

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL
MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y
CU-110 (IZCUCHACA – HUAROCONDO) – PERIODO 2023**

PRESENTADO POR:

Br. BRYANT GABRIEL VISAGA FERNANDEZ

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Dr. Ing. ORLANDO BARRETO JARA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Dr. ING. ORLANDO BARRETO JARA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CASINOS
RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTO:
VÍAS CU - 902, CU - 905 Y CU - 110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) - PERIODO 2023

Presentado por: BRYANT GABRIEL VISAGA FERNANDEZ DNI N° 72786325 ;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

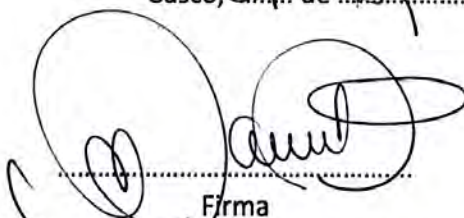
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 04 de AGOSTO de 2026


Firma

Post firma Dr. ING. ORLANDO BARRETO JARA

Nro. de DNI 23877047

ORCID del Asesor 0000-0002-8608-270X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:612159950

VISAGA BRYANT_FINAL.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:612159950

Fecha de entrega

3 ago 2026, 11:34 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 ago 2026, 12:26 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

VISAGA BRYANT_FINAL.pdf

Tamaño del archivo

19.6 MB

206 páginas

42.715 palabras

228.389 caracteres

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
40 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, por su bondad y amor, por la dicha de permitirme llegar hasta aquí y de cumplir esta meta.

A mis padres, por su gran cariño, amor, comprensión y apoyo en todo momento; a mis hermanos, por su cariño, comprensión y confianza.

A mi familia, a mis abuelitos y tíos, que me apoyaron mostrando confianza al realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por su guía y su apoyo en todo momento.

Agradezco a mis padres por su confianza, por ser un gran ejemplo y por motivarme a crecer
cada día más.

Un agradecimiento a mi asesor, Dr. Ing. Orlando Barreto y a mis jurados los ingenieros Juan
Pablo Escobar, Sorel Peña, Ronald Aguilar y Luis Becerra, por su guía en el presente trabajo
y por sus valiosas enseñanzas en la universidad.

A mis amigos, por su amistad y por todos los momentos compartidos y su apoyo
incondicional.

INDICE GENERAL

I. Justificación de la investigación	2
II: Planteamiento del Problema	3
2.1 Situación problemática	3
2.2 Formulación del problema.....	7
2.2.1 Problema general	7
2.2.2 Problemas específicos	7
III. Objetivos de la investigación	8
3.1 Objetivo general	8
3.2 Objetivos específicos.....	8
IV: Marco teórico	9
4.1 Antecedentes de la investigación	9
4.1.1 Antecedentes internacionales	9
4.1.2 Antecedentes nacionales.....	10
4.2 Bases teóricas	12
4.2.1 Modelo Road Economic Decision (RED)	12
4.2.1.1 Alcance	12
4.2.1.2 Antecedentes	13
4.2.1.3 Estructura del modelo RED.....	14
4.2.1.3.1 Módulo Principal de Evaluación Económica.	16
4.2.1.3.2 Módulo de Costos Operativos de Vehículo HDM-III.	25
4.2.1.3.3 Módulo de Costos Operativos de Vehículo HDM-4.	26
4.2.1.3.4 Módulo de Análisis de Riesgo.....	28
4.2.1.3.5 Módulo de Evaluación de Programa.	29
4.2.2 Gestión de caminos rurales.....	31
4.2.2.1 Priorización de caminos rurales según el PVPP – Anta	32
4.2.2.2 Priorización de caminos rurales empleando ficha estándar de carreteras.....	35
4.2.2.3 Priorización de caminos rurales mediante el modelo RED	41
4.2.3 Evaluación económica de caminos rurales.....	42
4.2.3.1 Evaluación Costo-Beneficio	42
4.2.3.2 Evaluación Costo-Efectividad.....	43
4.2.3.3 Evaluación por el método del costo anual uniforme equivalente (CAUE)	44
4.2.3.3.1 Justificación de la elección como método de evaluación	45
4.2.3.3.2 Fundamentación matemática	45
4.2.3.3.3 Criterio de decisión	46
4.2.4 Conservación de caminos rurales	46

4.2.4.1 Técnicas de conservación de caminos rurales	47
4.3 Marco legal.....	50
4.3.1 Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos.....	50
4.3.2 Plan Vial Provincial Participativo de la Provincia de Anta.....	50
4.3.3 Guía de la elaboración de Planes Viales Provinciales	50
4.3.4 Guía de la elaboración de Planes Viales Departamentales.....	51
4.4 Marco conceptual	51
4.4.1 Gestión vial.....	51
4.4.2 Índice medio diario anual (IMDA).....	51
4.4.3 Índice de regularidad internacional (IRI)	52
4.4.4 Costos de operación vehicular.....	52
4.4.5 Valor actual neto (VAN)	52
4.4.6 Tasa interna de retorno (TIR).....	53
4.4.7 Mantenimiento periódico.....	53
4.4.8 Mantenimiento rutinario.....	53
4.4.9 Rehabilitación de vías	53
4.4.10 Mejoramiento de vías	54
4.4.11 Rampas ascendentes y descendentes (m/km).....	54
4.4.12 Curvatura horizontal (°/km)	54
4.4.13 Número de rampas ascendentes y descendentes.....	55
4.4.14 Peralte (%).....	55
4.4.15 Límite de velocidad (km/hora)	55
4.4.16 Coacción del límite de velocidad (N°)	55
4.4.17 Fricción de actividades laterales.....	56
4.4.18 Fricción del TNM.....	56
4.4.19 Duración de la estación húmeda (días).....	56
4.4.20 Factor de costos económicos de agencia	56
4.4.21 Tasa de descuento (%).....	57
4.4.22 Costo de tiempo de pasajero (\$/pasajero-hora)	57
V. Hipótesis y variables.....	58
5.1 Formulación de hipótesis.....	58
5.1.1 Hipótesis general	58
5.1.2 Hipótesis específicas	58
5.2 Identificación de las variables	59
5.2.1 Variable de estudio 1: Caminos rurales.....	59
5.2.1.1 Indicadores de la variable 1.....	59
5.2.2 Variable de estudio 2: Evaluación económica.....	59

5.2.2.1 Indicadores de la variable 2.....	59
5.3 Operacionalización de variables.....	60
5.4 Matriz de consistencia.....	61
VI. Metodología de trabajo	62
6.1 Tipo de investigación	62
6.2 Nivel de investigación.....	62
6.3 Diseño de investigación.....	62
6.4. Unidad de análisis	62
6.5 Población y muestra	62
6.5.1 Población de estudio.....	62
6.5.2 Muestra.....	63
6.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	63
6.6.1 Aforo vehicular.....	63
6.6.2 Índice de rugosidad internacional (IRI).....	66
6.7 Ámbito de estudio	69
6.7.1 Descripción del caso de estudio	69
6.7.1.1 Ubicación.....	69
6.8 Flujo de trabajo.....	69
6.9 Metodología para el cálculo de los costos operativos vehiculares (COV)	71
6.9.1 Obtención de los parámetros de terreno	71
6.9.1.1 Rampas ascendentes y descendentes (m/km)	71
6.9.1.2 Curvatura horizontal (grados/km)	72
6.9.1.3 Peralte (%).....	72
6.10 Metodología para el cálculo de los indicadores económicos - Módulo Principal	73
6.10.1 Configuración de parámetros de evaluación	73
6.10.2 Configuración de parámetros de tránsito.....	74
6.10.3 Cálculo del flujo vehicular	74
6.10.4 Cálculo de costo de tiempo de pasajero	75
6.11 Metodología para la evaluación económica mediante el método CAUE	76
6.12 Metodología para el análisis de sensibilidad y riesgo	76
6.12.1 Selección de variables críticas (Análisis de sensibilidad)	77
6.12.2 Definición de rangos y distribuciones de probabilidad	78
6.12.3 Configuración de la simulación.....	78
VII. Resultados de la investigación	79
7.1 Recolección de datos	79
7.1.1 Datos en el Módulo de Costos Operativos HDM-4.....	79
7.1.1.1 Características de la vía	79

7.1.2 Datos en el Módulo Principal de Evaluación Económica	89
5.1.2.1 Parámetros de Entrada para la Evaluación Económica	89
7.2 Procesamiento de datos	96
7.2.1 Determinación de los costos operativos vehiculares (COV)	96
7.2.2 Determinación de la evaluación económica del proyecto	114
7.2.3 Determinación del análisis de sensibilidad.....	139
7.2.3.1 Análisis unidimensional (variación de una variable a la vez)	139
7.2.4 Determinación del análisis de riesgo	146
7.3 Presentación de resultados.....	149
VIII. Análisis y discusión de resultados	150
8.1 Análisis de resultados	150
8.2 Discusión de resultados	157
8.2.1 Discusión por antecedentes de investigación	157
8.2.2 Discusión por hipótesis de investigación	158
IX. Conclusiones y recomendaciones	161
9.1 Conclusiones	161
9.2 Recomendaciones.....	163
X. Referencias bibliográficas	164
XI. Anexos	166

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	60
Tabla 2 Matriz de consistencia.....	61
Tabla 3 Rampas Ascendentes y Descendentes - Vía CU 110	80
Tabla 4 Rampas Ascendentes y Descendentes - Vía CU 902	82
Tabla 5 Rampas Ascendentes y Descendentes – Asfaltado - Vía CU 905	84
Tabla 6 Rampas Ascendentes y Descendentes - Afirmado- Vía CU 905.....	85
Tabla 7 Curvatura horizontal de la vía CU 110.....	86
Tabla 8 Curvatura horizontal de la vía CU 902.....	87
Tabla 9 Curvatura horizontal de la vía CU 905 - Asfaltado	87
Tabla 10 Curvatura horizontal de la vía CU 905 - Afirmado	88
Tabla 11 Parámetros utilizados para la obtención del costo tiempo-pasajero/hora, vía CU 110.....	90
Tabla 12 Costo del tiempo-pasajero/hora para la vía CU-110.....	90
Tabla 13 Parámetros utilizados para la obtención del costo tiempo-pasajero/hora, vía CU 902.....	91
Tabla 14 Costo tiempo-pasajero/hora para la vía CU-902.....	92
Tabla 15 Parámetros utilizados para la obtención del costo tiempo-pasajero/hora, vía CU 905.....	93
Tabla 16 Costo tiempo-pasajero/hora en la vía CU905.....	93
Tabla 17 Listado de alternativas de solución para el caso de vías asfaltadas.....	94
Tabla 18 Se observan las alternativas de solución en el caso de vías afirmadas.	95
Tabla 19 Equivalencia de tipología vehicular MTC- modelo RED.....	96
Tabla 20 Características de la flota vehicular en el módulo de costos operativos.	97
Tabla 21 Utilización y carga vehicular dentro del módulo de costos operativos.	98
Tabla 22 Alternativas de inversión – Costos y beneficios - vía CU 110	119
Tabla 23 Flujo de caja de la Alternativa I - vía CU 110.....	119
Tabla 24 Flujo de caja de la Alternativa II - vía CU 110	120
Tabla 25 Flujo de caja de la Alternativa III - vía CU 110	120

Tabla 26 Flujo de caja de las tres alternativas de solución para la vía CU 110.....	121
Tabla 27 Indicadores Metodo CAUE - CU 110	122
Tabla 28 Alternativas de inversion - metodo CAUE - vía CU 902.....	128
Tabla 29 Flujo de caja para la Alternativa I - CU 902.....	128
Tabla 30 Flujo de caja de las tres alternativas de solución para la vía CU 902.....	129
Tabla 31 Indicadores método CAUE - CU 902.....	130
Tabla 32 Alternativas de solución - método CAUE - CU 905.....	136
Tabla 33 Flujo de caja para la Alternativa I - vía CU 905.....	136
Tabla 34 Flujo de caja para las tres alternativas de solución - vía CU 905	137
Tabla 35 Indicadores método CAUE - CU 905.....	138
Tabla 36 Análisis de sensibilidad según la variación del Costo de inversión - vía CU 110.....	140
Tabla 37 Análisis de sensibilidad según la variación del Costo de inversión - vía CU 902.....	141
Tabla 38 Análisis de sensibilidad según la variación del Costo de inversión - vía CU 905.....	142
Tabla 39 Análisis de sensibilidad según la variación del tráfico vehicular - vía CU 110	143
Tabla 40 Análisis de sensibilidad según la variación del tráfico vehicular - vía CU 902	144
Tabla 41 Análisis de sensibilidad según la variación del tráfico vehicular - vía CU 905	145
Tabla 42 Cuadro resumen de los indicadores económicos de todas las vías.....	149
Tabla 43 Cuadro comparativo de COV entre el modelo RED y la Ficha Estándar de Carreteras para la vía CU-110.	150
Tabla 44 Cuadro comparativo RED - Fich Técnica Estándar - CU 902.....	151
Tabla 45 Cuadro comparativo RED - Fich Técnica Estándar - CU 905.....	151
Tabla 46 Cuadro comparativo entre la metodología del modelo RED, Plan Vial Provincial Participativo y Ficha estándar de Carreteras.....	153
Tabla 47 Cuadro comparativo entre metodologías con enfoque económico.	154
Tabla 48 Se muestra un cuadro resumen de los indicadores economicos para cada vía.	155

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del modelo Road Economic Decision (RED).....	15
Figura 2 Estructura del Módulo Principal de Evaluación Económica	17
Figura 3 Estructura del módulo de costos operativos de vehículo HDM-III	26
Figura 4 Estructura del módulo de costos operativos de vehículo HDM-4	27
Figura 5 Estructura del módulo de análisis de riesgo.....	29
Figura 6 Estructura del módulo de evaluación de programa	31
Figura 7 Criterios para la evaluación de caminos rurales	33
Figura 8 Ejemplo de la priorización de caminos rurales	35
Figura 9 Horizonte de evaluación por tipo de solución	37
Figura 10 Se muestra el formato de conteo vehicular - MTC.	66
Figura 11 Colocación del móvil (registrador) en el parabrisas, posición vertical y con soporte fijo. 67	
Figura 12 Se muestra el registro de datos en el aplicativo RoadLab Pro.....	68
Figura 13 Zona de estudio del trabajo de investigación	69
Figura 14 Flujograma de trabajo.....	70
Figura 15 Representación gráfica para el cálculo de rampas ascendentes y descendentes.	71
Figura 16 Representación gráfica para el cálculo de curvatura horizontal.	72
Figura 17 Ejemplo de medición de peralte en curvas.	73
Figura 18 Medición de alturas en el perfil longitudinal CU 110.	79
Figura 19 Mediciones de alturas restantes en el perfil longitudinal CU 110.	80
Figura 20 Medición de alturas en perfil en la vía CU 902.....	81
Figura 21 Medición de alturas en perfil del tramo faltante en la vía CU 902.	81
Figura 22 Medición de alturas en perfil vía CU 905 en el tramo 0+000 – 3+000.	83
Figura 23 Medición de alturas en perfil vía CU 905 en el tramo 3+000 – 6+000.	83
Figura 24 Medición de alturas en perfil vía CU 905 en el tramo 6+000 – 10+200.	84
Figura 25 Coeficientes de costos operativos vehiculares (COV) obtenidos para la vía CU-110.	89
Figura 26 Coeficientes de los costos operativos vehiculares para la vía CU-902.....	91

Figura 27	<i>Coeficientes de los costos operativos vehiculares de la vía CU-905.....</i>	92
Figura 28	<i>Parámetros del tipo de terreno de la vía CU-110</i>	99
Figura 29	<i>Parámetros del tipo de camino de la vía CU-110.</i>	99
Figura 30	<i>Tipología vehicular propia de la vía CU-110.....</i>	100
Figura 31	<i>Características de la flota vehicular de la vía CU-110.....</i>	101
Figura 32	<i>Se observan los coeficientes de costos operativos de la via CU 110.....</i>	102
Figura 33	<i>Costos operativos vehiculares (COV) propios de la vía CU-110.....</i>	103
Figura 34	<i>Parámetros del tipo de terreno de la vía CU-902.</i>	104
Figura 35	<i>Parámetros del tipo de camino de la vía CU-902.</i>	104
Figura 36	<i>Tipología vehicular propia de la vía CU-902.....</i>	105
Figura 37	<i>Características de la flota vehicular presente en la vía CU-902.</i>	106
Figura 38	<i>Coeficientes de los costos operativos vehiculares de la vía CU 902.....</i>	107
Figura 39	<i>Costos operativos vehiculares (COV) de la vía CU-902.</i>	108
Figura 40	<i>Parámetros del tipo de terreno de la vía CU-905.</i>	109
Figura 41	<i>Parámetros del tipo de camino de la vía CU-905</i>	109
Figura 42	<i>Tipología vehicular de la vía CU-905</i>	110
Figura 43	<i>Características de la flota vehicular de la vía CU-905.....</i>	111
Figura 44	<i>Se observan los coeficientes de los costos operativos de la vía CU 905.</i>	112
Figura 45	<i>Costos operativos vehiculares (COV) de la vía CU-905.</i>	113
Figura 46	<i>Costos del tiempo de viaje para la vía CU-110.....</i>	114
Figura 47	<i>Costo promedio por accidente dentro de la vía CU-110.....</i>	115
Figura 48	<i>Tránsito diario, según la tipología vehicular, en la vía CU-110.....</i>	115
Figura 49	<i>Tasa de crecimiento del tránsito para la vía CU-110.</i>	116
Figura 50	<i>Tabla resumen de las alternativas de proyecto para la vía CU-110.</i>	116
Figura 51	<i>Alternativas de proyecto - solución para la vía CU-110.....</i>	117
Figura 52	<i>Representación del valor actual de los costos para la vía CU-110.....</i>	118
Figura 53	<i>Costos de tiempo de viaje en la vía CU-902.....</i>	123
Figura 54	<i>Costos de accidente en promedio en la vía CU-902.....</i>	124

Figura 55 Tránsito diario según la tipología vehicular en la vía CU-902.....	124
Figura 56 Tasa de crecimiento de tránsito en la vía CU-902.	125
Figura 57 Resumen de las alternativas del proyecto para la vía CU-902.	125
Figura 58 Alternativas de proyecto - solución para la vía CU-902.	126
Figura 59 Representación gráfica del valor actual neto en la vía CU-902.	127
Figura 60 Costos de tiempo de viaje en la vía CU-905.....	131
Figura 61 Costos de accidentes en promedio en la vía CU-905.	132
Figura 62 Tránsito diario según la tipología vehicular en la vía CU-905.....	132
Figura 63 Tasa de crecimiento de tránsito en la vía CU-905.	133
Figura 64 Resumen de las alternativas de proyecto para la vía CU-905.	133
Figura 65 Alternativas de proyecto-solución para la vía CU-905.....	134
Figura 66 Representación gráfica del valor actual neto para la vía CU-905.....	135
Figura 67 Datos de entrada análisis de riesgo,.....	147
Figura 68 Hoja de salida del análisis de riesgo.	148
Figura 69 Cuadro resumen de la diferencia de COV sin proyecto y con proyecto – CU 110.	152
Figura 70 Cuadro resumen de la diferencia de COV sin proyecto y con proyecto – CU 902.	152
Figura 71 Cuadro resumen de la diferencia de COV sin proyecto y con proyecto – CU 905.	153

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Medición del ancho de vía en la carretera CU-110.....	172
Fotografía 2 Medición del ancho de vía en la carretera CU-902.....	172
Fotografía 3 Medición del ancho de vía en la carretera CU-905.....	172
Fotografía 4 Medición del peralte en curvas usando el eclímetro, vía CU-902.	173
Fotografía 5 Medición del peralte en curvas usando el eclímetro, vía CU-110.	173
Fotografía 6 Medición del peralte en curvas usando el eclímetro, vía CU-905.	173
Fotografía 7 Medición del espesor de la vía asfaltada CU-110.....	174
Fotografía 8 Registro del tráfico vehicular en la vía CU-905	174
Fotografía 9 Reconocimiento en campo del estado de la vía CU-902	174
Fotografía 10 Ingreso de data para la configuración al aplicativo RoadLab Pro	175
Fotografía 11 Registro de datos del aplicativo RoadLab Pro	175
Fotografía 12 Tramo final (llegada) de la vía Zurite-Huarocondo.....	175
Fotografía 13 Inicio de recorrido por la vía CU-905.....	176
Fotografía 14 Desvío entre vía hacia Zurite y vía hacia Huarocondo. (0+000 km).....	176
Fotografía 15 Preparación para la conducción del vehículo registrador del IRI.	176

INDICE DE PLANOS

Plano de Ubicación del Proyecto	P-01
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-110 (km 0+000 a km 2+700).....	P-02
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-110 (km 2+700 a km 5+400).....	P-03
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-110 (km 5+400 a km 8+100).....	P-04
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-110 (km 8+100 a km 10+586).....	P-05
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-902 (km 0+000 a km 1+500).....	P-06
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-902 (km 1+500 a km 3+000).....	P-07
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-902 (km 3+000 a km 4+500).....	P-08
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-902 (km 4+500 a km 6+000).....	P-09
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-902 (km 6+000 a km 6+652).....	P-10
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-905 (km 0+000 a km 4+000).....	P-11
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-905 (km 4+000 a km 8+000).....	P-12
Plano en Planta y Perfil Camino Rural CU-905 (km 8+000 a km 10+015).....	P-13

RESUMEN

Actualmente, la región del Cusco presenta una gran cantidad de vías de bajo volumen de tránsito sin ser pavimentadas. Estas vías, pertenecientes a la categoría de caminos rurales, sufren deterioros progresivos conforme transcurre el tiempo. Pese a representar el mayor porcentaje de la red vial regional, se otorga escaso interés a esta problemática. A nivel de proyectos, existen deficiencias significativas para priorizar las inversiones, ya sea para dar mantenimiento o construir nueva infraestructura, lo cual constituye una decisión económica trascendental para el país. La presente investigación tiene por finalidad obtener la mejor alternativa de inversión para proyectos viales, considerando el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) mediante la aplicación del modelo RED (Road Economic Decision Model). El análisis se enfoca en el impacto económico de las intervenciones, el cual depende de los costos de mantenimiento, costos de operación vehicular (COV), tiempos de viaje y costos de inversión. Los resultados demuestran que el cálculo de indicadores económicos y COV resulta más eficiente con el modelo RED. Esto ocurre porque la herramienta emplea datos técnicos reales de la vía, como la geometría y el Índice de Regularidad Internacional (IRI), además de las características vehiculares, superando las limitaciones de la Ficha Técnica Estándar que utiliza COV preestablecidos por defecto. Finalmente, el estudio resalta la efectividad de implementar metodologías avanzadas para optimizar la gestión vial futura.

Palabras claves: Caminos rurales, Costos operativos vehiculares, Evaluación económica, Modelo RED.

ABSTRACT

Currently, the Cusco region has a large number of unpaved low-volume roads. These roads, classified as rural roads, undergo progressive deterioration over time. Despite accounting for the largest percentage of the regional road network, little attention is given to this issue. At the project level, there are significant deficiencies in prioritizing investments, whether for maintenance or the construction of new infrastructure, which constitutes a crucial economic decision for the country. The purpose of this research is to determine the best investment alternative for road projects by considering the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR) through the application of the RED (Road Economic Decision) Model. The analysis focuses on the economic impact of the interventions, which depends on maintenance costs, Vehicle Operating Costs (VOC), travel times, and investment costs. The results demonstrate that calculating economic indicators and VOCs is more efficient using the RED model. This is because the tool utilizes actual technical data from the road, such as its geometry and the International Roughness Index (IRI), along with vehicular characteristics, thereby overcoming the limitations of the Standard Technical Data Sheet, which uses predetermined default VOCs. Finally, the study highlights the effectiveness of implementing advanced methodologies to optimize future road management.

Keywords: Rural roads, Vehicle operating costs, Economic evaluation, RED model.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, y específicamente en la región del Cusco, la infraestructura vial está constituida mayoritariamente por caminos rurales de bajo volumen de tránsito. Pese a ser vitales para la conectividad y el desarrollo socioeconómico local, estas vías sufren un deterioro constante debido a la falta de atención oportuna. A esta problemática se suma un déficit en la gestión pública: al momento de decidir qué vía intervenir o mantener, suele omitirse una evaluación económica rigurosa, lo que genera inversiones ineficientes y limita el impacto de los recursos estatales.

Frente a este escenario, la presente investigación tiene como finalidad identificar la mejor alternativa de inversión en proyectos viales aplicando el modelo RED (Road Economic Decision Model). El estudio se enfoca en la evaluación económica de las vías CU-902, CU-905 y CU-110, en la provincia de Anta. A diferencia de las herramientas estandarizadas tradicionales, el modelo RED permite un análisis costo-beneficio focalizado en caminos rurales, integrando factores como los costos de operación vehicular, tiempos de viaje, costos de mantenimiento y de inversión para determinar con precisión el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

A través de este enfoque, el trabajo demuestra que la obtención de costos operativos y la correlación de indicadores económicos se realizan de manera mucho más efectiva mediante el modelo RED. De esta manera, la tesis no solo comprueba la viabilidad técnica y financiera de los tramos evaluados, sino que subraya la necesidad de adoptar metodologías innovadoras en la ingeniería civil, proporcionando a las autoridades una herramienta técnica para tomar decisiones objetivas que mejoren sustancialmente la gestión vial del país.

I. Justificación de la investigación

A nivel social, se justifica debido a que el presente trabajo permitirá conocer de manera técnica los costos de transporte, generando un impacto social positivo en los pobladores de las localidades aledañas.

A nivel teórico, se justifica porque el presente trabajo de investigación se sustenta en bases teóricas científicas, dichas bases teóricas muestran al modelo RED como una alternativa de evaluación económica de caminos rurales, logrando un análisis más completo frente a las opciones tradicionales, esto permitirá mejorar la toma de decisiones en la gestión de caminos rurales.

A nivel práctico, se justifica debido a que en el presente trabajo de investigación se adecuarán hojas de cálculo Excel propias del modelo RED, permitiendo así, ingresar datos (tipo de terreno, material, IMDA) acordes a la realidad de nuestra zona en estudio.

II: Planteamiento del Problema

2.1 Situación problemática

En la actualidad, el país enfrenta un déficit en el sistema de gestión vial para el mejoramiento y mantenimiento de los caminos rurales. A pesar de que estas vías representan el 72,7% del total de la red vial en la región de Cusco, según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2022), la falta de una gestión adecuada requiere la búsqueda urgente de alternativas de solución.

La carencia de un adecuado sistema de gestión vial está relacionada con un incorrecto manejo de las inversiones en el sector vial; es decir, no se priorizan adecuadamente las vías a intervenir, ya sea mediante su mantenimiento o mejoramiento, lo cual ocasiona pérdidas económicas para el Estado y la población. En 2019, el Ministerio de Economía y Finanzas reportó una notable disparidad en la ejecución del presupuesto para infraestructura vial. Mientras que el Presupuesto Institucional Modificado (PIM) para la infraestructura vial nacional se ejecutó en un 94,5 %, los gobiernos regionales solo lograron ejecutar el 48,1 % de su presupuesto para infraestructura vial departamental.

Esta diferencia también se refleja en el gasto en mantenimiento. En ese mismo año, se invirtieron S/ 1 987 millones en el mantenimiento de vías nacionales, un aumento del 26,9% respecto al año anterior. Sin embargo, para las vías departamentales, la inversión fue de solo S/ 138 millones, lo que representa una disminución del 44,3% en comparación con el año anterior. Esta clara falta de inversión en las vías departamentales y rurales resalta la necesidad urgente de enfocarse en proyectos viales para este tipo de caminos. Para asegurar que las inversiones sean efectivas, es crucial

implementar una evaluación económica rigurosa de cada proyecto (Sociedad de Comercio del Exterior del Perú, 2020).

La evaluación económica de proyectos viales se centra en determinar la rentabilidad de una inversión al analizar el flujo de beneficios y costos a lo largo de un horizonte temporal definido. Para ello, se utilizan indicadores financieros clave como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Esta evaluación toma en cuenta factores cruciales como los costos de mantenimiento y operación, la reducción de los costos vehiculares y la demanda de las vías (actual y futura), entre otros. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2006). Por lo tanto, una evaluación económica rigurosa es fundamental para justificar la inversión en un proyecto vial, asegurando que los recursos se destinen a las alternativas más eficientes y rentables para la sociedad.

En el presente caso, el estudio se centra básicamente en los siguientes tipos de vías: caminos rurales (vías CU-902 y CU-905), vía departamental (CU-110). Los caminos rurales son vías que pertenecen a la Red Vial Vecinal o Rural, es decir, son aquellas vías que conectan centros poblados y las capitales de las provincias con sus respectivos distritos; las vías departamentales son todas aquellas que pertenecen a la jurisdicción de un gobierno regional, permiten articular la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal y las vías nacionales son aquellas de interés nacional que en su conjunto conforman los principales ejes longitudinales y transversales del país. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2007)

Sobre las vías a nivel nacional con relación a su longitud, según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) se tiene que la red vial nacional tiene un total de 27 113,9 km de superficie de rodadura (15,6% de la red vial existente), la red vial departamental está representada por un total de 28 125,7 km (16,19 % de la red vial

existente), mientras que la red vial vecinal presenta 118 545,3 km de longitud total (68,21% de la red vial existente), predominando notoriamente los caminos rurales. Con relación al estado de las vías pavimentadas y las no pavimentadas, la red vial existente está conformada por un 17,9% de carreteras pavimentadas y un 82,1% considerado como carreteras no pavimentadas. Hablando específicamente a nivel departamental, el Cusco presenta 2 019,9 km propios de red vial nacional; 2 739,9 km propios de red vial departamental y 12 659,7 km propios de red vial vecinal; por otro lado, el Cusco cuenta con 2 469,9 km de vías pavimentadas y 14 949,5 km de vías no pavimentadas, siendo claramente necesario un mayor enfoque en las vías no pavimentadas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022)

El Plan Vial Provincial Participativo 2021-2025, elaborado por la provincia de Anta, es un documento técnico muy trascendente en la gestión vial. Facilita la organización y planificación de un tratamiento vial apropiado para las vías que estén dentro de la jurisdicción de la provincia de Anta. Para lograr ello se vale de una priorización de vías rurales aplicando el enfoque de “Corredores logísticos y Cadenas de valor e Inclusión social”, este enfoque consta de 4 fases: 1. Elegibilidad de los Caminos Rurales a ser priorizados; 2. Criterios económicos (vinculado a corredores logísticos y cadena de valor) y Sociales (Acceso a servicios); 3. Establecimiento del Índice para la priorización de los caminos: IP y 4. Priorización. En la primera fase se priorizará a los caminos rurales que especialmente no tengan intervención con las Áreas Naturales Protegidas por el Estado (ANP) o el Patrimonio Histórico Cultural; en la segunda fase se identifican y determinan los Caminos rurales que estén vinculados a las cadenas de valor (CVAL), llámese Complementariedad vial, Integración de vías, Accesibilidad vial y Potencialidades; en la tercera fase se obtiene el índice de priorización, para ello se suman los valores ponderados obtenidos en la segunda fase y

finalmente, en la cuarta fase se ordenan los resultados en función al puntaje obtenido de cada camino vecinal, obteniendo un listado priorizado de caminos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017). Todas las fases de priorización están programadas en una hoja de formato Excel que es de libre acceso en la página virtual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El modelo “RED”, que proviene de sus siglas en inglés (Road Economic Decision Model) es una herramienta que permite mejorar el proceso de toma de decisiones en el mejoramiento y mantenimiento de caminos rurales, el modelo efectúa una evaluación económica de las opciones de inversión en caminos rurales otorgando indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El modelo RED consta de una serie de 5 libros Excel también llamados como “módulos” que permiten realizar la evaluación económica del camino (Archondo, 2004). La creación de este software partió de la necesidad de mejorar las condiciones viales de caminos rurales en el África, es por ello que el Banco Mundial junto con el Africa Road Management Initiative (RMI) realizaron un trabajo colaborativo y crearon el modelo RED, este modelo ya se ha venido aplicando en el mundo para distintos propósitos como: estimar la reducción de costos operativos en vías rurales en Uganda (Mbabazi, 2019), determinar el impacto económico del método do-nou en la mejora de caminos rurales en Ghana (Tamura et al., 2012) y en estimar el impacto económico de desvío de tráfico entre dos carreteras alternativas existentes en Sudáfrica (Meyer et al., 2008).

2.2 Formulación del problema

2.2.1 Problema general

¿Cómo se realiza la evaluación económica en la mejora y mantenimiento de caminos rurales en la provincia de Anta?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál sería la calibración del modelo RED para el sector de Anta?
- ¿Cómo realizar la evaluación económica de la mejora y el mantenimiento de una ruta determinada de un camino rural?
- ¿Cómo determinar los costos operativos en dichas rutas?
- ¿Cómo establecer el análisis de riesgos en las rutas de estudio?
- ¿Cómo realizar la evaluación económica de una red de caminos, en la mejora y mantenimiento?

III. Objetivos de la investigación

3.1 Objetivo general

Aplicar el modelo RED, en la evaluación económica para el mejoramiento y mantenimiento de caminos rurales, en la provincia de Anta.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar la calibración del modelo RED para el sector Anta.
- Realizar la evaluación económica de la mejora y el mantenimiento de una ruta determinada de un camino rural.
- Determinar los costos operativos en dichas rutas.
- Establecer el análisis de riesgos en las rutas de estudio.
- Realizar la evaluación económica de una red de caminos, en la mejora y mantenimiento

IV: Marco teórico

4.1 Antecedentes de la investigación

4.1.1 Antecedentes internacionales

Mbabazi (2019) investigó los cambios en los costos de operación de vehículos mototaxis, mediante un análisis económico con el modelo RED, con relación al estado de carreteras sin asfaltar en Uganda. La metodología empleada se basó en la comparación de los costos de operación estimados por el modelo RED y los costos reales obtenidos de entrevistas con 14 conductores de vehículos mototaxis de la zona; en dicha investigación se determinó que los costos de operación de vehículos se incrementan del 1 al 8% cuando el estado de la carretera pasa de muy bueno a bueno.

Tamura et al. (2012), investigaron acerca del impacto económico que tiene la aplicación del método “Do-nou” para la mejora de caminos rurales en los países en desarrollo, se toma como referencia un proyecto vial de Tanzania; en esta investigación se evalúan los indicadores como Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) previstos para un camino vecinal, mediante el Módulo Principal del modelo RED; se ingresan costos de inversión e indicadores de desempeño basados en datos existentes de la zona y con ello se hace un análisis de riesgo variando los parámetros de entrada; se determinó que las carreteras con IMD menor a 200 pueden mejorarse empleando el método “Do-nou” en tramos determinados, ya que se muestra un valor actual neto (VAN) positivo, por ejemplo, para una vía con IMDA = 75 veh/día se concluyó que es recomendable usar el método “Do-nou” para tramos con un IRI promedio anual de 18.5.

Archondo et al. (2003) realizaron una evaluación con el propósito de establecer un programa de mantenimiento y mejora de caminos no pavimentados con bloques de

concreto en vías pertenecientes a la “región 1” (norte de Nicaragua), se eligió intervenir en dicha región por ser una de las regiones más pobres del país; la metodología empleada se basó en el análisis económico obtenido del módulo principal del modelo RED con datos de entrada de la “región 1” de dicho país. Algunos de estos datos son: IMDA, longitud, tipo de material en cada tramo de camino vecinal y su correspondiente IRI, finalmente se obtienen alternativas de proyecto para cada clase de carretera con su respectivo VAN y TIR; se concluyó que es recomendable colocar bloques de hormigón en un ancho de 4 m en vías con un IMDA entre 200 – 300 veh/día siempre y cuando se encuentren en buen estado; mientras, si la vía tiene el mismo tráfico pero actualmente se encuentra en mal estado, la recomendación es colocar bloques de hormigón en un ancho de 6 m.

Meyer et al. (2008) realizaron un estudio en Sudáfrica, se analizaron dos carreteras alternativas paralelas, las vías N1 y R101; con el propósito de evaluar el impacto económico del desvío de tráfico entre ambas vías, donde emplearon el modelo RED. La metodología empleada se basó, en primer lugar, en realizar un análisis costo-beneficio de cada vía de forma aislada; posteriormente, se realizó un análisis de escenarios y por último un análisis de sensibilidad; se concluyó que una reducción del 10% en el IMD en la vía R101, hace que el VAN aumente de 52 a 367 millones de rands sudafricanos (incremento de aprox. 17 millones de dólares), mientras que la TIR pasa del 16,1% al 38%; en resumen, el modelo sugiere que un desvío 10% del tráfico en la vía R101 mejoraría sustancialmente el rendimiento social de la carretera.

4.1.2 Antecedentes nacionales

Salazar y Sánchez (2020) investigaron acerca de un modelo de gestión vial haciendo uso de hojas Excel con la finalidad de implementar un plan de intervención

vial aplicando las metodologías de estado de condición para caminos rurales, esto en 20 km propios de la vía Villasol-Pillao, distrito Chinchao, situado en la provincia y departamento Huánuco, la metodología implica llevar a cabo la evaluación de fallas del tramo de 20 km de acuerdo a la metodología URCI, TMH-12 y Paser Manual Unimproved y Graved Roads de Wisconsin, luego se obtiene el propio estado de condición de la vía y se proponen acciones de mantenimiento en la misma; se estableció que el modelo se aplica para tráfico de 16 a 50 veh/día y de 50 a 200 veh/día, con un URCI de 70 a 85 y 85 a 100, e IRI de 6 a 10 y de 6 a 4 respectivamente. De acuerdo con esta investigación, se sugiere efectuar perfilados cada 60 días y una reposición de afirmado como mantenimiento periódico cada 4 años, esto permite mantener un nivel de servicio en estado Bueno-Satisfactorio.

Bashi y Valladares (2021) estudiaron el mejor escenario económico para caminos rurales mediante el modelo RED en la provincia Leoncio Prado de la región Huánuco; la metodología consiste en calibrar el modelo RED para la red vial vecinal de la provincia Leoncio Prado y así obtener cual es la mejor opción de inversión en el mantenimiento de caminos rurales, las vías analizadas son contrastadas con datos del Plan Vial Provincial Participativo de la provincia Leoncio Prado; se determinó que el modelo RED requiere especial atención en los factores como la orografía (terreno llano, ondulado y montañoso) y clasificación vehicular, según esta investigación se recomienda aplicar el modelo RED en distintas regiones del país para poder comparar y calibrar el modelo de evaluación económica.

Glave et al. (2012) plantearon analizar la factibilidad económica y financiera del proyecto vial Pucallpa-Cruzeiro do Sul, haciendo uso del modelo RED, en el cual se propuso un trazo de vía y se estimaron los valores del tráfico; se llegó a la conclusión

de modificar el trazo de vía para que los indicadores económicos aseguren que el proyecto será rentable.

Chang y Meléndez (2011) abordaron sobre los beneficios, consideraciones y dificultades del modelo HDM; la metodología presente en el modelo HDM-III se basa en diferentes sub etapas de modelamiento, empieza por un sub modelo de tráfico, luego prosigue un sub modelo de construcción, un sub modelo de deterioro y mantenimiento, un sub modelo de costos de operación vehicular y se finaliza analizando un sub modelo de beneficio/costo; en el presente trabajo de investigación se concluye que es importante fomentar el uso del modelo HDM en el país, conociendo las limitaciones del mismo, ya que no es una herramienta para un nivel de diseño definitivo, sino una herramienta de análisis económico de inversiones en proyectos viales.

4.2 Bases teóricas

4.2.1 Modelo Road Economic Decision (RED)

El modelo Road Economic Decision (RED) es una herramienta que fue creada con el objeto de mejorar la toma de decisiones en la inversión de mantenimiento y mejoramiento de caminos rurales. Esta herramienta facilita la toma de decisiones gracias a la metodología simplificada que emplea, principalmente se encarga de evaluar la viabilidad económica de un proyecto de caminos rurales. El modelo RED fue desarrollado por el Banco Mundial, se presenta en formato de hojas Excel. (Archondo, 2004)

4.2.1.1 Alcance

El alcance del modelo RED según (Archondo, 1999), hace referencia principalmente a la evaluación económica de inversiones en caminos rurales y al análisis

de riesgos, que permite tener una mejor visión sobre la incertidumbre de los costos y los beneficios. Dentro de la evaluación económica, el modelo RED permite realizar un análisis costo-beneficio, tomando en cuenta los costos de inversión y de mantenimiento, reducción de costos operativos vehiculares y los beneficios directos e indirectos. Por otro lado en la parte de análisis de riesgos, el modelo es capaz de identificar que parámetros tienen un impacto significativo a nivel económico en el proyecto, para ello se vale de una distribución de probabilidades, específicamente de la función triangular que otorga valores máximos, mínimos y los valores más probables. (Archondo, 2004)

4.2.1.2 Antecedentes

Actualmente este modelo ha sido aplicado en diversos países alrededor del mundo, especialmente en los lugares con países en vías de desarrollo como el África (Ghana, Uganda, Etiopía), América Latina (Nicaragua, Perú) y Asia (Vietnam), para dar origen a este modelo, se debe remontar a la década de 1990 cuando existía la necesidad de contar con un modelo de evaluación especialmente para los caminos rurales que representaban gran parte de la red vial de aquellos países en vías de desarrollo, en esa época se contaba con el HDM-4, pero el enfoque de este modelo era hacia carreteras de mayor afluencia vehicular, he ahí que surgió la necesidad de crear el modelo RED. (Archondo, 2004)

El desarrollo del modelo RED fue mejorado gracias a experiencias previas en la evaluación de proyectos viales de caminos rurales en América Latina y el África, se dio un enfoque en la importancia del mantenimiento y los impactos socioeconómicos de los caminos rurales, es decir, qué impacto tenía la inversión de caminos rurales en la economía del sector en cuestión. Debido a estos antecedentes, se demostró que la inversión en infraestructura vial rural permite mejorar la accesibilidad y competitividad en las localidades rurales, reduciendo el costo de transporte, acceso a nuevos mercados

e incrementando la accesibilidad a los servicios sociales (salud, educación, etc.).
(Archondo, 1999)

4.2.1.3 Estructura del modelo RED

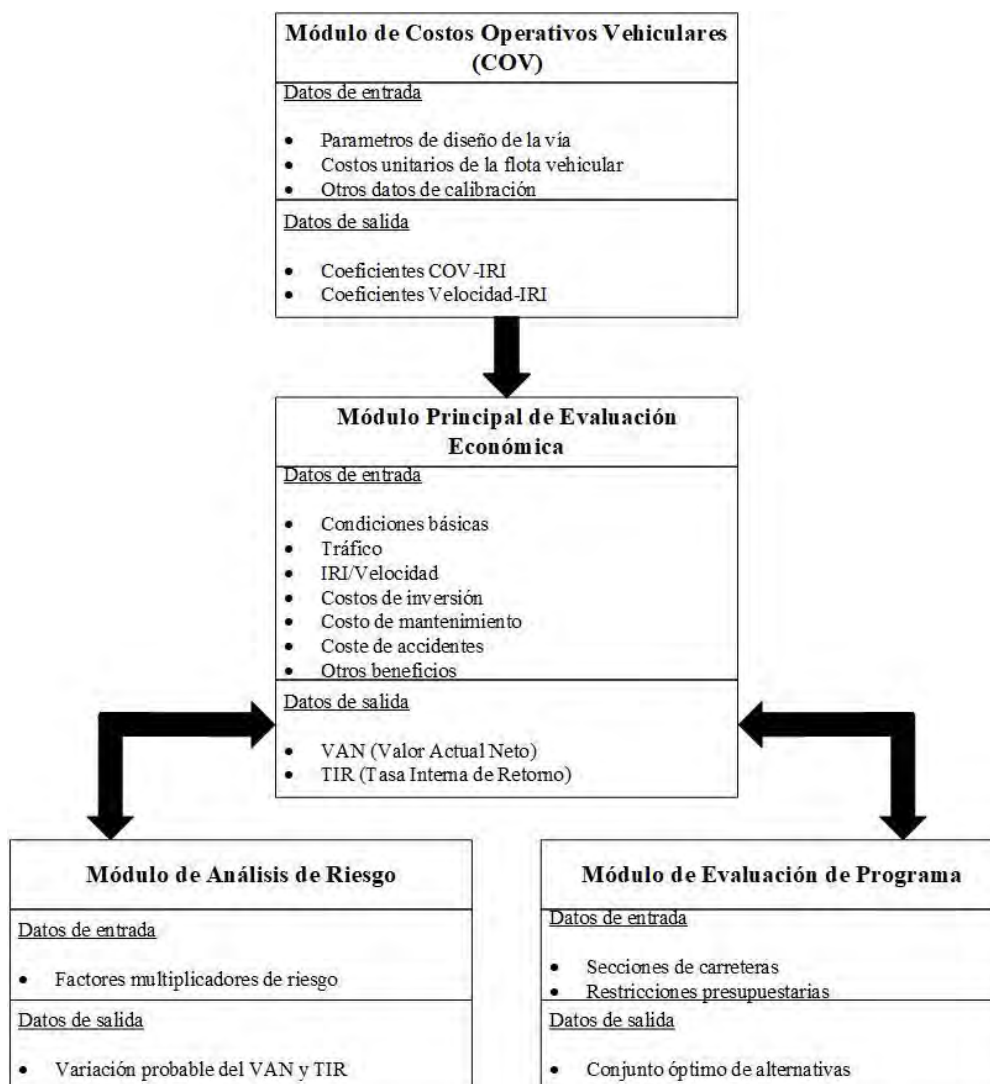
La estructura del modelo RED está conformada por 5 módulos o espacios de trabajo:

- Módulo de Evaluación Económica
- Módulo HDM-III
- Módulo HDM-4
- Módulo de Riesgos
- Módulo Programa

Estos módulos trabajan de manera articulada, es decir, procesan la data y los resultados obtenidos serán los datos de entrada de aquel siguiente módulo, para un mejor entendimiento se realiza el siguiente esquema:

Figura 1

Estructura del modelo Road Economic Decision (RED)



Nota. En el gráfico se detallan los datos de entrada y salida en cada módulo del modelo RED, se tiene principalmente el módulo de costos operativos, el módulo de evaluación principal, el módulo de análisis de riesgo y el módulo de evaluación de Programa. Adaptado de Tamura et al. (2012)

4.2.1.3.1 Módulo Principal de Evaluación Económica.

El módulo Principal de Evaluación Económica, como su nombre lo indica es el “módulo principal” del modelo RED, en este módulo se realiza la evaluación económica desde una hasta tres alternativas de proyecto para un camino vecinal determinado. (Archondo, 2004)

Para trabajar dentro de este módulo, es imprescindible definir las características del camino vecinal, el nivel de tránsito y las características de cuatro posibles casos de mantenimiento o mejoramiento (uno de ellos es el caso **sin proyecto** y los otros tres son las posibles **alternativas del proyecto**). El modelo evalúa los costos de transporte totales de los cuatro casos y calcula los beneficios netos de cada uno de los tres proyectos, comparándolos con el caso sin proyecto.

Dentro del Módulo de Evaluación Principal se trabajan con hojas de entrada y hojas de salida; siendo las hojas de entrada, hojas de formato Excel en las que se debe ingresar los datos de entrada (celdas con fondo de color amarillo); y las hojas de salida, hojas de formato Excel donde se escribirán automáticamente los resultados. (Archondo, 2004). A continuación se muestran los nombres de las hojas de entrada y salida, respectivamente:

Hojas de entrada:

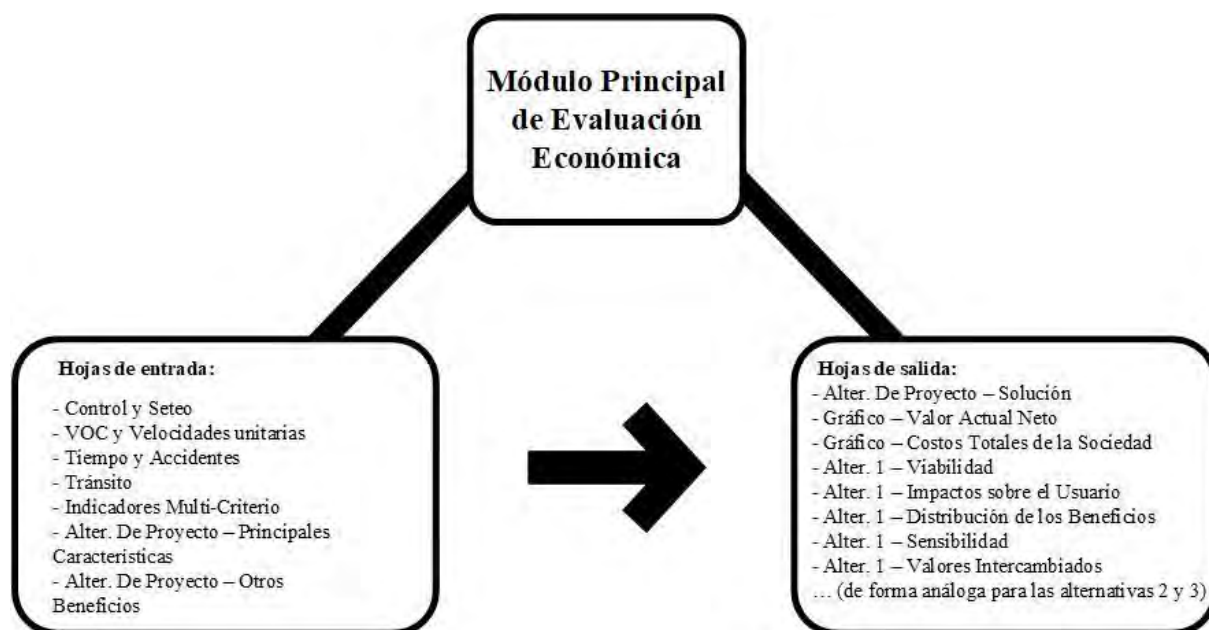
- Control y Seteo
- VOC y Velocidades unitarias
- Tiempo y Accidentes
- Tránsito
- Indicadores Multi-Criterio
- Alter. De Proyecto – Principales Características
- Alter. De Proyecto – Otros Beneficios

Hojas de salida:

- Alter. De Proyecto – Solución
- Gráfico – Valor Actual Neto
- Gráfico – Costos Totales de la Sociedad
- Alter. 1 – Viabilidad
- Alter. 1 – Impactos sobre el Usuario
- Alter. 1 – Distribución de los Beneficios
- Alter. 1 – Sensibilidad
- Alter. 1 – Valores Intercambiados
- ... (de forma análoga para las alternativas 2 y 3)

Figura 2

Estructura del Módulo Principal de Evaluación Económica



Nota. La figura muestra la estructura general del módulo principal de evaluación económica del modelo RED, donde se distinguen las hojas de entrada (costos operativos vehiculares, velocidades, tiempos de viaje); y las hojas de salida (valor actual neto, costos totales de la sociedad, impactos sobre los usuarios).
Elaboración propia.

A continuación se explicará en que consiste cada una de las hojas de entrada y de salida dentro del Módulo de Principal de Evaluación Económica:

Hojas de entrada:

- Control y Seteo

En esta hoja se definen datos básicos como tipología vehicular, tipos de terreno en el que se encuentra el camino vecinal, tipos de caminos rurales según el material que lo conforma, etc. Esta hoja se divide en área de control y área de seteo, a continuación se explica detalladamente el contenido del área de control: (Archondo, 2004)

- Nombre del país, el título del proyecto, la codificación del camino vecinal, el tipo de moneda a usar y la fecha en que se realiza la evaluación de la vía.
- Duración de la estación húmeda: este periodo se escribe en días y se refiere a la cantidad de días en los que el clima es lluvioso en la zona de análisis, para este parámetro se puede considerar un valor de cero “0” cuando la estación seca y la estación húmeda presentan las mismas características de tránsito y condición del camino.
- (Factor de costos económicos)
- Tasa de descuento: se debe ingresar la tasa (en porcentaje) que se empleará para calcular los valores en la actualidad.
- Periodo de evaluación: se define (en años) el número de años a considerar en la evaluación, este valor debe estar entre 2 y 20 años.
- Año calendario inicial: se debe ingresar el primer año del periodo de evaluación.
- Cantidad de pobladores que serán beneficiarios gracias al proyecto vial.

En el área de seteo se calibran los datos para un determinado país, a continuación todos los parámetros de este área:

- Tipología vehicular: en este apartado se puede definir los nombres de hasta nueve tipos de vehículos, el modelo RED trae por defecto los siguientes

nueve tipos: Automóvil mediano, vehículo de carga, autobús (liviano, mediano y pesado), camión (liviano, mediano y pesado) y camión articulado, es necesario aclarar que para cada tipo de vehículo se requiere la relación entre sus costos operativos vehiculares, velocidades y rugosidad del camino vecinal. En caso de no necesitar los nueve tipos de su vehículo se puede borrar el nombre y colocar cero en su tráfico vehicular.

- Tipo de terreno: se coloca según corresponda el caso llano, ondulado o montañoso.
- Tipo de camino: se coloca según corresponda el caso tierra, ripio o pavimento.
- Indicador de condición de camino: se pueden escoger las siguientes opciones: ingresar la rugosidad del camino y partir de ello el modelo RED estima las velocidades y los costos operativos vehiculares; ingresar la velocidad de un vehículo (vehículo de referencia) y el modelo RED estima la rugosidad (basada en la velocidad previamente ingresada), con el valor de la rugosidad estimada procede a calcular los costos operativos vehiculares; y como tercer indicador, ingresar la rugosidad y las velocidades de todos los vehículos para que los costos operativos sean estimados según la rugosidad ingresada. (Archondo, 2004)

- **VOC y Velocidades Unitarios**

En esta hoja se calculan las relaciones entre costos operativos vehiculares, velocidades y rugosidad del camino vecinal, estas relaciones se desarrollan hasta para nueve tipos de vehículos combinándolos con los tipos de terreno y tipos de caminos, estas relaciones son halladas mediante un polinomio cúbico como se muestra a continuación:

$$VOC = a0 + a1 \times IRI + a2 \times IRI^2 + a3 \times IRI^3$$

Donde:

VOC (\$/veh-km) : costos operativos vehiculares

a0, a1, a2 y a3 : coeficientes del polinomio

Estos coeficientes pueden ser obtenidos por el módulo de costos operativos del modelo RED o en su defecto, obtenidos por otros medios e ingresados de forma manual. (Archondo, 2004)

- **Tiempo y accidentes**

En esta hoja se demarcan los costos de tiempo y de accidentes, el modelo RED calcula los beneficios que produce la reducción de tiempo de viaje de los pasajeros y en la reducción de los costos en accidentes. Los beneficios de los costos de tiempo se calculan ingresando la cantidad de pasajeros por tipo de vehículo, el valor del tiempo del pasajero y también el tiempo de retención de carga; por otro lado, para calcular los beneficios relacionados a la seguridad de los pasajeros, se debe ingresar un costo medio por accidente evitado (accidentes con muertes, accidentes con lesiones y accidentes con únicamente daños materiales). (Archondo, 2004)

- **Tránsito**

Para la evaluación económica, el modelo RED calcula los beneficios obtenidos de los siguientes tipos de tránsito:

- a. Tránsito normal: se denomina así al tránsito de la vía vecinal en la que no se tiene ninguna nueva inversión en mantenimiento o mejoramiento.
- b. Tránsito generado: se denomina así al tránsito ocasionado por el aumento de la frecuencia de viajes de aquellos pasajeros que usan continuamente la vía vecinal, debido a que existe un decrecimiento de los costos de transporte.

- c. Tránsito inducido: se denomina así al tránsito que proviene de otras vías rurales, que se ven atraídos por el desarrollo de la zona de influencia del camino vecinal que cuenta con un mejoramiento o mantenimiento vial.
- d. Tránsito derivado: se denomina así al tránsito que es derivado de otra vía alterna, que cuenta con el mismo origen y destino que la vía en estudio. (Archondo, 2004)

- **Indicadores Multi-Criterio**

Los indicadores presentes en esta hoja no son empleados en el análisis económico del modelo RED, son datos que sirven para futuros análisis y/o referencias. Estos indicadores se pueden cambiar de definición según se requiera y se puede contar con una cantidad máxima de 8 indicadores multi-criterio. (Archondo, 2004)

- **Alter. De Proyecto – Principales Características**

En esta hoja se va a encontrar las características de 4 alternativas de proyecto que requieren ser evaluadas. La primer alternativa se refiere al caso sin proyecto, que dicho de otra forma, es el caso base. Las tres alternativas restantes son las que se comparan con el caso sin proyecto, se definen con los siguientes ítems: (Archondo, 2004)

- Descripción de la alternativa del proyecto.
- Código del terreno ((A) llano, (B) ondulado y (C) montañoso) y del tipo de camino ((X) tierra, (Y) ripio o (Z) pavimento).
- Condición del camino vecinal durante el periodo de buena transitabilidad (estación seca/estación húmeda).
- Duración de la inversión (años) incluyendo el porcentaje de inversión en cada año (%).
- Costos financieros de inversión/km, expresado en miles de moneda por km.

- Costos financieros fijos de mantenimiento/km-año, expresado en miles de moneda por km-año.
- Costos financieros variables de mantenimiento/km-año-tránsito, expresado en miles de moneda por km-año-IMD, estos costos anuales de mantenimiento son opcionales y dependen netamente del tránsito.
(Archondo, 2004)

- **Alter. De Proyecto – Otros Beneficios**

En esta hoja se plasman otros beneficios netos de cada alternativa, que deben ser calculados por separados. Estos beneficios netos pueden ser los beneficios por servicios sociales e impactos ambientales, es importante aclarar que estos beneficios pueden ser positivos, como también negativos. (Archondo, 2004)

Hojas de salida:

- **Alter. De Proyecto – Solución**

En esta hoja se muestra la lista de resultados para cada alternativa del proyecto, el modelo RED muestra estos indicadores económicos:

- Valor actual neto, en millones de dólares (\$).
- Tasa interna de retorno, en porcentaje (%).
- Beneficios netos anuales equivalentes, en (\$/km); este beneficio se refiere al flujo anual equivalente de beneficios netos a lo largo del periodo de evaluación con un valor actual, a la tasa de descuento dada, igual al valor actual neto dividido por la longitud del camino.
- Tasa de retorno modificada considerando la tasa de reinversión y la tasa de financiamiento.
- Valor actual neto por costos financieros de inversión.

- Valor actual neto por valor actual de costos económicos de agencia, etc.
(Archondo, 2004)

- **Gráfico – Valor Actual Neto**

En esta hoja se muestra un gráfico de comparación entre el valor actual neto y el valor actual de costos económicos de agencia para todas las alternativas de proyecto.
(Archondo, 2004)

- **Gráfico – Costos Totales de la Sociedad**

En esta hoja se muestra un gráfico que compara el valor actual de costos sociales totales y el valor actual de los costos económicos de agencia para todas las alternativas de proyecto. (Archondo, 2004)

- **Alter. 1 – Viabilidad**

En esta hoja se encuentran los detalles de la evaluación económica de la alternativa de proyecto 1 (opción 1). En primer lugar, en la parte superior se cuenta con los datos de entrada que se asumieron previamente; en segundo lugar, en la parte inferior están ubicadas las velocidades de vehículos, tiempos de viaje, tránsito y flujo de beneficios netos calculados. Para finalizar, en tercer lugar se encuentran los indicadores económicos. (Archondo, 2004)

- **Alter. 1 – Impactos sobre el Usuario**

En esta hoja se plasman los impactos de las inversiones propuestas previamente. Se muestra, para cada tipo de vehículo, la reducción de costos económicos anuales de usuario de camino vecinal en relación a la alternativa sin proyecto; a su vez, presenta para cada tipo de vehículo los costos de viaje unitarios financieros y costos de viajes anuales financieros del año siguiente en que se haya realizado la inversión.
(Archondo, 2004)

- **Alter. 1 – Distribución de los Beneficios**

Se presentan la distribución o repartición de los beneficios netos totales de la sociedad entre beneficios de agencia y beneficios de los usuarios del camino vecinal. (Archondo, 2004)

- **Alter. 1 – Sensibilidad**

Se plasma un análisis de sensibilidad para cada uno de los datos de entrada principales. Se debe ingresar dos posibles multiplicadores para cada parámetro de entrada principal, en las columnas G y L; seguidamente, se presiona Actualizar Sensibilidad y se mostrarán los valores finales. (Archondo, 2004)

- **Alter. 1 – Valores Intercambiados**

En esta hoja se muestra un análisis de valores intercambiados para cada parámetro de entrada principal. Este análisis consiste en determinar un valor fluctuante que conlleve a tener un Valor Actual Neto (VAN) igual a cero; o una Tasa Interna de Retorno (TIR) igual a la tasa de descuento del proyecto. El valor fluctuante permite hallar el impacto de cada parámetro de entrada en los beneficios del proyecto. (Archondo, 2004)

- **Beneficios 1, Beneficios 2, Beneficios 3, Beneficios 4**

En este grupo de hojas de cálculo, se llevan a cabo los análisis y pasos explicados con anterioridad para todas las alternativas que el proyecto tuviese (alternativa 2 y alternativa 3). (Archondo, 2004)

- **Constantes**

En esta hoja se almacenan los multiplicadores de la parte de análisis de sensibilidad y riesgo. Es importante mencionar que los multiplicadores multiplican cada dato de entrada en todas las fórmulas del modelo RED; se puede colocar como valor 1 a los multiplicadores, para así mostrar el escenario base original. (Archondo, 2004)

4.2.1.3.2 Módulo de Costos Operativos de Vehículo HDM-III.

El módulo de costos operativos de vehículo HDM-III, es aquel módulo en el que se obtienen los costos operativos vehiculares y las velocidades de los vehículos, en función de la rugosidad de la vía. De manera similar que el módulo principal, en este módulo se puede trabajar hasta con 9 tipos de vehículos motorizados, 3 tipos de caminos y de terrenos.

Este módulo, como su nombre lo indica, trabaja con las ecuaciones de costos operativos de vehículo presentes en el HDM-III. (Archondo, 2004)

Presenta tres hojas de entrada y 5 hojas de salida como se muestra a continuación:

Hojas de entrada:

- Datos básicos de entrada
- Datos de calibración
- Calcular resultados

Hojas de salida:

- Coeficientes
- Velocidades
- VOC
- Comparación de HDM-III y ecuaciones
- VOC y velocidades típicas

Figura 3

Estructura del módulo de costos operativos de vehículo HDM-III



Nota. Diagrama de los componentes de entrada y salida para el cálculo de costos operativos vehiculares según el modelo HDM-III, se incluye la validación mediante la comparación de resultados y velocidades. Elaboración propia.

4.2.1.3.3 Módulo de Costos Operativos de Vehículo HDM-4.

El módulo de costos operativos de vehículo HDM-4, permite hallar los costos operativos vehiculares en función de la rugosidad de la vía. Dentro de este módulo se puede trabajar con 9 tipos de vehículos, 3 tipos de caminos y de terrenos.

Se trabaja con las ecuaciones de costos operativos de vehículo del HDM-4 y se requieren datos de entrada similares a los del HDM-4 (Archondo, 2004). El presente módulo consta de 3 hojas de entrada y 6 hojas de salida, como se muestra a continuación:

Hojas de entrada:

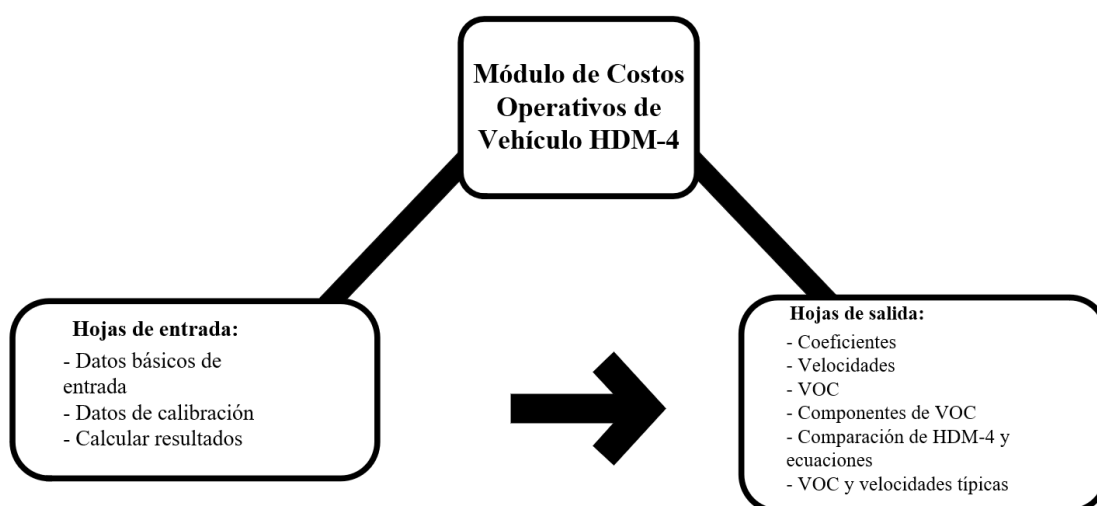
- Datos básicos de entrada
- Datos de calibración
- Calcular resultados

Hojas de salida:

- Coeficientes
- Velocidades
- VOC
- Componentes de VOC
- Comparación de HDM-4 y ecuaciones
- VOC y velocidades típicas

Figura 4

Estructura del módulo de costos operativos de vehículo HDM-4



Nota. La figura muestra la estructura del módulo de costos operativos de vehículo del modelo HDM-4. Se observa el flujo de información desde las hojas de entrada (datos básicos, calibración y cálculo de resultados) hacia las hojas de salida (coeficientes, velocidades, VOC y sus componentes. Elaboración propia.

4.2.1.3.4 Módulo de Análisis de Riesgo.

El módulo de análisis de riesgo efectúa, como su nombre lo indica, un análisis de riesgo con base en las distribuciones triangulares de probabilidad para 20 parámetros de entrada de mayor importancia. Mediante el uso de este módulo, se puede incluir la incertidumbre en la estimación de parámetros y en base a eso, se obtienen resultados que muestren posibles escenarios. Una vez que en el módulo se haya definido una estimación y su probabilidad de ocurrencia, se procesan múltiples escenarios “que pasa sí”, en los cuales se generan datos de entrada aleatorios que siguen la distribución de probabilidad definida al inicio; los resultados obtenidos, son distribuciones de frecuencias presentadas en forma de gráfica. (Archondo, 2004)

Se tienen dos hojas de entrada y ocho hojas de salida, como se muestra a continuación:

Hojas de entrada:

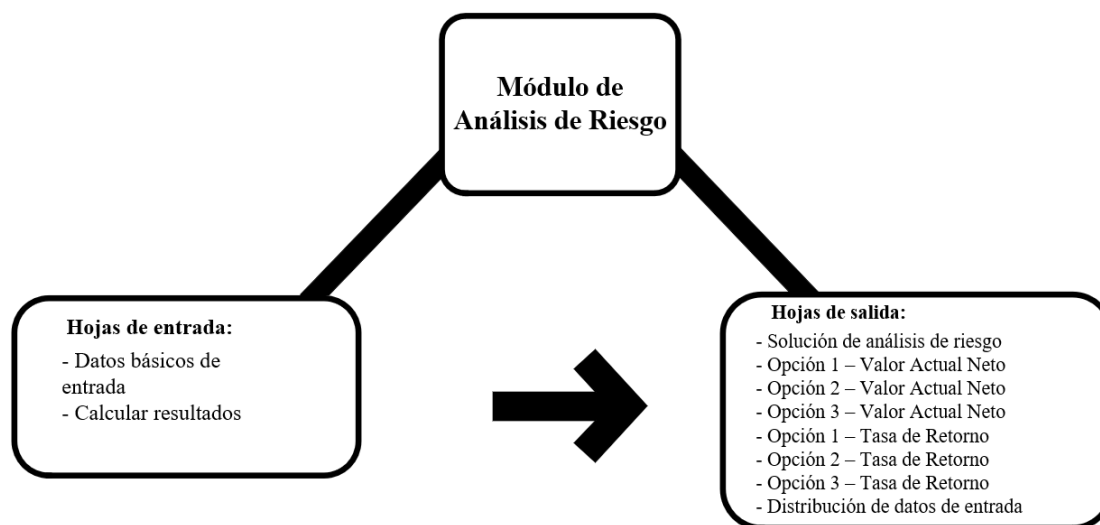
- Datos básicos de entrada
- Calcular resultados

Hojas de salida:

- Solución de análisis de riesgo
- Opción 1 – valor actual neto
- Opción 2 – valor actual neto
- Opción 3 – valor actual neto
- Opción 1 – tasa de retorno
- Opción 2 – tasa de retorno
- Opción 3 – tasa de retorno
- Distribución de datos de entrada

Figura 5

Estructura del módulo de análisis de riesgo



Nota. En la figura se muestra la estructura funcional del módulo de análisis de riesgo, que plasma el procesamiento de datos básicos para la obtención de resultados probabilísticos del Valor Actual Neto y la Tasa de Retorno por cada opción evaluada. Elaboración propia

Previo al uso del presente módulo, se debe haber utilizado el módulo de costos operativos de vehículo y el módulo principal de evaluación económica; esto con la finalidad de comparar, sin análisis de riesgo, las alternativas de proyecto de la vía que se está evaluando.

4.2.1.3.5 Módulo de Evaluación de Programa.

El módulo de evaluación de programa realiza una evaluación de un grupo de vías al mismo tiempo. Anteriormente, con el módulo principal de evaluación económica, se evaluaba una vía por vez y se obtenía la comparación económica de las alternativas de proyecto para una vía en particular; pero, con el módulo de evaluación de programa se evalúan varias vías al mismo tiempo y se obtienen resultados que

corresponde a cada vía, así como los indicadores del programa, este módulo puede evaluar un máximo de 400 vías. (Archondo, 2004)

Este módulo consta con una hoja de entrada y once hojas de salida, como se muestra a continuación:

Hojas de entrada:

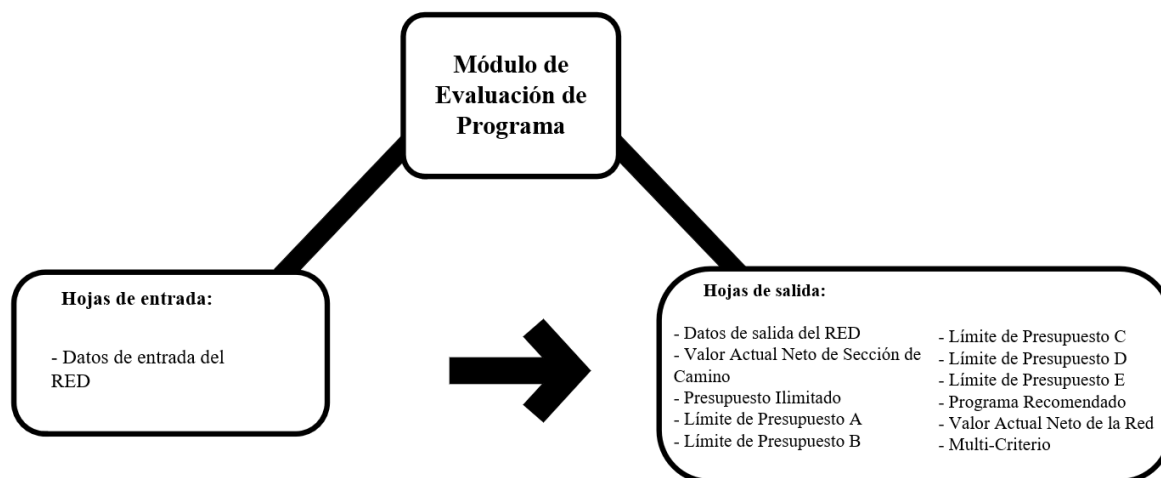
- Datos de entrada del RED

Hojas de salida:

- Datos de salida del RED
- Valor Actual Neto de Sección de Camino
- Presupuesto Ilimitado
- Límite de Presupuesto A
- Límite de Presupuesto B
- Límite de Presupuesto C
- Límite de Presupuesto D
- Límite de Presupuesto E
- Programa Recomendado
- Valor Actual Neto de la Red
- Multi-Criterio

Figura 6

Estructura del módulo de evaluación de programa



Nota. La figura muestra la estructura del módulo de evaluación de programa, cómo se generan alternativas bajo distintos límites presupuestarios y criterios de evaluación. Sirve para identificar el programa recomendado y analizar la viabilidad económica del conjunto de proyectos. Elaboración propia.

4.2.2 Gestión de caminos rurales

La gestión de caminos rurales aborda sobre la administración y mantenimiento de vías de menor tráfico que conectan áreas rurales y comunidades locales con las carreteras principales. Este tipo de gestión incluye actividades como la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación de estos caminos para asegurar su funcionalidad y seguridad.

La gestión de caminos rurales es crucial para el desarrollo económico y social de las áreas rurales y con esto el desarrollo del estado, ya que facilita el acceso a mercados, servicios de salud, educación y otras infraestructuras vitales. Además, contribuye a mejorar la calidad de vida de las comunidades locales al proporcionar

mejores condiciones de transporte y conectividad. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2006)

Dentro de la gestión de caminos rurales, es importante priorizar las vías a intervenir, de esta manera se asegura que las intervenciones se realicen de manera estratégica, maximizando beneficios económicos, sociales y de seguridad en el ámbito local; por este motivo a continuación se abordan los dos enfoques de priorización de caminos rurales.

4.2.2.1 Priorización de caminos rurales según el PVPP – Anta

La priorización de caminos rurales según el Plan Provincial Participativo de la Provincia de Anta (PVPP – Anta) es una herramienta que está alineada a la propuesta de desarrollo provincial, recogidos en los objetivos del PVPP como: aspectos económicos (articulación territorial e integración al mercado asociada a corredores logísticos y cadenas de valor) y aspectos sociales (acceso a los servicios públicos e inclusión social). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022)

La metodología para la priorización de caminos rurales es la siguiente:

Metodología para priorización de caminos rurales: enfoque de corredores logísticos y cadenas de valor (competitividad) e inclusión social

El objeto de la presente metodología es establecer un ranking de los caminos rurales a ser intervenidos. Para ello, la presente metodología se basa en criterios económicos, sociales (corredores logísticos y cadenas de valores) e inclusión social (acceso a servicios públicos). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022)

La priorización se desarrolla en 4 fases:

- **Fase 1: Elegibilidad de los caminos rurales a ser priorizados**

En esta fase se selecciona a los caminos rurales, en base a aspectos cualitativos ambientales, socioculturales y de patrimonio cultural (0: No cumple, 1: Cumple)

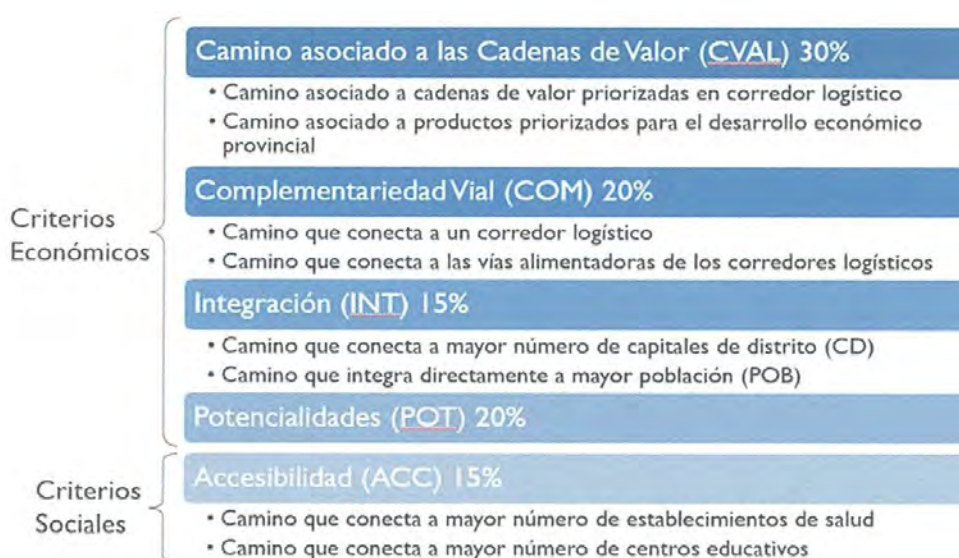
- I. Impacto Social Ambiental: se hace referencia a los caminos que no tienen impacto social - ambiental negativo significativo.
- II. Impacto Socio Cultural: se hace referencia a los caminos que no tienen impacto negativo significativo en comunidades nativas y/o el patrimonio cultural inmueble.

- **Fase 2: Criterios económicos (asociado a corredores logísticos y cadena de valor) y sociales (acceso a servicios)**

En esta fase se cuenta con los siguientes criterios:

Figura 7

Criterios para la evaluación de caminos rurales



Nota. La figura presenta los criterios económicos y sociales utilizados para la evaluación de caminos rurales. Se incluyen aspectos como cadenas de valor, complementariedad vial, integración, potencialidades y accesibilidad. Se muestra los porcentajes de ponderación asignados a cada criterio según la guía de planes viales provinciales. Fuente: Guía para la elaboración de la Elaboración de Planes Viales Provinciales Participativos (PVPP)

- **Fase 3: Determinación del índice para la priorización de los caminos (IP)**

El índice de priorización se calcula como la suma de los valores ponderados de los 5 criterios que se han aplicado a todos los caminos y obedece la siguiente fórmula:

$$IP: f1 \times CAVALi + f2 \times COMi + f3 \times INTi + f4 \times ACCEi + f5 \times POTi$$

$$IP: f1 \times CAVALi + f2 \times COMi + (f3.1 \times CD + f3.2 \times POB) + (f4.1 \times CE + f4.2 \times ES) + f5 \times POT$$

Dónde:

IP = Índice de priorización

CAVALi = Camino i asociado a una cadena de valor

COMi = Complementariedad vial del camino i

INTi = Integración vial del camino i

ACC = Accesibilidad a servicios del camino i

POT = Potencialidad asociada al camino i

i = Camino vecinal (1, 2, ..., n)

f = Factor de ponderación

(f1=30 % o 20 %; f2=20 % o 15%; f3=15 %, f3.1=0,8 %, f3.2=0,7 %; f4=15 %, f4.1=0,7 %, f4.2=0,8 %; f5=2)

- **Fase 4: Priorización**

En esta última fase, los resultados se colocan en función al puntaje que obtuvo cada camino vecinal, de mayor a menor. Este resultado es el listado priorizado de caminos rurales de la provincia.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022)

Figura 8

Ejemplo de la priorización de caminos rurales

Nombre del CV	CU 1150	CU 902	CU 1231	CU 1251	CU 1253	CU 1230	CU 891	CU 1232	CU 1222	CU 1225
Camino Vecinal	C5	C91	C192	C68	C30	C191	C219	C193	C146	C149
Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Puntaje Obtenido- Índice para priorización de caminos vecinales	0.377	0.369	0.367	0.357	0.356	0.348	0.348	0.343	0.339	0.312

Fuente Matriz de Priorización de Inversiones

Donde:

Ranking	CV	Rutas (Troncales)
1°	C5	CU-1150
2°	C91	CU-902
3°	C192	CU-1231
4°	C68	CU-1251
5°	C30	CU-1253
6°	C191	CU-1230
7°	C219	CU-891
8°	C193	CU-1232
9°	C146	CU-1222
10°	C149	CU-1225

Nota. Ejemplo del ranking de priorización para caminos vecinales en la provincia de Anta, basado en el puntaje obtenido mediante el índice de priorización. Fuente: Plan Vial Provincial Participativo de la Provincia de Anta (PVPP - Anta) (2022).

4.2.2.2 Priorización de caminos rurales empleando ficha estándar de carreteras

La priorización de caminos rurales empleando la ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas, consiste básicamente en aplicar la Ficha Técnica Estándar (FTE) a un grupo de caminos rurales que requieren mejoramiento o mantenimiento; y comparar cual es la mejor opción de inversión gracias a sus indicadores económicos: Costo/Beneficio, Costo/Efectividad, VAN y TIR. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023)

La ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas es una herramienta que tiene por objeto facilitar y agilizar el proceso de formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas. Este documento se puede utilizar en los tres ámbitos del gobierno:

nacional, regional y local. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023). A continuación se muestran los componentes principales de la ficha técnica estándar:

1. Aspectos generales

- 1.1 Nombre del proyecto
- 1.2 Alineamiento y contribución al cierre de brechas
- 1.3 Institucionalidad
- 1.4 Ubicación geográfica

2. Identificación

- 2.1 Diagnóstico de unidad productora (UP)
- 2.2 Diagnóstico de la población beneficiada y área de influencia
- 2.3 Diagnóstico de otros agentes involucrados
- 2.4 Problema central, causas y efectos
- 2.5 Definición de los objetivos del proyecto
- 2.6 Descripción de las alternativas de solución
- 2.7 Requerimientos técnicos, regulatorios y/o normativos

3. Formulación y evaluación

- 3.1 Horizonte de evaluación
- 3.2 Estudio de mercado del servicio público
- 3.3 Análisis técnico de las alternativas
- 3.4 Costo del proyecto
- 3.5 Criterio de decisión de inversión
- 3.6 Evaluación social
- 3.7 Sostenibilidad
- 3.8 Modalidad de ejecución
- 3.9 Tipo de fuente de financiamiento

- 3.10 Impacto ambiental
- 3.11 Competencias en las que se enmarca el proyecto de inversión
- 3.12 Conclusiones y recomendaciones
- 3.13 Resultado de formulación y evaluación

4. Anexos

A continuación, se abordará el componente Formulación y evaluación, ya que este componente tiene mayor relación con el trabajo de investigación.

Horizonte de evaluación:

El horizonte de evaluación es aquel periodo en el que se generan los flujos de costos y beneficios del proyecto. Dentro de este periodo se consideran las fases de ejecución y funcionamiento. Para hallar el horizonte de evaluación es importante considerar la vida útil del tipo de solución implementada en el proyecto. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023). Se muestra a continuación:

Figura 9

Horizonte de evaluación por tipo de solución

FASE DE EJECUCIÓN										FASE DE FUNCIONAMIENTO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO										
Año 1										Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	...	Año 10	Año 11	...	Año 20	...	Año 25
1	2	3	4	5	6	...	19	20												
EXPEDIENTE TÉCNICO 4meses					EJECUCIÓN FÍSICA ^{1/} 16 meses ^{2/}					AFIRMADO ^{3/} 10 años										
										PAVIMENTO ESTABILIZADO (CON O SIN RECUBRIMIENTO) ^{4/} 10 años										
										PAVIMENTO ASFÁLTICO ^{5/} 20 años										
										PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO 20 a 25 años										

^{1/} : Incluye plazos del proceso de contratación.

^{2/} : Este periodo puede variar de acuerdo a la programación que la UF determine para el proyecto.

^{3/} : En este tipo de proyectos el formulador deberá considerar una reinversión en el año 5, con la finalidad de obtener un horizonte de evaluación de 10 años.

^{4/} : Recubrimientos, puede ser tratamiento superficial bicapa (TSB), Slurry Seal, Mortero Asfáltico u otros.

^{5/} : Recubrimientos, puede ser pavimento asfáltico convencional en caliente, polímeros, modificados o equivalente; con una reinversión en 10 años, o según la vida útil del material a recomendación del especialista.

Nota. La figura presenta el horizonte de evaluación por tipo de solución en proyectos viales. Se distinguen las fases de ejecución y de operación, con plazos específicos para expedientes técnicos, ejecución física y distintos pavimentos. El cuadro permite comparar la vida útil de cada alternativa y orientar la planificación económica. Fuente: Ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas. (2023)

Estudio de mercado al servicio público:

Dentro del estudio de mercado se habla del análisis de demanda y análisis de oferta. La demanda en un proyecto de infraestructura vial se refiere a la cantidad de vehículos que transitan por la vía en estudio. Se calcula a partir de conteos vehiculares del Estudio de Tráfico en el área de influencia del proyecto. La demanda incluye el flujo vehicular actual (tráfico normal) y futuro (tráfico generado y desviado) durante el horizonte de evaluación.

El análisis de la oferta vial describe el estado actual del camino o carretera y su capacidad para atender la demanda actual. Para comparar la oferta y la demanda, es necesario expresarlas en la misma unidad de medida (veh/día). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023)

Análisis técnico de las alternativas:

En este apartado se desarrollan las alternativas técnicas y la relación que estas guardan con las alternativas de solución.

Costo del proyecto:

Los costos de inversión: Una vez definidas las metas físicas de cada alternativa técnica, se estiman los costos a precios de mercado utilizando los precios por unidad de medida.

Cronograma de ejecución financiera: se debe registrar la programación de la ejecución financiera del proyecto de inversión en soles. Es importante asegurar que la suma total de los costos programados sea igual al costo de la inversión.

Cronograma de ejecución física: se debe considerar el avance físico del proyecto, registrando el porcentaje previsto de avance mensual, bimestral o trimestral de su ejecución física, asegurándose de que la suma total de los avances llegue al 100%.

Costos de operación y mantenimiento con y sin proyecto: se estimarán todos los costos de operación y mantenimiento que se incurrirán una vez ejecutado el proyecto de inversión, es decir, durante la fase de funcionamiento. Esto incluye los costos asociados a las medidas de reducción del riesgo y de mitigación de impactos ambientales negativos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023)

Criterio de decisión de inversión:

Para elegir la metodología de evaluación social de la inversión en esta sección, se debe considerar lo siguiente:

- Si el IMDA Con Proyecto al año 0 es menor o igual a 200 vehículos/día, se utiliza la metodología Costo/Eficiencia (C/E).
- Si IMDA Con Proyecto al año 0 es mayor a 200 vehículos/día, se aplica la metodología Costo/Beneficio (C/B).

Además, para realizar la evaluación social de la inversión es necesario tomar en cuenta los siguientes criterios: Factor de corrección social, tasa Social de Descuento (TSD) y el valor residual. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023)

Evaluación social:

Costo – eficiencia (C/E): en el caso de vías con IMDA menor o igual a 200 veh/día, el indicador de rentabilidad social que se utiliza es el ratio Costo-Eficiencia, que se calcula dividiendo el Valor Actual de Costos Sociales (VACS) entre el número de kilómetros intervenidos con el proyecto de inversión. El valor obtenido no debe superar las Líneas de Corte, establecidas a precios sociales, según el tipo de solución técnica y la región natural en la que se ubica la carretera.

Algunas consideraciones a tener en cuenta en la evaluación costo/efectividad son: el ratio Costo-Eficiencia establece un límite máximo al flujo de costos actualizado por kilómetro (a precios sociales). Esto garantiza un uso eficiente de los recursos, derivado del dimensionamiento de la vía según el estudio de demanda. Este indicador es crucial para declarar la viabilidad del proyecto:

- Si el ratio Costo – Eficiencia > VACS por kilómetro, no resulta viable el proyecto.
- Si el ratio Costo – Eficiencia ≤ VACS por kilómetro, resulta viable el proyecto.

El formulador debe tener en cuenta la región natural (costa, sierra o selva) en la que se encuentra la Unidad Productora a intervenir, es decir, la ubicación de la carretera o camino (distrito o provincia), según los Compendios Estadísticos de cada Departamento del INEI. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023)

Beneficio – costo (B/C): Para carreteras con un IMDA mayor a 200 veh/día, la rentabilidad social del proyecto de inversión se estimará mediante la metodología Beneficio-Costo, comparando los beneficios sociales con los costos sociales.

- Valor Actual Neto Social (VANS):

$$VANS = \sum_{t=0}^n \frac{(BSI - CSI)_t}{(1 + TSD)^t}$$

Donde:

BSI: Beneficio social incremental

CSI: Costo Social incremental

n: Horizonte de evaluación del proyecto

TSD: Tasa Social de Descuento

- Tasa Interna de Retorno Social (TIRS):

$$VANS = \sum_{t=0}^n \frac{(BSI - CSI)_t}{(1 + TIRS)^t} = 0$$

Donde:

BST: Beneficio social incremental

CST: Costo social incremental

n: Horizonte de evaluación del proyecto

TIR: Tasa Interna de Retorno

Los beneficios de un proyecto de inversión para mejorar o recuperar la transitabilidad vial interurbana incluyen el ahorro de recursos en la operación de vehículos y la reducción de emisiones de CO₂. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023)

4.2.2.3 Priorización de caminos rurales mediante el modelo RED

El modelo Road Economic Decision (RED), desarrollado por el Banco Mundial, constituye una herramienta diseñada para la evaluación económica de caminos de bajo volumen de tránsito, especialmente en contextos rurales de países en desarrollo. Este modelo permite estimar la rentabilidad de diferentes alternativas de intervención a partir de variables como el costo de operación vehicular, el tiempo de viaje, los accidentes de tránsito y los costos de mantenimiento vial. Mediante la evaluación comparativa de distintos escenarios de intervención, el modelo RED calcula indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio/Costo (B/C), que facilitan determinar cuál alternativa resulta más conveniente en términos de rentabilidad económica. (Archondo, 2004)

En el proceso de priorización de caminos rurales, el modelo RED se diferencia de otras metodologías al basarse en un criterio estrictamente económico y cuantitativo. De este modo, los proyectos con mayores indicadores de rentabilidad son considerados prioritarios para su ejecución, garantizando una asignación eficiente de los recursos disponibles. Sin embargo, su aplicación presenta limitaciones, dado que no incorpora de manera explícita criterios sociales, los cuales sí se consideran en metodologías como el Plan Vial Provincial Participativo. Esta diferencia metodológica evidencia la importancia de contrastar enfoques de priorización económica frente a enfoques sociales en el marco de la planificación vial rural en el Perú. (Archondo, 2004)

4.2.3 Evaluación económica de caminos rurales

4.2.3.1 Evaluación Costo-Beneficio

La evaluación Costo-Beneficio (C/B) en el contexto de caminos rurales es una metodología utilizada para determinar la rentabilidad económica de un proyecto de inversión. Esta evaluación compara los beneficios sociales y económicos que se derivarían de la implementación del proyecto con los costos asociados a su ejecución y operación. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019). La evaluación costo-beneficio, tiene los siguientes componentes:

- **Identificación de Beneficios:**

Ahorro en costos de operación de vehículos: Incluye la reducción de gastos en combustible, mantenimiento y desgaste vehicular debido a mejores condiciones de la vía.

Reducción de tiempo de viaje: Mejora la eficiencia y productividad al reducir el tiempo necesario para desplazarse.

Mejora en la seguridad vial: Disminuye los accidentes y sus costos asociados.

Impacto ambiental: Reducción de emisiones de CO₂ y otros contaminantes.

- **Identificación de Costos:**

Costos de inversión: Gastos iniciales en la construcción o mejora de la vía.

Costos de operación y mantenimiento: Gastos continuos necesarios para mantener la vía en buen estado.

Costos ambientales: Posibles impactos negativos durante la construcción y operación. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

- **Análisis de los Flujos de Caja:**

Valor Presente Neto (VPN): Calcula el valor actual de los beneficios y costos futuros para determinar si los beneficios superan a los costos.

Tasa Interna de Retorno (TIR): Mide la rentabilidad del proyecto en términos porcentuales. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

Ratio Beneficio-Costo (B/C): Determina la relación entre los beneficios y los costos; un valor mayor a 1 indica que los beneficios superan a los costos.

- **Evaluación de Resultados:**

Los resultados de estos cálculos ayudan a decidir si el proyecto es viable y justifica la inversión desde una perspectiva económica y social.

En conclusión, esta metodología permite tomar decisiones informadas sobre la priorización y ejecución de proyectos, asegurando que los recursos se utilicen de manera eficiente para obtener el máximo beneficio posible.

(De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.2.3.2 Evaluación Costo-Efectividad

La evaluación Costo-Efectividad es una metodología utilizada para comparar los costos de diferentes opciones de proyectos o intervenciones en relación con sus resultados o efectos. A diferencia de la evaluación Costo-Beneficio, que traduce tanto los costos como los beneficios en términos monetarios, la evaluación Costo-Efectividad se centra en medir la eficiencia de un proyecto en alcanzar un objetivo específico, sin necesariamente monetizar los beneficios. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019). La evaluación costo-efectividad tiene los siguientes componentes:

- Identificación de costos:

Costos Directos: Incluyen gastos relacionados directamente con la implementación del proyecto, como construcción, materiales y mano de obra.

Costos Indirectos: Incluyen gastos secundarios como administración y supervisión. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

- Cálculo del ratio costo-efectividad:

Este ratio se obtiene dividiendo el costo total del proyecto entre la medida de efectividad obtenida. Por ejemplo, si se trata de mejorar carreteras, se podría calcular el costo por kilómetro mejorado. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

- Comparación de alternativas:

Se comparan las diferentes opciones de proyectos para identificar cuál ofrece la mayor efectividad al menor costo. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

La evaluación Costo-Efectividad es particularmente útil en proyectos donde el objetivo es maximizar ciertos resultados con recursos limitados, asegurando que se obtenga el mejor valor posible.

(De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.2.3.3 Evaluación por el método del costo anual uniforme equivalente (CAUE)

El Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) es un método de evaluación económica utilizada para comparar alternativas de inversión. Este método consiste en convertir todos los flujos de caja de un proyecto (ingresos y egresos), que ocurren en distintos momentos del tiempo, en una serie uniforme de pagos anuales equivalentes durante la vida útil del proyecto.

El principio fundamental del CAUE es la equivalencia financiera, la cual establece que el valor del dinero cambia en el tiempo debido a la tasa de interés o tasa de descuento. Al anualizar los costos, el CAUE permite determinar cuánto costaría una alternativa por año de servicio, facilitando la comparación entre opciones que poseen diferentes estructuras de costos o diferentes vidas útiles.

4.2.3.3.1 Justificación de la elección como método de evaluación

El método CAUE es particularmente útil debido a que a diferencia del Valor Actual Neto (VAN), que requiere que las alternativas tengan el mismo horizonte de evaluación para ser comparables directamente, el CAUE permite comparar proyectos con vidas útiles distintas, asumiendo la repetición de la alternativa al final de su ciclo.

4.2.3.3.2 Fundamentación matemática

El cálculo del CAUE proviene directamente del Valor Actual Neto (VAN) de los costos. Matemáticamente, se obtiene multiplicando el valor presente de los costos por el Factor de Recuperación de Capital (FRC).

$$CAUE = VPN_{Costos} \times \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Donde:

CAUE: Costo Anual Uniforme Equivalente

VPN_{costos} : Valor Presente Neto de todos los costos del proyecto (Inversión inicial + Mantenimiento + Operación), descontados al año 0.

i : Tasa de descuento (Tasa Social de Descuento).

n : Número de periodos (años) del horizonte de evaluación o vida útil.

El término entre corchetes es el Factor de Recuperación de Capital (FRC)

4.2.3.3 Criterio de decisión

En el caso de proyectos viales, para escoger la mejor opción (más rentable), el criterio del método CAUE se basa en la minimización de costos, a continuación se muestran los pasos que se deben seguir para evaluar mediante el presente método:

- Se calcula el CAUE para cada alternativa de inversión considerada.
- Se escoge la alternativa que presente el menor valor numérico de CAUE (el valor más bajo).

En conclusión, la alternativa con el menor CAUE representará la opción que optimiza el uso de recursos a lo largo del tiempo.

4.2.4 Conservación de caminos rurales

La conservación de caminos rurales se refiere a las actividades necesarias para mantener estas vías en condiciones adecuadas de funcionalidad, seguridad y accesibilidad. Estos caminos son cruciales para las comunidades rurales, ya que conectan áreas de producción, centros de servicios y mercados. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

Componentes de la conservación de caminos rurales:

Mantenimiento rutinario: Actividades regulares y preventivas para mantener el camino operativo. Ejemplos: limpieza de cunetas, reparación de pequeños baches, poda de vegetación, desobstrucción de drenajes.

Mantenimiento periódico: Intervenciones más profundas que se realizan cada cierto tiempo para prevenir el deterioro mayor. Ejemplos: recapeo o sellado de superficies, refuerzo de estructuras.

Rehabilitación: Reparaciones significativas en caminos deteriorados que requieren restaurar su funcionalidad inicial. Ejemplo: reconstrucción de tramos dañados o reemplazo de capas estructurales.

Mantenimiento de drenajes: Garantizar que las estructuras de drenaje (cunetas, alcantarillas) funcionen adecuadamente para evitar daños por agua.

Capacitación y participación comunitaria: La conservación a menudo involucra a las comunidades locales para garantizar la sostenibilidad, reduciendo costos y promoviendo la apropiación del proyecto.

Importancia de la conservación:

Asegura conectividad: Mantiene el acceso a servicios básicos como educación, salud y mercados.

Reduce costos a largo plazo: El mantenimiento regular evita daños mayores, que son más costosos de reparar.

Promueve el desarrollo económico: Facilita el transporte de productos agrícolas y reduce el aislamiento.

Incrementa la seguridad vial: Minimiza riesgos asociados a caminos en mal estado.

(De Solminihaç, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.2.4.1 Técnicas de conservación de caminos rurales

Las técnicas de conservación varían según las características del territorio, clima y recursos de la localidad. El propósito de estas técnicas es mantener funcionales a los

caminos rurales, optimizando los costos de inversión y fomentando la capacitación comunitaria, dentro de estas técnicas tenemos a las siguientes:

- Mantenimiento rutinario:

El objetivo del mantenimiento rutinario es prevenir el deterioro temprano del camino y asegurar su operatividad. Se realiza de manera continua o periódica (diaria, semanal o mensual, según necesidad).

Principales actividades:

Limpieza de drenajes y cunetas: Retiro de sedimentos, piedras y vegetación acumulada en las cunetas, alcantarillas y canales transversales. Además, previene obstrucciones que podrían provocar inundaciones o erosión.

Control de vegetación: Corte de hierba y maleza en los bordes del camino para mantener la visibilidad y evitar daños al drenaje. Se utilizan herramientas manuales o mecánicas.

Relleno de baches pequeños: Reparación de agujeros o irregularidades en la superficie del camino con material granular o tierra compactada. Es clave actuar rápidamente antes de que los baches crezcan.

Reparación de señales viales: Limpieza, reposición o reparación de señales dañadas para garantizar la seguridad vial.

Nivelación de la superficie del camino: Eliminación de surcos y ondulaciones menores usando herramientas manuales o una motoniveladora, si está disponible.

Descompactación del camino: En zonas de tierra o grava, se alisa la superficie para mejorar la transitabilidad.

- Mantenimiento periódico:

El mantenimiento periódico tiene como objetivo restaurar las condiciones estructurales y funcionales del camino antes de que el deterioro sea irreversible. Se realiza en intervalos planificados (cada 2 a 5 años, dependiendo del uso y condiciones climáticas).

Principales actividades:

Reafirmado: Aplicación de una nueva capa de material granular (grava o piedra triturada) para reforzar la superficie, se utiliza para caminos de grava que han perdido material por erosión o uso continuo.

Nivelación profunda: Uso de maquinaria pesada (como motoniveladoras) para corregir deformaciones mayores en la superficie del camino.

Rehabilitación de drenajes: Limpieza y, si es necesario, reparación o reemplazo de alcantarillas y cunetas. Instalación de estructuras de drenaje adicionales si las existentes son insuficientes.

Reparación de bases y subbases: Restauración de las capas estructurales del camino para evitar el colapso de la vía en zonas críticas.

Sellado de fisuras: Para caminos con superficies estabilizadas, se utiliza asfalto líquido o emulsiones para sellar grietas menores.

Fortalecimiento de taludes y bordes: Protección contra deslizamientos o erosión en zonas de pendientes pronunciadas.

(De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.3 Marco legal

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) es la institución encargada de brindar la documentación técnica correspondiente a las carreteras y caminos rurales en el Perú. El MTC también trabaja en coordinación con su unidad ejecutora como lo es el Provias Descentralizado para la elaboración de los Planes Viales. A continuación se abordarán sobre los documentos técnicos que se usaron en el presente trabajo de investigación.

4.3.1 Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos

El presente manual se aprobó bajo la resolución directoral N°10-2014-MTC/14. El documento técnico, tiene por objeto brindar pautas y criterios acordes con el buen diseño de capas superiores y superficie de rodaduras de carreteras, caminos no pavimentados y pavimentados. También permite que los consultores empleen nuevas tecnologías sustentadas ante el ministerio de transportes y comunicaciones.

4.3.2 Plan Vial Provincial Participativo de la Provincia de Anta

Este documento técnico fue aprobado por resolución gerencial N°148-2022-GM/MPA. Tiene por objeto brindar un instrumento en la planificación vial, contribuyendo a mejorar la capacidad de gestión de la infraestructura vial en la provincia de Anta.

4.3.3 Guía de la elaboración de Planes Viales Provinciales

Este documento técnico fue elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través del PROVIAS DESCENTRALIZADO, se aprobó bajo

la resolución ministerial N°904-2017 MTC/01.02. El documento tiene por objeto orientar a los gobiernos locales provinciales en el proceso de planificación de las intervenciones en la red vecinal o rural, para que de esta manera se realice de manera ordenada, organizada y priorizada.

4.3.4 Guía de la elaboración de Planes Viales Departamentales

Este documento técnico se aprobó bajo la resolución ministerial N°555-2021 MTC/01. El documento tiene por objeto orientar a los gobiernos regionales en el proceso de planificación de las intervenciones en la red vial departamental; para que de esta manera se realice de manera ordenada, organizada y priorizada, y así se logre compatibilizar los objetivos nacionales con las necesidades de desarrollo territorial.

4.4 Marco conceptual

4.4.1 Gestión vial

Hace referencia a la correcta toma de decisiones con respecto a la infraestructura vial que se involucra con la planificación, organización, coordinación, ejecución y control de la misma. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006)

4.4.2 Índice medio diario anual (IMDA)

El índice medio diario anual (IMDA) es aquella cantidad que representa el promedio aritmético de los volúmenes de tráfico diarios para todos los días del año, en una sección de vía determinada. Este índice permite conocer la importancia de una determinada vía y además contribuye con el cálculo de

factibilidad económica. La unidad del índice medio diario anual es “veh/día”.
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones , 2018)

4.4.3 Índice de regularidad internacional (IRI)

Es aquel parámetro relacionado directamente con la rugosidad que sirve como referencia de la calidad de rodadura de una vía, este índice se obtiene al contrastar la calidad de los perfiles longitudinales de las vías con respecto a la calidad de la rodadura de la misma. Las unidades en las que se puede manejar el IRI son: m/km, in/mi, etc. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.4 Costos de operación vehicular

Los costos de operación vehicular, son aquellos gastos que realizan los usuarios al transitar por una determinada vía, estos gastos dependen del tipo y el estado de la misma. En el caso de presentar una vía en condiciones deterioradas (índice de rugosidad internacional alto), mayor será el costo de operación de los vehículos que transiten por dicha vía. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.5 Valor actual neto (VAN)

Es un indicador financiero utilizado para evaluar la viabilidad de una inversión, el VAN se obtiene descontando el valor actual de los flujos de efectivo futuros esperados en la inversión, con el costo inicial de la inversión. Si el VAN es positivo, los ingresos a futuro son mayores que el costo inicial de la inversión, por consiguiente la inversión se considera rentable, de ser el caso contrario (VAN negativo) la inversión no es rentable. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.6 Tasa interna de retorno (TIR)

Es un indicador financiero utilizado para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor actual neto (VAN) de los flujos de caja futuros de un proyecto a cero. En otras palabras, es la tasa a la cual los ingresos esperados (beneficios) de un proyecto son iguales a sus costos (inversión inicial y gastos futuros). (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.7 Mantenimiento periódico

Se refiere a las actividades planificadas y regulares que se realizan para conservar y mejorar la condición de las infraestructuras viales. Estas actividades se llevan a cabo en intervalos definidos para prevenir el deterioro y asegurar que las vías permanezcan seguras y transitables. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.8 Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario en vías se refiere a las actividades diarias o frecuentes que se realizan para asegurar que las carreteras y caminos estén en condiciones óptimas de uso. A diferencia del mantenimiento periódico, que se planifica en intervalos específicos, el mantenimiento rutinario es constante y busca atender los problemas menores antes de que se conviertan en mayores. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.9 Rehabilitación de vías

La rehabilitación de vías se refiere al conjunto de trabajos y actividades necesarios para restaurar una carretera o camino a su estado óptimo de funcionalidad y seguridad, después de que ha sufrido un deterioro significativo. A diferencia del mantenimiento, que busca prevenir el deterioro, la

rehabilitación se enfoca en recuperar las condiciones adecuadas de la vía cuando ya ha experimentado daños considerables. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.10 Mejoramiento de vías

El mejoramiento de vías se refiere a las actividades y proyectos diseñados para elevar las condiciones y calidad de una carretera o camino existente, con el fin de mejorar su capacidad, seguridad, y funcionalidad. A diferencia de la rehabilitación, que busca restaurar una vía deteriorada, el mejoramiento se enfoca en optimizar y actualizar una infraestructura vial que puede estar operando, pero no al nivel deseado. (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019)

4.4.11 Rampas ascendentes y descendentes (m/km)

Este término se refiere a aquel tramo de una vía que tenga una pendiente longitudinal constante, se considerará una rampa ascendente cuando exista ascenso en el tramo y descendente en el caso contrario. (Archondo, 2004)

4.4.12 Curvatura horizontal (°/km)

Hace referencia a la cantidad y a la frecuencia de curvas horizontales existentes a lo largo del alineamiento de una vía, en términos concretos es la medida de cuan sinuosa es una carretera vista en planta. Se calcula como la división del ángulo de desviación (°) entre la longitud del tramo (km). (Archondo, 2004)

4.4.13 Número de rampas ascendentes y descendentes

Este número hace referencia a la cantidad de rampas ascendentes o descendentes (según sea el caso) hay a lo largo de todo el alineamiento de la vía en cuestión.

El valor a ingresar es un número. (Archondo, 2004)

4.4.14 Peralte (%)

El peralte es aquella inclinación de la calzada en una curva, esta inclinación transversal está diseñada para mitigar a la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos que transitan por la curva en mención, permitiendo que se mantenga un equilibrio y haya mayor seguridad. (Archondo, 2004)

4.4.15 Límite de velocidad (km/hora)

Se entiende por límite de velocidad a aquella velocidad máxima permitida para la circulación vehicular en un tramo de vía. Esta velocidad se interpreta, dentro del modelo de costos operativos del modelo RED, como el valor máximo de referencia para obtener la velocidad promedio de operación; la velocidad promedio de operación se usa para la estimación de costos y tiempos de viaje. (Archondo, 2004)

4.4.16 Coacción del límite de velocidad (N°)

Es aquel factor multiplicador que se aplica al límite de velocidad con el fin de estimar la velocidad real de operación de los vehículos. Si la coacción es igual a 1,0; entonces se cumple totalmente con el límite de velocidad; pero, si la coacción es mayor que 1,0; significa que los conductores suelen circular por encima del límite permitido. (Archondo, 2004)

4.4.17 Fricción de actividades laterales

Es un parámetro que representa la interferencia o perturbación del flujo vehicular ocasionada por elementos y/o actividades fuera de la calzada (pueden ser peatones, ciclistas, animales, actividades comerciales o ferias). (Archondo, 2004)

4.4.18 Fricción del TNM

Este parámetro guarda relación con la fricción de actividades laterales. Concretamente este parámetro representa la perturbación causada por usuarios no motorizados (TNM: Tránsito no motorizado) que pueden ser personas o vehículos no motorizados que se mueven sobre o junto a la calzada. Esta fricción implica reducciones de velocidad y por lo tanto incrementos en los tiempos de viaje, lo que impacta negativamente en los costos operativos vehiculares. (Archondo, 2004)

4.4.19 Duración de la estación húmeda (días)

Este término hace referencia a la cantidad de tiempo en días en el que predominan condiciones climáticas húmedas, vale decir que existe precipitación que ocasione que la superficie de rodadura se mantenga mojada en periodos largos. (Archondo, 2004)

4.4.20 Factor de costos económicos de agencia

Este factor es un multiplicador que se aplican a los costos financieros para hallar su valor económico; es decir, convierte los costos financieros en costos económicos. La diferencia es que los costos económicos de agencia se refieren a los costos de los recursos para la sociedad en conjunto (se eliminan las distorsiones que introduce el mercado como: impuestos, aranceles, subsidios);

en cambio, los costos financieros son los costos que aparecen tal cual en el mercado (se incluyen IGV, aranceles). (Archondo, 2004)

4.4.21 Tasa de descuento (%)

La tasa de descuento es aquella tasa de descuento de porcentaje anual que es utilizada dentro del módulo principal para traer a valor presente todos los flujos de costos y beneficios del proyecto a lo largo de su vida útil. (Archondo, 2004)

4.4.22 Costo de tiempo de pasajero (\$/pasajero-hora)

Es la estimación de cuánto cuesta que una persona pase una hora viajando por una determinada vía, en vez de estar realizando otras actividades productivas, recreativas o de descanso. Dentro del modelo RED, se emplea el costo de tiempo de pasajero para cuantificar monetariamente los beneficios cuando se reduce el tiempo de viaje. (Archondo, 2004)

V. Hipótesis y variables

5.1 Formulación de hipótesis

5.1.1 *Hipótesis general*

- Mediante el modelo RED, es más eficiente realizar la evaluación económica de los caminos rurales frente a la metodología del Plan Vial Provincial Participativo y la Ficha Estándar de Carreteras.

5.1.2 *Hipótesis específicas*

- La calibración del modelo es único para cada sector de trabajo.
- La evaluación económica en una determinada ruta de un camino de bajo volumen de tránsito, en la mejora y su mantenimiento, se hace más eficiente mediante el modelo RED.
- Los costos operativos en las rutas de estudio, son calculados de manera analítica.
- El análisis de riesgos en las rutas de estudio, se determinan de manera más objetiva.
- La evaluación económica de una red de caminos en la mejora y mantenimiento, se realiza de manera más eficiente mediante el modelo RED.

5.2 Identificación de las variables

5.2.1 Variable de estudio 1: Caminos rurales

Es aquel que consta de hojas de cálculo Excel y tiene como objeto realizar la evaluación económica de uno o varios caminos rurales, considerando factores como el tipo de terreno, condición de camino, el tráfico vehicular, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y los costos del proyecto.

5.2.1.1 Indicadores de la variable 1

- Pendiente transversal, horizontal (m/km,%)
- Espesor de grava o afirmado en el camino vecinal (cm)
- Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (m/km)
- IMDA (veh/día)

5.2.2 Variable de estudio 2: Evaluación económica

Es aquel análisis que se realiza con el objeto de tomar decisiones adecuadas con respecto a la inversión en un proyecto. Para realizar la evaluación es necesario considerar factores como los costos, beneficios, análisis costo/beneficio, análisis costos/efectividad, análisis de sensibilidad.

5.2.2.1 Indicadores de la variable 2

- Costo estimado de construcción (\$/km)
- Costo estimado de mantenimiento (\$/km)
- Valor Actual Neto (VAN) (\$ dólar)
- Tasa Interna de Retorno (TIR) (%)
- Relación Costo/Efectividad (C/E) (N°)
- Relación Costo/Beneficio (C/B) (N°)

5.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Variable de estudio 1: Caminos rurales	Tipo de terreno	Llano	Pendiente transversal, horizontal	m/km, %	Manual RED - Banco Mundial
		Ondulado			
	Condición del camino	Montañoso	Terreno natural	cm	Ficha de Registro de Campo - Manual de Carreteras EG-2013 (MTC)
		Tierra Grava Afirmado			
Variable de estudio 2: Evaluación económica	Presupuesto (Economía del proyecto)	Condición de la superficie	IRI	m/km	Aplicación RoadLabPro
		Influencia vehicular	Tráfico vehicular	IMDA	veh/día
		Costo de inversión y mantenimiento	Costos estimados de construcción	\$(dólar)/km	Presupuesto de Obra y Análisis de Precios Unitarios (APU)
			Costos estimados de mantenimiento	\$(dólar)/km	Presupuesto de Obra y Análisis de Precios Unitarios (APU)
		Viabilidad económica	Valor Actual Neto (VAN)	\$ (dólar)	Modelo RED – Manual RED – Banco Mundial / MTC
			Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	Modelo RED – Manual RED – Banco Mundial / MTC
			Relación Costo/Efectividad (C/E)	Nº	Modelo RED – Manual RED – Banco Mundial / MTC
			Relación Beneficio/Costo (B/C)	Nº	Modelo RED – Manual RED – Banco Mundial / MTC

Nota. Se observa la operacionalización de las variables propias del estudio de investigación.
Fuente: Elaboración propia.

5.4 Matriz de consistencia

Tabla 2
Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable de estudio 1:			
¿Cómo se realiza la evaluación económica en la mejora y mantenimiento de caminos rurales en la provincia de Anta?	Aplicar el modelo RED, en la evaluación económica para el mejoramiento y mantenimiento de caminos rurales, en la provincia de Anta.	- Mediante el modelo RED, es más eficiente realizar la evaluación económica de los caminos rurales frente a la metodología del Plan Vial Provincial Participativo y la Ficha Estándar de Carreteras.	Caminos rurales	Tipo de terreno	Llano Ondulado Montañoso	Pendiente transversal, horizontal
				Condición del camino	Tierra Grava Afirmado Condición de la superficie	Terreno natural Espesor Espesor IRI
				Influencia vehicular	Tráfico vehicular	IMDA
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable de estudio 2:			
-¿Cuál sería la calibración del modelo RED para el sector de Anta? -¿Cómo realizar la evaluación económica de la mejora y el mantenimiento de una ruta determinada de un camino rural? -¿Cómo determinar los costos operativos en dichas rutas? -¿Cómo establecer el análisis de riesgos en las rutas de estudio? -¿Cómo realizar la evaluación económica de una red de caminos, en la mejora y mantenimiento?	-Realizar la calibración del modelo RED para el sector Anta. -Realizar la evaluación económica de la mejora y el mantenimiento de una ruta determinada de un camino rural. -Determinar los costos operativos en dichas rutas. - Establecer el análisis de riesgos en las rutas de estudio. -Realizar la evaluación económica de una red de caminos, en la mejora y mantenimiento	-La calibración del modelo es único para cada sector de trabajo. -La evaluación económica en una determinada ruta de un camino de bajo volumen de tránsito, en la mejora y su mantenimiento, se hace más eficiente mediante el modelo RED. -Los costos operativos en las rutas de estudio, son calculados de manera analítica. -El análisis de riesgos en las rutas de estudio, se determinan de manera más objetiva. -La evaluación económica de una red de caminos en la mejora y mantenimiento, se realiza de manera más eficiente mediante el modelo RED.	Evaluación económica	Presupuesto (Economía del proyecto)	Costo de inversión y mantenimiento	Costos estimados de construcción
						Costos estimados de mantenimiento
						Valor Actual Neto (VAN)
						Tasa Interna de Retorno (TIR)
						Relación Costo/Efectividad (C/E)
						Relación Beneficio/Costo (B/C)

Nota. Se aprecia la matriz de consistencia del estudio de investigación. Fuente: Elaboración propia.

VI. Metodología de trabajo

6.1 Tipo de investigación

La presente investigación es cuantitativa, ya que se trabaja con datos cuantificables, contables en el modelo y así se pueda obtener la mejor alternativa de inversión en caminos rurales de la provincia de Anta.

6.2 Nivel de investigación

Se trata de una investigación descriptiva - comparativa, debido a que se busca recopilar datos e información sobre determinados caminos rurales, con la finalidad de probar las hipótesis.

6.3 Diseño de investigación

Se trata de un diseño de investigación no experimental – transversal, debido a que en esta investigación no se manipula deliberadamente las variables de estudio; es una investigación no experimental ya que los sucesos o fenómenos ocurren sin la intervención directa del investigador.

6.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis son los caminos rurales: CU-902 (Zurite-Huarocondo), CU-905 (Izcuchaca-Zurite) y la vía CU-110 (Izcuchaca-Huarocondo).

6.5 Población y muestra

6.5.1 Población de estudio

La población de estudio son los caminos rurales y departamentales de la provincia de Anta.

6.5.2 Muestra

La muestra es del tipo intencional no probabilístico, se eligieron los distritos de Izcuchaca, Huarcocondo y Zurite, debido a que pertenecen a una zona con gran potencial en agricultura y ganadería dentro de la región Cusco.

6.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se emplearon diversas técnicas de recolección de datos. En primer lugar; **la observación directa**, esta técnica permitió identificar características físicas de las vías rurales: estado de la vía, tipo de superficie, existencia de curvas y pendientes; en segundo lugar, **aforo vehicular**, se empleó esta técnica para obtener el índice medio diario anual propio de cada vía de estudio; y en tercer lugar, **revisión documental o bibliográfica**, se revisaron informes técnicos y normativas para obtener información económica como tasas de interés y parámetros para la obtención de costos operativos.

A nivel de instrumentos de recolección, se utilizaron los formatos digitales e impresos del MTC para el conteo vehicular; también se utilizó la herramienta digital Google Earth, con la finalidad de estimar longitudes de las vías, cantidad de curvas horizontales y verticales; a su vez, se empleó el aplicativo móvil (software) RoadLab Pro para estimar de manera aproximada la rugosidad (IRI) de las vías en estudio; finalmente, se utilizaron documentos oficiales (planos) de las instituciones públicas como el Plan COPESCO y el Gobierno Regional del Cusco, para determinar el grado de curvatura horizontal y el perfil longitudinal de cada vía.

6.6.1 Aforo vehicular

Objetivo del aforo

El objetivo principal del aforo vehicular consistió en determinar el volumen de tránsito actual en los tramos de estudio, en los escenarios sin proyecto. Se buscó establecer el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la composición porcentual de la flota vehicular. Estos datos

son esenciales para modelar los costos de operación de vehículos y calcular las ganancias financieras en el módulo principal de evaluación del modelo RED.

Técnica empleada

Para la recolección de datos de tránsito, se implementó una metodología mixta que combinó el uso de **cámaras de video de alta resolución** con **conteos manuales presenciales** de verificación. Este enfoque permitió asegurar la captura constante del flujo vehicular y la maximización de la precisión de los datos.

El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. **Recolección Primaria con Cámaras (Método Principal):** Se instalaron cámaras de video en puntos estratégicos de los tramos de estudio, asegurando un ángulo de visión óptimo que abarcara todo el ancho de la vía. Las cámaras grabaron de forma continua durante los períodos de 24 horas establecidos para los 7 días de muestreo. Este método permitió obtener un registro completo y permanente del flujo vehicular, el cual puede ser revisado las veces que sea necesario, minimizando el error por fatiga del observador y permitiendo capturar datos en horarios nocturnos o de difícil acceso de ser requerido.
2. **Conteos Manuales Presenciales (Método de Verificación):** De forma paralela a la grabación, en días seleccionados se realizaron conteos manuales por observación directa durante ventanas de tiempo específicas (por ejemplo, en horarios pico de 8:00 a 10:00 y de 16:00 a 18:00). Con este método se pudo corroborar la precisión de la clasificación vehicular obtenida por los videos y validar el volumen vehicular, asegurando que no existieran errores de conteo por ángulos ciegos o alguna interferencia en video.

Duración y periodicidad

Se realizaron registros de video continuos durante las 24 horas del día, abarcando ciclos completos de 7 días consecutivos en cada estación de conteo. De esta manera se permite identificar con exactitud las horas punta de tránsito a lo largo del día y la noche; también, capturar la variabilidad semanal analizando las diferencias entre los flujos de un día laboral típico (de lunes a viernes), fines de semana (generalmente con presencia de alta actividad comercial en la zona).

Instrumento

El registro de datos se llevó a cabo utilizando el formato oficial de Conteo Vehicular del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este instrumento permitió el registro horario y la clasificación de los vehículos en las categorías definidas por el MTC (automóvil, camioneta pick-up, ómnibus, camión de 2 ejes, etc.). La recolección de datos fue realizada por mi persona, estando capacitado para garantizar la uniformidad y precisión en los criterios de clasificación.

Una muestra de la planilla utilizada se presenta en la Figura 15.

Nota: Posteriormente, para la integración de los datos en el modelo RED, fue necesario realizar una equivalencia entre la clasificación vehicular del MTC y las categorías de vehículos que utiliza el software RED (automóvil mediano, vehículo de carga, vehículo de reparto, camión liviano, camión pesado, etc.). Esta tabla de equivalencias se detalla en los Anexos.

Figura 10

Se muestra el formato de conteo vehicular - MTC.

FORMATO N° 1.3

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

FORMATO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA		IZCUCHACA - HUAROCONDO	
SENTIDO		E ← S →	
UBICACIÓN		IZCUCHACA - ANITA - CUSCO	

ESTACION		IZCUCHACA (h-000)	
CODIGO DE LA ESTACION			
DIA Y FECHA			

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER			
				PICK UP	PANEL		2 E	3+3 E	2 E	3 E	4 E	2S/2S2	2S3	3S/3S2	3+3S3	2T2	2T3	3T2
00	E	6		5	5	1												
01	S		1	2				1										
01	E	3		3	1			1		1								
02	S	2							1									
02	E	2						2		4	1							
03	S	3			2													
03	E	7		1				2		4								
04	S	8		6	5			2		1				1				

ENCUESTADOR: **BRYANT VISAGA**
JEFE DE BRIGADA: _____
ING. RESPONS: _____
SUP. VEH. MTC: _____

Nota. Se observa el formato de conteo vehicular usado por el MTC, se ingresa la cantidad de vehículos por horas y de acuerdo al sentido (entrada – salida). Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

6.6.2 Índice de rugosidad internacional (IRI)

Objetivo

El objetivo fue cuantificar de manera precisa y eficiente la rugosidad superficial del camino de estudio, expresada a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), con unidades en (m/km). Este parámetro es un dato de suma importancia para el modelo RED, ya que determina en gran medida la magnitud de los Costos Operativos Vehiculares (COV) y, por ende, los beneficios por ahorro de costos tras las mejoras de las vías.

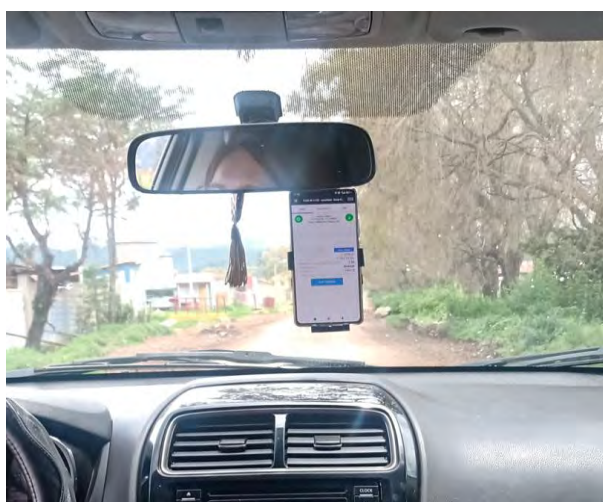
Técnica y equipo empleado

Para la medición se utilizó la metodología de acelerometría inercial, implementada mediante la aplicación móvil **RoadLab Pro**, desarrollada por el Banco Mundial. Esta tecnología convierte un smartphone estándar en un registrador de rugosidad, utilizando los sensores internos (acelerómetro y GPS) para medir la respuesta vertical del vehículo al perfil

de la vía mientras se recorre el tramo de estudio a velocidad constante. El equipo utilizado consistió en un smartphone (Xiaomi modelo Poco F5) montado en el parabrisas del vehículo de medición (Camioneta Mitsubishi - ASX), utilizando un soporte fijo para minimizar vibraciones adicionales, se obtuvieron registros georreferenciados de rugosidad por cada tramo de las vías en estudio. A continuación se muestra una imagen de referencia:

Figura 11

Colocación del móvil (registrador) en el parabrisas, posición vertical y con soporte fijo.



Nota. La figura muestra la colocación del dispositivo móvil en el parabrisas del vehículo, en posición vertical y con soporte fijo. Esta disposición permite registrar información de manera estable durante la conducción. Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de campo

El protocolo de medición siguió las prácticas recomendadas por el desarrollador de la aplicación RoadLab Pro:

1. Calibración: Previo a las mediciones, la aplicación fue calibrada según las especificaciones del vehículo utilizado (tipo de suspensión y presión de llantas).

2. Recorrido: Se realizaron 2 recorridos a lo largo de cada uno de los tramos en estudio. La aplicación registra automáticamente la geolocalización y el IRI cada 100 metros (la distancia configurada), generando un perfil continuo de rugosidad.
3. Velocidad: Se mantuvo una velocidad de cruce lo más constante posible, dentro del rango de velocidad segura y permitida para la vía, tal como exige el protocolo de la aplicación (usualmente entre 30 km/h y 80 km/h).

Procesamiento de datos

Los datos brutos de cada recorrido (archivos .csv o el formato nativo de RoadLab Pro) fueron exportados y procesados. Se calculó un valor promedio ponderado de IRI para cada tramo homogéneo de la vía, el cual fue el valor final ingresado al modelo RED para el escenario "Sin Proyecto". La repetibilidad de las mediciones (dos recorridos) permitió descartar valores atípicos y garantizar la confiabilidad del dato.

Figura 12

Se muestra el registro de datos en el aplicativo RoadLab Pro.



Nota. La figura muestra el registro de datos realizado mediante el aplicativo RoadLab Pro instalado en un dispositivo móvil. La interfaz refleja la medición de la superficie vial durante el recorrido en campo. Fuente: Elaboración propia

6.7 Ámbito de estudio

6.7.1 Descripción del caso de estudio

6.7.1.1 Ubicación

La zona de estudio se encuentra en los distritos: Izcuchaca, Huarrocondo y Zurite de la provincia de Anta, departamento de Cusco.

Figura 13

Zona de estudio del trabajo de investigación



Nota. En la figura se observa las vías de estudio dentro de la provincia de Anta. (CU 110, CU 902 y CU 905). Fuente: Elaboración propia

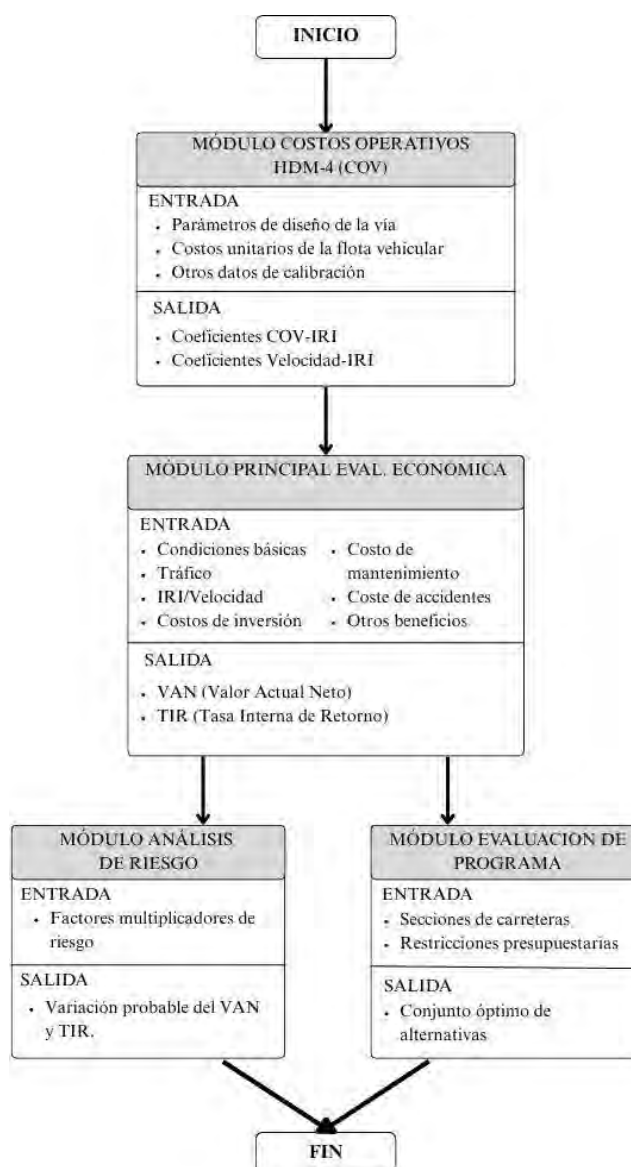
6.8 Flujo de trabajo

El flujo de trabajo consiste en la recopilación de datos para el módulo de costos operativos vehiculares (datos técnicos de los caminos rurales), que son procesados y se obtienen los coeficientes de los costos operativos vehiculares, data que se empleará en el módulo principal de evaluación económica. Posteriormente, se proyectan alternativas de intervención vial, teniendo en cuenta las más viables. Luego, se ingresan los datos de costos operativos

vehiculares y las propuestas de intervención vial dentro del módulo principal de evaluación económica, de tal manera que se simulan los costos y beneficios durante un periodo de análisis, para el presente trabajo son 10 años. Con los resultados obtenidos, se comparan las alternativas de solución mediante indicadores de rentabilidad como lo son el VAN y el TIR. Para finalizar, se selecciona la alternativa más eficiente desde el punto de vista económico.

Figura 14

Flujograma de trabajo



Nota. La figura muestra el flujograma de trabajo para la evaluación económica y análisis de costos operativos. Se observa la secuencia de módulos desde costos operativos hasta evaluación de programa, incluyendo el análisis de riesgo. Fuente: Elaboración propia.

6.9 Metodología para el cálculo de los costos operativos vehiculares (COV)

La metodología abarcó la obtención de parámetros de terreno: rampas ascendentes y descendentes (m/km), curvatura horizontal (grados/km) y peralte (%); parámetros del camino: ancho del camino (m), límite de velocidad (km/hora) y coacción del límite de velocidad; características de la flota vehicular: costos económicos unitarios y, datos de utilización y carga vehicular.

6.9.1 Obtención de los parámetros de terreno

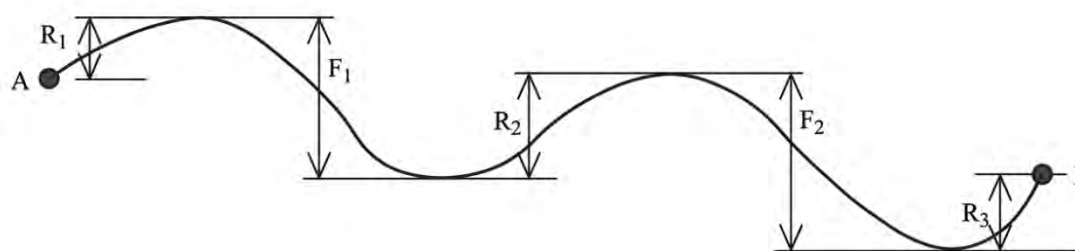
6.9.1.1 Rampas ascendentes y descendentes (m/km)

En la vista de perfil de las vías en estudio, se calcula las distancias entre los puntos altos y bajos; finalmente se suman las distancias de subida y de bajada, para luego ser divididas entre la longitud total de la vía.

Figura 15

Representación gráfica para el cálculo de rampas ascendentes y descendentes.

Plan view of road section



$$\# \text{ Average rise plus fall (m/km)} = \frac{R_1 + F_1 + R_2 + F_2 + R_3}{L_{AB}} \text{ (km)}$$

$$\# \text{ Average number of rises and falls per km} = \frac{5}{L_{AB}} \text{ (m) (km)}$$

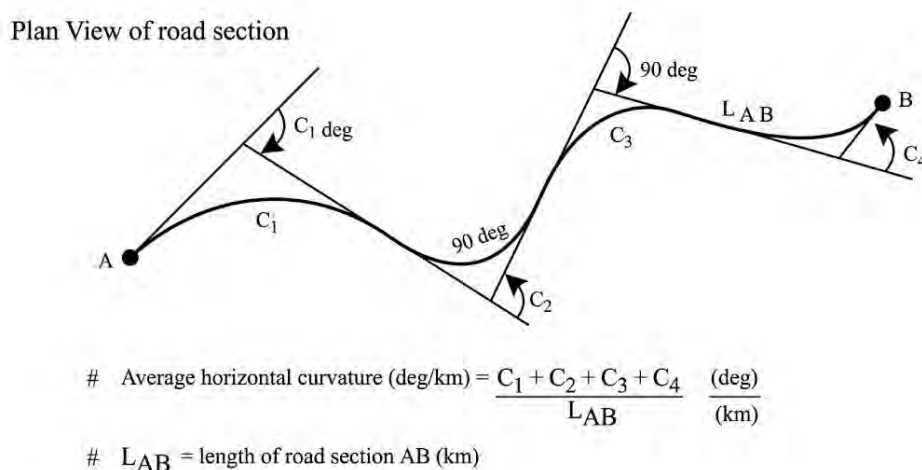
Nota. Se observa la forma de calcular el valor promedio entre rampas ascendentes y descendentes. Se suman la diferencia de alturas y se divide entre la longitud total de la vía. Fuente: Guía de aplicaciones del manual HDM-4.

6.9.1.2 Curvatura horizontal (grados/km)

Cuando se tiene la vista en planta de la vía en análisis, la curvatura horizontal representa el grado de sinuosidad en la vía. Para calcular este parámetro se deben sumar los ángulos (en grados (°)) de desviación de cada curva y dividirse entre la longitud total (en kilómetros) de la vía.

Figura 16

Representación gráfica para el cálculo de curvatura horizontal.



Nota. Se observa el procedimiento para calcular la curvatura horizontal promedio visto desde un plano en planta. Para ello, se suman los ángulos exteriores formados por las rectas tangentes y se divide entre la longitud total de la vía. Fuente: Guía de aplicaciones del manual HDM-4.

6.9.1.3 Peralte (%)

El peralte es un parámetro que mide el grado de inclinación de la curva exterior con respecto a la curva interior en una vía. Este parámetro se obtiene por medio del eclímetro, este instrumento topográfico puede medir la inclinación de la curva con ayuda de un jalón.

Figura 17

Ejemplo de medición de peralte en curvas.



Nota. Se observa la medición del peralte de las curvas en la vía CU 110. Se empleó un eclímetro y un jalón, midiendo la inclinación a partir de la línea visual de referencia. Fuente: Elaboración propia

6.10 Metodología para el cálculo de los indicadores económicos - Módulo Principal

La metodología implica la recopilación de los costos operativos vehiculares calculados anteriormente en el modelo de costos operativos HDM-4, posteriormente se ingresan datos como: parámetros básicos de evaluación, costos de tiempo de viaje, valores del tránsito vehicular, características de la vía como la rugosidad IRI y los costos de inversión de las alternativas de proyecto.

6.10.1 Configuración de parámetros de evaluación

- **Horizonte de evaluación:** Se define un periodo de análisis de 10 años ($n = 10$), compatible con la vida útil de intervenciones de pavimentación/mejoramiento.

- **Factor de costos económicos de agencia:** Se refiere al factor de ajuste que se aplica a los costos financieros de intervención vial para expresarlo a precio social (valor real económico) para el país.
- **Tasa de descuento:** Se fija en 8%, utilizada para la actualización de los flujos de beneficios y costos futuros.
- **Año base y moneda:** Se establece el año 2024 como año cero para el inicio de la inversión y la moneda local (S/) para los flujos monetarios.

6.10.2 Configuración de parámetros de tránsito

En esta etapa se establecieron las variables cualitativas y de proyección que caracterizan a la flota vehicular usuaria de las vías CU-902, CU-905 y CU-110. La configuración de estos parámetros en el Módulo de Usuarios del modelo RED se realizó bajo los siguientes criterios:

- **Tipología Vehicular:** Se adoptó la clasificación normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para ello se realizó una equivalencia entre la tipología vehicular del modelo RED y la tipología vehicular propia del MTC.
- **Tasas de Crecimiento del Tráfico:** Se definieron las tasas anuales de crecimiento para el horizonte de evaluación (10 años), diferenciadas por tipo de vehículo. Esta tasa se estimó considerando la evolución del PBI regional y la elasticidad demanda-ingreso del transporte.

6.10.3 Cálculo del flujo vehicular

Este ítem describe el procedimiento para la determinación de la demanda actual (Año Base) que alimenta el modelo económico. El cálculo del flujo vehicular se sustentó en la información primaria obtenida mediante los estudios de tráfico realizados in situ.

El procedimiento metodológico consistió en dos fases:

- Sistematización de Aforos: Se procesaron los datos de los conteos volumétricos clasificados realizados durante 7 días continuos en las estaciones de control ubicadas en los tramos Izcuchaca – Huarrocondo y rutas alternas.
- Determinación del IMDA: Se calculó el Índice Medio Diario Anual (IMDA) aplicando los Factores de Corrección Estacional (FC) correspondientes a la estación de peaje (o unidad de peaje) más cercana de Provias Nacional, para expandir la muestra semanal a un comportamiento anual representativo.

6.10.4 Cálculo de costo de tiempo de pasajero

El costo de tiempo de pasajero obedece a la siguiente relación:

$$\text{Costo Pasajero} - \text{Hora} = \frac{(\text{Costo por Kilómetro} * \text{Distancia de la vía})}{(\text{Número de Pasajeros} * \text{Tiempo de Viaje en Horas})}$$

Donde:

Costo por kilómetro: es el valor de costo vehicular obtenido en el módulo de costos operativos vehiculares.

Distancia de la vía: es la longitud total de la vía en km.

Número de pasajeros: es la cantidad de pasajeros de viajan en el vehículo en promedio.

Tiempo de viaje en horas: es el tiempo (en horas) necesario para viajar durante todo el recorrido.

6.11 Metodología para la evaluación económica mediante el método CAUE

De manera complementaria al análisis de rentabilidad obtenido mediante el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) proporcionados por el modelo RED, se procederá al cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Este indicador permitirá comparar las alternativas de intervención (Situación con proyecto) frente a la línea base (Situación sin proyecto) bajo un criterio de costos anualizados.

La metodología consiste en:

1. Identificación del Valor Actual Neto de los Costos (VAN_{costos}) para cada alternativa, obtenido directamente de las hojas de cálculo del modelo RED (módulos principal de evaluación económica).
2. Aplicación del factor de recuperación de capital (FRC), considerando la Tasa Social de Descuento (TSD = 8%) y el horizonte de evaluación del proyecto ($n = 10$ años).
3. Comparación directa de los resultados, seleccionando la alternativa que presente el menor costo anual equivalente, lo cual denota una mayor eficiencia en el uso de los recursos públicos

6.12 Metodología para el análisis de sensibilidad y riesgo

Para complementar la evaluación económica, se incorpora un análisis de riesgos probabilístico utilizando el módulo de riesgo del Modelo RED. Este procedimiento tiene como objetivo medir la robustez del proyecto frente a la variabilidad de parámetros clave que poseen un grado de incertidumbre. A diferencia del enfoque tradicional que utiliza valores fijos, esta metodología permite calcular la probabilidad de que el proyecto mantenga indicadores de rentabilidad positivos ($VAN > 0$ y $TIR > 12\%$) bajo distintos escenarios adversos.

6.12.1 Selección de variables críticas (Análisis de sensibilidad)

Para conocer la estabilidad económica del proyecto de mantenimiento o mejoramiento vial en la provincia de Anta, se aplicó un Análisis de sensibilidad. Este análisis consiste en modificar de forma controlada los datos más importantes del proyecto para observar cómo afectan al Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Tomando en cuenta las condiciones de los caminos rurales evaluados, el clima y la geografía de la zona, se seleccionaron tres (03) variables críticas y sus respectivos porcentajes de variación:

Costo de inversión inicial: En la zona de Anta es muy común que los costos de obra aumenten debido a imprevistos en el terreno (derrumbes, fallas de talud) o al incremento de precios en materiales y combustibles.

Rangos evaluados: Se analizaron escenarios de incremento de +10%, +20% y +30% sobre el costo original.

Índice medio diario anual Diario (IMD): El tráfico en caminos rurales es muy variable porque depende directamente de las épocas de cosecha y del comercio entre las comunidades locales.

Rangos evaluados: Se analizaron escenarios de reducción del tráfico en -10%, -20% y -30%.

Beneficios por reducción de costos operativos vehiculares (COV) y tiempo: Son los ahorros económicos que genera la vía en buen estado. Pueden variar según las fluctuaciones en los precios de repuestos, combustibles y la valoración del tiempo del usuario rural.

Rangos evaluados: Se analizaron escenarios de disminución de estos beneficios en -5%, -10% y -15%.

6.12.2 Definición de rangos y distribuciones de probabilidad

Para modelar el comportamiento de las variables seleccionadas, se optó por el uso de Distribuciones Triangulares. Esta distribución es la más adecuada para evaluaciones de proyectos de infraestructura cuando no se cuenta con series históricas extensas, ya que permite definir la incertidumbre mediante tres valores estimados por criterio ingenieril:

- 1. Valor Mínimo (Escenario Pesimista):** Representa la situación más desfavorable (ej. sobrecostos o menor tráfico).
- 2. Valor Más Probable (Caso Base):** Corresponde al valor calculado en la ingeniería del proyecto.
- 3. Valor Máximo (Escenario Optimista):** Representa una situación favorable (ej. ahorro en costos o mayor tráfico).

6.12.3 Configuración de la simulación

El análisis se ejecuta mediante el Método de Montecarlo, una técnica estadística que realiza múltiples iteraciones recalculando el flujo de caja del proyecto. En cada iteración, el software selecciona aleatoriamente valores dentro de las distribuciones de probabilidad definidas anteriormente.

Para garantizar la estabilidad estadística de los resultados, se configuró el modelo para realizar una simulación con 1,000 iteraciones como máximo. Esto permite generar una curva de distribución de frecuencias para el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), proporcionando como resultado final la probabilidad acumulada de éxito del proyecto.

VII. Resultados de la investigación

7.1 Recolección de datos

7.1.1 Datos en el Módulo de Costos Operativos HDM-4

Dentro del módulo de costos operativos HDM-4, se analizará todo lo concerniente a los costos de operación vehicular, estos costos están en función al tipo de camino, tipo de terreno, características del tráfico vehicular. Además, dentro de este módulo se consideran gastos por combustible, neumáticos, mantenimiento, depreciación. Los resultados permiten conocer los beneficios económicos obtenidos de mejorar el estado del camino vecinal.

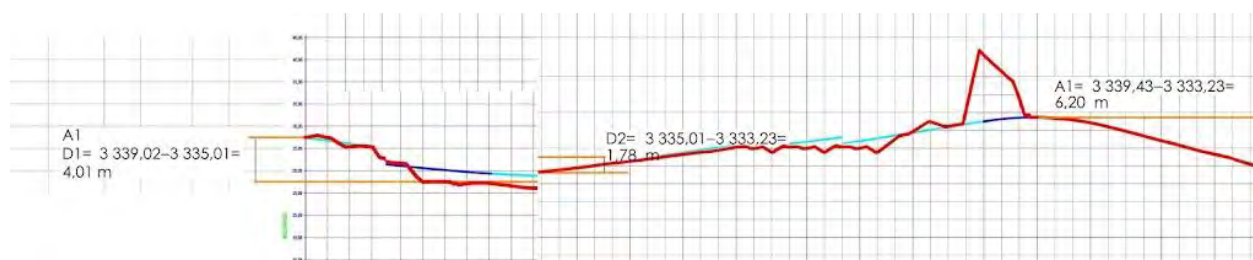
7.1.1.1 Características de la vía

7.1.1.1.1 Rampas ascendentes y descendentes (m/km)

Vía CU-110 (Izcuchaca-Huarocondo)

Figura 18

Medición de alturas en el perfil longitudinal CU 110.



Nota. En la figura se observan las mediciones de las rampas ascendentes y descendentes dentro del perfil longitudinal (progresivas: 0+000 hasta 4+000) de la vía CU 110. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Mediciones de alturas restantes en el perfil longitudinal CU 110.



Nota. En la figura se observan todas las mediciones de las rampas ascendentes y descendentes dentro del perfil longitudinal de la vía CU 110 (progresivas: 4+000 hasta 10+500). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Rampas Ascendentes y Descendentes - Vía CU 110

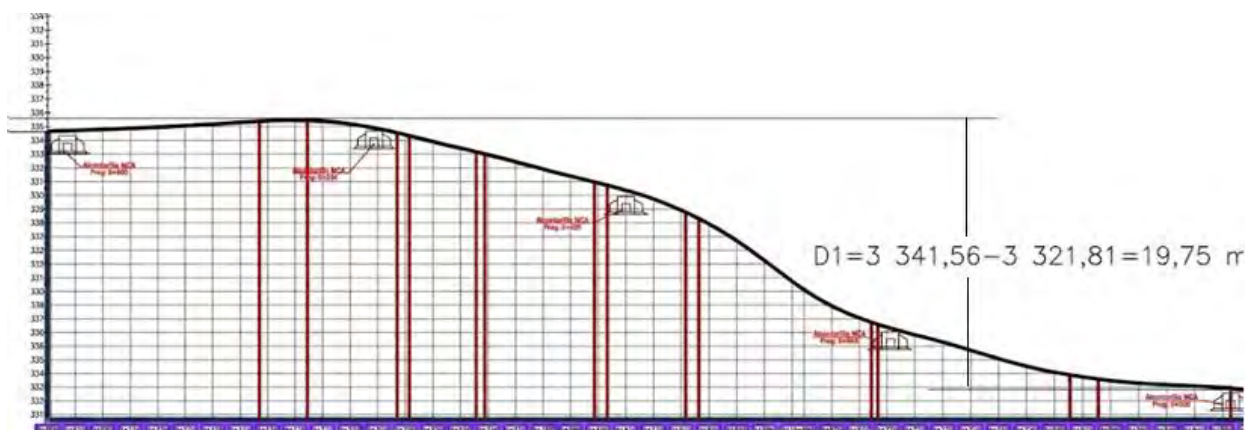
Rampas Ascendentes y Descendentes (m/Km)	
Ascendentes (A)	Descendentes (D)
(m)	(m)
	4,01
	1,78
6,2	21,81
3,69	5,21
6,76	4,65
	3,86
1,25	1,1
17,9	42,42
60,32	
Longitud de la vía (Km):	10,45
Subida más bajada =	6,00

Nota. Se muestran los valores de rampas ascendentes y descendentes fueron calculados a partir del análisis del perfil longitudinal de la vía CU-110. Fuente: Elaboración propia.

Vía CU-902 (Zurite-Huarocondo)

Figura 20

Medición de alturas en perfil en la vía CU 902.



Nota. En la figura se observan las mediciones de las rampas ascendentes y descendentes dentro del perfil longitudinal (progresivas: 0+000 hasta 3+000) de la vía CU 902. Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Medición de alturas en perfil del tramo faltante en la vía CU 902.



Nota. En la figura se observan las mediciones de las rampas ascendentes y descendentes dentro del perfil longitudinal (progresivas: 3+000 hasta 6+652) de la vía CU 902. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4*Rampas Ascendentes y Descendentes - Vía CU 902*

Rampas Ascendentes y Descendentes (m/km)	
Ascendentes (A) (m)	Descendentes (D) (m)
0,92	
	19,75
4,81	
	2,99
3,81	
	3,11
5,36	
27,97	
11,46	
7,38	
3,72	
13,78	
15,28	
3,64	
	24,73
6	
104,13	50,58
154,710	
Longitud de la vía (km):	
6,652	
Subida más bajada =	
24,00	

Nota. Se muestran los valores de rampas ascendentes y descendentes que fueron calculados a partir del análisis del perfil longitudinal de la vía CU 902. Fuente: Elaboración propia.

Vía CU-905 (Zurite-Haparquilla-Izcuchaca)

Figura 22

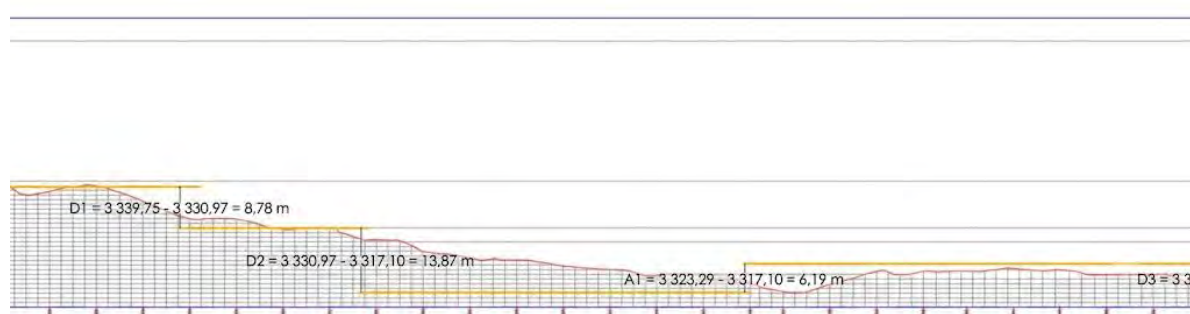
Medición de alturas en perfil vía CU 905 en el tramo 0+000 – 3+000.



Nota. En la figura se identifican y se miden las alturas en lugares donde hay cambios importantes de pendientes (rampas ascendentes y descendentes) en el tramo 0+000 – 3+000 de la vía CU 905. Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Medición de alturas en perfil vía CU 905 en el tramo 3+000 – 6+000.



Nota. En la figura se identifican y se miden las alturas en lugares donde hay cambios importantes de pendientes (rampas ascendentes y descendentes) en el tramo 3+000 – 6+000 de la vía CU 905, se observa que el tramo presenta mayor cambio de alturas con respecto al primer tramo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Medición de alturas en perfil vía CU 905 en el tramo 6+000 – 10+200.



Nota. En la figura se identifican y se miden las alturas en lugares donde hay cambios importantes de pendientes (rampas ascendentes y descendentes) en el tramo 0+000 – 3+000 de la vía CU 905, se aprecia que este último tramo presenta solamente una rampa descendente y una ascendente. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Rampas Ascendentes y Descendentes – Asfaltado - Vía CU 905

Asfaltado

Rampas Ascendentes y Descendentes (m/km)	
Ascendentes (A) (m)	Descendentes (D) (m)
	29,55
	7,45
	37,00
37,00	
Longitud de la vía (km):	
1,34	
Subida más bajada =	
28,00	

Nota. Se muestran los valores de rampas ascendentes y descendentes que fueron calculados a partir del análisis del perfil longitudinal de la vía CU 905 – tramo asfaltado. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6*Rampas Ascendentes y Descendentes - Afirmado- Vía CU 905*

Afirmado

Rampas Ascendentes y Descendentes (m/km)	
Ascendentes (A) (m)	Descendentes (D) (m)
	8,78
	13,87
6,19	
	6,2
4,2	
	6,29
4,00	
7,00	
	2,92
12,18	
33,57	38,06
71,63	
Longitud de la vía (km):	
8,86	
Subida más bajada =	
9,00	

Nota. Se muestran los valores de rampas ascendentes y descendentes que fueron calculados a partir del análisis del perfil longitudinal de la vía CU 905 – tramo afirmado. Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.1.2 Curvatura horizontal (grados/km)

Vía CU-110 (Izcuchaca-Huarocondo)

Tabla 7

Curvatura horizontal de la vía CU 110

Nº	Curvatura de la vía (°)
1	39
2	87
3	62
4	16
5	27
6	74
7	52
8	21
9	49
10	37
11	48
12	17
13	20
14	32
15	41
16	37
17	44
TOTAL	703
Longitud de la vía (km):	10,45
Curvatura horizontal =	68,00

Nota. La tabla presenta el cálculo de curvatura horizontal de la vía CU 110. El valor de la curvatura horizontal se obtuvo dividiendo el total de grados acumulados entre la longitud total de la vía, siendo este un parámetro de entrada para el cálculo de los costos operativos vehiculares en el modelo RED.

Fuente: Elaboración propia.

Vía CU-902 (Zurite-Huarocondo)

Tabla 8*Curvatura horizontal de la vía CU 902*

Nº	Curvatura de la vía (°)
1	35
2	64
3	13
4	16
5	61
6	31
7	29
8	18
9	42
10	87
11	65
12	21
13	25
14	26
15	16
TOTAL	549
Longitud de la vía (km):	6,652
Curvatura horizontal =	83

Nota. Se muestra el cálculo de curvatura de la vía CU 902. El valor de 83 grados se obtuvo de dividir el acumulado de grados horizontales entre la longitud total de la vía. Fuente: Elaboración propia.

Vía CU-905 (Zurite-Haparquilla-Izcuchaca)

Tabla 9

Curvatura horizontal de la vía CU 905 - Asfaltado

Asfaltado	
Nº	Curvatura de la vía (°)
1	37
2	9
3	17
TOTAL	63
Longitud de la vía (km):	1,34
Curvatura horizontal =	48,00

Nota. Se muestra el cálculo de curvatura de la vía CU 905 para el tramo asfaltado. El valor de 48 grados se obtuvo de dividir el acumulado de grados horizontales entre la longitud total del tramo de vía. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10*Curvatura horizontal de la vía CU 905 - Afirmado*

Afirmado	
Nº	Curvatura de la vía (°)
1	37
2	14
3	21
4	41
5	93
6	41
TOTAL	247
Longitud de la vía (km):	
8,86	
Curvatura horizontal =	
28,00	

Nota. Se muestra el cálculo de curvatura de la vía CU 905 para el tramo afirmado. El valor de 28 grados se obtuvo de dividir el acumulado de grados horizontales entre la longitud total del tramo de vía. El tramo afirmado presenta menor curvatura horizontal que el tramo asfaltado. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Datos en el Módulo Principal de Evaluación Económica

5.1.2.1 Parámetros de Entrada para la Evaluación Económica

Vía CU-110 – Vía Asfaltada (Izcuchaca-Huarocondo)

Valores de los coeficientes de costos operativos vehiculares:

Figura 25

Coefficientes de costos operativos vehiculares (COV) obtenidos para la vía CU-110.

			VOC (\$/veh-km) en Función de la Rugosidad (IRI)				Columnas para Chequear Relaciones		
			VOC = a0 + a1*IRI + a2*IRI ² + a3*IRI ³				VOC para IRI = 2,0	VOC para IRI = 4,1	VOC para IRI = 20,0
			a0	a1	a2	a3	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)
AX1	Terreno: A Llano	Automóvil Mediano	0,221815	0,001759	0,000345	-0,000005	0,227	0,235	0,357
AX2		Vehículo de Carga	0,340044	0,006806	0,000693	-0,000014	0,357	0,379	0,644
AX3		Vehículo de Reparto	0,380035	0,007049	0,000964	-0,000021	0,398	0,344	0,741
AX4	Camino: X Pavimento	Autobús Pequeño	0,316340	0,004651	0,000546	-0,000005	0,328	0,344	0,563
AX5		Autobús Mediano	0,605995	0,029481	0,000244	-0,000005	0,666	0,731	1,255
AX6		Autobús Pesado	0,811044	0,026333	0,000155	-0,000021	0,868	0,799	1,646
AX7		Camión Liviano	0,668088	0,029811	0,000446	-0,000011	0,729	0,797	1,363
AX8		Camión Mediano	0,850643	0,032828	0,000774	-0,000018	0,919	0,997	1,676
AX9		Camión Articulado	1,648960	0,055430	0,001755	-0,000023	1,767	1,904	3,273

Nota. En la figura se muestran todos los coeficientes de costos operativos (COV) obtenidos por el módulo de costos operativos HDM – 4. Dichos coeficientes corresponden a un terreno Llano (tipo A, según RED) para una vía pavimentada (tipo X, según RED), además se obtienen valores para un IRI de 2, 4,1 y 20. Fuente: Elaboración propia.

Costo tiempo-pasajero/hora

Se presenta la siguiente fórmula de cálculo de tiempo-pasajero/hora:

Costos de tiempo de viaje

$$\text{Costo Pasajero-Hora} = (\text{Costo por Kilómetro} * \text{Distancia de la vía}) / (\text{Número de Pasajeros} * \text{Tiempo de Viaje en Horas})$$

Se colocan los COV obtenidos previamente para cada tipo de vehículo

Tabla 11

Parámetros utilizados para la obtención del costo tiempo-pasajero/hora, vía CU 110.

	Número de pasajeros	Coficiente de COV (\$/veh-km)	Longitud de la vía (km)	Tiempo de viaje (horas)
Automóvil Mediano	4	0,235	10,45	0,50
Vehículo de Carga	4	0,379	10,45	0,50
Vehículo de Reparto	12	0,424	10,45	0,50
Autobús Pequeño	16	0,344	10,45	0,50
Autobús Mediano	40	0,731	10,45	0,50
Autobús Pesado	50	0,939	10,45	0,50
Camión Liviano	3	0,798	10,45	0,50
Camión Mediano	3	0,998	10,45	0,60
Camión Articulado	3	1,905	10,45	0,70

Nota. Datos técnicos empleados para el cálculo del costo de viaje en la vía CU-110. Los valores de COV corresponden a un escenario específico de rugosidad (IRI) propio de la vía, mientras que el tiempo de viaje se obtiene a partir de la longitud del tramo y la velocidad de operación estimada.
Fuente: Elaboración propia.

Luego se aplica la fórmula de cálculo de tiempo-pasajero/hora, y se obtiene:

Tabla 12

Costo del tiempo-pasajero/hora para la vía CU-110.

Costo de tiempo de pasajero (\$/pas-hr)	
Automóvil Mediano	1,23
Vehículo de Carga	1,98
Vehículo de Reparto	0,74
Autobús Pequeño	0,45
Autobús Mediano	0,38
Autobús Pesado	0,39
Camión Liviano	5,56
Camión Mediano	5,79
Camión Articulado	9,48

Nota. La tabla presenta los costos de tiempo de pasajero por hora calculados para los diferentes tipos de vehículos que circulan en la vía CU-110. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores corresponden a los costos tiempo-pasajero para la vía CU-110. Los costos tiempo-pasajero expresan el valor económico del tiempo de viaje de los usuarios, permitiendo estimar los beneficios por reducción de demoras en los escenarios de intervención evaluados.

Vía CU-902 – Vía afirmada (Zurite-Huarocondo)

Valores de los coeficientes de los costos operativos vehiculares:

Figura 26

Coefficientes de los costos operativos vehiculares para la vía CU-902.

			VOC (\$/veh-km) en Función de la Rugosidad (IRI)				VOC para IRI =	VOC para IRI =	VOC para IRI =
			VOC = a0 + a1*IRI + a2*IRI ² + a3*IRI ³				2,0	3,2	6,0
			a0	a1	a2	a3	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)
AY1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0,227632	0,005353	0,000168	-0,000001	0,239	0,246	0,266
AY2		Vehículo de Carga	0,350333	0,012011	0,000446	-0,000008	0,376	0,393	0,437
AY3	Camino: Y Afirmado	Autobús Pequeño	0,335166	0,010270	0,000296	-0,000002	0,357	0,371	0,407
AY4		Camión Liviano	0,847063	0,032078	0,001228	-0,0000027	0,916	0,961	1,078
AY5							0,000	0,000	0,000
AY6							0,000	0,000	0,000
AY7							0,000	0,000	0,000
AY8							0,000	0,000	0,000
AY9							0,000	0,000	0,000

Nota. En la figura se muestran todos los coeficientes de costos operativos (COV) obtenidos por el módulo de costos operativos HDM – 4 para la vía CU 902. Dichos coeficientes corresponden a un terreno Llano (tipo A, según RED) para una vía afirmada (tipo Y, según RED), además se obtienen valores para un IRI de 2, 3,2 y 6. Fuente: Elaboración propia.

De manera similar al cálculo de costo tiempo-pasajero/hora explicado anteriormente para la vía CU-110, se calcula para la vía CU-902:

Tabla 13

Parámetros utilizados para la obtención del costo tiempo-pasajero/hora, vía CU 902.

	Número de pasajeros	Coefficiente de COV (\$/veh-km)	Longitud de la vía (km)	Tiempo de viaje (horas)
Automóvil Mediano	4	0,246	6,652	0,33
Vehículo de Carga	4	0,393	6,652	0,33
Autobús Pequeño	16	0,371	6,652	0,33
Camión Liviano	3	0,961	6,652	0,33

Nota. Datos técnicos empleados para el cálculo del costo de viaje en la vía CU-902. Los valores de COV corresponden a un escenario específico de rugosidad (IRI) propio de la vía, mientras que el tiempo de viaje se obtiene a partir de la longitud del tramo y la velocidad de operación estimada. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores corresponden a los costos tiempo-pasajero para la vía CU-902. Los costos tiempo-pasajero expresan el valor económico del tiempo de viaje de los usuarios, permitiendo estimar los beneficios por reducción de demoras en los escenarios de intervención evaluados.

Luego se aplica la fórmula de cálculo de tiempo-pasajero/hora, y se obtiene:

Tabla 14

Costo tiempo-pasajero/hora para la vía CU-902.

Costo de tiempo de pasajero (\$/pas-hr)	
Automóvil Mediano	1,24
Vehículo de Carga	1,98
Autobús Pequeño	0,47
Camión Liviano	6,46

Nota. La tabla presenta los costos de tiempo de pasajero por hora calculados para los diferentes tipos de vehículos que circulan en la vía CU 902. Fuente: Elaboración propia.

Vía CU-905 – Vía afirmada (Zurite-Haparquilla-Izcuchaca):

Valores de los coeficientes de costos operativos vehiculares:

Figura 27

Coeficientes de los costos operativos vehiculares de la vía CU-905.

Economic Vehicle Operating Costs Function of Roughness Coefficients									
			VOC (\$/veh-km) en Función de la Rugosidad (IRI)				Columnas para Chequear Relaciones		
			VOC = a0 + a1*IRI + a2*IRI^2 + a3*IRI^3				VOC para IRI = 2,0	VOC para IRI = 4,8	VOC para IRI = 6,0
			a0	a1	a2	a3	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)
AY1	Terreno: A Llano	Automóvil Mediano	0,227545	0,005345	0,000168	-0,000001	0,239	0,239	0,239
AY2		Vehículo de Carga	0,350092	0,011997	0,000448	-0,000008	0,376	0,417	0,376
AY3		Autobús Pequeño	0,333292	0,010389	0,000292	-0,000002	0,355	0,390	0,406
AY4	Camino: Y Afirmado	Camión Liviano	0,819636	0,031103	0,001489	-0,000035	0,999	0,999	1,052
AY5							0,000	0,000	0,000
AY6							0,000	0,000	0,000
AY7							0,000	0,000	0,000
AY8							0,000	0,000	0,000
AY9							0,000	0,000	0,000

Nota. En la figura se muestran todos los coeficientes de costos operativos (COV) obtenidos por el módulo de costos operativos HDM – 4 para la vía CU 905. Dichos coeficientes corresponden a un terreno Llano (tipo A, según RED) para una vía afirmada (tipo Y, según RED), además se obtienen valores para un IRI de 2, 4,8 y 6. Fuente: Elaboración propia.

De manera similar al cálculo de costo tiempo-pasajero/hora explicado anteriormente para la vía CU-110, se calcula para la vía CU-905:

Tabla 15

Parámetros utilizados para la obtención del costo tiempo-pasajero/hora, vía CU 905.

	Número de pasajeros	Coefficiente de COV (\$/veh-km)	Longitud de la vía (km)	Tiempo de viaje (horas)
Automóvil Mediano	4	0,257	10,2	0,4
Vehículo de Carga	4	0,418	10,2	0,4
Autobús Pequeño	16	0,390	10,2	0,4
Camión Liviano	3	1,001	10,2	0,4

Nota. Datos técnicos empleados para el cálculo del costo de viaje en la vía CU-905. Los valores de COV corresponden a un escenario específico de rugosidad (IRI) propio de la vía, mientras que el tiempo de viaje se obtiene a partir de la longitud del tramo y la velocidad de operación estimada.
Fuente: Elaboración propia.

Luego se aplica la fórmula de cálculo de tiempo-pasajero/hora, y se obtiene:

Tabla 16

Costo tiempo-pasajero/hora en la vía CU905.

Costo de tiempo de pasajero (\$/pas-hr)	
Automóvil Mediano	1,64
Vehículo de Carga	2,66
Autobús Pequeño	0,62
Camión Liviano	8,51

Nota. La tabla presenta los costos de tiempo de pasajero por hora calculados para los diferentes tipos de vehículos que circulan en la vía CU 905. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores corresponden a los costos tiempo-pasajero para la vía CU-905. Los costos tiempo-pasajero expresan el valor económico del tiempo de viaje de los usuarios, permitiendo estimar los beneficios por reducción de demoras en los escenarios de intervención evaluados.

Definición de las alternativas de solución:

Vías asfaltadas:

Tabla 17

Listado de alternativas de solución para el caso de vías asfaltadas.

Alternativa de solución	Descripción	Costo estimado (\$)
Alternativa 1 (Mantenimiento rutinario)	Limpieza de calzada, limpieza de cunetas, roce y limpieza (vegetación), bacheo superficial, sellado de fisuras.	\$ 2 500/km
Alternativa 2 (Mantenimiento periódico)	Tratamientos superficiales, recapeo, sellado de fisuras o grietas, bacheo estructural, reposición de señalización horizontal.	\$ 45 000/km
Alternativa 3 (Reconstrucción de pavimento)	Mejoramiento de la subrasante. Conformación de 20 cm de Subbase y 15-20 cm de Base Granular. Incluye explotación de cantera, chancado, transporte y compactación. Colocación de Tratamiento Superficial Bicapa o Carpeta Asfáltica de 2". Construcción de cunetas de concreto, alcantarillas y badenes.	\$300 000/km

Nota. En la tabla se muestran las diferentes alternativas de solución para vías asfaltadas. Se proponen como alternativas de solución al mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y reconstrucción del pavimento, también se detalla la descripción de intervención para cada alternativa y el costo promedio estimado de vías asfaltadas obtenidas por medio de Provías Descentralizado.

Fuente: Elaboración propia.

Vías afirmadas:

Tabla 18

Se observan las alternativas de solución en el caso de vías afirmadas.

Alternativa de solución	Descripción	Costo estimado (\$)
Alternativa 1 (Mantenimiento rutinario)	Limpieza de calzada, limpieza de cunetas, roce y limpieza (vegetación), bacheo menor en afirmado.	\$ 2 500/km
Alternativa 2 (Mantenimiento periódico)	Reconformación de la plataforma, recarga de material de afirmado (lastrado) de 10-15 cm, compactación y perfilado	\$ 38 000/km
Alternativa 3 (Mejora a carpeta asfáltica)	Mejoramiento de subrasante, base granular, imprimación, tratamiento superficial monocapa, obras de arte (alcantarillas)	\$ 250 000/km

Nota. En la tabla se muestran las diferentes alternativas de solución para vías afirmadas. Se proponen como alternativas de solución al mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y mejora a carpeta asfáltica, también se detalla la descripción de intervención para cada alternativa y el costo promedio estimado según datos del Instituto Vial Provincial (IVP) de la provincia de Anta. Fuente: Elaboración propia.

Los costos estimados fueron obtenidos de proyectos viales cercanos a la zona y de material bibliográfico. Fuente: Mantenimiento periódico del camino vecinal Emp: CU 110 (Acumoco)-Huerta-Markjo (Expediente técnico de mantenimiento periódico IVP Anta 2024); Mantenimiento rutinario del camino vecinal Emp. CU 902 (zurite) - Occoruro (Emp. CU 110), Agua dulce (Emp. CU 110) - Piñanccay - Pancarhuaylla - Chacacurqui (km 06+020) y mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana, en la vía vecinal CU 902- tramo ccpps Huarcocondo y Zurite, en los distritos de Huarcocondo y Zurite de la provincia de Anta-departamento de Cusco.

7.2 Procesamiento de datos

7.2.1 Determinación de los costos operativos vehiculares (COV)

Para determinar los costos operativos vehiculares, se trabajará con el módulo de Costos Operativos Vehiculares (HDM-4) del modelo RED. En primer lugar se deben definir las equivalencias de tipología vehicular entre el modelo RED y el formato de conteo vehicular del MTC.

Para ello se elaboró la siguiente tabla:

Equivalencias de la tipología vehicular entre el formato de conteo del MTC y del modelo RED

Tabla 19

Equivalencia de tipología vehicular MTC- modelo RED.

Tipología de los conteos (Formato MTC)	Tipología del Modelo RED
Auto	Automóvil Mediano
Station Wagon	Automóvil Mediano
Camioneta Pick up	Vehículo de Carga
Camioneta panel	Vehículo de Reparto
Combi Rural	Autobús Pequeño
Micro	Autobús Liviano
Bus 2E	Autobús Mediano
Bus 3E	Autobús Pesado
Bus 4E	Autobús de Larga Distancia
Camión 2E	Camión Liviano
Camión 3E	Camión Mediano
Camión 4E	Camión Pesado
Semi Trayler 2S1/2S2	Camión Articulado
Semi Trayler 2S3	Camión Articulado
Semi Trayler 3S1/3S2	Camión Articulado
Semi Trayler >= 3S3	Camión Articulado
Trayler 2T2	Camión Articulado
Trayler 2T3	Camión Articulado
Trayler 3T2	Camión Articulado
Trayler >=3T3	Camión Articulado

Nota. La tabla muestra la correspondencia entre las categorías vehiculares utilizadas en los conteos del MTC y las tipologías aplicadas en el modelo RED, con el fin de estandarizar la clasificación para la evaluación económica de las alternativas de solución. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la cantidad de tipos de vehículos en el modelo RED es menor que la del MTC; para ello, se realizó una equivalencia considerando las características de los vehículos en el modelo RED sean lo más parecidas a los vehículos que aparecen en el formato del MTC.

Dentro de las equivalencias, se observa que el “*camión articulado*” es equivalente a varios vehículos como “*Semi Trayler*” y “*Trayler*”; esto ocurre ya que un camión articulado engloba las características de un semi trayler y trayler. El vehículo *trayler* o *semi trayler* con mayor incidencia de cantidad dentro del aforo vehicular, será elegido como el vehículo representativo para el análisis de costos operativos vehiculares.

Características de la flota vehicular:

Tabla 20

Características de la flota vehicular en el módulo de costos operativos.

	Costos económicos unitarios									
	Automovil mediano	Vehículo de carga	Vehículo de reparto	Autobus pequeño	Autobús Mediano	Autobús Pesado	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Pesado	Camión Articulado
Costo Vehículo nuevo (\$/vehículo)	11 390,00	28 880,00	29 990,00	18 790,00	60 000,00	80 000,00	50 000,00	70 000,00	90 000,00	130 000,00
Costo Combustible (\$/litro)	1,19	1,19	1,19	1,19	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
Costo Lubricante (\$/litro)	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06
Costo Neumático nuevo (\$/neumático)	73,92	120,16	65,80	155,91	236,83	236,83	363,71	363,71	363,71	465,59
Costo Labor de mantenimiento (\$/hora)	16,00	17,60	19,20	20,00	21,60	24,00	19,20	21,60	24,00	28,00
Costo de tripulación (\$/hora)	2,69	2,69	2,69	2,69	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03
Tasa de Interés (%)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00

Nota. La tabla presenta los costos unitarios y parámetros económicos utilizados para estimar los costos operativos de distintos tipos de vehículos en el modelo RED, considerando valores de referencia para el año 2024. Fuente: Elaboración propia.

La caracterización de la flota vehicular constituye un insumo esencial para el módulo de costos operativos del modelo RED, ya que permite identificar los diferentes tipos de vehículos que transitan por la vía y sus parámetros técnicos (consumo de combustible, velocidad de operación, costos de mantenimiento, depreciación, entre otros). Esta información

posibilita estimar con mayor precisión los costos de operación vehicular (COV) y, en consecuencia, valorar los beneficios económicos derivados de las intervenciones propuestas.

Utilización y carga vehicular:

Tabla 21

Utilización y carga vehicular dentro del módulo de costos operativos.

	Utilización y carga									
	Automovil mediano	Vehículo de carga	Vehículo de reparto	Autobus pequeño	Autobús Mediano	Autobús Pesado	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Pesado	Camión Articulado
Kilómetros Conducidos por Año (km)	20 000,00	40 000,00	30 000,00	40 000,00	50 000,00	40 000,00	40 000,00	40 000,00	60 000,00	80 000,00
Horas Conducidas por Año (hr)	1 000,00	1 500,00	1 200,00	1 500,00	2 000,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00	2 500,00
Vida útil (años)	10,00	8,00	8,00	10,00	12,00	15,00	10,00	10,00	15,00	15,00
Porcentaje de Tiempo para Uso Privado (%)	90,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso Bruto de Vehículo (toneladas)	1,20	2,00	3,50	3,70	18,00	23,00	18,00	25,00	30,00	48,00

Nota. La tabla presenta los parámetros de utilización anual, vida útil y peso bruto de distintos tipos de vehículos empleados en el cálculo de costos operativos del modelo RED, según valores normativos del MTC y SUTRAN. Fuente: Compendio Normativo sobre Pesos y Medidas – SUTRAN–MTC.

Esta información es determinante en el cálculo de los costos operativos, ya que refleja la frecuencia de uso de cada tipo de vehículo y el nivel de carga transportada en condiciones reales de operación. Estos parámetros influyen directamente en el consumo de combustible, el desgaste de componentes y los tiempos de viaje, permitiendo que el modelo RED represente de manera más precisa los costos asociados al tránsito por la vía evaluada.

Vía CU-110 – Vía Asfaltada (Izcuchaca-Huarocondo)

Parámetros del tipo de terreno:

Figura 28

Parámetros del tipo de terreno de la vía CU-110

Tipos de Terreno					
Código	Descripción	Rampas Ascendentes y Descendentes (m/km)	Curvatura Horizontal (grados/km)	N. de Rampas Ascendentes y Descendentes (#)	Peralte (%)
A	Llano	6	68	2	3
B	Ondulado	1	1	1	1
C	Montañoso	1	1	1	1

*Nota: Se colocan los datos según la opción de terreno, los demás valores serán 1.

Nota. La figura muestra los parámetros técnicos asociados a distintos tipos de terreno (llano, ondulado y montañoso), incluyendo rampas, curvatura y peralte, empleados en la caracterización geométrica de la vía CU-110. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan los valores de rampas ascendentes y descendentes, curvatura horizontal y peralte, obtenidos para la vía CU-110. El tipo de terreno es llano ya que presenta una pendiente longitudinal menor a 3%. El resto de valores de los demás tipos de terreno se completa con “1”, para que el modelo solo trabaje con el terreno llano.

Parámetros del tipo de camino:

Figura 29

Parámetros del tipo de camino de la vía CU-110.

Tipos de Camino							
Código	Descripción	Superficie 1-Bituminosa 2-Concreto 3-Sin Pavimentar	Ancho del Camino (m)	Límite de Velocidad (km/hora)	Coacción del Límite de Velocidad (#)	Fricción de Actividades Laterales (#)	Fricción del TNM (#)
X	Pavimento	1	6,2	50,0	1,1	1,0	1,0
Y	Afirmado	3		80,0	1,0	1,0	1,0
Z	Tierra	3		50,0	1,0	1,0	1,0

*Nota: cuando no existe el tipo de camino, se debe dejar la celda vacía.

Nota. La figura presenta los parámetros técnicos de distintos tipos de camino (pavimento, afirmado y tierra), incluyendo superficie, ancho, límite de velocidad y coeficientes de fricción, empleados en el cálculo de costos operativos vehiculares de la vía CU-110. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se colocan los datos correspondientes para el camino del tipo Pavimento correspondiente a la vía CU-110. Para que el modelo RED no considere los demás valores de otros tipos de camino, no se ingresa el dato en la casilla *Ancho de Camino (m)*. El límite de velocidad para la vía es de 50 km/hora debido a que aproximadamente a esa velocidad circulan en promedio los vehículos.

La coacción del límite de velocidad será de 1,1; debido al margen del 10% que se les da a algunos vehículos que superen la velocidad límite. La fricción de actividades laterales y de TNM, se considera la 1 como valor por defecto.

Tipología vehicular:

Figura 30

Tipología vehicular propia de la vía CU-110

Tipos de Vehículo			
Código	Descripción	Número de Ruedas	Número de Ejes
1	Automóvil Mediano	4	2
2	Vehículo de Carga	4	2
3	Vehículo de Reparto	4	2
4	Autobús Pequeño	4	2
5	Autobús Mediano	4	2
6	Autobús Pesado	6	3
7	Camión Liviano	4	2
8	Camión Mediano	6	3
9	Camión Articulado	12	6

Nota. La figura presenta la clasificación de vehículos según número de ruedas y ejes, utilizada para la caracterización de la flota en el modelo RED y el análisis de costos operativos de la vía CU-110.

Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan todos los tipos de vehículos presentes en la vía, con la posibilidad de colocar y/o modificar el número de ruedas y numero de ejes, según sea necesario. En el caso de los

vehículos contenidos en el ítem *Camión Articulado*, se ingresaron las características del vehículo más representativo de la vía CU-110, que fue el *Semi Trayler 3S1/3S2*.

Características de la flota vehicular:

Figura 31

Características de la flota vehicular de la vía CU-110

Características de la Flota de Vehículos									
	Automóvil Mediano	Vehículo de Carga	Vehículo de Reparto	Autobús Pequeño	Autobús Mediano	Autobús Pesado	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Articulado
Costos Económicos Unitarios									
Costo de Vehículo Nuevo (\$/vehículo)	11 390	28 880	29 990	18 790	60 000	80 000	50 000	70 000	130 000
Costo del Combustible (\$/litro TM, \$MJ para TNM)	1,19	1,19	1,19	1,19	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
Costo del Lubricante (\$/litro)	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06
Costo de Neumático Nuevo (\$/neumático)	73,92	120,16	65,80	155,91	236,83	236,83	363,71	363,71	465,59
Costo de Labor de Mantenimiento (\$/hora)	16,00	17,60	19,20	20,00	21,60	24,00	19,20	21,60	28,00
Costo de la Tripulación (\$/hora)	2,69	2,69	2,69	2,69	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03
Tasa de Interés (%)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Utilización y Carga									
Kilómetros Conducidos por Año (km)	20 000	40 000	30 000	40 000	50 000	40 000	40 000	40 000	80 000
Horas Conducidas por Año (hr)	1 000	1 500	1 200	1 500	2 000	1 500	1 500	1 500	2 500
Vida útil (años)	10	8	8	10	12	15	10	10	15
Porcentaje de Tiempo para Uso Privado (%)	90,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso Bruto de Vehículo (toneladas)	1,20	2,00	3,50	3,70	18,00	23,00	18,00	25,00	48,00

Nota. La figura presenta los costos unitarios y parámetros de utilización de distintos tipos de vehículos empleados en el modelo RED, utilizados para estimar los costos operativos de la flota vehicular en la vía CU-110. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan los valores correspondientes a cada tipo de vehículo, según las Tablas 12 y 13 elaboradas anteriormente.

Coefficientes de costos operativos vehiculares:

Hace referencia a los coeficientes de la ecuación polinómica para obtener los COV (Costos Operativos Vehiculares). Estos coeficientes son de gran relevancia para el módulo principal de evaluación, los coeficientes deben copiarse y pegar en la pestaña costos operativos del módulo principal. En la tabla mostrada a continuación se detallan los coeficientes para cada tipo de camino y tipo de terreno; en nuestro caso la vía CU-110 presenta un Terreno A – Llano, con tipo de Camino X – Pavimento. También se observan los coeficientes para la rugosidad de vía, que en este caso es de 4,1.

Figura 32

Se observan los coeficientes de costos operativos de la vía CU 110.

			VOC (\$/veh-km) en Función de la Rugosidad (IRI)				Columnas para Chequear Relaciones		
			VOC = a0 + a1*IRI + a2*IRI ² + a3*IRI ³				VOC para IRI = 2.0	VOC para IRI = 4.1	VOC para IRI = 6.0
			a0	a1	a2	a3	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)
AX1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.221815	0.001759	0.000346	-0.000005	0.227	0.235	0.244
AX2	Llano	Vehículo de Carga	0.340444	0.006806	0.000693	-0.000014	0.357	0.379	0.403
AX3		Vehículo de Reparto	0.380035	0.007049	0.000964	-0.000021	0.398	0.424	0.453
AX4	Camino: X	Autobús Pequeño	0.316340	0.004651	0.000546	-0.000008	0.328	0.344	0.362
AX5	Pavimento	Autobús Mediano	0.605995	0.029481	0.000244	-0.000005	0.666	0.731	0.791
AX6		Autobús Pesado	0.811044	0.026383	0.001195	-0.000021	0.868	0.939	1.008
AX7		Camión Liviano	0.668068	0.029811	0.000466	-0.000011	0.729	0.798	0.861
AX8		Camión Mediano	0.850643	0.032828	0.000774	-0.000018	0.919	0.998	1.072
AX9		Camión Articulado	1.648960	0.055430	0.001755	-0.000023	1.767	1.905	2.040
AY1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.215407	0.003997	0.000344	-0.000005	0.225	0.237	0.251
AY2	Llano	Vehículo de Carga	0.335400	0.009466	0.000731	-0.000015	0.357	0.386	0.415
AY3		Vehículo de Reparto	0.360450	0.010596	0.001065	-0.000024	0.386	0.420	0.457
AY4	Camino: Y	Autobús Pequeño	0.308835	0.008193	0.000584	-0.000009	0.327	0.352	0.377
AY5	Afirmado	Autobús Mediano	0.587938	0.041447	0.000294	-0.000007	0.672	0.763	0.846
AY6		Autobús Pesado	0.798840	0.041243	0.001226	-0.000022	0.886	0.988	1.086
AY7		Camión Liviano	0.638397	0.048065	0.000554	-0.000014	0.737	0.845	0.944
AY8		Camión Mediano	0.799091	0.055394	0.000538	-0.000015	0.912	1.035	1.148
AY9		Camión Articulado	4.030299	-0.344935	0.026220	-0.000467	3.442	3.022	2.804
AZ1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.221011	0.004707	0.000253	-0.000003	0.231	0.245	0.258
AZ2	Llano	Vehículo de Carga	0.339560	0.011021	0.000578	-0.000011	0.364	0.394	0.424
AZ3		Vehículo de Reparto	0.383329	0.011778	0.000811	-0.000017	0.410	0.444	0.479
AZ4	Camino: Z	Autobús Pequeño	0.316897	0.009695	0.000410	-0.000005	0.338	0.363	0.389
AZ5	Tierra	Autobús Mediano	0.599420	0.042095	0.000194	-0.000004	0.684	0.776	0.858
AZ6		Autobús Pesado	0.804805	0.043510	0.000969	-0.000016	0.896	0.999	1.097
AZ7		Camión Liviano	0.656744	0.046827	0.000568	-0.000014	0.753	0.858	0.955
AZ8		Camión Mediano	0.838520	0.050750	0.000733	-0.000017	0.943	1.059	1.166
AZ9		Camión Articulado	1.621105	0.088898	0.001522	-0.000017	1.805	2.012	2.206
BX1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.221767	0.001756	0.000347	-0.000005	0.227	0.235	0.244
BX2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.340305	0.006797	0.000694	-0.000014	0.357	0.379	0.403
BX3		Vehículo de Reparto	0.379735	0.007031	0.000966	-0.000021	0.397	0.424	0.452
BX4	Camino: X	Autobús Pequeño	0.315976	0.004629	0.000548	-0.000008	0.327	0.344	0.362
BX5	Pavimento	Autobús Mediano	0.603611	0.029314	0.000260	-0.000005	0.663	0.728	0.788
BX6		Autobús Pesado	0.808593	0.026233	0.001212	-0.000022	0.866	0.936	1.005
BX7		Camión Liviano	0.663506	0.029367	0.000500	-0.000012	0.724	0.792	0.855
BX8		Camión Mediano	0.846466	0.032621	0.000795	-0.000018	0.915	0.993	1.067
BX9		Camión Articulado	1.642912	0.055125	0.001790	-0.000024	1.760	1.899	2.033
BY1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.215398	0.003989	0.000345	-0.000005	0.225	0.237	0.251
BY2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.335109	0.009479	0.000731	-0.000015	0.357	0.386	0.415
BY3		Vehículo de Reparto	0.359530	0.010647	0.001065	-0.000024	0.385	0.420	0.457
BY4	Camino: Y	Autobús Pequeño	0.308165	0.008211	0.000585	-0.000009	0.327	0.351	0.376
BY5	Afirmado	Autobús Mediano	0.597202	0.039264	0.000412	-0.000009	0.677	0.765	0.846
BY6		Autobús Pesado	0.784453	0.042765	0.001170	-0.000022	0.874	0.979	1.079
BY7		Camión Liviano	0.636986	0.046723	0.000656	-0.000017	0.733	0.839	0.937
BY8		Camión Mediano	0.840072	0.048180	0.000897	-0.000020	0.940	1.052	1.157
BY9		Camión Articulado	1.702239	0.073743	0.002340	-0.000031	1.859	2.044	2.222
BZ1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.220971	0.004703	0.000254	-0.000003	0.231	0.244	0.258
BZ2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.339434	0.011013	0.000579	-0.000011	0.364	0.394	0.424
BZ3		Vehículo de Reparto	0.383072	0.011759	0.000813	-0.000017	0.410	0.444	0.479
BZ4	Camino: Z	Autobús Pequeño	0.316580	0.009669	0.000413	-0.000005	0.338	0.363	0.388
BZ5	Tierra	Autobús Mediano	0.597171	0.041909	0.000203	-0.000004	0.682	0.773	0.855
BZ6		Autobús Pesado	0.802653	0.043336	0.000986	-0.000016	0.893	0.997	1.095
BZ7		Camión Liviano	0.652074	0.046278	0.000612	-0.000015	0.747	0.852	0.949
BZ8		Camión Mediano	0.834369	0.050622	0.000739	-0.000017	0.938	1.054	1.161
BZ9		Camión Articulado	1.615500	0.088563	0.001557	-0.000018	1.799	2.006	2.199
CX1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.221767	0.001756	0.000347	-0.000005	0.227	0.235	0.244
CX2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.340305	0.006797	0.000694	-0.000014	0.357	0.379	0.403
CX3		Vehículo de Reparto	0.379735	0.007031	0.000966	-0.000021	0.397	0.424	0.452
CX4	Camino: X	Autobús Pequeño	0.315976	0.004629	0.000548	-0.000008	0.327	0.344	0.362
CX5	Pavimento	Autobús Mediano	0.603611	0.029314	0.000260	-0.000005	0.663	0.728	0.788
CX6		Autobús Pesado	0.808593	0.026233	0.001212	-0.000022	0.866	0.936	1.005
CX7		Camión Liviano	0.663506	0.029367	0.000500	-0.000012	0.724	0.792	0.855
CX8		Camión Mediano	0.846466	0.032621	0.000795	-0.000018	0.915	0.993	1.067
CX9		Camión Articulado	1.642912	0.055125	0.001790	-0.000024	1.760	1.899	2.033
CY1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.215398	0.003989	0.000345	-0.000005	0.225	0.237	0.251
CY2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.335109	0.009479	0.000731	-0.000015	0.357	0.386	0.415
CY3		Vehículo de Reparto	0.359530	0.010647	0.001065	-0.000024	0.385	0.420	0.457
CY4	Camino: Y	Autobús Pequeño	0.308165	0.008211	0.000585	-0.000009	0.327	0.351	0.376
CY5	Afirmado	Autobús Mediano	0.597202	0.039264	0.000412	-0.000009	0.677	0.765	0.846
CY6		Autobús Pesado	0.784453	0.042765	0.001170	-0.000022	0.874	0.979	1.079
CY7		Camión Liviano	0.636986	0.046723	0.000656	-0.000017	0.733	0.839	0.937
CY8		Camión Mediano	0.840072	0.048180	0.000897	-0.000020	0.940	1.052	1.157
CY9		Camión Articulado	1.702239	0.073743	0.002340	-0.000031	1.859	2.044	2.222
CZ1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.220971	0.004703	0.000254	-0.000003	0.231	0.244	0.258
CZ2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.339434	0.011013	0.000579	-0.000011	0.364	0.394	0.424
CZ3		Vehículo de Reparto	0.383072	0.011759	0.000813	-0.000017	0.410	0.444	0.479
CZ4	Camino: Z	Autobús Pequeño	0.316580	0.009669	0.000413	-0.000005	0.338	0.363	0.388
CZ5	Tierra	Autobús Mediano	0.597171	0.041909	0.000203	-0.000004	0.682	0.773	0.855
CZ6		Autobús Pesado	0.802653	0.043336	0.000986	-0.000016	0.893	0.997	1.095
CZ7		Camión Liviano	0.652074	0.046278	0.000612	-0.000015	0.747	0.852	0.949
CZ8		Camión Mediano	0.834369	0.050622	0.000739	-0.000017	0.938	1.054	1.161
CZ9		Camión Articulado	1.615500	0.088563	0.001557	-0.000018	1.799	2.006	2.199

Nota. Coeficientes de costos operativos. En CU 110 se emplearon los valores propios a terreno llano (A) y camino asfaltado (X). El software utiliza el sistema inglés, por lo tanto se usó el punto como separador decimal. Fuente: Elaboración propia.

Costos operativos vehiculares (COV):

Figura 33

Costos operativos vehiculares (COV) propios de la vía CU-110.

		Costos Operativos de Vehículo									
Código	Nombre	Automóvil	Vehículo	Vehículo	Autobús	Autobús	Autobús	Camión	Camión	Camión	Flota de
(Etiqueta)	(Etiqueta)	Mediano	de Carga	de Reparto	Pequeño	Mediano	Pesado	Liviano	Mediano	Articulado	Vehículos
		(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	Promedio
AX-02	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 02	0,23	0,36	0,40	0,33	0,68	0,88	0,74	0,94	1,78	0,55
AX-03	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 03	0,23	0,36	0,41	0,33	0,69	0,89	0,75	0,95	1,80	0,56
AX-04	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 04	0,23	0,37	0,42	0,35	0,72	0,93	0,79	0,98	1,89	0,56
AX-05	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 05	0,24	0,39	0,43	0,35	0,76	0,97	0,82	1,03	1,98	0,61
AX-06	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 06	0,24	0,40	0,45	0,36	0,79	1,01	0,86	1,07	2,05	0,63
AX-07	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 07	0,25	0,42	0,47	0,37	0,83	1,05	0,90	1,11	2,13	0,65
AX-08	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 08	0,26	0,45	0,40	0,39	0,89	1,19	0,93	1,16	2,20	0,68
AX-09	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 09	0,28	0,45	0,51	0,40	0,99	1,13	0,97	1,20	2,27	0,70
AX-10	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 10	0,27	0,47	0,53	0,41	0,92	1,17	1,00	1,24	2,35	0,73
AX-11	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 11	0,28	0,48	0,55	0,42	0,95	1,21	1,04	1,28	2,43	0,75
AX-12	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 12	0,28	0,50	0,57	0,44	0,99	1,26	1,18	1,33	2,52	0,78
AX-13	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 13	0,39	0,52	0,59	0,45	1,02	1,31	1,11	1,37	2,61	0,80
AX-14	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 14	0,30	0,53	0,61	0,47	1,05	1,35	1,15	1,41	2,79	0,88
AX-15	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 15	0,31	0,55	0,63	0,48	1,09	1,40	1,18	1,46	2,79	0,86
AX-16	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 16	0,32	0,57	0,68	0,51	1,12	1,55	1,22	1,50	2,89	0,99
AX-17	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 17	0,33	0,69	0,68	0,51	1,15	1,50	1,26	1,55	2,99	0,91
AX-18	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 18	0,34	0,61	0,70	0,56	1,19	1,65	1,29	1,59	3,08	0,94
AX-19	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 19	0,35	0,63	0,72	0,55	1,22	1,60	1,43	1,63	3,18	0,97
AX-20	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 20	0,36	0,64	0,74	0,56	1,25	1,65	1,46	1,67	3,28	1,00
AX-21	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 21	0,37	0,68	0,76	0,68	1,29	1,69	1,40	1,72	3,37	1,02
AX-22	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 22	0,38	0,68	0,78	0,60	1,32	1,74	1,43	1,76	3,47	1,05
AX-23	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 23	0,39	0,70	0,80	0,61	1,35	1,79	1,47	1,80	3,57	1,08
AX-24	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 24	0,40	0,71	0,82	0,63	1,39	1,84	1,50	1,84	3,67	1,11
AX-25	Terreno A / Tipo X - Rugosidad 25	0,41	0,73	0,84	0,65	1,42	1,88	1,54	1,88	3,76	1,13

Nota. En la figura se muestran todos los COV propios de la vía CU 110, los datos de interés corresponden a un IRI igual a 4, que es el IRI de la vía en análisis. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

*Los datos resaltados de amarillo corresponden a los costos operativos vehiculares propios de la vía CU-110, los costos operativos se están calculando para una rugosidad de 4, que es propia de la vía CU-110.

Vía CU-902 – Vía afirmada (Zurite-Huarocondo)

Parámetros del tipo de terreno:

Figura 34

Parámetros del tipo de terreno de la vía CU-902.

Tipos de Terreno					
Código	Descripción	Rampas Ascendentes y Descendentes (m/km)	Curvatura Horizontal (grados/km)	N. de Rampas Ascendentes y Descendentes (#)	Peralte (%)
A	Llano	24	83	2	3
B	Ondulado	1	1	1	1
C	Montañoso	1	1	1	1

*Nota: Se colocan los datos según la opción de terreno, los demás valores serán 1.

Nota. La figura muestra los parámetros técnicos asociados a distintos tipos de terreno (llano, ondulado y montañoso), incluyendo rampas, curvatura y peralte, empleados en la caracterización geométrica de la vía CU-902. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan los valores de rampas ascendentes y descendentes, curvatura horizontal y peralte, obtenidos para la vía CU-902. El tipo de terreno es llano ya que presenta una pendiente longitudinal menor a 3%.

El resto de valores de los demás tipos de terreno se completa con “1”, para que el modelo solo trabaje con el terreno llano.

Parámetros del tipo de camino:

Figura 35

Parámetros del tipo de camino de la vía CU-902.

Tipos de Camino							
Código	Descripción	Superficie 1-Bituminosa 2-Concreto 3-Sin Pavimentar	Ancho del Camino (m)	Límite de Velocidad (km/hora)	Coacción del Límite de Velocidad (#)	Fricción de Actividades Laterales (#)	Fricción del TNM (#)
X	Pavimento	1	4,3	50,0	1,0	1,0	1,0
Y	Afirmado	3		40,0	1,1	1,0	1,0
Z	Tierra	3		50,0	1,0	1,0	1,0

*Nota: Cuando no existe el tipo de camino, se debe dejar la celda vacía.

Nota. La figura presenta los parámetros técnicos de distintos tipos de camino (afirmado y tierra), incluyendo superficie, ancho, límite de velocidad y coeficientes de fricción, empleados en el cálculo de costos operativos vehiculares de la vía CU-902. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se colocan los datos correspondientes para el camino del tipo Afirmado correspondiente a la vía CU-902. Para que el modelo RED no considere los demás valores de otros tipos de camino, no se ingresa el dato en la casilla Ancho de Camino (m). El límite de velocidad para la vía es de 40 km/hora debido a que aproximadamente a esa velocidad circulan en promedio los vehículos.

Tipología vehicular:

Figura 36

Tipología vehicular propia de la vía CU-902.

Tipos de Vehículo			
Código	Descripción	Número de Ruedas	Número de Ejes
1	Automóvil Mediano	4	2
2	Vehículo de Carga	4	2
3	Autobús Pequeño	4	2
4	Camión Liviano	4	2
5	No Utilizado	#N/D	#N/D
6	No Utilizado	#N/D	#N/D
7	No Utilizado	#N/D	#N/D
8	No Utilizado	#N/D	#N/D
9	No Utilizado	#N/D	#N/D

Nota. La figura presenta la clasificación de vehículos según número de ruedas y ejes, utilizada para la caracterización de la flota en el modelo RED y el análisis de costos operativos de la vía CU-902.

Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan todos los tipos de vehículos presentes en la vía, con la posibilidad de colocar y/o modificar el número de ruedas y numero de ejes, según sea necesario.

Características de la flota vehicular:

Figura 37

Características de la flota vehicular presente en la vía CU-902.

Características de la Flota de Vehículos				
	Automóvil Mediano	Vehículo de Carga	Autobús Pequeño	Camión Liviano
Costos Económicos Unitarios				
Costo de Vehículo Nuevo (\$/vehículo)	11 390	28880	18790	50000
Costo del Combustible (\$/litro para TM, \$/MJ para TNM)	1,19	1,19	1,19	1,33
Costo del Lubricante (\$/litro)	8,06	8,06	8,06	8,06
Costo de Neumático Nuevo (\$/neumático)	73,92	120,16	155,91	363,71
Costo de Labor de Mantenimiento (\$/hora)	16,00	17,60	20,00	19,20
Costo de la Tripulación (\$/hora)	2,69	2,69	2,69	4,03
Tasa de Interés (%)	8,00	8,00	8,00	8,00
Utilización y Carga				
Kilómetros Conducidos por Año (km)	20 000	40 000	40 000	40 000
Horas Conducidas por Año (hr)	1000	1500	1500	1500
Vida útil (años)	10	8	10	10
Porcentaje de Tiempo para Uso Privado (%)	90,00	10,00	0,00	0,00
Peso Bruto de Vehículo (toneladas)	1,20	2,00	3,70	18,00

Nota. La figura presenta los costos unitarios y parámetros de utilización de distintos tipos de vehículos empleados en el modelo RED, utilizados para estimar los costos operativos de la flota vehicular en la vía CU 902. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan los valores correspondientes a cada tipo de vehículo, según las Tablas 12 y 13 elaboradas anteriormente.

Coefficientes de costos operativos vehiculares:

Hace referencia a los coeficientes de la ecuación polinómica para obtener los COV de la vía CU-902. En la tabla mostrada a continuación se detallan los coeficientes para cada tipo de camino y tipo de terreno; en nuestro caso la vía CU-902 presenta un Terreno A – Llano, con tipo de Camino Y – Afirmado. También se observan los coeficientes para la rugosidad de vía, que en este caso es de 3,2.

Figura 38

Coeficientes de los costos operativos vehiculares de la vía CU 902.

			VOC (\$/veh-km) en Función de la Rugosidad (IRI)				Columnas para Chequear Relaciones		
			VOC = $a_0 + a_1 \cdot IRI + a_2 \cdot IRI^2 + a_3 \cdot IRI^3$				VOC para IRI =	VOC para IRI =	VOC para IRI =
			a0	a1	a2	a3	2.0	3.2	6.0
							(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)
AX1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.225751	0.002211	0.000286	-0.000003	0.231	0.236	0.249
AX2	Llano	Vehículo de Carga	0.347148	0.007514	0.000600	-0.000011	0.364	0.377	0.411
AX3		Autobús Pequeño	0.330763	0.005138	0.000456	-0.000006	0.343	0.352	0.377
AX4	Camino: X	Camión Liviano	0.830430	0.029032	0.000349	-0.000010	0.890	0.927	1.015
AX5	Pavimento	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.227632	0.005353	0.000168	-0.000001	0.239	0.246	0.266
AY2	Llano	Vehículo de Carga	0.350383	0.012011	0.000446	-0.000008	0.376	0.393	0.437
AY3		Autobús Pequeño	0.335166	0.010270	0.000296	-0.000002	0.357	0.371	0.407
AY4	Camino: Y	Camión Liviano	0.847063	0.032078	0.001228	-0.000027	0.916	0.961	1.078
AY5	Afirmado	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.221531	0.004756	0.000250	-0.000003	0.232	0.239	0.258
AZ2	Llano	Vehículo de Carga	0.341356	0.011119	0.000569	-0.000011	0.366	0.382	0.426
AZ3		Autobús Pequeño	0.324896	0.009399	0.000423	-0.000005	0.345	0.359	0.395
AZ4	Camino: Z	Camión Liviano	0.836801	0.031598	0.001326	-0.000030	0.905	0.951	1.068
AZ5	Tierra	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.225149	0.002178	0.000289	-0.000003	0.231	0.235	0.248
BX2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.345220	0.007410	0.000610	-0.000012	0.362	0.375	0.409
BX3		Autobús Pequeño	0.321592	0.005317	0.000454	-0.000006	0.334	0.343	0.369
BX4	Camino: X	Camión Liviano	0.669424	0.029688	0.000446	-0.000010	0.731	0.769	0.861
BX5	Pavimento	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.227116	0.005307	0.000171	-0.000001	0.238	0.246	0.265
BY2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.348609	0.011928	0.000453	-0.000008	0.374	0.391	0.435
BY3		Autobús Pequeño	0.326690	0.010706	0.000272	-0.000002	0.349	0.364	0.400
BY4	Camino: Y	Camión Liviano	0.665775	0.045716	0.000590	-0.000014	0.759	0.818	0.958
BY5	Afirmado	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.220971	0.004703	0.000254	-0.000003	0.231	0.239	0.258
BZ2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.339434	0.011013	0.000579	-0.000011	0.364	0.380	0.424
BZ3		Autobús Pequeño	0.316580	0.009669	0.000413	-0.000005	0.338	0.352	0.388
BZ4	Camino: Z	Camión Liviano	0.652074	0.046278	0.000612	-0.000015	0.747	0.806	0.949
BZ5	Tierra	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.225149	0.002178	0.000289	-0.000003	0.231	0.235	0.248
CX2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.345220	0.007410	0.000610	-0.000012	0.362	0.375	0.409
CX3		Autobús Pequeño	0.321592	0.005317	0.000454	-0.000006	0.334	0.343	0.369
CX4	Camino: X	Camión Liviano	0.669424	0.029688	0.000446	-0.000010	0.731	0.769	0.861
CX5	Pavimento	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.227116	0.005307	0.000171	-0.000001	0.238	0.246	0.265
CY2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.348609	0.011928	0.000453	-0.000008	0.374	0.391	0.435
CY3		Autobús Pequeño	0.326690	0.010706	0.000272	-0.000002	0.349	0.364	0.400
CY4	Camino: Y	Camión Liviano	0.665775	0.045716	0.000590	-0.000014	0.759	0.818	0.958
CY5	Afirmado	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.220971	0.004703	0.000254	-0.000003	0.231	0.239	0.258
CZ2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.339434	0.011013	0.000579	-0.000011	0.364	0.380	0.424
CZ3		Autobús Pequeño	0.316580	0.009669	0.000413	-0.000005	0.338	0.352	0.388
CZ4	Camino: Z	Camión Liviano	0.652074	0.046278	0.000612	-0.000015	0.747	0.806	0.949
CZ5	Tierra	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000

Nota. Coeficientes de costos operativos vía CU 902. Se usaron los valores propios a terreno llano (A) y camino afirmado (Y). El software utiliza el sistema inglés, por lo tanto se usó el punto como separador decimal. Fuente: Elaboración propia.

Costos operativos vehiculares (COV):

Figura 39

Costos operativos vehiculares (COV) de la vía CU-902.

Costos Operativos de Vehículo										
Código (Etiqueta)	Nombre (Etiqueta)	Automóvil Mediano (\$/veh-km)	Vehículo de Carga (\$/veh-km)	Autobús Pequeño (\$/veh-km)	Camión Liviano (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	Flota de Vehículos Promedio (\$/veh-km)
AY-02	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 02	0,24	0,38	0,36	0,93					0,35
AY-03	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 03	0,24	0,39	0,37	0,95					0,36
AY-04	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 04	0,25	0,40	0,38	0,99					0,37
AY-06	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 05	0,25	0,42	0,41	1,08					0,40
AY-06	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 06	0,27	0,45	0,42	1,12					0,42
AY-07	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 07	0,27	0,45	0,42	1,17					0,43
AY-08	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 08	0,29	0,47	0,44	1,17					0,45
AY-09	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 09	0,30	0,45	0,45	1,26					0,46
AY-10	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 10	0,30	0,51	0,47	1,31					0,46
AY-11	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 11	0,31	0,55	0,50	1,36					0,46
AY-12	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 12	0,31	0,56	0,50	1,36					0,59
AY-13	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 13	0,32	0,56	0,51	1,41					0,51
AY-14	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 14	0,33	0,58	0,53	1,47					0,53
AY-15	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 15	0,34	0,60	0,55	1,52					0,54
AY-16	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 16	0,35	0,62	0,56	1,57					0,56
AY-17	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 17	0,36	0,64	0,58	1,61					0,58
AY-18	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 18	0,37	0,68	0,60	1,66					0,60
AY-19	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 19	0,40	0,60	0,62	1,76					0,63
AY-20	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 20	0,40	0,70	0,64	1,81					0,65
AY-21	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 21	0,41	0,72	0,66	1,81					0,65
AY-22	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 22	0,42	0,74	0,68	1,85					0,67
AY-23	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 23	0,43	0,76	0,70	1,90					0,70
AY-24	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 24	0,45	0,78	0,72	1,95					0,70
AY-25	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 25	0,45	0,81	0,74	2,00					0,72

Nota. En la figura se muestran todos los COV propios de la vía CU 902, los datos de interés corresponden a un IRI igual a 3, que es el IRI de la vía en estudio. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

*Los datos resaltados de amarillo corresponden a los costos operativos vehiculares propios de la vía CU-902, los costos operativos se están calculando para una rugosidad de 3, que es propia de la vía CU-902.

Vía CU-905 – Vía afirmada (Zurite-Haparquilla-Izcuchaca)

Parámetros del tipo de terreno

Figura 40

Parámetros del tipo de terreno de la vía CU-905.

Tipos de Terreno					
Código	Descripción	Rampas Ascendentes y Descendentes (m/km)	Curvatura Horizontal (grados/km)	N. de Rampas Ascendentes y Descendentes (#)	Peralte (%)
A	Llano	22	31	3	3,6
B	Ondulado	1	1	1	1
C	Montañoso	1	1	1	1

*Nota: Se colocan los datos según la opción de terreno, los demás valores serán 1.

Nota. La figura muestra los parámetros técnicos asociados a distintos tipos de terreno (llano, ondulado y montañoso), incluyendo rampas, curvatura y peralte, empleados en la caracterización geométrica de la vía CU-905. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan los valores de rampas ascendentes y descendentes, curvatura horizontal y peralte, obtenidos para la vía CU-905. El tipo de terreno es llano ya que presenta una pendiente longitudinal menor a 3%. El resto de valores de los demás tipos de terreno se completa con “1”, para que el modelo solo trabaje con el terreno llano.

Parámetros del tipo de camino:

Figura 41

Parámetros del tipo de camino de la vía CU-905

Tipos de Camino							
Código	Descripción	Superficie 1-Bituminosa 2-Concreto 3-Sin Pavimentar	Ancho del Camino (m)	Límite de Velocidad (km/hora)	Coacción del Límite de Velocidad (#)	Fricción de Actividades Laterales (#)	Fricción del TNM (#)
X	Pavimento	1	5,8	50,0	1,1	1,0	1,0
Y	Afirmado	3	4,7	40,0	1,1	1,0	1,0
Z	Tierra	3		50,0	1,0	1,0	1,0

*Nota: cuando no existe el tipo de camino, se debe dejar la celda vacía

Nota. La figura presenta los parámetros técnicos de distintos tipos de camino (afirmado y tierra), incluyendo superficie, ancho, límite de velocidad y coeficientes de fricción, empleados en el cálculo de costos operativos vehiculares de la vía CU-905. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se colocan los datos correspondientes para el camino del tipo Afirmado correspondiente a la vía CU-905. Para que el modelo RED no considere los demás valores de otros tipos de camino, no se ingresa el dato en la casilla Ancho de Camino (m). El límite de velocidad para la vía es de 40 km/hora debido a que aproximadamente a esa velocidad circulan en promedio los vehículos.

Tipología vehicular:

Figura 42

Tipología vehicular de la vía CU-905

Tipos de Vehículo			
Código	Descripción	Número de Ruedas	Número de Ejes
1	Automóvil Mediano	4	2
2	Vehículo de Carga	4	2
3	Autobús Pequeño	4	2
4	Camión Liviano	4	2
5	No Utilizado	#N/D	#N/D
6	No Utilizado	#N/D	#N/D
7	No Utilizado	#N/D	#N/D
8	No Utilizado	#N/D	#N/D
9	No Utilizado	#N/D	#N/D

Nota. La figura presenta la clasificación de vehículos según número de ruedas y ejes, utilizada para la caracterización de la flota en el modelo RED y el análisis de costos operativos de la vía CU-905. En la vía existe tránsito de 4 tipos de vehículos: Automóvil mediano, vehículo de carga, autobús pequeño y camión liviano. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan todos los tipos de vehículos presentes en la vía, con la posibilidad de colocar y/o modificar el número de ruedas y numero de ejes, según sea necesario.

Características de la flota vehicular:

Figura 43

Características de la flota vehicular de la vía CU-905.

Características de la Flota de Vehículos				
	Automóvil Mediano	Vehículo de Carga	Autobús Pequeño	Camión Liviano
Costos Económicos Unitarios				
Costo de Vehículo Nuevo (\$/vehículo)	11 390	28 880	18 790	50 000
Costo del Combustible (\$/litro para TM, \$/MJ para TNM)	1,19	1,19	1,19	1,33
Costo del Lubricante (\$/litro)	8,06	8,06	8,06	8,06
Costo de Neumático Nuevo (\$/neumático)	73,92	120,16	155,91	363,71
Costo de Labor de Mantenimiento (\$/hora)	16,00	17,60	20,00	19,20
Costo de la Tripulación (\$/hora)	2,69	2,69	2,69	4,03
Tasa de Interés (%)	8,00	8,00	8,00	8,00
Utilización y Carga				
Kilómetros Conducidos por Año (km)	20 000	40 000	40 000	40 000
Horas Conducidas por Año (hr)	1 000	1 500	1 500	1 500
Vida útil (años)	10	8	10	10
Porcentaje de Tiempo para Uso Privado (%)	90,00	10,00	0,00	0,00
Peso Bruto de Vehículo (toneladas)	1,20	2,00	3,70	18,00

Nota. La figura presenta los costos unitarios y parámetros de utilización de distintos tipos de vehículos empleados en el modelo RED, utilizados para estimar los costos operativos de la flota vehicular en la vía CU 905. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Se ingresan los valores correspondientes a cada tipo de vehículo, según las Tablas 12 y 13 elaboradas anteriormente.

Coeficientes de costos operativos vehiculares:

Hace referencia a los coeficientes de la ecuación polinómica para obtener los COV de la vía CU-905. En la tabla mostrada a continuación se detallan los coeficientes para cada tipo de camino y tipo de terreno; en nuestro caso la vía CU-905 presenta un Terreno A – Llano, con tipo de Camino Y – Afirmado. También se observan los coeficientes para la rugosidad de vía, que en este caso es de 4,8.

Figura 44

Se observan los coeficientes de los costos operativos de la vía CU 905.

			VOC (\$/veh-km) en Función de la Rugosidad (IRI)				Columnas para Chequear Relaciones		
			VOC = a0 + a1*IRI + a2*IRI ² + a3*IRI ³				VOC para IRI = 2.0	VOC para IRI = 4.8	VOC para IRI = 6.0
			a0	a1	a2	a3	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)	(\$/veh-km)
AX1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.222297	0.001785	0.000344	-0.000005	0.227	0.238	0.244
AX2	Llano	Vehículo de Carga	0.342025	0.006892	0.000684	-0.000013	0.358	0.390	0.405
AX3		Autobús Pequeño	0.322790	0.004630	0.000538	-0.000008	0.334	0.357	0.368
AX4	Camino: X	Camión Liviano	0.797309	0.028408	0.000434	-0.000012	0.856	0.944	0.981
AX5	Pavimento	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AX9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.227545	0.005345	0.000168	-0.000001	0.239	0.257	0.266
AY2	Llano	Vehículo de Carga	0.350092	0.011997	0.000448	-0.000008	0.376	0.418	0.436
AY3		Autobús Pequeño	0.333292	0.010389	0.000292	-0.000002	0.355	0.390	0.406
AY4	Camino: Y	Camión Liviano	0.819636	0.031103	0.001489	-0.000035	0.888	1.001	1.052
AY5	Afirmado	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AY9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ1	Terreno: A	Automóvil Mediano	0.221432	0.004747	0.000250	-0.000003	0.232	0.250	0.258
AZ2	Llano	Vehículo de Carga	0.341034	0.011101	0.000571	-0.000011	0.365	0.407	0.426
AZ3		Autobús Pequeño	0.322885	0.009546	0.000416	-0.000005	0.344	0.378	0.394
AZ4	Camino: Z	Camión Liviano	0.808306	0.030982	0.001558	-0.000037	0.876	0.991	1.042
AZ5	Tierra	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
AZ9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.221767	0.001756	0.000347	-0.000005	0.227	0.238	0.244
BX2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.340305	0.006797	0.000694	-0.000014	0.357	0.388	0.403
BX3		Autobús Pequeño	0.315976	0.004629	0.000548	-0.000008	0.327	0.350	0.362
BX4	Camino: X	Camión Liviano	0.663506	0.029367	0.000500	-0.000012	0.724	0.816	0.855
BX5	Pavimento	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BX9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.227116	0.005307	0.000171	-0.000001	0.238	0.257	0.265
BY2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.348609	0.011928	0.000453	-0.000008	0.374	0.416	0.435
BY3		Autobús Pequeño	0.326690	0.010706	0.000272	-0.000002	0.349	0.385	0.400
BY4	Camino: Y	Camión Liviano	0.665775	0.045716	0.000590	-0.000014	0.759	0.899	0.958
BY5	Afirmado	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BY9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ1	Terreno: B	Automóvil Mediano	0.220971	0.004703	0.000254	-0.000003	0.231	0.249	0.258
BZ2	Ondulado	Vehículo de Carga	0.339434	0.011013	0.000579	-0.000011	0.364	0.405	0.424
BZ3		Autobús Pequeño	0.316580	0.009669	0.000413	-0.000005	0.338	0.372	0.388
BZ4	Camino: Z	Camión Liviano	0.652074	0.046278	0.000612	-0.000015	0.747	0.889	0.949
BZ5	Tierra	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
BZ9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.221767	0.001756	0.000347	-0.000005	0.227	0.238	0.244
CX2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.340305	0.006797	0.000694	-0.000014	0.357	0.388	0.403
CX3		Autobús Pequeño	0.315976	0.004629	0.000548	-0.000008	0.327	0.350	0.362
CX4	Camino: X	Camión Liviano	0.663506	0.029367	0.000500	-0.000012	0.724	0.816	0.855
CX5	Pavimento	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CX9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.227116	0.005307	0.000171	-0.000001	0.238	0.257	0.265
CY2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.348609	0.011928	0.000453	-0.000008	0.374	0.416	0.435
CY3		Autobús Pequeño	0.326690	0.010706	0.000272	-0.000002	0.349	0.385	0.400
CY4	Camino: Y	Camión Liviano	0.665775	0.045716	0.000590	-0.000014	0.759	0.899	0.958
CY5	Afirmado	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CY9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ1	Terreno: C	Automóvil Mediano	0.220971	0.004703	0.000254	-0.000003	0.231	0.249	0.258
CZ2	Montañoso	Vehículo de Carga	0.339434	0.011013	0.000579	-0.000011	0.364	0.405	0.424
CZ3		Autobús Pequeño	0.316580	0.009669	0.000413	-0.000005	0.338	0.372	0.388
CZ4	Camino: Z	Camión Liviano	0.652074	0.046278	0.000612	-0.000015	0.747	0.889	0.949
CZ5	Tierra	No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ6		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ7		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ8		No Utilizado					0.000	0.000	0.000
CZ9		No Utilizado					0.000	0.000	0.000

Nota. Coeficientes de costos operativos vía CU 905. Se usaron los valores propios a terreno llano (A) y camino afirmado (Y). El software utiliza el sistema inglés, por lo tanto se usó el punto como separador decimal. Fuente: Elaboración propia.

Costos operativos vehiculares (COV):

Figura 45

Costos operativos vehiculares (COV) de la vía CU-905.

Código (Etiqueta)	Nombre (Etiqueta)	Automóvil Mediano (\$/veh-km)	Vehículo de Carga (\$/veh-km)	Autobús Pequeño (\$/veh-km)	Camión Liviano (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	No Utilizado (\$/veh-km)	Flota de Vehículos Promedio (\$/veh-km)
AY-02	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 02	0.24	0.38	0.36	0.90						0.35
AY-03	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 03	0.24	0.39	0.36	0.92						0.36
AY-04	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 04	0.25	0.48	0.38	0.96						0.37
AY-05	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 05	0.26	0.42	0.39	1.01						0.38
AY-06	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 06	0.27	0.45	0.40	1.05						0.40
AY-07	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 07	0.27	0.45	0.42	1.10						0.41
AY-08	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 08	0.28	0.47	0.44	1.14						0.45
AY-09	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 09	0.29	0.41	0.45	1.19						0.45
AY-10	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 10	0.30	0.51	0.47	1.24						0.46
AY-11	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 11	0.31	0.55	0.58	1.30						0.48
AY-12	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 12	0.31	0.56	0.50	1.35						0.49
AY-13	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 13	0.32	0.56	0.51	1.40						0.51
AY-14	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 14	0.33	0.68	0.53	1.45						0.53
AY-15	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 15	0.34	0.62	0.55	1.51						0.54
AY-16	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 16	0.36	0.62	0.58	1.66						0.56
AY-17	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 17	0.36	0.64	0.58	1.71						0.58
AY-18	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 18	0.37	0.68	0.60	1.66						0.60
AY-19	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 19	0.38	0.68	0.62	1.75						0.61
AY-20	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 20	0.40	0.70	0.64	1.80						0.63
AY-21	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 21	0.41	0.72	0.66	1.80						0.65
AY-22	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 22	0.42	0.74	0.68	1.85						0.67
AY-23	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 23	0.43	0.76	0.70	1.90						0.69
AY-24	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 24	0.44	0.78	0.72	1.94						0.70
AY-25	Terreno A / Tipo Y - Rugosidad 25	0.45	0.81	0.74	1.99						0.72

Nota. En la figura se muestran todos los COV propios de la vía CU 905, los datos de interés corresponden a un IRI igual a 5, que es el IRI de la vía en estudio. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

*Los datos resaltados de amarillo corresponden a los costos operativos vehiculares propios de la vía CU-905, los costos operativos se están calculando para una rugosidad de 5, que es propia de la vía CU-905.

7.2.2 Determinación de la evaluación económica del proyecto

Como resultado del análisis realizado en el módulo principal del modelo RED, para cada alternativa de inversión se generan indicadores económicos que permiten evaluar su conveniencia y rentabilidad. Entre los principales resultados se encuentran el Valor Actual Neto (VAN), que mide la diferencia entre los beneficios y los costos actualizados a lo largo del horizonte de evaluación; la Tasa Interna de Retorno (TIR), que refleja la rentabilidad relativa de la inversión; y la Relación Beneficio/Costo (B/C), que expresa la proporción entre los beneficios obtenidos y los costos incurridos.

A continuación los resultados del análisis del módulo principal del modelo RED, para cada alternativa de inversión:

Vía CU-110 – Vía Asfaltada (Izcuchaca-Huarocondo)

Previamente, habiendo ingresado los datos de entrada del módulo principal de evaluación económica para la vía CU 110; se procede a realizar lo siguiente:

Se ingresan los costos de tiempo de pasajero dentro del modelo de evaluación RED:

Figura 46

Costos del tiempo de viaje para la vía CU-110.

Costos de Tiempo de Viaje

	Número de Pasajeros (#)	Costo de Tiempo de Pasajero (\$/pas-hr)	Costo de Tiempo de Retención de Carga (\$/veh-hr)
Automóvil Mediano	4	1,23	0,00
Vehículo de Carga	4	1,98	0,00
Vehículo de Reparto	4	0,74	0,00
Autobús Pequeño	14	0,45	0,00
Autobús Mediano	40	0,38	0,00
Autobús Pesado	50	0,39	0,00
Camión Liviano	3	5,56	0,00
Camión Mediano	3	5,79	0,00
Camión Articulado	3	9,48	0,00

Nota. Detalle de los costos estimados por tiempo de viaje y tipología de vehículo para la vía CU-110, expresados en dólares (\$). Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

No se ingresan los valores correspondientes a costo de tiempo de retención de carga, ya que no existe un tiempo considerable en el que la carga de transporte esté retenida.

A su vez se ingresan los costos por accidente (valor promedio) obtenido por:

Figura 47
Costo promedio por accidente dentro de la vía CU-110.

Costos de Accidentes	
	Costos en Dólares
Costo Medio por Accidente	6720

Nota. Costo promedio por accidente considerado para la vía CU-110. Fuente: Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS), elaboración propia.

Para la vía CU-110, el transito diario, según la tipología vehicular se muestra de la siguiente manera:

Figura 48
Tránsito diario, según la tipología vehicular, en la vía CU-110.

	Estación Seca		Tránsito Normal	
	Tránsito Diario 2024 (veh/día)	Composición 2024 (%)	Tránsito Diario 2043 (veh/día)	Composición 2043 (%)
Automóvil Mediano	1658	47%	2360	47%
Vehículo de Carga	646	18%	919	18%
Vehículo de Reparto	246	7%	350	7%
Autobús Pequeño	529	15%	753	15%
Autobús Mediano	80	2%	114	2%
Autobús Pesado	2	0%	3	0%
Camión Liviano	350	10%	498	10%
Camión Mediano	25	1%	36	1%
Camión Articulado	17	0%	24	0%
Total	3553	100%	5057	100%

Nota. Composición porcentual y volumen de tránsito diario (veh/día) registrado en el año base 2024 y su respectiva proyección al año horizonte 2043 bajo condiciones de tránsito normal y estación seca en la vía CU-110. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

El análisis se realizó con la tasa de crecimiento de tránsito igual a 4%:

Figura 49

Tasa de crecimiento del tránsito para la vía CU-110.

Tasa de Crecimiento del Tránsito (%)			
2024 - 2028	2029 - 2033	2034 - 2038	2039 - 2043
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		

Nota. Se observa la tasa de crecimiento del tránsito (4%) para la vía CU 110. La tasa de crecimiento es la misma para los periodos 2024 – 2028 y 2029 – 2033. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Por consiguiente las alternativas del proyecto se verían en resumen de la siguiente forma:

Figura 50

Tabla resumen de las alternativas de proyecto para la vía CU-110.

Alternativas de Proyecto - Principales Características				
	Sin Alternativa de Proyecto Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativas de Proyecto Alternativa 2	Alternativa 3
Descripción de la Alternativa	Mantener en Condición Mala	Mantenimiento Rutinario (Limpieza)	Mantenimiento Periódico (Recapeo)	Mejora de Carpeta Asfáltica
Tipo de Terreno (A/B/C) A: Llano B: Ondulado C: Montañoso	A	A	A	A
Tipo de Camino (X/Y/Z) X: Pavimento Y: Afirmado Z: Tierra	X	X	X	X
Estación Seca				
Longitud del Camino (km)	10,5	10,5	10,5	10,5
Rugosidad (IRI)	15,0	10,0	8,0	6,0
Duración de la Inversión en Años (0/1/2/3)	0	1	1	1
Porcentaje de Costos de Inversión en el Año 1 (%)	0%	100%	100%	100%
Porcentaje de Costos de Inversión en el Año 2 (%)	0%	0%	0%	0%
Porcentaje de Costos de Inversión en el Año 3 (%)	0%	0%	0%	0%
Costos Financieros de Inversión (000\$/km)	0,00	2,50	45,00	300,00
Costos Financieros Fijos de Mantenimiento (000\$/km/year)	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos Financieros Variables de Mantenimiento (000\$/km/year/TDA)	0,000	0,000	0,000	0,000

Nota. Cuadro comparativo de las características técnicas, operacionales y financieras de las alternativas de intervención propuestas frente a la situación base (Alternativa 0) para la vía CU 110, considerando indicadores como la rugosidad (IRI) y los costos de inversión. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Figura 51

Alternativas de proyecto - solución para la vía CU-110.

Alternativas de Proyecto - Solución

País	Perú			
Proyecto	Evaluación vía CU-110			
Camino	CU110			

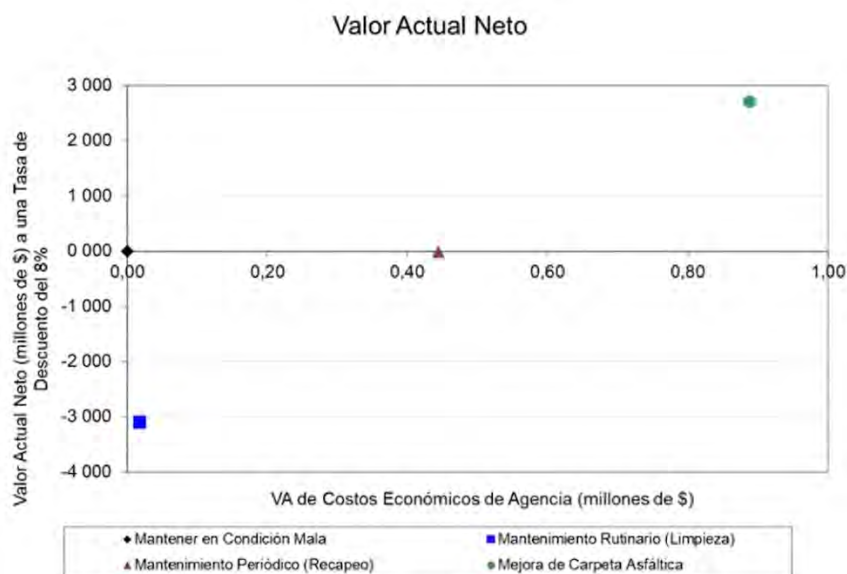
	Alternativa Sin Proyecto	Posibles Alternativas de Proyecto		
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Mantener en Condición Mala	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Periódico	Reconstrucción del Pavimento
Valor Actual Neto (millones de \$) a una Tasa de Descuento del 8% Tasa Interna de Retorno (%)	0,00 #N/D	-3,106 #NUM!	0,032 10%	<u>0,930</u> 15%
Beneficios Netos Anuales Equivalentes (\$/km) a una Tasa de Descuento del 8% Tasa de Retorno Modificada a una Tasa de Reinversión del 8% (%)	0 #N/D	-41019 -100%	418 9%	12278 12%
Valor Actual Neto por Costos Financieros de Inversión (proporción) Valor Actual Neto por VA de Costos Económicos de Agencia (proporción) Beneficios del Primer Año por Costos Económicos de Inversión (proporción)	0,00 #DIV/0! 0,00	-139,89 -139,89 -19,29	0,08 0,08 0,15	0,35 0,35 0,19
Costos Financieros de Inversión (millones de \$)	0,00	0,03	0,47	3,14
VA de Costos Económicos de Agencia (millones de \$) VA de Costos Económicos de Usuario de Tránsito Normal (millones de \$) VA de Costos Económicos de Usuario de Tránsito Generado (millones de \$) VA de Costos Económicos de la Sociedad (millones de \$)	0,00 56,89 0,00 56,89	0,02 60,18 -3,83 56,37	0,40 56,55 0,17 57,12	2,66 53,49 3,16 59,31
Número de Muertes por km-año Después de la Inversión	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Inversión por Población Servida (\$/persona) Población Servida por Inversión (personas/1000\$)	0 0,0	13,0625 76,6	235,125 4,3	1567,5 0,6

Nota. Resultados de la evaluación económica para las alternativas de solución en la vía CU 110, detallando indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) a una tasa de descuento del 8%, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y los costos económicos acumulados para la agencia y el usuario.

Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Figura 52

Representación del valor actual de los costos para la vía CU-110.



Nota. Comparación del VAN frente a los costos de inversión de la agencia para las cuatro situaciones evaluadas en la vía CU 110, donde se destaca la alternativa de Mejora de Carpeta Asfáltica (punto verde) como la más eficiente. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Según el cuadro resumen, la mejor alternativa de inversión para la vía CU 110 es la alternativa 3 (Reconstrucción del pavimento), esto debido a que presenta un mayor VAN (\$ 0,930 millones de dólares) y una TIR de 15%.

Método del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) – vía CU-110

$$CAUE = VAC (VPC) \times [FRC]$$

$$CAUE = VAC (VPC) \times \left[\frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Donde:

VAC = Valor anual de costos

FRC : Factor de recuperación de capital

i : Tasa de interés o descuento (i = 0,08)

n : Vida útil del proyecto (n = 10 años)

Tabla 22*Alternativas de inversión – Costos y beneficios - vía CU 110*

Alternativa	Inversión obras a construir (Costo (\$))	Beneficio Accidentes (+) (\$)	Beneficio Anual Viaje (+) (\$)	Beneficio Anual de operación (+) (\$)	Costo de mantenimiento (-) (\$)	Suma de Beneficios - Costos (\$)
I	26 250,00	1 050,00	5 950,00	840,00	5 906,25	1 933,75
II	472 500,00	2 500,00	23 400,00	63 460,37	14 175,00	75 185,37
III	3 150 000,00	14 531,51	208 285,00	415 739,76	30 505,95	608 050,32

Nota. Evaluación económica de las alternativas de inversión mediante la anualización de flujos, donde se contrastan los costos de obras y mantenimiento frente a los beneficios anuales por ahorro en tiempo de viaje y costos de operación vehicular para la vía CU-110. Los valores se expresan en soles (S/).

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra el flujo de caja según la alternativa de solución:

Tabla 23*Flujo de caja de la Alternativa I - vía CU 110*

ALTERNATIVA I						
Año	Costo de Inversión (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Beneficio Accidentes (\$)	Ahorro en COV (\$)	Ahorro por Tiempo de Viaje (\$)	Flujo Neto Económico (\$)
0	-26 250,00	0	0	0	0	-26 250,00
1	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
2	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
3	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
4	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
5	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
6	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
7	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
8	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
9	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75
10	0	-5 906,25	1 050,00	840,00	5 950,00	1 933,75

Nota. Proyección del flujo de caja para la Alternativa I en la vía CU 110. Se muestran los costos de inversión y mantenimiento, al igual que los beneficios por accidentes, ahorro en los COV y ahorro por el tiempo de viaje. Finalmente el flujo económico neto para el horizonte de 10 años. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24*Flujo de caja de la Alternativa II - vía CU 110*

ALTERNATIVA II						
Año	Costo de Inversión (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Beneficio Accidentes (\$)	Ahorro en COV (\$)	Ahorro por Tiempo de Viaje (\$)	Flujo Neto Económico (\$)
0	-472 500,00	0	0	0	0	-472 500,00
1	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
2	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
3	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
4	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
5	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
6	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
7	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
8	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
9	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37
10	0	-14 175,00	2 500,00	63 460,37	23 400,00	75 185,37

Nota. Proyección del flujo de caja para la Alternativa II en la vía CU 110. Se muestran los costos de inversión y mantenimiento, al igual que los beneficios por accidentes, ahorro en los COV y ahorro por el tiempo de viaje. En la última columna se observa el flujo económico neto para el horizonte de evaluación de 10 años. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25*Flujo de caja de la Alternativa III - vía CU 110*

ALTERNATIVA III						
Año	Costo de Inversión (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Beneficio Accidentes (\$)	Ahorro en COV (\$)	Ahorro por Tiempo de Viaje (\$)	Flujo Neto Económico (\$)
0	-3 150 000,00	0	0	0	0	-3 150 000,00
1	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
2	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
3	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
4	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
5	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
6	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
7	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
8	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
9	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32
10	0	-30 505,95	14 531,51	415 739,76	208 285,00	608 050,32

Nota. Proyección del flujo de caja para la Alternativa III en la vía CU 110. Se muestran los costos de inversión y mantenimiento, al igual que los beneficios por accidentes, ahorro en los COV y ahorro por el tiempo de viaje. En la parte final, se observa el flujo económico neto para el horizonte de evaluación de 10 años. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26*Flujo de caja de las tres alternativas de solución para la vía CU 110*

AÑO	Alt. I (\$)	Alt. II (\$)	Alt. III (\$)
0	-26 250,00	-472 500,00	-3 150 000,00
1	1 933,75	75 185,37	608 050,32
2	1 933,75	75 185,37	608 050,32
3	1 933,75	75 185,37	608 050,32
4	1 933,75	75 185,37	608 050,32
5	1 933,75	75 185,37	608 050,32
6	1 933,75	75 185,37	608 050,32
7	1 933,75	75 185,37	608 050,32
8	1 933,75	75 185,37	608 050,32
9	1 933,75	75 185,37	608 050,32
10	1 933,75	75 185,37	608 050,32

Nota. Proyección del flujo de caja económico a un horizonte de evaluación de 10 años para las alternativas I, II y III en la vía CU 110, donde se detalla el desembolso inicial de inversión (Año 0) y los flujos netos anuales constantes. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a los flujos de caja, se procede a ordenar todos los datos en una tabla resumida para poder calcular el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para la vía CU 110:

Para proyectos de inversión pública, la tasa de interés que se maneja es del 8%. En este trabajo de investigación, tanto para las vías asfaltadas y vías rurales (afirmadas) el periodo de evaluación a considerar es de 10 años, debido a que ese tiempo representa el periodo de vida útil en promedio al realizar un mantenimiento periódico, rutinario o al realizar la reconstrucción del pavimento.

Tasa	8%
Horizonte años	10

Tabla 27
Indicadores Metodo CAUE - CU 110

	VAN(1)	\$	-13 274,38
	VAN(2)	\$	31 999,95
	VAN(3)	\$	930 067,14
	TIR(1)		-5,20%
	TIR(2)		9,48%
	TIR(3)		14,18%
fun. VA	VA(1),BENEFICIO	\$	12 975,62
Benef*FAS	VA(2),BENEFICIO	\$	504 499,95
FAS=6.7101	VA(3),BENEFICIO	\$	4 080 067,14
VA+Invers.	VAC(1)=VPC	\$	-13 274,38
Beneficio- INVER	VAC(2)=VPC	\$	31 999,95
	VAC(3)=VPC	\$	930 067,14
Fun. Pago	CAUE(1)	\$	1 978,27
VAC(VPC)*FRC	CAUE(2)	\$	-4 768,94
	CAUE(3)	\$	-138 607,43
FRC			
Invers.* FRC	VAUE(1)	\$	-1 978,26
	VAUE(2)		4 769,17
	VAUE(3)		138 608,97
FAS			
Ingreso*FAS	Benefico(1)		12 975,66
	Benefico(2)		504 501,61
	Benefico(3)		4 080 080,52
Inversion	Costo(1)(INVERSION)		26 250,00
	Costo(2)(Inversion)		472 500,00
	Costo(3)(Inversion)		3 150 000,00

Nota. Resumen analítico de los indicadores de rentabilidad económica para las alternativas I, II y III en la vía CU 110, calculados mediante la aplicación de factores financieros (FAS y FRC) para la obtención del VAN, TIR, CAUE y VAUE. Los montos monetarios se expresan en dólares (\$). Fuente: Elaboración propia.

Benef/Inversion	RCB(1)= B/C	0,494
	RCB(2) = B/C	1,068
	RCB(3) =B/C	1,295

Se concluye que la Alternativa III es la opción de inversión más conveniente desde el punto de vista económico y social. Esta alternativa es técnicamente viable y económicamente rentable, alcanzando un VAN de \$ 930 067,14 y una TIR del 14,18%. Finalmente, con una relación B/C de 1,29; se garantiza que por cada sol invertido, el proyecto retorna 1,29 soles en beneficios a la sociedad.

Vía CU-902 – Vía afirmada (Zurite-Huarocondo)

Previamente, habiendo ingresado los datos de entrada del módulo principal de evaluación económica para la vía CU 902; se procede a realizar lo siguiente:

Y estos valores obtenidos, se ingresan dentro del modelo de evaluación RED:

Figura 53

Costos de tiempo de viaje en la vía CU-902.

Costos de Tiempo de Viaje

	Número de Pasajeros (#)	Costo de Tiempo de Pasajero (\$/pas-hr)	Costo de Tiempo de Retención de Carga (\$/veh-hr)
Automóvil Mediano	4	1,24	0,00
Vehículo de Carga	4	1,98	0,00
Autobús Pequeño	4	0,47	0,00
Camión Liviano	14	6,46	0,00

Nota. Detalle de los costos estimados por tiempo de viaje y tipología de vehículo para la vía CU-902, expresados en dólares (\$). Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

No se ingresan los valores correspondientes a costo de tiempo de retención de carga, ya que no existe un tiempo considerable en el que la carga de transporte esté retenida. Al mismo tiempo se ingresan los costos por accidente (valor promedio):

Figura 54
Costos de accidente en promedio en la vía CU-902.

Costos de Accidentes	
	Costos en Dólares
Costo Medio por Accidente	6720
Costos por Tipo de Accidente:	
Con Muertes	0
Con Lesiones	0
Daños Materiales Solamente	0

Nota. Costo promedio por accidente considerado para la vía CU-902. Fuente: Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS), elaboración propia.

Para la vía CU-902, el tránsito diario, según la tipología vehicular se muestra de la siguiente manera:

Figura 55
Tránsito diario según la tipología vehicular en la vía CU-902.

	Tránsito Diario 2024 (veh/día)	Composición 2024 (%)	Tránsito Diario 2043 (veh/día)	Composición 2043 (%)
Automóvil Mediano	55	73%	78	73%
Vehículo de Carga	6	8%	9	8%
Autobús Pequeño	8	11%	11	11%
Camión Liviano	6	8%	9	8%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
Total	75	100%	107	100%

Nota. Composición porcentual y volumen de tránsito diario (veh/día) registrado en el año base 2024 y su respectiva proyección al año horizonte 2043 bajo condiciones de tránsito normal y estación seca en la vía CU-902. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

El análisis se realizó con la tasa de crecimiento de tránsito igual a 4%:

Figura 56

Tasa de crecimiento de tránsito en la vía CU-902.

Tasa de Crecimiento del Tránsito (%)			
2024 - 2028	2029 - 2033	2034 - 2038	2039 - 2043
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0		
4,0	4,0	0,0	0,0

Nota. Se observa la tasa de crecimiento del tránsito (4%) para la vía CU 902. La tasa de crecimiento es la misma para los periodos 2024 – 2028 y 2029 – 2033. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Por consiguiente las alternativas del proyecto se verían en resumen de la siguiente forma:

Figura 57

Resumen de las alternativas del proyecto para la vía CU-902.

Alternativas de Proyecto - Principales Características				
Descripción de la Alternativa	Sin Alternativa de Proyecto	Alternativas de Proyecto		
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Mantener en Condición Mala	Mantenimiento Rutinario (Limpieza)	Mantenimiento Periódico (Recapeo)	Mejora a Carpeta Asfáltica
Tipo de Terreno (A/B/C) A: Llano B: Ondulado C: Montañoso	A	A	A	A
Tipo de Camino (X/Y/Z) X: Pavimento Y: Afirmado Z: Tierra	Y	Y	Y	Y
Estación Seca Longitud del Camino (km) Rugosidad (IRI)	6,7 10,0	6,7 8,0	6,7 6,0	6,7 2,0
Duración de la Inversión en Años (0/1/2/3)	0	1	1	1
Porcentaje de Costos de Inversión en el Año 1 (%)	0%	100%	100%	100%
Porcentaje de Costos de Inversión en el Año 2 (%)	0%	0%	0%	0%
Porcentaje de Costos de Inversión en el Año 3 (%)	0,00	2,50	38,00	250,00
Costos Financieros de Inversión ('000\$/km)	0,00	2,50	38,00	250,00
Costos Financieros Fijos de Mantenimiento ('000\$/km/year)	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos Financieros Variables de Mantenimiento ('000\$/km/year/TDA)	0,000	0,000	0,000	0,000

Nota. Cuadro comparativo de las características técnicas, operacionales y financieras de las alternativas de intervención propuestas frente a la situación base (Alternativa 0) para la vía CU 902, considerando indicadores como la rugosidad (IRI) y los costos de inversión. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Figura 58

Alternativas de proyecto - solución para la vía CU-902.

[Alternativas de Proyecto - Solución](#)

País		Perú		
Proyecto		Evaluación vía CU-902		
Camino		CU902		

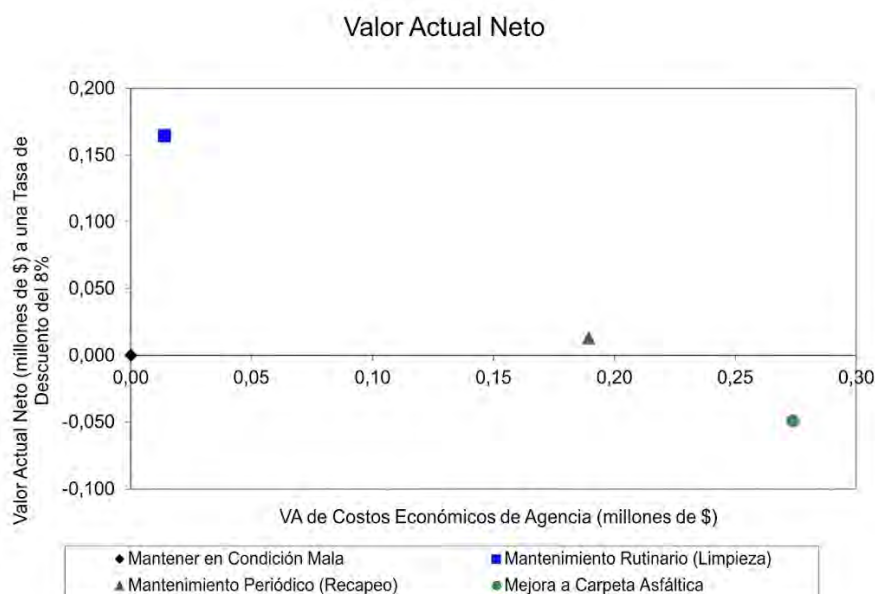
	Alternativa Sin Proyecto	Posibles Alternativas de Proyecto		
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Mantener en Condición Mala	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Periódico	Mejora a Carpeta Asfáltica
Valor Actual Neto (millones de \$) a una Tasa de Descuento del 8%	0,000	<u>0,051</u>	-0,089	-1,189
Tasa Interna de Retorno (%)	#N/D	68%	-3%	-21%
Beneficios Netos Anuales Equivalentes (\$/km) a una Tasa de Descuento del 8%	0	1067	-1856	-24660
Tasa de Retorno Modificada a una Tasa de Reinversión del 8% (%)	#N/D	28%	2%	-12%
Valor Actual Neto por Costos Financieros de Inversión (proporción)	0,00	3,64	-0,42	-0,84
Valor Actual Neto por VA de Costos Económicos de Agencia (proporción)	#DIV/0!	3,64	-0,42	-0,84
Beneficios del Primer Año por Costos Económicos de Inversión (proporción)	0,00	0,64	0,08	0,02
Costos Financieros de Inversión (millones de \$)	0,00	0,02	0,25	1,66
VA de Costos Económicos de Agencia (millones de \$)	0,00	0,01	0,21	1,41
VA de Costos Económicos de Usuario de Tránsito Normal (millones de \$)	0,82	0,76	0,70	0,62
VA de Costos Económicos de Usuario de Tránsito Generado (millones de \$)	0,00	0,06	0,10	0,16
VA de Costos Económicos de la Sociedad (millones de \$)	0,82	0,83	1,02	2,19
Número de Muertes por km-año Después de la Inversión	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Inversión por Población Servida (\$/persona)	0	8,315	126,388	831,5
Población Servida por Inversión (personas/1000\$)	0,0	120,3	7,9	1,2

Nota. Resultados de la evaluación económica para las alternativas de solución en la vía CU 902, detallando indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) a una tasa de descuento del 8%, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y los costos económicos acumulados para la agencia y el usuario.

Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Figura 59

Representación gráfica del valor actual neto en la vía CU-902.



Nota. Comparación del VAN frente a los costos de inversión de la agencia para las cuatro situaciones evaluadas en la vía CU 902, donde se destaca la alternativa de Mantenimiento Rutinario (Limpieza) (punto azul) como la más eficiente. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Según el cuadro resumen, la mejor alternativa de inversión para la vía CU 902 es la alternativa 1 (Mantenimiento rutinario), esto debido a que presenta un mayor VAN (\$ 0,051 millones de dólares) y una TIR de 68%.

Método del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) – vía CU-902

$$CAUE = VAC (VPC) \times [FRC]$$

$$CAUE = VAC (VPC) \times \left[\frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Donde:

VAC = Valor anual de costos

FRC : Factor de recuperación de capital

i : Tasa de interés o descuento (i=0,08)

n : Vida útil del proyecto (n=10 años)

Tabla 28*Alternativas de inversión - metodo CAUE - vía CU 902.*

Alternativa	Inversión obras a construir (Costo (\$))	Beneficio Accidentes (+) (\$)	Beneficio Anual Viaje (+) (\$)	Beneficio Anual de operación (+) (\$)	Costo de mantenimiento (-) (\$)	Suma de Beneficios - Costos (\$)
I	14 270,00	200,00	2 500,00	8 432,36	1 427,22	9 705,14
II	254 600,00	300,00	4 000,00	25 000,00	12 730,00	16 570,00
III	1 675 000,00	1 000,00	15 000,00	120 000,00	25 125,00	110 875,00

Nota. Evaluación económica de las alternativas de inversión mediante la anualización de flujos, donde se contrastan los costos de obras y mantenimiento frente a los beneficios anuales por reducción de accidentes, ahorro en tiempo de viaje y costos de operación vehicular para la vía CU-902. Los valores se expresan en soles (S/.). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29*Flujo de caja para la Alternativa I - CU 902.*

ALTERNATIVA I						
Año	Costo de Inversión (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Beneficio Accidentes (\$)	Ahorro en COV (\$)	Ahorro por Tiempo de Viaje (\$)	Flujo Neto Económico (\$)
0	-14 270,00	0	0	0	0	-14 270,00
1	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
2	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
3	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
4	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
5	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
6	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
7	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
8	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
9	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14
10	0	-1 427,22	200,00	8 432,36	2 500,00	9 705,14

Nota. Proyección del flujo de caja económico a un horizonte de evaluación de 10 años para la alternativa I en la vía CU 902, donde se detalla el desembolso inicial de inversión (Año 0) y los flujos netos anuales constantes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30

Flujo de caja de las tres alternativas de solución para la vía CU 902.

AÑO	Alt. I (\$)	Alt. II (\$)	Alt. III (\$)
0	-14 270,00	-254 600,00	-1 675 000,00
1	9 705,14	14 470,00	110 875,00
2	9 705,14	14 470,00	110 875,00
3	9 705,14	14 470,00	110 875,00
4	9 705,14	14 470,00	110 875,00
5	9 705,14	14 470,00	110 875,00
6	9 705,14	14 470,00	110 875,00
7	9 705,14	14 470,00	110 875,00
8	9 705,14	14 470,00	110 875,00
9	9 705,14	14 470,00	110 875,00
10	9 705,14	14 470,00	110 875,00

Nota. Proyección del flujo de caja económico a un horizonte de evaluación de 10 años para las alternativas I, II y III en la vía CU 902, donde se detalla la cantidad inicial de inversión (Año 0) y los flujos netos anuales constantes. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a los flujos de caja, se procede a ordenar todos los datos en una tabla resumida para poder calcular el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para la vía CU 902:

Tasa	8%
Horizonte años	10

Se obtienen los valores que se muestran a continuación:

Tabla 31*Indicadores método CAUE - CU 902.*

	VAN(1)	\$	50 852,28
	VAN(2)	\$	-157 505,12
	VAN(3)	\$	-931 019,72
	TIR(1)		67,904%
	TIR(2)		3,733%
	TIR(3)		-0,241%
fun. VA	VA(1),BENEFICIO	\$	65 122,28
Benef*FAS	VA(2),BENEFICIO	\$	97 094,88
FAS=6.7101	VA(3),BENEFICIO	\$	743 980,28
VA+Invers.	VAC(1)=VPC		\$ 50 852,28
Beneficio- INVER	VAC(2)=VPC		\$ -157 505,12
	VAC(3)=VPC		\$ -931 019,72
Fun. Pago	CAUE(1)		\$ -7 578,49
VAC(VPC)*FRC	CAUE(2)		\$ 23 472,91
	CAUE(3)		\$ 138 749,39
FRC			
Invers.* FRC	VAUE(1)	\$	7 578,50
	VAUE(2)	\$	-23 472,78
	VAUE(3)	\$	-138 748,58
FAS			
Ingreso*FAS	Benefico(1)		65 122,49
	Benefico(2)		97 095,20
	Benefico(3)		743 982,71
Inversion	Costo(1)(INVERSION)		14 270,00
	Costo(2)(Inversion)		254 600,00
	Costo(3)(Inversion)		1 675 000,00

Nota. Resumen analítico de los indicadores de rentabilidad económica para las alternativas I, II y III en la vía CU 902, calculados mediante la aplicación de factores financieros (FAS y FRC) para la obtención del VAN, TIR, CAUE y VAUE. Los montos monetarios se expresan en soles (S/).

Fuente: Elaboración propia.

Benef/Inversion	RCB(1)= B/C	4,564
	RCB(2) = B/C	0,381
	RCB(3) =B/C	0,444

Como se aprecia, tanto la Alternativa II (Mantenimiento Periódico) como la Alternativa III (Mejora a Nivel de Afirmado/Pavimento) arrojan un Valor Actual Neto (VAN) negativo. Esto indica que los costos

de inversión iniciales (\$ 254 600 y \$ 1 675 000 respectivamente) superan a los beneficios sociales acumulados en el horizonte del proyecto, lo que las hace económicamente inviables en este momento. Por el contrario, la Alternativa I (Mantenimiento Rutinario) demuestra ser la única opción socialmente rentable. Con una inversión eficiente de \$ 14 270, logra generar un VAN positivo y una relación Beneficio/Costo mayor a 1. Por consiguiente, se selecciona la Alternativa I como la mejor opción de inversión. Dada la demanda vehicular existente, esta alternativa maximiza la eficiencia del gasto público, garantizando la transitabilidad de la vía sin incurrir en pérdidas económicas para el Estado, postergando intervenciones mayores hasta que el crecimiento del tráfico lo justifique.

Vía CU-905 – Vía afirmada (Zurite-Haparquilla-Izcuchaca):

Previamente, habiendo ingresado los datos de entrada del módulo principal de evaluación económica para la vía CU 905; se procede a realizar lo siguiente:

Y estos valores obtenidos, se ingresan dentro del modelo de evaluación RED:

Figura 60

Costos de tiempo de viaje en la vía CU-905.

Costos de Tiempo de Viaje

	Número de Pasajeros (#)	Costo de Tiempo de Pasajero (\$/pas-hr)	Costo de Tiempo de Retención de Carga (\$/veh-hr)
Automóvil Mediano	4	1,64	0,00
Vehículo de Carga	4	2,66	0,00
Autobús Pequeño	4	0,62	0,00
Camión Liviano	14	8,51	0,00

Nota. Detalle de los costos estimados por tiempo de viaje y tipología de vehículo para la vía CU-905, expresados en dólares (\$). Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

No se ingresan los valores correspondientes a costo de tiempo de retención de carga, ya que no existe un tiempo considerable en el que la carga de transporte esté retenida.

A su vez se ingresan los costos por accidente (valor promedio):

Figura 61

Costos de accidentes en promedio en la vía CU-905.

Costos de Accidentes	
	Costos en Dólares
Costo Medio por Accidente	6720
Costos por Tipo de Accidente:	
Con Muertes	0
Con Lesiones	0
Daños Materiales Solamente	0

Nota. Costo promedio por accidente considerado para la vía CU-905. Fuente: Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS), elaboración propia.

Para la vía CU-905, el tránsito diario, según la tipología vehicular se muestra de la siguiente manera:

Figura 62

Tránsito diario según la tipología vehicular en la vía CU-905.

Estación Seca		Tránsito Normal		
	Tránsito Diario 2024 (veh/día)	Composición 2024 (%)	Tránsito Diario 2043 (veh/día)	Composición 2043 (%)
Automóvil Mediano	48	67%	68	67%
Vehículo de Carga	8	11%	11	11%
Autobús Pequeño	10	14%	14	14%
Camión Liviano	6	8%	9	8%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
		0%	0	0%
Total	72	100%	102	100%

Nota. Composición porcentual y volumen de tránsito diario (veh/día) registrado en el año base 2024 y su respectiva proyección al año horizonte 2043 bajo condiciones de tránsito normal y estación seca en la vía CU-905. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Figura 65

Alternativas de proyecto-solución para la vía CU-905.

[Alternativas de Proyecto - Solución](#)

País		Perú		
Proyecto		Evaluación vía CU-905		
Camino		CU905		

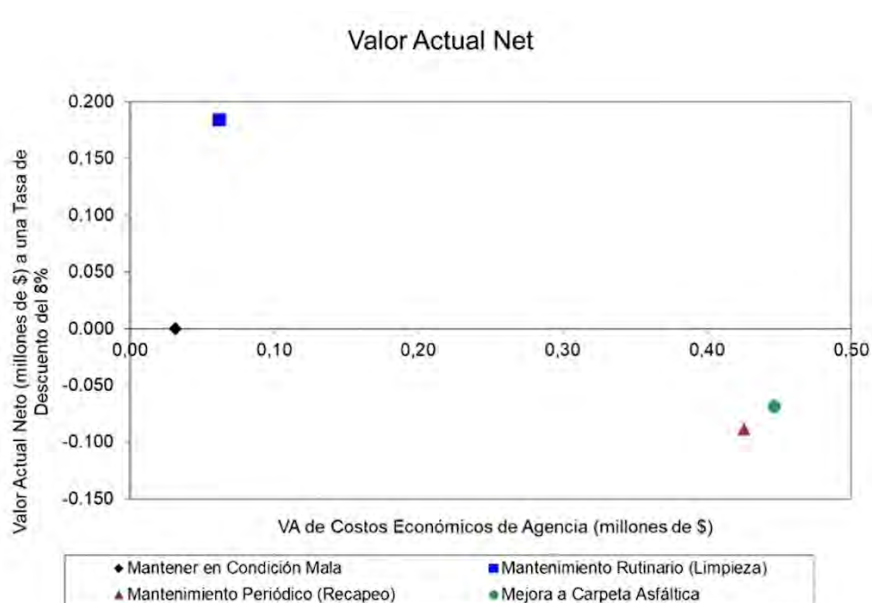
	Alternativa Sin Proyecto	Posibles Alternativas de Proyecto		
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Mantener en Condición Mala	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Periódico	Mejora a Carpeta Asfáltica
Valor Actual Neto (millones de \$) a una Tasa de Descuento del 8%	0,000	<u>0,032</u>	-0,228	-1,991
Tasa Interna de Retorno (%)	#N/D	35%	-13%	-29%
Beneficios Netos Anuales Equivalentes (\$/km) a una Tasa de Descuento del 8%	0	430	-3079	-26933
Tasa de Retorno Modificada a una Tasa de Reinversión del 8% (%)	#N/D	19%	-5%	-18%
Valor Actual Neto por Costos Financieros de Inversión (proporción)	0,00	1,47	-0,69	-0,92
Valor Actual Neto por VA de Costos Económicos de Agencia (proporción)	#DIV/0!	1,47	-0,69	-0,92
Beneficios del Primer Año por Costos Económicos de Inversión (proporción)	0,00	0,34	0,04	0,01
Costos Financieros de Inversión (millones de \$)	0,00	0,03	0,39	2,55
VA de Costos Económicos de Agencia (millones de \$)	0,00	0,02	0,33	2,17
VA de Costos Económicos de Usuario de Tránsito Normal (millones de \$)	0,61	0,56	0,52	0,46
VA de Costos Económicos de Usuario de Tránsito Generado (millones de \$)	0,00	0,05	0,08	0,12
VA de Costos Económicos de la Sociedad (millones de \$)	0,61	0,63	0,93	2,74
Número de Muertes por km-año Después de la Inversión	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Inversión por Población Servida (\$/persona)	0	12,75	193,8	1275
Población Servida por Inversión (personas/1000\$)	0,0	78,4	5,2	0,8

Nota. Resultados de la evaluación económica para las alternativas de solución en la vía CU 905, detallando indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) a una tasa de descuento del 8%, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y los costos económicos acumulados para la agencia y el usuario.

Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Figura 66

Representación gráfica del valor actual neto para la vía CU-905.



Nota. Comparación del VAN frente a los costos de inversión de la agencia para las cuatro situaciones evaluadas en la vía CU 905, donde se destaca la alternativa de Mantenimiento Rutinario (Limpieza) (punto azul) como la más eficiente. Fuente: Modelo RED, elaboración propia.

Según el cuadro resumen, la mejor alternativa de inversión para la vía CU 905 es la alternativa 1 (Mantenimiento rutinario), esto debido a que presenta un mayor VAN (\$ 0,032 millones de dólares) y una TIR de 35%.

Método del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) – vía CU-905:

$$CAUE = VAC (VPC) \times [FRC]$$

$$CAUE = VAC (VPC) \times \left[\frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Donde:

VAC = Valor anual de costos

FRC : Factor de recuperación de capital

i : Tasa de interés o descuento (i=0.08)

n : Vida útil del proyecto (n=10 años)

Tabla 32*Alternativas de solución - método CAUE - CU 905.*

Alternativa	Inversión obras a construir (Costo (\$))	Beneficio Accidentes (+) (\$)	Beneficio Anual Viaje (+) (\$)	Beneficio Anual de operación (+) (\$)	Costo de mantenimiento (-) (\$)	Suma de Beneficios - Costos (\$)
I	21 750,00	150,00	1 900,00	8 200,00	2 200,00	8 050,00
II	387 600,00	300,00	4 500,00	35 000,00	11 628,00	28 172,00
III	2 550 000,00	1 500,00	25 000,00	145 000,00	38 250,00	133 250,00

Nota. Evaluación económica de las alternativas de inversión mediante la anualización de flujos, donde se contrastan los costos de obras y mantenimiento frente a los beneficios anuales por reducción de accidentes, ahorro en tiempo de viaje y costos de operación vehicular para la vía CU-905. Los valores se expresan en dólares (\$). Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla el flujo de caja de la mejor alternativa de solución (Alternativa I) en la vía CU 905. Esta alternativa determinada previamente por la evaluación económica del modelo RED.

Tabla 33*Flujo de caja para la Alternativa I - vía CU 905.*

ALTERNATIVA I						
Año	Costo de Inversión (\$)	Costo de mantenimiento (\$)	Beneficio Accidentes (\$)	Ahorro en COV (\$)	Ahorro por Tiempo de Viaje (\$)	Flujo Neto Económico (\$)
0	-21 750,00	0	0	0	0	-21 750,00
1	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
2	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
3	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
4	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
5	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
6	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
7	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
8	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
9	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00
10	0	-2 200,00	150,00	8 200,00	1 900,00	8 050,00

Nota. Proyección del flujo de caja económico a un horizonte de evaluación de 10 años para la alternativa I en la vía CU 905, donde se detalla el desembolso inicial de inversión (Año 0) y los flujos netos anuales constantes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34*Flujo de caja para las tres alternativas de solución - vía CU 905*

AÑO	Alt. I (\$)	Alt. II (\$)	Alt. III (\$)
0	-21 750,00	-387 600,00	-2 550 000,00
1	8 050,00	28 172,00	133 250,00
2	8 050,00	28 172,00	133 250,00
3	8 050,00	28 172,00	133 250,00
4	8 050,00	28 172,00	133 250,00
5	8 050,00	28 172,00	133 250,00
6	8 050,00	28 172,00	133 250,00
7	8 050,00	28 172,00	133 250,00
8	8 050,00	28 172,00	133 250,00
9	8 050,00	28 172,00	133 250,00
10	8 050,00	28 172,00	133 250,00

Nota. Proyección del flujo de caja económico para un horizonte de 10 años para las alternativas I, II y III en la vía CU 905, donde se detalla la cantidad inicial de inversión (Año 0) y los flujos netos anuales constantes. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a los flujos de caja, se procede a ordenar todos los datos en una tabla resumida para poder calcular el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para la vía CU 905:

Tasa	8%
Horizonte años	10

Por lo tanto, se obtienen los valores que se muestran a continuación:

Tabla 35*Indicadores método CAUE - CU 905.*

	VAN(1)	\$	32 266,16
	VAN(2)	\$	-198 563,59
	VAN(3)	\$	-1 655 881,65
	TIR(1)		36,80%
	TIR(2)		3,31%
	TIR(3)		-2,20%
fun. VA	VA(1),BENEFICIO	\$	54 016,16
Benef*FAS	VA(2),BENEFICIO	\$	189 036,41
FAS=6.7101	VA(3),BENEFICIO	\$	894 118,35
VA+Invers.	VAC(1)=VPC	\$	32 266,16
Beneficio- INVER	VAC(2)=VPC	\$	-198 563,59
329340.98 -310000	VAC(3)=VPC	\$	-1 655 881,65
Fun. Pago	CAUE(1)	\$	-4 808,61
VAC(VPC)*FRC	CAUE(2)	\$	29 591,83
	CAUE(3)	\$	246 775,20
FRC			
Invers.* FRC	VAUE(1)	\$	4 808,62
	VAUE(2)	\$	-29 591,64
	VAUE(3)	\$	-246 773,95
FAS			
Ingreso*FAS	Benefico(1)		54 016,33
	Benefico(2)		189 037,03
	Benefico(3)		894 121,28
Inversion	Costo(1)(Inversion)		21 750,00
	Costo(2)(Inversion)		387 600,00
	Costo(3)(Inversion)		2 550 000,00

Nota. Resumen analítico de los indicadores de rentabilidad económica para las alternativas I, II y III en la vía CU 905, calculados mediante la aplicación de factores financieros (FAS y FRC) para la obtención del VAN, TIR, CAUE y VAUE. Los montos monetarios se expresan en dólares (\$).

Fuente: Elaboración propia.

Benef/Inversion	RCB(1)= B/C	2,484
	RCB(2) = B/C	0,488
	RCB(3) =B/C	0,351

Se determina que la Alternativa I (Mantenimiento Rutinario) constituye la mejor opción de inversión, dado que es la única propuesta socialmente rentable al presentar un Valor Actual Neto (VAN) positivo de \$ 32 266,16 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 36,80%. A diferencia de las Alternativas II y III, cuyos altos costos de inversión no logran ser cubiertos por los beneficios generados, resultando los VAN negativos de \$ -198 563,59 y \$ -1 655 881,65 respectivamente. Además la Alternativa I presenta un valor en relación beneficio/costo de 2,48; lo que también avala que es la mejor alternativa.

7.2.3 Determinación del análisis de sensibilidad

Se presentan los resultados económicos obtenidos tras aplicar las variaciones porcentuales a las variables críticas (Costo de Inversión e IMDA), utilizando el Módulo Principal de Evaluación Económica del modelo RED. El objetivo es identificar el impacto directo de estas modificaciones sobre el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto para la alternativa seleccionada.

7.2.3.1 Análisis unidimensional (variación de una variable a la vez)

Se evaluó el comportamiento de los indicadores económicos variando el costo de inversión y el tráfico vehicular de manera independiente, manteniendo las demás condiciones fijas (escenario base).

a. Sensibilidad por incremento en los costos de inversión:

Se analizaron las condiciones del proyecto si el presupuesto de obra sufriera variaciones de $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ y $\pm 40\%$.

Caso – vía CU 110

Se analizó la mejor alternativa de inversión, de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación económica del modelo RED. Para la vía CU 110 la mejor alternativa de inversión es la Alternativa III – Reconstrucción del pavimento. El análisis de sensibilidad se muestra a continuación:

Tabla 36

Análisis de sensibilidad según la variación del Costo de inversión - vía CU 110

Análisis de Sensibilidad - Costo de Inversión Alternativa III - vía CU 110				
Escenario	Variación del costo de inversión (%)	Costo de inversión (\$)	VAN (millones de \$)	TIR (%)
Caso optimista 4	60%	\$ 1 890 000,00	1,996	31%
Caso optimista 3	70%	\$ 2 205 000,00	1,729	26%
Caso optimista 2	80%	\$ 2 520 000,00	1,463	22%
Caso optimista 1	90%	\$ 2 835 000,00	1,196	18%
Caso base	100%	\$ 3 150 000,00	0,930	15%
Caso pesimista 1	110%	\$ 3 465 000,00	0,663	13%
Caso pesimista 2	120%	\$ 3 780 000,00	0,397	11%
Caso pesimista 3	130%	\$ 4 095 000,00	0,130	9%
Caso pesimista 4	140%	\$ 4 410 000,00	-0,136	7%

Nota. El análisis demuestra que el proyecto mantiene su viabilidad económica frente a incrementos moderados en los costos de inversión. El "punto de quiebre" ocurre en el Caso pesimista 4 (+40% de inversión), escenario extremo donde el VAN se vuelve negativo (\$-0,136 millones) y la TIR cae al 7%, quedando por debajo de la tasa social de descuento empleada en estos tipos de proyectos. Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de sensibilidad se consideraron rangos incrementales del 10%. Se aprecia que un incremento del 40% en el costo de inversión hace que el VAN sea negativo, por ende el proyecto no sea rentable. Si bien la normativa vigente limita las modificaciones presupuestales (adicionales de obra) idealmente hasta un máximo del 15%, se incluyeron

escenarios de hasta +40% con fines estrictamente metodológicos de simulación para evaluar el comportamiento del proyecto ante eventos fortuitos como eventos climáticos severos o fallas geológicas (desprendimiento de piedras en taludes).

Caso – vía CU 902

De forma similar al anterior caso, se analizó la mejor alternativa de inversión obtenida previamente en la evaluación económica del módulo principal del modelo RED. Para la vía CU 902 es la Alternativa I – Mantenimiento rutinario. A continuación el análisis de sensibilidad:

Tabla 37

Análisis de sensibilidad según la variación del Costo de inversión - vía CU 902

Análisis de Sensibilidad - Costo de Inversión					
Alternativa I - vía CU 902					
Escenario	Variación del costo de inversión (%)	Costo de inversión (\$)	VAN (millones de \$)	TIR (%)	
Caso optimista 2	80%	\$ 13 400,00	0,054	84%	
Caso optimista 1	90%	\$ 15 075,00	0,053	75%	
Caso base	100%	\$ 16 750,00	0,051	68%	
Caso pesimista 1	110%	\$ 18 425,00	0,050	61%	
Caso pesimista 2	120%	\$ 20 100,00	0,049	56%	

Nota. El análisis demuestra que el proyecto mantiene su viabilidad económica frente a incrementos del 10 % y 20 %. Esto debido a la baja inversión que se requiere en comparación con los beneficios que se obtendrían. Es importante mencionar que los beneficios son altos debido a que la presente vía es la única vía de transporte para movilizar los productos agrícolas o de ganadería entre los dos centros poblados.

Fuente: Elaboración propia.

Se acotó el análisis de sensibilidad entre el 90% y 120% del costo de inversión debido a que variaciones menores al 80% subestiman los costos reales de obras en zonas rurales, mientras que incrementos superiores al 20% superan los límites permisibles para adicionales de obra según la normativa vigente, volviendo irreales dichos escenarios del proyecto.

Caso – vía CU 905

De forma similar al anterior caso, se analizó la mejor alternativa de inversión obtenida previamente en la evaluación económica del módulo principal del modelo RED. Para la vía CU 905 es la Alternativa I – Mantenimiento rutinario. A continuación el análisis de sensibilidad:

Tabla 38

Análisis de sensibilidad según la variación del Costo de inversión - vía CU 905.

Análisis de Sensibilidad - Costo de Inversión					
Alternativa I - vía CU 905					
Escenario	Variación del costo de inversión (%)	Costo de inversión (\$)	VAN (millones de \$)	TIR (%)	
Caso optimista 2	80%	\$ 20 400,00	0,036	45%	
Caso optimista 1	90%	\$ 22 950,00	0,034	39%	
Caso base	100%	\$ 25 500,00	0,032	35%	
Caso pesimista 1	110%	\$ 28 050,00	0,030	31%	
Caso pesimista 2	120%	\$ 30 600,00	0,027	28%	

Nota. El análisis demuestra que el proyecto mantiene su viabilidad económica frente a incrementos del 10 % y 20 %. Considerar un incremento más elevado que el 20% ya no sería algo tan realista debido a que los proyectos tienen un margen máximo de variación respecto a su presupuesto.
Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de sensibilidad de la vía, se acotó un rango de variación de los costos de inversión del 80% al 120%. Se desestimaron los escenarios inferiores al 80% debido a que las condiciones geográficas y climáticas de los caminos rurales impiden reducciones drásticas en los costos de movimiento de tierras y obras de arte. Asimismo, se limitó el escenario pesimista al 120% (+20%) por ser el límite razonable para modificaciones presupuestales (adicionales de obra) de acuerdo a la normativa vigente.

b. Sensibilidad por variación del tráfico vehicular (IMDA):

Se evaluó el riesgo de una menor demanda vehicular en el camino rural con decrecimientos del -10%, -20% y -30% y con crecimientos del +10%, +20% y +30%

Caso – vía CU 110

Se analizó la mejor alternativa de inversión, de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación económica del modelo RED. En este caso para la vía CU 110, la mejor alternativa de inversión es la Alternativa III – Reconstrucción del Pavimento. A continuación el análisis de sensibilidad por variación del tráfico vehicular:

Tabla 39

Análisis de sensibilidad según la variación del tráfico vehicular - vía CU 110

Análisis de Sensibilidad - Tráfico vehicular Alternativa III - vía CU 110				
Escenario	Variación del tráfico vehicular (%)	Tráfico vehicular (veh/día)	VAN (millones de \$)	TIR (%)
Caso pesimista 3	70%	2488	-0,149	7%
Caso pesimista 2	80%	2843	0,211	10%
Caso pesimista 1	90%	3198	0,570	13%
Caso base	100%	3553	0,930	15%
Caso optimista 1	110%	3909	1,289	18%
Caso optimista 2	120%	4264	1,649	21%
Caso optimista 3	130%	4619	2,008	23%

Nota. El análisis de sensibilidad muestra que el proyecto mantiene su viabilidad económica ante caídas de tráfico de hasta un 20% (Caso pesimista 2). El punto de quiebre ocurre al reducir el tráfico al 70% (Caso pesimista 3). En este escenario el VAN se vuelve negativo (\$-0.149 millones) y la TIR desciende al 7%, haciendo que el proyecto deje de ser rentable. Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de sensibilidad, se observa que el proyecto puede tolerar variaciones negativas de hasta un 20% sin perder la rentabilidad de la inversión. Al tener una disminución del 30% el proyecto ya no es rentable, puesto que se obtiene un VAN negativo y una TIR menor a la tasa de descuento social empleada en proyectos de esta categoría.

Caso – vía CU 902

Se analizó la mejor alternativa de inversión, de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación económica del modelo RED. Para la vía CU 902, la mejor alternativa de inversión es la Alternativa I – Mantenimiento rutinario. A continuación el análisis de sensibilidad por variación del tráfico vehicular:

Tabla 40

Análisis de sensibilidad según la variación del tráfico vehicular - vía CU 902

Análisis de Sensibilidad - Tráfico vehicular Alternativa I - vía CU 902				
Escenario	Variación del tráfico vehicular (%)	Tráfico vehicular (veh/día)	VAN (millones de \$)	TIR (%)
Caso pesimista 3	70%	53	0,032	47%
Caso pesimista 2	80%	60	0,038	54%
Caso pesimista 1	90%	68	0,045	61%
Caso base	100%	75	0,051	68%
Caso optimista 1	110%	83	0,058	74%
Caso optimista 2	120%	90	0,065	81%
Caso optimista 3	130%	98	0,071	87%

Nota. El análisis demuestra que el proyecto es altamente estable y de bajo riesgo, manteniendo su viabilidad económica en todos los escenarios, pese a tener una variación negativa del 30% en el tráfico vehicular. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el proyecto presenta un comportamiento positivo respecto a las variaciones negativas del tráfico, manteniendo su rentabilidad pese a una disminución del tráfico en 30%. Lo que indica que el proyecto presenta un muy bajo riesgo económico, esto debido a la baja inversión que implica un mantenimiento rutinario y los beneficios que aún se siguen obteniendo.

Caso – vía CU 905

Se analizó la mejor alternativa de inversión, de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación económica del modelo RED. Para la vía CU 905, la mejor alternativa de inversión es la Alternativa I – Mantenimiento rutinario. A continuación el análisis de sensibilidad por variación del tráfico vehicular:

Tabla 41

Análisis de sensibilidad según la variación del tráfico vehicular - vía CU 905

Análisis de Sensibilidad - Tráfico vehicular Alternativa I - vía CU 905				
Escenario	Variación del tráfico vehicular (%)	Tráfico vehicular (veh/día)	VAN (millones de \$)	TIR (%)
Caso pesimista 3	70%	51	0,016	22%
Caso pesimista 2	80%	58	0,021	27%
Caso pesimista 1	90%	65	0,026	31%
Caso base	100%	72	0,032	35%
Caso optimista 1	110%	80	0,037	39%
Caso optimista 2	120%	87	0,042	43%
Caso optimista 3	130%	94	0,048	47%

Nota. El análisis de sensibilidad demuestra que el proyecto mantiene su viabilidad económica en todos los escenarios evaluados, esto debido al bajo costo de la intervención. Incluso ante una reducción del 30% en el tráfico diario (Caso pesimista 3) se mantiene la viabilidad económica.
Fuente: Elaboración propia.

De forma similar al anterior caso de la vía CU 902, el análisis de sensibilidad muestra muy poco riesgo para la inversión en la alternativa I de la vía CU 905. Al tener una disminución del tráfico del 30%, la inversión tiene un VAN positivo, esto debido a que los costos de mantener la vía son muy bajos en comparación con el enorme ahorro en tiempo y combustible que el modelo RED calcula para cada poblador de la zona.

7.2.4 Determinación del análisis de riesgo

Para determinar el análisis de riesgo, en primer lugar se identificaron las variables del proyecto con mayor sensibilidad e impacto en el flujo de caja económico. Considerando la naturaleza de los caminos rurales en la provincia de Anta y la coyuntura económica, se seleccionaron las siguientes variables críticas para el análisis:

Costo de Inversión (Obras de mejoramiento): Debido a la posibilidad de variaciones en los precios de insumos, rendimientos de maquinaria o imprevistos geológicos comunes en la zona.

Tráfico Promedio Diario (IMD) y Tasa de Crecimiento: Dado que la demanda futura depende del desarrollo agrícola y comercial de las localidades, lo cual introduce incertidumbre en la proyección.

Beneficios Unitarios (COV y Tiempo): Variables sujetas a la fluctuación de precios de combustibles y valoración del tiempo de los usuarios.

Figura 67

Datos de entrada análisis de riesgo,

Datos Básicos de Entrada del Análisis de Riesgo

Distribuciones Triangulares						
		Factores de Multiplicación				
Número de Variable	Descripción de la Variable	Mínimo Valor Posible	Valor de Entrada del Modelo	Máximo Valor Posible	Probabilidad Valor < 1 (%)	Probabilidad Valor > 1 (%)
1	Tránsito Normal (vpd)	0,85	1,00	1,15	50,0%	50,0%
2	Tasa de Crecimiento del Tránsito Normal (%)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
3	Tránsito Generado (vpd)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
4	Tránsito Inducido (vpd)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
5	Costos de Tiempo de Pasajeros (\$/hr)	0,90	1,00	1,10	50,0%	50,0%
6	Costos de Tiempo de Carga (\$/hr)	0,90	1,00	1,10	50,0%	50,0%
7	Duración de la Estación Húmeda (días)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
8	Longitud del Camino sin Proyecto para la Estación Seca (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
9	Rugosidad del Camino sin Proyecto para la Estación Seca (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
10	Longitud del Camino sin Proyecto para la Estación Húmeda (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
11	Rugosidad del Camino sin Proyecto para la Estación Húmeda (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
12	Tasa de Accidentes sin Proyecto (#/m veh-km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
13	Costos de Inversión sin Proyecto (000\$/km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
14	Costos de Mantenimiento sin Proyecto (000/km/año)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
15	Longitud del Camino de la Alternativa 1 para la Estación Seca (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
16	Rugosidad del Camino de la Alternativa 1 para la Estación Seca (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
17	Longitud del Camino de la Alternativa 1 para la Estación Húmeda (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
18	Rugosidad del Camino de la Alternativa 1 para la Estación Húmeda (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
19	Tasa de Accidentes de la Alternativa 1 (#/m veh-km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
20	Costos de Inversión de la Alternativa 1 (000\$/km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
21	Costos de Mantenimiento de la Alternativa 1 (000/km/año)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
22	Longitud del Camino de la Alternativa 2 para la Estación Seca (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
23	Rugosidad del Camino de la Alternativa 2 para la Estación Seca (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
24	Longitud del Camino de la Alternativa 2 para la Estación Húmeda (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
25	Rugosidad del Camino de la Alternativa 2 para la Estación Húmeda (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
26	Tasa de Accidentes de la Alternativa 2 (#/m veh-km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
27	Costos de Inversión de la Alternativa 2 (000\$/km)	0,90	1,00	1,10	50,0%	50,0%
28	Costos de Mantenimiento de la Alternativa 2 (000/km/año)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
29	Longitud del Camino de la Alternativa 3 para la Estación Seca (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
30	Rugosidad del Camino de la Alternativa 3 para la Estación Seca (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
31	Longitud del Camino de la Alternativa 3 para la Estación Húmeda (km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
32	Rugosidad del Camino de la Alternativa 3 para la Estación Húmeda (IRI)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
33	Tasa de Accidentes de la Alternativa 3 (#/m veh-km)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D
34	Costos de Inversión de la Alternativa 3 (000\$/km)	0,80	1,00	1,20	50,0%	50,0%
35	Costos de Mantenimiento de la Alternativa 3 (000/km/año)	1,00	1,00	1,00	#N/D	#N/D

Nota. Factores de multiplicación mínimos, máximos y valores de entrada asignados a las variables del modelo RED para la simulación del análisis de riesgo. Se especifican las probabilidades asociadas a distribuciones triangulares. vpd = vehículos por día; IRI = Índice de Rugosidad Internacional; #N/D = No Determinado/No Aplica para variables con factor constante (1,00). Datos obtenidos del módulo de análisis de riesgo del software RED. Fuente: Elaboración propia basado en el módulo de riesgo del modelo RED.

Al ejecutar el modelo, se obtuvieron los siguientes datos:

Figura 68

Hoja de salida del análisis de riesgo.

Solución de Análisis de Riesgo

País		Perú		
Proyecto		Evaluación vía CU-110		
Camino		CU110		

	Alternativa Sin Proyecto	Posibles Alternativas de Proyecto		
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Mantener en Condición Mala	Mantenimiento Rutinario (Limpieza)	Mantenimiento Periódico (Recapeo)	Mejora de Carpeta Asfáltica
Valor Actual Neto (millones de \$) a una Tasa de Descuento del 8%				
Valor Estimado	0,000	-3,106	0,032	0,930
Media	0,000	-3,111	0,039	0,957
Desviación Estándar	0,000	0,233	0,181	0,371
Mínimo	0,000	-3,790	-0,408	-0,036
Máximo	0,000	-2,537	0,484	2,115
Mediana	0,000	-3,097	0,040	0,984
Probabilidad < 0 (%)	#N/D	100%	41%	<u>0%</u>
Tasa Interna de Retorno (%)				
Valor Estimado	#N/D	#¡NUM!	10%	15%
Media	#N/D	#¡DIV/0!	9%	16%
Desviación Estándar	#N/D	#¡DIV/0!	11%	3%
Mínimo	#N/D	<u>0%</u>	-31%	8%
Máximo	#N/D	<u>0%</u>	31%	26%
Mediana	#N/D	#¡NUM!	10%	16%
Probabilidad < 12% (%)	#N/D	#¡DIV/0!	51%	11%

Nota. Resultados estadísticos del VAN y TIR para las alternativas de la vía CU-110. Los códigos #¡DIV/0!, #¡NUM! y #N/D representan valores indeterminados o negativos que el software no puede calcular para la “Alternativa 1”, debido a que no resulta rentable. Fuente: Elaboración propia basada en el módulo de riesgo del modelo RED.

7.3 Presentación de resultados

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 42

Cuadro resumen de los indicadores económicos de todas las vías

Vía	Alternativa de solución	VAN (millones de \$)	TIR (%)
CU 110	Alternativa 3 (Reconstrucción de pavimento)	0,930	15
CU 902	Alternativa 1 (Mantenimiento Rutinario)	0,051	68
CU 905	Alternativa 1 (Mantenimiento Rutinario)	0,032	35

Nota. Resumen de los indicadores económicos obtenidos mediante la simulación en el modelo RED para las tres vías evaluadas (CU 110, CU 902 y CU 905), destacando la alternativa óptima para cada vía. Fuente: Elaboración propia.

Al revisar los resultados económicos, vemos que cada vía destaca por un motivo distinto. Por un lado, la ruta CU-110 es la que genera la mayor ganancia económica total en dinero, alcanzando un Valor Actual Neto (VAN) de \$0,930 millones. Por otro lado, la vía CU 902 es la opción más atractiva si miramos el rendimiento de la inversión, ya que tiene la Tasa Interna de Retorno (TIR) más alta con un 68%, lo que significa que el dinero invertido allí se recupera de manera mucho más rápida y eficiente

VIII. Análisis y discusión de resultados

8.1 Análisis de resultados

Costos operativos vehiculares (COV)

A partir de los parámetros obtenidos como resultado de la evaluación económica, se acepta la hipótesis general que indica que la evaluación económica de caminos rurales se realiza de manera más eficiente usando el modelo RED.

Tabla 43

Cuadro comparativo de COV entre el modelo RED y la Ficha Estándar de Carreteras para la vía CU-110.

Vehículo	Modelo RED	Ficha Estándar de Carreteras
	Coecciente de COV (\$/veh-km)	Coecciente de COV (\$/veh-km)
Automóvil Mediano	0,235	0,390
Vehículo de Carga	0,379	0,728
Vehículo de Reparto	0,424	0,718
Autobús Pequeño	0,344	0,723
Autobús Mediano	0,731	1,928
Autobús Pesado	0,939	1,968
Camión Liviano	0,798	0,599
Camión Mediano	0,998	0,803
Camión Articulado	1,905	1,450

Nota. COV = Costo de Operación Vehicular. La tabla compara los coeficientes obtenidos mediante el modelo RED y los valores de la Ficha Estándar de Carreteras para los distintos tipos de vehículos evaluados en la vía CU-110, expresados en dólares por vehículo-kilómetro (\$/veh-km). Fuente: Elaboración propia.

A partir del cuadro anterior, se aprecia que los costos operativos en el caso de vehículos de carga (camionetas pick up); autobús pequeño, mediano y pesado tienen mucha diferencia. En la Ficha estándar de carreteras, los valores resultan ser muy altos, eso indica que el costo de tiempo pasajero-hora será también elevado; se determina que el costo es “elevado” debido a que se tiene como patrón de comparación el pasaje real en esa vía. Se aprecia que el modelo

RED, al tener un análisis económico más completo, con parámetros económicos más detallados; brinda un costo operativo vehicular más realista en la vía CU-110.

De forma similar se tienen los costos operativos para las vías CU 902 y CU 905, respectivamente:

Tabla 44

Cuadro comparativo RED - Fich Técnica Estándar - CU 902.

Vehículo	Modelo RED	Ficha Estándar de Carreteras
	Coefficiente de COV (\$/veh-km)	Coefficiente de COV (\$/veh-km)
Automóvil Mediano	0,246	0,390
Vehículo de Carga	0,393	0,728
Autobús Pequeño	0,371	0,723
Camión Liviano	0,961	0,599

Nota. COV = Costo de Operación Vehicular. La tabla detalla la comparación de los coeficientes del costo operativo por tipo de vehículo (\$/veh-km) calculados por el modelo RED frente a los parámetros de la Ficha Estándar de Carreteras para la vía CU 902. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Cuadro comparativo RED - Fich Técnica Estándar - CU 905.

Vehículo	Modelo RED	Ficha Estándar de Carreteras
	Coefficiente de COV (\$/veh-km)	Coefficiente de COV (\$/veh-km)
Automóvil Mediano	0,257	0,390
Vehículo de Carga	0,418	0,728
Autobús Pequeño	0,390	0,723
Camión Liviano	1,001	0,599

Nota. COV = Costo de Operación Vehicular. La tabla detalla la comparación de los coeficientes del costo operativo por tipo de vehículo (\$/veh-km) calculados a través del modelo RED frente a los parámetros de la Ficha Estándar de Carreteras para la vía CU 905. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran el ahorro en términos de costos operativos vehiculares (COV), para cada vía con su respectiva alternativa de solución:

Vía CU 110:

Figura 69

Cuadro resumen de la diferencia de COV sin proyecto y con proyecto – CU 110.

	Ahorro de C.U.C. Económicos (%)	Costos Financieros de Viaje Unitarios (Dólares 2024)											
		Sin Proyecto			Con Proyecto			Variación					
		VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (%)	TIEMPO (%)	TOTAL (%)
Automóvil Mediano	-2%	2,76	1,40	4,16	3,00	1,10	4,10	0,23	-0,30	-0,06	8%	-21%	-2%
Vehículo de Carga	-13%	5,41	2,30	7,71	4,96	1,79	6,75	-0,45	-0,51	-0,97	-8%	-22%	-13%
Vehículo de Reparto	8%	4,95	0,85	5,79	5,56	0,67	6,23	0,62	-0,18	0,44	12%	-21%	8%
Autobús Pequeño	-9%	4,62	1,80	6,42	4,45	1,42	5,87	-0,17	-0,38	-0,55	-4%	-21%	-9%
Autobús Mediano	0%	8,58	4,78	13,36	9,72	3,58	13,30	1,14	-1,20	-0,06	13%	-25%	0%
Autobús Pesado	-4%	11,19	6,29	17,48	12,39	4,42	16,81	1,20	-1,87	-0,67	11%	-30%	-4%
Camión Liviano	-9%	9,87	6,28	16,14	10,59	4,17	14,75	0,72	-2,11	-1,39	7%	-34%	-9%
Camión Mediano	-5%	12,75	5,38	18,13	13,18	4,00	17,18	0,43	-1,38	-0,95	3%	-26%	-5%
Camión Articulado	-6%	23,42	10,33	33,76	25,08	6,54	31,62	1,65	-3,79	-2,14	7%	-37%	-6%

Nota. U.C. = Costo Unitario; VOC = Costo de Operación Vehicular. Comparativa de los costos financieros unitarios de viaje (\$/veh-viaje) y los ahorros económicos generados por la implementación del proyecto en el tramo viales CU 110. Fuente: Elaboración propia.

Vía CU 902:

Figura 70

Cuadro resumen de la diferencia de COV sin proyecto y con proyecto – CU 902.

	Ahorro de C.U.C. Económicos (%)	Costos Financieros de Viaje Unitarios (Dólares 2024)											
		Sin Proyecto			Con Proyecto			Variación					
		VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (%)	TIEMPO (%)	TOTAL (%)
Automóvil Mediano	-7%	2,33	0,62	2,95	2,20	0,55	2,75	-0,13	-0,07	-0,20	-6%	-11%	-7%
Vehículo de Carga	-8%	3,97	1,01	4,98	3,69	0,89	4,58	-0,28	-0,11	-0,40	-7%	-11%	-8%
Autobús Pequeño	-7%	3,64	0,23	3,87	3,40	0,21	3,61	-0,24	-0,03	-0,26	-6%	-11%	-7%
Camión Liviano	-9%	9,89	11,73	21,62	9,14	10,50	19,65	-0,74	-1,23	-1,97	-8%	-10%	-9%

Nota. U.C. = Costo Unitario; VOC = Costo de Operación Vehicular. Comparativa de los costos financieros unitarios de viaje (\$/veh-viaje) y los ahorros económicos generados por la implementación del proyecto en el tramo viales CU 902. Fuente: Elaboración propia.

Vía CU 905:

Figura 71

Cuadro resumen de la diferencia de COV sin proyecto y con proyecto – CU 905.

	Ahorro de C.U.C. E conómicos (%)	Costos Financieros de Viaje Unitarios (Dólares 2024)											
		Sin Proyecto			Con Proyecto			Variación					
		VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (\$/veh-viaje)	TIEMPO (\$/veh-viaje)	TOTAL (\$/veh-viaje)	VOC (%)	TIEMPO (%)	TOTAL (%)
Automóvil Mediano	-8%	2,23	0,69	2,92	2,08	0,61	2,69	-0,16	-0,08	-0,23	-7%	-11%	-8%
Vehículo de Carga	-9%	4,30	0,70	5,00	3,94	0,62	4,56	-0,36	-0,08	-0,43	-8%	-11%	-9%
Autobús Pequeño	-9%	3,89	0,69	4,58	3,55	0,61	4,16	-0,34	-0,08	-0,41	-9%	-11%	-9%
Camión Liviano	-9%	3,69	2,51	6,20	3,40	2,24	5,65	-0,29	-0,26	-0,55	-8%	-10%	-9%

Nota. U.C. = Costo Unitario; VOC = Costo de Operación Vehicular. Comparativa de los costos financieros unitarios de viaje (\$/veh-viaje) y los ahorros económicos generados por la implementación del proyecto en el tramo viales CU 905. Fuente: Elaboración propia.

Comparación de metodologías:

Comparación entre las 3 metodologías para priorizar un camino rural, considerando: enfoque principal, herramientas utilizadas, parámetros obtenidos, resultados y ayuda en la toma de decisiones.

Tabla 46

Cuadro comparativo modelo RED, Plan Vial Provincial Participativo y Ficha estándar de Carreteras.

Criterio	Modelo RED	Priorización de vías según el modelo RED	Plan Vial Provincial Participativo (PVPP)	Priorización de vías según el PVPP de Anta	Ficha Estándar de Carreteras – MTC	Priorización de vías según la Ficha Estándar de Carreteras – MTC
Enfoque principal	Económico, basado en análisis de costos y beneficios.		Social y de planificación participativa, considerando accesibilidad y conectividad.		Técnico-normativo, centrado en caracterización física y estado de la infraestructura.	
Herramientas utilizadas	Simulación de escenarios de intervención, cálculo de indicadores económicos (VAN, TIR, B/C).		Matriz de priorización con criterios de demanda, accesibilidad, servicios sociales y articulación territorial.	1.- Vía CU 110: No corresponde	Formatos estandarizados de recolección de datos técnicos (longitud, tipo de superficie, estado, tráfico).	
Parámetros considerados	Costos de inversión y mantenimiento, costos de operación vehicular, costos de tiempo-pasajero, tránsito proyectado.	1.- Vía CU 110: Prioridad 1 2.- Vía CU 902: Prioridad 2 3.- Vía CU 905: Prioridad 3.	Población beneficiaria, jerarquía vial, articulación a servicios básicos, conectividad a centros de producción.	2.- Vía CU 902 : Ranking PVPP: 2° 3.- Vía CU 905 : Ranking PVPP: 127°	Tipo de vía, superficie, condición estructural, necesidades de mantenimiento.	1.- Vía CU 110 : Prioridad 1 2.- Vía CU 902 : Prioridad 2 3.- Vía CU 905 : Prioridad 3
Resultado obtenido	Indicadores de rentabilidad económica: VAN, TIR, B/C.		Ranking de priorización de vías para inversión provincial.		Diagnóstico técnico del camino y su clasificación dentro de la red vial.	
Toma de decisiones	Basada en eficiencia económica y rentabilidad social.		Basada en consenso participativo y necesidades sociales inmediatas.		Basada en cumplimiento de parámetros técnicos y requerimientos de conservación.	
Nivel de aplicación	Proyectos de inversión en caminos rurales y vecinales con enfoque económico.		Planificación de la red vial provincial en el marco del PVPP.		Etapas de identificación y formulación de proyectos en Invierte.pe.	

Nota. PVPP = Plan Vial Provincial Participativo; MTC = Ministerio de Transportes y Comunicaciones; VAN = Valor Actual Neto; TIR = Tasa Interna de Retorno; B/C = Relación Beneficio-Costo. Se muestra el análisis comparativo y los órdenes de prioridad para los caminos rurales evaluados (CU 110, CU 902 y CU 905) bajo tres enfoques metodológicos complementarios, detallando sus herramientas, parámetros de evaluación y niveles de aplicación en el sistema Invierte.pe. Fuente: Elaboración propia.

Se muestra un cuadro comparativo entre la metodología del modelo RED y la Ficha estándar de carreteras, ambas metodologías usan indicadores económicos para priorizar caminos rurales.

Tabla 47

Cuadro comparativo entre metodologías con enfoque económico.

Criterio / Elemento	Modelo RED	Ficha Estándar de Carreteras (FEC) – MTC	Diferencia
Enfoque principal	Evaluación económica de caminos rurales de bajo volumen de tránsito, considerando costos y beneficios de inversión y mantenimiento.	Evaluación preliminar de proyectos viales mediante la ficha estandarizada, incluyendo estimación económica de costos y beneficios.	RED está orientado a análisis detallado de rentabilidad económica; la FEC es más un instrumento de diagnóstico técnico y pre-evaluación económica.
Indicadores económicos	VAN, TIR, Relación B/C.	VAN, TIR, B/C (estimados a nivel de ficha de proyecto).	Ambos utilizan los mismos indicadores, pero RED permite un cálculo más detallado a nivel de escenario de inversión.
Nivel de detalle	Considera costos de operación vehicular, tiempo de viaje, mantenimiento y deterioro vial proyectado a largo plazo.	Se enfoca en datos básicos del proyecto: costos de inversión y mantenimiento estimados, ahorro general de tiempo y operación.	RED proporciona una simulación más realista de los impactos económicos; la FEC es más simplificada y orientada a la formulación inicial del proyecto.
Uso para priorización	Permite priorizar caminos según rentabilidad económica, identificando la alternativa más conveniente.	Permite evaluar preliminarmente la viabilidad económica de un proyecto y compararlo con otros de manera rápida.	RED ofrece un criterio más riguroso de priorización económica; la FEC es útil como filtro inicial dentro del proceso de planificación del MTC.
Aplicación	Caminos rurales con análisis detallado de costos y beneficios a nivel de proyecto.	Fase de identificación y pre-formulación de proyectos de inversión vial.	RED complementa la FEC proporcionando información económica más precisa y detallada.

Nota. FEC = Ficha Estándar de Carreteras; MTC = Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Cuadro comparativo orientado a identificar las diferencias en el alcance, indicadores y nivel de simulación económica que ofrece la metodología del modelo RED en contraste con el MTC. Fuente: Elaboración propia.

Indicadores económicos (VAN y TIR):

El procesamiento de los datos mediante el modelo RED permitió obtener los siguientes indicadores económicos:

Tabla 48

Se muestra un cuadro resumen de los indicadores economicos para cada vía.

Vía	Alternativa de solución	VAN (millones de \$)	TIR (%)
CU 110	Alternativa 3 (Reconstrucción de pavimento)	0,930	15
CU 902	Alternativa 1 (Mantenimiento Rutinario)	0,051	68
CU 905	Alternativa 1 (Mantenimiento Rutinario)	0,032	35

Nota. VAN = Valor Actual Neto; TIR = Tasa Interna de Retorno. Resumen de los indicadores de viabilidad económica obtenidos para los caminos rurales evaluados, especificando la alternativa de intervención recomendada en cada vía. Fuente: Elaboración propia.

1. Evaluación económica de forma general:

En primer lugar, el análisis de los datos determina que los tres proyectos viales son económicamente viables y rentables para el Estado. Esto se sustenta en que todas las alternativas presentan un VAN mayor a cero, y sus respectivas Tasas Internas de Retorno (15%, 68% y 35%) superan notablemente la tasa de descuento social para proyectos de inversión pública en el Perú (8%). Esto indica que los beneficios generados por la mejora de la transitabilidad (reducción de costos operativos y tiempos de viaje) superan ampliamente los costos de inversión y mantenimiento.

2. Análisis según el VAN:

Al analizar el Valor Actual Neto, se observa una gran diferencia en los beneficios absolutos. La vía CU-110 presenta una gran superioridad con un VAN de \$0,93 millones de dólares, este

valor supera ampliamente a los resultados de la vía CU-902 (\$0,051 millones) y CU-905 (\$0,039 millones).

Este indicador demuestra que la intervención en la ruta CU-110 es la que mayor ganancia neta o beneficio total generará para la provincia de Anta. Este valor puede reflejar una mayor demanda de usuarios (mayor volumen de tráfico) o una mayor longitud de la vía, lo que hace que la suma total de los ahorros individuales por la mejora de la carretera se acumule significativamente.

3. Análisis según la TIR:

Por otro lado, al evaluar la Tasa Interna de Retorno, los resultados cambian de alguna manera. La vía CU-902 registra el indicador más alto con un 68%, seguida de la vía CU-905 con un 35%, mientras que la vía CU-110 (vía que presenta el mayor VAN) presenta la TIR más baja con un 15%.

De ello se puede decir que la TIR del 68% para la vía CU-902 indica que este proyecto tiene el mayor rendimiento porcentual; es decir, por cada dólar invertido, es la opción que recupera el capital de forma más acelerada. Esto sugiere que la CU-902 requiere una inversión inicial relativamente baja frente a los altos y rápidos beneficios inmediatos que genera su mejoramiento.

8.2 Discusión de resultados

8.2.1 Discusión por antecedentes de investigación

Según (Mbabazi, 2019), el impacto de la condición de vía en los costos operativos vehiculares; mientras mejor sea la condición de la vía, menores serán los costos operativos vehiculares. Se cumple con el caso de la vía CU-110, el mejoramiento de carpeta asfáltica reduce el costo operativo vehicular en un 8% en el caso de los vehículos pick up (Vehículo de carga) y un 4% en el caso de combis rurales (autobús pequeño).

Según Archondo et al. (2003), el antecedente presentado permite conocer la relación del tráfico vehicular con las opciones de inversión según el estado de conservación de la vía. Dentro del modelo RED, se logró analizar cuál era la mejor opción de inversión concluyendo que la vía asfaltada CU 110, al presentar una mayor cantidad de afluencia vehicular, presenta un valor actual neto más alto frente a las demás vías, por lo tanto es la mejor opción de inversión (VAN = \$ 0,930 millones y TIR =15%)

Según Meyer et al. (2008), es muy importante la influencia del desvío de tráfico vehicular (IMD) en el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), logrando así la mejoría de la rentabilidad social del proyecto. En el caso de la vía asfaltada CU 110, esta vía presenta un tráfico derivado por las vías que dirigen hacia la localidad de Quillabamba, es mucho más fácil llegar a Quillabamba por el lado de Huaricondo que se prolonga hasta llegar al puente Pachar, por lo tanto se concluye que el tráfico generado por el desvío de otras rutas sí influye notablemente en los indicadores VAN y TIR.

Según Glave et al. (2012), la modificación del trazo de vía es una alternativa para que los indicadores económicos del proyecto lleguen a ser rentables; en concordancia con los autores, el trazo de vía por un sector el cual no presente muchas curvas verticales ni horizontales, permitirá que los costos operativos vehiculares se reduzcan; por lo tanto se reducirá los costos y se tendrán mayores beneficios económicos, garantizando la rentabilidad de un proyecto vial.

8.2.2 Discusión por hipótesis de investigación

Según la hipótesis general: Mediante el modelo RED, es más eficiente realizar la evaluación económica de los caminos rurales frente a la metodología del Plan Vial Provincial Participativo y la Ficha Estándar de Carreteras.

Del modelo RED, se demuestra que el análisis mediante dicho modelo es más eficiente que el análisis por medio de la Ficha Técnica Estándar, debido a que los valores de costos operativos vehiculares (COV) del modelo RED son calibrados específicamente para el sector de Anta, presentan parámetros propios de la localidad como lo son geometría de la vía, tráfico vehicular, algo muy distinto a la Ficha Técnica Estándar que tiene establecidos los COV para zona costa, sierra y selva (algo más generalizado).

Según las hipótesis específicas:

1. H.E.1: La calibración del modelo es único para cada sector de trabajo

Del análisis del modelo RED, se demuestra que los costos operativos para cada vía son independientes, debido a que cada vía presenta diferente geometría y tráfico vehicular, por lo tanto la calibración del modelo es distinta para cada zona.

2. H.E. 2: La evaluación económica en una determinada ruta de un camino de bajo volumen de tránsito, en la mejora y su mantenimiento, se hace más eficiente mediante el modelo RED.

En relación a la obtención de los costos operativos vehiculares (COV) mediante el módulo de costos operativos HDM-4 dentro del modelo RED, para la vía CU-110 existe una notable reducción de costos operativos vehiculares (pick up) del 8% con respecto al proyecto sin intervención; para la vía CU-902 la reducción de costos operativos vehiculares es del 7%; y por último, para la vía CU-905 la reducción de costos operativos es del 9%, estos valores eran esperados ya que al mejorar la calidad de la superficie de rodadura (IRI) e incorporar un mantenimiento, los costos operativos, el tiempo de viaje y la reducción de la tasa de accidentes se reducen considerablemente.

3. H.E. 3: Los costos operativos en las rutas de estudio, son calculados de manera analítica.

Con respecto a la obtención de los costos operativos vehiculares (COV), se realizan de manera más técnica, más detallada y basada en variables propias de cada vía de estudio; a diferencia de las formas tradicionales de obtener los COV como la Ficha Estándar de Carreteras, el modelo RED obtiene dichos coeficientes usando variables de la vía y de los vehículos que transitan por la misma.

4. H.E. 4: El análisis de riesgos en las rutas de estudio, se determinan de manera más objetiva.

Respecto al análisis de riesgos, el modelo RED permite la toma de decisiones con la simulación de datos, en lugar de solo depender del criterio del evaluador.

5. H.E. 5: La evaluación económica de una red de caminos en la mejora y mantenimiento, se realiza de manera más eficiente mediante el modelo RED.

El modelo RED analiza distintos tipos de vía y selecciona en ellos cual es la mejor alternativa de solución; lo hace de manera específica para la zona de trabajo, considerando datos técnicos de la vía, así como de los vehículos que transitan por ella. Por consiguiente se puede afirmar que el modelo RED realiza una evaluación de manera más eficiente que la Ficha Técnica Estándar.

IX. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

1. Se determinaron los indicadores económicos para los proyectos viales de las vías CU 110 (VAN: 0,93 (millones de dólares) ,TIR:15%), CU 902 (VAN: 0,051 (millones de dólares) ,TIR: 68%) y CU 905 (VAN: 0,032 (millones de dólares), TIR: 35%). De esta manera se concluye que las alternativas de intervención vial son económicamente viables, debido a la TIR que es favorable para la implementación de los proyectos.
2. Se logró calibrar el modelo RED incorporando parámetros propios del sector de Anta, tales como la geometría de la vía, la rugosidad de la vía (IRI), el tipo de terreno y las características del tráfico local. Esta calibración demostró que los valores de los costos operativos vehiculares deben ser únicos para cada sector de trabajo, lo que hace que el análisis mediante el modelo RED sea mucho más eficiente y preciso frente a metodologías tradicionales como la Ficha Técnica Estándar.
3. La evaluación económica en las rutas individuales demostró que la implementación de mejoras y mantenimientos es altamente viable. Al aplicar el modelo RED se comprobó la rentabilidad de las intervenciones; por ejemplo, la vía CU 110 arrojó un VAN: 0,930 (millones de dólares) y TIR:15%.
4. Se determinaron los costos operativos vehiculares propios de cada vía, reduciendo los costos operativos vehiculares un 8%, 7% y 9%, para las vías CU 110, CU 902 y CU 905, respectivamente. Estos costos se reducen debido al mejoramiento de la superficie de rodadura, lo que significa o implica que se reducen los costos por desgaste de neumáticos, se reducen los tiempos de viaje, influyendo así, positivamente en la actividad ganadera y agrícola de la zona.

5. El análisis de riesgos en las rutas de estudio se logró establecer de manera mucho más objetiva. El uso del modelo RED permitió evaluar la incertidumbre técnica y financiera de los proyectos, identificando con precisión qué parámetros (como fluctuaciones en el tráfico o variaciones en los costos de mantenimiento) tienen un impacto verdaderamente significativo a nivel económico en la rentabilidad final.
6. La evaluación conjunta de la red de caminos rurales evaluada comprobó que el modelo RED es una herramienta altamente eficaz para priorizar y decidir inversiones a nivel integral. Al evaluar la red completa, se logra apreciar la mejor alternativa de solución según cada vía en estudio.

9.2 Recomendaciones

1. Para futuras investigaciones relacionadas al tema, se podrían calibrar muchos modelos de evaluación económica de acuerdo a la región y topografía en la que se encuentren, eso permitiría tener una base de datos actualizada de los costos operativos vehiculares en cada región de nuestro país.
2. A nivel de toma de decisión de proyectos públicos, se recomienda priorizar aquellos proyectos que permitan la conexión de centros de abasto con las zonas agrícolas, que a su vez presenten indicadores sólidos para ser evaluados dentro del modelo RED.
3. Para los gobiernos locales, se recomienda implementar y fortalecer un sistema de recolección de información de datos sobre el tráfico vehicular rural, a su vez, implementar la recolección de parámetros para la obtención de los costos operativos vehiculares de la zona, esto garantizará una mejor evaluación de proyectos futuros.
4. Para futuras evaluaciones, se recomienda complementar el modelo RED con instrumentación socioambiental, de tal manera que se capte o registre el impacto ecológico y social al momento de realizar una intervención vial en caminos rurales.

X. Referencias bibliográficas

- Archondo, R. (1999). Economic Decision Model for Low-Volume Roads. *Transportation Research Record*, 18-30.
- Archondo, R. (2004). Modelo de Evaluación Económica de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito Guía para el Usuario & Casos de estudio. *Sub-Saharan Africa Transport Policy Program*.
- Archondo, R., Méndez, D., & Cantarero, L. (2003). Network Level Application of Roads Economic Decision Model in Nicaragua. *Transportation research record*.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2006). *Evaluación económica de proyectos de transporte*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Bashi, N., & Valladares, N. (2021). *Factores para la priorización de la red vial de bajo volumen de tránsito aplicando el modelo Road Economic Decision (RED)*. Lima.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Chang, C., & Meléndez, J. (2011). Aplicabilidad del modelo HDM-III en la evaluación de proyectos viales. *Instituto de la Construcción y Gerencia*, 1-11.
- De Solminihaç, H., Echaveguren, T., & Chamorro, A. (2019). *Gestión de Infraestructura Vial* (Tercera Edición ed.). Bogotá.
- Glave, M., Hopkins, Á., Malky, A., & Fleck, L. (2012). Análisis económico de la carretera Pucallpa - Cruzeiro do Sul. *GRADE*.
- Gruber, A., Morales, V., Prieto, V., & Vivanco, C. (04 de Noviembre de 2011). *StuDocu*. Obtenido de StuDocu: <https://www.studocu.com>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill Education.
- Mbabazi, E. (2019). Impact of unpaved road condition on rural transport services. *Municipal Engineer*, 239-245.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2011). *Gob.pe*. Obtenido de <http://www.mef.gob.pe>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (01 de Diciembre de 2016). *Gob.pe*. Obtenido de <https://www.mef.gob.pe>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). *Reglamento de Jerarquización Vial*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Marzo de 2008). *Gob.pe*. Obtenido de <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedisenodecarreterasnopavimentadasdebajovolumendetransito.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). *Guía Metodologica para la Elaboración de Planes Viales Provinciales Participativos - PVPP*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (12 de 12 de 2018). *Gob.pe*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/235936-17-2018-mtc-14>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022). *Anuario Estadístico 2022*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022). *Plan Vial Provincial Participativo de Anta*. Anta.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). *Instructivo de la Ficha Técnica Estándar para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Parera, M. A. (2009). *Guía práctica 6 Evaluación económica*. Catalunya: Ivalua.
- Pradena, M., & Posada, J. (2007). Análisis de inversiones en carreteras utilizando Software HDM-4. *Revista de la Construcción*, 35-47.
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe ediciones.
- Salazar, P., & Sánchez, B. (2020). *Propuesta de plan de intervención vial como modelo de gestión en hoja de cálculo excel, aplicando metodologías de relevamiento de fallas en caminos rurales*. Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Simisterra, É., Rosa, A., & Suárez, S. (2018). La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 9-15.
- Sociedad de Comercio del Exterior del Perú . (28 de Febrero de 2020). *Sociedad de Comercio del Exterior del Perú* . Obtenido de COMEX PERÚ: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados>
- Soto Plasencia, M. (2006). Influencia de los corredores económicos en la producción de limón de exportación en la región Piura. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 153-175.
- Tamura, K., Nakagawa, Y., & Kadooka, S. y. (2012). Effectiveness of Rural Road Improvement Using the “Do-nou” Method in Developing Countries: Economic Analysis with RED Model. *Japan Society of Civil Engineers*.
- Yvala Flores, F. C. (2019). *Evaluación económica en el ciclo de vida del pavimento rígido y flexible en las vías Arteriales y Colectoras del Distrito de Ayacucho*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

XI. Anexos

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	Formato de salida de instrumentos de topografía
ANEXO 2	Solicitud dirigida hacia el Plan COPESCO
ANEXO 3	Solicitud dirigida hacia a la Unidad Formuladora del Gobierno Regional del Cusco
ANEXO 4	Carta de respuesta de la Unidad Formuladora del Gobierno Regional del Cusco
ANEXO 5	Panel fotográfico (Fotografías)
ANEXO 6	PLANOS

Anexo 1

Formato de salida de instrumentos de topografía



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
GABINETE DE TOPOGRAFÍA

FORMATO DE SALIDA DE BIENES



ASIGNATURA: Topografía

DOCENTE: _____

SEMESTRE: _____

FECHA DE SALIDA: **22 MAR 2024**

DÍA	MES	AÑO
22	03	2024
HORA / SALIDA: 11:22 a.m.		

CANT.	INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	N° DE CÓDIGO	SERIE	OBSERVACION
1	TEODOLITO					
1	NIVEL					
1	ESTACION TOTAL					
1	TRIPODE					
1	MIRA					
01	JALON	destilizable				
1	PRISMA					
1	BASTON					
1	GPS					
01	ECLIMETRO	CST/berger		6022 3444 0067		con estuche
1	BRUJULA					
1	CINTA METRICA					
1	OTROS					

LOS EQUIPOS SALEN CON FIRMA DE:

DECANO

Lisbet Romulo Maldonado
personal de Topografía

JEFE DE GABINETE

DOCENTE DEL CURSO

NOTA: LOS INSTRUMENTOS FUERON ENTREGADOS EN PERFECTAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO, EN CASO DE PERDIDA O DETERIORO DE LOS INSTRUMENTOS DETALLADOS EN ESTE FORMATO, SON DE RESPONSABILIDAD DE LOS ALUMNOS DE GRUPO FIRMANTES EN EL PRESENTE FORMATO.

RELACION DE ALUMNOS RECEPCIONANTES Y RESPONSABLES

N°	NOMBRE Y APELLIDOS	CODIGO DE ESTUD.	N° DE CELULAR	FIRMA	OBSERVACION
1	BEVANT GABRIEL VISAGA FERNANDEZ	160932	992072187	<i>BVF</i>	

DEVOLUCION

FECHA DE ENTREGA		
DÍA	MES	AÑO
HORA / ENTREGA		

OBSERVACIONES:

Anexo 2

Solicitud dirigida hacia el Plan COPESCO

SOLICITO:

EXPEDIENTE TÉCNICO DE "MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITIBILIDAD VIAL INTERURBANA, EN LA VÍA VECINAL CU 902 – TRAMO CCPPS HUAROCONDO Y ZURITE, EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y ZURITE DE LA PROVINCIA DE ANTA – DEPARTAMENTO DE CUSCO"

Señor:
Mgt. Ing. José Antonio Negrón Andía
Director Ejecutivo del Plan COPESCO



Yo, **Bryant Gabriel Visaga Fernández**, identificado con **DNI N° 72786325**, con domicilio actual en Urb. Ttio Psje. Uriel García Q-1-5, distrito de Wanchaq, provincia de Cusco; tesista de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco con tesis titulada "EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA – HUAROCONDO) – PERIODO 2023", ante usted me presento con el debido respeto para exponer lo siguiente:

Que, por motivo de realizar mi tesis, necesito recopilar información técnica con respecto al camino vecinal entre el Distrito de Zurite y Huarrocondo (vía CU 902), dicha información está en el Expediente Técnico por ello, solicito tenga la amabilidad de facilitarme la siguiente documentación:

- **EXPEDIENTE TÉCNICO DE "MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITIBILIDAD VIAL INTERURBANA, EN LA VÍA VECINAL CU 902 – TRAMO CCPPS HUAROCONDO Y ZURITE, EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y ZURITE DE LA PROVINCIA DE ANTA – DEPARTAMENTO DE CUSCO"**

Adjunto mi número telefónico en caso de ser necesario, Teléf: **992072187**

Por lo expuesto, señor Director Ejecutivo, solicito acceder a mi pedido por ser de justicia.

Cusco, 22 de marzo del 2024


Bryant Gabriel Visaga Fernández
DNI: 72786325

Anexo 3

Solicitud dirigida hacia a la Unidad Formuladora del Gobierno Regional del Cusco

SOLICITO:

**PLANOS DEL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA IZCUCHACA –
HUAROCONDO (CU-110)**

Señor:

Econ. Victor Alberto Samaniego Condori

Gerente Regional de Planeamiento, Presupuesto y Modernización

Con atención:

Ing. Ramon Gustavo Revollo Mallma

Responsable UFRI



Yo, **Bryant Gabriel Visaga Fernández**, identificado con **DNI N° 72786325**, con domicilio actual en Urb. Ttio Psje. Uriel García Q-1-5, distrito de Wanchaq, provincia de Cusco; tesista de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco con tesis titulada "EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA – HUAROCONDO) – PERIODO 2023", ante usted me presento con el debido respeto para exponer lo siguiente:

Que, por motivo de realizar mi tesis, necesito recopilar información técnica con respecto al camino vecinal entre el Distrito de Izcuchaca y Huarrocondo (vía CU 110), dicha información está presente en los planos realizados para el mejoramiento de la misma, por ello, solicito tenga la amabilidad de facilitarme la siguiente documentación:

- **PLANOS (DE UBICACIÓN, TOPOGRÁFICO, PERFIL, LONGITUDINAL) DE LA VÍA IZCUCHACA-HUARROCONDO**

Adjunto mi número telefónico en caso de ser necesario, Teléf: **992072187**

Por lo expuesto, señor Gerente Regional, solicito acceder a mi pedido por ser de justicia.

Cusco, 27 de marzo del 2024


Bryant Gabriel Visaga Fernández
DNI: 72786325

Anexo 4

Carta de respuesta de la Unidad Formuladora del Gobierno Regional del Cusco



Cusco, 23 de abril de 2024

CARTA N°24 - 2024 - GR CUSCO/GRPPM-UFRI

SR. BRYANT GABRIEL VISAGA FERNANDEZ
TESISTA DE LA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
 Presente. -

Referencia: Solicitud de planos del Proyecto de Mejoramiento de la Carretera Izcuchaca – Huarcocondo (CU 110).



Por medio del presente me dirijo a usted, en atención al documento de la referencia, mediante el cual se requiere con fines académicos la remisión de planos del Proyecto del Mejoramiento de la Carretera Izcuchaca – Huarcocondo (CU 110).

Al respecto debo informar que, este proyecto se encuentra en la fase de formulación y evaluación; por lo que la información que se le será alcanzada será motivo de replanteos y afinamiento en caso lo considere la Subgerencia de Gestión de Estudios y Proyectos, sin embargo en el marco de Ley N° 27806.- Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública; este despacho cumple en remitirle la información solicitada.

Agradeciendo la atención a la presente.

Atentamente,


 GOBIERNO REGIONAL CUSCO
 SUBGERENCIA DE GESTIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
 Ing. Ramon Gustavo Revollo Mañama
 C.P. 186112
 RESPONSABLE UFRI(e)

Cc.
 Archivo
 RGRM/ckvc
 Adjunto: 01 DVD

Anexo 5: Fotografías

Fotografía 1 Medición del ancho de vía en la carretera CU-110



Nota. Se observa la medición del ancho de vía en la carretera CU-110.

Fotografía 2 Medición del ancho de vía en la carretera CU-902



Nota. Se observa la medición del ancho de vía en la carretera CU-902.

Fotografía 3 Medición del ancho de vía en la carretera CU-905.



Nota. Se observa la medición del ancho de vía en la carretera CU-905.

Fotografía 4 Medición del peralte en curvas usando el eclímetro, vía CU-902.



Nota. Se observa la medición del peralte en curvas por medio del eclímetro en el camino CU-902.

Fotografía 5 Medición del peralte en curvas usando el eclímetro, vía CU-110.



Nota. Se observa la medición del peralte en curvas por medio del eclímetro en la carretera CU-110.

Fotografía 6 Medición del peralte en curvas usando el eclímetro, vía CU-905.



Nota. Se observa la medición del peralte en curvas por medio del eclímetro en el camino CU-905.

Fotografía 7 Medición del espesor de la vía asfaltada CU-110



Nota. Se observa la medición del espesor de la vía asfaltada carretera CU-110.

Fotografía 8 Registro del tráfico vehicular en la vía CU-905



Nota. Se observa el registro del tráfico vehicular en la vía CU-905.

Fotografía 9 Reconocimiento en campo del estado de la vía CU-902



Nota. Reconocimiento en campo del estado de la vía CU-902.

Fotografía 10 Ingreso de data para la configuración al aplicativo RoadLab Pro



Nota. Se observa el ingreso de data para la configuración al aplicativo RoadLab Pro.

Fotografía 11 Registro de datos del aplicativo RoadLab Pro



Nota. Se observa el registro de datos del aplicativo RoadLab Pro.

Fotografía 12 Tramo final (llegada) de la vía Zurite-Huarocondo



Nota. Se observa el tramo final (llegada) de la vía Zurite-Huarocondo

Fotografía 13 Inicio de recorrido por la vía CU-905.



Nota. Se observa al vehículo a punto de realizar el recorrido por el camino rural CU-905.

Fotografía 14 Desvío entre vía hacia Zurite y vía hacia Huarcocondo. (0+000 km)



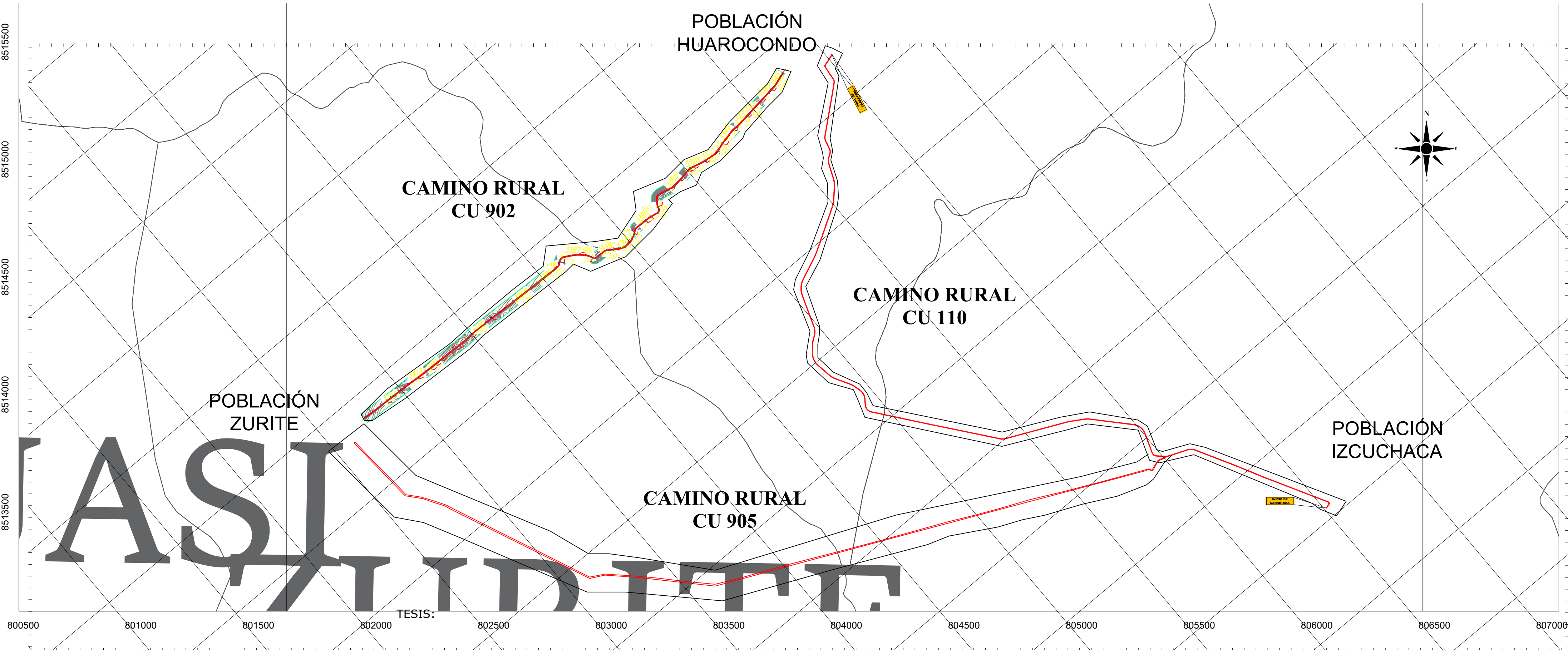
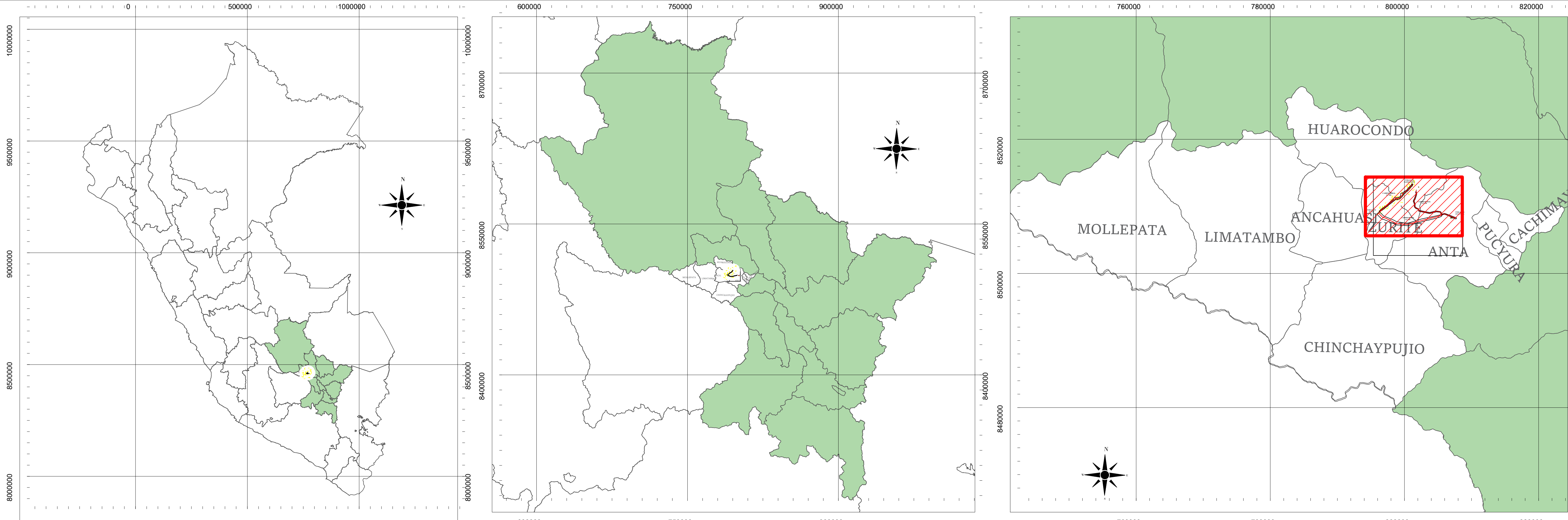
Nota. Se observa el desvío entre vías CU-905 y CU-110, además del poste kilométrico (0+000 km).

Fotografía 15 Preparación para la conducción del vehículo registrador del IRI.



Nota. Se observa la preparación para la conducción del vehículo que registra los datos de IRI.

ANEXO 6
PLANOS



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

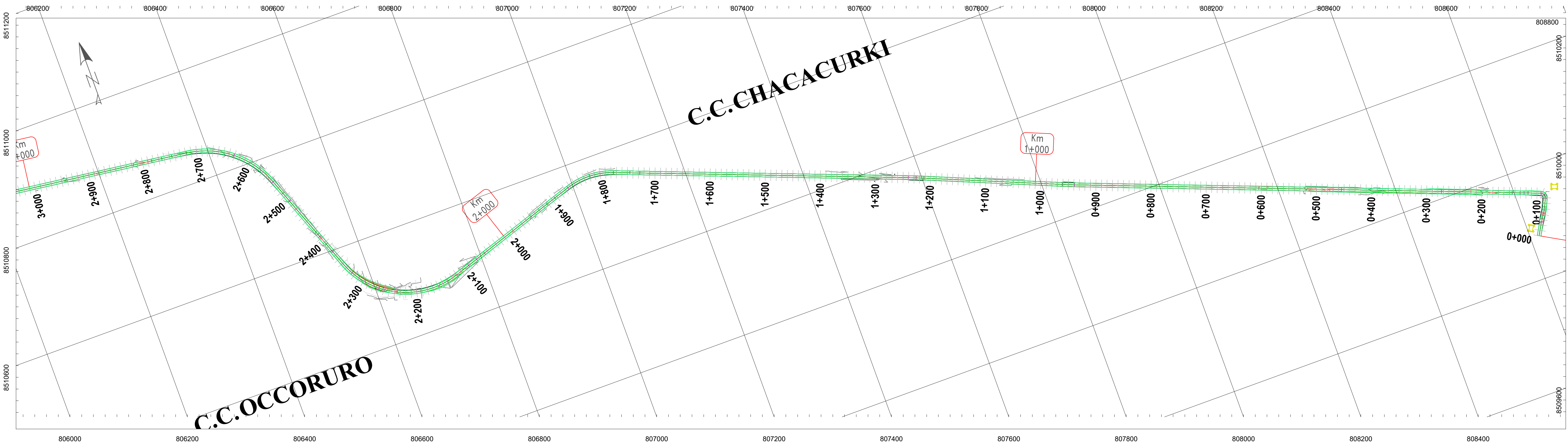
DISTRITO : HUAROCONDO
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) - PERIODO 2023”

PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

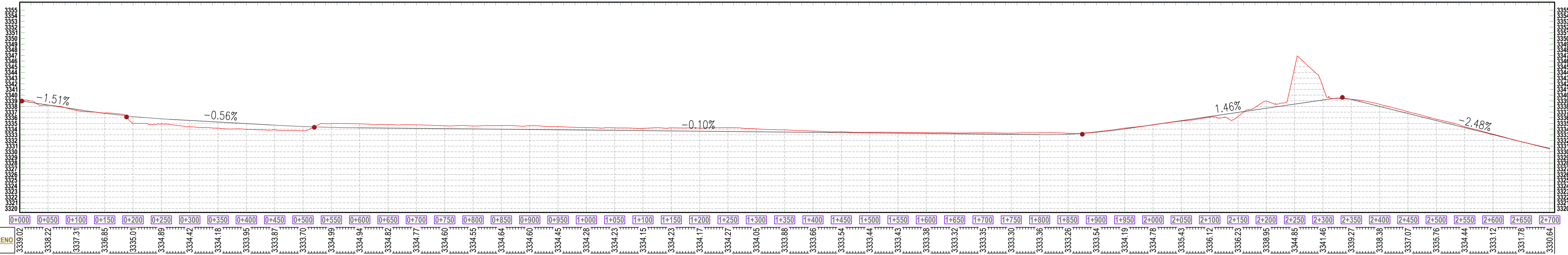
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

P-01



PLANO EN PLANTA
ESCALA 1:3500

PERFIL LONGITUDINAL → VÍA CU 110



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1:3500
ESC. VERTICAL 1:350

- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

TESIS:

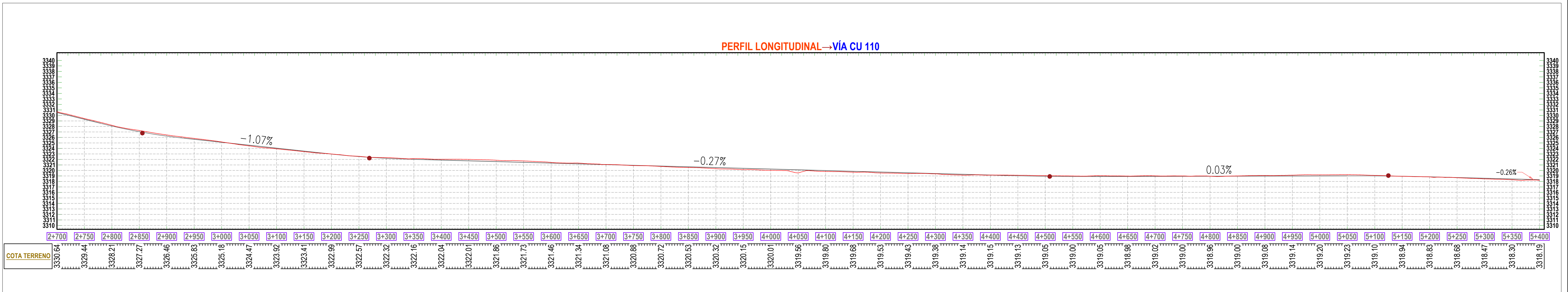
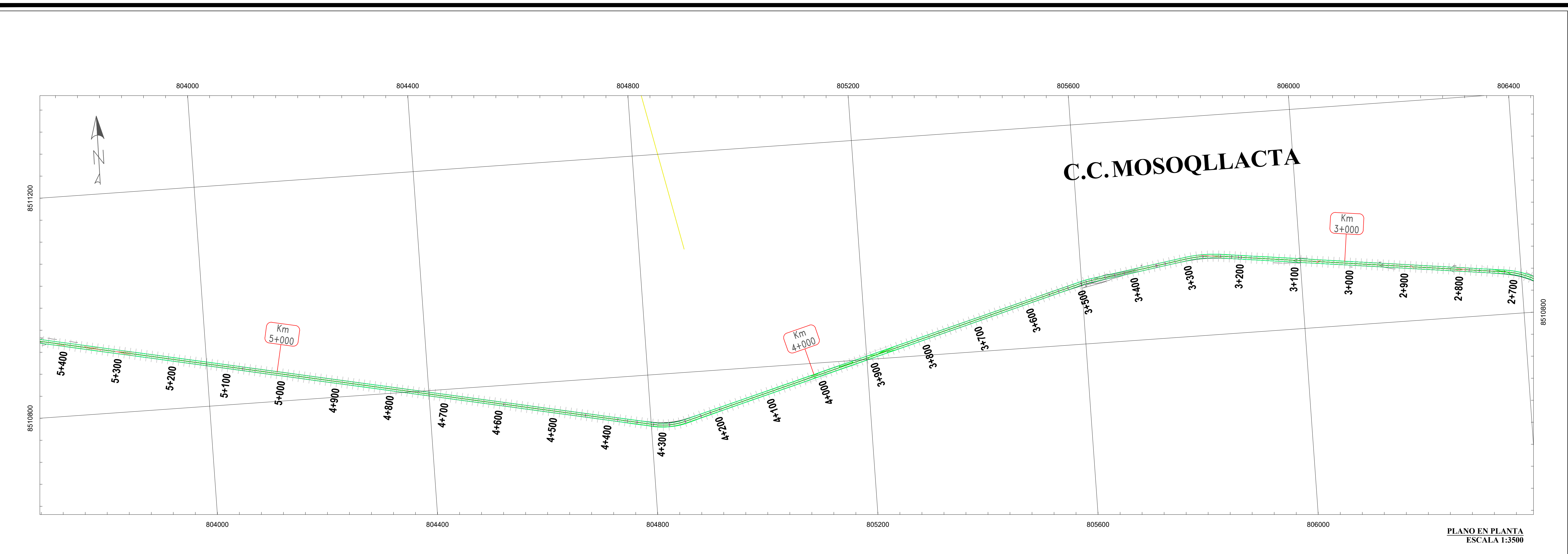
“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) - PERIODO 2023”

VÍA CU - 110
PLANTA Y PERFIL
KM 0+000 AL KM 2+700

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:

P-02



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 3500
ESC. VERTICAL 1: 350

- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

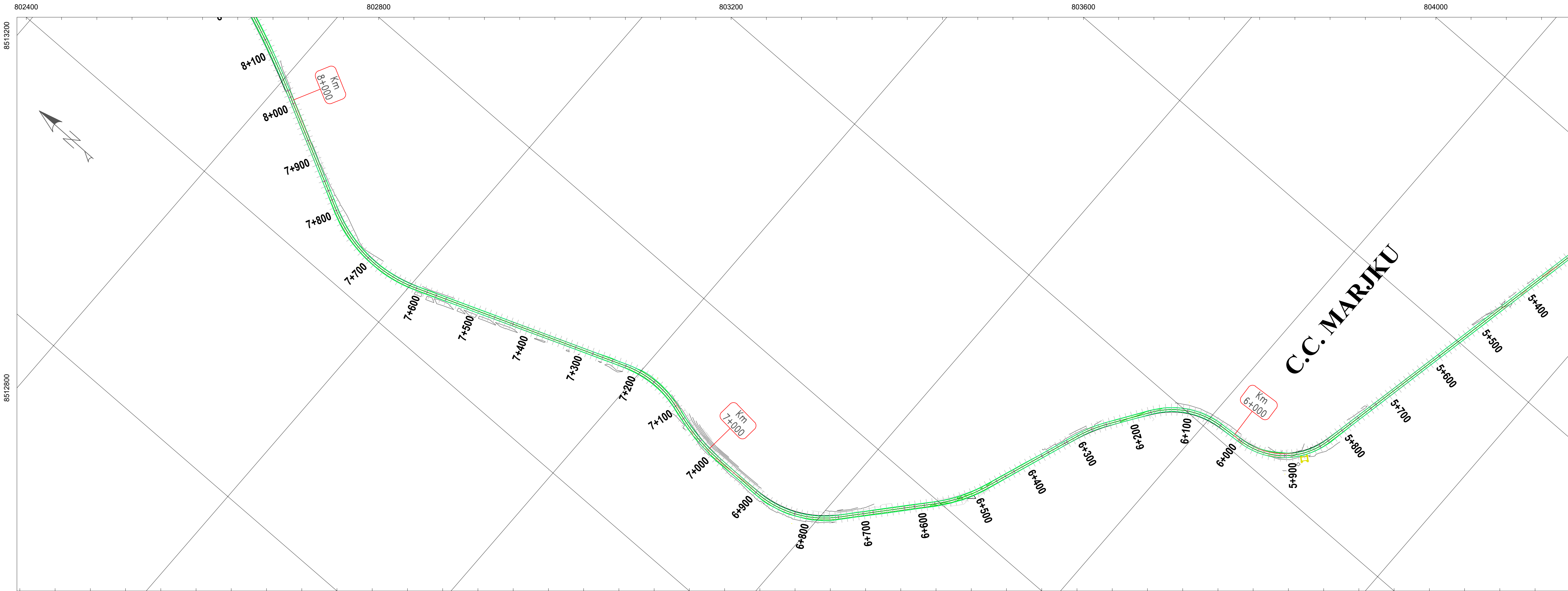
DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

TESIS:
“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

VÍA CU - 110
PLANTA Y PERFIL
KM 2+700 AL KM 5+400

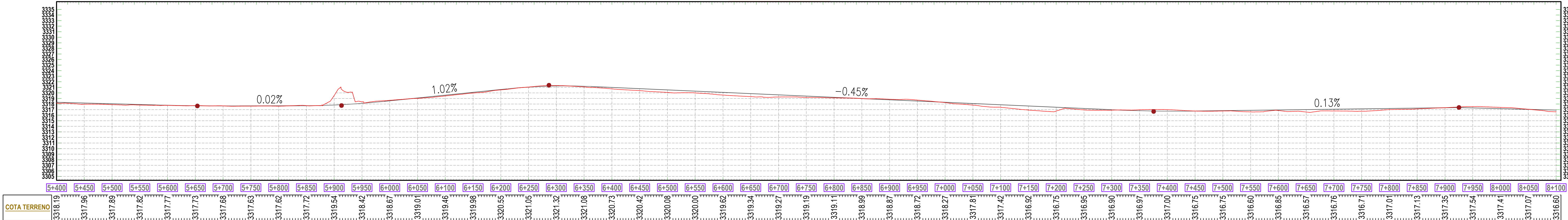
ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-03



PLANO EN PLANTA
ESCALA 1:3500

PERFIL LONGITUDINAL—VÍA CU 110



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 3500
ESC. VERTICAL 1: 350

NOTAS:

- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
- 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
- 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA

	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

TESIS:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VÍAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

VÍA CU - 110
PLANTA Y PERFIL
KM 5+400 AL KM 8+100

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

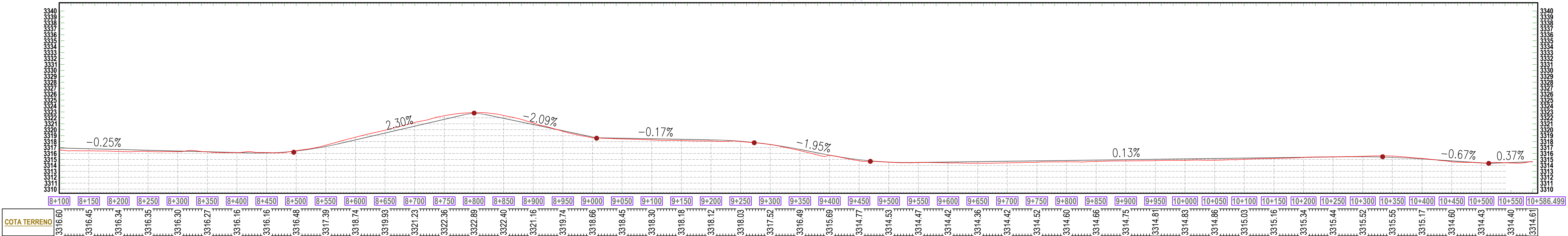
CODIGO:

P-04



PLANO EN PLANTA
ESCALA 1:3500

PERFIL LONGITUDINAL → VÍA CU 110



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1:3500
ESC. VERTICAL 1:350

NOTAS:

- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
- 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
- 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

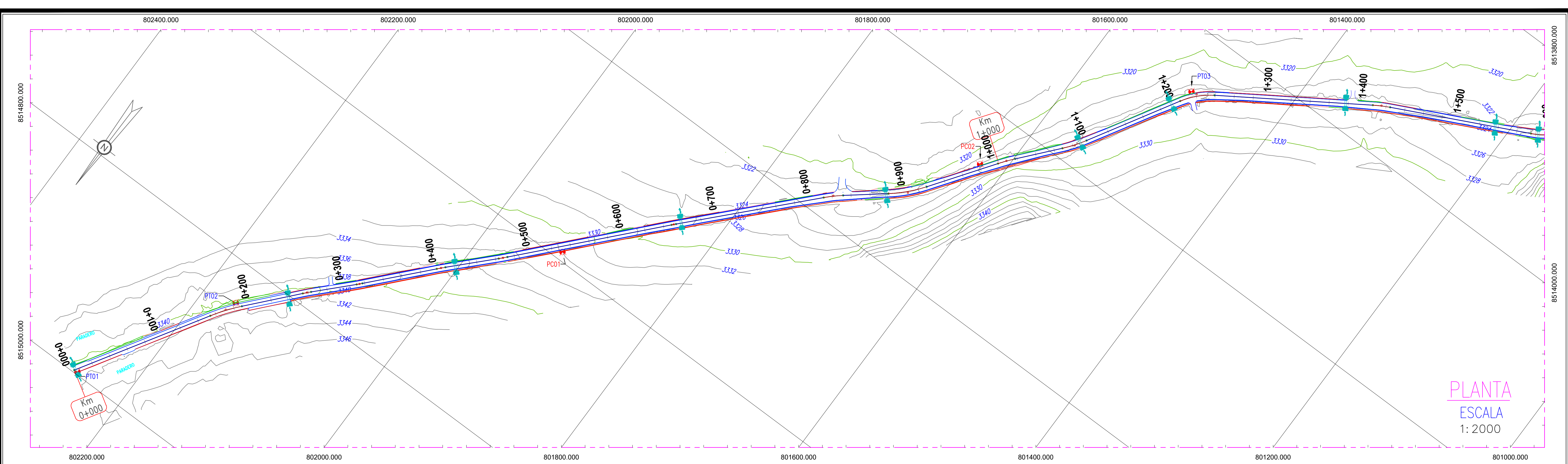
TESIS:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

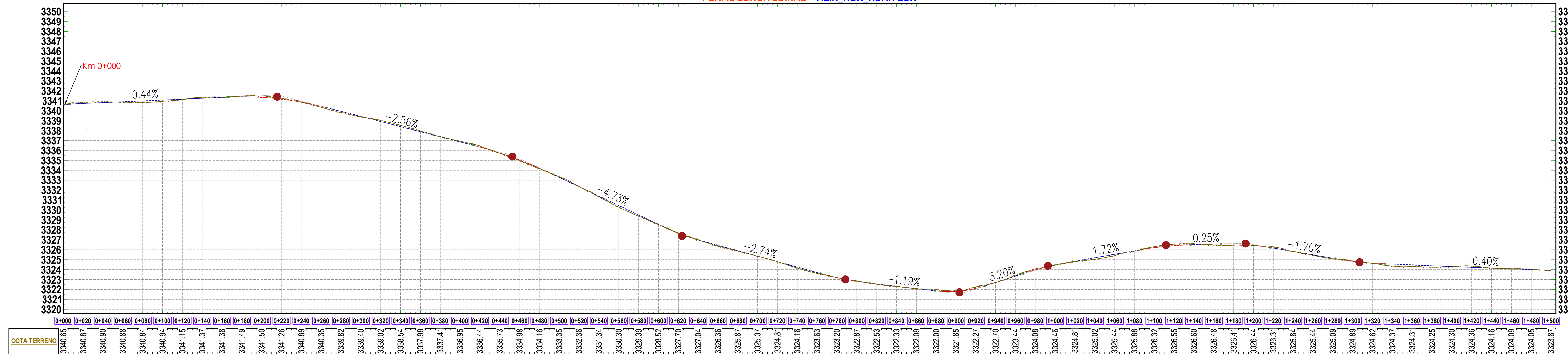
VÍA CU - 110
PLANTA Y PERFIL
KM 8+100 AL KM 10+586

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-05



PERFIL LONGITUDINAL→ALIN HOR HUAR-ZUR



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 2000
ESC. VERTICAL 1: 200

- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs
	Acceso



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

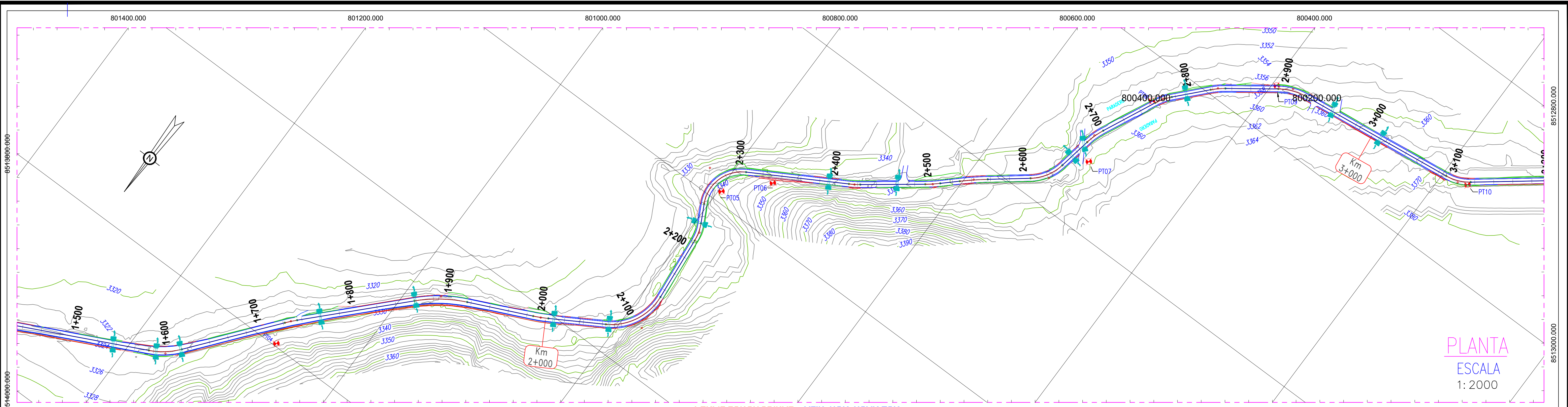
TESIS:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) - PERIODO 2023”

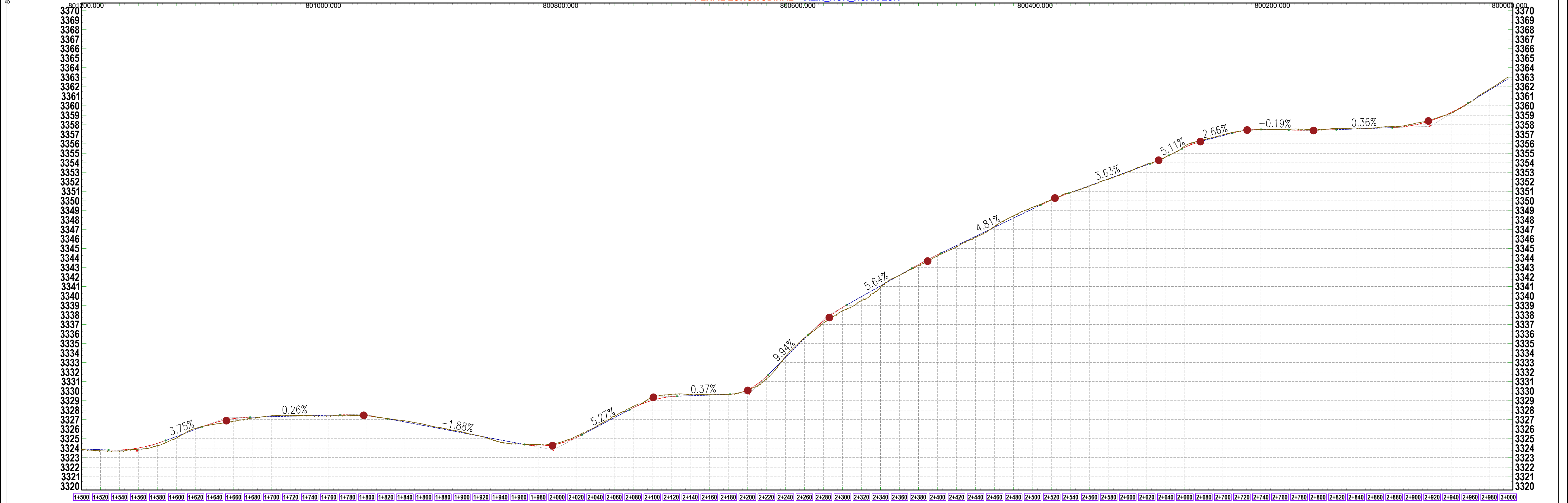
VÍA CU-902
PLANTA Y PERFIL
KM 0+000 AL KM 1+500

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-06



PLANTA
ESCALA
1: 2000



COTA TERRENO	3323.87	3323.72	3323.69	3323.80	3324.27	3325.07	3326.08	3326.52	3326.84	3327.18	3327.42	3327.45	3327.43	3327.39	3327.42	3327.42	3327.13	3326.88	3326.51	3326.10	3325.70	3325.25	3324.63	3324.43	3324.41	3324.53	3325.24	3326.21	3327.37	3328.39	3329.31	3329.65	3329.67	3329.65	3330.09	3331.28	3333.62	3335.59	3337.16	3338.44	3339.54	3340.89	3342.17	3343.19	3344.20	3345.19	3346.18	3347.34	3348.43	3349.33	3350.16	3350.91	3351.98	3352.31	3353.04	3353.87	3354.62	3355.77	3356.41	3356.94	3357.35	3357.52	3357.51	3357.55	3357.48	3357.61	3357.65	3357.67	3357.81	3358.06	3358.57	3359.22	3360.41	3361.72	3363.01
--------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 2000
ESC. VERTICAL 1: 200

NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA
Curva Mayor C/10m
Curva Menor C/2m
Punto De Estación
Punto De BMs



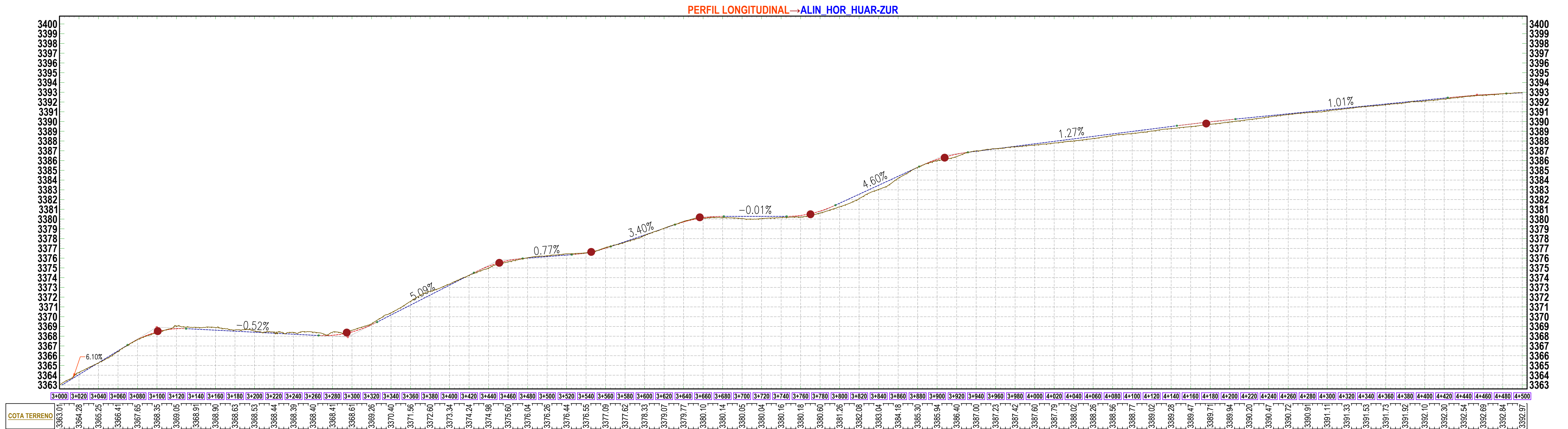
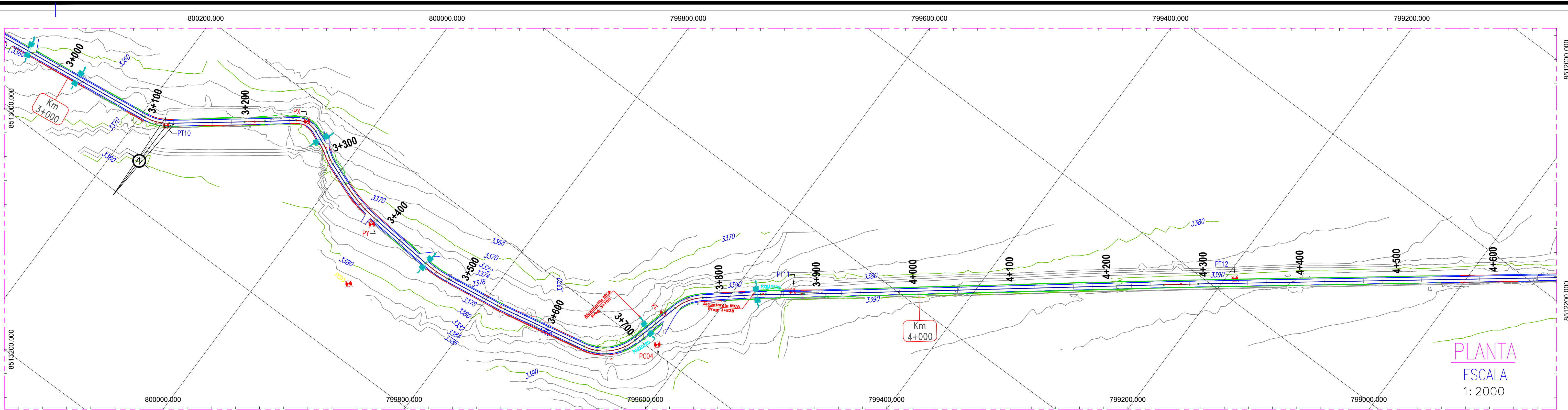
TESIS DE INVESTIGACIÓN
Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

TESIS:
“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

VÍA CU-902
PLANTA Y PERFIL
KM 1+500 AL KM 3+000

ESCALA : INDICADA	CODIGO: P-07
FECHA : MARZO - 2024	



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1:2000
ESC. VERTICAL 1:200

NOTAS:

- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
- 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
- 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

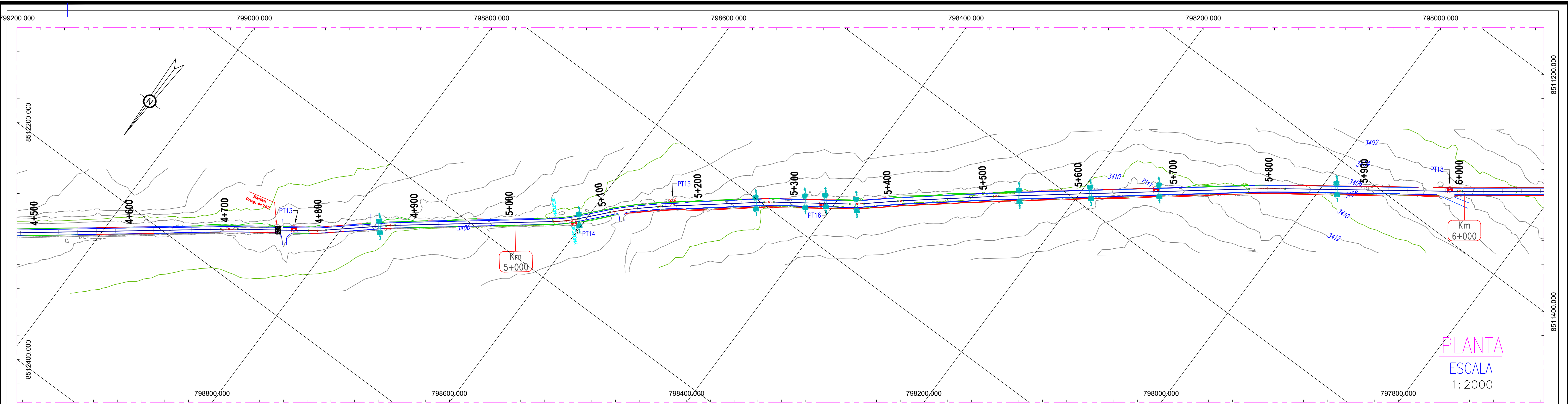
TESIS:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

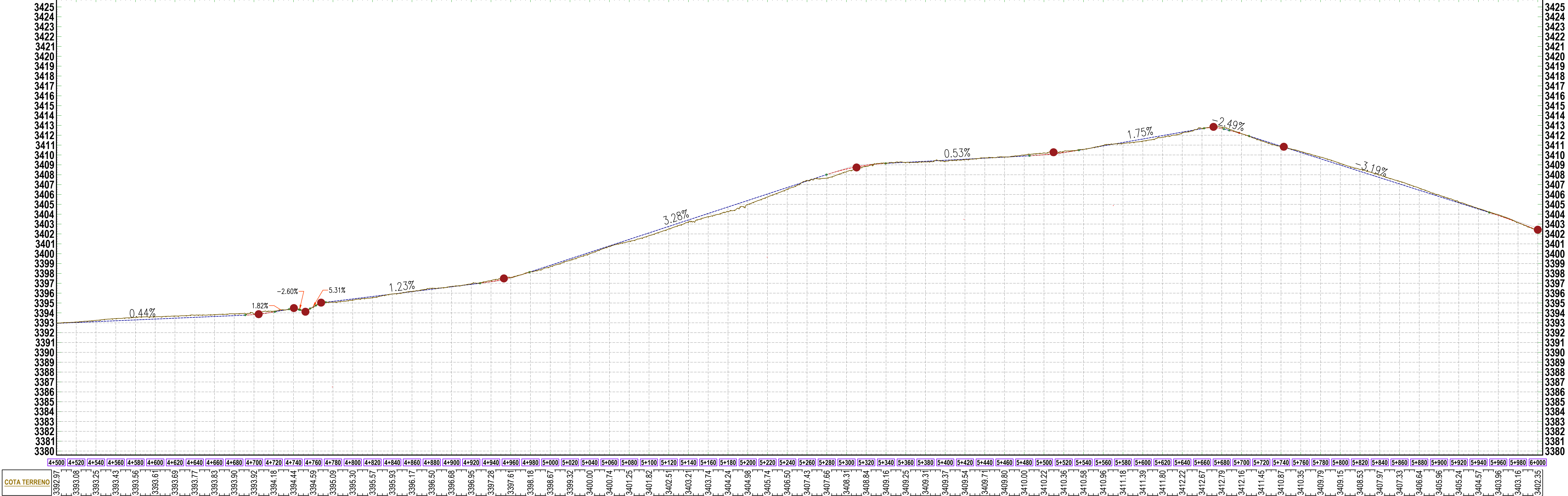
VÍA CU-902
PLANTA Y PERFIL
KM 3+000 AL KM 4+500

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-08



PERFIL LONGITUDINAL—ALIN HOR HUAR-ZUR



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 2000
ESC. VERTICAL 1: 200

- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

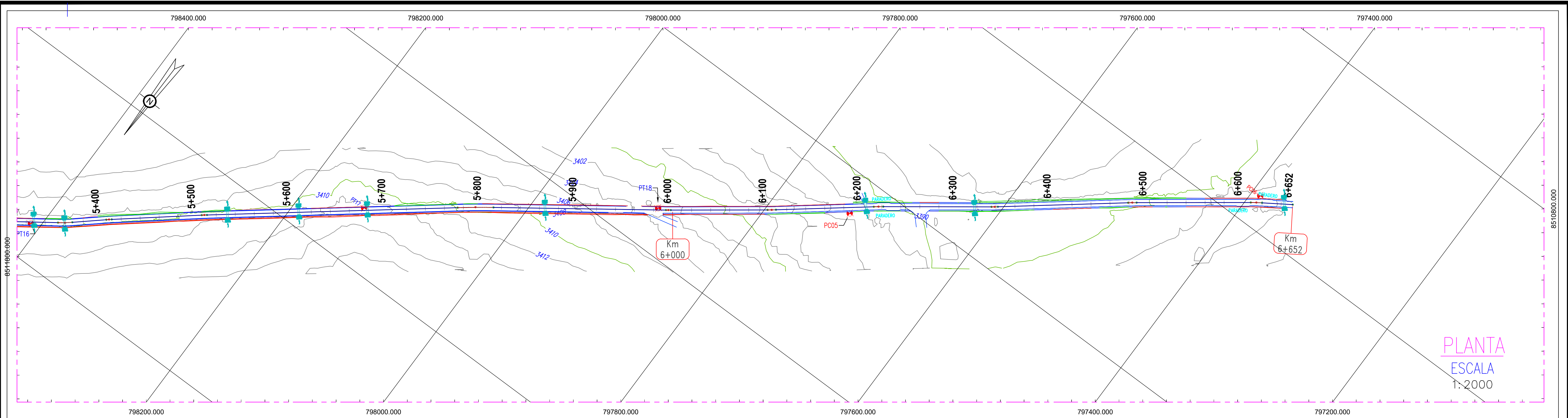
TESIS:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

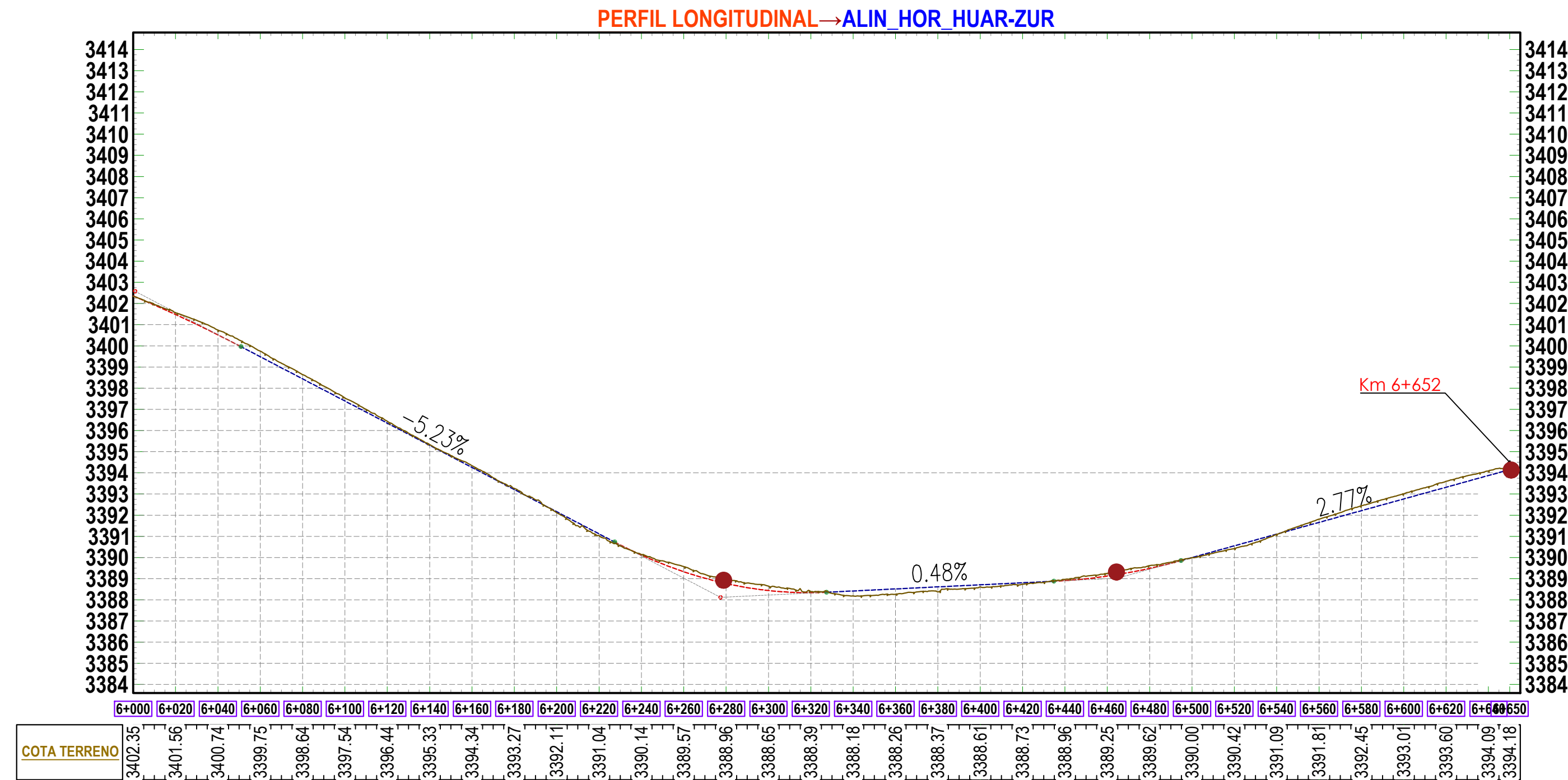
VÍA CU-902
PLANTA Y PERFIL
KM 4+500 AL KM 6+000

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-09



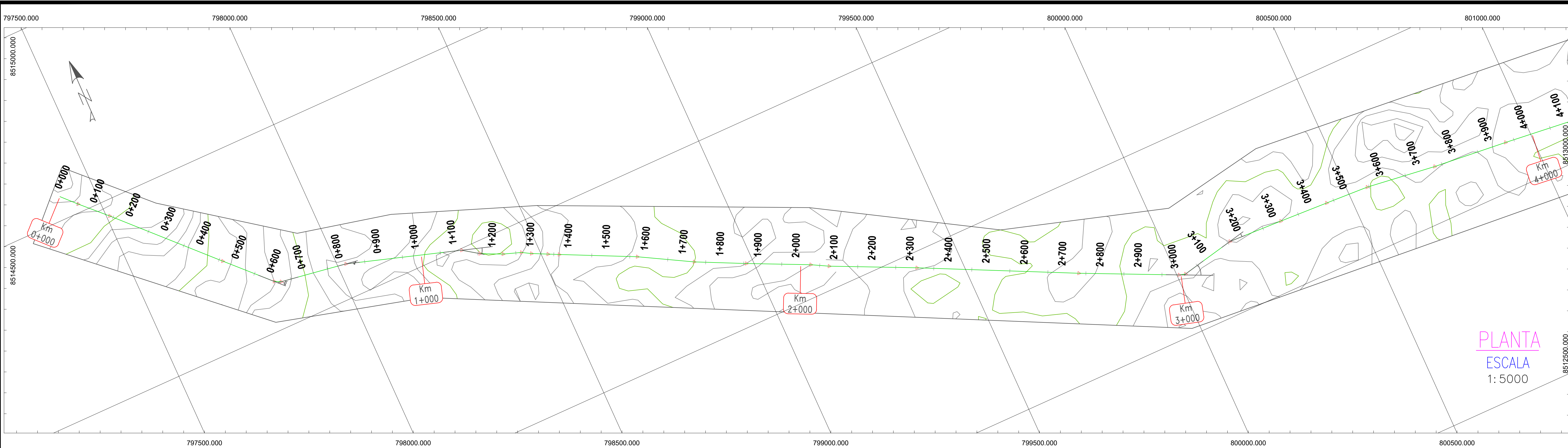
PLANTA
ESCALA
1:2000



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1:2000
ESC. VERTICAL 1:200

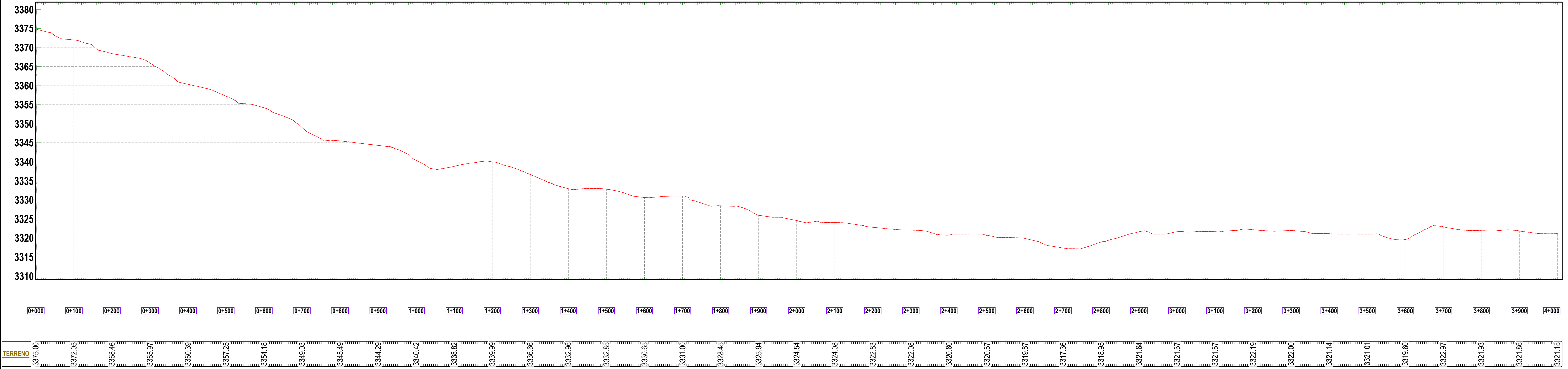
- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



PLANTA
ESCALA
1: 5000

PERFIL LONGITUDINAL—ALINEAMIENTO CU905



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 5000
ESC. VERTICAL 1: 500

- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

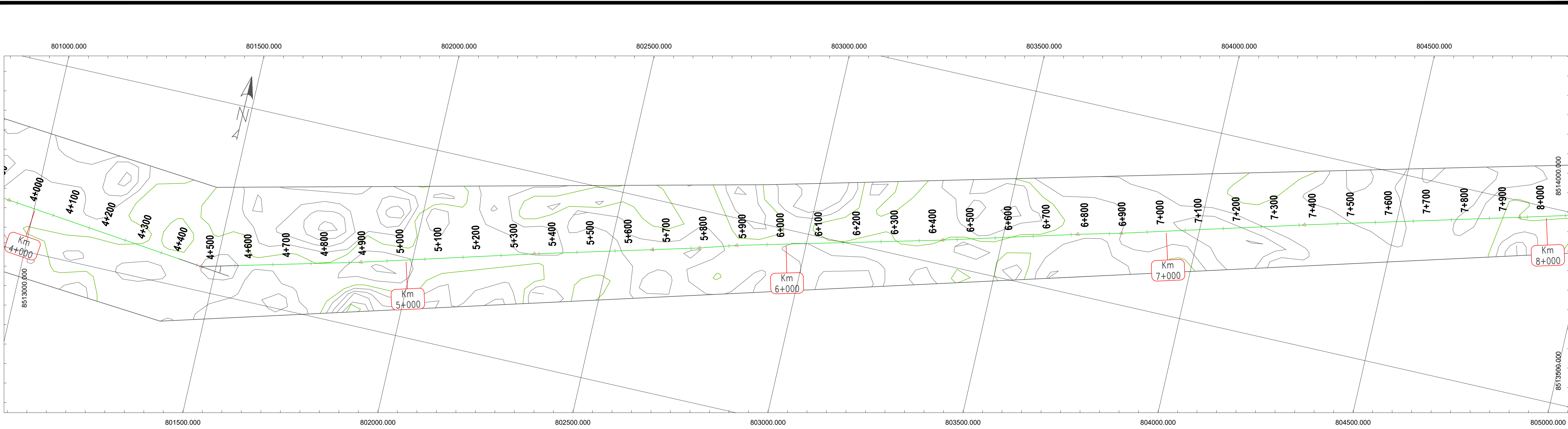
TESIS:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”

VÍA CU-905
PLANTA Y PERFIL
KM 0+000 AL KM 4+000

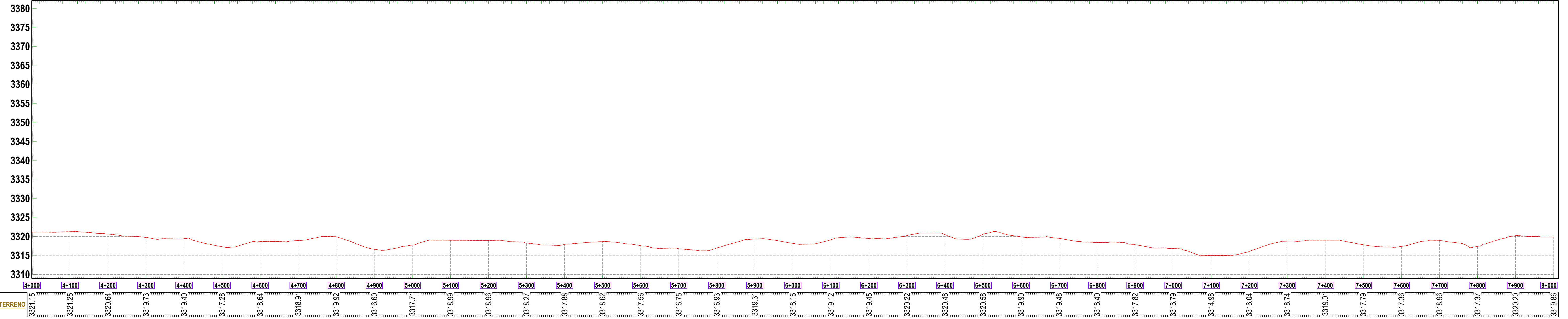
ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-11



PLANTA
ESCALA
1: 5000

PERFIL LONGITUDINAL → ALINEAMIENTO CU905



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 5000
ESC. VERTICAL 1: 500

- NOTAS:
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

TESIS:
“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) - PERIODO 2023”

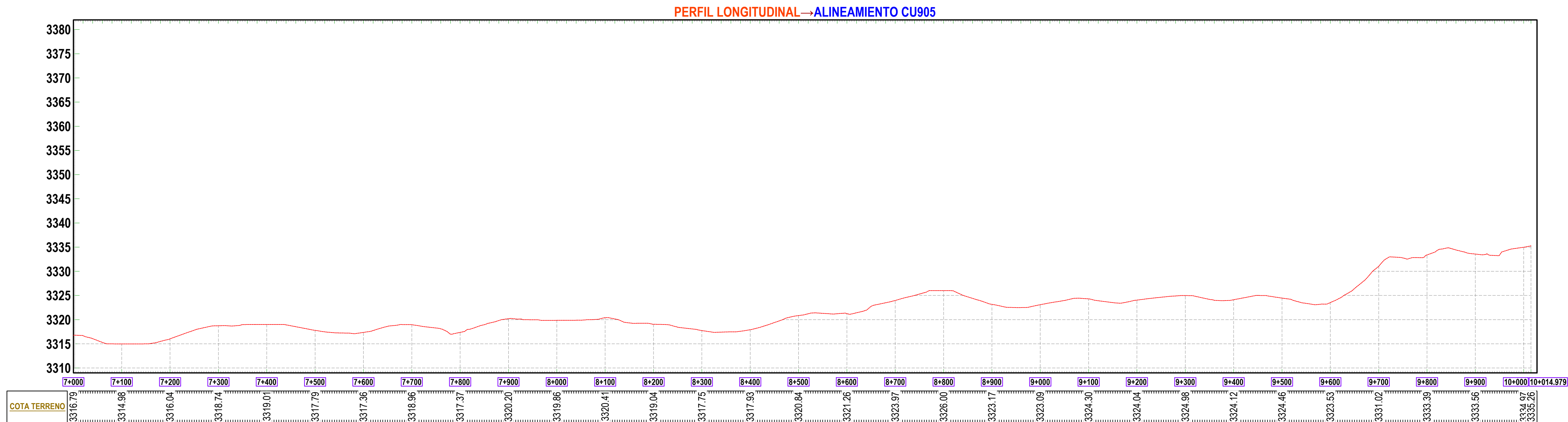
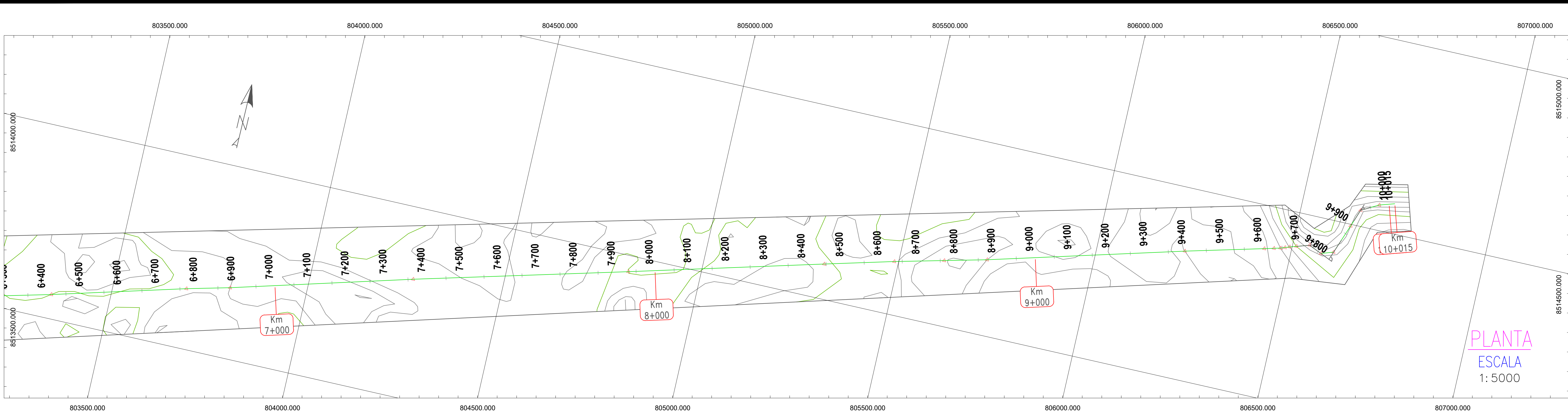
VÍA CU-905
PLANTA Y PERFIL
KM 4+000 AL KM 8+000

ESCALA :
INDICADA

FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:

P-12



PERFIL LONGITUDINAL
ESC. HORIZONTAL 1: 5000
ESC. VERTICAL 1: 500

- NOTAS:**
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 2 METROS.

LEYENDA	
	Curva Mayor C/10m
	Curva Menor C/2m
	Punto De Estación
	Punto De BMs



TESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborado por:
Bach. Bryant Gabriel Visaga Fernández

DISTRITO : HUAROCONDO
ZURITE
PROVINCIA : ANTA
DEPARTAMENTO : CUSCO

TESIS:

**“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CAMINOS RURALES MEDIANTE EL MODELO RED EN LA
PROVINCIA DE ANTA: VIAS CU-902, CU-905 Y CU-110 (IZCUCHACA - HUAROCONDO) -
PERIODO 2023”**

**VÍA CU-905
PLANTA Y PERFIL
KM 8+000 AL KM 10+015**

ESCALA :
INDICADA
FECHA :
MARZO - 2024

CODIGO:
P-13