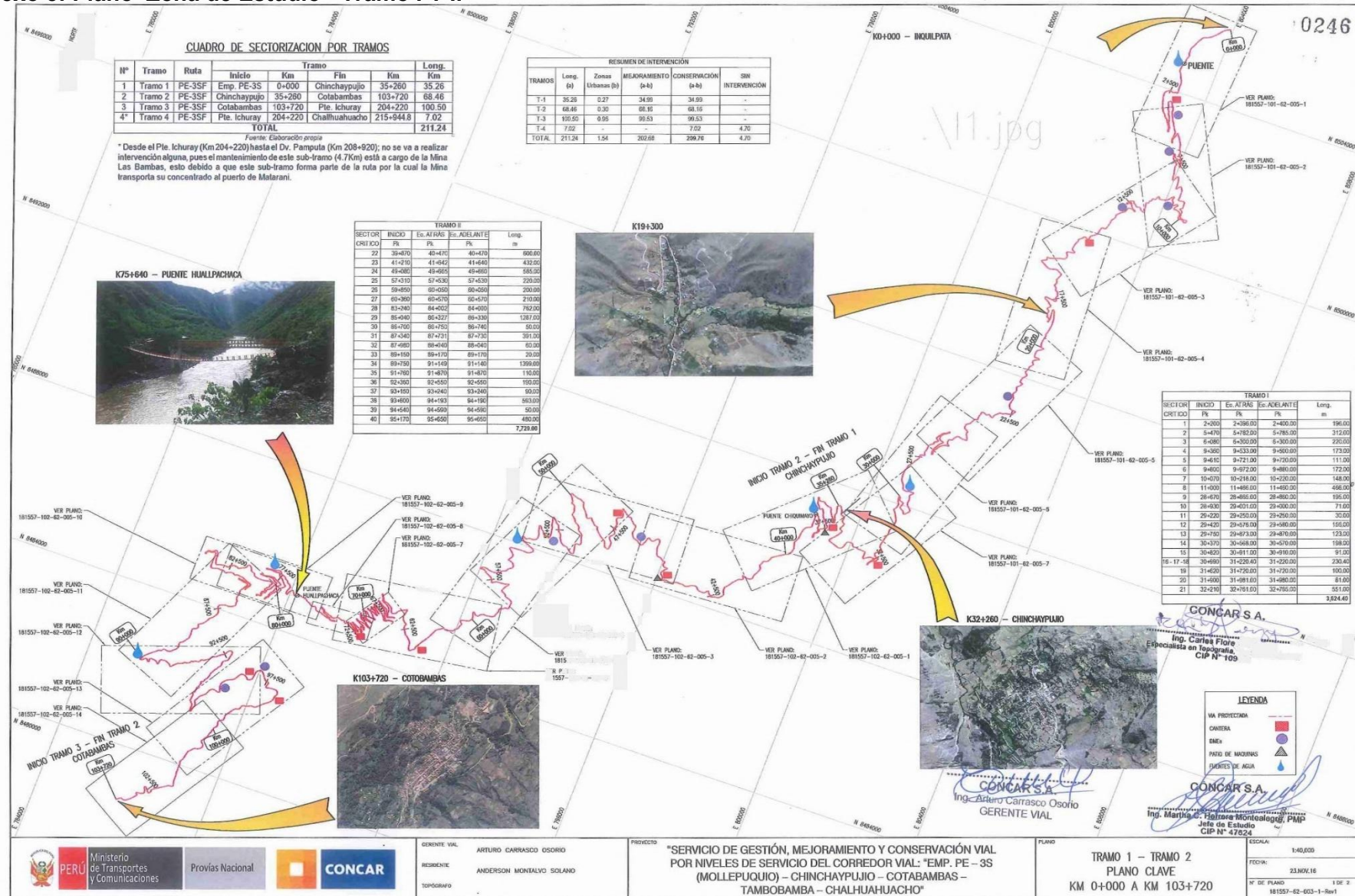
Panel Fotográfico Tramo III

	
Tramo III Pte. Ichuray - Cotabambas	Tramo III Pte. Ichuray - Cotabambas
	
Tramo III Pte. Ichuray - Cotabambas	Tramo III Pte. Ichuray - Cotabambas
	
Tramo III Pte. Ichuray - Cotabambas	Tramo III Pte. Ichuray - Cotabambas

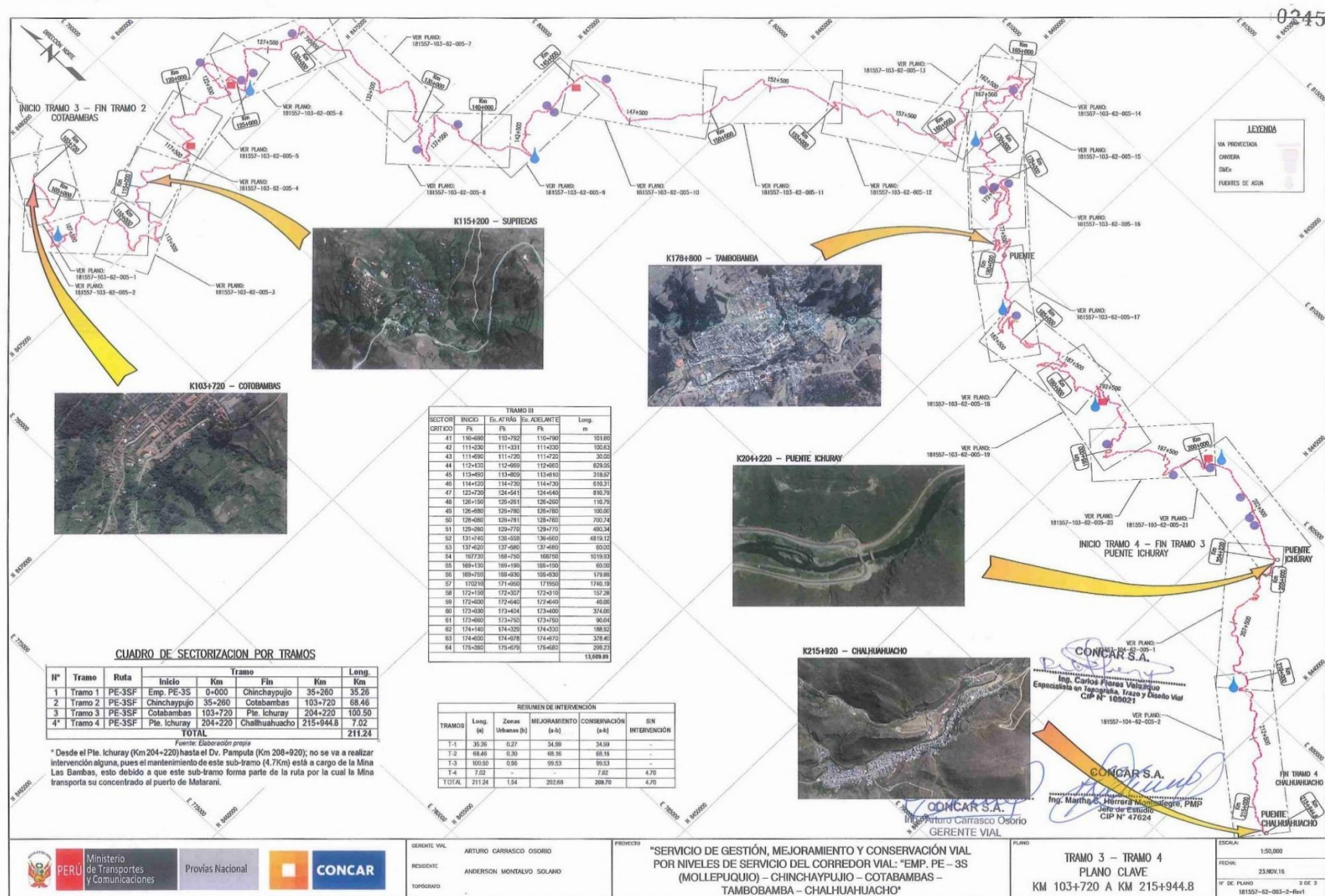
Anexo 4: Plano Zona de Estudio - Plano General



Anexo 5: Plano Zona de Estudio - Tramo I Y II



Anexo 6: Plano Zona de Estudio -Tramo III



Anexo 7: Cuadros de Curvas Horizontales

Cuadro de Curvas Horizontales – Tramo I

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL- TRAMO I											
Tramo	Curva	CURVA Nº	ANG	SENTIDO	RADIO	TANG	LC	EXTERNA	PC	PT	PI
T-1	C3370	PI-3476	60°30'39.92"	D	15	8.75	15.842	2.365	399949	399965	399957
T-1	C3371	PI-3477	16°42'10.82"	D	105	15.414	30.61	1.125	399965	399995	399980
T-1	C3372	PI-3478	1°50'35.21"	D	200	3.217	6.434	0.026	400040	400046	400043
T-1	C3373	PI-3479	40°09'33.00"	D	52	19.008	36.447	3.365	400097	400133	400116
T-1	C3374	PI-3480	92°12'32.75"	I	37.814	39.301	60.857	16.725	400151	400212	400190
T-1	C3375	PI-3481	8°47'31.79"	D	345.908	26.592	53.08	1.021	400212	400265	400239
T-1	C3376	PI-3482	92°14'40.67"	D	36.453	37.909	58.688	16.139	400265	400324	400303
T-1	C3377	PI-3483	3°55'50.08"	I	180	6.177	12.348	0.106	400354	400367	400361
T-1	C3378	PI-3484	64°24'05.71"	I	39.496	24.873	44.394	7.179	400386	400430	400411
T-1	C3379	PI-3485	90°07'49.32"	D	19.296	19.34	30.354	8.024	400486	400516	400505
T-1	C3380	PI-3486	5°17'13.83"	I	150	6.926	13.842	0.16	400554	400568	400561
T-1	C3381	PI-3487	90°09'08.90"	I	28	28.075	44.057	11.651	400628	400672	400656
T-1	C3382	PI-3488	100°22'30.26"	D	28.592	34.302	50.09	16.064	400705	400755	400740
T-1	C3383	PI-3489	0°14'01.88"	I	1337.31	2.729	5.458	0.003	400786	400792	400789
T-1	C3384	PI-3490	3°27'25.53"	D	97.047	2.929	5.856	0.044	400805	400811	400808
T-1	C3385	PI-3491	6°41'03.15"	D	100	5.84	11.666	0.17	400876	400888	400882
T-1	C3386	PI-3492	6°05'33.69"	D	100	5.322	10.634	0.142	400952	400963	400958
T-1	C3387	PI-3493	6°11'26.86"	I	200	10.815	21.61	0.292	400977	400999	400988
T-1	C3388	PI-3494	1°33'59.02"	D	500	6.835	13.669	0.047	401013	401026	401020
T-1	C3389	PI-3495	109°02'22.36"	I	28.402	39.847	54.051	20.531	401087	401141	401127
T-1	C3390	PI-3496	4°50'32.49"	I	182.797	7.729	15.449	0.163	401154	401170	401162
T-1	C3391	PI-3497	5°02'19.75"	D	150	6.6	13.192	0.145	401290	401304	401297
T-1	C3392	PI-3498	3°48'33.95"	D	304.484	10.126	20.244	0.168	401314	401335	401324
T-1	C3393	PI-3499	31°24'12.19"	I	121.156	34.059	66.405	4.696	401382	401448	401416
T-1	C3394	PI-3500	31°59'37.49"	I	49.605	14.221	27.699	1.998	401449	401477	401464
T-1	C3395	PI-3501	25°26'36.16"	I	123.589	27.901	54.882	3.11	401512	401567	401540
T-1	C3396	PI-3502	1°19'17.85"	D	300.179	3.462	6.924	0.02	401604	401611	401608
T-1	C3397	PI-3503	5°25'18.74"	I	80	3.788	7.57	0.09	401618	401625	401622
T-1	C3398	PI-3504	85°44'51.15"	D	44.551	41.362	66.675	16.24	401662	401728	401703
T-1	C3399	PI-3505	72°54'25.70"	D	35.178	25.986	44.763	8.557	401795	401839	401821
T-1	C3400	PI-3506	9°25'15.56"	I	108.96	8.978	17.916	0.369	401860	401878	401869
T-1	C3401	PI-3507	76°18'51.98"	I	24.501	19.251	32.634	6.658	401895	401928	401914
T-1	C3402	PI-3508	39°22'16.59"	D	60.265	21.561	41.412	3.741	401948	401989	401970
T-1	C3403	PI-3509	18°26'18.07"	I	56.799	9.219	18.279	0.743	402035	402053	402044
T-1	C3404	PI-3510	2°35'57.86"	D	373.946	8.484	16.965	0.096	402074	402091	402082
T-1	C3405	PI-3511	0°11'32.41"	D	1370.791	2.301	4.602	0.002	402168	402173	402170
T-1	C3406	PI-3512	95°57'28.87"	D	25	27.745	41.87	12.347	402197	402239	402225
T-1	C3407	PI-3513	10°21'07.50"	I	120	10.87	21.681	0.491	402247	402269	402258
T-1	C3408	PI-3514	5°32'26.09"	D	200	9.678	19.34	0.234	402277	402296	402287
T-1	C3409	PI-3515	25°10'34.60"	I	30	6.699	13.182	0.739	402362	402375	402369
T-1	C3410	PI-3516	105°50'53.10"	I	19	25.144	35.101	12.516	402378	402413	402403

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL- TRAMO I											
Tramo	Curva	CURVA Nº	ANG	SENTIDO	RADIO	TANG	LC	EXTERNA	PC	PT	PI
T-1	C3411	PI-3517	6°40'41.32"	D	171.148	9.985	19.948	0.291	402488	402508	402498
T-1	C3412	PI-3518	38°13'44.20"	D	73.335	25.415	48.93	4.279	402540	402589	402565
T-1	C3413	PI-3519	0°06'21.85"	I	5191.93	4.806	9.612	0.002	402610	402619	402615
T-1	C3414	PI-3520	2°47'48.47"	I	304.75	7.439	14.876	0.091	402642	402657	402649
T-1	C3415	PI-3521	112°52'11.17"	D	15.558	23.448	30.649	12.582	402675	402705	402698
T-1	C3416	PI-3522	28°42'42.63"	D	50.176	12.842	25.144	1.617	402718	402743	402731
T-1	C3417	PI-3523	15°00'32.26"	I	147.667	19.453	38.682	1.276	402762	402801	402782
T-1	C3418	PI-3524	6°43'10.02"	D	80	4.696	9.382	0.138	402829	402838	402833
T-1	C3419	PI-3525	8°16'51.25"	I	139.967	10.132	20.229	0.366	402856	402876	402866
T-1	C3420	PI-3526	0°32'20.31"	D	695.064	3.269	6.538	0.008	402889	402896	402893
T-1	C3421	PI-3527	99°02'27.96"	I	10.818	12.676	18.7	5.846	402921	402939	402933
T-1	C3422	PI-3528	46°26'26.04"	I	7.787	3.341	6.312	0.686	402942	402948	402945
T-1	C3423	PI-3529	15°27'22.33"	I	54.607	7.41	14.731	0.501	402951	402966	402959
T-1	C3424	PI-3530	33°44'59.39"	D	101.252	30.714	59.642	4.556	402978	403037	403008
T-1	C3425	PI-3531	24°32'57.57"	D	118.676	25.82	50.848	2.776	403065	403116	403091
T-1	C3426	PI-3532	57°30'23.39"	I	45.961	25.219	46.13	6.464	403144	403191	403170
T-1	C3427	PI-3533	35°26'33.42"	D	27.901	8.916	17.26	1.39	403213	403231	403222
T-1	C3428	PI-3534	110°43'35.88"	D	13.836	20.029	26.739	10.507	403236	403263	403256
T-1	C3429	PI-3535	49°11'14.03"	D	59.94	27.434	51.457	5.98	403337	403388	403364
T-1	C3430	PI-3536	78°49'27.51"	I	24.969	20.519	34.351	7.349	403419	403454	403440
T-1	C3431	PI-3537	103°16'09.17"	D	24.12	30.469	43.473	14.741	403576	403620	403607
T-1	C3432	PI-3538	39°38'11.14"	I	49.257	17.751	34.076	3.101	403730	403764	403748
T-1	C3433	PI-3539	0°08'38.14"	D	3371.207	4.234	8.468	0.003	403847	403856	403852
T-1	C3434	PI-3540	6°28'23.29"	I	120.493	6.814	13.613	0.193	403878	403892	403885
T-1	C3435	PI-3541	2°14'26.57"	I	320.703	6.272	12.542	0.061	403930	403942	403936
T-1	C3436	PI-3542	8°24'41.87"	D	245.5	18.053	36.042	0.663	403966	404002	403984
T-1	C3437	PI-3543	29°30'41.16"	D	112.831	29.718	58.116	3.848	404065	404123	404095
T-1	C3438	PI-3544	40°42'17.13"	I	50.038	18.562	35.549	3.332	404196	404232	404215
T-1	C3439	PI-3545	39°41'36.05"	D	80.848	29.182	56.01	5.105	404286	404342	404315
T-1	C3440	PI-3546	1°20'09.63"	D	523.403	6.103	12.205	0.036	404390	404402	404396
T-1	C3441	PI-3547	33°28'49.28"	D	114.81	34.532	67.088	5.081	404457	404524	404492
T-1	C3442	PI-3548	5°32'31.13"	D	112.991	5.469	10.929	0.132	404580	404591	404586
T-1	C3443	PI-3549	24°03'10.94"	I	75.115	16.003	31.534	1.686	404680	404712	404696
T-1	C3444	PI-3550	66°38'47.57"	I	25.931	17.049	30.163	5.102	404765	404795	404782
T-1	C3445	PI-3551	27°46'15.87"	I	120	29.665	58.164	3.612	404838	404896	404867
T-1	C3446	PI-3552	43°04'42.76"	D	71.534	28.235	53.784	5.371	404937	404991	404965
T-1	C3447	PI-3553	25°19'59.39"	D	85.37	19.187	37.746	2.13	405014	405052	405034
T-1	C3448	PI-3554	9°15'50.43"	I	83.187	6.74	13.45	0.273	405128	405142	405135
T-1	C3449	PI-3555	59°05'31.68"	D	18.47	10.47	19.049	2.761	405149	405168	405160
T-1	C3450	PI-3556	116°28'53.51"	D	17.008	27.475	34.578	15.305	405169	405203	405196
T-1	C3451	PI-3557	79°28'17.77"	I	41.297	34.329	57.281	12.405	405248	405305	405282
T-1	C3452	PI-3558	104°21'29.89"	D	32.803	42.258	59.747	20.692	405359	405419	405402
T-1	C3453	PI-3559	71°27'15.60"	I	36.754	26.437	45.836	8.52	405508	405554	405535
T-1	C3454	PI-3560	42°52'59.56"	D	65	25.528	48.649	4.833	405615	405664	405641
T-1	C3455	PI-3561	28°23'27.55"	I	40.436	10.229	20.037	1.274	405691	405711	405701
T-1	C3456	PI-3562	69°10'56.17"	I	20.711	14.283	25.008	4.447	405715	405740	405729

Cuadro de Curvas Horizontales – Tramo II

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL- TRAMO II											
Tramo	Curva	CURVA Nº	ANG	SENTIDO	RADIO	TANG	LC	EXTERNA	PC	PT	PI
T-2	C1583	PI-1690	5°22'18.65"	D	380.109	17.832	35.638	0.418	331934	331970	331952
T-2	C1584	PI-1691	82°13'17.06"	D	17.966	15.679	25.782	5.879	332045	332071	332061
T-2	C1585	PI-1692	45°58'02.32"	I	55.408	23.501	44.453	4.778	332081	332126	332105
T-2	C1586	PI-1693	34°28'10.10"	I	85.944	26.661	51.704	4.04	332159	332211	332186
T-2	C1587	PI-1694	5°19'30.60"	D	150	6.976	13.941	0.162	332232	332246	332239
T-2	C1588	PI-1695	6°50'18.61"	I	252.352	15.078	30.119	0.45	332288	332318	332303
T-2	C1589	PI-1696	2°46'53.67"	I	338.864	8.227	16.451	0.1	332375	332392	332383
T-2	C1590	PI-1697	78°17'31.14"	D	23.934	19.483	32.705	6.927	332461	332493	332480
T-2	C1591	PI-1698	151°22'27.70"	I	14.805	58.03	39.116	45.083	332520	332559	332578
T-2	C1592	PI-1699	22°30'04.53"	I	35	6.962	13.745	0.686	332580	332594	332587
T-2	C1593	PI-1700	23°21'42.60"	D	25	5.169	10.194	0.529	332607	332617	332612
T-2	C1594	PI-1701	37°02'04.68"	I	35	11.723	22.623	1.911	332632	332654	332643
T-2	C1595	PI-1702	30°15'42.90"	D	24.412	6.601	12.894	0.877	332670	332682	332676
T-2	C1596	PI-1703	79°32'02.39"	D	25	20.805	34.703	7.524	332699	332733	332719
T-2	C1597	PI-1704	3°51'00.41"	D	150	5.042	10.08	0.085	332738	332748	332743
T-2	C1598	PI-1705	30°12'50.39"	D	38.39	10.363	20.244	1.374	332772	332792	332782
T-2	C1599	PI-1706	9°53'25.23"	I	140.713	12.175	24.29	0.526	332815	332839	332827
T-2	C1600	PI-1707	12°21'15.68"	D	56.171	6.079	12.112	0.328	332855	332867	332861
T-2	C1601	PI-1708	131°11'02.63"	I	18.533	40.84	42.433	26.316	332874	332916	332915
T-2	C1602	PI-1709	14°55'22.80"	D	71.315	9.34	18.574	0.609	332919	332938	332929
T-2	C1603	PI-1710	1°08'13.95"	I	1011.201	10.036	20.07	0.05	332958	332979	332969
T-2	C1604	PI-1711	14°53'30.05"	D	50	6.535	12.995	0.425	333014	333027	333020
T-2	C1605	PI-1712	112°41'12.88"	I	27.031	40.598	53.164	21.743	333056	333109	333096
T-2	C1606	PI-1713	65°41'47.20"	D	20	12.913	22.932	3.806	333144	333167	333157
T-2	C1607	PI-1714	72°05'49.64"	I	16.561	12.054	20.84	3.922	333181	333202	333193
T-2	C1608	PI-1715	10°37'01.35"	I	80	7.433	14.824	0.345	333230	333245	333238
T-2	C1609	PI-1716	30°31'18.04"	D	35	9.549	18.645	1.279	333276	333295	333286
T-2	C1610	PI-1717	9°47'25.78"	I	126.337	10.82	21.588	0.463	333318	333340	333329
T-2	C1611	PI-1718	8°56'41.22"	D	99.885	7.813	15.594	0.305	333381	333396	333389
T-2	C1612	PI-1719	5°10'23.22"	I	115.799	5.231	10.455	0.118	333406	333417	333411
T-2	C1613	PI-1720	1°22'14.79"	D	378.775	4.531	9.062	0.027	333574	333583	333579
T-2	C1614	PI-1721	28°00'40.25"	D	41.759	10.416	20.415	1.279	333609	333630	333620
T-2	C1615	PI-1722	4°31'36.06"	I	129.917	5.135	10.264	0.101	333678	333689	333683
T-2	C1616	PI-1723	94°03'19.37"	D	17.558	18.847	28.823	8.2	333717	333746	333736
T-2	C1617	PI-1724	2°37'00.25"	I	250	5.71	11.418	0.065	333794	333805	333799
T-2	C1618	PI-1725	12°08'39.68"	D	172.83	18.385	36.633	0.975	333822	333859	333841
T-2	C1619	PI-1726	13°11'11.40"	I	200	23.117	46.03	1.332	333899	333945	333922
T-2	C1620	PI-1727	8°59'37.35"	D	100	7.865	15.697	0.309	333962	333978	333970
T-2	C1621	PI-1728	8°39'33.61"	I	100	7.571	15.113	0.286	334021	334036	334028
T-2	C1622	PI-1729	10°57'36.22"	I	100	9.594	19.129	0.459	334048	334067	334057
T-2	C1623	PI-1730	35°34'44.01"	I	35	11.23	21.734	1.758	334089	334110	334100
T-2	C1624	PI-1731	10°51'46.25"	I	50	4.754	9.48	0.226	334130	334139	334135
T-2	C1625	PI-1732	8°47'58.07"	D	150	11.541	23.037	0.443	334157	334180	334169

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL- TRAMO II											
Tramo	Curva	CURVA Nº	ANG	SENTIDO	RADIO	TANG	LC	EXTERNA	PC	PT	PI
T-2	C1626	PI-1733	16°54'42.23"	I	79.077	11.756	23.341	0.869	334213	334237	334225
T-2	C1627	PI-1734	26°58'06.43"	D	150	35.968	70.603	4.252	334255	334326	334291
T-2	C1628	PI-1735	52°06'42.23"	I	52.788	25.81	48.012	5.972	334368	334416	334394
T-2	C1629	PI-1736	23°22'33.51"	I	112.312	23.234	45.822	2.378	334465	334511	334489
T-2	C1630	PI-1737	6°17'35.34"	D	150	8.246	16.475	0.226	334580	334596	334588
T-2	C1631	PI-1738	3°37'48.32"	I	250	7.922	15.839	0.125	334627	334643	334635
T-2	C1632	PI-1739	38°05'26.94"	D	70	24.165	46.537	4.054	334685	334732	334709
T-2	C1633	PI-1740	19°18'10.00"	I	80	13.605	26.952	1.149	334763	334790	334777
T-2	C1634	PI-1741	6°32'39.55"	D	100	5.717	11.422	0.163	334794	334805	334800
T-2	C1635	PI-1742	44°41'41.23"	D	43.12	17.726	33.636	3.501	334843	334877	334861
T-2	C1636	PI-1743	4°58'55.07"	D	100	4.35	8.695	0.095	334920	334929	334925
T-2	C1637	PI-1744	31°13'48.10"	I	61.076	17.07	33.29	2.341	334940	334973	334957
T-2	C1638	PI-1745	29°50'37.08"	I	90	23.984	46.878	3.141	335009	335056	335033
T-2	C1639	PI-1746	51°01'33.11"	D	44	20.999	39.185	4.754	335072	335111	335093
T-2	C1640	PI-1747	23°37'24.01"	I	97.529	20.396	40.212	2.11	335137	335178	335158
T-2	C1641	PI-1748	18°19'05.17"	D	34.751	5.603	11.11	0.449	335195	335206	335201
T-2	C1642	PI-1749	68°49'07.88"	I	31.184	21.36	37.456	6.614	335219	335257	335241
T-2	C1643	PI-1750	9°18'50.86"	I	80	6.517	13.005	0.265	335281	335294	335288
T-2	C1644	PI-1751	6°41'44.19"	D	80	4.68	9.349	0.137	335304	335314	335309
T-2	C1645	PI-1752	10°19'34.87"	I	80	7.229	14.418	0.326	335320	335335	335328
T-2	C1646	PI-1753	18°17'44.32"	D	50	8.052	15.966	0.644	335347	335362	335355
T-2	C1647	PI-1754	9°29'08.35"	I	100	8.297	16.556	0.344	335376	335393	335384
T-2	C1648	PI-1755	29°21'42.56"	I	80	20.959	40.997	2.7	335417	335458	335438
T-2	C1649	PI-1756	25°22'27.14"	D	66.813	15.041	29.589	1.672	335483	335512	335498
T-2	C1650	PI-1757	4°40'24.87"	D	100	4.081	8.157	0.083	335531	335539	335535
T-2	C1651	PI-1758	48°35'56.23"	D	36.906	16.664	31.305	3.587	335553	335584	335570
T-2	C1652	PI-1759	27°23'10.35"	I	39.946	9.733	19.093	1.169	335593	335612	335603
T-2	C1653	PI-1760	9°20'23.41"	I	85.024	6.945	13.86	0.283	335634	335648	335641
T-2	C1654	PI-1761	31°44'41.40"	D	59.642	16.958	33.045	2.364	335669	335702	335686
T-2	C1655	PI-1762	34°34'21.67"	I	74.645	23.23	45.041	3.531	335739	335784	335762
T-2	C1656	PI-1763	24°57'30.17"	D	95.522	21.14	41.61	2.311	335784	335825	335805
T-2	C1657	PI-1764	4°16'43.24"	D	80	2.988	5.974	0.056	335838	335844	335841
T-2	C1658	PI-1765	49°58'30.04"	I	40	18.642	34.889	4.131	335877	335912	335895
T-2	C1659	PI-1766	37°33'16.51"	D	65	22.099	42.604	3.654	335925	335968	335947
T-2	C1660	PI-1767	56°07'37.10"	I	36.058	19.223	35.322	4.804	335993	336029	336013
T-2	C1661	PI-1768	18°08'11.52"	I	80	12.768	25.323	1.013	336040	336065	336053
T-2	C1662	PI-1769	42°44'52.67"	D	49.141	19.232	36.664	3.629	336154	336191	336173
T-2	C1663	PI-1770	12°15'50.89"	I	200	21.487	42.81	1.151	336203	336246	336224
T-2	C1664	PI-1771	6°29'22.32"	D	475.946	26.983	53.907	0.764	336276	336330	336303
T-2	C1665	PI-1772	7°16'07.40"	I	199.591	12.677	25.321	0.402	336353	336378	336366
T-2	C1666	PI-1773	51°25'38.06"	D	102.583	49.4	92.076	11.275	336388	336480	336437
T-2	C1667	PI-1774	36°22'32.94"	I	41.017	13.476	26.041	2.157	336497	336523	336511
T-2	C1668	PI-1775	23°40'39.77"	I	50	10.481	20.663	1.087	336534	336555	336545
T-2	C1669	PI-1776	66°00'33.39"	D	46.524	30.219	53.6	8.952	336626	336679	336656
T-2	C1670	PI-1777	25°37'18.61"	I	77.19	17.553	34.518	1.971	336724	336758	336741
T-2	C1671	PI-1778	5°59'35.16"	D	166.694	8.726	17.436	0.228	336763	336780	336771

Cuadro de Curvas Horizontales – Tramo III

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL- TRAMO III											
Tramo	Curva	CURVA Nº	ANG	SENTIDO	RADIO	TANG	LC	EXTERNA	PC	PT	PI
T-3	C1	PI-108	41°33'51.88"	I	99.363	37.709	72.081	6.915	231584	231657	231622
T-3	C2	PI-110	17°42'06.87"	D	103.425	16.105	31.954	1.246	231719	231751	231735
T-3	C3	PI-111	52°02'06.26"	I	117.635	57.419	106.834	13.265	231766	231873	231823
T-3	C4	PI-112	7°05'24.68"	I	231.747	14.357	28.678	0.444	231896	231925	231911
T-3	C5	PI-113	8°46'11.38"	D	125.359	9.613	19.188	0.368	231953	231972	231963
T-3	C6	PI-114	34°03'25.95"	I	75.718	23.191	45.008	3.472	231972	232017	231996
T-3	C7	PI-115	16°01'03.41"	D	95.994	13.506	26.836	0.945	232106	232133	232120
T-3	C8	PI-116	16°21'55.54"	I	55.691	8.008	15.907	0.573	232161	232177	232169
T-3	C9	PI-117	17°17'09.70"	D	153.868	23.389	46.422	1.767	232206	232252	232229
T-3	C10	PI-118	20°43'46.74"	D	137.703	25.186	49.821	2.284	232307	232357	232332
T-3	C11	PI-119	9°47'27.58"	I	152.667	13.076	26.089	0.559	232373	232399	232386
T-3	C12	PI-120	16°30'51.48"	I	182.739	26.519	52.671	1.914	232412	232464	232438
T-3	C13	PI-121	8°23'09.56"	D	241.056	17.672	35.282	0.647	232483	232518	232501
T-3	C14	PI-122	4°35'16.82"	I	416.025	16.666	33.314	0.334	232521	232555	232538
T-3	C15	PI-123	3°05'26.13"	D	552.916	14.916	29.825	0.201	232593	232623	232608
T-3	C16	PI-124	3°24'54.67"	I	363.764	10.845	21.683	0.162	232646	232668	232657
T-3	C17	PI-125	15°22'44.29"	D	172.395	23.276	46.273	1.564	232701	232747	232724
T-3	C18	PI-126	42°58'04.49"	D	25.682	10.108	19.26	1.918	232761	232780	232771
T-3	C19	PI-127	48°06'15.62"	I	39.129	17.464	32.852	3.72	232788	232821	232805
T-3	C20	PI-128	18°55'39.02"	I	162.861	27.148	53.801	2.247	232850	232904	232878
T-3	C21	PI-129	16°13'24.99"	I	185.671	26.464	52.574	1.876	232909	232962	232936
T-3	C22	PI-130	4°34'03.38"	D	582.928	23.248	46.471	0.463	232963	233010	232987
T-3	C23	PI-131	7°09'10.38"	I	189.989	11.875	23.718	0.371	233115	233139	233127
T-3	C24	PI-132	16°49'00.22"	D	136.64	20.198	40.105	1.485	233173	233213	233193
T-3	C25	PI-133	13°31'34.42"	I	237.184	28.128	55.994	1.662	233257	233313	233285
T-3	C26	PI-134	31°17'35.28"	D	118.241	33.117	64.58	4.55	233318	233383	233351
T-3	C27	PI-135	13°49'43.92"	I	134.972	16.368	32.577	0.989	233435	233468	233451
T-3	C28	PI-136	7°52'02.53"	I	118.202	8.128	16.231	0.279	233510	233526	233518
T-3	C29	PI-137	5°47'31.50"	I	385.336	19.494	38.954	0.493	233622	233661	233641
T-3	C30	PI-138	10°20'08.05"	I	228.568	20.672	41.231	0.933	233754	233795	233775
T-3	C31	PI-139	4°01'54.81"	D	1173.775	41.316	82.598	0.727	233822	233905	233864
T-3	C32	PI-140	11°22'11.06"	D	190.326	18.946	37.768	0.941	233992	234029	234011
T-3	C33	PI-141	7°36'57.03"	I	1051.675	69.998	139.79	2.327	234044	234183	234114
T-3	C34	PI-142	2°42'52.63"	I	912.666	21.625	43.241	0.256	234315	234358	234336
T-3	C35	PI-143	5°00'14.74"	D	680.904	29.753	59.469	0.65	234421	234480	234451
T-3	C36	PI-144	27°00'32.25"	D	47.829	11.487	22.546	1.36	234561	234583	234572
T-3	C37	PI-145	16°32'06.62"	I	69.301	10.07	20	0.728	234606	234626	234616
T-3	C38	PI-146	32°34'31.63"	D	74.686	21.822	42.463	3.123	234743	234785	234765
T-3	C39	PI-147	28°20'50.58"	I	144.259	36.433	71.373	4.529	234859	234930	234895
T-3	C40	PI-148	15°11'14.37"	D	135.353	18.045	35.878	1.198	234947	234983	234965
T-3	C41	PI-149	14°26'57.81"	D	115.784	14.678	29.199	0.927	235000	235029	235014
T-3	C42	PI-150	23°22'42.92"	I	59.983	12.41	24.475	1.27	235044	235068	235056
T-3	C43	PI-151	9°50'51.34"	D	253.093	21.804	43.5	0.937	235100	235143	235122

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL- TRAMO III											
Tramo	Curva	CURVA Nº	ANG	SENTIDO	RADIO	TANG	LC	EXTERNA	PC	PT	PI
T-3	C44	PI-152	8°08'52.24"	I	237.15	16.891	33.724	0.601	235150	235184	235167
T-3	C45	PI-153	12°30'54.09"	D	174.266	19.108	38.065	1.044	235299	235337	235318
T-3	C46	PI-154	21°00'32.31"	I	87.951	16.308	32.25	1.499	235346	235379	235363
T-3	C47	PI-155	24°54'41.03"	D	148.154	32.725	64.415	3.571	235397	235462	235430
T-3	C48	PI-156	28°38'48.89"	I	46.512	11.876	23.255	1.492	235475	235499	235487
T-3	C49	PI-157	99°15'13.84"	I	28.617	33.656	49.573	15.561	235579	235629	235613
T-3	C50	PI-158	18°57'06.38"	D	52.623	8.783	17.406	0.728	235663	235680	235672
T-3	C51	PI-159	9°21'27.12"	I	152.541	12.484	24.913	0.51	235682	235707	235694
T-3	C52	PI-160	20°17'09.12"	I	91.235	16.322	32.302	1.449	235722	235755	235739
T-3	C53	PI-161	94°36'41.75"	D	15.485	16.784	25.57	7.351	235776	235802	235793
T-3	C54	PI-162	20°10'20.32"	I	41.104	7.311	14.471	0.645	235819	235833	235826
T-3	C55	PI-163	110°24'39.59"	I	14.532	20.913	28.004	10.934	235840	235868	235861
T-3	C56	PI-164	32°44'35.87"	I	131.609	38.664	75.212	5.562	235889	235964	235928
T-3	C57	PI-165	59°04'58.79"	D	25.319	14.349	26.109	3.783	235975	236001	235989
T-3	C58	PI-166	21°48'17.07"	I	58.748	11.316	22.357	1.08	236011	236033	236022
T-3	C59	PI-167	56°35'18.36"	D	31.506	16.96	31.117	4.275	236050	236082	236067
T-3	C60	PI-168	52°40'31.65"	I	25.285	12.518	23.246	2.929	236095	236119	236108
T-3	C61	PI-169	75°14'44.83"	D	36.235	27.928	47.587	9.514	236149	236197	236177
T-3	C62	PI-170	34°32'00.26"	D	143.777	44.69	86.658	6.785	236247	236334	236292
T-3	C63	PI-171	89°21'33.99"	I	33.819	33.443	52.745	13.743	236344	236397	236378
T-3	C64	PI-172	23°28'07.74"	D	42.52	8.832	17.416	0.908	236423	236440	236431
T-3	C65	PI-173	9°04'54.72"	I	202.183	16.057	32.048	0.637	236452	236484	236468
T-3	C66	PI-174	6°45'24.96"	D	337.538	19.926	39.806	0.588	236491	236531	236511
T-3	C67	PI-175	25°12'10.85"	I	53.175	11.888	23.391	1.313	236574	236598	236586
T-3	C68	PI-176	41°41'45.02"	D	46.28	17.624	33.679	3.242	236620	236654	236638
T-3	C69	PI-177	37°49'48.87"	I	24.11	8.262	15.919	1.376	236678	236694	236687
T-3	C70	PI-178	58°01'36.91"	D	36.197	20.076	36.659	5.194	236705	236741	236725
T-3	C71	PI-179	36°53'13.11"	I	21.625	7.212	13.922	1.171	236749	236763	236756
T-3	C72	PI-180	16°36'29.50"	I	101.677	14.84	29.473	1.077	236767	236796	236782
T-3	C73	PI-181	15°06'42.45"	I	43.337	5.748	11.43	0.38	236857	236868	236862
T-3	C74	PI-182	45°45'41.72"	D	35.26	14.881	28.162	3.011	236869	236897	236884
T-3	C75	PI-183	30°41'37.84"	D	60.383	16.572	32.348	2.233	236916	236949	236933
T-3	C76	PI-184	42°36'11.22"	I	26.133	10.19	19.432	1.916	236959	236979	236970
T-3	C77	PI-185	37°40'55.94"	I	35.484	12.108	23.337	2.009	237087	237110	237099
T-3	C78	PI-186	64°08'19.13"	D	33.895	21.237	37.944	6.104	237131	237169	237152
T-3	C79	PI-187	55°57'55.23"	I	25.887	13.754	25.286	3.427	237180	237206	237194
T-3	C80	PI-188	26°35'35.36"	D	32.847	7.763	15.245	0.905	237227	237243	237235
T-3	C81	PI-189	19°13'57.54"	I	50.527	8.561	16.96	0.72	237252	237269	237261
T-3	C82	PI-190	23°13'21.24"	D	60.517	12.435	24.528	1.264	237313	237337	237325
T-3	C83	PI-191	16°17'02.92"	I	66.949	9.578	19.028	0.682	237361	237380	237371
T-3	C84	PI-192	32°30'03.94"	D	49.834	14.526	28.268	2.074	237387	237415	237401
T-3	C85	PI-193	73°50'43.20"	I	14.735	11.073	18.991	3.697	237471	237490	237483
T-3	C86	PI-194	78°27'36.51"	D	12.734	10.397	17.438	3.705	237493	237511	237504
T-3	C87	PI-195	32°28'09.15"	I	57.769	16.821	32.738	2.399	237533	237566	237550
T-3	C88	PI-196	43°48'33.97"	D	41.015	16.492	31.361	3.191	237579	237611	237596
T-3	C89	PI-197	51°51'13.60"	I	20.916	10.168	18.929	2.341	237617	237636	237628

Anexo 8: Cuadros de Curvas Verticales

Cuadro de Curvas Verticales – Tramo I

CUADRO DE CURVAS VERTICALES-TRAMO I									
N° Curva	PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	CV	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LONG	Curva
V1	400+094	400+107	400+120	CV	3,103	3,103	3,104	26	Convexa
V2	400+130	400+139	400+148	CV	3,104	3,105	3,105	18	Cóncava
V3	400+160	400+177	400+194	CV	3,106	3,107	3,108	34	Convexa
V4	400+222	400+233	400+244	CV	3,109	3,109	3,110	22	Convexa
V5	400+249	400+255	400+261	CV	3,110	3,110	3,110	12	Cóncava
V6	400+287	400+292	400+297	CV	3,111	3,111	3,112	10	Cóncava
V7	400+319	400+325	400+332	CV	3,112	3,113	3,113	13	Cóncava
V8	400+361	400+366	400+370	CV	3,115	3,115	3,115	9	Convexa
V9	400+386	400+390	400+395	CV	3,116	3,116	3,116	9	Convexa
V10	400+416	400+426	400+437	CV	3,117	3,117	3,118	21	Convexa
V11	400+473	400+481	400+489	CV	3,119	3,119	3,120	16	Cóncava
V12	400+498	400+507	400+515	CV	3,120	3,121	3,121	17	Convexa
V13	400+534	400+540	400+546	CV	3,122	3,122	3,122	12	Cóncava
V14	400+619	400+622	400+624	CV	3,126	3,126	3,127	5	Cóncava
V15	400+652	400+660	400+668	CV	3,128	3,129	3,129	16	Convexa
V16	400+698	400+703	400+709	CV	3,131	3,131	3,131	11	Cóncava
V17	400+719	400+725	400+732	CV	3,132	3,133	3,133	13	Convexa
V18	400+814	400+824	400+833	CV	3,137	3,137	3,138	19	Cóncava
V19	400+846	400+854	400+863	CV	3,139	3,139	3,139	17	Convexa
V20	400+891	400+897	400+904	CV	3,140	3,141	3,141	13	Cóncava
V21	400+932	400+936	400+941	CV	3,142	3,142	3,143	9	Cóncava
V22	400+968	400+976	400+985	CV	3,144	3,145	3,145	17	Convexa
V23	400+998	401+001	401+005	CV	3,146	3,146	3,146	7	Cóncava
V24	401+040	401+046	401+052	CV	3,148	3,148	3,149	12	Convexa
V25	401+062	401+067	401+072	CV	3,149	3,149	3,150	10	Cóncava
V26	401+094	401+103	401+111	CV	3,151	3,151	3,152	17	Convexa
V27	401+119	401+126	401+134	CV	3,152	3,152	3,152	15	Cóncava
V28	401+143	401+148	401+154	CV	3,153	3,153	3,153	11	Cóncava
V29	401+160	401+168	401+175	CV	3,154	3,154	3,154	15	Convexa
V30	401+180	401+190	401+201	CV	3,155	3,155	3,156	21	Cóncava
V31	401+215	401+223	401+231	CV	3,157	3,157	3,157	16	Convexa
V32	401+237	401+241	401+246	CV	3,158	3,158	3,158	9	Cóncava
V33	401+295	401+301	401+306	CV	3,160	3,161	3,161	11	Cóncava
V34	401+373	401+383	401+393	CV	3,165	3,165	3,166	20	Convexa
V35	401+408	401+412	401+416	CV	3,166	3,167	3,167	8	Cóncava
V36	401+449	401+455	401+461	CV	3,169	3,169	3,169	12	Convexa
V37	401+489	401+494	401+499	CV	3,171	3,171	3,171	10	Convexa
V38	401+506	401+511	401+516	CV	3,171	3,172	3,172	10	Convexa
V39	401+526	401+530	401+535	CV	3,172	3,172	3,172	9	Cóncava
V40	401+584	401+592	401+601	CV	3,174	3,174	3,174	17	Convexa

CUADRO DE CURVAS VERTICALES-TRAMO I									
N° Curva	PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	CV	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LONG	Curva
V41	401+620	401+625	401+630	CV	3,175	3,175	3,175	10	Cóncava
V42	401+637	401+642	401+646	CV	3,175	3,175	3,175	9	Convexa
V43	401+686	401+691	401+697	CV	3,177	3,177	3,177	11	Cóncava
V44	401+701	401+709	401+716	CV	3,177	3,177	3,178	15	Cóncava
V45	401+743	401+754	401+765	CV	3,179	3,180	3,180	22	Convexa
V46	401+800	401+805	401+809	CV	3,182	3,182	3,182	9	Cóncava
V47	401+825	401+831	401+836	CV	3,183	3,184	3,184	11	Cóncava
V48	401+843	401+847	401+852	CV	3,184	3,185	3,185	9	Convexa
V49	401+879	401+885	401+891	CV	3,187	3,187	3,187	12	Cóncava
V50	401+901	401+906	401+911	CV	3,188	3,188	3,189	10	Convexa
V51	401+914	401+919	401+923	CV	3,189	3,189	3,189	9	Convexa
V52	401+937	401+942	401+947	CV	3,190	3,190	3,190	10	Cóncava
V53	401+960	401+971	401+982	CV	3,191	3,191	3,192	22	Convexa
V54	402+008	402+014	402+019	CV	3,193	3,193	3,193	11	Cóncava
V55	402+033	402+043	402+053	CV	3,194	3,195	3,195	20	Convexa
V56	402+072	402+078	402+083	CV	3,196	3,196	3,197	11	Cóncava
V57	402+107	402+122	402+138	CV	3,198	3,199	3,199	31	Convexa
V58	402+152	402+158	402+164	CV	3,200	3,200	3,201	12	Convexa
V59	402+173	402+179	402+184	CV	3,201	3,201	3,201	11	Cóncava
V60	402+193	402+198	402+204	CV	3,202	3,202	3,202	11	Convexa
V61	402+213	402+218	402+223	CV	3,203	3,203	3,203	10	Cóncava
V62	402+224	402+232	402+241	CV	3,203	3,204	3,205	17	Convexa
V63	402+253	402+266	402+279	CV	3,205	3,206	3,206	26	Convexa
V64	402+286	402+290	402+294	CV	3,207	3,207	3,207	8	Cóncava
V65	402+334	402+338	402+342	CV	3,210	3,210	3,210	8	Cóncava
V66	402+359	402+364	402+368	CV	3,211	3,212	3,212	9	Cóncava
V67	402+385	402+390	402+396	CV	3,213	3,214	3,214	11	Convexa
V68	402+402	402+406	402+411	CV	3,214	3,215	3,215	9	Convexa
V69	402+421	402+425	402+430	CV	3,215	3,215	3,215	9	Cóncava
V70	402+444	402+449	402+453	CV	3,216	3,216	3,216	9	Cóncava
V71	402+486	402+490	402+494	CV	3,218	3,218	3,218	8	Cóncava
V72	402+503	402+507	402+511	CV	3,219	3,219	3,219	8	Cóncava
V73	402+533	402+538	402+544	CV	3,220	3,221	3,221	11	Convexa
V74	402+548	402+556	402+563	CV	3,221	3,222	3,222	15	Convexa
V75	402+583	402+587	402+592	CV	3,223	3,223	3,223	9	Cóncava
V76	402+603	402+610	402+617	CV	3,224	3,224	3,224	14	Convexa
V77	402+623	402+630	402+638	CV	3,225	3,225	3,225	15	Cóncava
V78	402+649	402+653	402+657	CV	3,226	3,226	3,226	8	Cóncava
V79	402+682	402+686	402+691	CV	3,228	3,228	3,228	9	Convexa
V80	402+691	402+715	402+739	CV	3,228	3,229	3,229	48	Convexa
V81	402+748	402+755	402+762	CV	3,230	3,230	3,230	14	Cóncava
V82	402+803	402+807	402+811	CV	3,232	3,232	3,232	8	Convexa
V83	402+830	402+835	402+840	CV	3,233	3,233	3,234	10	Convexa
V84	402+841	402+846	402+851	CV	3,234	3,234	3,234	10	Cóncava
V85	402+863	402+870	402+877	CV	3,234	3,235	3,235	14	Convexa

Cuadro de Curvas Verticales – Tramo II

CUADRO DE CURVAS VERTICALES TRAMO II									
N° Curva	PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	CV	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LONG	Curva
V1	332+065	332+073	332+080	CV	3,412	3,412	3,411	15	Convexa
V2	332+110	332+115	332+120	CV	3,410	3,409	3,409	10	Cóncava
V3	332+155	332+161	332+167	CV	3,407	3,407	3,407	12	Convexa
V4	332+214	332+220	332+226	CV	3,404	3,404	3,404	12	Cóncava
V5	332+234	332+235	332+237	CV	3,403	3,403	3,403	3	Cóncava
V6	332+251	332+259	332+266	CV	3,402	3,402	3,402	15	Convexa
V7	332+301	332+306	332+311	CV	3,400	3,399	3,399	10	Convexa
V8	332+334	332+340	332+346	CV	3,397	3,397	3,397	12	Cóncava
V9	332+388	332+396	332+403	CV	3,394	3,393	3,393	15	Convexa
V10	332+427	332+429	332+431	CV	3,391	3,391	3,391	4	Cóncava
V11	332+443	332+450	332+457	CV	3,390	3,390	3,390	14	Cóncava
V12	332+484	332+490	332+496	CV	3,389	3,389	3,388	12	Cóncava
V13	332+536	332+539	332+541	CV	3,388	3,388	3,387	5	Cóncava
V14	332+549	332+551	332+553	CV	3,387	3,387	3,387	4	Convexa
V15	332+578	332+581	332+583	CV	3,387	3,387	3,387	5	Convexa
V16	332+607	332+609	332+610	CV	3,386	3,386	3,386	3	Convexa
V17	332+614	332+617	332+619	CV	3,386	3,385	3,385	5	Cóncava
V18	332+628	332+633	332+638	CV	3,385	3,385	3,385	10	Convexa
V19	332+664	332+669	332+674	CV	3,383	3,383	3,383	10	Cóncava
V20	332+690	332+693	332+695	CV	3,382	3,381	3,381	5	Cóncava
V21	332+699	332+703	332+707	CV	3,381	3,381	3,381	8	Convexa
V22	332+735	332+748	332+760	CV	3,380	3,379	3,378	25	Cóncava
V23	332+788	332+794	332+800	CV	3,377	3,377	3,377	12	Convexa
V24	332+838	332+845	332+853	CV	3,375	3,375	3,374	15	Cóncava
V25	332+875	332+877	332+879	CV	3,374	3,374	3,374	4	Cóncava
V26	332+885	332+890	332+895	CV	3,374	3,374	3,373	10	Convexa
V27	332+908	332+913	332+918	CV	3,372	3,372	3,372	10	Cóncava
V28	332+922	332+928	332+934	CV	3,371	3,371	3,371	12	Cóncava
V29	332+963	332+976	332+988	CV	3,369	3,369	3,368	25	Convexa
V30	333+018	333+023	333+028	CV	3,367	3,366	3,366	10	Cóncava
V31	333+056	333+066	333+076	CV	3,365	3,364	3,364	20	Convexa
V32	333+103	333+113	333+123	CV	3,362	3,362	3,361	20	Cóncava
V33	333+136	333+144	333+151	CV	3,361	3,360	3,360	15	Cóncava
V34	333+165	333+176	333+187	CV	3,359	3,359	3,358	22	Convexa
V35	333+200	333+209	333+217	CV	3,357	3,357	3,356	17	Cóncava
V36	333+228	333+236	333+243	CV	3,356	3,355	3,355	15	Convexa
V37	333+293	333+300	333+307	CV	3,352	3,351	3,351	14	Cóncava
V38	333+314	333+316	333+319	CV	3,351	3,351	3,351	5	Convexa
V39	333+337	333+347	333+357	CV	3,349	3,349	3,348	20	Cóncava
V40	333+380	333+391	333+403	CV	3,347	3,346	3,345	23	Cóncava
V41	333+435	333+448	333+460	CV	3,344	3,343	3,343	25	Cóncava
V42	333+479	333+481	333+484	CV	3,342	3,342	3,342	5	Convexa

CUADRO DE CURVAS VERTICALES TRAMO II

N° Curva	PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	CV	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LONG	Curva
V43	333+523	333+533	333+543	CV	3,340	3,339	3,339	20	Cóncava
V44	333+555	333+558	333+560	CV	3,338	3,338	3,338	5	Cóncava
V45	333+570	333+577	333+584	CV	3,337	3,337	3,337	14	Convexa
V46	333+637	333+647	333+657	CV	3,334	3,333	3,333	20	Cóncava
V47	333+696	333+698	333+701	CV	3,331	3,331	3,331	5	Cóncava
V48	333+712	333+718	333+724	CV	3,330	3,330	3,330	12	Cóncava
V49	333+749	333+754	333+759	CV	3,329	3,329	3,329	10	Cóncava
V50	333+783	333+788	333+793	CV	3,328	3,328	3,328	10	Cóncava
V51	333+815	333+821	333+827	CV	3,327	3,327	3,327	12	Convexa
V52	333+849	333+856	333+864	CV	3,325	3,325	3,324	15	Convexa
V53	333+898	333+907	333+916	CV	3,322	3,321	3,320	18	Convexa
V54	333+927	333+930	333+933	CV	3,319	3,319	3,319	6	Cóncava
V55	333+970	333+983	333+995	CV	3,317	3,316	3,315	25	Cóncava
V56	334+034	334+043	334+051	CV	3,314	3,314	3,314	17	Convexa
V57	334+068	334+074	334+079	CV	3,313	3,312	3,312	11	Convexa
V58	334+089	334+091	334+094	CV	3,312	3,311	3,311	5	Cóncava
V59	334+105	334+110	334+115	CV	3,311	3,311	3,310	10	Convexa
V60	334+134	334+144	334+153	CV	3,309	3,309	3,309	19	Cóncava
V61	334+178	334+188	334+198	CV	3,307	3,307	3,306	20	Convexa
V62	334+207	334+211	334+215	CV	3,306	3,306	3,305	8	Cóncava
V63	334+251	334+264	334+276	CV	3,304	3,303	3,303	25	Convexa
V64	334+313	334+321	334+329	CV	3,301	3,301	3,300	16	Cóncava
V65	334+397	334+407	334+417	CV	3,297	3,297	3,297	20	Convexa
V66	334+427	334+430	334+432	CV	3,296	3,296	3,296	5	Convexa
V67	334+442	334+450	334+457	CV	3,295	3,295	3,294	15	Cóncava
V68	334+511	334+524	334+536	CV	3,292	3,291	3,290	25	Cóncava
V69	334+563	334+567	334+571	CV	3,289	3,289	3,289	8	Convexa
V70	334+589	334+599	334+609	CV	3,288	3,287	3,287	20	Cóncava
V71	334+643	334+653	334+663	CV	3,286	3,285	3,285	20	Convexa
V72	334+696	334+704	334+711	CV	3,283	3,282	3,282	15	Cóncava
V73	334+761	334+771	334+781	CV	3,280	3,279	3,279	20	Convexa
V74	334+802	334+805	334+807	CV	3,278	3,277	3,277	5	Cóncava
V75	334+822	334+833	334+844	CV	3,277	3,276	3,276	22	Convexa
V76	334+904	334+914	334+924	CV	3,273	3,272	3,271	20	Cóncava
V77	334+939	334+942	334+944	CV	3,271	3,271	3,270	5	Convexa
V78	334+976	334+983	334+989	CV	3,268	3,267	3,267	13	Cóncava
V79	334+993	334+996	334+998	CV	3,266	3,266	3,266	5	Cóncava
V80	335+050	335+062	335+075	CV	3,263	3,262	3,261	25	Cóncava
V81	335+117	335+120	335+123	CV	3,259	3,259	3,259	6	Cóncava
V82	335+201	335+209	335+216	CV	3,256	3,256	3,256	15	Convexa
V83	335+225	335+228	335+230	CV	3,255	3,255	3,255	5	Convexa
V84	335+255	335+260	335+265	CV	3,253	3,253	3,253	10	Cóncava
V85	335+279	335+283	335+287	CV	3,252	3,252	3,252	8	Convexa
V86	335+319	335+332	335+345	CV	3,250	3,249	3,248	26	Cóncava

Cuadro de Curvas Verticales – Tramo III

CUADRO DE CURVAS VERTICALES Tramo III									
N° Curva	PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	CV	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LONG	Curva
V1	231+585	231+596	231+606	CV	3,620.41	3,620.43	3,620.20	21.00	Convexa
V2	231+608	231+628	231+649	CV	3,620.18	3,619.74	3,619.10	41.00	Convexa
V3	231+649	231+653	231+656	CV	3,619.08	3,618.97	3,618.90	7.00	Cóncava
V4	231+755	231+761	231+767	CV	3,617.04	3,616.92	3,616.93	12.00	Cóncava
V5	231+814	231+829	231+844	CV	3,616.99	3,617.01	3,616.81	30.00	Convexa
V6	231+879	231+883	231+888	CV	3,616.33	3,616.27	3,616.23	9.00	Cóncava
V7	231+920	231+959	231+998	CV	3,615.93	3,615.59	3,614.43	78.00	Convexa
V8	232+117	232+131	232+144	CV	3,610.51	3,610.06	3,610.22	27.00	Cóncava
V9	232+145	232+169	232+193	CV	3,610.24	3,610.53	3,610.39	48.00	Convexa
V10	232+230	232+245	232+261	CV	3,610.17	3,610.08	3,609.82	31.00	Convexa
V11	232+275	232+280	232+285	CV	3,609.60	3,609.51	3,609.48	10.00	Cóncava
V12	232+340	232+346	232+353	CV	3,609.10	3,609.05	3,609.15	13.00	Cóncava
V13	232+410	232+423	232+437	CV	3,610.00	3,610.20	3,611.01	27.00	Cóncava
V14	232+546	232+554	232+561	CV	3,617.58	3,618.03	3,618.14	15.00	Convexa
V15	232+602	232+607	232+612	CV	3,618.72	3,618.79	3,618.58	10.00	Convexa
V16	232+645	232+670	232+694	CV	3,617.12	3,616.05	3,614.33	49.00	Convexa
V17	232+694	232+703	232+712	CV	3,614.32	3,613.68	3,613.57	18.00	Cóncava
V18	232+740	232+751	232+761	CV	3,613.25	3,613.12	3,612.69	21.00	Convexa
V19	232+793	232+798	232+804	CV	3,611.46	3,611.25	3,611.13	11.00	Cóncava
V20	232+805	232+836	232+866	CV	3,611.10	3,610.46	3,609.23	61.00	Convexa
V21	232+879	232+888	232+896	CV	3,608.69	3,608.36	3,608.25	17.00	Cóncava
V22	232+939	232+945	232+950	CV	3,607.67	3,607.60	3,607.58	11.00	Cóncava
V23	233+002	233+032	233+061	CV	3,607.36	3,607.15	3,606.45	59.00	Convexa
V24	233+075	233+080	233+086	CV	3,606.14	3,606.01	3,605.95	11.00	Cóncava
V25	233+098	233+133	233+169	CV	3,605.83	3,605.47	3,604.58	71.00	Convexa
V26	233+209	233+213	233+218	CV	3,603.55	3,603.44	3,603.39	9.00	Cóncava
V27	233+295	233+300	233+304	CV	3,602.61	3,602.56	3,602.57	9.00	Cóncava
V28	233+356	233+367	233+378	CV	3,602.64	3,602.66	3,602.47	22.00	Convexa
V29	233+382	233+404	233+427	CV	3,602.40	3,602.02	3,602.43	45.00	Cóncava
V30	233+461	233+466	233+471	CV	3,603.06	3,603.15	3,603.05	10.00	Convexa
V31	233+486	233+491	233+495	CV	3,602.75	3,602.66	3,602.67	9.00	Cóncava
V32	233+604	233+629	233+654	CV	3,602.88	3,602.93	3,602.71	50.00	Convexa
V33	233+734	233+760	233+786	CV	3,602.00	3,601.77	3,601.23	52.00	Convexa
V34	233+806	233+814	233+821	CV	3,600.82	3,600.68	3,600.58	15.00	Cóncava
V35	233+907	233+912	233+918	CV	3,599.45	3,599.38	3,599.32	11.00	Cóncava
V36	234+073	234+080	234+086	CV	3,597.93	3,597.89	3,597.93	13.00	Cóncava
V37	234+117	234+147	234+177	CV	3,598.13	3,598.33	3,598.13	60.00	Convexa
V38	234+186	234+214	234+241	CV	3,598.07	3,597.89	3,597.39	55.00	Convexa
V39	234+280	234+285	234+289	CV	3,596.67	3,596.59	3,596.53	9.00	Cóncava
V40	234+329	234+339	234+348	CV	3,596.02	3,595.89	3,595.64	19.00	Convexa
V41	234+381	234+387	234+393	CV	3,594.76	3,594.61	3,594.56	12.00	Cóncava
V42	234+457	234+464	234+470	CV	3,594.09	3,594.05	3,594.14	13.00	Cóncava

CUADRO DE CURVAS VERTICALES Tramo III									
N° Curva	PVC Station:	PVI Station:	PVT Station:	CV	Co-PVC	Co-PVI	Co-PVT	LONG	Curva
V43	234+492	234+521	234+550	CV	3,594.46	3,594.89	3,594.96	58.00	Convexa
V44	234+563	234+569	234+575	CV	3,594.99	3,595.00	3,595.09	12.00	Cóncava
V45	234+594	234+603	234+611	CV	3,595.37	3,595.49	3,595.32	17.00	Convexa
V46	234+624	234+632	234+639	CV	3,595.07	3,594.92	3,594.68	15.00	Convexa
V47	234+698	234+703	234+708	CV	3,592.90	3,592.75	3,592.70	10.00	Cóncava
V48	234+720	234+740	234+761	CV	3,592.57	3,592.36	3,593.15	41.00	Cóncava
V49	234+770	234+776	234+783	CV	3,593.50	3,593.75	3,594.09	13.00	Cóncava
V50	234+807	234+830	234+852	CV	3,595.40	3,596.58	3,597.25	45.00	Convexa
V51	235+051	235+057	235+063	CV	3,603.60	3,603.83	3,604.19	12.00	Cóncava
V52	235+086	235+097	235+107	CV	3,605.56	3,606.17	3,606.58	21.00	Convexa
V53	235+139	235+143	235+148	CV	3,607.80	3,607.97	3,608.20	9.00	Cóncava
V54	235+231	235+237	235+244	CV	3,612.62	3,612.96	3,613.17	13.00	Convexa
V55	235+280	235+290	235+301	CV	3,614.37	3,614.70	3,615.14	21.00	Cóncava
V56	235+354	235+388	235+421	CV	3,617.43	3,618.88	3,619.84	67.00	Convexa
V57	235+464	235+473	235+482	CV	3,621.07	3,621.32	3,621.67	18.00	Cóncava
V58	235+499	235+504	235+509	CV	3,622.37	3,622.58	3,622.86	10.00	Cóncava
V59	235+537	235+543	235+549	CV	3,624.35	3,624.66	3,625.02	12.00	Cóncava
V60	235+582	235+589	235+595	CV	3,627.13	3,627.56	3,627.74	13.00	Convexa
V61	235+617	235+622	235+627	CV	3,628.32	3,628.45	3,628.51	10.00	Convexa
V62	235+633	235+639	235+644	CV	3,628.58	3,628.65	3,628.81	11.00	Cóncava
V63	235+692	235+703	235+714	CV	3,630.22	3,630.54	3,630.93	22.00	Cóncava
V64	235+750	235+767	235+784	CV	3,632.19	3,632.78	3,633.03	34.00	Convexa
V65	235+836	235+842	235+848	CV	3,633.80	3,633.89	3,633.95	12.00	Convexa
V66	235+858	235+868	235+878	CV	3,634.06	3,634.17	3,634.51	20.00	Cóncava
V67	235+913	235+919	235+925	CV	3,635.67	3,635.86	3,636.20	12.00	Cóncava
V68	235+936	235+964	235+992	CV	3,636.83	3,638.44	3,639.70	56.00	Convexa
V69	236+010	236+015	236+020	CV	3,640.36	3,640.50	3,640.58	10.00	Convexa
V70	236+036	236+042	236+049	CV	3,640.84	3,640.95	3,641.19	13.00	Cóncava
V71	236+072	236+086	236+101	CV	3,642.06	3,642.61	3,643.36	29.00	Cóncava
V72	236+147	236+153	236+159	CV	3,645.73	3,646.01	3,646.18	12.00	Convexa
V73	236+185	236+191	236+198	CV	3,646.98	3,647.19	3,647.38	13.00	Convexa
V74	236+231	236+238	236+245	CV	3,648.29	3,648.48	3,648.85	14.00	Cóncava
V75	236+261	236+283	236+305	CV	3,649.63	3,650.77	3,651.70	44.00	Convexa
V76	236+354	236+360	236+366	CV	3,653.73	3,653.98	3,654.16	12.00	Convexa
V77	236+388	236+401	236+413	CV	3,654.81	3,655.18	3,655.25	25.00	Convexa
V78	236+438	236+445	236+453	CV	3,655.38	3,655.42	3,655.20	15.00	Convexa
V79	236+480	236+485	236+491	CV	3,654.37	3,654.20	3,654.13	11.00	Cóncava
V80	236+492	236+517	236+541	CV	3,654.11	3,653.83	3,654.40	49.00	Cóncava
V81	236+581	236+592	236+602	CV	3,655.31	3,655.56	3,655.55	21.00	Convexa
V82	236+621	236+628	236+635	CV	3,655.53	3,655.52	3,655.35	14.00	Convexa
V83	236+675	236+684	236+693	CV	3,654.37	3,654.15	3,654.05	18.00	Cóncava
V84	236+728	236+734	236+741	CV	3,653.65	3,653.58	3,653.58	13.00	Cóncava
V85	236+748	236+763	236+777	CV	3,653.58	3,653.58	3,653.48	29.00	Convexa
V86	236+844	236+850	236+856	CV	3,653.06	3,653.01	3,652.97	12.00	Convexa
V87	236+873	236+881	236+889	CV	3,652.85	3,652.79	3,652.82	16.00	Cóncava

Anexo 9: Formato de Análisis Para IRI y Parámetros Geométricos

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
399.949	399.950	4.47	11.67	8.07		C3370	CH	16	15								
399.950	399.951	2.71	5.93	4.32		C3370	CH	16	15								
399.951	399.952	7.77	9.3	8.54		C3370	CH	16	15								
399.952	399.953	5.08	4.04	4.56		C3370	CH	16	15								
399.953	399.954	3.69	4.93	4.31		C3370	CH	16	15								
399.954	399.955	7.04	4.32	5.68		C3370	CH	16	15								
399.955	399.956	5.75	4.7	5.23		C3370	CH	16	15								
399.956	399.957	3.75	10.3	7.03		C3370	CH	16	15								
399.957	399.958	7.45	7.01	7.23		C3370	CH	16	15								
399.958	399.959	5.44	6.74	6.09		C3370	CH	16	15								
399.959	399.960	4.06	9.8	6.93		C3370	CH	16	15								
399.960	399.961	2.15	9.1	5.63		C3370	CH	16	15								
399.961	399.962	6.36	5.65	6.01		C3370	CH	16	15								
399.962	399.963	9.4	4.53	6.97		C3370	CH	16	15								
399.963	399.964	4.05	10.81	7.43		C3370	CH	16	15								
399.964	399.965	5.6	7.66	6.63		C3370	CH	16	15								
399.965	399.966	11.79	2.57	7.18		C3371	CH	30	105								

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
399.966	399.967	12.68	7.08	9.88		C3371	CH	30	105								
399.967	399.968	11.03	4.43	7.73		C3371	CH	30	105								
399.968	399.969	6.45	14.76	10.61		C3371	CH	30	105								
399.969	399.970	8.05	13.85	10.95		C3371	CH	30	105								
399.970	399.971	1.51	6	3.76		C3371	CH	30	105								
399.971	399.972	7.12	10.37	8.75		C3371	CH	30	105								
399.972	399.973	6.62	6.07	6.35		C3371	CH	30	105								
399.973	399.974	3.39	12.06	7.73		C3371	CH	30	105								
399.974	399.975	3.86	3.41	3.64		C3371	CH	30	105								
399.975	399.976	6.33	1.78	4.06		C3371	CH	30	105								
399.976	399.977	7.19	8.77	7.98		C3371	CH	30	105								
399.977	399.978	11.72	4.14	7.93		C3371	CH	30	105								
399.978	399.979	12.71	2.68	7.70		C3371	CH	30	105								
399.979	399.980	1.84	5.9	3.87		C3371	CH	30	105								
399.980	399.981	3.82	6.62	5.22		C3371	CH	30	105								
399.981	399.982	2.72	4.35	3.54		C3371	CH	30	105								
399.982	399.983	2.94	1.36	2.15		C3371	CH	30	105								
399.983	399.984	9.7	9.2	9.45		C3371	CH	30	105								
399.984	399.985	2.44	6.67	4.56		C3371	CH	30	105								

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
399.985	399.986	4.88	1.72	3.30		C3371	CH	30	105								
399.986	399.987	5.89	5.76	5.83		C3371	CH	30	105								
399.987	399.988	4.56	4.47	4.52		C3371	CH	30	105								
399.988	399.989	2.2	9.62	5.91		C3371	CH	30	105								
399.989	399.990	1.58	5.59	3.59		C3371	CH	30	105								
399.990	399.991	13.4	14.22	13.81		C3371	CH	30	105								
399.991	399.992	8.58	2.58	5.58		C3371	CH	30	105								
399.992	399.993	11	9.51	10.26		C3371	CH	30	105								
399.993	399.994	8.18	9.93	9.06		C3371	CH	30	105								
399.994	399.995	1.74	3.1	2.42		C3371	CH	30	105								
399.995	399.996	5.15	8.63	6.89						45	C	45					
399.996	399.997	5.2	7.9	6.55						45	C	45					
399.997	399.998	7.18	5.26	6.22						45	C	45					
399.998	399.999	5.65	1.02	3.34						45	C	45					
399.999	400.000	4.09	8.47	6.28						45	C	45					
400.000	400.001	6.42	8.95	7.69						45	C	45					
400.001	400.002	5.88	3.03	4.46						45	C	45					
400.002	400.003	8.75	7.08	7.92						45	C	45					
400.003	400.004	5.65	6.17	5.91						45	C	45					
400.004	400.005	7.1	7.63	7.37						45	C	45					
400.005	400.006	5.6	7.5	6.55						45	C	45					

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174					Parámetros de curvas horizontales							Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRICda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.006	400.007	4.6	9.77	7.19						45	C	45					
400.007	400.008	4.7	2.16	3.43						45	C	45					
400.008	400.009	6.85	2.54	4.70						45	C	45					
400.009	400.010	2.53	3.34	2.94						45	C	45					
400.010	400.011	4.35	4.06	4.21						45	C	45					
400.011	400.012	7.5	5.2	6.35						45	C	45					
400.012	400.013	10.27	3.18	6.73						45	C	45					
400.013	400.014	13.89	8.37	11.13						45	C	45					
400.014	400.015	12.71	3.76	8.24						45	C	45					
400.015	400.016	6.86	2.49	4.68						45	C	45					
400.016	400.017	7.22	3.48	5.35						45	C	45					
400.017	400.018	4.66	6.91	5.79						45	C	45					
400.018	400.019	1.97	4.56	3.27						45	C	45					
400.019	400.020	5.35	10.45	7.90						45	C	45					
400.020	400.021	9.39	5.88	7.64						45	C	45					
400.021	400.022	3.52	9.8	6.66						45	C	45					
400.022	400.023	4.06	3.71	3.89						45	C	45					
400.023	400.024	9.64	4.36	7.00						45	C	45					
400.024	400.025	15.56	5.78	10.67						45	C	45					
400.025	400.026	4.53	4.44	4.49						45	C	45					
400.026	400.027	14.64	5.19	9.92						45	C	45					
400.027	400.028	5.88	7.14	6.51						45	C	45					
400.028	400.029	7.83	7.59	7.71						45	C	45					
400.029	400.030	10.31	1.78	6.05						45	C	45					

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.030	400.031	10.26	9.02	9.64						45	C	45					
400.031	400.032	3.25	13.61	8.43						45	C	45					
400.032	400.033	8.34	10.73	9.54						45	C	45					
400.033	400.034	5.74	9.92	7.83						45	C	45					
400.034	400.035	6.55	6.9	6.73						45	C	45					
400.035	400.036	17.04	2.58	9.81						45	C	45					
400.036	400.037	9.54	7.19	8.37						45	C	45					
400.037	400.038	2.66	1.56	2.11						45	C	45					
400.038	400.039	3.27	6.43	4.85						45	C	45					
400.039	400.040	8.39	6.21	7.30						45	C	45					
400.040	400.041	5.68	18.84	12.26		C3372	CH	6	200								
400.041	400.042	6.21	5.82	6.02		C3372	CH	6	200								
400.042	400.043	16.36	18.87	17.62		C3372	CH	6	200								
400.043	400.044	3.63	8.11	5.87		C3372	CH	6	200								
400.044	400.045	4.24	5.7	4.97		C3372	CH	6	200								
400.045	400.046	3.4	5	4.20		C3372	CH	6	200								
400.046	400.047	9.77	6.93	8.35						51	C	51					
400.047	400.048	4.6	16.07	10.34						51	C	51					
400.048	400.049	2.65	12.51	7.58						51	C	51					
400.049	400.050	7.55	2.52	5.04						51	C	51					
400.050	400.051									51	C	51					
400.051	400.052	11.16	1.6	6.38						51	C	51					

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174					Parámetros de curvas horizontales							Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRICda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.052	400.053	5.31	9.77	7.54						51	C	51					
400.053	400.054	6.65	9.45	8.05						51	C	51					
400.054	400.055	12.21	13.34	12.78						51	C	51					
400.055	400.056	11.8	9.24	10.52						51	C	51					
400.056	400.057	11.24	15.37	13.31						51	C	51					
400.057	400.058	12.11	12.55	12.33						51	C	51					
400.058	400.059	8.21	15.54	11.88						51	C	51					
400.059	400.060	10.77	12.13	11.45						51	C	51					
400.060	400.061	10.04	13.24	11.64						51	C	51					
400.061	400.062	6.55	16.06	11.31						51	C	51					
400.062	400.063	4.56	10.29	7.43						51	C	51					
400.063	400.064	9.97	10.49	10.23						51	C	51					
400.064	400.065	12.3	6.66	9.48						51	C	51					
400.065	400.066	11.56	19.27	15.42						51	C	51					
400.066	400.067	15.91	15.37	15.64						51	C	51					
400.067	400.068	14.98	3.63	9.31						51	C	51					
400.068	400.069	5.4	2.39	3.90						51	C	51					
400.069	400.070	5.08	16.35	10.72						51	C	51					
400.070	400.071	6.13	5.76	5.95						51	C	51					
400.071	400.072	2.73	6.78	4.76						51	C	51					
400.072	400.073	5.06	8.46	6.76						51	C	51					
400.073	400.074	8.03	32.7	20.37						51	C	51					
400.074	400.075	8.53	18.93	13.73						51	C	51					
400.075	400.076	6.38	3.2	4.79						51	C	51					

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	Lo (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.076	400.077	3.55	1.87	2.71	2.71					51	C	51					
400.077	400.078	3.14	1.49	2.32	2.32					51	C	51					
400.078	400.079	1.96	3.36	2.66	2.66					51	C	51					
400.079	400.080	2.43	11.53	6.98	6.98					51	C	51					
400.080	400.081	3.26	7.02	5.14	5.14					51	C	51					
400.081	400.082	3.84	7.49	5.67	5.67					51	C	51					
400.082	400.083	3.2	8.18	5.69	5.69					51	C	51					
400.083	400.084	0.3	3.55	1.93	1.93					51	C	51					
400.084	400.085	0.66	2.02	1.34	1.34					51	C	51					
400.085	400.086	0.71	4.99	2.85	2.85					51	C	51					
400.086	400.087	0.92	0.82	0.87	0.87					51	C	51					
400.087	400.088	1.71	3.67	2.69	2.69					51	C	51					
400.088	400.089	1.52	1.03	1.28	1.28					51	C	51					
400.089	400.090	2.15	4.02	3.09	3.09					51	C	51					
400.090	400.091	1.69	4.39	3.04	3.04					51	C	51					
400.091	400.092	1.69	4.45	3.07	3.07					51	C	51					
400.092	400.093	3.13	5.24	4.19	4.19					51	C	51					
400.093	400.094	4.25	3.39	3.82	3.82					51	C	51					
400.094	400.095	7	10.11	8.56	8.56					51	C	51		V1	CV	26	
400.095	400.096	3.13	2.17	2.65	2.65					51	C	51		V1	CV	26	
400.096	400.097	1.58	3.39	2.49	2.49					51	C	51		V1	CV	26	
400.097	400.098	2.78	2.21	2.50	2.50	C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.098	400.099	2.11	0.98	1.55	1.55	C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.099	400.100	3.15	5.22	4.19	4.19	C3373	CH	36	52					V1	CV	26	

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales							Parámetros de curvas verticales				
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	Lo (m)	Ls (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.100	400.101	3.52	2.25	2.89	2.89	C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.101	400.102	2.9	5.22	4.06		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.102	400.103	8.53	7.99	8.26		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.103	400.104	6.82	11	8.91		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.104	400.105	8.3	8	8.15		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.105	400.106	7.94	8.71	8.33		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.106	400.107	11.94	8.06	10.00		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.107	400.108	5.59	9.66	7.63		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.108	400.109	5.49	7.04	6.27		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.109	400.110	3.39	4.05	3.72		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.110	400.111	4.11	7.64	5.88		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.111	400.112	10.7	12.2	11.45		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.112	400.113	14.53	21.63	18.08		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.113	400.114	18.85	17.74	18.30		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.114	400.115	23.88	24.6	24.24		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.115	400.116	23.24	23.3	23.27		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.116	400.117	20.65	11.38	16.02		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.117	400.118	11.54	7.19	9.37		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.118	400.119	12.02	6.62	9.32		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.119	400.120	8.83	15.87	12.35		C3373	CH	36	52					V1	CV	26	
400.120	400.121	6.35	5.19	5.77		C3373	CH	36	52								10
400.121	400.122	27.58	19.31	23.45		C3373	CH	36	52								10
400.122	400.123	52.16	37.37	44.77		C3373	CH	36	52								10

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	L o (m)	L s (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.123	400.124	41.26	37	39.13		C3373	CH	36	52								10
400.124	400.125	72.94	60.13	66.54		C3373	CH	36	52								10
400.125	400.126	42.48	18.61	30.55		C3373	CH	36	52								10
400.126	400.127	53.24	6.72	29.98		C3373	CH	36	52								10
400.127	400.128	33.38	24.66	29.02		C3373	CH	36	52								10
400.128	400.129	15.77	18.69	17.23		C3373	CH	36	52								10
400.129	400.130	4.08	22.01	13.05		C3373	CH	36	52								10
400.130	400.131	39.38	33.37	36.38		C3373	CH	36	52					V2	CV	18	
400.131	400.132	36.97	23.11	30.04		C3373	CH	36	52					V2	CV	18	
400.132	400.133	24.38	19.01	21.70		C3373	CH	36	52					V2	CV	18	
400.133	400.134	22.17	13.25	17.71						18	S		18	V2	CV	18	
400.134	400.135	9.34	1.73	5.54						18	S		18	V2	CV	18	
400.135	400.136	8.52	7.82	8.17						18	S		18	V2	CV	18	
400.136	400.137	11.49	14.16	12.83						18	S		18	V2	CV	18	
400.137	400.138	6.9	28.02	17.46						18	S		18	V2	CV	18	
400.138	400.139	23.22	12.21	17.72						18	S		18	V2	CV	18	
400.139	400.140	10.43	16.04	13.24						18	S		18	V2	CV	18	
400.140	400.141	10.83	40.48	25.66						18	S		18	V2	CV	18	
400.141	400.142	28.94	21.34	25.14						18	S		18	V2	CV	18	
400.142	400.143	20.74	16.68	18.71						18	S		18	V2	CV	18	
400.143	400.144	7.43	9.8	8.62						18	S		18	V2	CV	18	
400.144	400.145	2.79	3.24	3.02						18	S		18	V2	CV	18	

TRAMO I KM399+920 AL KM 435+174						Parámetros de curvas horizontales						Parámetros de curvas verticales					
PR Inicio @1m	PR Final @1m	IRI Huella Izq Cda1m	IRI Huella Der Cda1m	IRI Nativo Cda1m	IRI Cda1m Sin Singularidades	N° de Curva HZ	CH	Long CH (m)	Radio CH (m)	Long Lo y Ls (m)	Tipo de Transición	Lo (m)	Ls (m)	N°Curva Vertical	CV	Long CV (m)	Longitud Transición CV (m)
400.145	400.146	0.87	5.78	3.33	3.33					18	S		18	V2	CV	18	
400.146	400.147	5.29	0.64	2.97	2.97					18	S		18	V2	CV	18	
400.147	400.148	5.3	2.94	4.12	4.12					18	S		18	V2	CV	18	
400.148	400.149	3.34	1.44	2.39	2.39					18	S		18				12
400.149	400.150	1.56	3.03	2.30	2.30					18	S		18				12
400.150	400.151	2.05	6.48	4.27	4.27					18	S		18				12
400.151	400.152	3.78	3.63	3.71	3.71	C3374	CH	61	37.814								12
400.152	400.153	3.65	4.29	3.97	3.97	C3374	CH	61	37.814								12
400.153	400.154	3.98	2.58	3.28	3.28	C3374	CH	61	37.814								12
400.154	400.155	0.66	3.34	2.00	2.00	C3374	CH	61	37.814								12
400.155	400.156	2.31	2.95	2.63	2.63	C3374	CH	61	37.814								12
400.156	400.157	1.78	3.65	2.72	2.72	C3374	CH	61	37.814								12
400.157	400.158	2.32	2	2.16	2.16	C3374	CH	61	37.814								12
400.158	400.159	4.63	8.32	6.48	6.48	C3374	CH	61	37.814								12
400.159	400.160	4.19	5.19	4.69	4.69	C3374	CH	61	37.814								12
400.160	400.161	0.92	3.37	2.15	2.15	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	
400.161	400.162	1.53	4.24	2.89	2.89	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	
400.162	400.163	3.42	2.93	3.18	3.18	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	
400.163	400.164	3.74	3.7	3.72	3.72	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	
400.164	400.165	7.1	11.83	9.47	9.47	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	
400.165	400.166	5.24	9.18	7.21	7.21	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	
400.166	400.167	9.04	14.13	11.59	11.59	C3374	CH	61	38					V3	CV	34	