

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN EL DISEÑO
GEOMÉTRICO DE CARRETERAS Y SU RELACIÓN CON LA CURVA
MASA, REGIÓN CUSCO 2025**

PRESENTADO POR:
Br. MOISES HANCCO QUISPE
Br. DAVID MERINO QUISPE

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

ASESOR:
Mgt. Ing. JUAN PABLO ESCOBAR MASIAS

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el Asesor MAGISTER ESCOBAR MASIAS JUAN PABLO.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ..ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL.
EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS Y SU
RELACIÓN CON LA CURVA MASA, REGIÓN CUSCO 2025.....

Presentado por: MOTSES HANCCO QUISPE DNI N° 47993037 ;

presentado por: DAVID MERINO QUISPE DNI N°: 72092155

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02.... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del *Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9....%.

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.	<input checked="" type="checkbox"/>
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, 16 de ENERO de 2025.....

Firma

Post firma JUAN PABLO ESCOBAR MASIAS

Nro. de DNI 23847338.....

ORCID del Asesor 0000-0002-9454-3414.....

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546882292

MOISES HANCCO QUISPE-DAVID MERINO QUISPE, ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO ...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546882292

206 páginas

Fecha de entrega

16 ene 2026, 4:28 p.m. GMT-5

54.924 palabras

Fecha de descarga

16 ene 2026, 4:35 p.m. GMT-5

230.455 caracteres

Nombre del archivo

MOISES HANCCO QUISPE-DAVID MERINO QUISPE, ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN ELpdf

Tamaño del archivo

4.2 MB

9% 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 15 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

9%	 Fuentes de Internet
0%	 Publicaciones
6%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

 **Texto oculto**

3126 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.

Presentación

El presente trabajo de investigación titulado “Análisis del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras y su relación con la curva masa, región Cusco 2025” ha sido elaborado como parte del proceso de formación profesional en Ingeniería Civil, con el objetivo de aportar conocimientos técnicos y metodológicos aplicables al diseño y optimización de proyectos viales.

La investigación se centra en el estudio del alineamiento vertical como elemento esencial dentro del diseño geométrico de carreteras, analizando su relación con la curva masa, una representación gráfica fundamental para la planificación y control del movimiento de tierras. A través del uso del software especializado Softree Optimal, se busca demostrar cómo la definición y el ajuste del alineamiento vertical inciden directamente en los volúmenes de corte y relleno, así como en los costos globales asociados a la ejecución de una vía.

Asimismo, el estudio integra los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, complementados con herramientas computacionales de última generación, con el propósito de mejorar la precisión en el diseño y promover una gestión más eficiente de los recursos.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar la importancia de aplicar metodologías de optimización en la etapa de diseño, contribuyendo a reducir costos, minimizar impactos ambientales y garantizar la sostenibilidad de las obras viales. En ese sentido, el presente trabajo constituye un aporte técnico y académico que puede servir de referencia para futuros estudios y proyectos de infraestructura vial en la región del Cusco y en otras zonas del país con condiciones topográficas similares.

Dedicatoria

A mis padres, Tadeo Hancco Aica y Victoria

Quispe Lipis, quienes con su amor, esfuerzo y

apoyo incondicional me dieron la fuerza para

alcanzar este gran logro. Gracias por enseñarme

con su ejemplo que el trabajo constante y la

humildad abren el camino hacia cualquier meta.

A mis hermanos, Carlos, Javier y Maribel, por

acompañarme en cada etapa de mi vida, por su

cariño, comprensión y por ser una fuente

constante de motivación.

Esta meta alcanzada no solo me pertenece, sino

que es fruto del sacrificio y unión de toda mi

familia. Cada página de este trabajo refleja su

presencia, su confianza y el deseo de vernos

crecer juntos. Espero hacerlos sentir tan

orgullosos como yo me siento de ustedes.

Moises Hancco Quispe

Dedicatoria

A mi padre Antonio Merino Oscco y a mi madre Fortunata Quispe Guri, por su apoyo incondicional, su ejemplo de perseverancia y por acompañarme a lo largo de mi formación profesional. Expreso mi profunda gratitud por tenerlos conmigo, ya que, sin su respaldo y amor, este importante logro académico no habría sido posible.

A mis hermanos Fabio y Vidal, por su constante apoyo, comprensión y motivación en los momentos más importantes de mi vida académica. Su ejemplo y compañía han sido una fuente de fortaleza para alcanzar esta meta profesional.

A mi padrino, Ing. Percy Escobar Luna, por su apoyo constante y motivación desde los inicios de mi formación profesional, los cuales han sido fundamentales para mi crecimiento y desarrollo académico.

A mis tíos Fusebio y Esteban, por el apoyo brindado durante mi formación profesional, el cual fue fundamental para alcanzar mis objetivos académicos.

David Merino Quispe

Agradecimiento

Nuestro agradecimiento al Mgt. Ing. Juan Pablo Escobar Masias, mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y tiempo dedicado al desarrollo de esta investigación. Su guía y experiencia profesional fueron esenciales para culminar este trabajo con éxito.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al **Dr. Ing. Edwin Astete Samanez**, por su dedicación, guía y valiosas sugerencias que contribuyeron significativamente al desarrollo de esta investigación.

Expresamos nuestra gratitud a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y a todos nuestros docentes, por su compromiso académico y por contribuir de manera significativa a nuestra formación profesional.

Moises Hancco Quispe

David Merino Quispe

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
ABSTRAC	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
1 CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
a. Diagnóstico.....	1
b. Pronostico	2
a. Control de pronostico	3
1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problema específico	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1. Conveniencia.....	4
1.3.2. Relevancia social	5
1.3.3. Implicancias prácticas	6
1.3.4. Valor teórico	6
1.3.5. Utilidad metodológica.....	7
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivo específico	7

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	8
1.5.1. Delimitación espacial.....	8
1.5.1.1. Delimitación temporal	10
1.5.1.2. Delimitación teórica.....	10
2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	12
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	12
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	12
2.1.2. Antecedentes nacionales	14
2.1.3. Antecedentes locales.....	16
2.2. BASES TEÓRICAS.....	17
2.2.1. DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS	17
2.2.2. CURVA MASA	25
2.2.3. SOFTREE	28
2.2.4. SOFTREE OPTIMAL	29
2.2.5. OPTIMIZACIÓN.....	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	35
2.4. HIPÓTESIS	38
2.4.1. Hipótesis general.....	38
2.4.2. Hipótesis específico	38
2.5. VARIABLES	38
2.5.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	38

2.5.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	40
3 CAPÍTULO 3: MÉTODO	41
3.1. ALCANCE DEL ESTUDIO	41
3.2. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	42
3.2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	43
3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	43
3.4. POBLACIÓN	44
3.5. MUESTRA.....	45
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.6.1. TÉCNICA	45
3.6.2. INSTRUMENTO	46
3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS	48
3.7.1. FLUJOGRAMA.....	48
4 CAPITULO 4: RESULTADOS	49
4.1. TRABAJO EN GABINETE.....	49
4.1.1. PROCESAMIENTO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS.....	49
4.2. RESULTADOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	114
4.2.1. Resultados de la variación de corte/relleno en función del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras.....	114

4.2.2. Resultado de análisis del alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018.....	118
4.2.3. Resultados de la evaluación de los métodos de optimización: Curva [Rápida], Curvas y tangentes [Lentas], Curvas y tangentes variables [Mas lentas].....	132
4.3. RESULTADO RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL	138
4.3.1. GRAFICO COMPARATIVO DE VOLÚMENES DE CORTE	139
4.3.2. GRAFICO COMPARATIVO DE VOLÚMENES DE RELLENO	141
4.3.3. COSTO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS POR EXPEDIENTE TÉCNICO Y ALINEAMIENTO OPTIMIZADO.....	141
5 CAPITULO 5: DISCUSIÓN	142
5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS HALLAZGOS MÁS RELEVANTES Y SIGNIFICATIVOS	142
5.2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	144
5.3. COMPARACIÓN CRÍTICA CON LA LITERATURA EXISTENTE.....	145
5.4. IMPLICANCIAS DEL ESTUDIO.....	145
5.5. PRUEBA HIPÓTESIS	146
6 CONCLUSIONES.....	148
7 RECOMENDACIONES	150
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del proyecto 01	8
Tabla 2: Características del proyecto 02	9
Tabla 3: Características del proyecto 03	10
Tabla 4: Propiedades del diagrama de masas	27
Tabla 5: Productos de Softree	28
Tabla 6: Pendientes mínimas	33
Tabla 7: Pendientes máximas	34
Tabla 8: Tipos de alineamiento vertical	35
Tabla 9: Radio mínimo obtenido del diseño geométrico	50
Tabla 10 Parámetro de curvatura de las curvas cóncavas y convexas.....	53
Tabla 11 Pendiente mínima y máxima obtenida del diseño geométrico	54
Tabla 12: Obras de arte	56
Tabla 13 Radio mínimo obtenido del diseño geométrico	57
Tabla 14: Parámetro de curvatura	65
Tabla 15: Pendiente	67
Tabla 16: Obras de arte	69
Tabla 17: Radio mínimo obtenido de diseño geométrico	70
Tabla 18: Parámetro de curvatura de las curvas cóncavas y convexas	72
Tabla 19: Pendiente	73
Tabla 20: Obras de arte	75
Tabla 21: Pendiente máxima	77
Tabla 22: Parámetro de curvatura convexa	78
Tabla 23: Parámetro de curvatura cóncava	78
Tabla 24: Pendiente máxima	90

Tabla 25: Parámetro de curvatura <i>K</i>	91
Tabla 26: Parámetro de curvatura Cóncava	91
Tabla 27: Pendiente máxima.....	103
Tabla 28: Parámetro de curvatura <i>K</i>	103
Tabla 29: Parámetro de curvatura Cóncava	104
Tabla 30: Tabla resumen de los volúmenes de corte y relleno.	114
Tabla 31: Tabla resumen de los volúmenes de corte y relleno.	115
Tabla 32: Tabla resumen de los volúmenes de corte y relleno.	117
Tabla 33: Verificación de pendientes según DG-2018	118
Tabla 34: Verificación de parámetro de curvatura <i>K</i>	120
Tabla 35: Verificación de pendiente	122
Tabla 36: Verificación de parámetro de curvatura <i>K</i>	124
Tabla 37: Verificación de pendientes según DG-2018	127
Tabla 38: Verificación de parámetro de curvatura	129
Tabla 39: Determinación de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....	134
Tabla 40: Calculo estadístico mediante Kruskal-Wallis.....	135
Tabla 41: Determinación de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....	135
Tabla 42: Calculo estadístico mediante Kruskal-Wallis.....	136
Tabla 43: Determinación de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....	137
Tabla 44: Calculo estadístico mediante Kruskal-Wallis.....	138
Tabla 45: Resumen de volumen de corte y relleno	139
Tabla 46: Costo de movimiento de tierra.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elementos del Diseño geométrico de una carretera	18
Figura 2: La tangente vertical	20
Figura 3: Curvas verticales convexas y cóncavas	21
Figura 4: Curvas verticales simétricas y asimétricas	22
Figura 5: Elementos de curva vertical simétrica	23
Figura 6: Elementos de la curva vertical asimétrica	24
Figura 7: Perfil longitudinal y diagrama de masas	26
Figura 8: Control vertical de desplazamiento	32
Figura 9: Esquema de operacionalización de variables	39
Figura 10: Descripción de vehículo de diseño.....	49
Figura 11: Descripción de vehículo de diseño.....	56
Figura 12: Descripción de vehículo de diseño.....	69
Figura 13: Datos de especificaciones de la clase de vía	76
Figura 14: Opciones de optimización vertical "General"	79
Figura 15: Opciones de optimización vertical	80
Figura 16: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	81
Figura 17: Opciones de optimización vertical "general"	82
Figura 18: Opciones de optimización vertical "estándares"	83
Figura 19: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	84
Figura 20: Opciones de optimización vertical "general"	85
Figura 21: Opciones de optimización vertical "estándares"	86
Figura 22: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	87
Figura 23: Alineamiento vertical de expediente técnico y los optimizados	88
Figura 24: Datos de especificaciones de la clase de vía.....	89

Figura 25: Opciones de optimización vertical "General"	92
Figura 26: Opciones de optimización vertical	93
Figura 27: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	94
Figura 28: Opciones de optimización vertical "general"	95
Figura 29: Opciones de optimización vertical "estándares"	96
Figura 30: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	97
Figura 31: Opciones de optimización vertical "general"	98
Figura 32: Opciones de optimización vertical "estándares"	99
Figura 33: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	100
Figura 34: Alineamiento vertical de expediente técnico y los optimizados	101
Figura 35: Datos de especificaciones de la clase de vía	102
Figura 36: Opciones de optimización vertical "General"	104
Figura 37: Opciones de optimización vertical "estándares"	105
Figura 38: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	106
Figura 39: Opciones de optimización vertical "general"	107
Figura 40: Opciones de optimización vertical "estándares"	108
Figura 41: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	109
Figura 42: Opciones de optimización vertical "general"	110
Figura 43: Opciones de optimización vertical "estándares"	111
Figura 44: Opciones de optimización vertical "Puntos de control"	112
Figura 45: Alineamiento vertical de expediente técnico y los optimizados	113
Figura 46: Gráfico de volúmenes de corte y relleno	115
Figura 47: Gráfico de volúmenes de corte y relleno	116
Figura 48: Gráfico de volúmenes de corte y relleno	117
Figura 49: Porcentaje de cumplimiento de las pendientes según DG-2018.....	119

Figura 50: Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” cóncava	121
Figura 51: Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” convexa	122
Figura 52: Porcentaje de cumplimiento de las pendientes según DG-2018.....	124
Figura 53: Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K”cóncavas.	126
Figura 54: Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” convexas	127
Figura 55: Porcentaje de cumplimiento de las pendientes según DG-2018.....	129
Figura 56: Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” cóncava	131
Figura 57: Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” convexa	132
Figura 58: Diagrama para el cálculo estadístico con Python.....	133
Figura 59: Comparación de volumen de corte	140
Figura 60: Comparación de volumen de relleno	141

RESUMEN

La investigación intitulada “Análisis del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras y su relación con la curva masa, región Cusco 2025” tiene como finalidad determinar la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa, empleando herramientas de optimización mediante el software Softree Optimal. Este propósito surge de la necesidad de mejorar el diseño vial en zonas con topografía compleja.

El estudio se desarrolló a partir de tres expedientes técnicos de carreteras ubicadas en distintas provincias del Cusco, analizando el alineamiento vertical, los volúmenes de corte y relleno, y los costos de movimiento de tierras. La metodología adoptada fue cuantitativa, con un diseño no experimental y transversal, permitiendo comparar el diseño convencional con los resultados obtenidos mediante optimización.

Los resultados evidencian que el uso del análisis de la curva masa reduce los volúmenes de movimiento de tierras y disminuye los costos de ejecución. Asimismo, se determinó que el alineamiento vertical influye de manera significativa en la eficiencia del diseño geométrico y en el cumplimiento de los parámetros establecidos por la norma DG-2018.

En conclusión, la implementación de Softree Optimal mejora el proceso de diseño vial y optimiza la planificación del movimiento de tierras, constituyendo un aporte relevante para la ingeniería de carreteras en regiones con topografía accidentada.

Palabras clave: Alineamiento vertical, Curva masa, Diseño geométrico, Optimización.

ABSTRAC

The research entitled “Analysis of Vertical Alignment in Road Geometric Design and its Relationship with the Mass Haul Diagram, Cusco Region 2025” aims to determine the relationship between vertical alignment and the mass haul diagram, using optimization tools provided by Softree Optimal. This objective arises from the need to improve road design processes in areas with complex topography.

The study was conducted using four technical road design files from different provinces of the Cusco region, analyzing vertical alignment parameters, cut and fill volumes, and earthwork cost estimates. A quantitative, non-experimental, and cross-sectional methodology was applied, allowing a comparison between conventional design results and those obtained through software-assisted optimization.

The results show that incorporating the mass haul analysis significantly reduces earthwork volumes and lowers project execution costs. Furthermore, it was found that vertical alignment has a substantial influence on geometric design efficiency and compliance with DG-2018 design standards.

In conclusion, the use of optimization tools such as Softree Optimal enhances the road design process and improves earthwork planning, representing a relevant methodological contribution to road engineering in regions with rugged terrain.

Keywords: Vertical alignment, Mass haul diagram, Geometric design, Optimization.

INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico de carreteras constituye uno de los pilares fundamentales de la ingeniería vial, ya que determina las condiciones de funcionalidad, seguridad y economía de una vía. Entre sus componentes, el alineamiento vertical cumple un papel decisivo, pues define la forma en que se adapta la rasante al relieve natural del terreno, afectando directamente los volúmenes de corte y relleno, y por tanto, los costos del proyecto.

En muchos expedientes técnicos, especialmente en zonas rurales del país, el análisis detallado de la curva masa ha sido subestimado o aplicado de manera empírica, lo que ocasiona desequilibrios en el movimiento de tierras y sobrecostos en la ejecución de obras. Frente a ello, el presente estudio propone incorporar el análisis técnico de la curva masa mediante el uso del software Softree Optimal, herramienta que permite optimizar el alineamiento vertical con base en criterios de eficiencia económica y constructiva.

La investigación se enfoca en cuatro proyectos viales ejecutados en la región Cusco, aplicando una metodología de tipo aplicada, no experimental y transversal. A través del procesamiento de datos topográficos y de diseño, se evalúan los volúmenes de movimiento de tierras y los costos resultantes bajo distintos escenarios de optimización.

El propósito central de este trabajo es demostrar que una adecuada relación entre el alineamiento vertical y la curva masa puede mejorar sustancialmente la eficiencia técnica y económica de los proyectos viales, sirviendo además como modelo metodológico para futuras investigaciones en el ámbito del diseño geométrico de carreteras.

CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

a. Diagnóstico

En el ámbito de la infraestructura vial, el diseño geométrico de carreteras constituye un elemento esencial para el desarrollo económico y social de una región. Por tal motivo, su análisis detallado resulta de gran importancia para garantizar proyectos eficientes y sostenibles. En el presente estudio se evaluaron tres expedientes técnicos de diseño de carreteras correspondientes a la región Cusco, con el objetivo de analizar los movimientos de tierra, tanto en corte como en relleno, mediante la utilización de la curva masa generada por el algoritmo del software Softree Optimal.

La falta de consideración de la curva masa durante la etapa de formulación de los expedientes técnicos de diseño geométrico ha ocasionado, en diversos casos, altos volúmenes de corte y relleno, incrementando los costos asociados a las labores de excavación, relleno y transporte de material excedente. Estas deficiencias han sido frecuentes en proyectos similares ejecutados en zonas rurales del país, principalmente debido a la ausencia de criterios técnicos estandarizados y a la limitada formación especializada en ingeniería vial de los equipos responsables del diseño geométrico.

La problemática se origina en que los diseños geométricos de los tres expedientes técnicos analizados no incorporan un estudio detallado de la curva masa, lo que podría generar repercusiones negativas en la etapa de ejecución, tanto desde el punto de vista constructivo como económico. Esta limitación se refleja en la falta de una planificación precisa para la distribución y compensación de los materiales de corte y relleno, lo que puede ocasionar

desequilibrios en el movimiento de tierras y un uso ineficiente de los recursos disponibles en cada proyecto vial.

b. Pronostico

De no analizar de manera detallada la curva masa en el diseño geométrico de los tres Expedientes técnicos evaluados, se proyecta un costo igual o mayor que el costo contemplado en el expediente técnico. Y empeorando con falta de planificación de obra en el movimiento de tierras puede generar problemas de volúmenes de corte y relleno, lo que derivaría en sobrecostos económicos, retrasos en el cronograma de ejecución, y una ineficiente utilización de los recursos disponibles.

Dentro de ámbito de infraestructura vial el diseño geométrico de carreteras representa un componente clave ya que influye de manera significativa en desarrollo económico. En ese sentido resulta pertinente efectuar un examen detallado de este proceso para el desarrollo de presente trabajo se consideraron tres Expedientes técnico-correspondientes a proyectos viales ejecutados en la región cusco, en los cuales estudia el movimiento de tierras, tanto en fase de corte y relleno, empleando como herramienta de apoyo el software Softree Optimal.

Asimismo, la ausencia de un análisis detallado de la curva masa puede generar transporte excesivo de material de cortes a desposto de material excedente y de la misma forma en caso de relleno se requerirá una mayor cantidad de relleno generando en ambos casos un costo económico mayor o igual que contempla en partida de corte y relleno del presupuesto y en consecuencia afectando negativamente en la ejecución del proyecto.

A largo plazo, esta situación podría replicarse en casi todos los expedientes técnicos de proyectos viales si no se establece un precedente técnico que demuestre la importancia de incorporar el análisis de la curva masa como parte fundamental del diseño geométrico.

a. Control de pronostico

Para evitar las consecuencias por falta de análisis de curva masa en la etapa de formulación de expediente técnico en proyectos viales, era muy importante plantear un análisis detallado de la curva masa en la etapa de diseño geométrico de los tres Expedientes técnicos evaluados. A raíz de falta de incorporación de herramientas de análisis de curva masa en esta investigación se realizará un análisis detallado mediante el software Softree Optimal, esta herramienta permite determinar disminuir los volúmenes de corte y relleno evaluando el alineamiento vertical del diseño geométrico.

Como estrategia de control, se propone aplicar una metodología técnica basada en datos topográficos reales del terreno y en simulaciones de movimiento de tierras, lo cual permitirá identificar la ubicación óptima de los centros de masa, minimizar el transporte innecesario y mejorar la eficiencia general del proyecto. Esta intervención también facilitaría una mejor planificación del cronograma de obra y un uso más racional de los recursos.

La aplicación del análisis de la curva masa no solo contribuirá a mejorar la calidad del diseño geométrico, sino que también establecerá un precedente metodológico que puede replicarse en otros proyectos similares, promoviendo buenas prácticas en la ingeniería vial a nivel regional

1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

1.2.1. Problema General

PG: ¿Cuál es la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa en la región Cusco, 2025?

1.2.2. Problema específico

PE1: ¿Como varia el corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025?

PE2: ¿Cómo es el alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018 en la Región Cusco, 2025?

PE3: ¿Cuál de los métodos de optimización del alineamiento vertical es más eficiente en la Región Cusco, 2025?

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Conveniencia

La presente investigación es útil porque permitirá aplicar criterios técnicos especializados para optimizar el volumen de corte y relleno en la etapa de elaboración de expediente técnico de infraestructura vial. En particular, el uso del análisis de la curva masa contribuye a una planificación más eficiente del movimiento de tierras (corte y relleno), lo cual se traduce en reducción de costos en las partidas relacionadas a movimiento de tierras, la mejora de tiempos de ejecución y un uso racional de los recursos disponibles.

Además, este proceso de análisis y optimización de curva vertical mediante el software Softree Optimal sirve como herramienta de apoyo técnico para profesionales de la ingeniería civil, proyectistas, entidades públicas y privadas involucradas en la formulación y ejecución de proyectos viales. Al aportar una metodología clara para el uso de la curva masa en contextos geográficos complejos como el de la región Cusco, el estudio se convierte en una herramienta

valiosa para futuros diseños viales en zonas similares, promoviendo obras más sostenibles y técnicamente viables.

1.3.2. Relevancia social

Esta investigación adquiere una relevancia social significativa, al estar orientada a mejorar la calidad de vida de las poblaciones que dependen de una infraestructura vial eficiente y segura.

El estudio abarca tres Expedientes técnicos de proyectos viales desarrollados en distintas zonas de la región Cusco, lo que permite comprender de manera más amplia la influencia del alineamiento vertical y de la curva masa en la planificación y ejecución de obras de este tipo.

Un diseño geométrico adecuado, sustentado en un análisis riguroso del movimiento de tierras mediante la curva masa, contribuye a optimizar los tiempos de desplazamiento, reducir los costos de transporte y mejorar la seguridad vial, generando beneficios directos para las comunidades rurales vinculadas a estos proyectos y, en general, para el desarrollo socioeconómico regional.

Además, al optimizar los recursos durante la etapa de construcción, se pueden liberar fondos públicos para otros servicios básicos, promoviendo un desarrollo más equitativo. De este modo, los resultados de esta investigación tienen un impacto positivo en la integración territorial, el acceso a servicios de salud, educación, mercados y oportunidades económicas, lo que se traduce en una mejora significativa en las condiciones sociales y económicas de la región. La proyección social de este trabajo también incluye la posibilidad de replicar su enfoque técnico en otros proyectos viales del país, promoviendo una infraestructura más eficiente y sostenible.

1.3.3. Implicancias prácticas

La investigación tiene claras implicancias prácticas, ya que aborda un problema técnico real relacionado con el ineficiente manejo del movimiento de tierras en proyectos viales. En la práctica, la falta de optimización del movimiento de tierras en cortes y rellenos puede derivar en sobrecostos, demoras y problemas logísticos durante la ejecución de la obra.

Mediante la aplicación de la curva masa, esta investigación proporciona una herramienta técnica que permite planificar con mayor precisión el equilibrio de volúmenes de tierra, optimizar el transporte de materiales y reducir el impacto ambiental, siendo especialmente relevante en regiones como Cusco, donde las condiciones topográficas y logísticas presentan mayores desafíos.

1.3.4. Valor teórico

La presente investigación tiene el valor teórico en el campo de la ingeniería civil, específicamente en el área de diseño vial, al profundizar en el uso de la curva masa como herramienta analítica para la planificación eficiente del movimiento de tierras. En muchos proyectos de infraestructura en zonas rurales, esta herramienta es subutilizada o aplicada de forma empírica, generando brechas en el conocimiento técnico y en la calidad del diseño.

Con este estudio se busca llenar un vacío de conocimiento respecto al tratamiento sistemático y contextualizado de la curva masa en terrenos accidentados, como los de la región Cusco. Además, los resultados obtenidos permitirán entender mejor la relación entre las variables topográficas, económicas y constructivas involucradas en el diseño geométrico, y podrán servir como base para futuras investigaciones, recomendaciones técnicas o desarrollo de modelos replicables.

1.3.5. Utilidad metodológica

Presenta una utilidad metodológica significativa, ya que propone un procedimiento técnico y estructurado para aplicar la curva masa en el contexto del diseño vial. Este enfoque puede servir como modelo metodológico replicable en proyectos de características similares, especialmente en regiones con condiciones topográficas complejas como las del Cusco.

Además, el estudio contribuye a la definición y aplicación precisa de variables clave como volúmenes de corte y relleno, distancias de acarreo y ubicación óptima de botaderos y préstamos. La metodología desarrollada facilitará la recolección, análisis e interpretación de datos topográficos y geométricos, aportando mayor rigurosidad al proceso de diseño.

Esta utilidad metodológica no solo mejora la calidad de los estudios técnicos, sino que también fortalece las capacidades de análisis de ingenieros y proyectistas, permitiéndoles tomar decisiones más informadas durante la planificación de obras viales. Asimismo, puede ser base para la creación de guías, manuales o protocolos que estandaricen el uso de la curva masa en futuras investigaciones o intervenciones de infraestructura.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

OG: Determinar la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa en la región Cusco, 2025.

1.4.2. Objetivo específico

OE1: Evaluar la variación de corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025.

OE2: Analizar el alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018 en la región Cusco, 2025.

OE3: Evaluar cuál de los métodos de optimización del alineamiento vertical es más eficiente en la Región Cusco, 2025.

1.5.DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1. Delimitación espacial

Localización Política:

- ❖ País: Perú
- ❖ Departamento: Cusco
- ❖ Provincia: Canas, Paruro, Anta
- ❖ Distrito: Kunturkanki-Checca, Paccaritambo-Paruro, Huarocondo-Zurite.

Nombre de los proyectos:

1. MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA VECINAL CU - 1778, EN EL TRAMO, DESVIO PE-34F (EL DESCANSO) - SAUSAYA -EMPALME CU-130 (PUMAHUARCO), EN LOS DISTRITOS DE KUNTURKANKI Y CHECCA DE LA PROVINCIA DE CANAS - DEPARTAMENTO DE CUSCO.

Características del proyecto:

Tabla 1:

Características del proyecto 01

Longitud de carretera	10.200km
IMDA	208veh/día
Clasificación por demanda	Carretera de tercera clase
Clasificación por orografía	Ondulado
Tipo de Vehículo	C2
Velocidad	40km/h
Ancho de Calzada	6.00m
Ancho de berma	0.9m

Nota: Elaboración propia adaptado de expediente técnico

2. MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL CU-120, TRAMO EMP CU-119 (TINCOC) – EMP. CU 117 (CUSIBAMBA) EN LOS DISTRITOS DE PACCARITAMBO Y PARURO DE LA PROVINCIA DE PARURO – DEPARTAMENTO DE CUSCO.

Tabla 2:

Características del proyecto 02

Longitud de carretera	16.500km
IMDA	160veh/día
Clasificación por demanda	Carretera de tercera clase
Clasificación por orografía	Accidentado
Tipo de Vehículo	C2
Velocidad	30km/h
Ancho de Calzada	6.00m
Ancho de berma	0.5m

Nota: Elaboración propia adaptado de expediente técnico

3. MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA, EN LA VIA VECINAL CU 902 – TRAMO CCPSS HUAROCONDO Y ZURITE EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y ZURITE DE LA PROVINCIA DE ANTA – DEPARTAMENTO DE CUSCO.

Tabla 3:

Características del proyecto 03

Longitud de carretera	6.652km
IMDA	273veh/día
Clasificación por demanda	Carretera de tercera clase
Clasificación por orografía	Accidentado
Tipo de Vehículo	C2
Velocidad	50km/h
Ancho de Calzada	6.60m
Ancho de berma	1.2m

Nota: Elaboración propia adaptado de expediente técnico

1.5.1. Delimitación temporal

La presente investigación se desarrolló durante el año 2025, tomando como base información contenida en tres Expedientes técnicos de proyectos viales elaborados y aprobados entre los años 2019 y 2023 en distintas provincias de la región Cusco. El análisis, procesamiento de datos y aplicación de la optimización mediante Softree Optimal se efectuaron entre los meses de mayo y noviembre de 2025, periodo en el cual se ejecutaron todas las actividades metodológicas (recolección, modelamiento, procesamiento y análisis comparativo). De esta manera, la delimitación temporal comprende tanto el horizonte temporal de los expedientes analizados como el tiempo efectivo de desarrollo de la investigación.

1.5.2. Delimitación teórica

La investigación se enmarca dentro del campo del diseño geométrico de carreteras, específicamente en la dimensión correspondiente al alineamiento vertical y su incidencia sobre la curva masa utilizada para la planificación del movimiento de tierras. Teóricamente, el estudio se sustenta en Manual de carreteras: diseño geométrico DG-2018, la cual establece los criterios técnicos para el diseño

vial, así como en conceptos de ingeniería civil vinculados a rasantes, pendientes, curvas verticales, volúmenes de corte y relleno, y técnicas de optimización en proyectos de infraestructura.

Asimismo, se adopta como fundamento teórico el uso de métodos computacionales de optimización aplicados al diseño geométrico, con énfasis en el software Softree Optimal, que permite evaluar alternativas de rasante más eficientes y sostenibles. La delimitación teórica, por tanto, se restringe al análisis del alineamiento vertical y su influencia en el comportamiento de la curva masa dentro del proceso de diseño geométrico de carreteras.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Rubio Martín et al., 2012) en la investigación “**Optimización de los movimientos de tierras en proyectos de obras lineales mediante técnicas de programación lineal: modelo basado en rendimientos de construcción**” dice que las operaciones de movimiento de tierras representan una de las partidas más importantes en el presupuesto de cualquier obra lineal, e influyen de forma relevante tanto en el proceso de planificación como en el plazo de la obra. El estudio detallado y la optimización de estas operaciones son aspectos importantes a considerar durante la redacción de un proyecto de obra lineal. La asignación de los volúmenes de materiales que deben transportarse desde los centros de producción (desmontes y préstamos) a los centros de consumo (terraplenes y vertederos) es un problema relativamente complejo, para cuya resolución se han propuesto en la literatura científica básicamente dos grupos de metodologías: una más tradicional, basada en el denominado diagrama de masas; y otras más novedosas, que se apoyan en técnicas de optimización. Mediante el diagrama de masas se establece una compensación longitudinal de los materiales, y se limita a informar sobre distancias medias de transporte. En relación al segundo grupo de metodologías, en las últimas décadas se han desarrollado diferentes procedimientos basados en programación lineal, en su forma particular del problema del transporte. Estas técnicas permiten optimizar de forma más precisa las operaciones de movimiento de tierras si bien no se ha estudiado con detalle la manera de generar o definir los centros de producción y consumo considerando aspectos relacionados con la planificación. En este artículo se desarrolla un procedimiento para la optimización de los movimientos de tierras en obras lineales mediante técnicas de programación lineal, en el cual los centros de producción y consumo son obtenidos a partir de los rendimientos de construcción de los equipos disponibles por el contratista. El procedimiento

permite obtener tanto el coste mínimo de las operaciones de movimiento de tierras como el plazo de ejecución de las obras. Finalmente, se presentan los resultados de la aplicación a un caso real de una carretera.

Y también según (Jara Gómez, 2023) en la investigación “DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE PAVIMENTO DE LA VIA CRS TURI-SAN PEDRO DE HIERBA BUENA, EN LA PARROQUIA TURI, CANTON CUENCA” menciona que en la actualidad el centro de rehabilitación social de Turi y la comunidad de San Pedro de Hierba Buena están conectados por una vía, la cual se encuentra en deterioradas condiciones, por ende, se realizó este proyecto de investigación del diseño geométrico y diseño de pavimento en la vía, y se realizó un proceso de planificación para el diseño de la vía. Ya que el problema de la optimización de la geometría y la estructura de la vía van a afectar de manera significativa el flujo del tráfico, además de la seguridad y la eficiencia del transporte. Se tiene en cuenta los antecedentes de este camino como estar ubicado en una zona montañosa y tener pendientes muy pronunciadas, estar ubicada en una zona rural de la ciudad y no contar con el acceso del transporte público de la ciudad como buses que lleguen hasta el lugar por las condiciones que se presentan en el sector como son los factores climáticos y el estado de la vía. El diseño se lo realizó con la Norma MTOP (2003), así como la AASHTO (1993). Enfocándose en solucionar la geometría que se ha obtenido mediante los levantamientos topográficos y su respectivo diseño con la herramienta del software de Civil 3D y posterior a esto y se obtuvo como resultados un radio mínimo de 40 m y la velocidad de diseño de 40 km/h, pendientes longitudinales máximas de 12 % y el ancho de la calzada de 6.70 m de ancho. Para el estudio de suelos que se tomó las calicatas que se realizaron a lo largo del tramo de vía y se obtuvo los valores de CBR. Finalmente, mediante el conteo vehicular se logró obtener un TPDA de 430 vehículos, excluyendo las motocicletas,

posterior a esto se proyectó para 20 años donde se obtuvo 536 vehículos, y se consideró como vía de clase III, dentro de los caminos vecinales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según (Francisco Guevara, 2015) en su trabajo de investigación titulado “ANÁLISIS Y EJECUCIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN UNA OBRA EMPLEANDO EL DIAGRAMA DE CURVA MASA”. Dice que, en un proyecto de vía terrestre de comunicación se establece en base a una serie de datos recopilados en campo. Una vez definido el proyecto bajo todos los parámetros necesarios y previos a la construcción, se procede a la determinación de volúmenes de material que serán removidos o reubicados con el fin de ajustar el nivel de subrasante del terreno al diseño establecido. Este paso se conoce como “Movimiento de Tierras”, y es de vital importancia, pues de su correcta planificación depende la pérdida o ganancia de tiempo y dinero. El movimiento de tierras comprende el grupo de actividades que producen las modificaciones necesarias para llegar al nivel de diseño de la subrasante, mediante el empleo de maquinaria pesada tal como: excavadoras, cargadores frontales, tractores, volquetes, rodillos, motoniveladoras, etc, cuyas funciones y rendimientos serán analizados en la presente tesis. Previo al movimiento de tierras, es necesario ejecutar una serie de trabajos en campo para poder indicar claramente a los Ingenieros de Producción y a los operadores de maquinarias los sitios por donde atraviesa la vía y los niveles a los cuales deben regirse para construir los rellenos o cortes. El desarrollo de esta tesis se realiza de la siguiente manera:

- Detalle de las actividades en campo previas al movimiento de tierras, las cuales serán fundamentales para la correcta ejecución de los trabajos por parte del contratista.
- Diseño del movimiento de tierras mediante el uso del diagrama de masas, que comprende el cálculo de áreas de corte y relleno, de acuerdo a las secciones transversales, volúmenes y distancias de acarreo y sobreacarreo.
- Elección del tipo de maquinaria más adecuada de acuerdo al tipo de trabajo a realizar.

- Análisis del rendimiento de los equipos que intervienen en los movimientos de tierras.
- Proceso constructivo de la plataforma sobre el cual se colocará el material de afirmado incluyendo los equipos necesarios.
- Análisis de precios unitarios de las actividades ejecutadas, en base a ellos se determinará un presupuesto referencial del movimiento de tierras.

Y también según (Torres Huarcaya, 2022) en la tesis titulada “DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS EMPLEANDO SOFTWARE CIVIL-3D PARA OPTIMIZACIÓN DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA RUTA PU-804 DEL DISTRITO DE SAMAN, PROVINCIA DE AZÁNGARO DEL CORREDOR VIAL N°39 DE RED VIAL VECINAL EMPALME PE 34H-PUNO”, planteó como objetivo un diseño geométrico de carreteras empleando software Civil-3D para la optimización de la transitabilidad vehicular de la ruta PU-804 del distrito de Samán, provincia de Azángaro del corredor vial N°39 de la red vial vecinal empalme PE 34h-Puno. Para la ejecución de la investigación, se utilizó un enfoque cuantitativo de tipo aplicada, además el diseño es no experimental de corte transversal. Para la realización del Diseño Geométrico se siguieron los parámetros del Manual de Diseño de Carreteras (DG-2018) y de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Los resultados obtenidos permitieron determinar el alineamiento horizontal, alineamiento vertical, secciones transversales y volúmenes de corte y relleno de dicha carretera. Para el diseño de las curvas horizontales y verticales se utilizó el software Civil 3D, el cual permitió plasmar los parámetros de la DG-2018. El diseño geométrico y una adecuada evaluación social y económica sirvieron para determinar la viabilidad del proyecto, en la cual se sustentó que un diseño geométrico eficiente permitió apreciar de mejor manera la distancia de visibilidad, pendientes máximas y mínimas de las carreteras altoandinas, además de mostrar las construcciones existentes, y evaluar las

diferentes alternativas de solución para el control de interferencias. Todas las especificaciones mencionadas con anterioridad tuvieron por finalidad llevar un mejoramiento de la transitabilidad vehicular en el distrito de Samán provincia de Azángaro en el departamento de Puno.

2.1.3. Antecedentes locales

(Barrientos Palomino & Matamoros Huaman, 2024) en su trabajo de investigación titulado: “DISEÑO GEOMÉTRICO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA CU-1204 Y CU-1206 EN EL TRAMO: HUAROCONDO (KM 0+000) - MUNAYPATA (KM 10+000), DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DE CUSCO”. Tiene como objetivo elaborar un diseño geométrico para mejorar la transitabilidad vehicular de la carretera cu-1204 y cu-1206 en el tramo: Huarocondo (km 0+000) - Munaypata (km 10+000), distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento de Cusco. La metodología empleada en la investigación es Hipotético Deductivo, de tipo Aplicativo Transversal, con un enfoque Cuantitativo, No Correlacional, con diseño No Experimental; siendo la población y muestra el tramo Huarocondo – Munaypata, carretera de 10 Km, de longitud que beneficia a una población de 120 familias. Para la presente investigación, se tuvo que realizar en la zona el estudio topográfico, estudio de mecánica de suelos, estudio hidrológico y estudio de costos y presupuestos, obteniendo diversos resultados de los trabajos en campo, gabinete y laboratorio. Del estudio de suelos ejecutado en la zona de investigación se determinó un CBR de diseño para la subrasante de 12%, que se clasifica como una subrasante Buena. La capa de Afirmado será de 0.15 m como mínimo según el manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito.

(Escobar Huaman & Quiñones Tapia, 2022) en su trabajo de investigación titulado “DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VIAL PARA MEJORAR LA TRANSITIVIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA CUSCO – CCORCA – HUAYLLAYPAMPA DE LOS DISTRITOS DE CUSCO, SANTIAGO Y CCORCA, CUSCO 2022”. Indica que con esta investigación se busca hacer un adecuado diseño geométrico de la carretera Cusco – Ccorca - Huayllaypampa; siguiendo las indicaciones y parámetros del Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2018, manuales que proporciona el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y entre otras guías. La tesis presentada, es de tipo aplicativo no experimental, se realizó un estudio topográfico, el cual nos arrojó una orografía ondulada, y un estudio de tráfico IMDA

198 veh/día clasificando a la carretera como de tercera clase; tan bien se realizó el estudio de suelos con el que obtuvimos un suelo de material granular y fino, resultados considerados para el diseño de pavimento (subbase = 15 cm; base = 20 cm; y carpeta asfáltica = 6.35 cm). Finalmente se analizó los parámetros del diseño geométrico y se diseñó geométricamente en planta, perfil y secciones transversales con la norma vigente DG - 2018. Obteniendo un nivel de transitividad de buen flujo vehicular.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

El diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal (Cardenas Grisales, 2013, p. 37).

Se encarga de determinar las características geométricas de una vía, a partir de factores como el tránsito, topografía y velocidades, de modo que la circulación se realice de una manera cómoda y segura (Agudelo Ospina, 2008, p. 37).

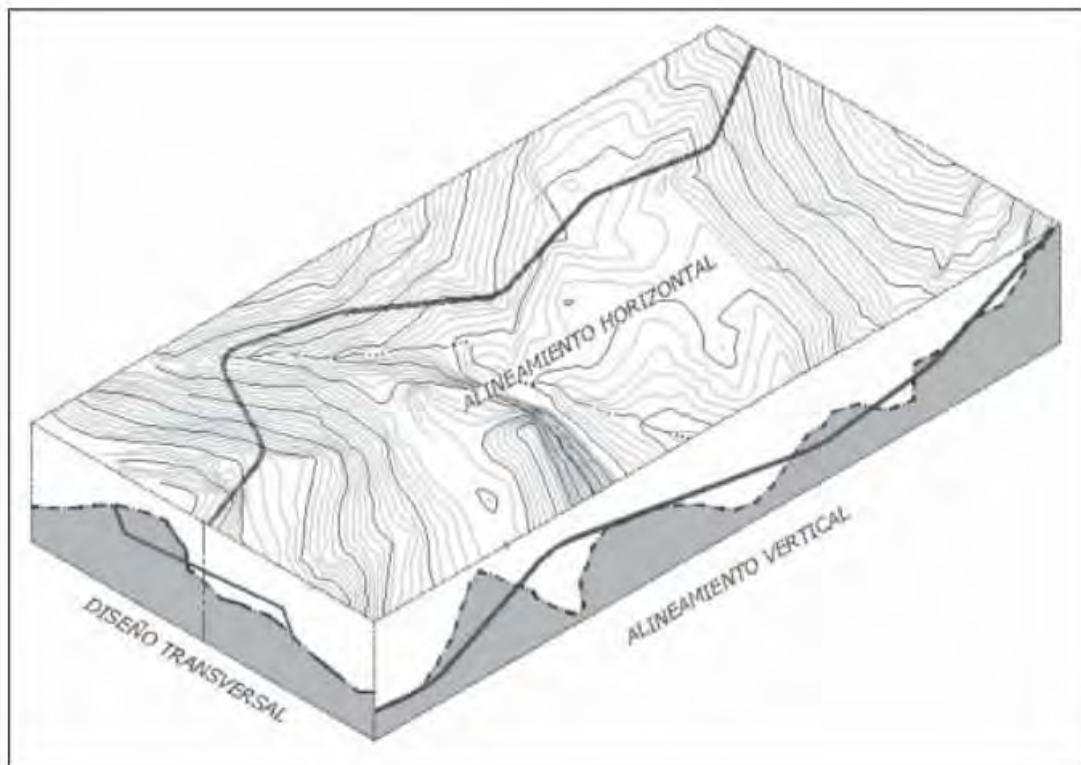
El diseño geométrico de una carretera está compuesto por tres elementos bidimensionales, que, aunque se ejecutan de manera individual dependen unos de otros; al unirlos forman un elemento tridimensional, que corresponde a la vía propiamente dicha. (Agudelo Ospina, 2008). Estos tres elementos son:

2.2.1.1 *Elementos del Diseño Geométrico*

- Alineamiento horizontal: compuesto por ángulos y distancias que forman un plano horizontal con coordenadas Norte y Este.
- Alineamiento vertical: compuesto por distancias horizontales y pendientes que dan lugar a un plano vertical con abscisas y cotas.
- Diseño transversal: consta de análisis de ancho de calzada, berma, bombeo y peralte.

Figura 1:

Elementos del Diseño geométrico de una carretera



Nota. En el libro Diseño Computarizado de Carreteras (Agudelo Ospina, 2008)

2.2.1.2 *Normativa Aplicable*

En el Perú, el diseño geométrico de carreteras se rige principalmente por el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, El Manual de Carreteras “Diseño Geométrico”, el cual es un documento normativo que organiza y recopila las técnicas y procedimientos para el diseño de la infraestructura vial, en función a su concepción y desarrollo, y acorde a determinados parámetros. Contiene la información necesaria para diferentes procedimientos, en la elaboración del diseño geométrico de los proyectos, de acuerdo a su categoría y nivel de servicio, en concordancia con las demás normativas vigente sobre la gestión de la infraestructura vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

2.2.1.3 *Alineamiento en el Diseño Geométrico de Carreteras*

2.2.1.3.1. *Alineamiento Horizontal*

El diseño geométrico en planta de una carretera, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas. (Cardenas Grisales, 2013, p. 38)

2.2.1.3.2. *Alineamiento Vertical*

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o subrasante. (Cardenas Grisales, 2013, p. 307)

Elementos Geométricos que Integran el Alineamiento Vertical:

Al igual que el diseño en planta, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales, enlazados entre sí por curvas verticales. La pendiente de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen

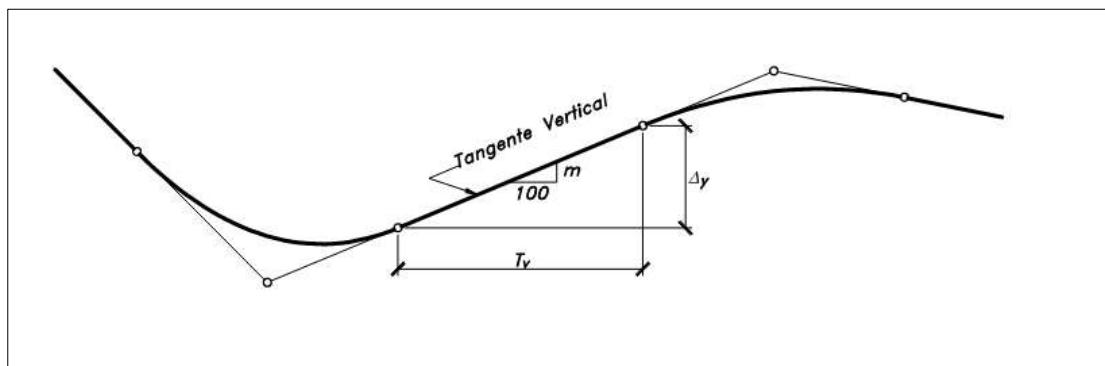
principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.(Cardenas Grisales, 2013, p. 308)

- ***Tangentes verticales***

Las tangentes sobre un plano vertical se caracterizan por su longitud y su pendiente, y están limitadas por dos curvas sucesivas. acuerdo con la Figura 2, longitud T_v de una tangente vertical es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. (Cardenas Grisales, 2013, p. 308,309)

Figura 2:

La tangente vertical



Nota. En el libro *Diseño Geométrico de Carreteras*. (Cardenas Grisales, 2013)

- ***Curvas verticales***

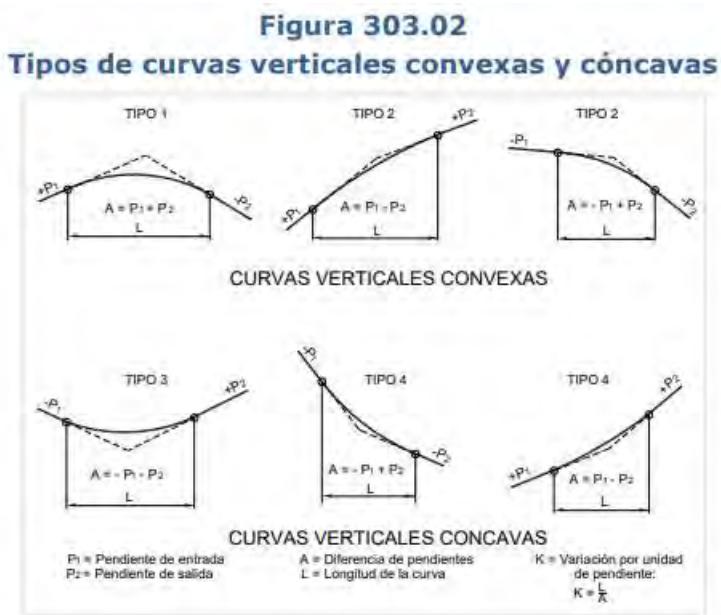
Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la parábola de eje vertical. (Cardenas Grisales, 2013, p. 313)

- **Tipos de curvas verticales**

Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma como curvas verticales convexas y cóncavas y de acuerdo con la proporción entre sus ramas que las forman como simétricas y asimétricas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018)

Figura 3:

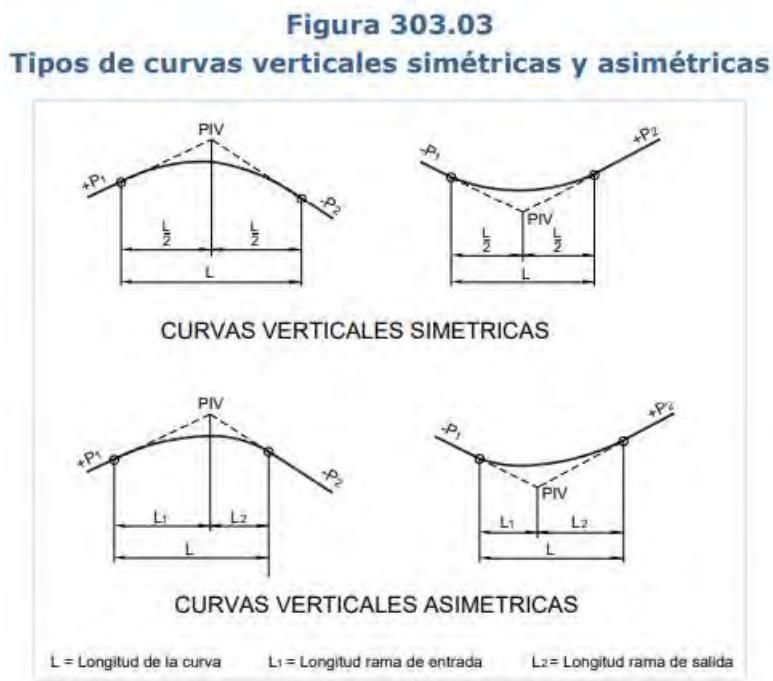
Curvas verticales convexas y cóncavas



Nota. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018)

Figura 4:

Curvas verticales simétricas y asimétricas



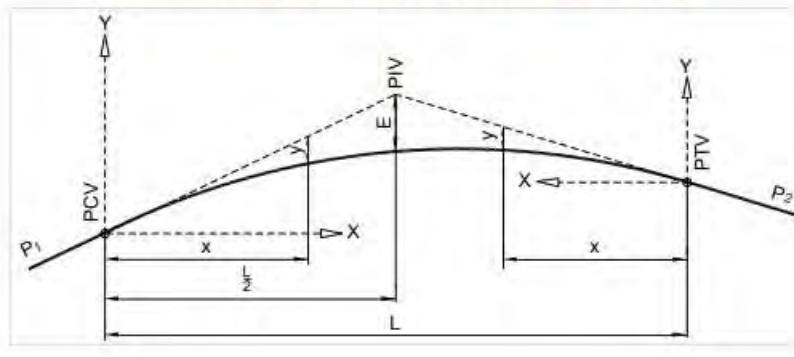
Nota. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018)

La curva vertical simétrica está conformada por dos paráolas de igual longitud, que se unen en la proyección vertical del PIV. La curva vertical recomendada es la parábola cuadrática, cuyos elementos principales y expresiones matemáticas se incluyen a continuación.
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018)

Figura 5:

Elementos de curva vertical simétrica

**Figura 303.04
Elementos de la curva vertical simétrica**



Nota. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018)

Dónde:

PCV: Principio de la curva vertical

PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales

PTV: Término de la curva vertical

L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros (m).

S₁: Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%)

S₂: Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%)

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%)

$$A = |S_1 - S_2|$$

E: Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, en metros (m), se determina con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{A L}{800}$$

X: Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde el PCV o desde el PTV.

Y: Ordenada vertical en cualquier punto, también llamada corrección de la

curva vertical, se calcula mediante la siguiente fórmula:

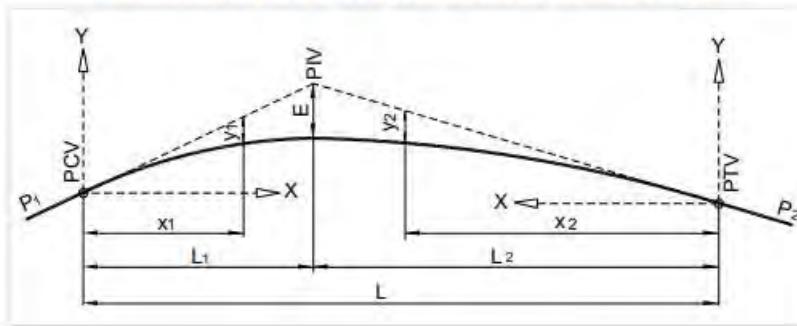
$$y = x^2 \left(\frac{A}{200 L} \right)$$

La curva vertical asimétrica está conformada por dos paráolas de diferente longitud (L_1, L_2) que se unen en la proyección vertical del PIV.

Figura 6:

Elementos de la curva vertical asimétrica

Figura 303.05
Elementos de la curva vertical asimétrica



Nota. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018)

Dónde:

PCV: Principio de la curva vertical

PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales

PTV: Término de la curva vertical

L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros

(m), se cumple: $L = L_1 + L_2$ y $L_1 \neq L_2$.

S1: Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%)

S2: Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%)

L1: Longitud de la primera rama, medida por su proyección horizontal en metros

(m).

L2: Longitud de la segunda rama, medida por su proyección horizontal, en metros (m).

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

$$A = |S_1 - S_2|$$

E: Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, en metros (m), se determina con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{A L_1 L_2}{200 (L_1 + L_2)}$$

X1: Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV

X2: Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV

Y1: Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PCV, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$y_1 = E \left(\frac{X_1}{L_1} \right)^z$$

Y2: Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PTV, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$y_2 = E \left(\frac{X_2}{L_2} \right)^z$$

2.2.2. CURVA MASA

Es una curva en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías (suma algebraica excavación (+) y terraplén (-)) y las abscisas el cadenamiento correspondiente. Un diagrama de masa es un total acumulado de la cantidad de material excedente o deficiente a lo largo del perfil de la carretera. (Navarro Hudiel, 2012, p.9 y 10)

Para un buen diseño de la carretera es necesario realizar un análisis para obtener la mayor economía en el movimiento de tierras, ya que como sabemos dicho movimiento de

tierras representa el 80% del costo de la carretera. Esta economía se obtiene excavando y rellenando únicamente lo indispensable y acarreando los materiales la menor distancia posible.

El estudio necesario es llamado curva masa o diagrama de masa. (Navarro Hudiel, 2012, p.9)

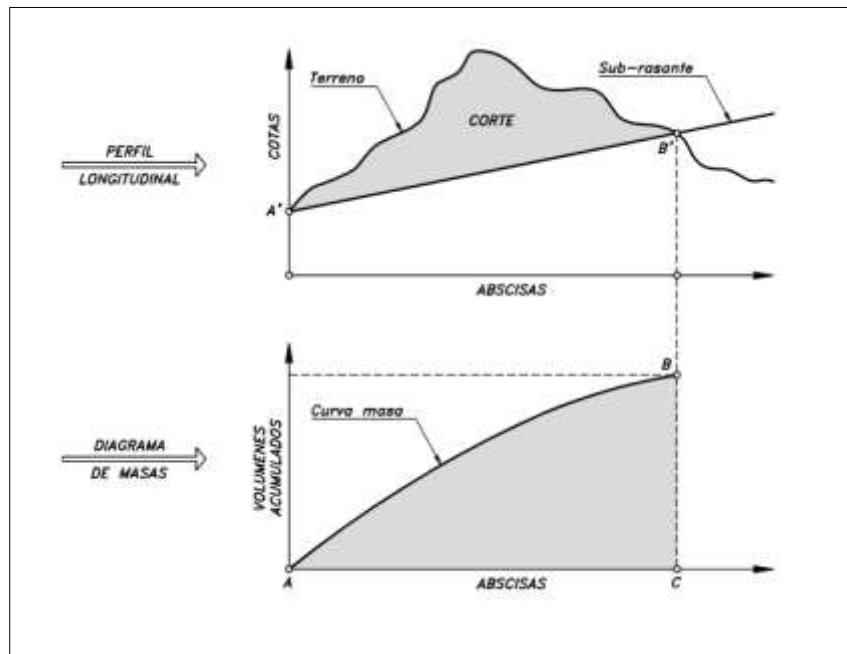
Técnicamente es una curva o gráfico, en el que las distancias horizontales (abscisas) representan las estaciones de la carretera y las distancias verticales (ordenadas) indican las sumas algebraicas de los volúmenes acumulados de los cortes y terraplenes, a partir de un punto origen en el perfil longitudinal de la carretera. (Cardenas Grisales, 2013, p. 463)

El Diagrama de Masas es una herramienta tradicional y valiosa para el diseño vial. Algunas de las cantidades calculadas con el Acarro óptimo son incluidas automáticamente en el diagrama de masas.(Softree Optimal, 2022, p. 51)

El diagrama de masas permite la compensación longitudinal de volúmenes de desmonte y de terraplén. y también la obtención de sus distancias de transporte. (Tiktin, 1997, p. 15.1)

Figura 7:

Perfil longitudinal y diagrama de masas



Nota: Adaptado de *Diseño Geométrico de Carreteras* por (Cardenas Grisales, 2013, p. 464)

2.2.2.1 Propiedades del Diagrama de Masas

Tabla 4:

Propiedades del diagrama de masas

Nº	Propiedad	Descripción
1	Comportamiento de la curva (ascendente o descendente)	La curva asciende cuando predominan los volúmenes de corte y desciende cuando predominan los volúmenes de terraplén. Un tramo ascendente indica exceso de material excavado; un tramo descendente, necesidad de material para relleno.
2	Puntos máximos y mínimos (transición)	Los máximos representan el paso de una zona de corte a relleno, y los mínimos, el paso de relleno a corte. Estos puntos se llaman puntos de transición, donde la subrasante cruza la línea del terreno natural.
3	Diferencia de ordenadas (volúmenes)	La diferencia vertical entre dos puntos del diagrama representa el volumen total de material (corte o terraplén) entre ellos. Si la diferencia es positiva, hay más corte; si es negativa, hay más relleno.
4	Líneas compensadoras (tramos equilibrados)	Cuando una línea horizontal corta la curva en dos puntos, los volúmenes de corte y terraplén entre ellos son iguales. Es un tramo compensado, y la distancia entre estos puntos indica el acarreo máximo económico.
5	Sentido del movimiento del material	Si el contorno de la curva queda sobre la línea compensadora, el material se mueve hacia adelante; si queda debajo, el movimiento es hacia atrás. Esto define la dirección del transporte del material en obra.
6	Área entre la curva y la línea compensadora (acarreo total)	El área cerrada entre la curva de masas y la línea compensadora representa el acarreo total (volumen × distancia). Este valor permite calcular el trabajo total de transporte y optimizar la economía del movimiento de tierras.

Nota. Elaboración propia basada en (Navarro Hudiel, 2012)

2.2.3. SOFTREE

Softree nació de la necesidad de desarrollar un software de diseño de vías forestales para el terreno rocoso y empinado de la costa oeste de Canadá. Desde entonces, hemos crecido y nos hemos expandido a otros mercados como lo es la ingeniería civil. Hoy, nuestra lista de clientes incluye: consultores, gobiernos, propietarios de tierras y otras partes interesadas en una variedad de industrias alrededor del mundo. (Softree, s.f.)

2.2.3.1 *Productos de Softree*

Tabla 5:

Productos de Softree

 TERRAIN TOOLS®	 ROADENG®	 SOFTREE OPTIMAL
Herramienta abordable, simple y versátil de Mapeo 3D y cálculo de volúmenes. Nivelación, mapeo LiDAR y otras funciones necesarias para la planificación y diseño. Plataformas y empozamientos. Canteras y acopio. Diseño de todo tipo de plataformas con una configuración intuitiva.	Diseño de las vías y plataformas de forma simple. Vías rurales. Caminos de acceso. Tuberías y cursos de agua. Configuración de forma simple para la obtención de planos o documentos. Emplazamiento de puentes. Reemplazo de drenajes. Cálculos del movimiento de tierras.	Herramienta que minimiza el costo en el movimiento de materiales para las vías, autopistas y otros proyectos (corredores). Optimización de los diseños originados en RoadEng, Civil 3D u otro software de diseño. Obtenga un alineamiento vertical óptimo

Nota. elaboración propia con adaptación de (Softree Optimal, s. f.)

2.2.4. SOFTREE OPTIMAL

Softree Optimal es un software especializado en la optimización del diseño geométrico de carreteras, utilizado para generar trazados eficientes en términos de costos y construcción, considerando tanto el diseño horizontal como vertical. El programa utiliza algoritmos de optimización que permiten encontrar la mejor solución en el diseño de rutas de carreteras, tomando en cuenta una serie de restricciones y factores ambientales (Softree, 2022).

2.2.4.1 *Definición y Propósito*

Softree Optimal se usa para optimizar el diseño geométrico de carreteras y otros tipos de caminos. El software integra diferentes tipos de datos, como la topografía del terreno y las condiciones de la vía, y busca generar trazados que minimicen el costo total de construcción, además de cumplir con las normativas de seguridad y sostenibilidad.

Propósito: Optimizar los costos de construcción minimizando movimientos de tierra, maximizando la eficiencia operativa y asegurando la seguridad vial (Softree, 2022).

2.2.4.2 *Funcionamiento*

Softree Optimal utiliza un enfoque basado en algoritmos de optimización para el diseño de caminos. La herramienta puede ajustar tanto el alineamiento horizontal como el vertical, utilizando parámetros como el costo del movimiento de tierras, las pendientes y los radios de curva, entre otros.

Algoritmos de optimización: Permiten generar diseños eficientes adaptados a las condiciones del terreno, con el objetivo de reducir costos sin comprometer la seguridad o la operabilidad de la vía.

Parámetros ajustables: El software permite al diseñador ajustar diferentes variables, como las pendientes máximas, los radios de curvatura y la distribución de las curvas horizontales y verticales, de acuerdo con los requisitos del proyecto (Softree, 2022).

2.2.4.3 Aplicación en el Diseño de Carreteras

Softree Optimal permite crear un diseño de carretera eficiente considerando varios factores:

- Trazado horizontal y vertical: Genera el mejor trazado de la carretera, optimizando las curvas y pendientes.
- Evaluación de costos: Estima los costos asociados con el movimiento de tierras y la construcción, lo que permite tomar decisiones informadas sobre el trazado.
- Cumplimiento con normativas: El software asegura que el diseño final cumpla con las normativas de seguridad vial, accesibilidad y sostenibilidad ambiental.(Softree, 2022)

2.2.4.4 Importancia en el diseño geométrico de carreteras:

El uso de Softree Optimal facilita la toma de decisiones al optimizar el trazado de la carretera y reducir los costos de construcción, además de considerar impactos ambientales al minimizar la alteración del terreno y la vegetación (Papageorgiou, 2012).

2.2.4.5 Beneficios

Softree Optimal presenta una serie de beneficios clave para los diseñadores de carreteras:

- Optimización de costos: Reduce los costos asociados con la excavación y el movimiento de tierras, lo que representa un ahorro significativo.
- Mejora la seguridad: Al crear trazados con curvas suaves y pendientes adecuadas, el software contribuye a la seguridad del conductor.
- Reducción de impactos ambientales: La optimización del alineamiento minimiza la alteración del terreno, lo que reduce la erosión del suelo y la alteración de hábitats naturales (Softree, 2022).

2.2.4.6 *Integración con otros software y herramientas*

Softree Optimal puede integrarse con otros programas de diseño y modelado de carreteras, lo que permite importar datos topográficos y realizar análisis más detallados del impacto ambiental y de la seguridad vial.

- Compatibilidad con GIS: El software es compatible con sistemas de información geográfica (GIS), lo que permite trabajar con datos geoespaciales en tiempo real.
- Interoperabilidad: Es posible exportar y compartir diseños generados en Softree Optimal con otros softwares de ingeniería para análisis adicionales, como análisis de tráfico o de impacto ambiental (Softree, 2022).

2.2.4.7 *Alineamiento vertical óptimo*

Encuentre siempre el diseño más económico que cumple con sus parámetros de diseño. Dependiendo del proyecto, reduzca los costos de construcción entre el 10 y el 30% o más. Encuentre la solución de menor costo. Los pequeños ajustes al alineamiento vertical pueden producir enormes diferencias en los volúmenes de corte/relleno y el movimiento de materiales (Softree, 2022).

2.2.5. OPTIMIZACIÓN

La optimización puede ser considerada como una parte de la matemática que se ocupa del estudio de problemas de decisión, con el fin de determinar, entre las diferentes posibles alternativas, aquella que resulta la mejor respecto de objetivos preestablecidos. Se debe distinguir dos tipos de problemas de optimización: “mono-objetivo” o escalar y “multiobjetivo”. La primera, tiene que ver con minimizar o maximizar una sola función objetivo y aquí el concepto de solución está claramente definido; mientras que la segunda, se refiere a optimizar más de una función objetivo, en tal caso el concepto de solución debería ser

precisado, distinguiéndose entre ellas la llamada “eficiente” (también conocida como solución Pareto óptima) y “débilmente eficiente” (o Pareto óptima débil). En esta monografía se va a considerar una clase particular de problemas de optimización mono-objetivo, los llamados problemas de optimización lineal, los que se estudiarán a lo largo de los cuatro capítulos, mientras que sólo uno estará dedicado a la optimización lineal multiobjetivo limitándose a lo más básico y fundamental.(Flores Bazán, 2011)

2.2.5.1 OPTIMIZACIÓN CON SOFTREE OPTIMAL

Utilice la Optimización Vertical para minimizar cortes y rellenos, así como los costos de movimiento de materiales, equilibrando sus movimientos de tierra. Ahorre entre un 10% y un 30% en costos de construcción de subrasante con la optimización de carreteras (Softree, 2022).

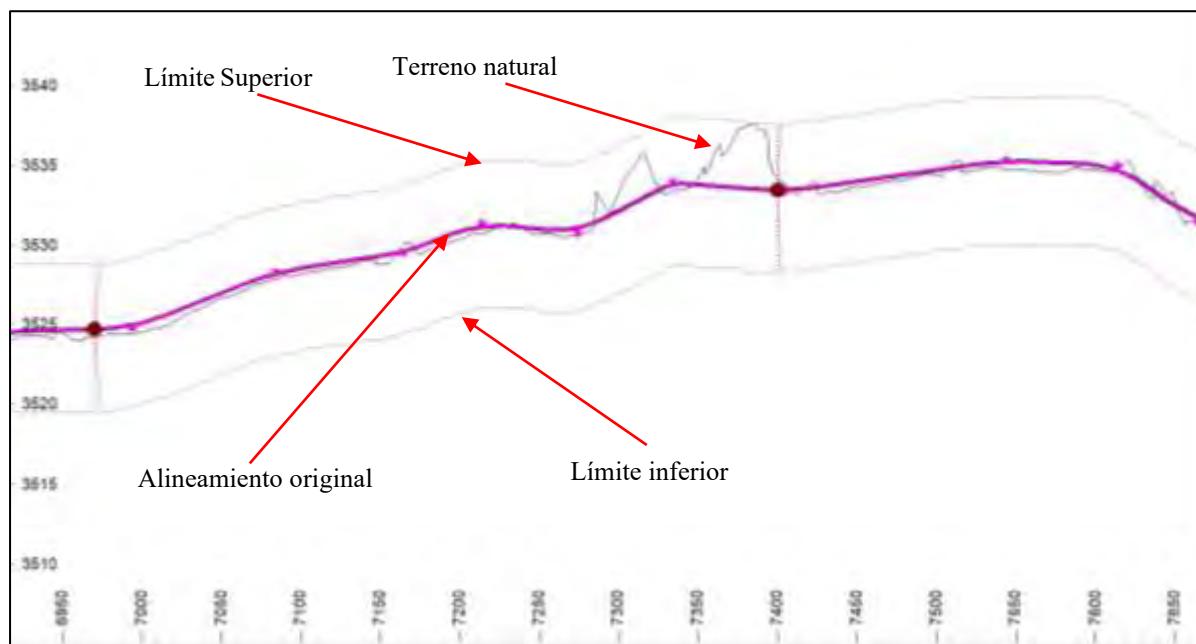
Restricciones geométricas

a) Desplazamiento vertical:

El software Softree Optimal ofrece la opción de realizar un desplazamiento vertical de la alineación original durante el proceso de optimización.

Figura 8:

Control vertical de desplazamiento



Nota. elaboración propia con adaptación de Softree

b) Restricción de pendiente

Se establecen pendientes mínimas y máximas de acuerdo con lo especificado en el

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018).

Tabla 6:

Pendientes mínimas

Situación / Condición	Pendiente mínima recomendada	Pendiente mínima excepcional / Observación
Condición general de calzada	0.5%	Asegura el drenaje de aguas superficiales.
Calzada con bombeo de 2%, sin bermas ni cunetas	—	Se pueden admitir pendientes longitudinales de hasta 0.2%.
Calzada con bombeo de 2.5%	—	Se pueden admitir pendientes longitudinales iguales a 0%.
Calzada con bermas	0.5%	Excepcionalmente se puede adoptar 0.35%.
Zona de transición de peralte (pendiente transversal = 0)	0.5%	No se recomienda menor valor.

Nota. elaboración propia adaptado de *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*

Tabla 7:*Pendientes máximas*

Tabla 303.01
Pendientes máximas (%)

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera				
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400				
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Velocidad de diseño: 30 km/h																					10.00 10.00
40 km/h																					9.00 8.00 9.00 10.00
50 km/h																					8.00 9.00 8.00 8.00
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00			
70 km/h					5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00			
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00			
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00						6.00				6.00 6.00	
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00							6.00					
110 km/h	4.00	4.00			4.00																
120 km/h	4.00	4.00			4.00																
130 km/h	3.50																				

Nota. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018)*

c) Parámetro de curvatura K (Cónicas y convexas)

$$K = \frac{L}{A}$$

K: Parámetro de curvatura (m/%)

L: Longitud de la curva vertical (m)

A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes (%)

$$A = |S1 - S2|$$

S1: Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%)

S2: Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%)

d) Restricción de puntos específicos

Se establecen restricciones en la progresiva inicial y final, así como en aquellas progresivas donde se ubican obras de arte, con el fin de preservar su posición y evitar modificaciones durante el proceso de optimización del alineamiento.

2.2.5.2 Tipos de alineación vertical - Softree Optimal

Tabla 8:

Tipos de alineamiento vertical

Tipo de alineación vertical	Descripción
Curvas [rápidas]	Se permite que las curvas sean adyacentes (espalda con espalda). Puede controlar la longitud y curvatura mínimas de la curva (valores K).
Curvas y tangentes [Lenta]	Similar al anterior, excepto que se inserta una tangente entre curvas. La longitud mínima de la tangente es la misma que la longitud mínima de la curva.
Curvas y tangentes variables [Más lentas]	Similar al anterior, excepto que no se requiere que las longitudes mínimas de curva y tangente sean iguales y la ubicación de la curva es más flexible.

Nota. elaboración propia con adaptación de Softree

2.3.MARCO CONCEPTUAL

Granulometría: representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014, P.32)

Ensayo CBR (California Bearing Ratio): (ensayo MTC E 132), una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este

manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014, P.37)

Tipos de vehículo: Clasificación de vehículos según dimensiones, peso y número de ejes, utilizada en el diseño de pavimentos y geometría vial. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2003)

Parámetro de curvatura: Coeficiente que indica la forma y uniformidad de la curva granulométrica de un suelo, calculado a partir de sus diámetros característicos. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Distancia de visibilidad: Extensión de la vía que el conductor puede observar con claridad para reaccionar oportunamente frente a un obstáculo. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Altura de los ojos: Valor de referencia que representa la posición de la vista del conductor respecto al nivel de la calzada, usado en cálculos de visibilidad. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Altura de objeto: Medida mínima de elevación que debe tener un obstáculo sobre la superficie de rodadura para que pueda ser percibido por el conductor. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Pendiente: Relación expresada en porcentaje entre el desnivel vertical de un tramo y su longitud horizontal. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Peralte: Inclinación transversal que se otorga a la calzada en curvas para contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga sobre los vehículos. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Acarreo: Transporte de materiales excavados dentro de una distancia considerada económica y establecida en el proyecto. (Softree 2022)

Sobre acarreo: Traslado adicional de material cuando la distancia de transporte supera el límite del acarreo libre. (Softree 2022)

Relleno propio: Material excavado en la misma obra que resulta apto para reutilizarse en trabajos de relleno. (Softree 2022)

Relleno transporte: Material de otra zona del mismo proyecto que se moviliza para ser usado como relleno. (Softree 2022)

Relleno cantera: Material de préstamo extraído de canteras externas a la obra para emplearse en rellenos. (Softree 2022)

Velocidad de diseño: Velocidad máxima considerada en el diseño geométrico de la carretera, que garantiza condiciones de seguridad y confort en la operación vehicular. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2018)

Diseño geométrico de Carreteras: El diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal (Cardenas Grisales, 2013).

Movimiento de Tierras: Conjunto de actividades que comprende la excavación, carga, transporte, descarga y compactación del suelo para lograr la conformación del terreno conforme al diseño de la carretera. (Cardenas Grisales, 2013).

Sección Transversal: Configuración geométrica de los elementos que componen el corte vertical perpendicular al eje de la carretera, incluyendo calzada, bermas, cunetas, taludes, entre otros. (Cardenas Grisales, 2013).

2.4.HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

HG: El alineamiento vertical se relaciona significativamente con la curva masa en la región Cusco, 2025.

2.4.2. Hipótesis específico

HE1: Existe la variación de corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025.

HE2: El alineamiento vertical cumple con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018 en la Región Cusco, 2025.

HE3: Los métodos de optimización del alineamiento vertical presentan eficiencia similar en la Región Cusco, 2025.

2.5. VARIABLES

2.5.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1.1 *Variable Independiente (X)*

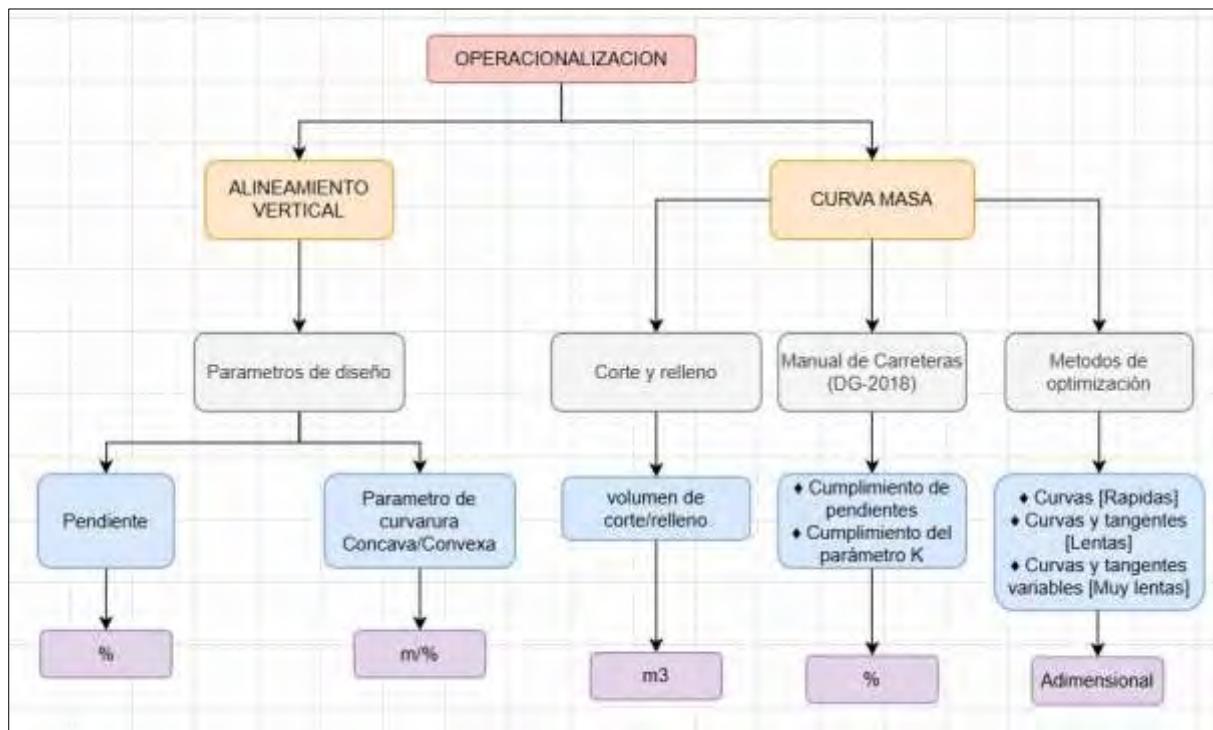
❖ Alineamiento Vertical

2.5.1.2 *Variable dependiente (Y)*

❖ Curva Masa

Figura 9:

Esquema de operacionalización de variables



Nota. Esquema de operacionalización de variables. *Fuente:* Elaboración propia.

2.5.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	CONCEPTO OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
ALINEAMIENTO VERTICAL (Variable independiente)	El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o subsanante. (Cárdenas, 2013)	Se realizará la optimización alineamiento vertical mediante software Softree Optimal para lo cual se trabajará con alineamiento vertical de Civil 3D manteniendo los parámetros de diseño geométrico del expediente	Parámetros de diseño	♦ Pendiente ♦ Parámetro de curvatura Concava/Convexa	% m/%	Civil 3D, Softree Optimal, Microsoft Excel, Python.
CURVA MASA (Variable dependiente)	El diagrama de masas es la representación gráfica del volumen de tierra a mover y de las distancias a que hay que transportarlo, en un tramo determinado de la carretera en construcción (Cárdenas, 2013)	Se analizará el diagrama de curva masa generado por el software Softree Optimal, utilizando las tres formas mencionadas en los indicadores, y se comparará con el obtenido mediante Civil 3D en el expediente técnico.	Corte y Relleno Manual de Carreteras (DG-2018)	volumen de corte/relleno ♦ Cumplimiento de pendientes ♦ Cumplimiento del parámetro K	m ³ %	Civil 3D, Softree Optimal, Microsoft Excel, Python.
		Métodos de optimización		♦ Curvas [Rápidas] ♦ Curvas y tangentes [Lentas] ♦ Curvas y tangentes variables [Muy lentas]	Adimensional	Civil 3D, Softree Optimal, Microsoft Excel, Python.

CAPÍTULO 3: MÉTODO

3.1. ALCANCE DEL ESTUDIO

La presente investigación titulada “Análisis del Alineamiento Vertical en el Diseño Geométrico de Carreteras y su Relación con la Curva Masa, Región Cusco 2025” se centra en aplicar y evaluar la herramienta técnica de la curva masa como parte fundamental del proceso de diseño geométrico vial. El estudio abarca específicamente los tramos de cada uno de los tres Expedientes técnicos de la investigación.

El alcance comprende el procesamiento de alineamiento vertical en el programa Softree Optimal, el cálculo de volúmenes de corte y relleno, el análisis detallado del movimiento de tierras, y la construcción de la curva masa correspondiente. Con base en estos resultados, se busca optimizar el diseño geométrico mediante una mejor distribución de materiales de corte y relleno.

Este estudio se limita a la fase de diseño y análisis técnico, sin incluir la ejecución física de la obra. Asimismo, no contempla factores externos como financiamiento, estudios ambientales o sociales, aunque reconoce su importancia en un contexto integral del proyecto. El objetivo es demostrar cómo el uso riguroso de la curva masa puede influir positivamente en la eficiencia técnica y económica del diseño vial, sirviendo como referencia metodológica para proyectos similares en la región del cusco.

3.2.TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo **cuantitativo**, debido a que analiza variables propias del diseño geométrico vial tales como la pendiente del alineamiento vertical, las curvas verticales y los volúmenes de corte y relleno representados en la curva masa, las cuales

serán medidas y expresadas en valores numéricos. Para ello, se empleará el software especializado Softree Optimal, el cual permite optimizar el alineamiento vertical y determinar los volúmenes de movimiento de tierras, complementándose con el análisis matemático - estadístico de los datos obtenidos del tramo en estudio en la Región Cusco 2025.

Un autor en investigación menciona que el enfoque cuantitativo:

Plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis. Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población. (Borja, 2016)

3.2.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de nivel **correlacional**, debido a que se centra en determinar cómo se relaciona el alineamiento vertical (rasante) con la curva masa, evaluando los volúmenes de corte y relleno obtenidos a partir de los expedientes técnicos y las alternativas optimizadas. De este modo, el estudio busca identificar el grado de relación entre ambas variables y cómo los cambios en la rasante pueden modificar el comportamiento del movimiento de tierras.

Los estudios correlacionales, según la literatura, se orientan a medir el grado de asociación entre dos o más variables, sin llegar a establecer relaciones de causalidad absoluta. Es decir, buscan identificar si existe vínculo entre los fenómenos analizados y cómo varían conjuntamente bajo determinadas condiciones. Por lo tanto, este nivel es coherente con los objetivos del presente estudio, que analiza la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa (Hernández Sampieri, 2014).

3.2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño adoptado en la presente investigación es **no experimental – transversal**, debido a que las variables de estudio no son manipuladas por el investigador, sino que se observan tal como se presentan en los expedientes técnicos de los proyectos viales evaluados. El análisis se realiza sobre los datos existentes del alineamiento vertical (rasante) y de los volúmenes de corte y relleno, así como sobre las alternativas optimizadas obtenidas mediante Softree Optimal y Civil 3D. Asimismo, el estudio se desarrolla en un único momento temporal, por lo que se caracteriza como un diseño transversal.

Según (Hernández Sampieri, 2014), los diseños no experimentales se emplean cuando el investigador analiza los fenómenos en su contexto natural sin intervenir en ellos, mientras que los diseños transversales se basan en la recolección y análisis de datos en un solo punto en el tiempo. Esto coincide plenamente con la metodología aplicada en este estudio, donde se evalúan los datos ya existentes con el propósito de determinar la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa.

3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis está constituida por la **totalidad de los elementos geométricos** incluidos en los tres Expedientes técnicos, específicamente:

- a) El alineamiento vertical completo (rasante) de cada expediente, incluyendo la rasante original y las alternativas optimizadas generadas mediante Softree Optimal (Curvas [Rápidas], Curvas y Tangentes [Lentas], y Curvas y Tangentes Variables [Mas lentas]).
- b) Todas las secciones transversales generadas a lo largo de la longitud completa del proyecto, a partir de las cuales se obtienen los volúmenes de corte y relleno.

Estas unidades de análisis permiten obtener los parámetros geométricos y volumétricos necesarios para evaluar el comportamiento del alineamiento vertical, su influencia en los volúmenes de movimiento de tierras y el impacto reflejado en la curva masa.

3.4. POBLACIÓN

La población de la presente investigación está conformada por los tres Expedientes técnicos completos de diseño geométrico de carreteras desarrollados en la región Cusco, los cuales contienen la información necesaria para el análisis del alineamiento vertical y la curva masa. Estos expedientes fueron seleccionados debido a que cuentan con datos completos y accesibles, incluyendo perfiles longitudinales, secciones transversales, superficies topográficas, alineamientos verticales y cálculos de volúmenes.

Los proyectos que constituyen la población son los siguientes:

Expediente Técnico N.^º 01:

“Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de la carretera vecinal CU-1778, tramo Desvío PE-34F (El Descanso) – Sausaya – Empalme CU-130 (Pumahuarco), distritos de Kunturkanki y Checca, provincia de Canas – Cusco.”

Expediente Técnico N.^º 02:

“Mejoramiento del servicio de la transitabilidad vehicular de la carretera departamental CU-120, tramo Emp. CU-119 (Tincoc) – Emp. CU-117 (Cusibamba), en los distritos de Paccaritambo y Paruro de la provincia de Paruro – departamento de Cusco.”

Expediente Técnico N.^º 03:

“Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana en la vía vecinal CU-902 – tramo CCPSS Huarocondo y Zurite, en los distritos de Huarocondo y Zurite de la provincia de Anta – departamento de Cusco.”

Estos tres Expedientes técnicos constituyen la totalidad de los proyectos disponibles con información completa y verificable, por lo que representan la población total operativa del estudio.

3.5. MUESTRA

Para el análisis principal del alineamiento vertical y la curva masa, no se aplica ninguna técnica de muestreo, debido a que el estudio se realizó bajo un **enfoque censal**. Esto significa que se evaluó el **100% de la información contenida en los tres Expedientes técnicos**, incluyendo todas las secciones transversales y la totalidad del alineamiento vertical.

Por lo tanto, no corresponde calcular el tamaño de la muestra, ya que no se seleccionó una parte de la población, sino que se analizó completamente.

Sin embargo, para el análisis inferencial correspondiente al objetivo específico 3, se trabajó con una submuestra probabilística compuesta por un tramo aleatorio de 2 km dentro de cada expediente técnico. Esta submuestra se empleó para aplicar la prueba ANOVA o Kruskal-Wallis según Shapiro Wilk (paramétrica o no paramétrica) y comparar los costos entre el alineamiento original y las alternativas optimizadas.

En esta etapa, la selección de los tramos se realizó mediante muestreo aleatorio simple, lo cual garantiza su representatividad respecto al comportamiento del tramo.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. TÉCNICA

Recolección de documentos

Para la recolección de datos del presente estudio, se obtuvieron expedientes técnicos de proyectos viales ubicados en la Región Cusco, los cuales fueron proporcionados por diversas entidades responsables del desarrollo y gestión de la infraestructura de transporte en dicha región; estos documentos contienen información

técnica fundamental, como planos de diseño geométrico, estudios topográficos y cálculos de movimiento de tierras, que constituyen la base para el análisis del alineamiento vertical y su relación con la curva masa.

Revisión de documentos:

En el presente estudio, se realizó una revisión exhaustiva de los expedientes técnicos correspondientes a proyectos viales ejecutados en la Región Cusco, con el propósito de obtener la información necesaria para el análisis del alineamiento vertical y su relación con la curva masa. Esta revisión abarcó prácticamente toda la información relevante contenida en dichos expedientes, enfocándose principalmente en el análisis del alineamiento vertical y de las secciones transversales, así como en los planos de diseño geométrico, estudios topográficos y cálculos de movimiento de tierras, constituyéndose en la principal fuente documental para el desarrollo del trabajo de investigación.

Procesamiento

Para el procesamiento se realizó trabajos de gabinete utilizando Software Civil 3D, Softree Optimal y Microsoft Excel, herramientas que permitieron desarrollar los cálculos y modelaciones necesarias para el estudio.

3.6.2. INSTRUMENTO

Expedientes técnicos de los tres proyectos viales

Representan la fuente primaria de información. Contienen el perfil longitudinal, secciones transversales, superficies, alineamiento vertical o rasante, volúmenes y curva masa. Su uso garantiza que los datos procesados sean oficiales y verificables.

Programas utilizados para la Investigación

Civil 3D

Software utilizado para:

- Digitalizar y procesar el perfil longitudinal original,
- Generar secciones transversales,
- Construir modelos de superficie,
- Obtener volúmenes de corte y relleno,
- Elaborar la curva masa original de cada expediente.

Este instrumento permitió asegurar consistencia geométrica en todos los proyectos.

Softree Optimal

Herramienta especializada empleada para:

- Generar las tres alternativas optimizadas de alineamiento vertical,
- Calcular parámetros geométricos (pendientes, parámetro K),
- Obtener nuevos volúmenes de corte y relleno,
- Exportar las curvas masa optimizadas.

Es el instrumento central para cumplir el objetivo de comparar métodos de optimización de la rasante.

Microsoft Excel

Utilizado como instrumento para:

- Consolidar datos geométricos y volumétricos,
- Organizar tablas comparativas entre el alineamiento original y las alternativas optimizadas,
- Calcular variaciones porcentuales de volúmenes y costos,

Este instrumento permitió una organización clara y precisa de la información cuantitativa.

Python

Se utilizó empleando las Librería NumPy, Pandas y SciPy.stats para:

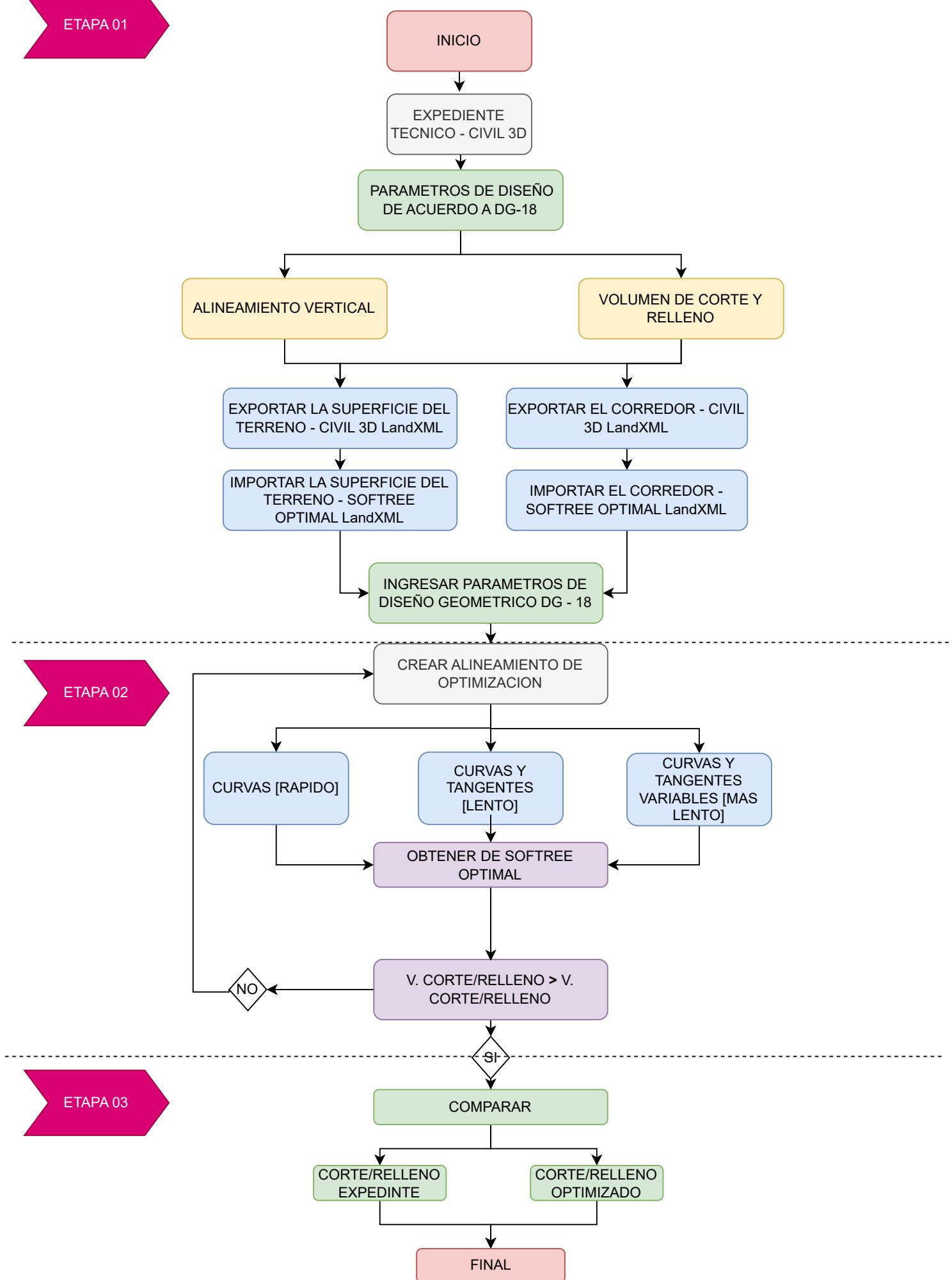
- Procesar y estructurar los datos obtenidos del análisis geométrico.
- Ejecutar la prueba de normalidad Shapiro-Wilk.
- Realizar el análisis de varianza (ANOVA) cuando los datos cumplen con normalidad.
- Aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando los datos no presentan distribución normal.

El uso de Python permitió automatizar los cálculos estadísticos y asegurar mayor precisión y reproducibilidad en los resultados del estudio.

3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1. FLUJOGRAMA

ETAPA 01



CAPITULO 4: RESULTADOS

4.1. TRABAJO EN GABINETE

4.1.1. PROCESAMIENTO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

Se efectuó el procesamiento de los datos de alineamiento vertical correspondientes al diseño geométrico de carreteras, a partir de la información contenida en los tres Expedientes técnicos desarrollados en Civil 3D, los cuales constituyen la base del análisis en la presente investigación:

4.1.1.1 *Características técnicas del diseño geométrico de carreteras*

4.1.1.1.1 *Expediente técnico N° 01*

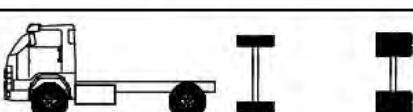
MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA VECINAL CU - 1778, EN EL TRAMO, DESVIO PE-34F (EL DESCANSO) - SAUSAYA -EMPALME CU-130 (PUMAHUARCO), EN LOS DISTRITOS DE KUNTURKANKI Y CHECCA DE LA PROVINCIA DE CANAS - DEPARTAMENTO DE CUSCO.

A1) Parámetros de entrada

Vehículo de diseño: El Expediente Técnico N° 01 se define un tipo vehículo C2 de acuerdo a la nomenclatura establecida de MTC.

Figura 10:

Descripción de vehículo de diseño

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	

Nota. Reglamento Nacional de Vehículos (MTC, 2003)

Velocidad: El Expediente Técnico N° 01 establece una velocidad de diseño de 40 km/h como criterio principal para el trazado geométrico de la carretera.

Radio mínimo: El Expediente Técnico N.º 01 considera un radio mínimo de 25 m como parámetro de diseño para el trazado geométrico de la carretera.

Tabla 9

Radio mínimo obtenido del diseño geométrico

Number	Type	Length	Radius	A	Start Station	End Station
1	Line	35.386m			-0+060.00m	-0+024.61m
2	Curve	24.614m	25.00 m		-0+024.61m	0+000.00m
3	Line	157.805m			0+000.00m	0+157.81m
4	Curve	60.663m	150.00 m		0+157.81m	0+218.47m
5	Line	232.058m			0+218.47m	0+450.53m
6	Curve	78.440m	300.00 m		0+450.53m	0+528.97m
7	Line	167.393m			0+528.97m	0+696.36m
8	Line	252.884m			0+696.36m	0+949.24m
9	Line	125.804m			0+949.24m	1+075.05m
10	Curve	13.603m	200.00 m		1+075.05m	1+088.65m
11	Line	32.678m			1+088.65m	1+121.33m
12	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	1+121.33m	1+136.33m
12	Spiral-Curve-Spiral	52.902m	80.00 m		1+136.33m	1+189.23m
12	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	1+189.23m	1+204.23m
13	Line	114.933m			1+204.23m	1+319.16m
14	Curve	32.762m	200.00 m		1+319.16m	1+351.92m
15	Line	106.688m			1+351.92m	1+458.61m
16	Curve	23.478m	180.00 m		1+458.61m	1+482.09m
17	Line	130.063m			1+482.09m	1+612.15m
18	Curve	94.729m	150.00 m		1+612.15m	1+706.88m
19	Line	49.943m			1+706.88m	1+756.83m
20	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	1+756.83m	1+771.83m
20	Spiral-Curve-Spiral	24.075m	80.00 m		1+771.83m	1+795.90m
20	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	1+795.90m	1+810.90m
21	Line	297.937m			1+810.90m	2+108.84m

22	Line	1170.997m		2+108.84m	3+279.83m
23	Curve	37.242m	300.00 m	3+279.83m	3+317.08m
24	Line	154.473m		3+317.08m	3+471.55m
25	Curve	109.070m	100.00 m	3+471.55m	3+580.62m
26	Line	8.963m		3+580.62m	3+589.58m
27	Spiral-Curve-Spiral	19.000m		33.764m	3+589.58m
27	Spiral-Curve-Spiral	68.914m	60.00 m	3+608.58m	3+677.49m
27	Spiral-Curve-Spiral	19.000m		33.764m	3+677.49m
28	Line	16.990m		3+696.49m	3+713.48m
29	Curve	26.103m	100.00 m	3+713.48m	3+739.59m
30	Line	132.685m		3+739.59m	3+872.27m
31	Curve	32.558m	120.00 m	3+872.27m	3+904.83m
32	Line	89.542m		3+904.83m	3+994.37m
33	Curve	43.360m	120.00 m	3+994.37m	4+037.73m
34	Line	52.981m		4+037.73m	4+090.71m
35	Curve	41.742m	200.00 m	4+090.71m	4+132.45m
36	Line	128.738m		4+132.45m	4+261.19m
37	Curve	14.423m	200.00 m	4+261.19m	4+275.61m
38	Line	150.193m		4+275.61m	4+425.81m
39	Curve	23.936m	300.00 m	4+425.81m	4+449.74m
40	Line	121.368m		4+449.74m	4+571.11m
41	Curve	15.780m	300.00 m	4+571.11m	4+586.89m
42	Line	227.044m		4+586.89m	4+813.94m
43	Curve	48.412m	120.00 m	4+813.94m	4+862.35m
44	Line	117.708m		4+862.35m	4+980.06m
45	Curve	30.255m	300.00 m	4+980.06m	5+010.31m
46	Line	102.872m		5+010.31m	5+113.18m
47	Curve	17.376m	300.00 m	5+113.18m	5+130.56m
48	Line	125.066m		5+130.56m	5+255.63m
49	Curve	88.806m	120.00 m	5+255.63m	5+344.43m
50	Line	34.759m		5+344.43m	5+379.19m
51	Curve	40.087m	100.00 m	5+379.19m	5+419.28m
52	Line	7.298m		5+419.28m	5+426.58m
53	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	5+426.58m
53	Spiral-Curve-Spiral	55.995m	80.00 m	5+441.58m	5+497.57m
53	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	5+497.57m
54	Line	44.181m		5+512.57m	5+556.75m
55	Curve	35.433m	100.00 m	5+556.75m	5+592.18m
56	Line	89.640m		5+592.18m	5+681.82m
57	Curve	86.623m	100.00 m	5+681.82m	5+768.45m

58	Line	234.570m		5+768.45m	6+003.02m
59	Curve	43.634m	150.00 m	6+003.02m	6+046.65m
60	Line	84.185m		6+046.65m	6+130.84m
61	Curve	148.061m	120.00 m	6+130.84m	6+278.90m
62	Line	58.638m		6+278.90m	6+337.53m
63	Curve	76.907m	150.00 m	6+337.53m	6+414.44m
64	Line	91.773m		6+414.44m	6+506.22m
65	Curve	85.527m	300.00 m	6+506.22m	6+591.74m
66	Line	304.086m		6+591.74m	6+895.83m
67	Curve	34.097m	300.00 m	6+895.83m	6+929.93m
68	Line	196.086m		6+929.93m	7+126.01m
69	Curve	16.230m	300.00 m	7+126.01m	7+142.24m
70	Line	87.777m		7+142.24m	7+230.02m
71	Curve	25.043m	200.00 m	7+230.02m	7+255.06m
72	Line	149.817m		7+255.06m	7+404.88m
73	Line	310.068m		7+404.88m	7+714.95m
74	Curve	39.391m	300.00 m	7+714.95m	7+754.34m
75	Line	104.921m		7+754.34m	7+859.26m
76	Curve	27.252m	300.00 m	7+859.26m	7+886.51m
77	Line	88.290m		7+886.51m	7+974.80m
78	Curve	26.404m	300.00 m	7+974.80m	8+001.20m
79	Line	189.299m		8+001.20m	8+190.50m
80	Curve	20.717m	300.00 m	8+190.50m	8+211.22m
81	Line	364.504m		8+211.22m	8+575.72m
82	Curve	55.822m	300.00 m	8+575.72m	8+631.55m
83	Line	197.180m		8+631.55m	8+828.73m
84	Line	436.072m		8+828.73m	9+264.80m
85	Curve	41.266m	150.00 m	9+264.80m	9+306.06m
86	Line	22.061m		9+306.06m	9+328.12m
87	Curve	35.471m	150.00 m	9+328.12m	9+363.60m
88	Line	80.875m		9+363.60m	9+444.47m
89	Curve	21.525m	120.00 m	9+444.47m	9+466.00m
90	Line	31.117m		9+466.00m	9+497.11m
91	Spiral-Curve-Spiral	19.000m		33.764m	9+497.11m
91	Spiral-Curve-Spiral	35.873m	60.00 m		9+516.11m
91	Spiral-Curve-Spiral	19.000m		33.764m	9+551.99m
92	Line	26.010m			9+570.99m
93	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	9+597.00m
93	Spiral-Curve-Spiral	31.842m	80.00 m		9+612.00m
93	Spiral-Curve-Spiral	15.000m		34.641m	9+643.84m

94	Line	123.333m		9+658.84m	9+782.17m		
95	Curve	55.141m	120.00 m	9+782.17m	9+837.31m		
96	Line	45.008m		9+837.31m	9+882.32m		
97	Curve	25.671m	200.00 m	9+882.32m	9+907.99m		
98	Line	67.366m		9+907.99m	9+975.35m		
99	Curve	21.338m	300.00 m	9+975.35m	9+996.69m		
100	Line	101.715m		9+996.69m	10+098.41m		
101	Curve	51.177m	300.00 m	10+098.41m	10+149.58m		
102	Line	60.417m		10+149.58m	10+210.00m		
Radio Mínimo = 25.00m							
Radio Máximo = 300.00m							

Nota. Elaboración propia.

Parámetro de curvatura: En el Expediente Técnico N.º 01, los parámetros de curvatura cóncava y convexa son 25.27 y 16.83, respectivamente.

Tabla 10

Parámetro de curvatura de las curvas cóncavas y convexas

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value
1	-0+060.00m	3935.231m		-1.54%				
2	-0+020.00m	3934.617m	-1.54%	1.88%	3.42%			
3	0+000.00m	3934.994m	1.88%	0.13%	1.75%			
4	0+017.00m	3934.994m	0.13%	2.69%	2.56%			
5	0+120.00m	3937.760m	2.69%	-1.42%	4.11%	Crest	80.000m	19.49
6	0+302.00m	3935.177m	-1.42%	0.49%	1.91%	Sag	80.000m	41.99
7	0+640.00m	3936.819m	0.49%	-1.51%	2.00%	Crest	100.000m	50.03
8	1+048.00m	3930.645m	-1.51%	0.13%	1.64%			
9	1+055.00m	3930.645m	0.13%	0.80%	0.67%			
10	1+200.00m	3931.800m	0.80%	-0.69%	1.49%	Crest	80.000m	53.69
11	1+420.00m	3930.274m	-0.69%	1.58%	2.27%	Sag	80.000m	35.19
12	1+620.00m	3933.434m	1.58%	-4.39%	5.97%	Crest	120.000m	20.10
13	1+814.65m	3924.889m	-4.39%	0.13%	4.52%			
14	1+821.65m	3924.889m	0.13%	-0.72%	0.85%			
15	2+340.00m	3921.151m	-0.72%	-1.93%	1.21%	Crest	80.000m	66.19
16	2+549.50m	3917.109m	-1.93%	0.13%	2.06%			
17	2+559.50m	3917.109m	0.13%	1.47%	1.34%			
18	3+200.00m	3926.496m	1.47%	-1.19%	2.66%	Crest	120.000m	45.18
19	3+720.00m	3920.304m	-1.19%	-1.87%	0.68%	Crest	120.000m	177.45
20	4+400.00m	3907.609m	-1.87%	-0.42%	1.45%	Sag	80.000m	55.39
21	4+610.00m	3906.721m	-0.42%	-0.96%	0.54%			
22	4+802.00m	3904.879m	-0.96%	-2.51%	1.55%	Crest	80.000m	51.44

23	5+000.00m	3899.900m	-2.51%	-0.52%	1.99%	Sag	100.000m	50.13
24	5+220.00m	3898.756m	-0.52%	-2.81%	2.29%	Crest	100.000m	43.59
25	5+430.00m	3892.847m	-2.81%	0.84%	3.65%	Sag	100.000m	27.39
26	5+640.00m	3894.604m	0.84%	-0.43%	1.27%	Crest	100.000m	79.11
27	6+060.00m	3892.809m	-0.43%	4.32%	4.75%	Sag	120.000m	25.27
28	6+300.00m	3903.179m	4.32%	-2.81%	7.13%	Crest	120.000m	16.83
29	6+520.00m	3897.000m	-2.81%	-1.00%	1.81%	Sag	100.000m	55.35
30	6+880.00m	3893.393m	-1.00%	-2.95%	1.95%	Crest	100.000m	51.43
31	7+080.00m	3887.500m	-2.95%	0.40%	3.35%	Sag	100.000m	29.84
32	7+435.00m	3888.936m	0.40%	-1.57%	1.97%	Crest	140.000m	70.92
33	7+760.00m	3883.835m	-1.57%	-0.92%	0.65%			
34	7+950.00m	3882.092m	-0.92%	-0.54%	0.38%			
35	8+140.00m	3881.068m	-0.54%	-1.47%	0.93%			
36	8+600.00m	3874.299m	-1.47%	-0.61%	0.86%	Sag	80.000m	92.79
37	9+120.00m	3871.130m	-0.61%	-0.88%	0.27%			
38	9+460.00m	3868.150m	-0.88%	-0.50%	0.38%			
39	9+805.00m	3866.425m	-0.50%	-0.70%	0.20%			
40	10+080.00m	3864.505m	-0.70%	0.13%	0.83%			
41	10+200.00m	3864.661m	0.13%					

K min crest = 16.83

K min sag = 25.27

Nota. Elaboración propia

Pendiente: En el Expediente Técnico N.^o 01, la pendiente mínima y máxima del alineamiento vertical corresponde a 0.13 % y 4.39 %, respectivamente.

Tabla 11

Pendiente mínima y máxima obtenida del diseño geométrico

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type
1	-0+060.00m	3935.231m		-1.54%		
2	-0+020.00m	3934.617m	-1.54%	1.88%	3.42%	
3	0+000.00m	3934.994m	1.88%	0.13%	1.75%	
4	0+017.00m	3934.994m	0.13%	2.69%	2.56%	
5	0+120.00m	3937.760m	2.69%	-1.42%	4.11%	Crest
6	0+302.00m	3935.177m	-1.42%	0.49%	1.91%	Sag
7	0+640.00m	3936.819m	0.49%	-1.51%	2.00%	Crest
8	1+048.00m	3930.645m	-1.51%	0.13%	1.64%	
9	1+055.00m	3930.645m	0.13%	0.80%	0.67%	
10	1+200.00m	3931.800m	0.80%	-0.69%	1.49%	Crest
11	1+420.00m	3930.274m	-0.69%	1.58%	2.27%	Sag
12	1+620.00m	3933.434m	1.58%	-4.39%	5.97%	Crest

13	1+814.65m	3924.889m	-4.39%	0.13%	4.52%	
14	1+821.65m	3924.889m	0.13%	-0.72%	0.85%	
15	2+340.00m	3921.151m	-0.72%	-1.93%	1.21%	Crest
16	2+549.50m	3917.109m	-1.93%	0.13%	2.06%	
17	2+559.50m	3917.109m	0.13%	1.47%	1.34%	
18	3+200.00m	3926.496m	1.47%	-1.19%	2.66%	Crest
19	3+720.00m	3920.304m	-1.19%	-1.87%	0.68%	Crest
20	4+400.00m	3907.609m	-1.87%	-0.42%	1.45%	Sag
21	4+610.00m	3906.721m	-0.42%	-0.96%	0.54%	
22	4+802.00m	3904.879m	-0.96%	-2.51%	1.55%	Crest
23	5+000.00m	3899.900m	-2.51%	-0.52%	1.99%	Sag
24	5+220.00m	3898.756m	-0.52%	-2.81%	2.29%	Crest
25	5+430.00m	3892.847m	-2.81%	0.84%	3.65%	Sag
26	5+640.00m	3894.604m	0.84%	-0.43%	1.27%	Crest
27	6+060.00m	3892.809m	-0.43%	4.32%	4.75%	Sag
28	6+300.00m	3903.179m	4.32%	-2.81%	7.13%	Crest
29	6+520.00m	3897.000m	-2.81%	-1.00%	1.81%	Sag
30	6+880.00m	3893.393m	-1.00%	-2.95%	1.95%	Crest
31	7+080.00m	3887.500m	-2.95%	0.40%	3.35%	Sag
32	7+435.00m	3888.936m	0.40%	-1.57%	1.97%	Crest
33	7+760.00m	3883.835m	-1.57%	-0.92%	0.65%	
34	7+950.00m	3882.092m	-0.92%	-0.54%	0.38%	
35	8+140.00m	3881.068m	-0.54%	-1.47%	0.93%	
36	8+600.00m	3874.299m	-1.47%	-0.61%	0.86%	Sag
37	9+120.00m	3871.130m	-0.61%	-0.88%	0.27%	
38	9+460.00m	3868.150m	-0.88%	-0.50%	0.38%	
39	9+805.00m	3866.425m	-0.50%	-0.70%	0.20%	
40	10+080.00m	3864.505m	-0.70%	0.13%	0.83%	
41	10+200.00m	3864.661m	0.13%			
Pendiente mínima =				0.13%		
Pendiente máxima =				4.39%		

Nota. Elaboración propia

Peralte: En el Expediente Técnico N.º 01, el peralte máximo considerado en el diseño geométrico es de 10 %.

Obras de Arte: El Expediente Técnico N.º 01 contempla, dentro de sus obras de arte, la instalación de alcantarillas tipo TMC.

Tabla 12:*Obras de arte*

Nº	PROGRESIVA	TIPO
1	0+300.00	TMC
2	0+860.00	TMC
3	1+280.00	TMC
4	3+060.00	TMC
5	4+800.00	TMC
6	5+060.00	TMC
7	5+210.00	TMC
8	6+040.00	TMC
9	6+520.00	TMC
10	7+920.00	TMC
11	10+080.00	TMC

Nota. elaboración propia**4.1.1.1.2. Expediente técnico N° 02**

MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL CU-120, TRAMO EMP CU-119 (TINCOC) – EMP. CU 117 (CUSIBAMBA) EN LOS DISTRITOS DE PACCARITAMBO Y PARURO DE LA PROVINCIA DE PARURO – DEPARTAMENTO DE CUSCO.

A1) Parámetros de entrada

Vehículo de diseño: El Expediente Técnico N° 01 se define un tipo vehículo C2 de acuerdo a la nomenclatura establecida de MTC.

Figura 11:*Descripción de vehículo de diseño*

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)		
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	

Nota. Reglamento nacional de vehículos (MTC, 2003)

Velocidad: El Expediente Técnico N° 02 establece una velocidad de diseño de 30 km/h como criterio principal para el trazado geométrico de la carretera.

Radio mínimo: El Expediente Técnico N.º 02 considera un radio mínimo de 18 m como parámetro de diseño para el trazado geométrico de la carretera.

Tabla 13

Radio mínimo obtenido del diseño geométrico

Number	Type	Length	Radius	Start Station	End Station
1	Line	4.534m		0+000.000m	0+004.534m
2	Curve	30.884m	55.00m	0+004.534m	0+035.418m
3	Line	5.936m		0+035.418m	0+041.354m
4	Curve	29.583m	40.00m	0+041.354m	0+070.937m
5	Line	43.411m		0+070.937m	0+114.348m
6	Curve	20.265m	30.00m	0+114.348m	0+134.613m
7	Line	20.330m		0+134.613m	0+154.944m
8	Curve	56.919m	25.00m	0+154.944m	0+211.862m
9	Line	35.241m		0+211.862m	0+247.104m
10	Curve	31.131m	25.00m	0+247.104m	0+278.235m
11	Line	33.836m		0+278.235m	0+312.071m
12	Curve	14.061m	35.00m	0+312.071m	0+326.132m
13	Line	13.473m		0+326.132m	0+339.605m
14	Curve	45.636m	80.00m	0+339.605m	0+385.241m
15	Line	74.414m		0+385.241m	0+459.655m
16	Curve	14.693m	35.00m	0+459.655m	0+474.347m
17	Line	5.662m		0+474.347m	0+480.010m
18	Curve	33.043m	25.00m	0+480.010m	0+513.053m
19	Line	29.338m		0+513.053m	0+542.391m
20	Curve	27.511m	65.00m	0+542.391m	0+569.903m
21	Line	15.686m		0+569.903m	0+585.589m
22	Curve	44.246m	25.00m	0+585.589m	0+629.835m
23	Line	6.541m		0+629.835m	0+636.375m
24	Curve	30.682m	25.00m	0+636.375m	0+667.057m
25	Line	20.494m		0+667.057m	0+687.551m
26	Curve	16.914m	80.00m	0+687.551m	0+704.466m
27	Line	35.586m		0+704.466m	0+740.051m
28	Curve	14.714m	35.00m	0+740.051m	0+754.765m
29	Line	13.869m		0+754.765m	0+768.634m
30	Curve	28.779m	40.00m	0+768.634m	0+797.413m
31	Line	5.612m		0+797.413m	0+803.025m
32	Curve	44.357m	150.00m	0+803.025m	0+847.382m
33	Line	18.412m		0+847.382m	0+865.794m

34	Curve	16.672m	80.00m	0+865.794m	0+882.466m
35	Line	146.263m		0+882.466m	1+028.729m
36	Curve	25.634m	50.00m	1+028.729m	1+054.363m
37	Line	30.237m		1+054.363m	1+084.601m
38	Curve	26.658m	40.00m	1+084.601m	1+111.258m
39	Line	2.048m		1+111.258m	1+113.307m
40	Curve	45.025m	40.00m	1+113.307m	1+158.331m
41	Line	7.439m		1+158.331m	1+165.770m
42	Curve	21.856m	35.00m	1+165.770m	1+187.626m
43	Line	8.774m		1+187.626m	1+196.400m
44	Curve	18.140m	60.00m	1+196.400m	1+214.539m
45	Line	53.205m		1+214.539m	1+267.744m
46	Curve	25.869m	50.00m	1+267.744m	1+293.613m
47	Line	1.081m		1+293.613m	1+294.694m
48	Curve	26.387m	40.00m	1+294.694m	1+321.081m
49	Line	24.584m		1+321.081m	1+345.665m
50	Curve	16.452m	50.00m	1+345.665m	1+362.116m
51	Line	14.424m		1+362.116m	1+376.540m
52	Curve	43.510m	25.00m	1+376.540m	1+420.051m
53	Line	0.128m		1+420.051m	1+420.179m
54	Curve	33.038m	25.00m	1+420.179m	1+453.217m
55	Line	69.677m		1+453.217m	1+522.894m
56	Curve	34.754m	60.00m	1+522.894m	1+557.647m
57	Line	11.552m		1+557.647m	1+569.199m
58	Curve	36.744m	80.00m	1+569.199m	1+605.943m
59	Line	44.203m		1+605.943m	1+650.146m
60	Curve	27.168m	60.00m	1+650.146m	1+677.314m
61	Line	4.844m		1+677.314m	1+682.158m
62	Curve	27.023m	50.00m	1+682.158m	1+709.181m
63	Line	11.307m		1+709.181m	1+720.488m
64	Curve	19.245m	50.00m	1+720.488m	1+739.733m
65	Line	13.826m		1+739.733m	1+753.559m
66	Curve	19.668m	80.00m	1+753.559m	1+773.227m
67	Line	18.820m		1+773.227m	1+792.047m
68	Curve	13.630m	60.00m	1+792.047m	1+805.678m
69	Line	56.360m		1+805.678m	1+862.038m
70	Curve	33.689m	60.00m	1+862.038m	1+895.728m
71	Line	7.149m		1+895.728m	1+902.876m
72	Curve	34.018m	25.00m	1+902.876m	1+936.894m
73	Line	3.421m		1+936.894m	1+940.315m
74	Curve	19.150m	25.00m	1+940.315m	1+959.465m
75	Line	2.482m		1+959.465m	1+961.946m
76	Curve	18.081m	55.00m	1+961.946m	1+980.028m
77	Line	7.279m		1+980.028m	1+987.307m

78	Curve	35.311m	80.00m	1+987.307m	2+022.617m
79	Line	0.003m		2+022.617m	2+022.620m
80	Curve	32.134m	60.00m	2+022.620m	2+054.754m
81	Line	29.161m		2+054.754m	2+083.915m
82	Curve	28.102m	60.00m	2+083.915m	2+112.017m
83	Line	92.644m		2+112.017m	2+204.661m
84	Curve	17.641m	60.00m	2+204.661m	2+222.302m
85	Line	36.127m		2+222.302m	2+258.429m
86	Curve	20.965m	40.00m	2+258.429m	2+279.394m
87	Line	18.351m		2+279.394m	2+297.744m
88	Curve	15.719m	30.00m	2+297.744m	2+313.463m
89	Line	16.200m		2+313.463m	2+329.664m
90	Curve	20.310m	40.00m	2+329.664m	2+349.973m
91	Line	8.182m		2+349.973m	2+358.156m
92	Curve	18.722m	35.00m	2+358.156m	2+376.878m
93	Line	10.221m		2+376.878m	2+387.099m
94	Curve	35.127m	60.00m	2+387.099m	2+422.226m
95	Line	24.290m		2+422.226m	2+446.516m
96	Curve	38.034m	25.00m	2+446.516m	2+484.550m
97	Line	17.366m		2+484.550m	2+501.916m
98	Curve	26.960m	25.00m	2+501.916m	2+528.876m
99	Line	46.070m		2+528.876m	2+574.946m
100	Curve	29.895m	60.00m	2+574.946m	2+604.841m
101	Line	53.826m		2+604.841m	2+658.667m
102	Curve	17.150m	50.00m	2+658.667m	2+675.817m
103	Line	22.517m		2+675.817m	2+698.334m
104	Curve	36.186m	25.00m	2+698.334m	2+734.521m
105	Line	4.405m		2+734.521m	2+738.926m
106	Curve	46.839m	50.00m	2+738.926m	2+785.765m
107	Line	2.611m		2+785.765m	2+788.376m
108	Curve	23.820m	100.00m	2+788.376m	2+812.196m
109	Line	56.537m		2+812.196m	2+868.733m
110	Curve	21.358m	35.00m	2+868.733m	2+890.091m
111	Line	2.320m		2+890.091m	2+892.411m
112	Curve	40.308m	35.00m	2+892.411m	2+932.719m
113	Line	0.617m		2+932.719m	2+933.336m
114	Curve	24.799m	40.00m	2+933.336m	2+958.135m
115	Line	53.117m		2+958.135m	3+011.252m
116	Curve	17.466m	120.00m	3+011.252m	3+028.718m
117	Line	43.222m		3+028.718m	3+071.939m
118	Curve	14.646m	150.00m	3+071.939m	3+086.585m
119	Line	65.235m		3+086.585m	3+151.820m
120	Curve	35.231m	150.00m	3+151.820m	3+187.052m
121	Line	68.447m		3+187.052m	3+255.499m

122	Curve	23.581m	50.00m	3+255.499m	3+279.080m
123	Line	21.460m		3+279.080m	3+300.540m
124	Curve	8.450m	30.00m	3+300.540m	3+308.990m
125	Line	84.670m		3+308.990m	3+393.660m
126	Curve	33.990m	60.00m	3+393.660m	3+427.650m
127	Line	30.353m		3+427.650m	3+458.003m
128	Curve	36.004m	25.00m	3+458.003m	3+494.007m
129	Line	12.910m		3+494.007m	3+506.917m
130	Curve	47.859m	35.00m	3+506.917m	3+554.776m
131	Line	11.399m		3+554.776m	3+566.175m
132	Curve	26.361m	45.00m	3+566.175m	3+592.536m
133	Line	22.122m		3+592.536m	3+614.658m
134	Curve	25.025m	60.00m	3+614.658m	3+639.684m
135	Line	54.167m		3+639.684m	3+693.851m
136	Curve	39.812m	50.00m	3+693.851m	3+733.663m
137	Line	33.384m		3+733.663m	3+767.047m
138	Curve	29.601m	50.00m	3+767.047m	3+796.648m
139	Line	57.305m		3+796.648m	3+853.953m
140	Curve	2.710m	80.00m	3+853.953m	3+856.663m
141	Line	62.318m		3+856.663m	3+918.981m
142	Curve	10.656m	80.00m	3+918.981m	3+929.637m
143	Line	55.907m		3+929.637m	3+985.544m
144	Curve	79.495m	150.00m	3+985.544m	4+065.039m
145	Line	44.513m		4+065.039m	4+109.552m
146	Curve	41.057m	50.00m	4+109.552m	4+150.608m
147	Line	27.333m		4+150.608m	4+177.941m
148	Curve	26.396m	50.00m	4+177.941m	4+204.336m
149	Line	48.017m		4+204.336m	4+252.354m
150	Curve	36.681m	60.00m	4+252.354m	4+289.035m
151	Line	0.793m		4+289.035m	4+289.827m
152	Curve	45.698m	60.00m	4+289.827m	4+335.525m
153	Line	78.828m		4+335.525m	4+414.354m
154	Curve	33.364m	60.00m	4+414.354m	4+447.718m
155	Line	23.689m		4+447.718m	4+471.407m
156	Curve	40.012m	25.00m	4+471.407m	4+511.419m
157	Line	42.892m		4+511.419m	4+554.311m
158	Curve	28.048m	100.00m	4+554.311m	4+582.359m
159	Line	85.324m		4+582.359m	4+667.683m
160	Curve	57.993m	150.00m	4+667.683m	4+725.677m
161	Line	11.808m		4+725.677m	4+737.485m
162	Curve	40.154m	120.00m	4+737.485m	4+777.639m
163	Line	59.067m		4+777.639m	4+836.706m
164	Curve	24.495m	150.00m	4+836.706m	4+861.201m
165	Line	60.154m		4+861.201m	4+921.356m

166	Curve	25.317m	120.00m	4+921.356m	4+946.672m
167	Line	102.735m		4+946.672m	5+049.407m
168	Curve	36.511m	60.00m	5+049.407m	5+085.918m
169	Line	76.428m		5+085.918m	5+162.346m
170	Curve	51.881m	150.00m	5+162.346m	5+214.227m
171	Line	7.375m		5+214.227m	5+221.602m
172	Curve	44.821m	60.00m	5+221.602m	5+266.422m
173	Line	0.649m		5+266.422m	5+267.072m
174	Curve	53.169m	45.00m	5+267.072m	5+320.241m
175	Line	6.640m		5+320.241m	5+326.881m
176	Curve	37.527m	100.00m	5+326.881m	5+364.408m
177	Line	2.132m		5+364.408m	5+366.539m
178	Curve	47.502m	150.00m	5+366.539m	5+414.041m
179	Line	50.672m		5+414.041m	5+464.713m
180	Curve	43.745m	80.00m	5+464.713m	5+508.458m
181	Line	40.354m		5+508.458m	5+548.812m
182	Curve	44.583m	60.00m	5+548.812m	5+593.396m
183	Line	20.396m		5+593.396m	5+613.791m
184	Curve	33.908m	100.00m	5+613.791m	5+647.700m
185	Line	0.059m		5+647.700m	5+647.759m
186	Curve	26.957m	150.00m	5+647.759m	5+674.715m
187	Line	29.444m		5+674.715m	5+704.159m
188	Curve	27.219m	180.00m	5+704.159m	5+731.378m
189	Line	57.302m		5+731.378m	5+788.680m
190	Curve	22.332m	100.00m	5+788.680m	5+811.012m
191	Line	89.136m		5+811.012m	5+900.148m
192	Curve	31.025m	80.00m	5+900.148m	5+931.173m
193	Line	55.074m		5+931.173m	5+986.248m
194	Curve	21.860m	180.00m	5+986.248m	6+008.108m
195	Line	57.495m		6+008.108m	6+065.604m
196	Curve	5.150m	80.00m	6+065.604m	6+070.754m
197	Line	39.964m		6+070.754m	6+110.718m
198	Curve	45.152m	50.00m	6+110.718m	6+155.870m
199	Line	1.317m		6+155.870m	6+157.186m
200	Curve	24.311m	30.00m	6+157.186m	6+181.497m
201	Line	13.191m		6+181.497m	6+194.689m
202	Curve	27.091m	60.00m	6+194.689m	6+221.780m
203	Line	55.417m		6+221.780m	6+277.197m
204	Curve	35.363m	70.00m	6+277.197m	6+312.560m
205	Line	4.467m		6+312.560m	6+317.026m
206	Curve	12.630m	50.00m	6+317.026m	6+329.657m
207	Line	38.711m		6+329.657m	6+368.367m
208	Curve	29.332m	120.00m	6+368.367m	6+397.699m
209	Line	14.640m		6+397.699m	6+412.339m

210	Curve	22.171m	25.00m	6+412.339m	6+434.510m
211	Line	7.212m		6+434.510m	6+441.722m
212	Curve	39.272m	25.00m	6+441.722m	6+480.994m
213	Line	25.631m		6+480.994m	6+506.625m
214	Curve	32.302m	50.00m	6+506.625m	6+538.927m
215	Line	5.249m		6+538.927m	6+544.176m
216	Curve	44.088m	50.00m	6+544.176m	6+588.264m
217	Line	102.494m		6+588.264m	6+690.758m
218	Curve	24.975m	40.00m	6+690.758m	6+715.733m
219	Line	113.217m		6+715.733m	6+828.950m
220	Curve	40.028m	50.00m	6+828.950m	6+868.978m
221	Line	8.404m		6+868.978m	6+877.382m
222	Curve	31.891m	25.00m	6+877.382m	6+909.272m
223	Line	24.771m		6+909.272m	6+934.044m
224	Curve	32.765m	80.00m	6+934.044m	6+966.809m
225	Line	16.810m		6+966.809m	6+983.619m
226	Curve	40.039m	80.00m	6+983.619m	7+023.659m
227	Line	0.649m		7+023.659m	7+024.307m
228	Curve	22.361m	100.00m	7+024.307m	7+046.669m
229	Line	124.394m		7+046.669m	7+171.063m
230	Curve	42.425m	200.00m	7+171.063m	7+213.488m
231	Line	15.557m		7+213.488m	7+229.045m
232	Curve	18.383m	50.00m	7+229.045m	7+247.428m
233	Line	22.464m		7+247.428m	7+269.891m
234	Curve	28.543m	60.00m	7+269.891m	7+298.434m
235	Line	14.632m		7+298.434m	7+313.066m
236	Curve	24.335m	35.00m	7+313.066m	7+337.401m
237	Line	13.311m		7+337.401m	7+350.712m
238	Curve	30.659m	80.00m	7+350.712m	7+381.371m
239	Line	51.985m		7+381.371m	7+433.356m
240	Curve	36.270m	80.00m	7+433.356m	7+469.626m
241	Line	102.335m		7+469.626m	7+571.961m
242	Curve	3.322m	100.00m	7+571.961m	7+575.283m
243	Line	79.709m		7+575.283m	7+654.992m
244	Curve	21.451m	55.00m	7+654.992m	7+676.442m
245	Line	52.691m		7+676.442m	7+729.133m
246	Curve	35.888m	60.00m	7+729.133m	7+765.021m
247	Line	34.522m		7+765.021m	7+799.542m
248	Curve	72.835m	150.00m	7+799.542m	7+872.377m
249	Line	16.044m		7+872.377m	7+888.421m
250	Curve	27.046m	100.00m	7+888.421m	7+915.467m
251	Line	80.118m		7+915.467m	7+995.586m
252	Curve	45.388m	180.00m	7+995.586m	8+040.973m
253	Line	1.067m		8+040.973m	8+042.040m

254	Curve	30.876m	80.00m	8+042.040m	8+072.916m
255	Line	11.068m		8+072.916m	8+083.984m
256	Curve	44.039m	60.00m	8+083.984m	8+128.023m
257	Line	13.180m		8+128.023m	8+141.204m
258	Curve	29.603m	40.00m	8+141.204m	8+170.807m
259	Line	23.582m		8+170.807m	8+194.389m
260	Curve	38.290m	60.00m	8+194.389m	8+232.679m
261	Line	11.864m		8+232.679m	8+244.543m
262	Curve	31.464m	35.00m	8+244.543m	8+276.007m
263	Line	24.654m		8+276.007m	8+300.661m
264	Curve	27.424m	150.00m	8+300.661m	8+328.086m
265	Line	14.740m		8+328.086m	8+342.826m
266	Curve	28.880m	100.00m	8+342.826m	8+371.706m
267	Line	1.617m		8+371.706m	8+373.322m
268	Curve	31.223m	100.00m	8+373.322m	8+404.545m
269	Line	19.997m		8+404.545m	8+424.542m
270	Curve	43.619m	25.00m	8+424.542m	8+468.161m
271	Line	13.294m		8+468.161m	8+481.455m
272	Curve	46.705m	70.00m	8+481.455m	8+528.160m
273	Line	19.371m		8+528.160m	8+547.531m
274	Curve	26.698m	80.00m	8+547.531m	8+574.229m
275	Line	64.462m		8+574.229m	8+638.691m
276	Curve	96.436m	120.00m	8+638.691m	8+735.127m
277	Line	13.090m		8+735.127m	8+748.218m
278	Curve	24.135m	100.00m	8+748.218m	8+772.353m
279	Line	0.224m		8+772.353m	8+772.577m
280	Curve	39.774m	60.00m	8+772.577m	8+812.351m
281	Line	10.546m		8+812.351m	8+822.897m
282	Curve	20.922m	30.00m	8+822.897m	8+843.818m
283	Line	6.258m		8+843.818m	8+850.076m
284	Curve	37.072m	18.00m	8+850.076m	8+887.148m
285	Line	1.916m		8+887.148m	8+889.064m
286	Curve	30.387m	25.00m	8+889.064m	8+919.451m
287	Line	20.849m		8+919.451m	8+940.299m
288	Curve	37.497m	50.00m	8+940.299m	8+977.796m
289	Line	17.931m		8+977.796m	8+995.727m
290	Curve	19.078m	25.00m	8+995.727m	9+014.805m
291	Line	10.802m		9+014.805m	9+025.607m
292	Curve	28.575m	35.00m	9+025.607m	9+054.182m
293	Line	40.405m		9+054.182m	9+094.587m
294	Curve	12.241m	25.00m	9+094.587m	9+106.828m
295	Line	2.465m		9+106.828m	9+109.294m
296	Curve	56.885m	80.00m	9+109.294m	9+166.178m
297	Line	154.236m		9+166.178m	9+320.414m

298	Curve	13.626m	100.00m	9+320.414m	9+334.040m
299	Line	24.622m		9+334.040m	9+358.662m
300	Curve	23.597m	25.00m	9+358.662m	9+382.259m
301	Line	28.335m		9+382.259m	9+410.594m
302	Curve	20.570m	40.00m	9+410.594m	9+431.164m
303	Line	74.882m		9+431.164m	9+506.045m
304	Curve	30.591m	25.00m	9+506.045m	9+536.636m
305	Line	34.735m		9+536.636m	9+571.371m
306	Curve	50.468m	40.00m	9+571.371m	9+621.840m
307	Line	0.214m		9+621.840m	9+622.054m
308	Curve	43.297m	40.00m	9+622.054m	9+665.351m
309	Line	24.619m		9+665.351m	9+689.970m
310	Curve	44.127m	50.00m	9+689.970m	9+734.097m
311	Line	21.055m		9+734.097m	9+755.152m
312	Curve	47.275m	60.00m	9+755.152m	9+802.426m
313	Line	138.566m		9+802.426m	9+940.992m
314	Curve	15.832m	150.00m	9+940.992m	9+956.824m
315	Line	25.900m		9+956.824m	9+982.724m
316	Curve	48.345m	150.00m	9+982.724m	10+031.069m
317	Line	64.571m		10+031.069m	10+095.640m
318	Curve	15.655m	50.00m	10+095.640m	10+111.295m
319	Line	16.684m		10+111.295m	10+127.979m
320	Curve	52.067m	25.00m	10+127.979m	10+180.047m
321	Line	10.629m		10+180.047m	10+190.675m
322	Curve	49.319m	35.00m	10+190.675m	10+239.994m
323	Line	47.499m		10+239.994m	10+287.493m
324	Curve	19.697m	350.00m	10+287.493m	10+307.189m
325	Line	158.559m		10+307.189m	10+465.749m
326	Curve	81.337m	95.00m	10+465.749m	10+547.086m
327	Line	49.664m		10+547.086m	10+596.749m
328	Curve	55.838m	60.00m	10+596.749m	10+652.588m
329	Line	47.252m		10+652.588m	10+699.840m
330	Curve	40.113m	35.00m	10+699.840m	10+739.953m
331	Line	22.711m		10+739.953m	10+762.664m
332	Curve	30.811m	35.00m	10+762.664m	10+793.474m
333	Line	6.789m		10+793.474m	10+800.264m
334	Curve	60.698m	55.00m	10+800.264m	10+860.962m
335	Line	21.911m		10+860.962m	10+882.874m
336	Curve	28.862m	35.00m	10+882.874m	10+911.735m
337	Line	18.415m		10+911.735m	10+930.151m
338	Curve	45.612m	50.00m	10+930.151m	10+975.763m
339	Line	32.706m		10+975.763m	11+008.468m
340	Curve	26.154m	35.00m	11+008.468m	11+034.623m
341	Line	19.556m		11+034.623m	11+054.178m

342	Curve	20.618m	60.00m	11+054.178m	11+074.796m
343	Line	46.446m		11+074.796m	11+121.242m
344	Curve	15.172m	80.00m	11+121.242m	11+136.414m
345	Line	154.420m		11+136.414m	11+290.834m
346	Curve	16.115m	80.00m	11+290.834m	11+306.948m
347	Line	28.383m		11+306.948m	11+335.331m
348	Curve	9.777m	55.00m	11+335.331m	11+345.108m
349	Line	38.685m		11+345.108m	11+383.793m
350	Curve	39.482m	60.00m	11+383.793m	11+423.276m
351	Line	8.135m		11+423.276m	11+431.410m
352	Curve	44.572m	25.00m	11+431.410m	11+475.982m
353	Line	0.932m		11+475.982m	11+476.914m
354	Curve	32.484m	25.00m	11+476.914m	11+509.398m
355	Line	61.157m		11+509.398m	11+570.555m
356	Curve	32.866m	45.00m	11+570.555m	11+603.421m
357	Line	13.378m		11+603.421m	11+616.799m
358	Curve	36.746m	25.00m	11+616.799m	11+653.545m
359	Line	26.826m		11+653.545m	11+680.371m
360	Curve	38.020m	55.00m	11+680.371m	11+718.392m
361	Line	32.745m		11+718.392m	11+751.136m
362	Curve	30.664m	105.00m	11+751.136m	11+781.801m
363	Line	23.827m		11+781.801m	11+805.628m
364	Curve	9.198m	55.00m	11+805.628m	11+814.825m
365	Line	13.686m		11+814.825m	11+828.511m
366	Curve	24.523m	55.00m	11+828.511m	11+853.034m
367	Line	32.097m		11+853.034m	11+885.131m
368	Curve	57.021m	35.00m	11+885.131m	11+942.151m

Radio Mínimo = 18.00m

Radio Máximo = 350.00m

Nota. Elaboración propia

Parámetro de curvatura: En el Expediente Técnico N.º 02, los parámetros de curvatura cóncava y convexa son 2.62 y 4.84, respectivamente.

Tabla 14:

Parámetro de curvatura

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value
1	0+000.000m	2644.648m			4.31%			
2	0+176.104m	2652.242m	4.31%	-6.17%	10.49%	Crest	150.000m	14.31
3	0+482.199m	2633.348m	-6.17%	-0.84%	5.33%	Sag	150.000m	28.14

4	0+747.673m	2631.111m	-0.84%	3.32%	4.16%	Sag	150.000m	36.07
5	0+962.441m	2638.232m	3.32%	-7.02%	10.33%	Crest	150.000m	14.52
6	1+189.516m	2622.297m	-7.02%	5.79%	12.80%	Sag	150.000m	11.72
7	1+428.491m	2636.126m	5.79%	-0.61%	6.40%	Crest	150.000m	23.44
8	1+786.637m	2633.929m	-0.61%	-2.29%	1.67%	Crest	150.000m	89.57
9	1+937.861m	2630.469m	-2.29%	2.92%	5.21%	Sag	150.000m	28.82
10	2+097.686m	2635.132m	2.92%	-0.65%	3.57%	Crest	150.000m	42.00
11	2+284.550m	2633.909m	-0.65%	5.74%	6.40%	Sag	100.270m	15.68
12	2+671.859m	2656.146m	5.74%	-0.61%	6.35%	Crest	150.000m	23.62
13	2+921.582m	2654.625m	-0.61%	6.98%	7.59%	Sag	138.329m	18.22
14	3+098.346m	2666.969m	6.98%	4.65%	2.33%	Crest	77.981m	33.45
15	3+397.692m	2680.894m	4.65%	1.49%	3.16%	Crest	179.988m	56.96
16	3+708.781m	2685.535m	1.49%	4.22%	2.73%	Sag	180.012m	66.00
17	4+506.377m	2719.190m	4.22%	-4.63%	8.85%	Crest	286.759m	32.39
18	4+989.445m	2696.801m	-4.63%	5.10%	9.74%	Sag	109.427m	11.24
19	5+641.940m	2730.095m	5.10%	-6.85%	11.95%	Crest	459.319m	38.42
20	6+231.618m	2689.693m	-6.85%	8.07%	14.92%	Sag	200.041m	13.41
21	6+757.533m	2732.134m	8.07%	-4.78%	12.85%	Crest	199.896m	15.56
22	7+028.024m	2719.207m	-4.78%	1.89%	6.67%	Sag	199.989m	29.99
23	7+410.868m	2726.439m	1.89%	9.32%	7.43%	Sag	160.739m	21.64
24	8+476.605m	2825.725m	9.32%	-0.64%	9.96%	Crest	331.587m	33.30
25	8+890.496m	2823.075m	-0.64%	7.35%	7.99%	Sag	284.409m	35.61
26	9+209.492m	2846.508m	7.35%	-1.41%	8.75%	Crest	129.899m	14.84
27	9+334.794m	2844.743m	-1.41%	6.11%	7.52%	Sag	106.393m	14.16
28	10+004.679m	2885.654m	6.11%	8.91%	2.81%	Sag	92.191m	32.86
29	10+197.418m	2902.832m	8.91%	5.02%	3.89%	Crest	177.289m	45.53
30	10+464.698m	2916.245m	5.02%	7.01%	2.00%	Sag	128.828m	64.54
31	10+695.747m	2932.452m	7.01%	-9.83%	16.84%	Crest	276.192m	16.40
32	10+968.590m	2905.642m	-9.83%	-3.80%	6.03%	Sag	120.242m	19.95
33	11+424.943m	2888.302m	-3.80%	2.66%	6.46%	Sag	199.988m	30.94
34	11+739.121m	2896.675m	2.66%	2.98%	0.31%	Sag	107.457m	344.84
35	11+932.821m	2902.441m	2.98%	4.08%	1.10%	Sag	100.223m	90.72
36	12+094.607m	2909.044m	4.08%	4.32%	0.24%	Sag	54.306m	227.75
37	12+295.514m	2917.723m	4.32%	6.16%	1.84%	Sag	19.937m	10.82
38	12+542.901m	2932.968m	6.16%	-8.33%	14.49%	Crest	142.097m	9.80
39	12+883.264m	2904.613m	-8.33%	-0.08%	8.25%	Sag	115.732m	14.02
40	13+231.878m	2904.346m	-0.08%	-4.80%	4.72%	Crest	110.426m	23.39
41	13+632.303m	2885.136m	-4.80%	-9.59%	4.79%	Crest	195.778m	40.85
42	13+828.365m	2866.334m	-9.59%	-6.86%	2.73%	Sag	101.967m	37.40
43	14+091.161m	2848.296m	-6.86%	-9.37%	2.50%	Crest	126.657m	50.62
44	14+322.112m	2826.666m	-9.37%	-5.67%	3.70%	Sag	102.479m	27.72
45	14+767.257m	2801.429m	-5.67%	-0.05%	5.62%	Sag	150.000m	26.68
46	14+958.177m	2801.339m	-0.05%	1.01%	1.06%	Sag	80.304m	76.11
47	15+114.361m	2802.912m	1.01%	4.68%	3.67%	Sag	60.093m	16.37

48	15+244.811m	2809.016m	4.68%	0.47%	4.21%	Crest	187.180m	44.47
49	15+395.460m	2809.722m	0.47%	5.59%	5.12%	Sag	50.037m	9.78
50	15+503.799m	2815.776m	5.59%	7.08%	1.49%	Sag	28.095m	18.84
51	15+687.559m	2828.785m	7.08%	9.99%	2.91%	Sag	69.005m	23.72
52	15+837.247m	2843.736m	9.99%	5.30%	4.69%	Crest	68.257m	14.55
53	15+976.911m	2851.134m	5.30%	-9.21%	14.51%	Crest	70.265m	4.84
54	16+026.656m	2846.551m	-9.21%	0.57%	9.78%	Sag	25.582m	2.62
55	16+050.452m	2846.685m	0.57%					
								K min crest = 4.84
								K min sag = 2.62

Nota. Elaboración propia

Pendiente: En el Expediente Técnico N.º 02, la pendiente mínima y máxima del alineamiento vertical corresponde a 0.05 % y 9.99 %, respectivamente.

Tabla 15:

Pendiente

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type
1	0+000.000m	2644.648m		4.31%		
2	0+176.104m	2652.242m	4.31%	-6.17%	10.49%	Crest
3	0+482.199m	2633.348m	-6.17%	-0.84%	5.33%	Sag
4	0+747.673m	2631.111m	-0.84%	3.32%	4.16%	Sag
5	0+962.441m	2638.232m	3.32%	-7.02%	10.33%	Crest
6	1+189.516m	2622.297m	-7.02%	5.79%	12.80%	Sag
7	1+428.491m	2636.126m	5.79%	-0.61%	6.40%	Crest
8	1+786.637m	2633.929m	-0.61%	-2.29%	1.67%	Crest
9	1+937.861m	2630.469m	-2.29%	2.92%	5.21%	Sag
10	2+097.686m	2635.132m	2.92%	-0.65%	3.57%	Crest
11	2+284.550m	2633.909m	-0.65%	5.74%	6.40%	Sag
12	2+671.859m	2656.146m	5.74%	-0.61%	6.35%	Crest
13	2+921.582m	2654.625m	-0.61%	6.98%	7.59%	Sag
14	3+098.346m	2666.969m	6.98%	4.65%	2.33%	Crest
15	3+397.692m	2680.894m	4.65%	1.49%	3.16%	Crest
16	3+708.781m	2685.535m	1.49%	4.22%	2.73%	Sag
17	4+506.377m	2719.190m	4.22%	-4.63%	8.85%	Crest
18	4+989.445m	2696.801m	-4.63%	5.10%	9.74%	Sag
19	5+641.940m	2730.095m	5.10%	-6.85%	11.95%	Crest
20	6+231.618m	2689.693m	-6.85%	8.07%	14.92%	Sag
21	6+757.533m	2732.134m	8.07%	-4.78%	12.85%	Crest
22	7+028.024m	2719.207m	-4.78%	1.89%	6.67%	Sag
23	7+410.868m	2726.439m	1.89%	9.32%	7.43%	Sag
24	8+476.605m	2825.725m	9.32%	-0.64%	9.96%	Crest

25	8+890.496m	2823.075m	-0.64%	7.35%	7.99%	Sag
26	9+209.492m	2846.508m	7.35%	-1.41%	8.75%	Crest
27	9+334.794m	2844.743m	-1.41%	6.11%	7.52%	Sag
28	10+004.679m	2885.654m	6.11%	8.91%	2.81%	Sag
29	10+197.418m	2902.832m	8.91%	5.02%	3.89%	Crest
30	10+464.698m	2916.245m	5.02%	7.01%	2.00%	Sag
31	10+695.747m	2932.452m	7.01%	-9.83%	16.84%	Crest
32	10+968.590m	2905.642m	-9.83%	-3.80%	6.03%	Sag
33	11+424.943m	2888.302m	-3.80%	2.66%	6.46%	Sag
34	11+739.121m	2896.675m	2.66%	2.98%	0.31%	Sag
35	11+932.821m	2902.441m	2.98%	4.08%	1.10%	Sag
36	12+094.607m	2909.044m	4.08%	4.32%	0.24%	Sag
37	12+295.514m	2917.723m	4.32%	6.16%	1.84%	Sag
38	12+542.901m	2932.968m	6.16%	-8.33%	14.49%	Crest
39	12+883.264m	2904.613m	-8.33%	-0.08%	8.25%	Sag
40	13+231.878m	2904.346m	-0.08%	-4.80%	4.72%	Crest
41	13+632.303m	2885.136m	-4.80%	-9.59%	4.79%	Crest
42	13+828.365m	2866.334m	-9.59%	-6.86%	2.73%	Sag
43	14+091.161m	2848.296m	-6.86%	-9.37%	2.50%	Crest
44	14+322.112m	2826.666m	-9.37%	-5.67%	3.70%	Sag
45	14+767.257m	2801.429m	-5.67%	-0.05%	5.62%	Sag
46	14+958.177m	2801.339m	-0.05%	1.01%	1.06%	Sag
47	15+114.361m	2802.912m	1.01%	4.68%	3.67%	Sag
48	15+244.811m	2809.016m	4.68%	0.47%	4.21%	Crest
49	15+395.460m	2809.722m	0.47%	5.59%	5.12%	Sag
50	15+503.799m	2815.776m	5.59%	7.08%	1.49%	Sag
51	15+687.559m	2828.785m	7.08%	9.99%	2.91%	Sag
52	15+837.247m	2843.736m	9.99%	5.30%	4.69%	Crest
53	15+976.911m	2851.134m	5.30%	-9.21%	14.51%	Crest
54	16+026.656m	2846.551m	-9.21%	0.57%	9.78%	Sag
55	16+050.452m	2846.685m	0.57%			
Pendiente mínima =						0.05%
Pendiente máxima =						9.99%

Nota. Elaboración propia

Peralte: En el Expediente Técnico N.º 02, el peralte máximo considerado en el diseño geométrico es de 9 %.

Obras de Arte: El Expediente Técnico N.º 02 contempla, dentro de sus obras de arte, la instalación de alcantarillas tipo TMC.

Tabla 16:*Obras de arte*

Nº	PROGRESIVA	TIPO
1	12+860.00m	TMC
2	13+120.00m	TMC
3	13+380.00m	TMC
4	13+630.00m	TMC
5	13+870.00m	TMC
6	15+265.00m	TMC

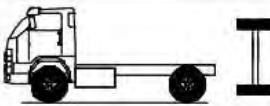
Nota. elaboración propia**4.1.1.1.3. Expediente técnico N° 03**

MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA, EN LA VIA VECINAL CU 902 – TRAMO CCPSS HUAROCONDO Y ZURITE EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y ZURITE DE LA PROVINCIA DE ANTA – DEPARTAMENTO DE CUSCO.

A1) Parametros de entrada

Vehículo de diseño: El Expediente Técnico N° 01 se define un tipo vehículo C2 de acuerdo a la nomenclatura establecida de MTC.

Figura 12:*Descripción de vehículo de diseño*

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
Configu- ración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18

Nota. Reglamento nacional de vehículos (MTC, 2003)

Velocidad: El Expediente Técnico N° 4 establece una velocidad de diseño de 50 km/h como criterio principal para el trazado geométrico de la carretera.

Radio mínimo: El Expediente Técnico N° 4 establece un radio mínimo de 22m como criterio principal para el trazado geométrico de la carretera.

Tabla 17:*Radio mínimo obtenido de diseño geométrico*

Number	Type	Length	Radius	Start Station	End Station
1	Line	154.024m		0+000.000m	0+154.024m
2	Curve	34.560m	200.000m	0+154.024m	0+188.584m
3	Line	65.567m		0+188.584m	0+254.151m
4	Curve	8.850m	200.000m	0+254.151m	0+263.002m
5	Line	48.566m		0+263.002m	0+311.568m
6	Curve	6.098m	200.000m	0+311.568m	0+317.666m
7	Line	79.683m		0+317.666m	0+397.349m
8	Curve	9.246m	300.000m	0+397.349m	0+406.595m
9	Line	56.799m		0+406.595m	0+463.394m
10	Curve	9.294m	300.000m	0+463.394m	0+472.688m
11	Line	175.899m		0+472.688m	0+648.587m
12	Curve	4.722m	300.000m	0+648.587m	0+653.309m
13	Line	157.748m		0+653.309m	0+811.057m
14	Curve	20.668m	150.000m	0+811.057m	0+831.725m
15	Line	47.394m		0+831.725m	0+879.119m
16	Curve	41.154m	150.000m	0+879.119m	0+920.274m
17	Line	78.937m		0+920.274m	0+999.211m
18	Curve	18.654m	200.000m	0+999.211m	1+017.865m
19	Line	50.909m		1+017.865m	1+068.773m
20	Curve	26.606m	150.000m	1+068.773m	1+095.380m
21	Line	106.987m		1+095.380m	1+202.366m
22	Curve	36.817m	80.000m	1+202.366m	1+239.183m
23	Line	166.835m		1+239.183m	1+406.018m
24	Curve	18.339m	150.000m	1+406.018m	1+424.357m
25	Line	150.614m		1+424.357m	1+574.970m
26	Curve	34.906m	80.000m	1+574.970m	1+609.876m
27	Line	111.837m		1+609.876m	1+721.713m
28	Curve	13.295m	150.000m	1+721.713m	1+735.007m
29	Line	124.979m		1+735.007m	1+859.986m
30	Curve	55.844m	150.000m	1+859.986m	1+915.830m
31	Line	70.938m		1+915.830m	1+986.768m
32	Curve	16.140m	150.000m	1+986.768m	2+002.908m
33	Line	60.735m		2+002.908m	2+063.643m
34	Curve	67.615m	60.000m	2+063.643m	2+131.258m
35	Line	69.524m		2+131.258m	2+200.781m
36	Curve	19.311m	50.000m	2+200.781m	2+220.092m
37	Line	20.860m		2+220.092m	2+240.951m
38	Curve	61.060m	40.000m	2+240.951m	2+302.011m
39	Line	108.826m		2+302.011m	2+410.837m
40	Curve	11.972m	100.000m	2+410.837m	2+422.809m
41	Line	68.349m		2+422.809m	2+491.159m
42	Curve	15.818m	150.000m	2+491.159m	2+506.976m
43	Line	20.644m		2+506.976m	2+527.621m
44	Curve	29.468m	341.129m	2+527.621m	2+557.089m
45	Line	45.041m		2+557.089m	2+602.130m

46	Curve	36.689m	50.565m	2+602.130m	2+638.819m
47	Line	35.939m		2+638.819m	2+674.758m
48	Curve	20.673m	80.000m	2+674.758m	2+695.431m
49	Line	62.277m		2+695.431m	2+757.708m
50	Curve	18.377m	60.000m	2+757.708m	2+776.085m
51	Line	41.605m		2+776.085m	2+817.690m
52	Curve	15.509m	80.000m	2+817.690m	2+833.199m
53	Line	55.643m		2+833.199m	2+888.842m
54	Curve	30.431m	60.000m	2+888.842m	2+919.273m
55	Line	169.657m		2+919.273m	3+088.930m
56	Curve	26.763m	50.000m	3+088.930m	3+115.693m
57	Line	77.647m		3+115.693m	3+193.340m
58	Curve	21.020m	2016.987m	3+193.340m	3+214.360m
59	Line	32.430m		3+214.360m	3+246.790m
60	Curve	24.095m	22.000m	3+246.790m	3+270.885m
61	Line	15.685m		3+270.885m	3+286.570m
62	Curve	8.843m	50.000m	3+286.570m	3+295.413m
63	Line	5.111m		3+295.413m	3+300.524m
64	Curve	8.514m	40.000m	3+300.524m	3+309.038m
65	Line	24.936m		3+309.038m	3+333.973m
66	Curve	50.052m	180.000m	3+333.973m	3+384.026m
67	Line	66.896m		3+384.026m	3+450.922m
68	Curve	29.092m	130.000m	3+450.922m	3+480.014m
69	Line	57.023m		3+480.014m	3+537.037m
70	Curve	8.645m	150.000m	3+537.037m	3+545.682m
71	Line	90.654m		3+545.682m	3+636.336m
72	Curve	55.665m	50.000m	3+636.336m	3+692.001m
73	Line	53.399m		3+692.001m	3+745.400m
74	Curve	30.970m	50.000m	3+745.400m	3+776.370m
75	Line	59.955m		3+776.370m	3+836.326m
76	Curve	5.279m	100.000m	3+836.326m	3+841.604m
77	Line	36.231m		3+841.604m	3+877.836m
78	Curve	3.540m	150.000m	3+877.836m	3+881.376m
79	Line	372.050m		3+881.376m	4+253.425m
80	Curve	35.752m	4138.211m	4+253.425m	4+289.177m
81	Line	401.298m		4+289.177m	4+690.475m
82	Curve	17.865m	500.000m	4+690.475m	4+708.340m
83	Line	74.665m		4+708.340m	4+783.005m
84	Curve	18.040m	200.000m	4+783.005m	4+801.045m
85	Line	63.335m		4+801.045m	4+864.380m
86	Curve	9.697m	200.000m	4+864.380m	4+874.077m
87	Line	166.132m		4+874.077m	5+040.210m
88	Curve	26.040m	150.000m	5+040.210m	5+066.250m
89	Line	34.591m		5+066.250m	5+100.841m
90	Curve	29.376m	265.502m	5+100.841m	5+130.217m
91	Line	21.457m		5+130.217m	5+151.674m
92	Curve	4.478m	100.000m	5+151.674m	5+156.152m
93	Line	107.567m		5+156.152m	5+263.719m
94	Curve	10.086m	150.000m	5+263.719m	5+273.805m
95	Line	79.528m		5+273.805m	5+353.333m

96	Curve	15.149m	150.000m	5+353.333m	5+368.482m
97	Line	35.829m		5+368.482m	5+404.311m
98	Curve	5.660m	200.000m	5+404.311m	5+409.971m
99	Line	94.791m		5+409.971m	5+504.762m
100	Curve	5.472m	300.000m	5+504.762m	5+510.234m
101	Line	263.646m		5+510.234m	5+773.881m
102	Curve	37.695m	851.623m	5+773.881m	5+811.576m
103	Line	181.354m		5+811.576m	5+992.930m
104	Curve	5.100m	300.000m	5+992.930m	5+998.030m
105	Line	101.801m		5+998.030m	6+099.831m
106	Curve	8.769m	300.000m	6+099.831m	6+108.600m
107	Line	102.959m		6+108.600m	6+211.559m
108	Curve	9.989m	300.000m	6+211.559m	6+221.548m
109	Line	113.782m		6+221.548m	6+335.329m
110	Curve	6.631m	200.000m	6+335.329m	6+341.960m
111	Line	137.045m		6+341.960m	6+479.005m
112	Curve	8.922m	300.000m	6+479.005m	6+487.927m
113	Line	120.105m		6+487.927m	6+608.031m
114	Curve	11.838m	200.000m	6+608.031m	6+619.870m
115	Line	32.336m		6+619.870m	6+652.205m

Radio mínimo = 22.000m

Nota. elaboración propia

Parámetro de curvatura: El Expediente Técnico N° 3 el parámetro de curvatura cóncava y convexa es 1.264 y 2.263 respectivamente.

Tabla 18:

Parámetro de curvatura de las curvas cóncavas y convexas

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value
1	0+000.000m	3340.646m		0.44%				
2	0+215.578m	3341.596m	0.44%	-2.56%	3.00%	Crest	100.000m	33.314
3	0+453.288m	3335.509m	-2.56%	-4.73%	2.17%	Crest	80.000m	36.807
4	0+623.497m	3327.450m	-4.73%	-2.74%	2.00%	Sag	30.000m	15.031
5	0+788.254m	3322.938m	-2.74%	-1.19%	1.55%	Sag	50.000m	32.243
6	0+904.147m	3321.561m	-1.19%	3.20%	4.38%	Sag	50.000m	11.406
7	0+992.592m	3324.388m	3.20%	1.72%	1.48%	Crest	50.000m	33.897
8	1+112.177m	3326.445m	1.72%	0.25%	1.47%	Crest	50.000m	33.969
9	1+192.217m	3326.644m	0.25%	-1.70%	1.95%	Crest	50.000m	25.663
10	1+307.380m	3324.687m	-1.70%	-0.40%	1.30%	Sag	50.000m	38.462
11	1+558.337m	3323.684m	-0.40%	3.75%	4.15%	Sag	60.000m	14.473
12	1+651.774m	3327.184m	3.75%	0.26%	3.48%	Crest	50.000m	14.351
13	1+796.797m	3327.564m	0.26%	-1.88%	2.14%	Crest	50.000m	23.343
14	1+996.003m	3323.819m	-1.88%	5.27%	7.15%	Sag	60.000m	8.387
15	2+101.256m	3329.369m	5.27%	0.37%	4.91%	Crest	50.000m	10.188

16	2+201.935m	3329.737m	0.37%	9.94%	9.57%	Sag	40.000m	4.18
17	2+284.270m	3337.918m	9.94%	5.64%	4.30%	Crest	40.000m	9.302
18	2+388.288m	3343.780m	5.64%	4.81%	0.82%	Crest	30.000m	36.452
19	2+523.355m	3350.280m	4.81%	3.63%	1.19%	Crest	30.000m	25.274
20	2+633.358m	3354.268m	3.63%	5.11%	1.49%	Sag	20.000m	13.459
21	2+666.756m	3355.975m	5.11%	2.66%	2.45%	Crest	20.000m	8.172
22	2+725.085m	3357.529m	2.66%	-0.19%	2.86%	Crest	30.000m	10.497
23	2+794.199m	3357.395m	-0.19%	0.36%	0.55%	Sag	50.000m	90.375
24	2+917.963m	3357.839m	0.36%	6.10%	5.74%	Sag	80.000m	13.94
25	3+099.777m	3368.926m	6.10%	-0.52%	6.61%	Crest	60.000m	9.072
26	3+295.717m	3367.916m	-0.52%	5.09%	5.61%	Sag	60.000m	10.697
27	3+449.921m	3375.770m	5.09%	0.77%	4.32%	Crest	50.000m	11.573
28	3+545.281m	3376.508m	0.77%	3.40%	2.63%	Sag	40.000m	15.21
29	3+656.193m	3380.282m	3.40%	-0.01%	3.41%	Crest	50.000m	14.67
30	3+770.661m	3380.276m	-0.01%	4.60%	4.61%	Sag	50.000m	10.851
31	3+906.515m	3386.529m	4.60%	1.27%	3.33%	Crest	50.000m	14.997
32	4+175.840m	3389.945m	1.27%	1.01%	0.26%	Crest	60.000m	228.089
33	4+453.620m	3392.738m	1.01%	0.44%	0.57%	Crest	60.000m	105.231
34	4+706.121m	3393.837m	0.44%	1.82%	1.38%	Sag	30.000m	21.708
35	4+740.571m	3394.463m	1.82%	-2.60%	4.42%	Crest	10.000m	2.263
36	4+751.732m	3394.173m	-2.60%	5.31%	7.91%	Sag	10.000m	1.264
37	4+767.622m	3395.017m	5.31%	1.23%	4.08%	Crest	10.000m	2.45
38	4+953.909m	3397.307m	1.23%	3.28%	2.06%	Sag	50.000m	24.322
39	5+309.654m	3408.993m	3.28%	0.53%	2.76%	Crest	60.000m	21.748
40	5+510.302m	3410.048m	0.53%	1.75%	1.22%	Sag	50.000m	40.834
41	5+672.074m	3412.880m	1.75%	-2.49%	4.24%	Crest	20.000m	4.712
42	5+697.558m	3412.245m	-2.49%	-3.19%	0.69%	Crest	20.000m	28.85
43	6+000.893m	3402.578m	-3.19%	-5.23%	2.04%	Crest	100.000m	48.927
44	6+277.347m	3388.117m	-5.23%	0.48%	5.71%	Sag	100.000m	17.501
45	6+464.744m	3389.022m	0.48%	2.77%	2.28%	Sag	60.000m	26.262
46	6+652.205m	3394.211m	2.77%					
								K mín. Sag = 1.264
								K mín. Crest = 2.263

Pendiente: El Expediente Técnico N° 4 el pendiente máximo y mínimo de alineamiento vertical es 0.010% y 9.940% respectivamente.

Tabla 19:

Pendiente

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type
1	0+000.000m	3340.646m		0.44%		
2	0+215.578m	3341.596m	0.44%	-2.56%	3.00%	Crest
3	0+453.288m	3335.509m	-2.56%	-4.73%	2.17%	Crest
4	0+623.497m	3327.450m	-4.73%	-2.74%	2.00%	Sag
5	0+788.254m	3322.938m	-2.74%	-1.19%	1.55%	Sag

6	0+904.147m	3321.561m	-1.19%	3.20%	4.38%	Sag
7	0+992.592m	3324.388m	3.20%	1.72%	1.48%	Crest
8	1+112.177m	3326.445m	1.72%	0.25%	1.47%	Crest
9	1+192.217m	3326.644m	0.25%	-1.70%	1.95%	Crest
10	1+307.380m	3324.687m	-1.70%	-0.40%	1.30%	Sag
11	1+558.337m	3323.684m	-0.40%	3.75%	4.15%	Sag
12	1+651.774m	3327.184m	3.75%	0.26%	3.48%	Crest
13	1+796.797m	3327.564m	0.26%	-1.88%	2.14%	Crest
14	1+996.003m	3323.819m	-1.88%	5.27%	7.15%	Sag
15	2+101.256m	3329.369m	5.27%	0.37%	4.91%	Crest
16	2+201.935m	3329.737m	0.37%	9.94%	9.57%	Sag
17	2+284.270m	3337.918m	9.94%	5.64%	4.30%	Crest
18	2+388.288m	3343.780m	5.64%	4.81%	0.82%	Crest
19	2+523.355m	3350.280m	4.81%	3.63%	1.19%	Crest
20	2+633.358m	3354.268m	3.63%	5.11%	1.49%	Sag
21	2+666.756m	3355.975m	5.11%	2.66%	2.45%	Crest
22	2+725.085m	3357.529m	2.66%	-0.19%	2.86%	Crest
23	2+794.199m	3357.395m	-0.19%	0.36%	0.55%	Sag
24	2+917.963m	3357.839m	0.36%	6.10%	5.74%	Sag
25	3+099.777m	3368.926m	6.10%	-0.52%	6.61%	Crest
26	3+295.717m	3367.916m	-0.52%	5.09%	5.61%	Sag
27	3+449.921m	3375.770m	5.09%	0.77%	4.32%	Crest
28	3+545.281m	3376.508m	0.77%	3.40%	2.63%	Sag
29	3+656.193m	3380.282m	3.40%	-0.01%	3.41%	Crest
30	3+770.661m	3380.276m	-0.01%	4.60%	4.61%	Sag
31	3+906.515m	3386.529m	4.60%	1.27%	3.33%	Crest
32	4+175.840m	3389.945m	1.27%	1.01%	0.26%	Crest
33	4+453.620m	3392.738m	1.01%	0.44%	0.57%	Crest
34	4+706.121m	3393.837m	0.44%	1.82%	1.38%	Sag
35	4+740.571m	3394.463m	1.82%	-2.60%	4.42%	Crest
36	4+751.732m	3394.173m	-2.60%	5.31%	7.91%	Sag
37	4+767.622m	3395.017m	5.31%	1.23%	4.08%	Crest
38	4+953.909m	3397.307m	1.23%	3.28%	2.06%	Sag
39	5+309.654m	3408.993m	3.28%	0.53%	2.76%	Crest
40	5+510.302m	3410.048m	0.53%	1.75%	1.22%	Sag
41	5+672.074m	3412.880m	1.75%	-2.49%	4.24%	Crest
42	5+697.558m	3412.245m	-2.49%	-3.19%	0.69%	Crest
43	6+000.893m	3402.578m	-3.19%	-5.23%	2.04%	Crest
44	6+277.347m	3388.117m	-5.23%	0.48%	5.71%	Sag
45	6+464.744m	3389.022m	0.48%	2.77%	2.28%	Sag
46	6+652.205m	3394.211m	2.77%			
Pendiente Mínimo = 0.010%						
Pendiente Máximo = 9.940%						

Nota. elaboración propia

Peralte: En el expediente Técnico N° 4 el peralte máximo de diseño geométrico es 8%

Obras de arte: En el expediente Técnico N° 4 se tiene las siguientes obras de arte entre alcantarillas TMC, MC y badenes.

Tabla 20:

Obras de arte

Nº	PROGRESIVA	TIPOS
1	0+240.00	Alcantarilla MCA
2	0+420.00	Alcantarilla MCA
3	0+660.00	Alcantarilla MCA
4	0+880.00	Alcantarilla MCA
5	1+090.00	Alcantarilla MCA
6	1+200.00	Alcantarilla MCA
7	1+380.00	Alcantarilla MCA
8	1+580.00	Alcantarilla MCA
9	1+760.00	Alcantarilla MCA
10	1+860.00	Alcantarilla MCA
11	2+020.00	Alcantarilla MCA
12	2+300.00	Alcantarilla MCA
13	2+460.00	Alcantarilla MCA
14	2+660.00	Alcantarilla MCA
15	2+800.00	Alcantarilla MCA
16	3+020.00	Alcantarilla MCA
17	3+280.00	Alcantarilla MCA
18	3+840.00	Alcantarilla MCA
19	5+080.00	Alcantarilla MCA
20	5+315.00	Alcantarilla MCA
21	5+610.00	Alcantarilla MCA
22	5+860.00	Alcantarilla MCA
23	6+320.00	Alcantarilla MCA

Nota. elaboración propia

4.1.1.2 Procesamiento de alineamiento vertical en Softree Optimal

4.1.1.2.1 Expediente técnico N° 01

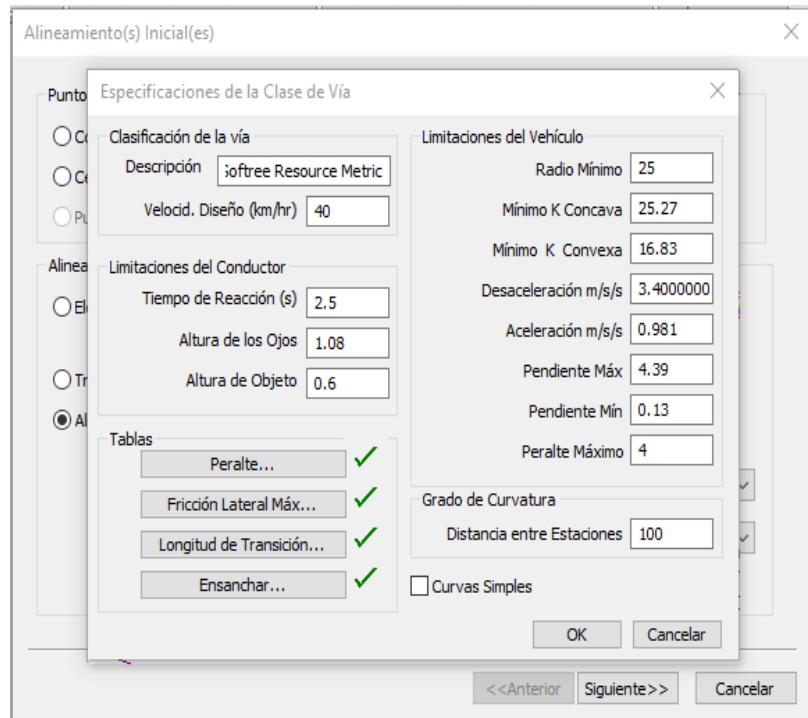
MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA VECINAL CU - 1778, EN EL TRAMO, DESVIO PE-34F (EL DESCANSO) - SAUSAYA -EMPALME CU-130 (PUMAHUARCO), EN LOS DISTRITOS DE KUNTURKANKI Y CHECCA DE LA PROVINCIA DE CANAS - DEPARTAMENTO DE CUSCO.

A) Etapa 01: Importación de alineamiento vertical de Civil 3D a Softree Optimal

En esta etapa, los parámetros de entrada corresponden a las especificaciones de la clase de vía necesarias para la correcta importación del alineamiento vertical desde Autodesk Civil 3D hacia Softree Optima

Figura 13

Datos de especificaciones de la clase de vía



Nota. Los datos ingresados en la figura que se muestra son correspondientes al ítem 4.1.1.1.

Fuente. Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

B) Etapa 02: Optimización de alineamiento vertical

En esta etapa se introducen los parámetros necesarios para efectuar la optimización del alineamiento vertical, empleando los tres Métodos que ofrece el software Softtree Optimal.

B1) Parámetros de optimización según Diseño Geométrico DG-2018

Pendiente mínima: la norma establece una pendiente mínima de orden 0.5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales.

Pendiente máxima: la pendiente máxima según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla 303.01

Tabla 21:

Pendiente máxima

Demandas Vehículos/día	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4.001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
	Características		Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Primera clase	
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de tránsito: 30 km/h																				
40 km/h																	9.00	8.00	9.00	10.00
50 km/h																	8.00	9.00	8.00	8.00
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h					5.00	5.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	7.00	7.00			
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			5.00		6.00		6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				5.00		6.00		6.00			
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Parámetro de curvatura Convexa: el parámetro según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla

303.02

Tabla 22:

Parámetro de curvatura convexa

Tabla 303.02

Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical convexa en carreteras de Tercera Clase

Velocidad de diseño km/h	Longitud controlada por visibilidad de parada		Longitud controlada por visibilidad de paso	
	Distancia de visibilidad de parada	Índice de curvatura K	Distancia de visibilidad de paso	Índice de curvatura K
20	20	0.6		
30	35	1.9	200	46
40	50	3.8	270	84
50	65	6.4	345	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338
90	160	39	615	438

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Parámetro de curvatura Cónccava: el parámetro según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla

303.03

Tabla 23:

Parámetro de curvatura cónica

Tabla 303.03

Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical cónica en carreteras de Tercera Clase

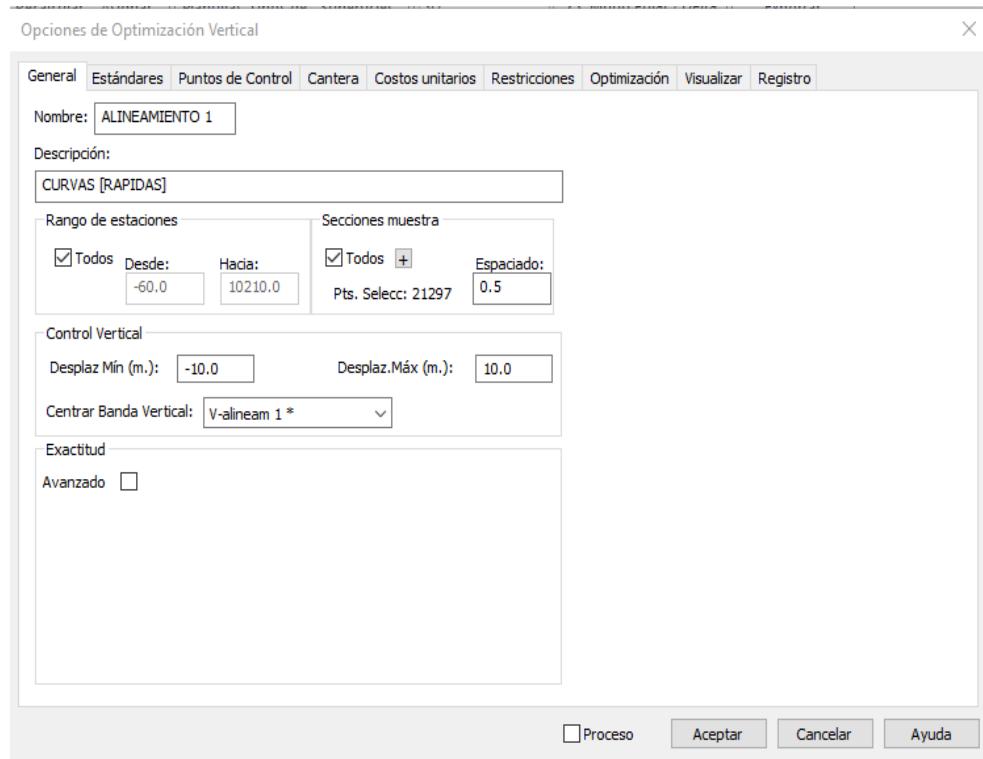
Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Índice de curvatura K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Método N° 01: Curvas [Rápidas]

Figura 14:

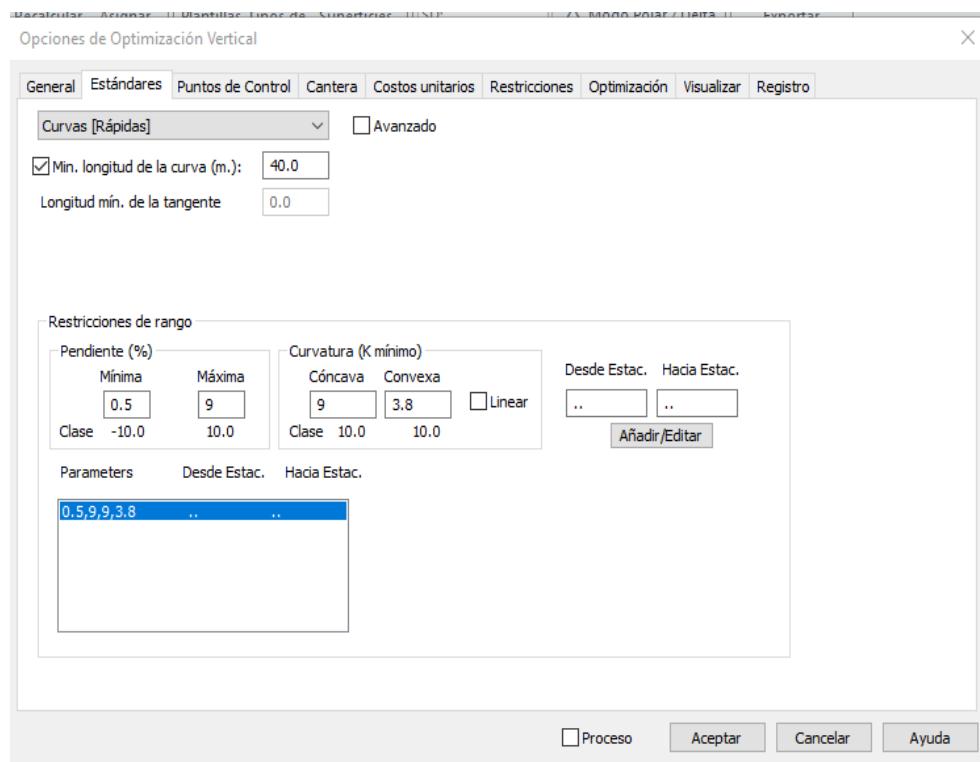
Opciones de optimización vertical "General"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 15:

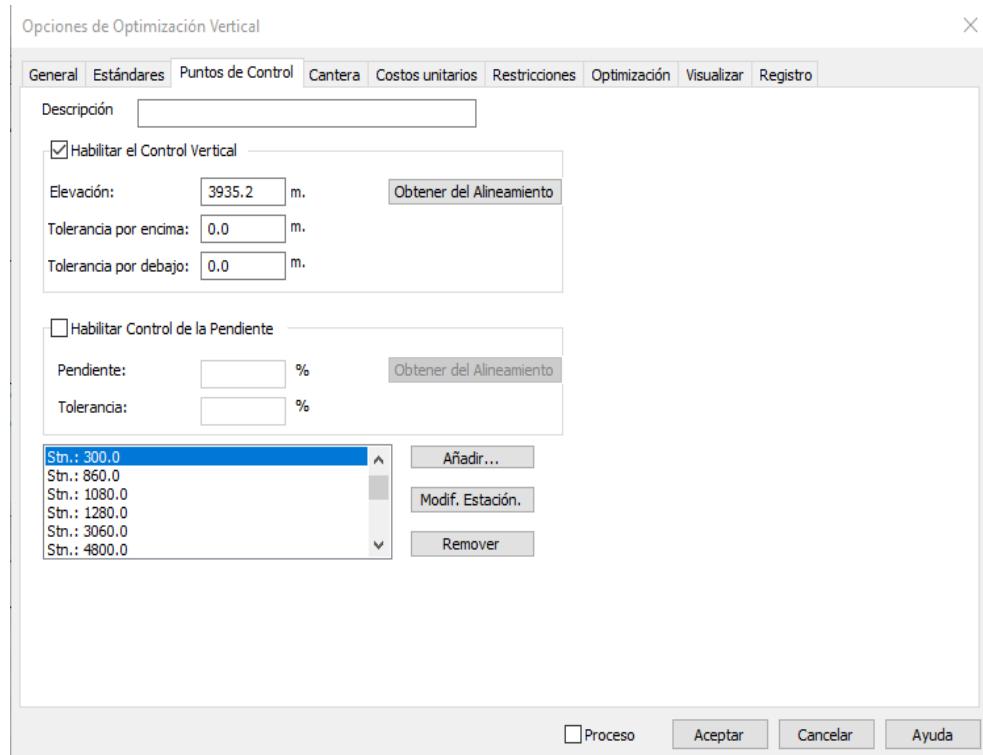
Opciones de optimización vertical



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) se elige el tipo de Método: Curvas [Rápidas] 2) mínima longitud de la curva(m): el dato 40m se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 16:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

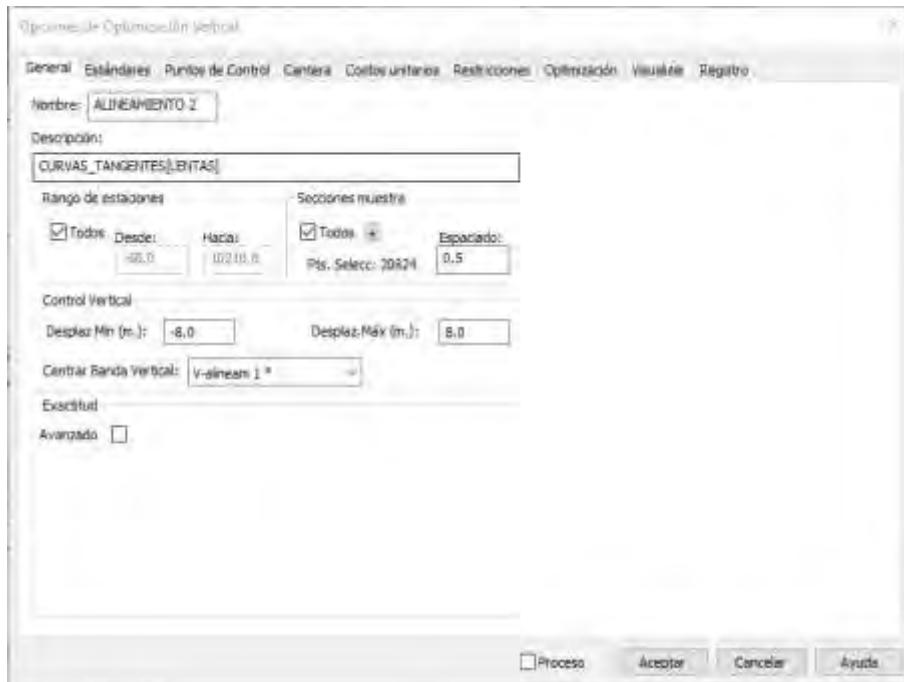


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Método N° 02: Curvas y Tangentes [Lentas]

Figura 17:

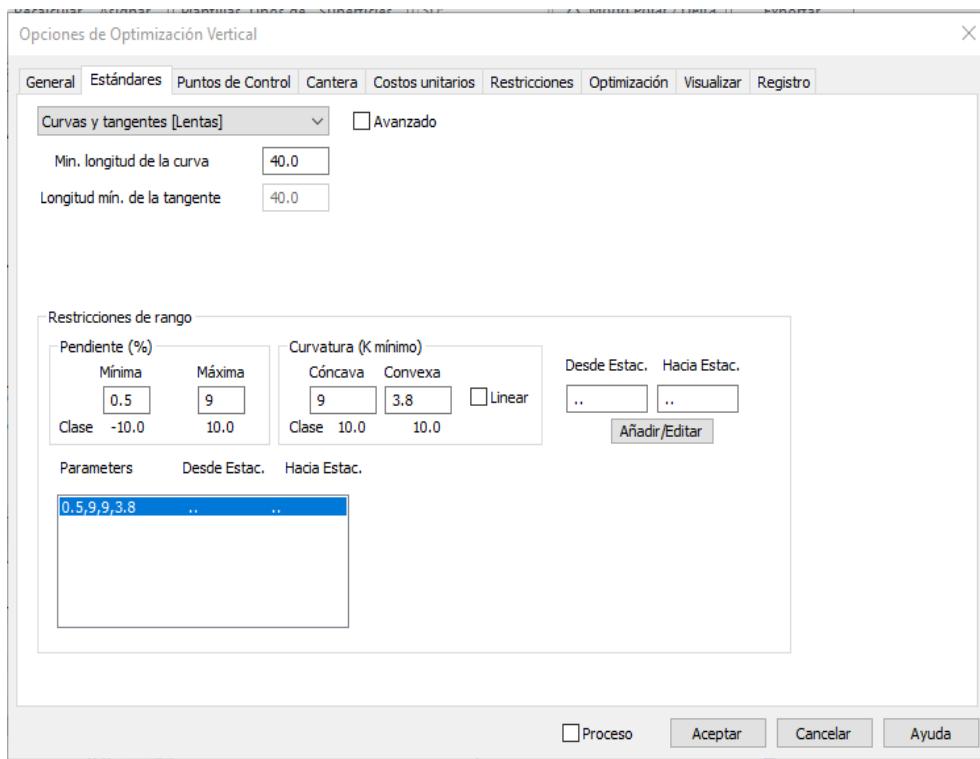
Opciones de optimización vertical "general"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 18:

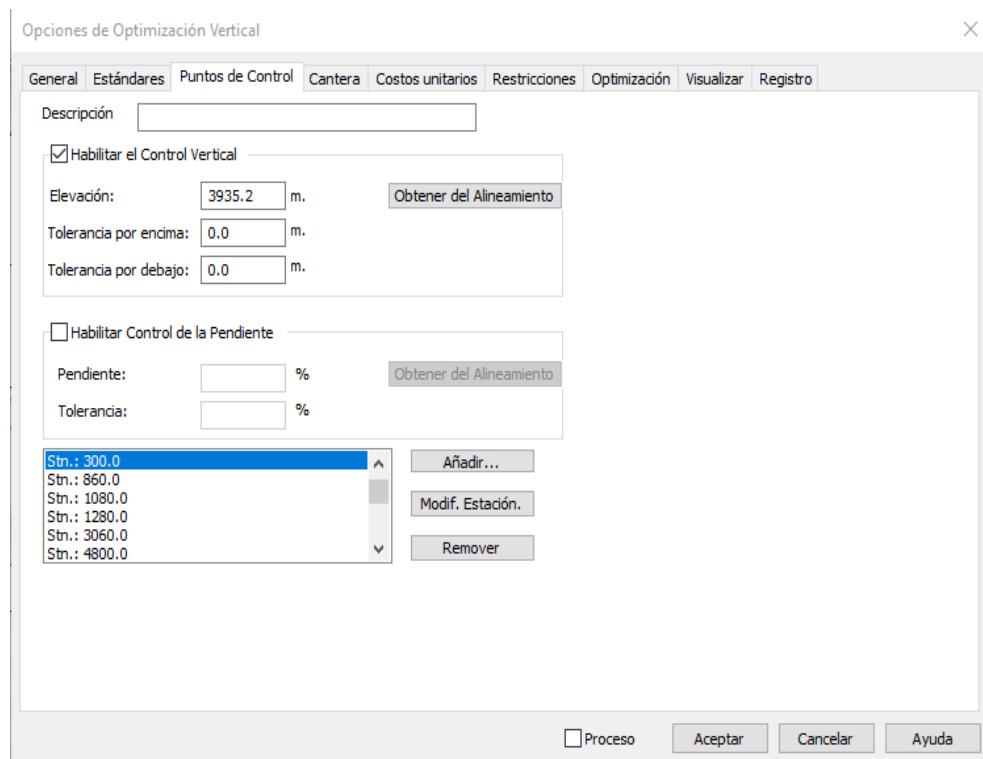
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) se elige el tipo de Método: Curvas y tangentes [lentas] 2) mínima longitud de la curva(m): el dato 40m se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softtree Optimal 2024

Figura 19:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

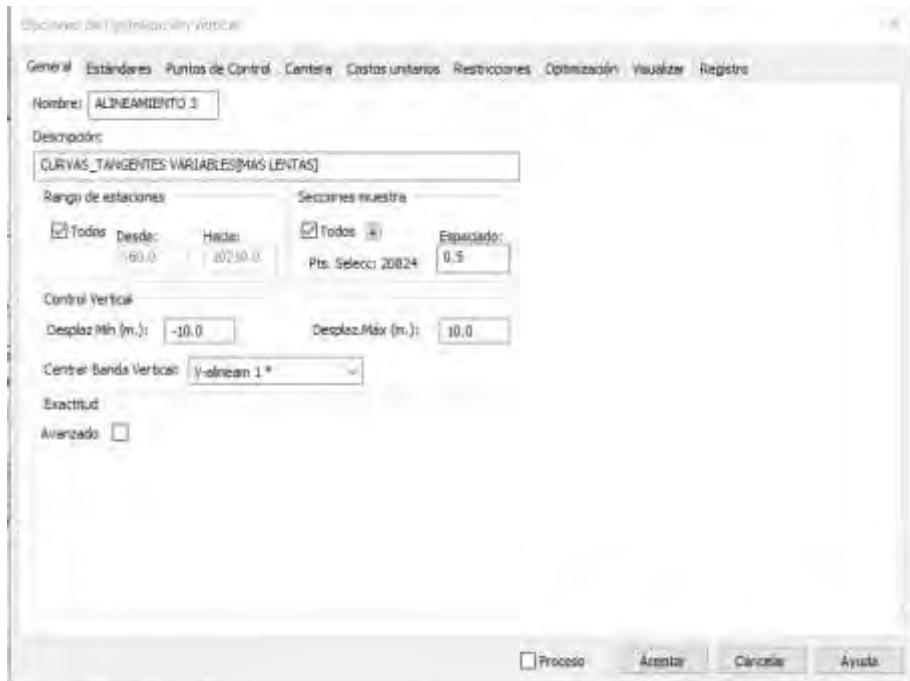


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Método N° 03: Curvas y Tangentes Variables [Mas Lentas]

Figura 20:

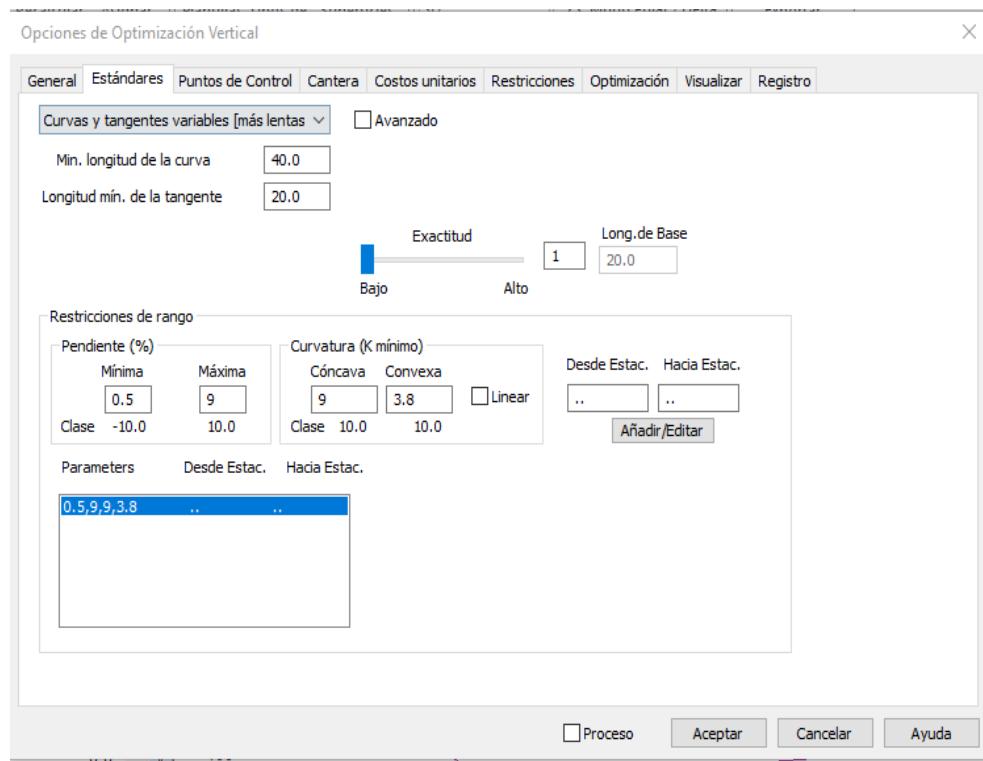
Opciones de optimización vertical "general"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 21:

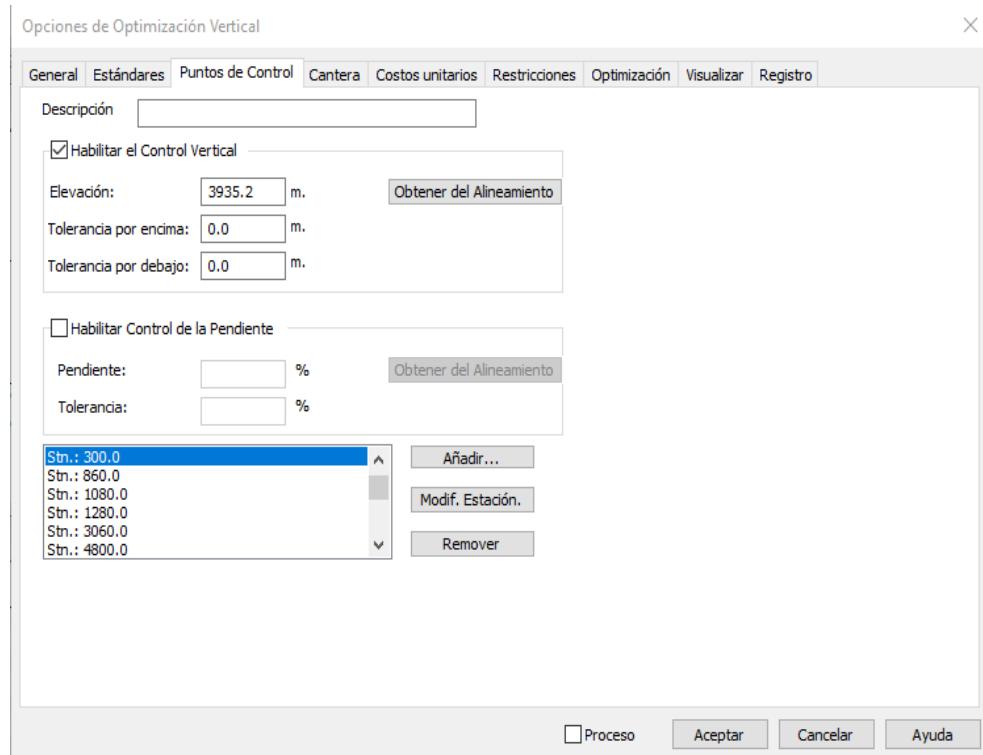
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa 1) se elige el tipo de Método: Curvas y tangentes variables [más lentas] 2) mínima longitud de la curva(m) y Longitud mínima de la tangente: el dato 40m y 20m respectivamente se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 22:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

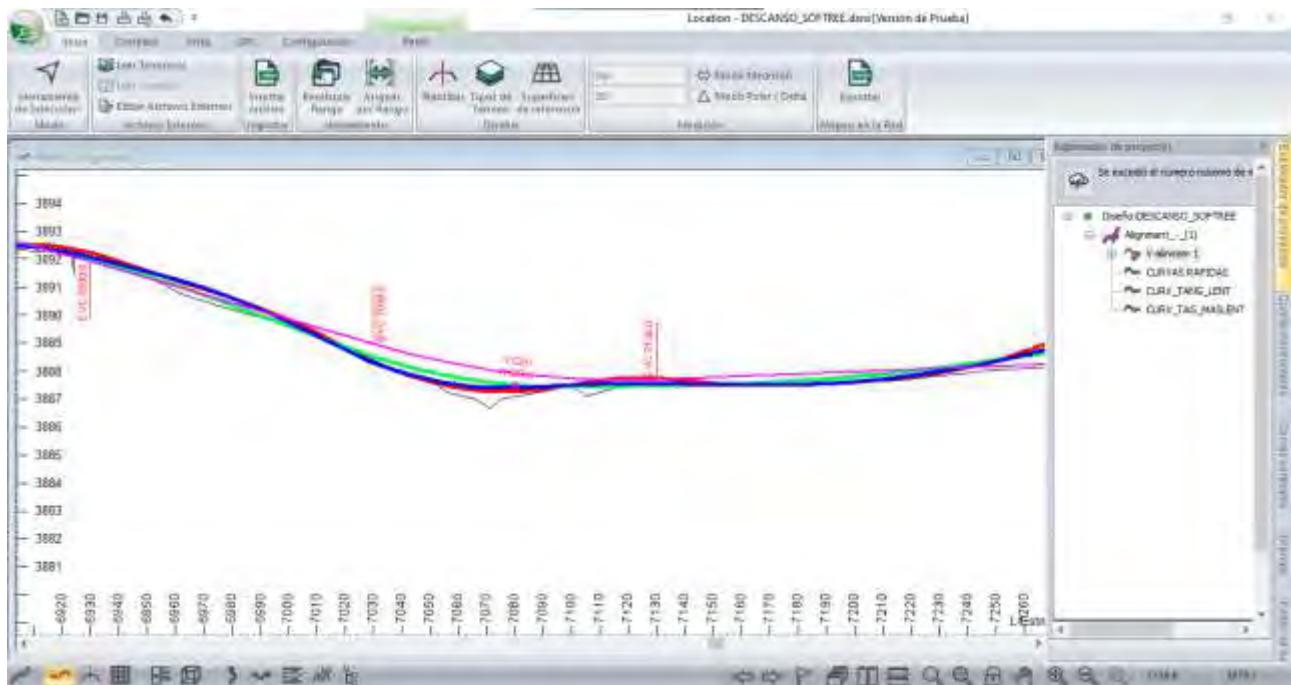


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

C) Etapa 03: Resultado de optimización

Figura 23:

Alineamiento vertical de expediente técnico y los optimizados



Nota. En la presente figura se muestra 1) color rojo: Curvas [rápidas] 2) Color verde: curvas y tangentes [lentas] 3) Curvas y tangentes variables [más lentas]. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

4.1.1.2.2. Expediente técnico N° 02

MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL CU-120, TRAMO EMP CU-119 (TINCOC) – EMP. CU 117 (CUSIBAMBA) EN LOS DISTRITOS DE PACCARITAMBO Y PARURO DE LA PROVINCIA DE PARURO – DEPARTAMENTO DE CUSCO.

A) Etapa 01: Importación de alineamiento vertical de Civil 3D a Softree Optimal

En esta etapa, los parámetros de entrada corresponden a las especificaciones de la clase de vía necesarias para la correcta importación del alineamiento vertical desde Autodesk Civil 3D hacia Softree Optima

Figura 24

Datos de especificaciones de la clase de vía



Nota. Los datos ingresados en la figura que se muestra son correspondientes al ítem 4.1.1.1.2.

Fuente: Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

B) Etapa 02: Optimización de alineamiento vertical

En esta etapa se introducen los parámetros necesarios para efectuar la optimización del alineamiento vertical, empleando los tres Métodos que ofrece el software Softtree Optimal.

B1) Parámetros de optimización según Diseño Geométrico DG-2018

Pendiente mínima: la norma establece una pendiente mínima de orden 0.5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales.

Pendiente máxima: la pendiente máxima según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla 303.01

Tabla 24:

Pendiente máxima

Demanda Vehículos/día	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
	Características		Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Primera clase	
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de tránsito: 30 km/h																				
40 km/h																	4.00	8.00	9.00	10.00
50 km/h																	6.00	9.00	8.00	8.00
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h					5.00	5.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	7.00	7.00			
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00							6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00											
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Parámetro de curvatura Convexa: el parámetro según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla

303.02

Tabla 25:

Parámetro de curvatura K

Tabla 303.02

Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical convexa en carreteras de Tercera Clase

Velocidad de diseño km/h	Longitud controlada por visibilidad de parada		Longitud controlada por visibilidad de paso	
	Distancia de visibilidad de parada	Índice de curvatura K	Distancia de visibilidad de paso	Índice de curvatura K
20	20	0.6		
30	35	1.9	200	46
40	50	3.8	270	84
50	65	6.4	345	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338
90	160	39	615	438

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Parámetro de curvatura Cónccava: el parámetro según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla

303.03

Tabla 26:

Parámetro de curvatura Cónccava

Tabla 303.03

Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical cónccava en carreteras de Tercera Clase

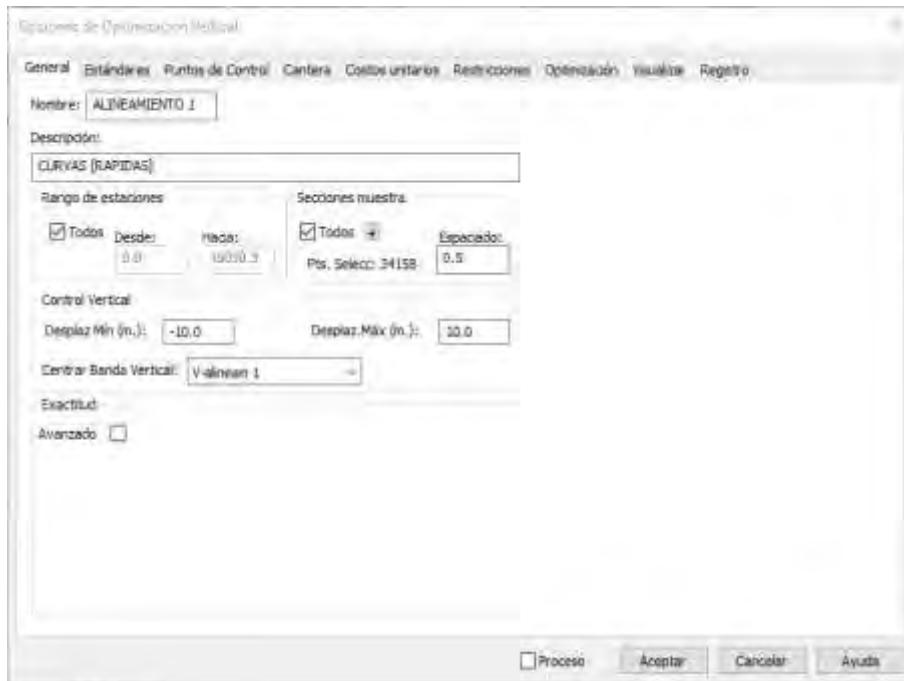
Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Índice de curvatura K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Método N° 01: Curvas [Rápidas]

Figura 25:

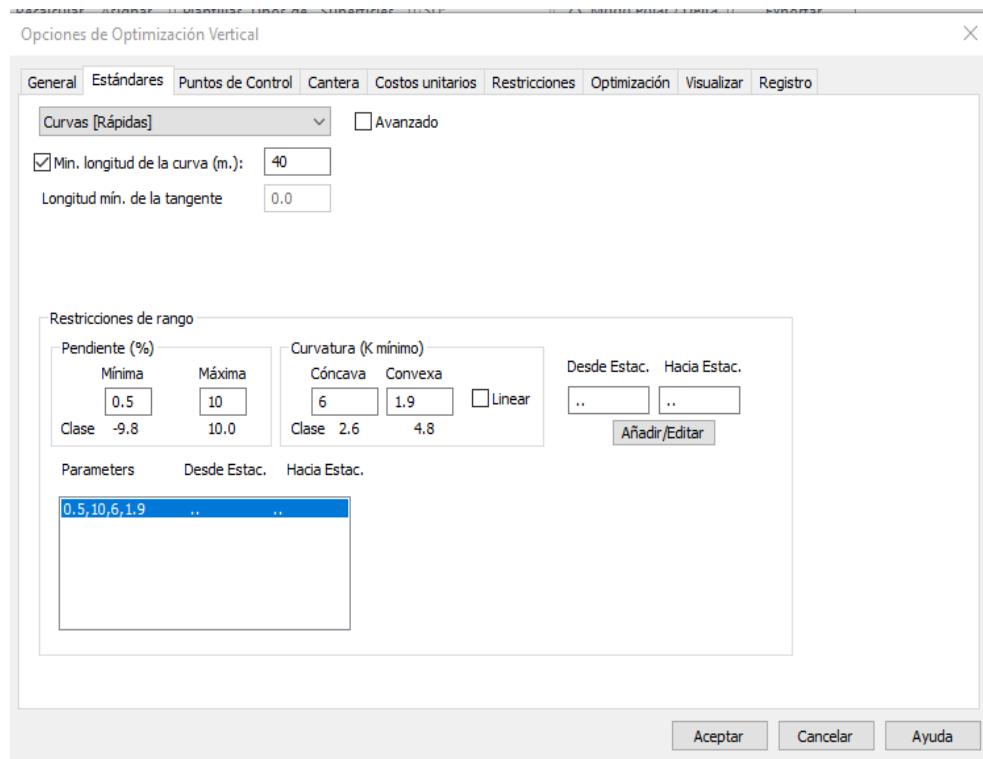
Opciones de optimización vertical "General"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 26:

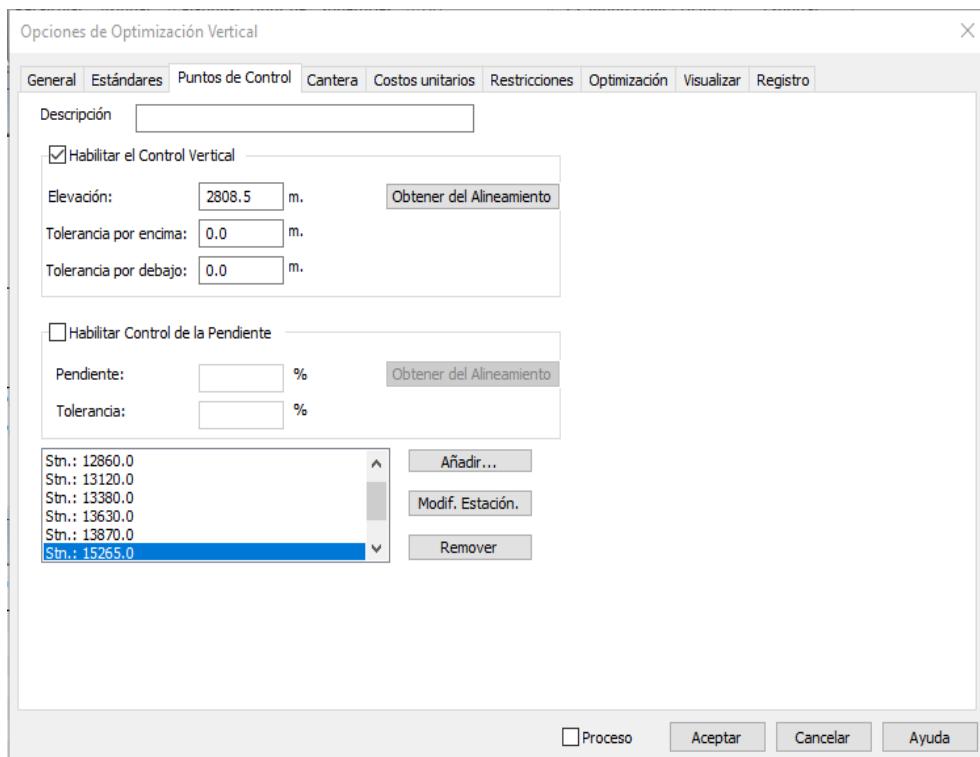
Opciones de optimización vertical



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) se elige el tipo de Método: Curvas [Rápidas] 2) mínima longitud de la curva(m): el dato 40m se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Figura 27:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

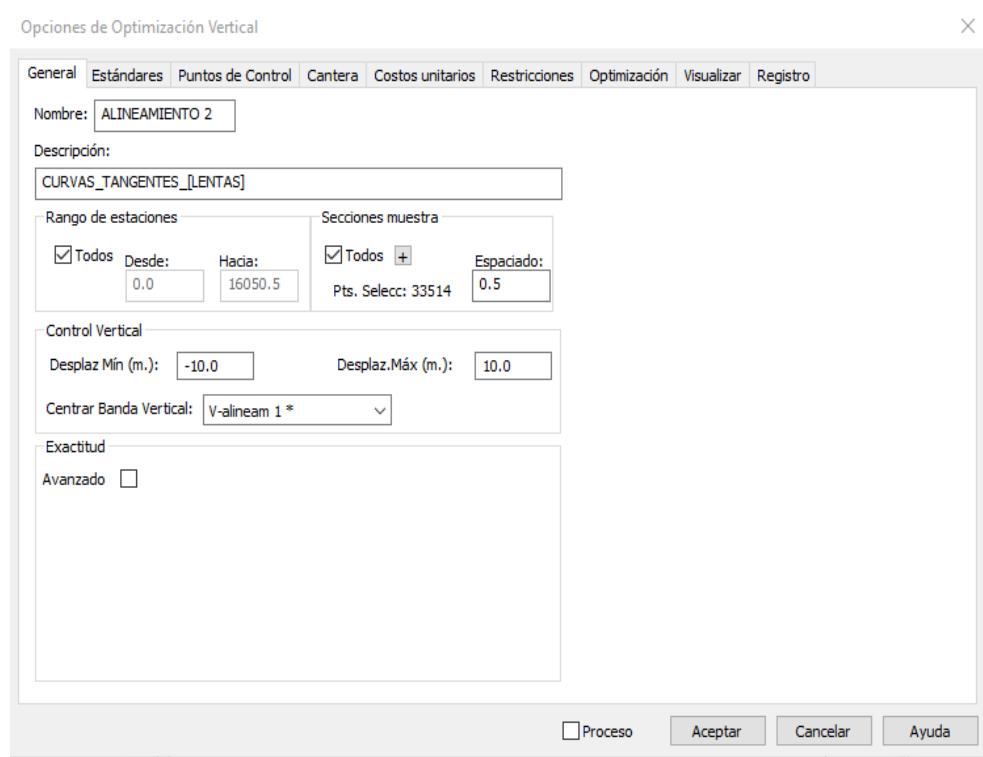


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Método N° 02: Curvas y Tangentes [Lentas]

Figura 28:

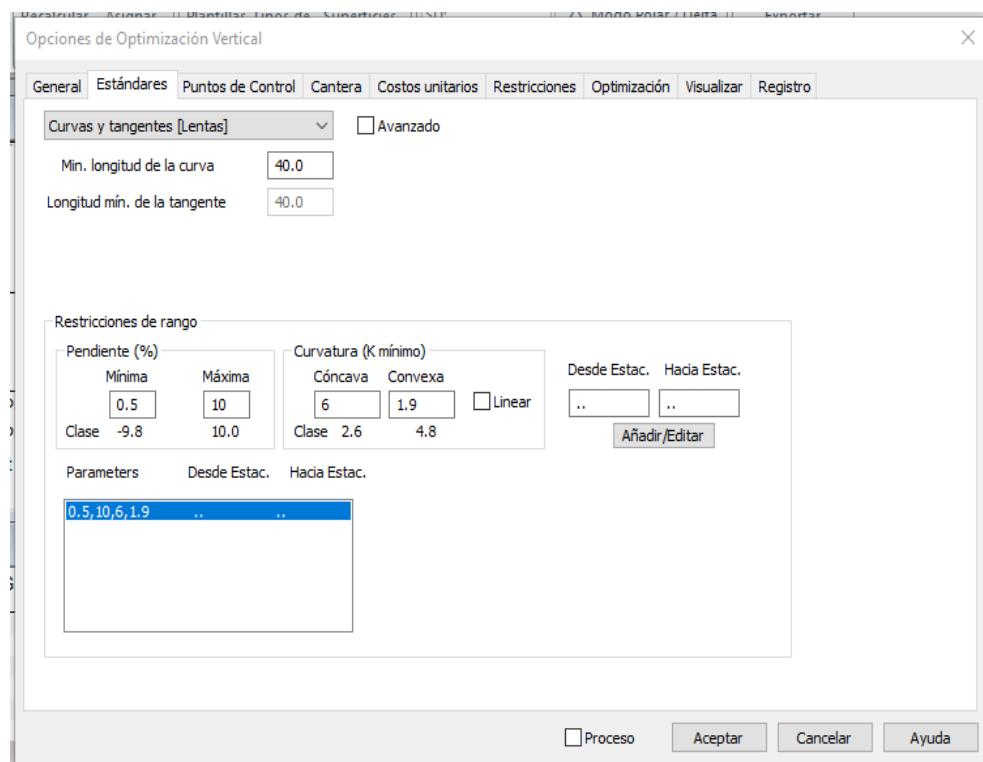
Opciones de optimización vertical "general"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 29:

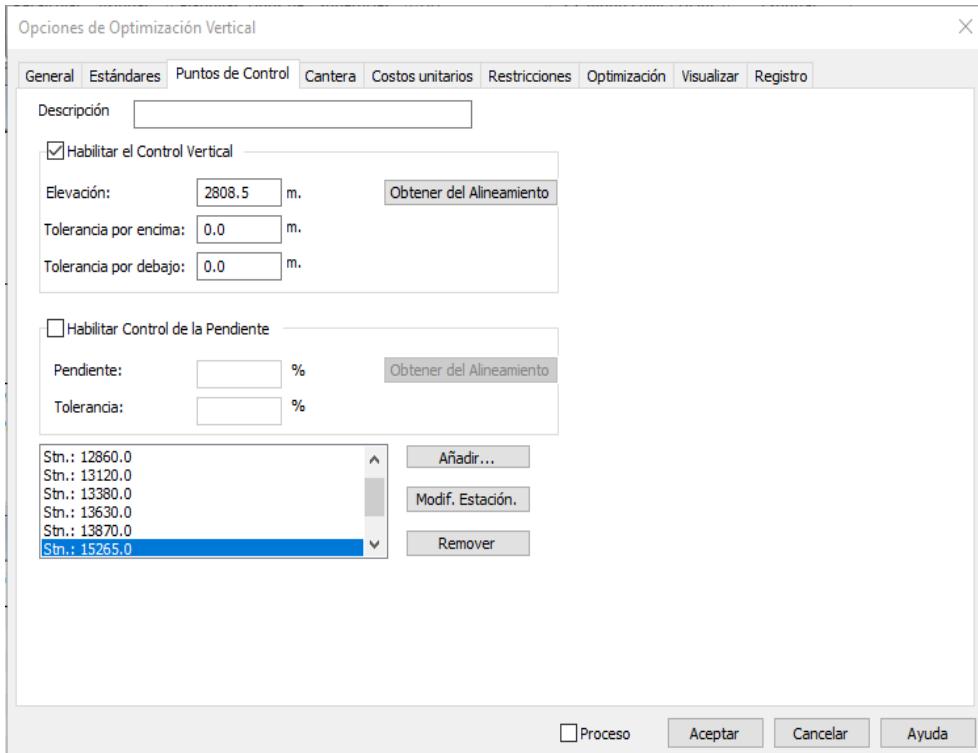
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) se elige el tipo de Método: Curvas y tangentes [lentas] 2) mínima longitud de la curva(m): el dato 40m se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softtree Optimal 2024.

Figura 30:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

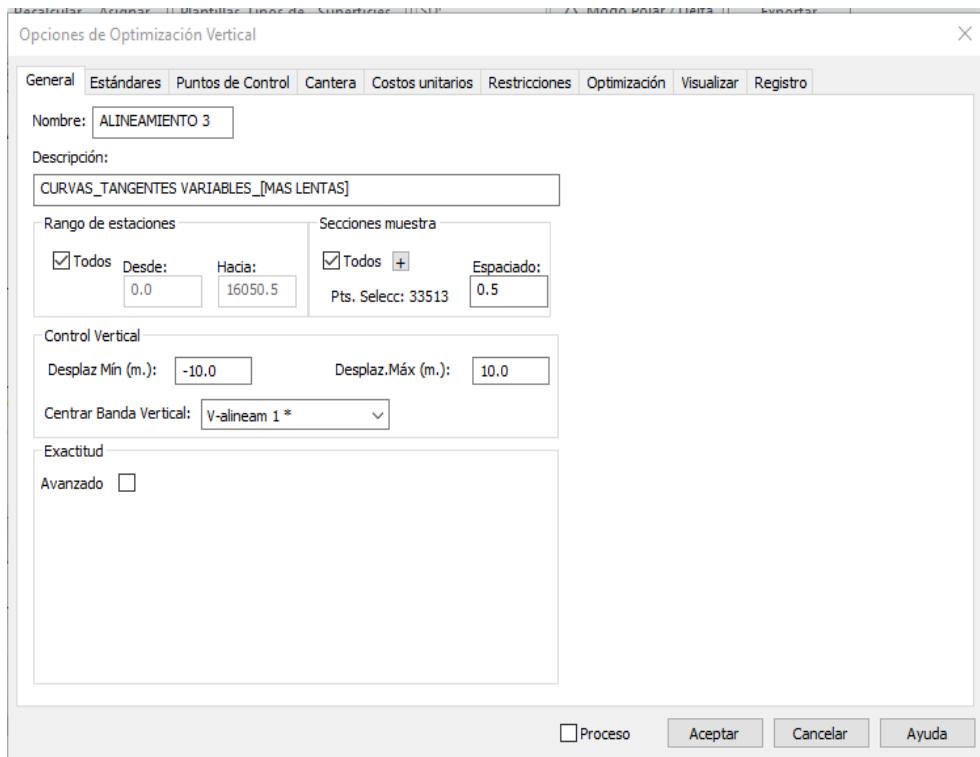


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Método N° 03: Curvas y Tangentes Variables [Mas Lentas]

Figura 31:

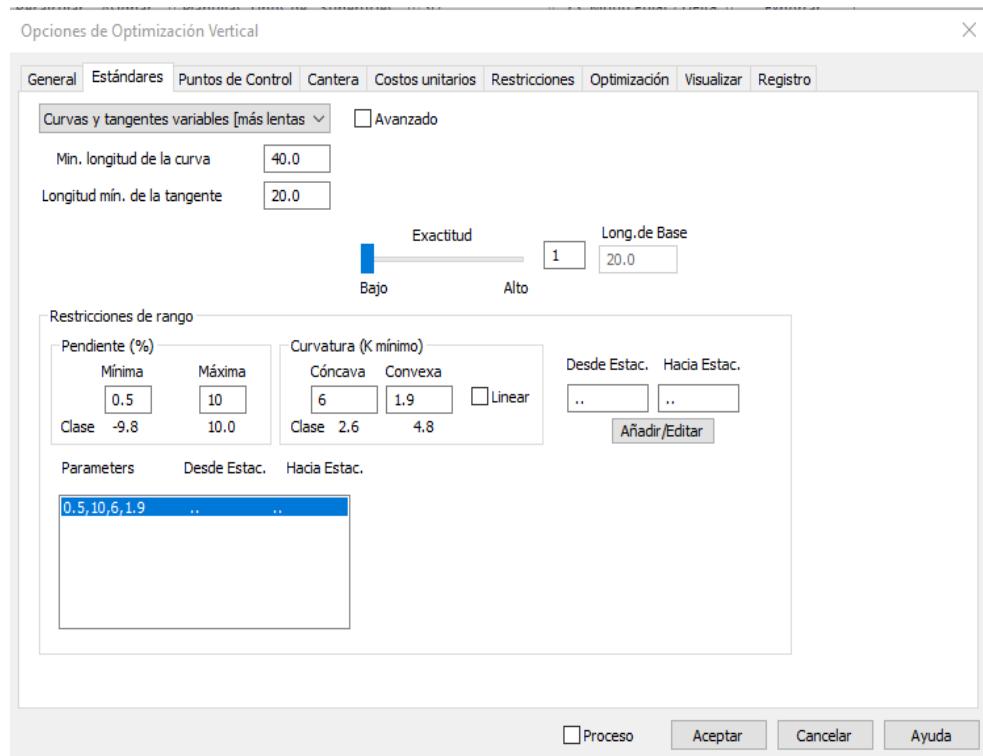
Opciones de optimización vertical "general"



Nota. En la presente figura se ingresa: 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

Figura 32:

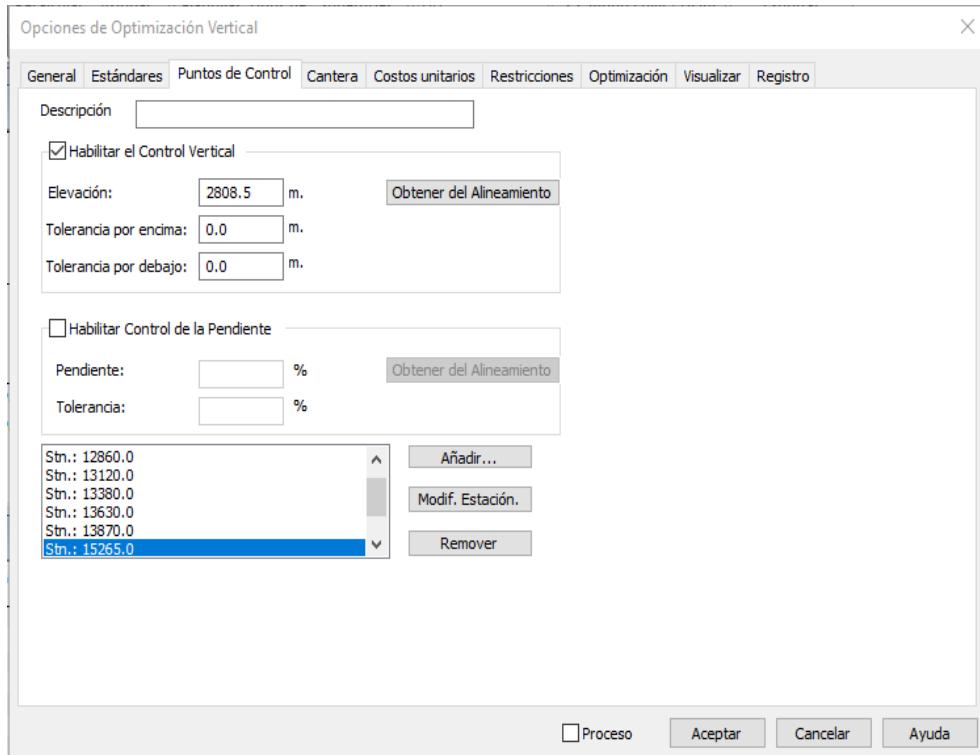
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa 1) se elige el tipo de Método: Curvas y tangentes variables [más lentas] 2) mínima longitud de la curva(m) y Longitud mínima de la tangente: el dato 40m y 20m respectivamente se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softtree Optimal 2024.

Figura 33:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

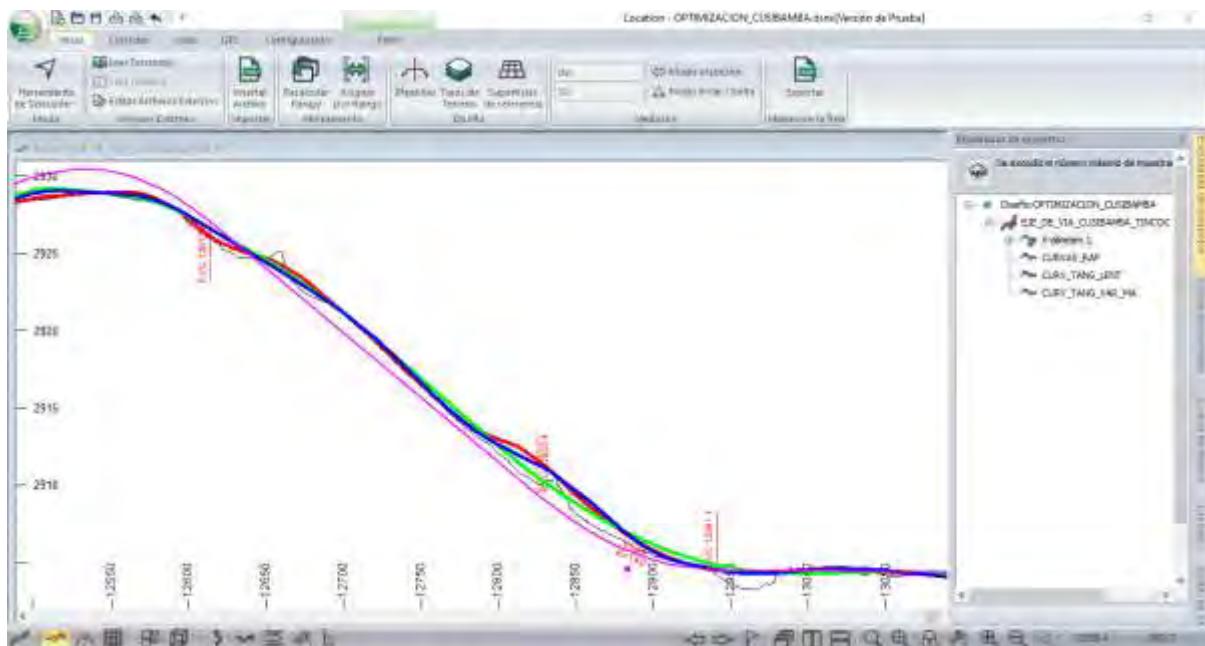


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

C) Etapa 03: Resultado de optimización

Figura 34:

Alineamiento vertical de expediente técnico y los optimizados



Nota. En la presente figura se muestra 1) color rojo: Curvas [rápidas] 2) Color verde: curvas y tangentes [lentas] 3) Color azul: Curvas y tangentes variables [más lentas]. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

4.1.1.2.3. Expediente técnico N° 03

MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA, EN LA VIA VECINAL CU 902 – TRAMO CCPHS HUAROCONDO Y ZURITE EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y ZURITE DE LA PROVINCIA DE ANTA – DEPARTAMENTO DE CUSCO.

A) Etapa 01: Importación de alineamiento vertical de Civil 3D a Softree Optimal

En esta etapa, los parámetros de entrada corresponden a las especificaciones de la clase de vía necesarias para la correcta importación del alineamiento vertical desde Autodesk Civil 3D hacia Softree Optima.

Figura 35

Datos de especificaciones de la clase de vía



Nota. Los datos ingresados en la figura que se muestra son correspondientes al ítem 4.1.1.1.4.

Fuente: Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

B) Etapa 02: Optimización de alineamiento vertical

En esta etapa se introducen los parámetros necesarios para efectuar la optimización del alineamiento vertical, empleando los tres Métodos que ofrece el software Softree Optimal.

B1) Parámetros de optimización según Diseño Geométrico DG-2018

Pendiente mínima: la norma establece una pendiente mínima de orden 0.5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales.

Pendiente máxima: la pendiente máxima según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla 303.01

Tabla 27:

Pendiente máxima

Demandas	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4.001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
	Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Primera clase		Segunda clase	
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																				10.00±0.00
40 km/h																				9.00±0.00
50 km/h																				8.00±0.00
60 km/h																				7.00±0.00
70 km/h																				6.00±0.00
80 km/h																				5.00±0.00
90 km/h																				4.50±0.00
100 km/h																				4.00±0.00
110 km/h																				3.50±0.00
120 km/h																				
130 km/h																				

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Parámetro de curvatura Convexa: el parámetro según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla 303.02

Tabla 28:

Parámetro de curvatura K

Velocidad de diseño km/h	Longitud controlada por visibilidad de parada		Longitud controlada por visibilidad de paso	
	Distancia de visibilidad de parada	Índice de curvatura K	Distancia de visibilidad de paso	Índice de curvatura K
20	20	0.6		
30	35	1.9	200	46
40	50	3.8	270	84
50	65	6.4	345	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338
90	160	39	615	438

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Parámetro de curvatura Cóncava: el parámetro según el DG 2018 se indicada en la siguiente Tabla 303.03

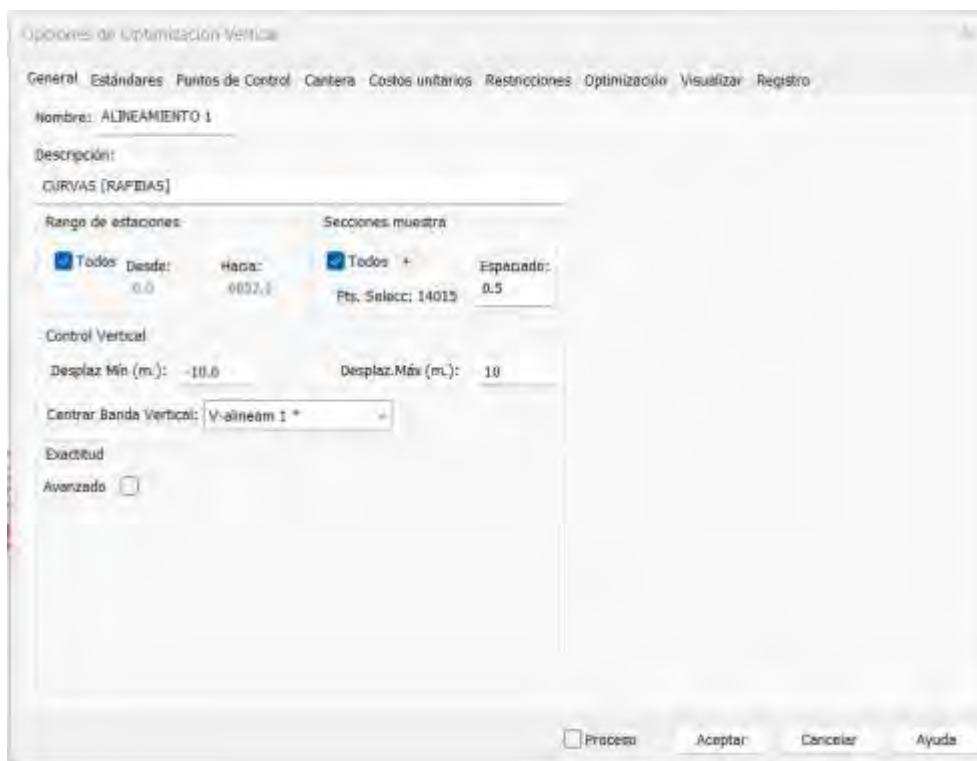
Tabla 29:

Parámetro de curvatura Cóncava

Tabla 303.03
Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical cóncava en carreteras de Tercera Clase

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Índice de curvatura K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38

Nota. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

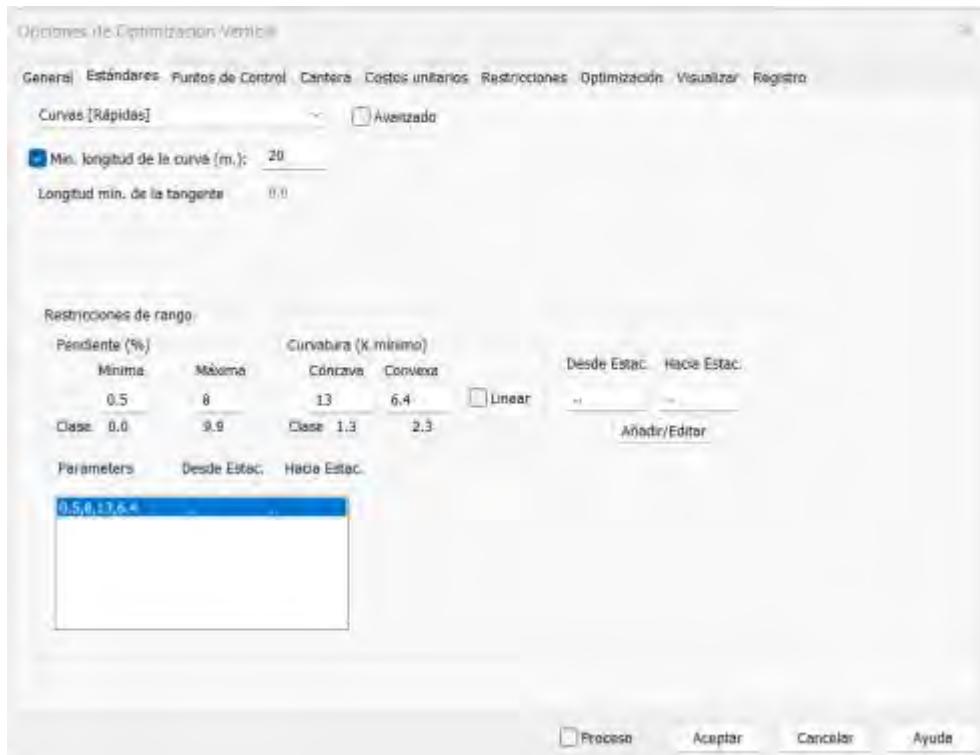
Método N° 01: Curvas [Rápidas]**Figura 36:***Opciones de optimización vertical "General"*

Nota. En la presente figura ingresa 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que

durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Figura 37:

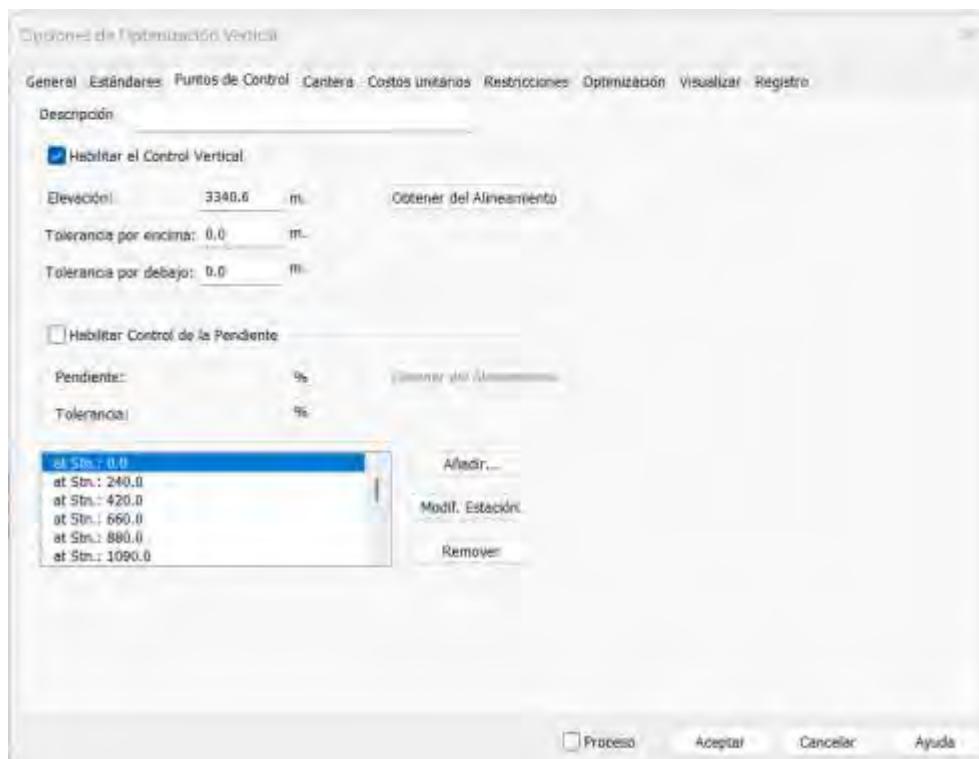
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa 1) se elige el tipo de Método: Curvas [Rápidas] 2) mínima longitud de la curva(m): el dato 20m se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Figura 38:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"



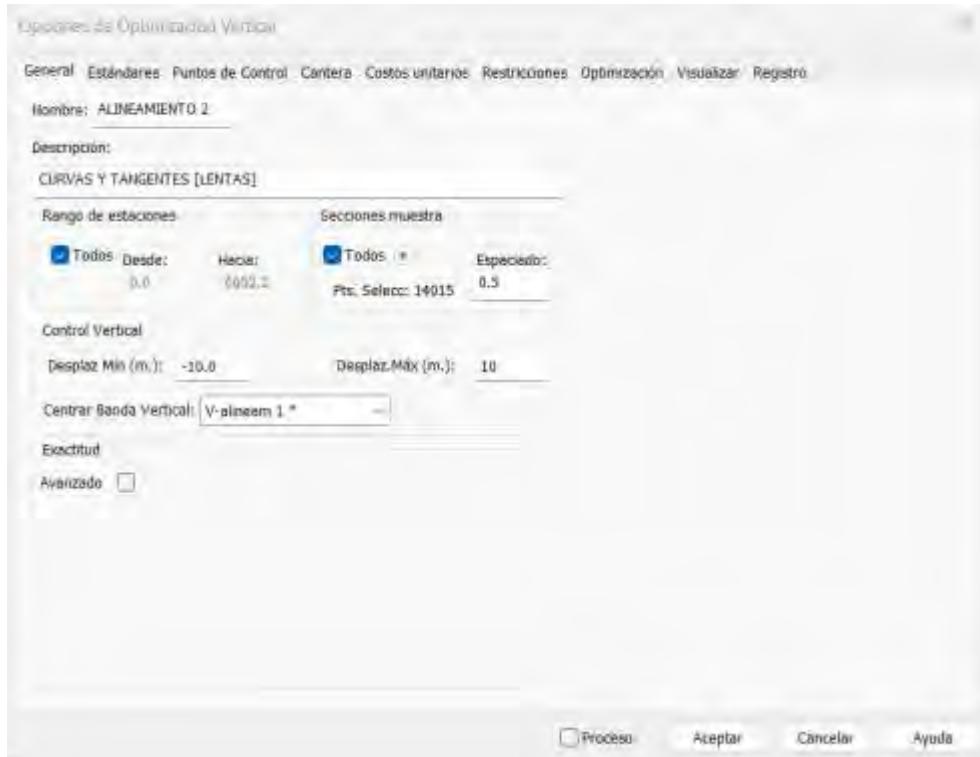
Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota.

Fuente: Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Método N° 02: Curvas y Tangentes [Lentas]

Figura 39:

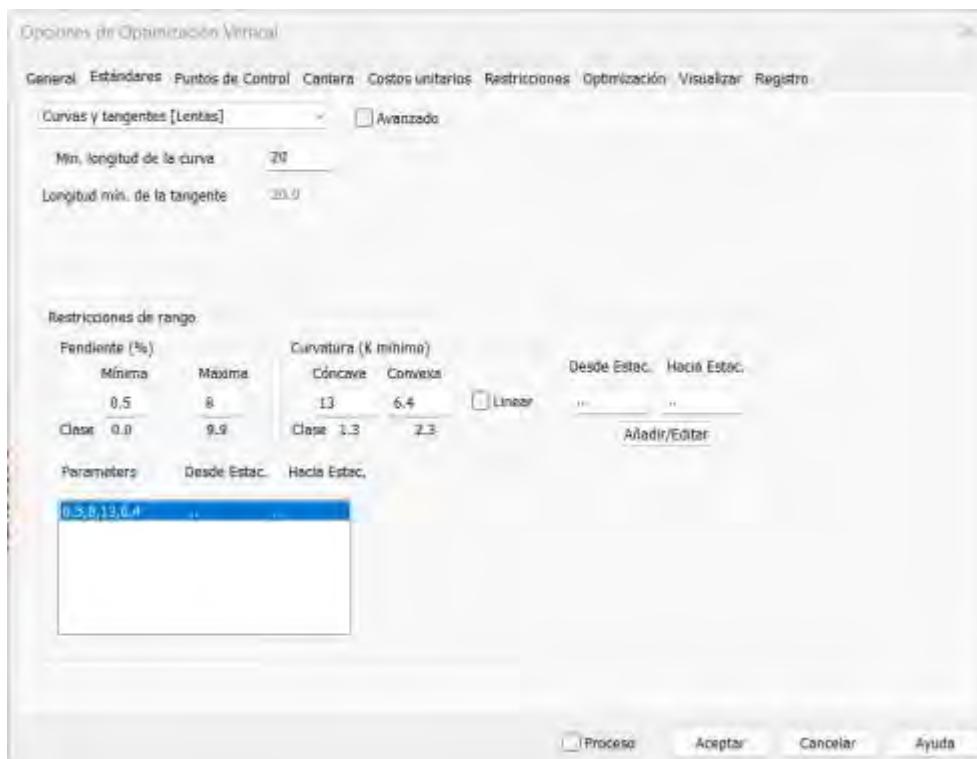
Opciones de optimización vertical "general"



Nota. En la presente figura ingresa 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Figura 40:

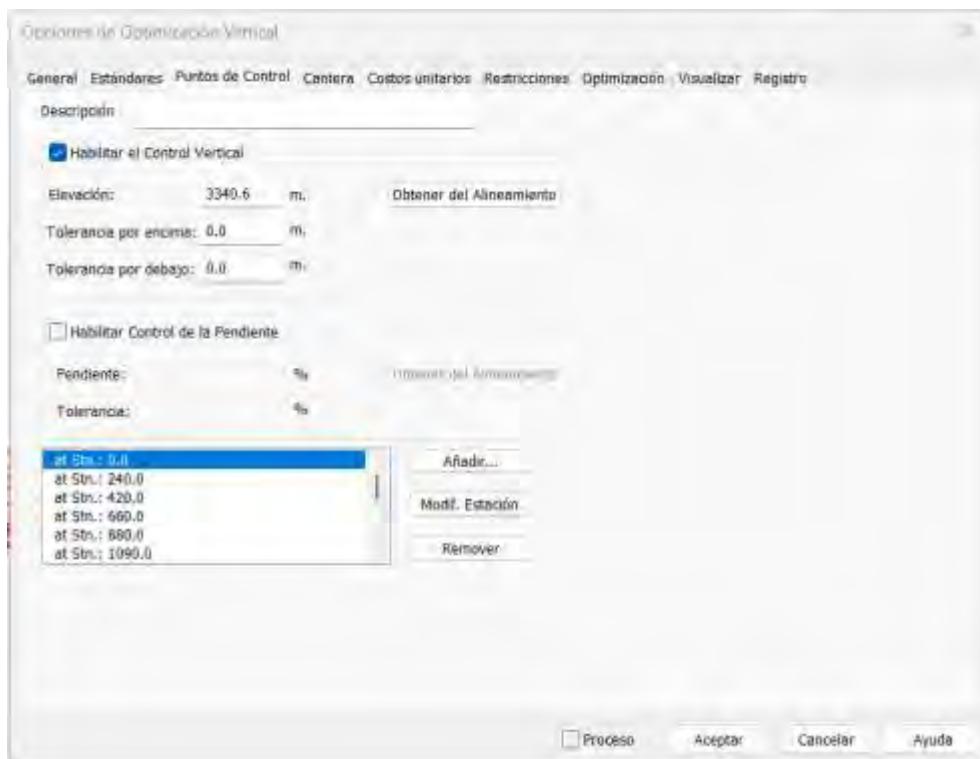
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa 1) se elige el tipo de Método: Curvas y tangentes [lentas] 2) mínima longitud de la curva(m): el dato 20m se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softtree Optimal 2024

Figura 41:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

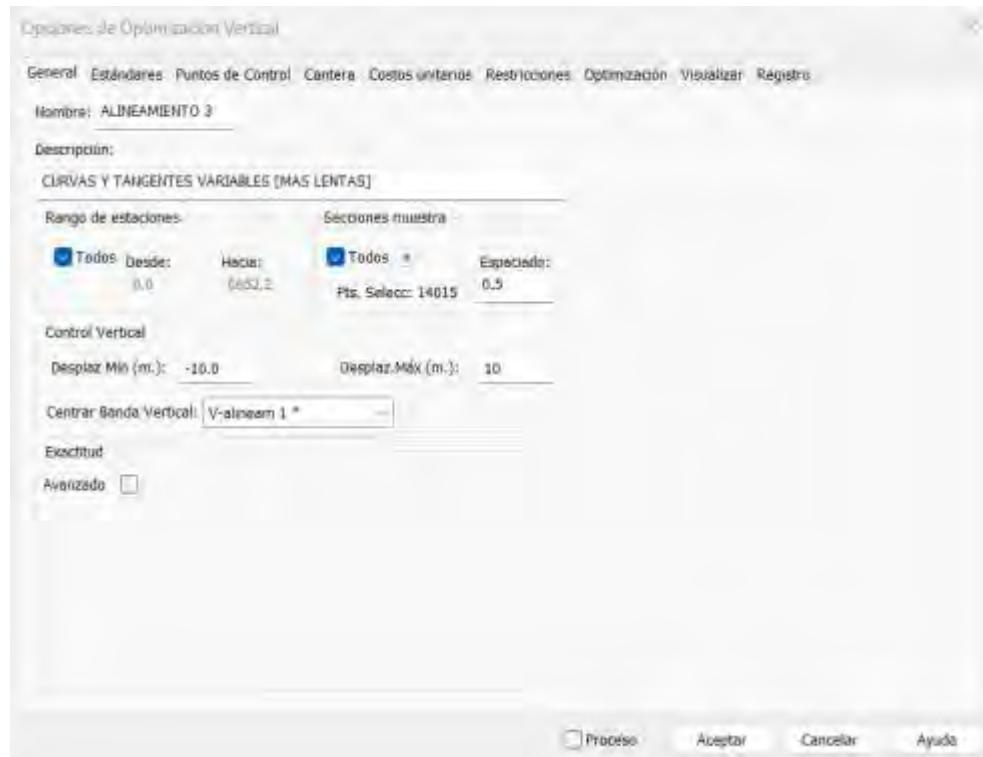


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softtree Optimal 2024.

Método N° 03: Curvas y Tangentes Variables [Mas Lentas]

Figura 42:

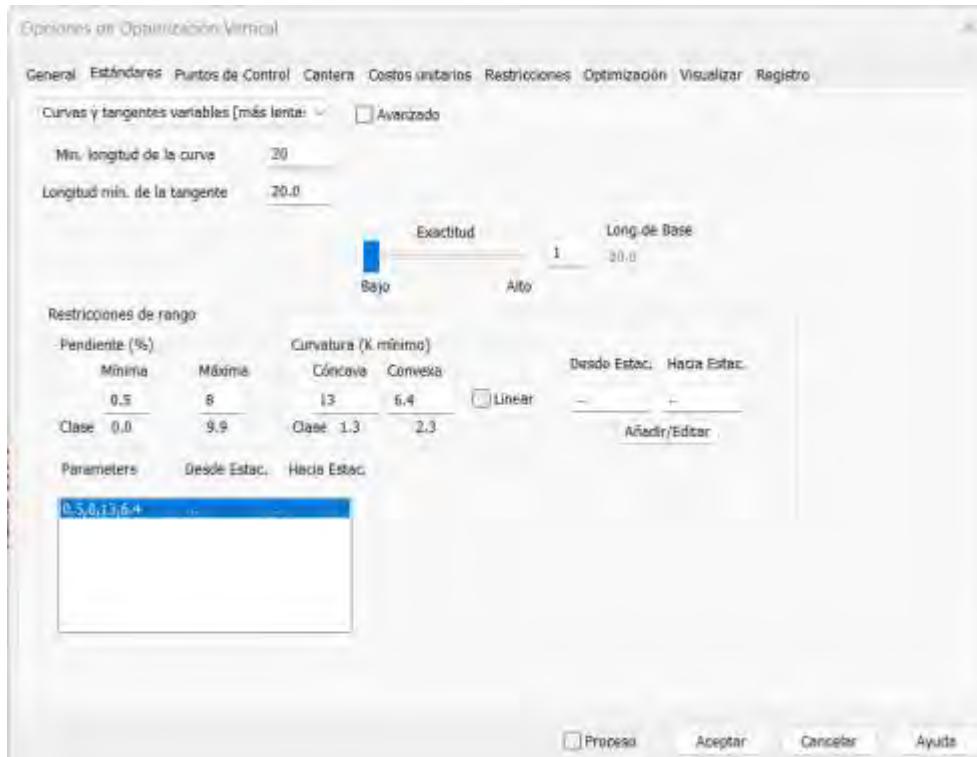
Opciones de optimización vertical "general"



Nota. En la presente figura ingresa 1) Nombre y descripción 2) rango de estaciones: donde indica el progresiva de inicio y final de la optimización 3) Sección de muestra: donde el espaciamiento indica que la optimización es más efectiva 4) Control vertical: indica que durante el proceso de optimización el alineamiento vertical se mueve dentro de dicho rango comprendido entre mínimo y máximo valor. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

Figura 43:

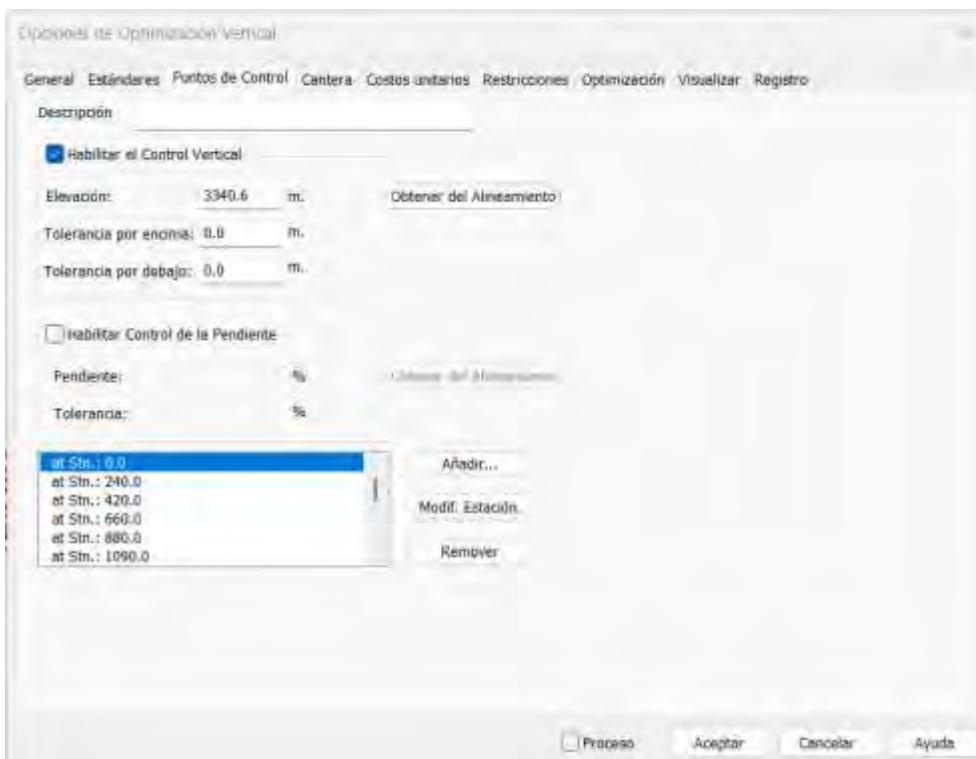
Opciones de optimización vertical "estándares"



Nota. En la presente figura se ingresa 1) se elige el tipo de Método: Curvas y tangentes variables [más lentas] 2) mínima longitud de la curva(m) y Longitud mínima de la tangente: el dato 30m y 30m respectivamente se obtiene de la norma DG-18 3) Restricciones de rango: los datos de pendiente (%) y Curvatura (K mínimo) se obtiene según la norma DG-18. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softtree Optimal 2024.

Figura 44:

Opciones de optimización vertical "Puntos de control"

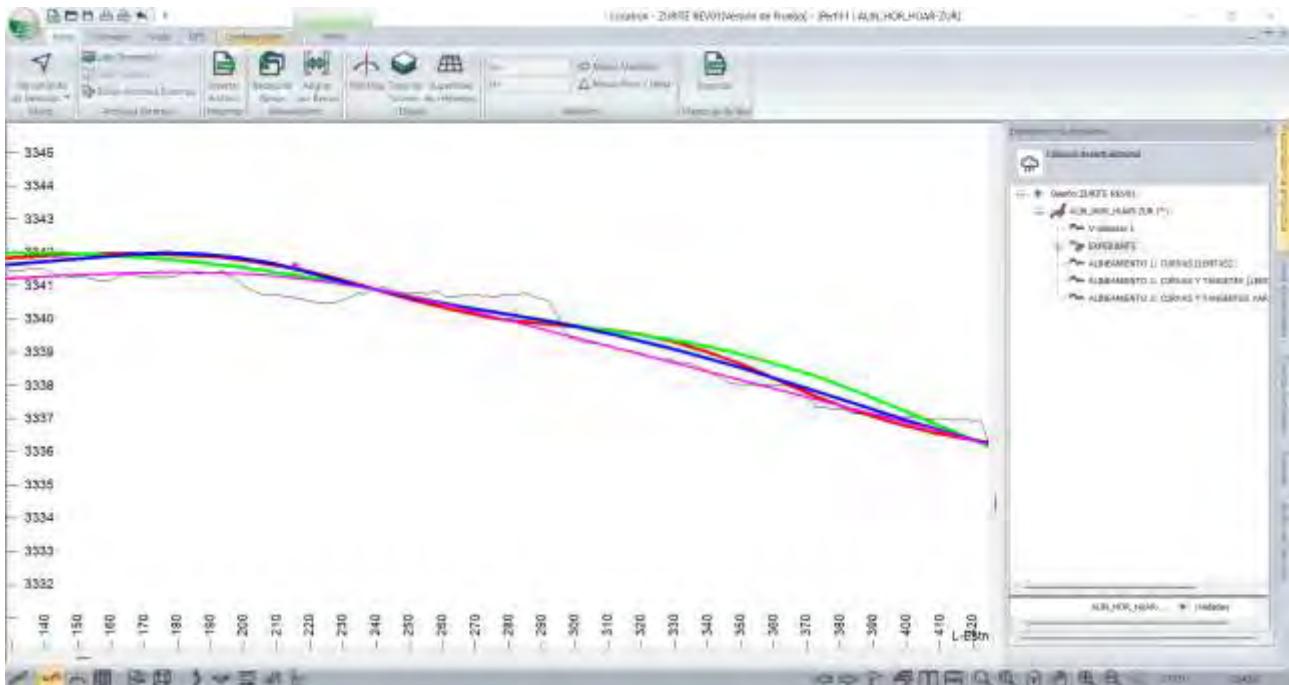


Nota. En la presente figura se ingresa 1) esta sección es para fijar aquellas progresivas de alineamiento en donde durante el proceso de optimización no tiene variación en cota. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024

C) Etapa 03: Resultado de optimización

Figura 45:

Alineamiento vertical de expediente técnico y los optimizados



Nota. En la presente figura se muestra 1) color rojo: Curvas [rápidas] 2) Color verde: curvas y tangentes [lentas] 3) Color azul: Curvas y tangentes variables [más lentas]. *Fuente:* Elaboración propia con el uso de Softree Optimal 2024.

4.2. RESULTADOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1. Resultados de la variación de corte/relleno en función del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras.

4.2.1.1 Expediente técnico N° 01

Tabla 30

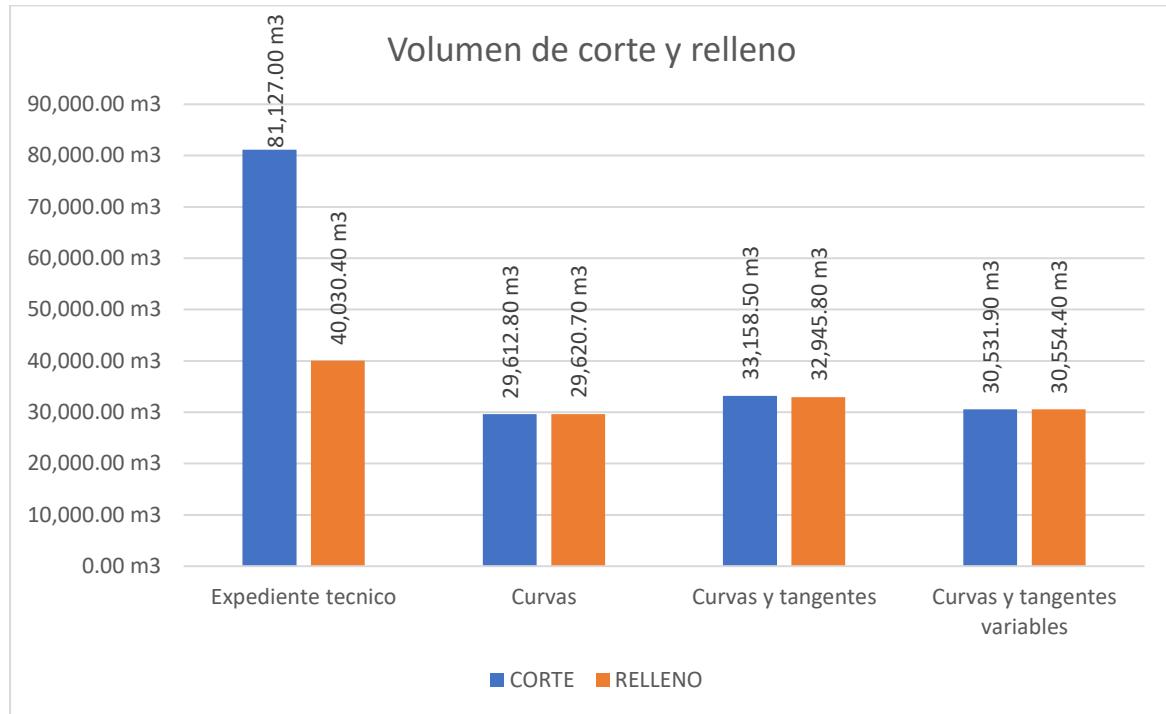
Tabla resumen de los volúmenes de corte y relleno.

	CORTE	RELLENO
Expediente Técnico	81,127.00 m ³	40,030.40 m ³
Curvas	29,612.80 m ³	29,620.70 m ³
Curvas Tangentes	33,158.50 m ³	32,945.80 m ³
Curvas y Tangentes Variables	30,531.90 m ³	30,554.40 m ³

Nota. En la presente tabla se muestra los volúmenes totales de corte y relleno correspondientes al alineamiento vertical del expediente técnico original aprobado, así como de los tres alineamientos optimizados mediante el software Softree Optimal. Estos valores se obtuvieron a partir de las tablas detalladas en el ANEXO de la presente investigación. *Fuente:* Elaboración propia

Figura 46

Gráfico de volúmenes de corte y relleno



Nota. En la imagen se muestra la comparación de los volúmenes de corte y relleno correspondientes al alineamiento vertical del expediente técnico original aprobado y a los tres alineamientos optimizados mediante el software Softree Optimal. *Fuente:* elaboración propia.

4.2.1.2 Expediente técnico N° 02

Tabla 31

Tabla resumen de los volúmenes de corte y relleno.

	CORTE	RELLENO
Expediente Técnico	561,968.10 m³	164,085.50 m³
Curvas	220,152.20 m³	155,011.40 m³
Curvas Tangentes	226,383.10 m³	157,941.40 m³
Curvas y Tangentes Variables	221,779.60 m³	155,651.80 m³

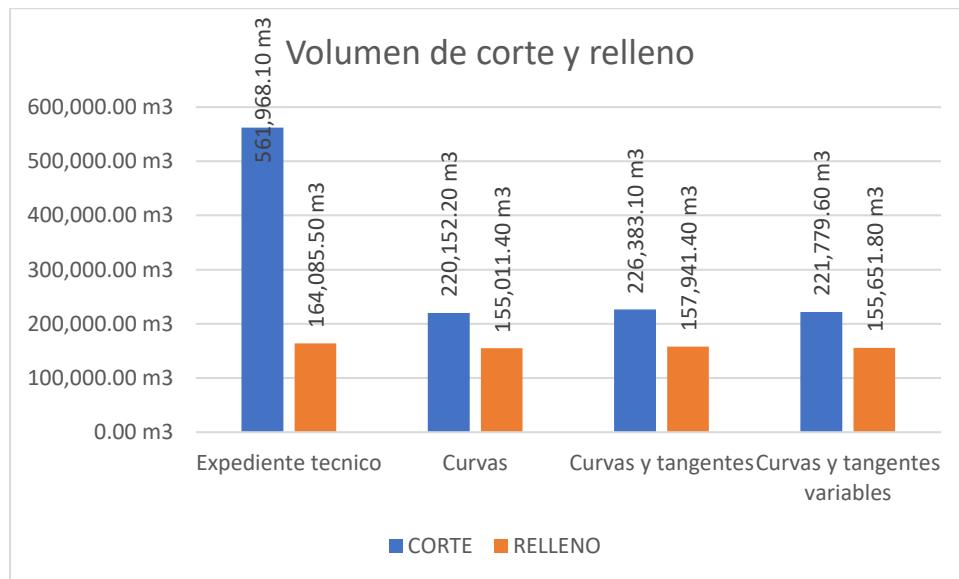
Nota. En la presente tabla se muestra los volúmenes totales de corte y relleno correspondientes al alineamiento vertical del expediente técnico original aprobado, así como de los tres alineamientos optimizados mediante el software Softree Optimal. Estos valores se obtuvieron

a partir de las tablas detalladas en el ANEXO de la presente investigación. *Fuente:*

Elaboración propia

Figura 47

Gráfico de volúmenes de corte y relleno



Nota. En la imagen se muestra la comparación de los volúmenes de corte y relleno correspondientes al alineamiento vertical del expediente técnico original aprobado y a los tres alineamientos optimizados mediante el software Softree Optimal. *Fuente:* elaboración propia.

4.2.1.3 Expediente técnico N° 03

Tabla 32

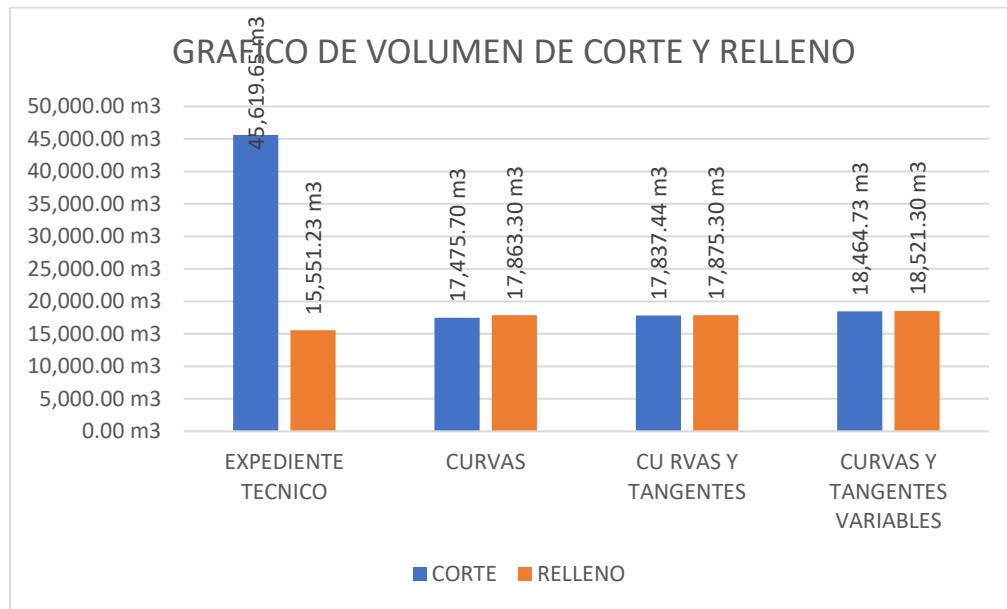
Tabla resumen de los volúmenes de corte y relleno.

	CORTE	RELLENO
Expediente técnico	45,619.65 m ³	15,551.23 m ³
Curvas	17,475.7 m ³	17,863.30 m ³
Curvas y tangentes	17,837.44 m ³	17,875.30 m ³
Curvas y tangentes variables	18,464.73 m ³	18,521.30 m ³

Nota. En la presente tabla se muestra los volúmenes totales de corte y relleno correspondientes al alineamiento vertical del expediente técnico original aprobado, así como de los tres alineamientos optimizados mediante el software Softree Optimal. Estos valores se obtuvieron a partir de las tablas detalladas en el ANEXO de la presente investigación. *Fuente:* elaboración propia.

Figura 48

Gráfico de volúmenes de corte y relleno



Nota. En la imagen se muestra la comparación de los volúmenes de corte y relleno correspondientes al alineamiento vertical del expediente técnico original aprobado y a los tres alineamientos optimizados mediante el software Softree Optimal. *Fuente:* elaboración propia.

4.2.2. Resultado de análisis del alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018.

4.2.2.1 Expediente técnico N° 01

Análisis de Pendientes del alineamiento vertical del Expediente Técnico Aprobado

Tabla 33

Verificación de pendientes según DG-2018

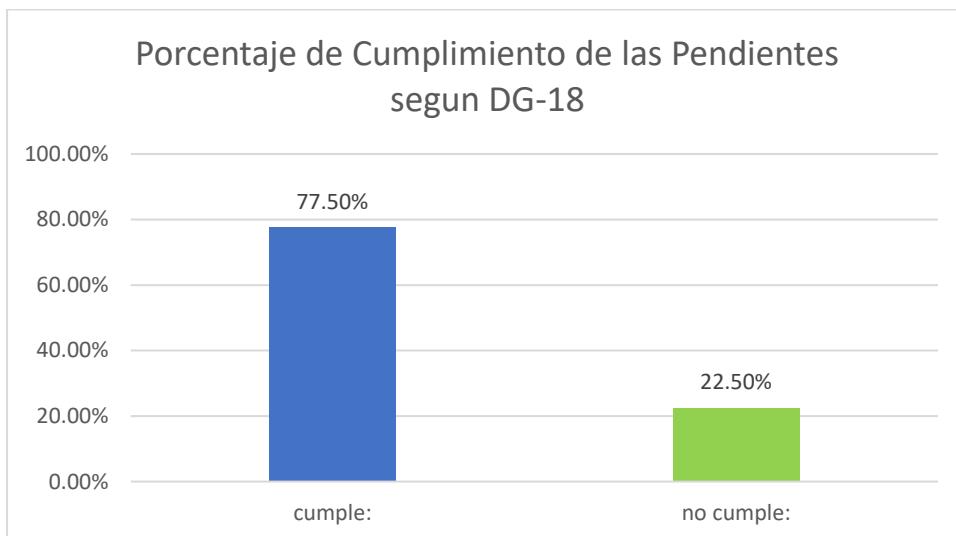
No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Verificación
1	-0+060.00m	3935.231m		-1.54%			Cumple
2	-0+020.00m	3934.617m	-1.54%	1.88%	3.42%		Cumple
3	0+000.00m	3934.994m	1.88%	0.13%	1.75%		No cumple
4	0+017.00m	3934.994m	0.13%	2.69%	2.56%		Cumple
5	0+120.00m	3937.760m	2.69%	-1.42%	4.11%	Crest	Cumple
6	0+302.00m	3935.177m	-1.42%	0.49%	1.91%	Sag	No cumple
7	0+640.00m	3936.819m	0.49%	-1.51%	2.00%	Crest	Cumple
8	1+048.00m	3930.645m	-1.51%	0.13%	1.64%		No cumple
9	1+055.00m	3930.645m	0.13%	0.80%	0.67%		Cumple
10	1+200.00m	3931.800m	0.80%	-0.69%	1.49%	Crest	Cumple
11	1+420.00m	3930.274m	-0.69%	1.58%	2.27%	Sag	Cumple
12	1+620.00m	3933.434m	1.58%	-4.39%	5.97%	Crest	Cumple
13	1+814.65m	3924.889m	-4.39%	0.13%	4.52%		No cumple
14	1+821.65m	3924.889m	0.13%	-0.72%	0.85%		Cumple
15	2+340.00m	3921.151m	-0.72%	-1.93%	1.21%	Crest	Cumple
16	2+549.50m	3917.109m	-1.93%	0.13%	2.06%		No cumple
17	2+559.50m	3917.109m	0.13%	1.47%	1.34%		Cumple
18	3+200.00m	3926.496m	1.47%	-1.19%	2.66%	Crest	Cumple
19	3+720.00m	3920.304m	-1.19%	-1.87%	0.68%	Crest	Cumple
20	4+400.00m	3907.609m	-1.87%	-0.42%	1.45%	Sag	No cumple
21	4+610.00m	3906.721m	-0.42%	-0.96%	0.54%		Cumple
22	4+802.00m	3904.879m	-0.96%	-2.51%	1.55%	Crest	Cumple
23	5+000.00m	3899.900m	-2.51%	-0.52%	1.99%	Sag	Cumple
24	5+220.00m	3898.756m	-0.52%	-2.81%	2.29%	Crest	Cumple
25	5+430.00m	3892.847m	-2.81%	0.84%	3.65%	Sag	Cumple
26	5+640.00m	3894.604m	0.84%	-0.43%	1.27%	Crest	No cumple
27	6+060.00m	3892.809m	-0.43%	4.32%	4.75%	Sag	Cumple
28	6+300.00m	3903.179m	4.32%	-2.81%	7.13%	Crest	Cumple
29	6+520.00m	3897.000m	-2.81%	-1.00%	1.81%	Sag	Cumple
30	6+880.00m	3893.393m	-1.00%	-2.95%	1.95%	Crest	Cumple
31	7+080.00m	3887.500m	-2.95%	0.40%	3.35%	Sag	No cumple
32	7+435.00m	3888.936m	0.40%	-1.57%	1.97%	Crest	Cumple

33	7+760.00m	3883.835m	-1.57%	-0.92%	0.65%	Cumple
34	7+950.00m	3882.092m	-0.92%	-0.54%	0.38%	Cumple
35	8+140.00m	3881.068m	-0.54%	-1.47%	0.93%	Cumple
36	8+600.00m	3874.299m	-1.47%	-0.61%	0.86%	Sag Cumple
37	9+120.00m	3871.130m	-0.61%	-0.88%	0.27%	Cumple
38	9+460.00m	3868.150m	-0.88%	-0.50%	0.38%	Cumple
39	9+805.00m	3866.425m	-0.50%	-0.70%	0.20%	Cumple
40	10+080.00m	3864.505m	-0.70%	0.13%	0.83%	No cumple
41	10+200.00m	3864.661m	0.13%			

Nota. elaboración propia

Figura 49

Porcentaje de cumplimiento de las pendientes según DG-2018



Nota. La figura muestra que el 77.50% y 22.50% cumplen y no cumplen respectivamente con los valores mínimos y máximos de pendientes establecidos en DG-2018 *Fuente:* elaboración propia.

Análisis del Parámetro de curvatura “K” del alineamiento vertical del Expediente

Técnico Aprobado.

Tabla 34:

Verificación de parámetro de curvatura K

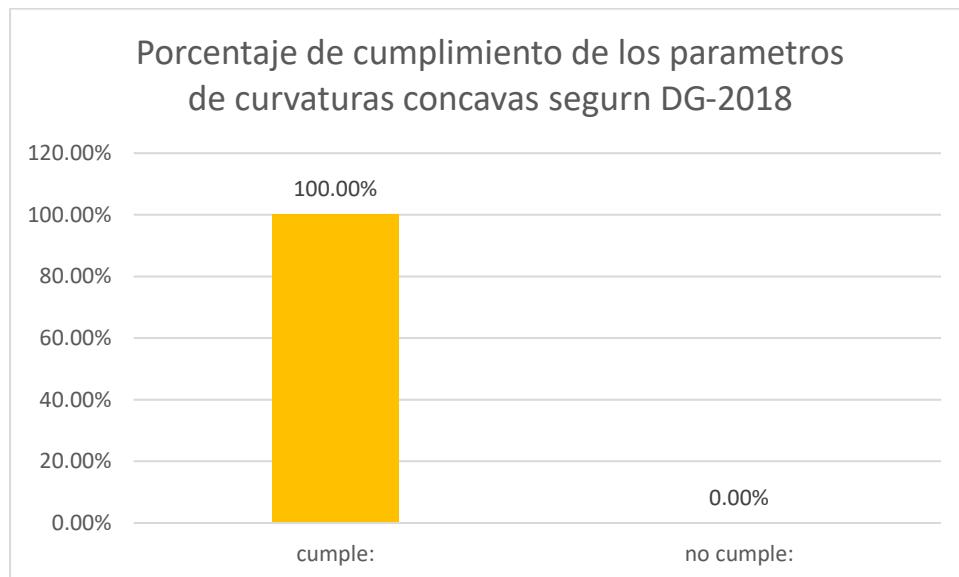
No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	K Value	Verificación
1	-0+060.00m	3935.231m		-1.54%				
2	-0+020.00m	3934.617m	-1.54%	1.88%	3.42%			
3	0+000.00m	3934.994m	1.88%	0.00%	1.88%			
4	0+017.00m	3934.994m	0.00%	2.69%	2.69%			
5	0+120.00m	3937.760m	2.69%	-1.42%	4.10%	Crest	19.49	cumple
6	0+302.00m	3935.177m	-1.42%	0.49%	1.91%	Sag	41.99	cumple
7	0+640.00m	3936.819m	0.49%	-1.51%	2.00%	Crest	50.03	cumple
8	1+048.00m	3930.645m	-1.51%	0.00%	1.51%			
9	1+055.00m	3930.645m	0.00%	0.80%	0.80%			
10	1+200.00m	3931.800m	0.80%	-0.69%	1.49%	Crest	53.69	cumple
11	1+420.00m	3930.274m	-0.69%	1.58%	2.27%	Sag	35.19	cumple
12	1+620.00m	3933.434m	1.58%	-4.39%	5.97%	Crest	20.10	cumple
13	1+814.65m	3924.889m	-4.39%	0.00%	4.39%			
14	1+821.65m	3924.889m	0.00%	-0.72%	0.72%			
15	2+340.00m	3921.151m	-0.72%	-1.93%	1.21%	Crest	66.19	cumple
16	2+549.50m	3917.109m	-1.93%	0.00%	1.93%			
17	2+559.50m	3917.109m	0.00%	1.47%	1.47%			
18	3+200.00m	3926.496m	1.47%	-1.19%	2.66%	Crest	45.18	cumple
19	3+720.00m	3920.304m	-1.19%	-1.87%	0.68%	Crest	177.45	cumple
20	4+400.00m	3907.609m	-1.87%	-0.42%	1.44%	Sag	55.39	cumple
21	4+610.00m	3906.721m	-0.42%	-0.96%	0.54%			
22	4+802.00m	3904.879m	-0.96%	-2.51%	1.56%	Crest	51.44	cumple
23	5+000.00m	3899.900m	-2.51%	-0.52%	1.99%	Sag	50.13	cumple
24	5+220.00m	3898.756m	-0.52%	-2.81%	2.29%	Crest	43.59	cumple
25	5+430.00m	3892.847m	-2.81%	0.84%	3.65%	Sag	27.39	cumple
26	5+640.00m	3894.604m	0.84%	-0.43%	1.26%	Crest	79.11	cumple
27	6+060.00m	3892.809m	-0.43%	4.32%	4.75%	Sag	25.27	cumple
28	6+300.00m	3903.179m	4.32%	-2.81%	7.13%	Crest	16.83	cumple
29	6+520.00m	3897.000m	-2.81%	-1.00%	1.81%	Sag	55.35	cumple
30	6+880.00m	3893.393m	-1.00%	-2.95%	1.94%	Crest	51.43	cumple
31	7+080.00m	3887.500m	-2.95%	0.40%	3.35%	Sag	29.84	cumple
32	7+435.00m	3888.936m	0.40%	-1.57%	1.97%	Crest	70.92	cumple
33	7+760.00m	3883.835m	-1.57%	-0.92%	0.65%			
34	7+950.00m	3882.092m	-0.92%	-0.54%	0.38%			

35	8+140.00m	3881.068m	-0.54%	-1.47%	0.93%				
36	8+600.00m	3874.299m	-1.47%	-0.61%	0.86%	Sag	92.79	cumple	
37	9+120.00m	3871.130m	-0.61%	-0.88%	0.27%				
38	9+460.00m	3868.150m	-0.88%	-0.50%	0.38%				
39	9+805.00m	3866.425m	-0.50%	-0.70%	0.20%				
40	10+080.00m	3864.505m	-0.70%	0.13%	0.83%				
41	10+200.00m	3864.661m	0.13%						

Nota. elaboración propia

Figura 50

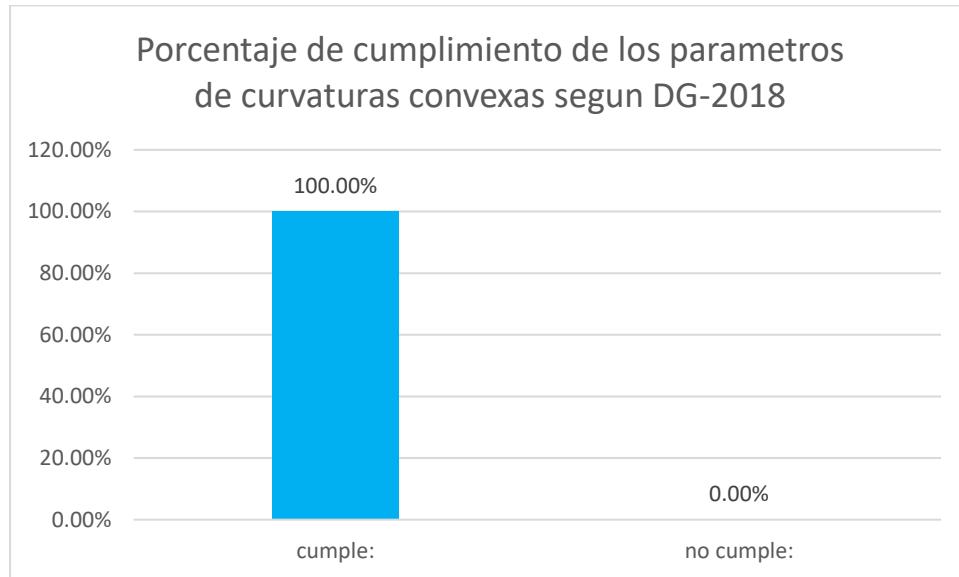
Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” cóncava



Nota. La imagen muestra el porcentaje de parámetros de curvatura cóncavas que cumplen con los valores mínimos establecidos en el DG-2018. En este caso, el 100 % de los parámetros de curvatura utilizados en el diseño de la vía se encuentran dentro del rango permitido por la norma. Fuente: elaboración propia

Figura 51

Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” convexa



Nota. La imagen muestra el porcentaje de parámetros de curvatura convexas que cumplen con los valores mínimos establecidos en el DG-2018. En este caso, el 100 % de los parámetros de curvatura utilizados en el diseño de la vía se encuentran dentro del rango permitido por la norma. *Fuente:* elaboración propia.

4.2.2.2 Expediente técnico N° 02

Análisis de Pendientes del alineamiento vertical del Expediente Técnico Aprobado

Tabla 35:

Verificación de pendiente

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Verificación
1	0+000.000m	2644.648m		4.31%			Cumple
2	0+176.104m	2652.242m	4.31%	-6.17%	10.49%	Crest	Cumple
3	0+482.199m	2633.348m	-6.17%	-0.84%	5.33%	Sag	Cumple
4	0+747.673m	2631.111m	-0.84%	3.32%	4.16%	Sag	Cumple
5	0+962.441m	2638.232m	3.32%	-7.02%	10.33%	Crest	Cumple
6	1+189.516m	2622.297m	-7.02%	5.79%	12.80%	Sag	Cumple
7	1+428.491m	2636.126m	5.79%	-0.61%	6.40%	Crest	Cumple
8	1+786.637m	2633.929m	-0.61%	-2.29%	1.67%	Crest	Cumple
9	1+937.861m	2630.469m	-2.29%	2.92%	5.21%	Sag	Cumple

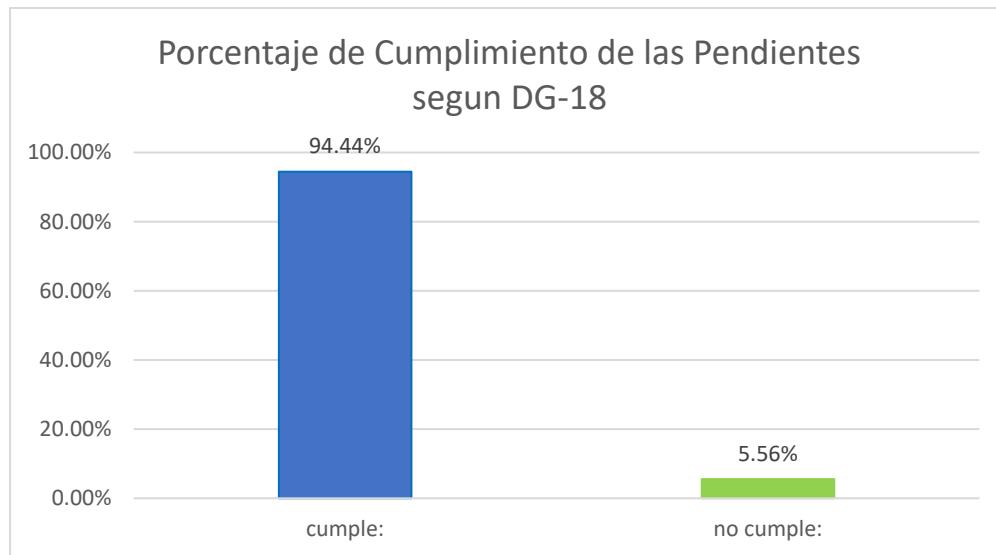
10	2+097.686m	2635.132m	2.92%	-0.65%	3.57%	Crest	Cumple
11	2+284.550m	2633.909m	-0.65%	5.74%	6.40%	Sag	Cumple
12	2+671.859m	2656.146m	5.74%	-0.61%	6.35%	Crest	Cumple
13	2+921.582m	2654.625m	-0.61%	6.98%	7.59%	Sag	Cumple
14	3+098.346m	2666.969m	6.98%	4.65%	2.33%	Crest	Cumple
15	3+397.692m	2680.894m	4.65%	1.49%	3.16%	Crest	Cumple
16	3+708.781m	2685.535m	1.49%	4.22%	2.73%	Sag	Cumple
17	4+506.377m	2719.190m	4.22%	-4.63%	8.85%	Crest	Cumple
18	4+989.445m	2696.801m	-4.63%	5.10%	9.74%	Sag	Cumple
19	5+641.940m	2730.095m	5.10%	-6.85%	11.95%	Crest	Cumple
20	6+231.618m	2689.693m	-6.85%	8.07%	14.92%	Sag	Cumple
21	6+757.533m	2732.134m	8.07%	-4.78%	12.85%	Crest	Cumple
22	7+028.024m	2719.207m	-4.78%	1.89%	6.67%	Sag	Cumple
23	7+410.868m	2726.439m	1.89%	9.32%	7.43%	Sag	Cumple
24	8+476.605m	2825.725m	9.32%	-0.64%	9.96%	Crest	Cumple
25	8+890.496m	2823.075m	-0.64%	7.35%	7.99%	Sag	Cumple
26	9+209.492m	2846.508m	7.35%	-1.41%	8.75%	Crest	Cumple
27	9+334.794m	2844.743m	-1.41%	6.11%	7.52%	Sag	Cumple
28	10+004.679m	2885.654m	6.11%	8.91%	2.81%	Sag	Cumple
29	10+197.418m	2902.832m	8.91%	5.02%	3.89%	Crest	Cumple
30	10+464.698m	2916.245m	5.02%	7.01%	2.00%	Sag	Cumple
31	10+695.747m	2932.452m	7.01%	-9.83%	16.84%	Crest	Cumple
32	10+968.590m	2905.642m	-9.83%	-3.80%	6.03%	Sag	Cumple
33	11+424.943m	2888.302m	-3.80%	2.66%	6.46%	Sag	Cumple
34	11+739.121m	2896.675m	2.66%	2.98%	0.31%	Sag	Cumple
35	11+932.821m	2902.441m	2.98%	4.08%	1.10%	Sag	Cumple
36	12+094.607m	2909.044m	4.08%	4.32%	0.24%	Sag	Cumple
37	12+295.514m	2917.723m	4.32%	6.16%	1.84%	Sag	Cumple
38	12+542.901m	2932.968m	6.16%	-8.33%	14.49%	Crest	Cumple
39	12+883.264m	2904.613m	-8.33%	-0.08%	8.25%	Sag	No cumple
40	13+231.878m	2904.346m	-0.08%	-4.80%	4.72%	Crest	Cumple
41	13+632.303m	2885.136m	-4.80%	-9.59%	4.79%	Crest	Cumple
42	13+828.365m	2866.334m	-9.59%	-6.86%	2.73%	Sag	Cumple
43	14+091.161m	2848.296m	-6.86%	-9.37%	2.50%	Crest	Cumple
44	14+322.112m	2826.666m	-9.37%	-5.67%	3.70%	Sag	Cumple
45	14+767.257m	2801.429m	-5.67%	-0.05%	5.62%	Sag	No cumple
46	14+958.177m	2801.339m	-0.05%	1.01%	1.06%	Sag	Cumple
47	15+114.361m	2802.912m	1.01%	4.68%	3.67%	Sag	Cumple
48	15+244.811m	2809.016m	4.68%	0.47%	4.21%	Crest	No cumple
49	15+395.460m	2809.722m	0.47%	5.59%	5.12%	Sag	Cumple
50	15+503.799m	2815.776m	5.59%	7.08%	1.49%	Sag	Cumple
51	15+687.559m	2828.785m	7.08%	9.99%	2.91%	Sag	Cumple
52	15+837.247m	2843.736m	9.99%	5.30%	4.69%	Crest	Cumple
53	15+976.911m	2851.134m	5.30%	-9.21%	14.51%	Crest	Cumple

54	16+026.656m	2846.551m	-9.21%	0.57%	9.78%	Sag	Cumple
55	16+050.452m	2846.685m	0.57%				

Nota. elaboración propia

Figura 52

Porcentaje de cumplimiento de las pendientes según DG-2018



Nota. La figura muestra que el 94.44% y 5.56% cumplen y no cumplen respectivamente con los valores mínimos y máximos de pendientes establecidos en DG-2018 Fuente: elaboración propia.

Análisis del Parámetro de curvatura “K” del alineamiento vertical del Expediente

Técnico Aprobado.

Tabla 36:

Verificación de parámetro de curvatura K

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	K Value	Verificación
1	0+000.000m	2644.648m		4.31%				
2	0+176.104m	2652.242m	4.31%	-6.17%	10.49%	Crest	14.31	cumple
3	0+482.199m	2633.348m	-6.17%	-0.84%	5.33%	Sag	28.14	cumple
4	0+747.673m	2631.111m	-0.84%	3.32%	4.16%	Sag	36.07	cumple
5	0+962.441m	2638.232m	3.32%	-7.02%	10.33%	Crest	14.52	cumple
6	1+189.516m	2622.297m	-7.02%	5.79%	12.80%	Sag	11.72	cumple
7	1+428.491m	2636.126m	5.79%	-0.61%	6.40%	Crest	23.44	cumple
8	1+786.637m	2633.929m	-0.61%	-2.29%	1.67%	Crest	89.57	cumple

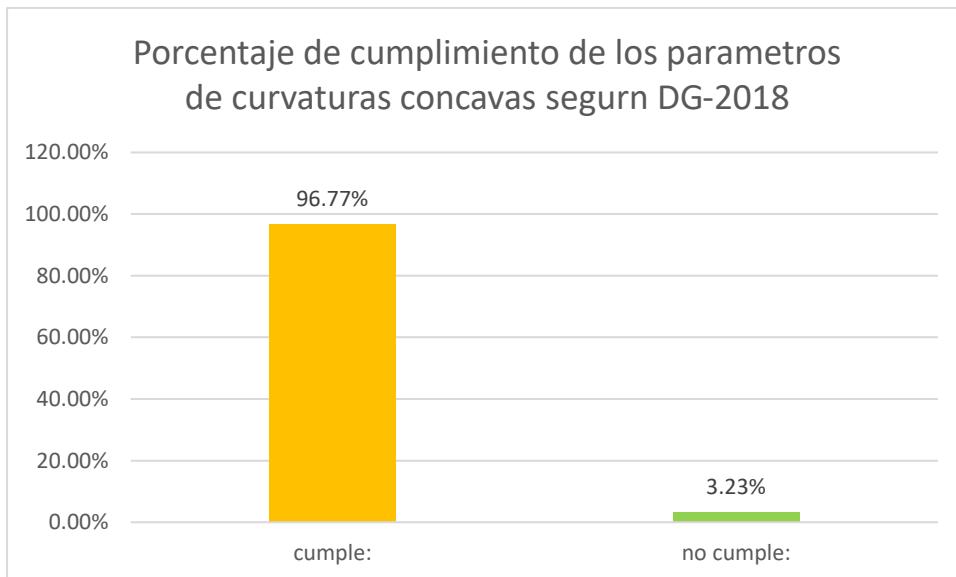
9	1+937.861m	2630.469m	-2.29%	2.92%	5.21%	Sag	28.82	cumple
10	2+097.686m	2635.132m	2.92%	-0.65%	3.57%	Crest	42.00	cumple
11	2+284.550m	2633.909m	-0.65%	5.74%	6.40%	Sag	15.68	cumple
12	2+671.859m	2656.146m	5.74%	-0.61%	6.35%	Crest	23.62	cumple
13	2+921.582m	2654.625m	-0.61%	6.98%	7.59%	Sag	18.22	cumple
14	3+098.346m	2666.969m	6.98%	4.65%	2.33%	Crest	33.45	cumple
15	3+397.692m	2680.894m	4.65%	1.49%	3.16%	Crest	56.96	cumple
16	3+708.781m	2685.535m	1.49%	4.22%	2.73%	Sag	66.00	cumple
17	4+506.377m	2719.190m	4.22%	-4.63%	8.85%	Crest	32.39	cumple
18	4+989.445m	2696.801m	-4.63%	5.10%	9.74%	Sag	11.24	cumple
19	5+641.940m	2730.095m	5.10%	-6.85%	11.95%	Crest	38.42	cumple
20	6+231.618m	2689.693m	-6.85%	8.07%	14.92%	Sag	13.41	cumple
21	6+757.533m	2732.134m	8.07%	-4.78%	12.85%	Crest	15.56	cumple
22	7+028.024m	2719.207m	-4.78%	1.89%	6.67%	Sag	29.99	cumple
23	7+410.868m	2726.439m	1.89%	9.32%	7.43%	Sag	21.64	cumple
24	8+476.605m	2825.725m	9.32%	-0.64%	9.96%	Crest	33.30	cumple
25	8+890.496m	2823.075m	-0.64%	7.35%	7.99%	Sag	35.61	cumple
26	9+209.492m	2846.508m	7.35%	-1.41%	8.75%	Crest	14.84	cumple
27	9+334.794m	2844.743m	-1.41%	6.11%	7.52%	Sag	14.16	cumple
28	10+004.679m	2885.654m	6.11%	8.91%	2.81%	Sag	32.86	cumple
29	10+197.418m	2902.832m	8.91%	5.02%	3.89%	Crest	45.53	cumple
30	10+464.698m	2916.245m	5.02%	7.01%	2.00%	Sag	64.54	cumple
31	10+695.747m	2932.452m	7.01%	-9.83%	16.84%	Crest	16.40	cumple
32	10+968.590m	2905.642m	-9.83%	-3.80%	6.03%	Sag	19.95	cumple
33	11+424.943m	2888.302m	-3.80%	2.66%	6.46%	Sag	30.94	cumple
34	11+739.121m	2896.675m	2.66%	2.98%	0.31%	Sag	344.84	cumple
35	11+932.821m	2902.441m	2.98%	4.08%	1.10%	Sag	90.72	cumple
36	12+094.607m	2909.044m	4.08%	4.32%	0.24%	Sag	227.75	cumple
37	12+295.514m	2917.723m	4.32%	6.16%	1.84%	Sag	10.82	cumple
38	12+542.901m	2932.968m	6.16%	-8.33%	14.49%	Crest	9.80	cumple
39	12+883.264m	2904.613m	-8.33%	-0.08%	8.25%	Sag	14.02	cumple
40	13+231.878m	2904.346m	-0.08%	-4.80%	4.72%	Crest	23.39	cumple
41	13+632.303m	2885.136m	-4.80%	-9.59%	4.79%	Crest	40.85	cumple
42	13+828.365m	2866.334m	-9.59%	-6.86%	2.73%	Sag	37.40	cumple
43	14+091.161m	2848.296m	-6.86%	-9.37%	2.50%	Crest	50.62	cumple
44	14+322.112m	2826.666m	-9.37%	-5.67%	3.70%	Sag	27.72	cumple
45	14+767.257m	2801.429m	-5.67%	-0.05%	5.62%	Sag	26.68	cumple
46	14+958.177m	2801.339m	-0.05%	1.01%	1.06%	Sag	76.11	cumple
47	15+114.361m	2802.912m	1.01%	4.68%	3.67%	Sag	16.37	cumple
48	15+244.811m	2809.016m	4.68%	0.47%	4.21%	Crest	44.47	cumple
49	15+395.460m	2809.722m	0.47%	5.59%	5.12%	Sag	9.78	cumple
50	15+503.799m	2815.776m	5.59%	7.08%	1.49%	Sag	18.84	cumple
51	15+687.559m	2828.785m	7.08%	9.99%	2.91%	Sag	23.72	cumple
52	15+837.247m	2843.736m	9.99%	5.30%	4.69%	Crest	14.55	cumple

53	15+976.911m	2851.134m	5.30%	-9.21%	14.51%	Crest	4.84	cumple
54	16+026.656m	2846.551m	-9.21%	0.57%	9.78%	Sag	2.62	no cumple
55	16+050.452m	2846.685m	0.57%					

Nota. elaboración propia

Figura 53

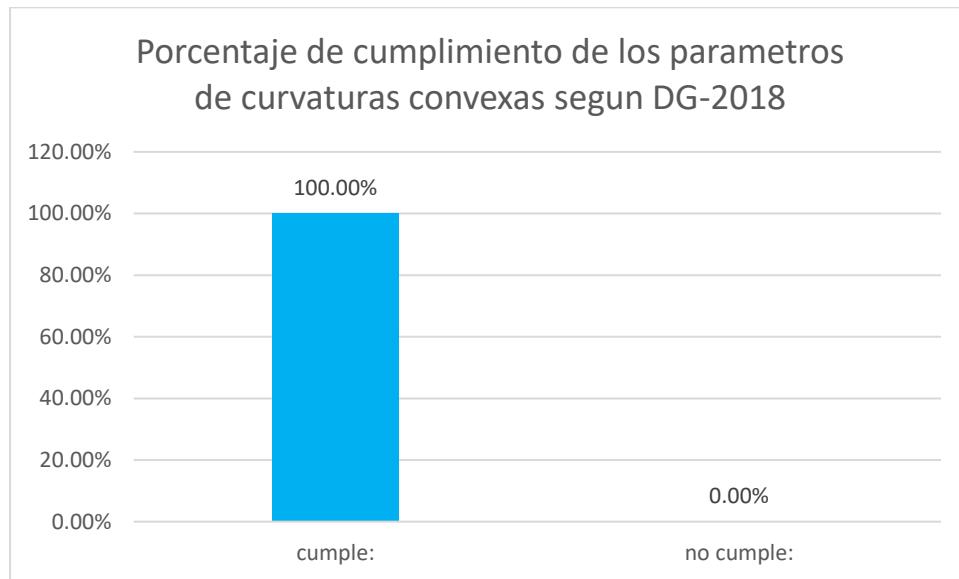
Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K”cónicas.



Nota. La imagen muestra el porcentaje de parámetros de curvatura cónicas que cumplen con los valores mínimos establecidos en el DG-2018. En este caso, el 96.77 % de los parámetros de curvatura utilizados en el diseño de la vía se encuentran dentro del rango permitido por la norma, mientras que el 3.23 % se encuentran por debajo del valor mínimo permitido. Fuente: elaboración propia.

Figura 54

Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” convexas



Nota. La imagen muestra el porcentaje de parámetros de curvatura convexas que cumplen con los valores mínimos establecidos en el DG-2018. En este caso, el 100 % de los parámetros de curvatura utilizados en el diseño de la vía se encuentran dentro del rango permitido por la norma. *Fuente:* elaboración propia.

4.2.2.1 Expediente técnico N° 03

Análisis de Pendientes del alineamiento vertical del Expediente Técnico Aprobado

Tabla 37

Verificación de pendientes según DG-2018

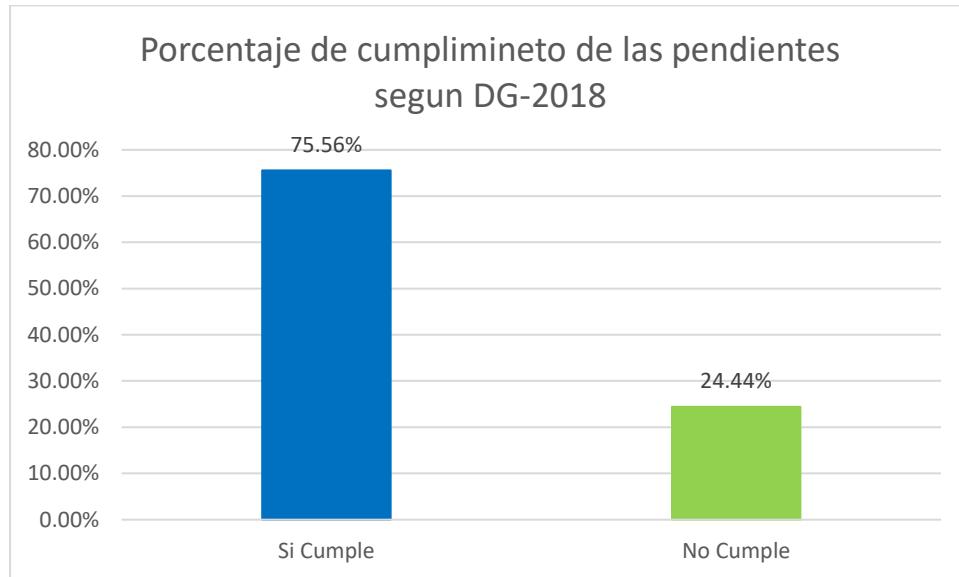
Nº	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	Verificación
1	0+000.000m	3340.646m		0.44%	
2	0+215.578m	3341.596m	0.44%	-2.56%	No Cumple
3	0+453.288m	3335.509m	-2.56%	-4.73%	Si Cumple
4	0+623.497m	3327.450m	-4.73%	-2.74%	Si Cumple
5	0+788.254m	3322.938m	-2.74%	-1.19%	Si Cumple
6	0+904.147m	3321.561m	-1.19%	3.20%	Si Cumple
7	0+992.592m	3324.388m	3.20%	1.72%	Si Cumple
8	1+112.177m	3326.445m	1.72%	0.25%	Si Cumple
9	1+192.217m	3326.644m	0.25%	-1.70%	No Cumple
10	1+307.380m	3324.687m	-1.70%	-0.40%	Si Cumple

11	1+558.337m	3323.684m	-0.40%	3.75%	No Cumple
12	1+651.774m	3327.184m	3.75%	0.26%	Si Cumple
13	1+796.797m	3327.564m	0.26%	-1.88%	No Cumple
14	1+996.003m	3323.819m	-1.88%	5.27%	Si Cumple
15	2+101.256m	3329.369m	5.27%	0.37%	Si Cumple
16	2+201.935m	3329.737m	0.37%	9.94%	No Cumple
17	2+284.270m	3337.918m	9.94%	5.64%	No Cumple
18	2+388.288m	3343.780m	5.64%	4.81%	Si Cumple
19	2+523.355m	3350.280m	4.81%	3.63%	Si Cumple
20	2+633.358m	3354.268m	3.63%	5.11%	Si Cumple
21	2+666.756m	3355.975m	5.11%	2.66%	Si Cumple
22	2+725.085m	3357.529m	2.66%	-0.19%	Si Cumple
23	2+794.199m	3357.395m	-0.19%	0.36%	No Cumple
24	2+917.963m	3357.839m	0.36%	6.10%	No Cumple
25	3+099.777m	3368.926m	6.10%	-0.52%	Si Cumple
26	3+295.717m	3367.916m	-0.52%	5.09%	Si Cumple
27	3+449.921m	3375.770m	5.09%	0.77%	Si Cumple
28	3+545.281m	3376.508m	0.77%	3.40%	Si Cumple
29	3+656.193m	3380.282m	3.40%	-0.01%	Si Cumple
30	3+770.661m	3380.276m	-0.01%	4.60%	No Cumple
31	3+906.515m	3386.529m	4.60%	1.27%	Si Cumple
32	4+175.840m	3389.945m	1.27%	1.01%	Si Cumple
33	4+453.620m	3392.738m	1.01%	0.44%	Si Cumple
34	4+706.121m	3393.837m	0.44%	1.82%	No Cumple
35	4+740.571m	3394.463m	1.82%	-2.60%	Si Cumple
36	4+751.732m	3394.173m	-2.60%	5.31%	Si Cumple
37	4+767.622m	3395.017m	5.31%	1.23%	Si Cumple
38	4+953.909m	3397.307m	1.23%	3.28%	Si Cumple
39	5+309.654m	3408.993m	3.28%	0.53%	Si Cumple
40	5+510.302m	3410.048m	0.53%	1.75%	Si Cumple
41	5+672.074m	3412.880m	1.75%	-2.49%	Si Cumple
42	5+697.558m	3412.245m	-2.49%	-3.19%	Si Cumple
43	6+000.893m	3402.578m	-3.19%	-5.23%	Si Cumple
44	6+277.347m	3388.117m	-5.23%	0.48%	Si Cumple
45	6+464.744m	3389.022m	0.48%	2.77%	No Cumple
46	6+652.205m	3394.211m	2.77%		Si Cumple

Nota: Elaboración propia

Figura 55

Porcentaje de cumplimiento de las pendientes según DG-2018



Nota. La figura muestra que el 75.56% y 24.44% cumplen y no cumplen respectivamente con los valores mínimos y máximos de pendientes establecidos en DG-2018 *Fuente:* elaboración propia.

Análisis del Parámetro de curvatura “K” del alineamiento vertical del Expediente Técnico Aprobado.

Tabla 38:

Verificación de parámetro de curvatura

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Verificación
1	0+000.000m	3340.646m			0.44%				
2	0+215.578m	3341.596m	0.44%	-	2.56%	3.00% Crest	100.000m	33.314	Si Cumple
3	0+453.288m	3335.509m	-	-	2.56% 4.73%	2.17% Crest	80.000m	36.807	Si Cumple
4	0+623.497m	3327.450m	-	-	4.73% 2.74%	2.00% Sag	30.000m	15.031	Si Cumple
5	0+788.254m	3322.938m	-	-	2.74% 1.19%	1.55% Sag	50.000m	32.243	Si Cumple
6	0+904.147m	3321.561m	-	3.20%	1.19%	4.38% Sag	50.000m	11.406	No Cumple
7	0+992.592m	3324.388m	3.20%	1.72%	1.48%	1.48% Crest	50.000m	33.897	Si Cumple

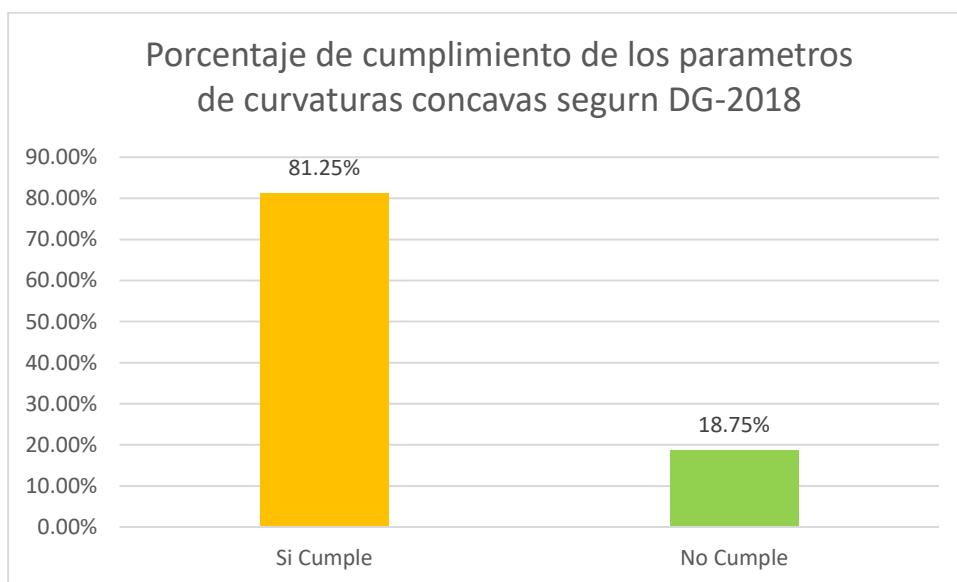
8	1+112.177m	3326.445m	1.72%	0.25%	1.47%	Crest	50.000m	33.969	Si Cumple
9	1+192.217m	3326.644m	0.25%	-	1.95%	Crest	50.000m	25.663	Si Cumple
			1.70%						
10	1+307.380m	3324.687m	-	-	1.30%	Sag	50.000m	38.462	Si Cumple
			1.70%	0.40%					
11	1+558.337m	3323.684m	-	3.75%	4.15%	Sag	60.000m	14.473	Si Cumple
			0.40%						
12	1+651.774m	3327.184m	3.75%	0.26%	3.48%	Crest	50.000m	14.351	Si Cumple
13	1+796.797m	3327.564m	0.26%	-	2.14%	Crest	50.000m	23.343	Si Cumple
			1.88%						
14	1+996.003m	3323.819m	-	5.27%	7.15%	Sag	60.000m	8.387	No Cumple
			1.88%						
15	2+101.256m	3329.369m	5.27%	0.37%	4.91%	Crest	50.000m	10.188	Si Cumple
16	2+201.935m	3329.737m	0.37%	9.94%	9.57%	Sag	40.000m	4.18	No Cumple
17	2+284.270m	3337.918m	9.94%	5.64%	4.30%	Crest	40.000m	9.302	Si Cumple
18	2+388.288m	3343.780m	5.64%	4.81%	0.82%	Crest	30.000m	36.452	Si Cumple
19	2+523.355m	3350.280m	4.81%	3.63%	1.19%	Crest	30.000m	25.274	Si Cumple
20	2+633.358m	3354.268m	3.63%	5.11%	1.49%	Sag	20.000m	13.459	Si Cumple
21	2+666.756m	3355.975m	5.11%	2.66%	2.45%	Crest	20.000m	8.172	Si Cumple
22	2+725.085m	3357.529m	2.66%	-	2.86%	Crest	30.000m	10.497	Si Cumple
			0.19%						
23	2+794.199m	3357.395m	-	0.36%	0.55%	Sag	50.000m	90.375	Si Cumple
			0.19%						
24	2+917.963m	3357.839m	0.36%	6.10%	5.74%	Sag	80.000m	13.94	Si Cumple
25	3+099.777m	3368.926m	6.10%	-	6.61%	Crest	60.000m	9.072	Si Cumple
			0.52%						
26	3+295.717m	3367.916m	-	5.09%	5.61%	Sag	60.000m	10.697	No Cumple
			0.52%						
27	3+449.921m	3375.770m	5.09%	0.77%	4.32%	Crest	50.000m	11.573	Si Cumple
28	3+545.281m	3376.508m	0.77%	3.40%	2.63%	Sag	40.000m	15.21	Si Cumple
29	3+656.193m	3380.282m	3.40%	-	3.41%	Crest	50.000m	14.67	Si Cumple
			0.01%						
30	3+770.661m	3380.276m	-	4.60%	4.61%	Sag	50.000m	10.851	No Cumple
			0.01%						
31	3+906.515m	3386.529m	4.60%	1.27%	3.33%	Crest	50.000m	14.997	Si Cumple
32	4+175.840m	3389.945m	1.27%	1.01%	0.26%	Crest	60.000m	228.089	Si Cumple
33	4+453.620m	3392.738m	1.01%	0.44%	0.57%	Crest	60.000m	105.231	Si Cumple
34	4+706.121m	3393.837m	0.44%	1.82%	1.38%	Sag	30.000m	21.708	Si Cumple
35	4+740.571m	3394.463m	1.82%	-	4.42%	Crest	10.000m	2.263	No cumple
			2.60%						
36	4+751.732m	3394.173m	-	5.31%	7.91%	Sag	10.000m	1.264	No Cumple
			2.60%						
37	4+767.622m	3395.017m	5.31%	1.23%	4.08%	Crest	10.000m	2.45	No cumple
38	4+953.909m	3397.307m	1.23%	3.28%	2.06%	Sag	50.000m	24.322	Si Cumple
39	5+309.654m	3408.993m	3.28%	0.53%	2.76%	Crest	60.000m	21.748	Si Cumple
40	5+510.302m	3410.048m	0.53%	1.75%	1.22%	Sag	50.000m	40.834	Si Cumple
41	5+672.074m	3412.880m	1.75%	-	4.24%	Crest	20.000m	4.712	No cumple
			2.49%						

42	5+697.558m	3412.245m	-	-	0.69%	Crest	20.000m	28.85	Si Cumple
			2.49%	3.19%					
43	6+000.893m	3402.578m	-	-	2.04%	Crest	100.000m	48.927	Si Cumple
			3.19%	5.23%					
44	6+277.347m	3388.117m	-	0.48%	5.71%	Sag	100.000m	17.501	Si Cumple
			5.23%						
45	6+464.744m	3389.022m	0.48%	2.77%	2.28%	Sag	60.000m	26.262	Si Cumple
46	6+652.205m	3394.211m	2.77%						

Nota. elaboración propia.

Figura 56

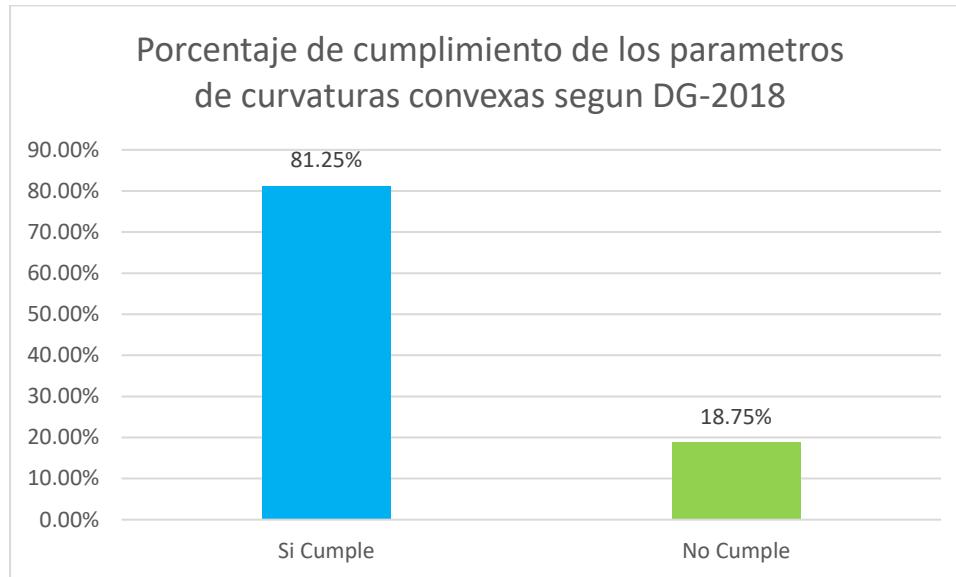
Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” cóncava



Nota. La figura muestra que el 81% y 19% cumplen y no cumplen respectivamente con el valor K mínimo igual 13 establecido por la DG-2018. Fuente: elaboración propia.

Figura 57

Porcentaje de cumplimiento del parámetro de curvatura “K” convexa



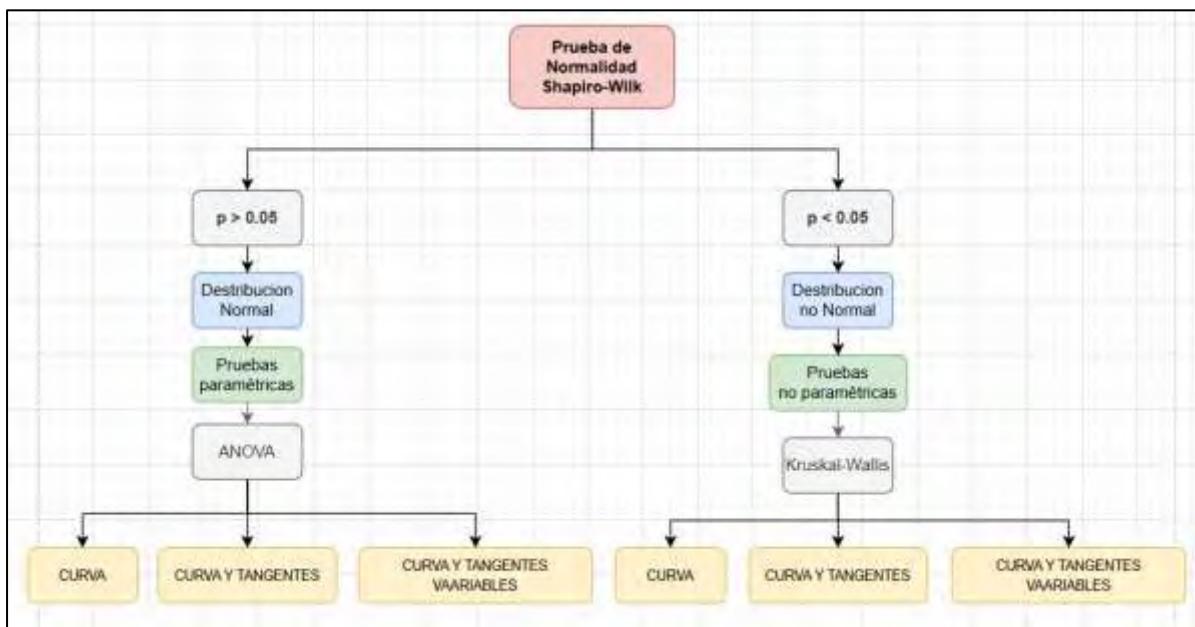
Nota. La figura muestra que el 81.25% y 19.75% cumplen y no cumplen respectivamente con el valor K mínimo igual 6.4 establecido por la DG-2018. *Fuente:* elaboración propia.

4.2.3. Resultados de la evaluación de los métodos de optimización: Curva [Rápida], Curvas y tangentes [Lentas], Curvas y tangentes variables [Mas lentas].

Primero, se determina si los datos presentan una distribución normal o no normal. En función de este resultado, se aplicará la prueba paramétrica ANOVA cuando los datos cumplan con la normalidad, mientras que, en caso contrario, se utilizará la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Figura 58:

Diagrama para el cálculo estadístico con Python



Nota: Elaboración propia

4.2.3.1 Expediente técnico N° 01

Tabla 39:

Determinación de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

TRAMO	CURVA	CURVAS Y TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES
1	11498.39	10230.99	10248.18
2	4463.40	6515.31	5026.49
3	1427.22	1129.39	2728.18
4	2511.51	2219.37	3591.92
5	3996.71	6348.53	4110.60
6	6850.41	5126.03	6395.87
7	2088.23	1959.89	3172.09
8	1916.23	1677.36	1557.39
9	1287.82	2341.24	1345.93
10	2905.43	1208.91	2501.17
11	25844.03	34861.07	29489.22
12	2631.80	5033.72	2865.31
13	3372.74	5243.96	3568.30
14	2170.12	3402.66	2346.10
15	5366.63	3326.59	3984.72
16	30717.29	26409.18	40004.47
17	41170.89	37227.62	36380.44
18	26894.53	33183.29	30077.67
19	29488.20	33572.49	32467.47
20	2283.52	2353.15	2528.92
w	0.715	0.701	0.684
p	0.00006	0.00004	0.00003
Distribución	No normal	No normal	No normal

Nota. Elaboración propia.

Los datos de anterior tabla: curvas, curvas con tangente y curvas con tangentes variables presentan una distribución no normal; por ello, se consideran no paramétricos y se aplicará el método estadístico de Kruskal-Wallis para su análisis comparativo

Tabla 40:*Calculo estadístico mediante Kruskal-Wallis*

TRAMO	CURVAS	CURVAS Y TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES	H	P
1	11498.39	10230.99	10248.18		
2	4463.40	6515.31	5026.49		
3	1427.22	1129.39	2728.18		
4	2511.51	2219.37	3591.92		
5	3996.71	6348.53	4110.60		
6	6850.41	5126.03	6395.87		
7	2088.23	1959.89	3172.09		
8	1916.23	1677.36	1557.39		
9	1287.82	2341.24	1345.93		
10	2905.43	1208.91	2501.17		
11	25844.03	34861.07	29489.22	0.243	0.88561
12	2631.80	5033.72	2865.31		
13	3372.74	5243.96	3568.30		
14	2170.12	3402.66	2346.10		
15	5366.63	3326.59	3984.72		
16	30717.29	26409.18	40004.47		
17	41170.89	37227.62	36380.44		
18	26894.53	33183.29	30077.67		
19	29488.20	33572.49	32467.47		
20	2283.52	2353.15	2528.92		

Nota. elaboración propia.**4.2.3.2 Expediente técnico N° 02****Tabla 41:***Determinación de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk*

TRAMO	CURVA	CURVAS Y TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES
1	22084.91	20808.71	27294.24
2	42783.65	36612.44	39274.67
3	29202.68	30488.06	29532.36
4	38243.93	35718.94	31170.07
5	64034.33	73856.03	66401.49
6	35419.85	33468.76	31568.95
7	26116.25	22378.31	29545.26
8	68447.63	61022.15	66044.03
9	84658.16	83532.76	85442.71
10	22679.23	22690.11	21387.28

11	49180.07	43294.19	48959.14
12	120138.50	120387.24	121900.88
13	91729.83	89094.29	86417.71
14	82112.04	77906.14	86958.10
15	152809.55	162450.92	142708.19
16	249683.74	242582.01	247410.27
17	133277.74	132799.21	132303.80
18	44887.74	44573.76	42550.27
19	70553.91	71499.66	68088.60
20	83554.89	82540.71	81704.65
w	0.826	0.833	0.821
p	0.00219	0.00277	0.00183
Distribución	No normal	No normal	No normal

Nota. elaboración propia

Los datos de anterior tabla: curvas, curvas con tangente y curvas con tangentes variables presentan una distribución no normal; por ello, se consideran no paramétricos y se aplicará el método estadístico de Kruskal-Wallis para su análisis comparativo

Tabla 42:

Calculo estadístico mediante Kruskal-Wallis

TRA MO	CURVAS	CURVAS Y TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES	H	P
1	22084.91	20808.71	27294.24		
2	42783.65	36612.44	39274.67		
3	29202.68	30488.06	29532.36		
4	38243.93	35718.94	31170.07		
5	64034.33	73856.03	66401.49		
6	35419.85	33468.76	31568.95		
7	26116.25	22378.31	29545.26		
8	68447.63	61022.15	66044.03		
9	84658.16	83532.76	85442.71		
10	22679.23	22690.11	21387.28		
11	49180.07	43294.19	48959.14		
12	120138.50	120387.24	121900.88		
13	91729.83	89094.29	86417.71		
14	82112.04	77906.14	86958.10		
15	152809.55	162450.92	142708.19		
16	249683.74	242582.01	247410.27		
17	133277.74	132799.21	132303.80		
18	44887.74	44573.76	42550.27		
19	70553.91	71499.66	68088.60		
20	83554.89	82540.71	81704.65		

Nota. elaboración propia

4.2.3.3 Expediente técnico N° 03

Tabla 43:

Determinación de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

TRAMO	CURVA	CURVAS Y TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES
1	10286.62	8212.62	7420.41
2	10367.58	9247.00	10308.25
3	9739.33	8192.26	9443.84
4	4821.89	7746.91	4430.14
5	4577.03	4444.51	3979.18
6	4732.21	6441.31	4090.98
7	4731.33	5260.76	4403.22
8	3337.12	4009.13	3569.81
9	3810.47	4905.03	3589.76
10	3051.84	3005.32	3492.63
11	5502.49	5639.15	4395.98
12	4653.02	5335.46	4599.26
13	6575.96	6174.69	5876.15
14	4363.35	4403.45	3795.73
15	3658.33	4372.19	2464.51
16	4495.17	2558.21	2832.14
17	4746.47	5553.11	3795.61
18	3972.47	5660.22	7871.99
19	4686.03	4916.37	5380.56
20	4969.53	6246.81	5114.28
w	0.737	0.963	0.847
p	0.00012	0.61109	0.00477
Distribución	No normal	Normal	No normal

Nota. elaboración propia

Los datos de anterior tabla: curvas, curvas con tangente y curvas con tangentes variables presentan una distribución no normal; por ello, se consideran no paramétricos y se aplicará el método estadístico de Kruskal-Wallis para su análisis comparativo

Tabla 44:*Calculo estadístico mediante Kruskal-Wallis*

TRA MO	CURVAS	CURVAS Y TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES	H	P
1	10286.62	8212.62	7420.41		
2	10367.58	9247.00	10308.25		
3	9739.33	8192.26	9443.84		
4	4821.89	7746.91	4430.14		
5	4577.03	4444.51	3979.18		
6	4732.21	6441.31	4090.98		
7	4731.33	5260.76	4403.22		
8	3337.12	4009.13	3569.81		
9	3810.47	4905.03	3589.76		
10	3051.84	3005.32	3492.63		
11	5502.49	5639.15	4395.98		
12	4653.02	5335.46	4599.26		
13	6575.96	6174.69	5876.15		
14	4363.35	4403.45	3795.73		
15	3658.33	4372.19	2464.51		
16	4495.17	2558.21	2832.14		
17	4746.47	5553.11	3795.61		
18	3972.47	5660.22	7871.99		
19	4686.03	4916.37	5380.56		
20	4969.53	6246.81	5114.28		

Nota. elaboración propia

4.3.RESULTADO RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL

Con el fin de responder al objetivo general del estudio, se efectuó una comparación de los volúmenes de movimiento de tierras correspondientes a los alineamientos originales y a las alternativas optimizadas obtenidas en los tres Expedientes técnicos analizados. La Tabla 45 resume los resultados, donde se observa que, en todos los casos, los alineamientos optimizados presentan menores volúmenes de corte y relleno en relación al diseño inicial, lo que evidencia una mejora en el balance de tierras.

Tabla 45:*Resumen de volumen de corte y relleno*

	EXPEDIENTE TÉCNICO	CURVAS	CURVAS TANGENTES	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES
EXPEDIENTE TECNICO 01	V. Corte(m3)	81,127.00	29,612.80	33,158.50
	V. Relleno(m3)	40,030.40	29,620.70	32,945.80
EXPEDIENTE TECNICO 02	V. Corte(m3)	561,968.10	220,152.20	226,383.10
	V. Relleno(m3)	164,085.50	155,011.40	157,941.40
EXPEDIENTE TECNICO 03	V. Corte(m3)	45,619.65	17,475.70	17,837.44
	V. Relleno(m3)	15,551.23	17,863.30	17,875.30

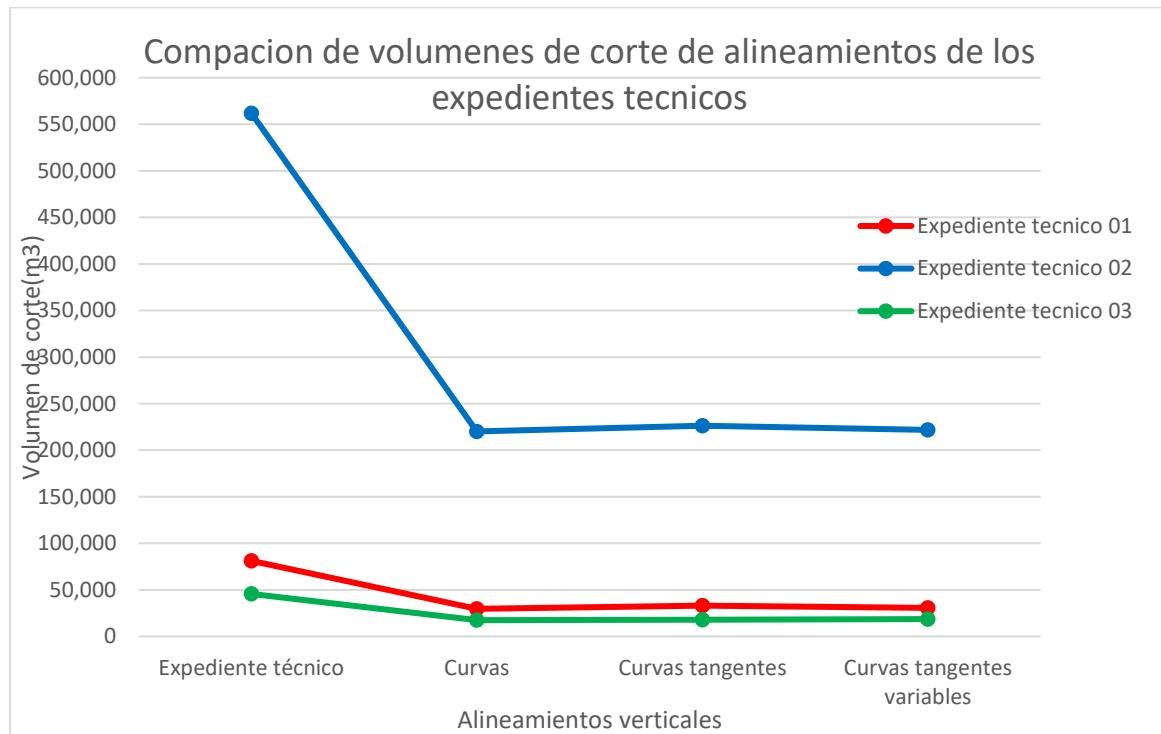
Nota. elaboración propia

4.3.1. GRAFICO COMPARATIVO DE VOLÚMENES DE CORTE

En el gráfico se presenta la comparación de los volúmenes de corte correspondientes a los cuatro alineamientos considerados en cada expediente técnico, con el propósito de evidenciar las diferencias y facilitar el análisis de las alternativas de diseño.

Figura 59:

Comparación de volumen de corte



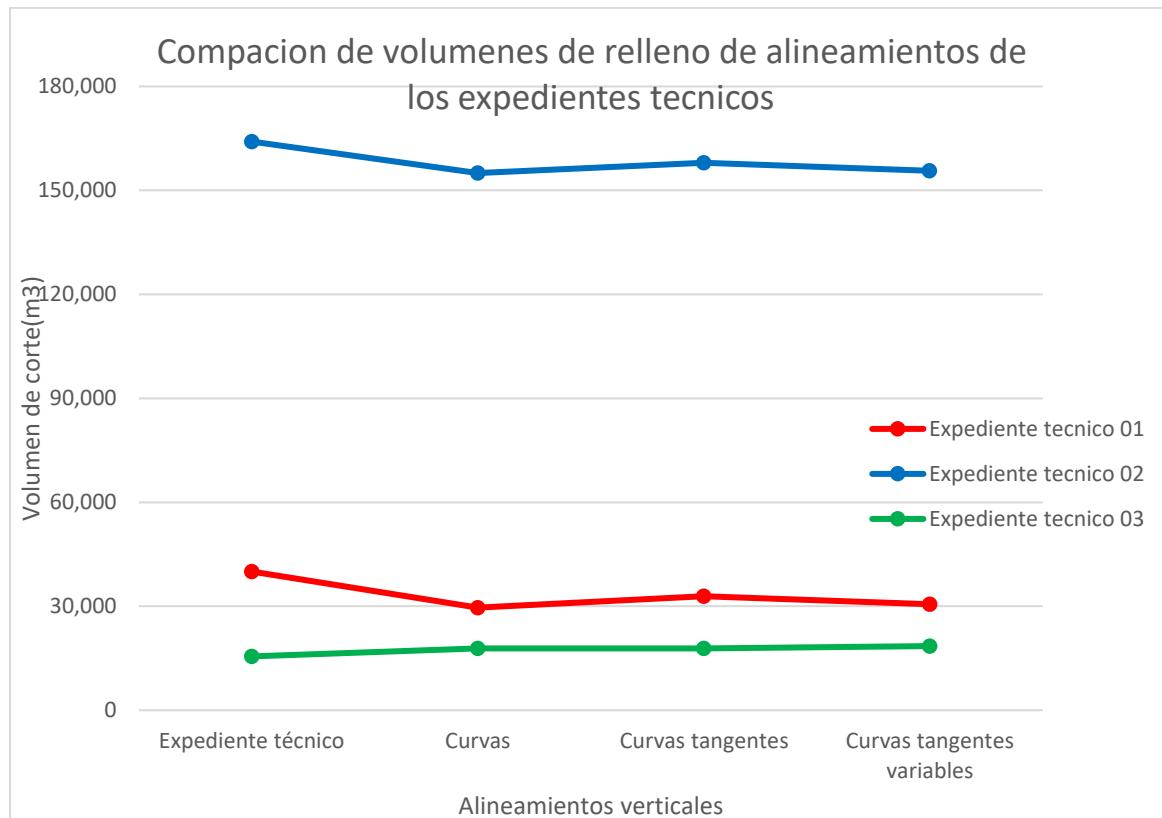
Nota. Elaboración propia

4.3.2. GRAFICO COMPARATIVO DE VOLÚMENES DE RELLENO

En el gráfico se presenta la comparación de los volúmenes de relleno correspondientes a los cuatro alineamientos considerados en cada expediente técnico, con el propósito de evidenciar las diferencias y facilitar el análisis de las alternativas de diseño.

Figura 60:

Comparación de volumen de relleno



Nota. elaboración propia

4.3.3. COSTO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS POR EXPEDIENTE

TÉCNICO Y ALINEAMIENTO OPTIMIZADO

La siguiente tabla resume los costos de movimiento de tierras obtenidos en un tramo de 2 km para los tres Expedientes técnicos, considerando tanto el alineamiento original como las tres propuestas optimizadas, lo que permite visualizar las diferencias económicas entre ellos.

Tabla 46:

Costo de movimiento de tierra

EXPEDIENTE TÉCNICO (S/)	CURVAS (S/)	CURVAS Y TANGENTES (S/)	CURVAS Y TANGENTES VARIABLES (S/)	AHORRO MÁXIMO (%)
Expediente N° 01	233,067	208,885	223,371	224,390 10.38%
Expediente N° 02	1,864,505	1,511,599	1,487,704	1,486,663 20.27%
Expediente N° 03	182,046	148,188	135,193	149,816 25.74%

Nota. elaboración propia

CAPITULO 5: DISCUSIÓN

5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS HALLAZGOS MÁS RELEVANTES Y SIGNIFICATIVOS

La presente investigación, intitulada “Análisis del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras y su relación con la curva masa en la región Cusco, 2025”, tuvo como finalidad examinar la influencia que ejercen los diferentes alineamientos verticales, tanto originales como optimizados, en la variación de volúmenes de corte y relleno, así como en los costos de movimiento de tierras.

A partir del análisis de tres Expedientes técnicos se obtuvieron resultados relevantes. En primer lugar, se identificó que los alineamientos originales presentaban volúmenes considerables de corte y relleno, lo que se traduce en un mayor desequilibrio de la curva masa y, por ende, en costos más elevados de movimiento de tierras. Este comportamiento, si bien cumple con los criterios geométricos establecidos por la normativa vigente, refleja oportunidades de mejora en términos de eficiencia técnica y económica.

Con la aplicación del software Softree Optimal se generaron tres alternativas optimizadas por cada expediente técnico. Dichas propuestas mostraron un comportamiento más favorable, evidenciado en una reducción progresiva de los volúmenes de movimiento de

tierras. Las curvas masa obtenidas a partir de los alineamientos optimizados resultaron más equilibradas, con menores desequilibrios entre corte y relleno, lo que implica una gestión más eficiente de los materiales en obra.

En cuanto al impacto económico, los costos estimados en un tramo de 2 km presentaron una disminución significativa en los alineamientos optimizados frente al diseño original. Los ahorros alcanzaron valores entre el 10 % y el 30 %, según el expediente analizado, siendo el Expediente N° 03 el que mostró el mayor beneficio económico “ver tabla 43”. Estos resultados reafirman que la optimización del alineamiento vertical no solo representa una mejora geométrica, sino también un aporte económico sustancial al proyecto vial.

El análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk permitió identificar que los datos de costos de movimiento de tierras correspondientes a los tres alineamientos verticales optimizados (curvas, curvas y tangentes, y curvas con tangentes variables) no presentan una distribución normal ($p < 0.05$) “ver anexo 03”. Por lo tanto, estos datos se consideran no paramétricos y no cumplen los supuestos estadísticos necesarios para la aplicación de pruebas paramétricas. En consecuencia, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el análisis comparativo entre grupos.

El análisis estadístico aplicado a los costos de movimiento de tierras permitió determinar que los tres alineamientos verticales optimizados (curvas, curvas y tangentes, y curvas con tangentes variables) no presentan diferencias significativas entre sus resultados, dado que se obtuvo un nivel de significancia $p > 0.05$ “ver anexo 03”. Por lo tanto, se concluye que los costos derivados de estas alternativas optimizadas son estadísticamente equivalentes.

En síntesis, los hallazgos más relevantes de la investigación evidencian que la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa se manifiesta principalmente en la reducción de volúmenes de corte y relleno, el equilibrio de la curva masa y, en consecuencia, en la

disminución de los costos de movimiento de tierras. Este conjunto de resultados confirma que una adecuada optimización del diseño geométrico y cumpliendo la normatividad vigente puede aportar mejoras sustanciales tanto en la eficiencia técnica como en la económica de un proyecto vial.

5.2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Entre las limitaciones más relevantes del estudio se encuentra el alcance de la muestra analizada. El trabajo se centró en tres Expedientes técnicos, lo que permitió un análisis representativo, pero no necesariamente generalizable a todos los proyectos viales de la región Cusco u otras zonas del país. No obstante, para fines comparativos y de aplicación del método ANOVA o Kruskal Wallis dependiendo si es paramétrico o no paramétrico, se seleccionaron longitudes de 2 km por expediente, buscando mantener uniformidad en el análisis. Esta restricción metodológica permitió obtener resultados representativos, aunque no necesariamente generalizables a tramos más extensos o a otras condiciones topográficas, donde los factores geomorfológicos podrían variar significativamente.

Otra limitación es que el análisis se desarrolló únicamente en la etapa de diseño, sin incluir la fase de construcción, en la cual intervienen factores adicionales como la disponibilidad real de canteras, las condiciones climáticas, los rendimientos de maquinaria o las variaciones de precios de mercado. Estos aspectos pueden alterar los costos reales y, en algunos casos, generar desviaciones frente a las estimaciones obtenidas en gabinete.

De igual manera, se identificó la ausencia de estudios previos similares en la región Cusco, lo que impidió establecer una comparación directa con investigaciones locales. No obstante, los resultados alcanzados ofrecen una primera aproximación metodológica que puede servir como base para estudios futuros.

5.3.COMPARACIÓN CRÍTICA CON LA LITERATURA EXISTENTE

Los resultados obtenidos guardan relación con lo planteado en estudios previos que destacan la importancia de la curva masa como herramienta de gestión en el diseño geométrico vial. La investigación de Guevara (2015) sostiene que una planificación adecuada del movimiento de tierras contribuye a reducir sobrecostos y optimizar los tiempos de ejecución. Los hallazgos de esta tesis son coherentes con tales afirmaciones, ya que la optimización del alineamiento vertical redujo significativamente los costos y generó curvas masa más equilibradas.

No obstante, existen diferencias con otros trabajos que plantean correlaciones matemáticas directas entre parámetros geométricos, como la pendiente y el parámetro de curvatura K, y los volúmenes de corte y relleno. En el presente estudio no se halló una relación matemática clara entre estas variables, sino más bien una relación práctica y estadísticamente significativa a partir de la comparación de alineamientos optimizados. Este contraste aporta un enfoque crítico, ya que demuestra que la optimización integral del alineamiento, y no solo la variación de un parámetro, es lo que genera un impacto real en la curva masa y en los costos de movimiento de tierras.

De igual modo, la incorporación de análisis estadístico mediante Shapiro Wilk, ANOVA y Kruskal Wallis constituye un aporte metodológico poco abordado en investigaciones similares en el contexto nacional, reforzando la solidez de los resultados obtenidos.

5.4. IMPLICANCIAS DEL ESTUDIO

Los hallazgos de esta investigación presentan diversas implicancias de carácter técnico, económico y metodológico:

- Técnicas: La optimización del alineamiento vertical permite diseñar carreteras cumpliendo la norma de diseño geométrica de carreteras DG-2018 con curvas

masa más balanceadas, reduciendo el desequilibrio entre corte y relleno, y favoreciendo una mejor gestión de materiales.

- Económicas: La disminución de volúmenes de movimiento de tierras repercute directamente en el presupuesto del expediente técnico tal como indica la literatura varia entre 10% a 30% en costos de partida de movimiento de tierras “Ver Tabla 46”. Estos resultados, validados estadísticamente, demuestran que una adecuada optimización de alineamiento vertical genera disminución de presupuesto general de elaboración de expedientes técnicos.
- Metodológicas: El uso combinado de Civil 3D y Softree Optimal se consolida como una herramienta eficaz para el análisis y la optimización del diseño geométrico, ofreciendo una metodología replicable en futuros proyectos de infraestructura vial en la región Cusco y en otras zonas del país.
- En síntesis, la investigación confirma que el alineamiento vertical no solo es un elemento técnico del diseño geométrico, sino que constituye un factor clave en la eficiencia económica y en la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura vial.

5.5. PRUEBA HIPÓTESIS

- Hipótesis general: El alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras se relaciona significativamente con la curva masa en la región Cusco, 2025. Se acepta, ya que los resultados evidencian que la modificación de la rasante altera los volúmenes de corte y relleno, el equilibrio de la curva masa y los costos de movimiento de tierras.
- Hipótesis específica 1: Existe la variación de volumen de corte/relleno en función del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras en región Cusco, 2025. Se confirma, pues los alineamientos optimizados produjeron

variaciones de volumen de corte/relleno con respecto al alineamiento de expediente original.

- Hipótesis específica 2: El alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras cumple con los criterios establecidos en la DG-2018 en la Región Cusco,2025. Se rechaza ya que de los 4 expedientes analizados no cumplen la norma DG-2018.
- Hipótesis específica 3: Los métodos de optimización: Curva [Rápida], Curvas y tangentes [Lento], Curvas y tangentes variables [Mas lento] son similares y eficientes. Si acepta ya que los tres métodos empleados en la optimización presentan resultados similares en cuanto al equilibrio de volúmenes de corte y relleno, así como en los costos asociados. Sin embargo, el tercer método demuestra una mayor eficiencia, debido a que permite trabajar con longitudes variables de curvas y de tramos en tangente que cumplen con DG-2018.

En síntesis, la investigación confirma que el alineamiento vertical es un factor determinante en el comportamiento de la curva masa y en los costos de movimiento de tierras, constituyendo una herramienta clave para mejorar la eficiencia técnica y económica de los proyectos viales.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación “Análisis del alineamiento vertical en el diseño geométrico de carreteras y su relación con la curva masa en la región Cusco, 2025”, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Se consiguió con el objetivo N° 01 “Evaluar la variación de corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025” El análisis de la variación de los volúmenes de corte y relleno, resultante de la optimización de los tres alineamientos verticales propuestos, permitió evidenciar diferencias significativas respecto a los volúmenes establecidos en el expediente técnico original. Los resultados comparativos, presentados en las “Tablas 30, 31 y 32”, demuestran que la optimización geométrica incide directamente en la eficiencia del movimiento de tierras, posibilitando alternativas más favorables en términos constructivos y económicos.
2. Se consiguió con el objetivo N° 02 “Analizar el alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018 en la región Cusco, 2025” Respecto al comportamiento del alineamiento vertical original, se concluye que los Expedientes Técnicos N.º 01, N.º 02 y N.º 03 presentan un cumplimiento parcial de los parámetros establecidos por la DG-2018. Esto se evidencia en las Figuras 49, 52 y 55 para la verificación de pendientes, así como en las Figuras 50, 51, 53, 54, 56 y 57 para el parámetro de curvatura K. En consecuencia, se determina que dichos expedientes no cumplen de manera integral con los criterios normativos vigentes para el diseño del alineamiento vertical, lo que evidencia la necesidad de adecuaciones técnicas.

3. Se consiguió con el objetivo N° 03 “Evaluar cuál de los métodos de optimización del alineamiento vertical es más eficiente en la Región Cusco, 2025” La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres métodos de optimización evaluados ($p > 0.05$) “ver anexo 03”, por lo que cualquiera de ellos puede ser utilizado sin afectar los costos de movimiento de tierras. No obstante, desde el enfoque técnico-geométrico, el método Curvas y Tangentes Variables presenta una ligera ventaja al permitir una mejor continuidad del alineamiento vertical y un mayor cumplimiento de los parámetros establecidos en la DG-2018.
4. Se conseguido el objetivo general “Determinar la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa en la región Cusco, 2025” La investigación demuestra que el alineamiento vertical influye directamente en el equilibrio de los volúmenes de movimiento de tierras y que el diseño original requiere ajustes para cumplir correctamente la DG-2018. Las alternativas optimizadas mejoran la geometría sin vulnerar la normativa y, según la prueba de Kruskal-Wallis, los tres métodos presentan un comportamiento estadístico similar en los costos. Por ello, la optimización del alineamiento vertical contribuye a reducir sobrecostos y cumple satisfactoriamente los objetivos de la investigación.

RECOMENDACIONES

1. Aplicación en futuros proyectos: Se recomienda aplicar procesos de optimización de alineamiento vertical en todas las fases de diseño geométrico de carreteras, ya que los resultados evidencian beneficios técnicos y económicos sustanciales.
2. Validación en campo: Es necesario complementar los estudios de gabinete con análisis en fase de construcción, considerando factores reales como disponibilidad de canteras, condiciones climáticas y rendimientos de maquinaria.
3. Se recomienda utilizar el software RoadEng junto con Softree Optimal en las próximas elaboraciones de expedientes técnicos, como una alternativa complementaria al software Civil 3D.
4. Investigaciones futuras: Explorar la relación directa de parámetros geométricos específicos (pendientes, parámetro de curvatura K) en el análisis de curva masa, lo que permitiría construir modelos predictivos más precisos para el diseño vial.
5. Para futuras investigaciones, se sugiere incluir el análisis geológico y geotécnico del terreno, considerando que en el presente estudio la evaluación se centró únicamente en el aspecto geométrico del alineamiento.
6. En futuras investigaciones se recomienda ampliar el análisis al alineamiento horizontal, ya que Softree Optimal también permite su optimización, lo que podría mejorar integralmente el diseño vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo Ospina, J. J. (2008). *Diseño computarizado de carreteras*. Universidad EAFIT.
- Barrientos Palomino, N. M., & Matamoros Huaman, S. (2024). *Diseño geométrico para mejorar la transitabilidad vehicular de la carretera CU-1204 Y CU-1206 en el tramo: Huarocondo (KM 0+000)-Munaypata (km 10+000), distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento de Cusco*. Universidad Continental.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*.
- Cardenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geometrico de Carreteras* (Segunda Edicion).
- Escobar Huaman, F., & Quiñones Tapia, K. S. (2022). *Diseño de Infraestructura Vial para Mejorar la Transitividad Vehicular de la Carretera Cusco – Ccorca – Huayllaypampa de los Distritos de Cusco, Santiago y Ccorca, Cusco 2022*. Universidad César Vallejo.
- Flores Bazán, F. (2011). *Optimización lineal: Una mirada introductoria* (Primera edición). J.C. Sáez editor.
- Francisco Guevara, M. (2015). *ANÁLISIS Y EJECUCIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN UNA OBRA EMPLEANDO EL DIAGRAMA DE CURVA MASA*.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Jara Gómez, L. G. (2023). *Diseño geométrico y de pavimento de la vía CRS Turi – San Pedro de Hierba Buena, en la parroquia Turi, cantón Cuenca*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMÉTRICO DG – 2018*.
- MTC. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos*.
- Navarro Hudiel, S. (2012). *Diseño y Cálculo Geométrico de Viales*.

Rubio Martín, J. L., Jurado Piña, R., & Pérez Díaz, J. I. (2012). *Optimización de los movimientos de tierras en proyectos de obras lineales mediante técnicas de programación lineal: Modelo basado en rendimientos de construcción.*

Softree Optimal. (s. f.). *Softree*. <https://www.softree.com/ES/>

Softree Optimal. (2022). *Tutorial para Softree Optimal.*

Tiktin, J. (1997). *PROCEDIMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN-MOVIMIENTO DE TIERRAS* (Tercera Edición).

Torres Huarcaya, B. J. (2022). *DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS EMPLEANDO SOFTWARE CIVIL-3D PARA OPTIMIZACIÓN DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA RUTA PU-804 DEL DISTRITO DE SAMAN, PROVINCIA DE AZÁNGARO DEL CORREDOR VIAL N°39 DE RED VIAL VECINAL EMPALME PE 34H-PUNO.*

ANEXO N°01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO:	ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS Y SU RELACION CON LA CURVA MASA EN LA REGION CUSCO, 2025					
AUTOR:	Bach. Moisés Hanco Quispe Bach. David Merino Quispe					
ASESOR:	Mgt. Ing. Juan Pablo Escobar Masias					
NIVEL	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIBALES	METODOLOGIA	POBLACION
GENERAL	¿Cuál es la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa en la región Cusco, 2025?	Determinar la relación entre el alineamiento vertical y la curva masa en la región Cusco, 2025.	El alineamiento vertical se relaciona significativamente con la curva masa en la región Cusco, 2025.	ALINEAMIENTO VETICAL (Variable Independiente)	Tipo de investigacion: Cuantitativo Nivel de investigacion: Correlacional Diseño de investigacion: No experimental - transversal	Tres expedientes tecnicos
ESPECIFICO 1	¿Como varia el corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025?	Evaluar la variación de corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025.	Existe la variación de corte y relleno en función del alineamiento vertical en región Cusco, 2025.			
ESPECIFICO 2	¿Cómo es el alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018 en la Región Cusco, 2025?	Analizar el alineamiento vertical según el Manual de Carreteras DG-2018 en la región Cusco, 2025.	El alineamiento vertical cumple con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018 en la Región Cusco, 2025.	CURVA MASA (Variable dependiente)		
ESPECIFICO 3	¿Cuál de los métodos de optimización del alineamiento vertical es más eficiente en la Región Cusco, 2025?	Evaluar cuál de los métodos de optimización del alineamiento vertical es más eficiente en la Región Cusco, 2025.	Los métodos de optimización del alineamiento vertical presentan eficiencia similar en la Región Cusco, 2025.			

ANEXO N°02

METRADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS

EXPEDIENTE TECNICO N° 01																				
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO					
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total	
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total	
0+000.00	0+100.00	1059.1	100%	1059.1	5.35	5666.185	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	5666.185	173.6	208.32	20.00	4166.40
0+100.00	0+200.00	382.4	100%	382.4	5.35	2045.84	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	2045.84	68.3	81.96	20.00	1639.20
0+200.00	0+300.00	158.7	100%	158.7	5.35	849.045	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	849.045	80.7	96.84	20.00	1936.80
0+300.00	0+400.00	77.4	100%	77.4	5.35	414.09	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	414.09	126.6	151.92	20.00	3038.40
0+400.00	0+500.00	108.3	100%	108.3	5.35	579.405	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	579.405	261.7	314.04	20.00	6280.80
0+500.00	0+600.00	48.2	100%	48.2	5.35	257.87	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	257.87	454.5	545.40	20.00	10908.00
0+600.00	0+700.00	405.8	100%	405.8	5.35	2171.03	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	2171.03	12.4	14.88	20.00	297.60
0+700.00	0+800.00	279.1	100%	279.1	5.35	1493.185	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1493.185	21.4	25.68	20.00	513.60
0+800.00	0+900.00	95.4	100%	95.4	5.35	510.39	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	510.39	132.3	158.76	20.00	3175.20
0+900.00	1+000.00	1236.9	100%	1236.9	5.35	6617.415	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	6617.415	0	0.00	20.00	0.00
1+000.00	1+100.00	422.1	100%	422.1	5.35	2258.235	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	2258.235	1342.4	1610.88	20.00	32217.60
1+100.00	1+200.00	131.1	100%	131.1	5.35	701.385	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	701.385	234.8	281.76	20.00	5635.20
1+200.00	1+300.00	109.7	100%	109.7	5.35	586.895	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	586.895	190.6	228.72	20.00	4574.40
1+300.00	1+400.00	100.9	100%	100.9	5.35	539.815	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	539.815	173.7	208.44	20.00	4168.80
1+400.00	1+500.00	255.1	100%	255.1	5.35	1364.785	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1364.785	352.7	423.24	20.00	8464.80
1+500.00	1+600.00	931.5	100%	931.5	5.35	4983.525	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	4983.525	162.2	194.64	20.00	3892.80
1+600.00	1+700.00	10244.7	100%	10244.7	5.35	54809.145	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	54809.145	25.6	30.72	20.00	614.40
1+700.00	1+800.00	3942.7	100%	3942.7	5.35	21093.445	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	21093.445	174.2	209.04	20.00	4180.80
1+800.00	1+900.00	43.5	100%	43.5	5.35	232.725	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	232.725	1059.8	1271.76	20.00	25435.20
1+900.00	2+000.00	70.1	100%	70.1	5.35	375.035	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	375.035	182.4	218.88	20.00	4377.60

OPTIMIZACION [CURVAS] N° 01																			
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo Total	Volumen relleno (m3)	P.U.	Costo Total	
0+000.00	0+100.00	271.4	100%	271.4	5.35	1451.99	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1451.99	418.6	502.32	20.00	10046.40
0+100.00	0+200.00	204	100%	204	5.35	1091.4	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1091.4	140.5	168.60	20.00	3372.00
0+200.00	0+300.00	97.2	100%	97.2	5.35	520.02	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	520.02	37.8	45.36	20.00	907.20
0+300.00	0+400.00	114.6	100%	114.6	5.35	613.11	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	613.11	79.1	94.92	20.00	1898.40
0+400.00	0+500.00	186.3	100%	186.3	5.35	996.705	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	996.705	125	150.00	20.00	3000.00
0+500.00	0+600.00	112.3	100%	112.3	5.35	600.805	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	600.805	260.4	312.48	20.00	6249.60
0+600.00	0+700.00	189.8	100%	189.8	5.35	1015.43	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1015.43	44.7	53.64	20.00	1072.80
0+700.00	0+800.00	125.8	100%	125.8	5.35	673.03	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	673.03	51.8	62.16	20.00	1243.20
0+800.00	0+900.00	53.2	100%	53.2	5.35	284.62	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	284.62	41.8	50.16	20.00	1003.20
0+900.00	1+000.00	181.5	100%	181.5	5.35	971.025	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	971.025	80.6	96.72	20.00	1934.40
1+000.00	1+100.00	337.5	100%	337.5	5.35	1805.625	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1805.625	1001.6	1201.92	20.00	24038.40
1+100.00	1+200.00	164	100%	164	5.35	877.4	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	877.4	73.1	87.72	20.00	1754.40
1+200.00	1+300.00	140.1	100%	140.1	5.35	749.535	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	749.535	109.3	131.16	20.00	2623.20
1+300.00	1+400.00	143.2	100%	143.2	5.35	766.12	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	766.12	58.5	70.20	20.00	1404.00
1+400.00	1+500.00	285.8	100%	285.8	5.35	1529.03	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1529.03	159.9	191.88	20.00	3837.60
1+500.00	1+600.00	413.1	100%	413.1	5.35	2210.085	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	2210.085	1187.8	1425.36	20.00	28507.20
1+600.00	1+700.00	3197.4	100%	3197.4	5.35	17106.09	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	17106.09	1002.7	1203.24	20.00	24064.80
1+700.00	1+800.00	807.5	100%	807.5	5.35	4320.125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	4320.125	940.6	1128.72	20.00	22574.40
1+800.00	1+900.00	108	100%	108	5.35	577.8	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	577.8	1204.6	1445.52	20.00	28910.40
1+900.00	2+000.00	131.2	100%	131.2	5.35	701.92	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	701.92	65.9	79.08	20.00	1581.60

OPTIMIZACION [CURVAS Y TANGENTES] N° 01																			
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total			
0+000.00	0+100.00	339.1	100%	339.1	5.35	1814.185	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1814.185	350.7	420.84	20.00	8416.80
0+100.00	0+200.00	166.3	100%	166.3	5.35	889.705	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	889.705	234.4	281.28	20.00	5625.60
0+200.00	0+300.00	115.1	100%	115.1	5.35	615.785	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	615.785	21.4	25.68	20.00	513.60
0+300.00	0+400.00	121.9	100%	121.9	5.35	652.165	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	652.165	65.3	78.36	20.00	1567.20
0+400.00	0+500.00	111.8	100%	111.8	5.35	598.13	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	598.13	239.6	287.52	20.00	5750.40
0+500.00	0+600.00	153.8	100%	153.8	5.35	822.83	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	822.83	179.3	215.16	20.00	4303.20
0+600.00	0+700.00	185.1	100%	185.1	5.35	990.285	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	990.285	40.4	48.48	20.00	969.60
0+700.00	0+800.00	129.6	100%	129.6	5.35	693.36	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	693.36	41	49.20	20.00	984.00
0+800.00	0+900.00	58.1	100%	58.1	5.35	310.835	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	310.835	84.6	101.52	20.00	2030.40
0+900.00	1+000.00	150.6	100%	150.6	5.35	805.71	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	805.71	16.8	20.16	20.00	403.20
1+000.00	1+100.00	111.9	100%	111.9	5.35	598.665	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	598.665	1427.6	1713.12	20.00	34262.40
1+100.00	1+200.00	678.9	100%	678.9	5.35	3632.115	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	3632.115	58.4	70.08	20.00	1401.60
1+200.00	1+300.00	141.3	100%	141.3	5.35	755.955	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	755.955	187	224.40	20.00	4488.00
1+300.00	1+400.00	127.3	100%	127.3	5.35	681.055	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	681.055	113.4	136.08	20.00	2721.60
1+400.00	1+500.00	363.4	100%	363.4	5.35	1944.19	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1944.19	57.6	69.12	20.00	1382.40
1+500.00	1+600.00	454.8	100%	454.8	5.35	2433.18	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	2433.18	999	1198.80	20.00	23976.00
1+600.00	1+700.00	3561.2	100%	3561.2	5.35	19052.42	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	19052.42	757.3	908.76	20.00	18175.20
1+700.00	1+800.00	629.1	100%	629.1	5.35	3365.685	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	3365.685	1242.4	1490.88	20.00	29817.60
1+800.00	1+900.00	93.1	100%	93.1	5.35	498.085	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	498.085	1378.1	1653.72	20.00	33074.40
1+900.00	2+000.00	133	100%	133	5.35	711.55	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	711.55	68.4	82.08	20.00	1641.60

OPTIMIZACION [CURVAS Y TANGENTES VARIABLES] N° 01																			
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total			
0+000.00	0+100.00	346.8	100%	346.8	5.35	1855.38	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1855.38	349.7	419.64	20.00	8392.80
0+100.00	0+200.00	197.1	100%	197.1	5.35	1054.485	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1054.485	165.5	198.60	20.00	3972.00
0+200.00	0+300.00	90.5	100%	90.5	5.35	484.175	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	484.175	93.5	112.20	20.00	2244.00
0+300.00	0+400.00	90.9	100%	90.9	5.35	486.315	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	486.315	129.4	155.28	20.00	3105.60
0+400.00	0+500.00	171.7	100%	171.7	5.35	918.595	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	918.595	133	159.60	20.00	3192.00
0+500.00	0+600.00	120.2	100%	120.2	5.35	643.07	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	643.07	239.7	287.64	20.00	5752.80
0+600.00	0+700.00	181.1	100%	181.1	5.35	968.885	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	968.885	91.8	110.16	20.00	2203.20
0+700.00	0+800.00	147.1	100%	147.1	5.35	786.985	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	786.985	32.1	38.52	20.00	770.40
0+800.00	0+900.00	51.5	100%	51.5	5.35	275.525	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	275.525	44.6	53.52	20.00	1070.40
0+900.00	1+000.00	293.9	100%	293.9	5.35	1572.365	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1572.365	38.7	46.44	20.00	928.80
1+000.00	1+100.00	409.2	100%	409.2	5.35	2189.22	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	2189.22	1137.5	1365.00	20.00	27300.00
1+100.00	1+200.00	158.3	100%	158.3	5.35	846.905	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	846.905	84.1	100.92	20.00	2018.40
1+200.00	1+300.00	130	100%	130	5.35	695.5	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	695.5	119.7	143.64	20.00	2872.80
1+300.00	1+400.00	142	100%	142	5.35	759.7	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	759.7	66.1	79.32	20.00	1586.40
1+400.00	1+500.00	298.9	100%	298.9	5.35	1599.115	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1599.115	99.4	119.28	20.00	2385.60
1+500.00	1+600.00	284.2	100%	284.2	5.35	1520.47	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	1520.47	1603.5	1924.20	20.00	38484.00
1+600.00	1+700.00	3754.1	100%	3754.1	5.35	20084.435	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	20084.435	679	814.80	20.00	16296.00
1+700.00	1+800.00	739.9	100%	739.9	5.35	3958.465	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	3958.465	1088.3	1305.96	20.00	26119.20
1+800.00	1+900.00	79.9	100%	79.9	5.35	427.465	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	427.465	1335	1602.00	20.00	32040.00
1+900.00	2+000.00	134.9	100%	134.9	5.35	721.715	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	721.715	75.3	90.36	20.00	1807.20

EXPEDIENTE TECNICO N° 02

INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
			%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)					
0+000.00	0+100.00	4662	100%	4662	4.57	21305.34	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	21305.34	0	0.00	17.70	0.00
0+100.00	0+200.00	3573.9	100%	3573.9	4.57	16332.723	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	16332.723	1467	1907.10	17.70	33755.67
0+200.00	0+300.00	3147.8	100%	3147.8	4.57	14385.446	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	14385.446	1286.5	1672.45	17.70	29602.37
0+300.00	0+400.00	2253.8	100%	2253.8	4.57	10299.866	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	10299.866	1936.2	2517.06	17.70	44551.96
0+400.00	0+500.00	6855.4	100%	6855.4	4.57	31329.178	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	31329.178	410	533.00	17.70	9434.10
0+500.00	0+600.00	4169.8	100%	4169.8	4.57	19055.986	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	19055.986	818.9	1064.57	17.70	18842.89
0+600.00	0+700.00	1272.9	0.00%	0	4.57	0	100.00%	1272.90	6.78	8630.26	0.00%	0.00	19.55	0.00	8630.262	2150.5	2795.65	17.70	49483.01
0+700.00	0+800.00	5292.8	0.00%	0	4.57	0	100.00%	5292.80	6.78	35885.18	0.00%	0.00	19.55	0.00	35885.184	1448.8	1883.44	17.70	33336.89
0+800.00	0+900.00	6682.5	0.00%	0	4.57	0	100.00%	6682.50	6.78	45307.35	0.00%	0.00	19.55	0.00	45307.35	0	0.00	17.70	0.00
0+900.00	1+000.00	2119.6	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2119.60	6.78	14370.89	0.00%	0.00	19.55	0.00	14370.888	603.7	784.81	17.70	13891.14
1+000.00	1+100.00	6999.2	0.00%	0	4.57	0	100.00%	6999.20	6.78	47454.58	0.00%	0.00	19.55	0.00	47454.576	0	0.00	17.70	0.00
1+100.00	1+200.00	7904.6	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	7904.60	19.55	154534.93	154534.93	609.9	792.87	17.70	14033.80
1+200.00	1+300.00	6803.8	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	6803.80	19.55	133014.29	133014.29	826.8	1074.84	17.70	19024.67
1+300.00	1+400.00	4026	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	4026.00	19.55	78708.30	78708.3	1027.1	1335.23	17.70	23633.57
1+400.00	1+500.00	6953.9	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	6953.90	19.55	135948.75	135948.745	1015.7	1320.41	17.70	23371.26
1+500.00	1+600.00	13018	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	13018.00	19.55	254501.90	254501.9	1281.8	1666.34	17.70	29494.22
1+600.00	1+700.00	7791.1	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	7791.10	19.55	152316.01	152316.005	1213.6	1577.68	17.70	27924.94
1+700.00	1+800.00	3184.2	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3184.20	19.55	62251.11	62251.11	200.4	260.52	17.70	4611.20
1+800.00	1+900.00	4376.8	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	4376.80	19.55	85566.44	85566.44	2250.3	2925.39	17.70	51779.40
1+900.00	2+000.00	4674.8	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	4674.80	19.55	91392.34	91392.34	1092.7	1420.51	17.70	25143.03

OPTIMIZACION [CURVAS] N° 02																			
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.					
0+000.00	0+100.00	2979.7	100%	2979.7	4.57	13617.229	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	13617.229	368	478.40	17.70	8467.68
0+100.00	0+200.00	884.4	100%	884.4	4.57	4041.708	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	4041.708	1683.7	2188.81	17.70	38741.94
0+200.00	0+300.00	1689.9	100%	1689.9	4.57	7722.843	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	7722.843	933.5	1213.55	17.70	21479.84
0+300.00	0+400.00	980.1	100%	980.1	4.57	4479.057	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	4479.057	1467.4	1907.62	17.70	33764.87
0+400.00	0+500.00	2810.5	100%	2810.5	4.57	12843.985	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	12843.985	2224.7	2892.11	17.70	51190.35
0+500.00	0+600.00	1996	100%	1996	4.57	9121.72	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	9121.72	1142.9	1485.77	17.70	26298.13
0+600.00	0+700.00	846.4	0.00%	0	4.57	0	100.00%	846.40	6.78	5738.59	0.00%	0.00	19.55	0.00	5738.592	885.6	1151.28	17.70	20377.66
0+700.00	0+800.00	2491.7	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2491.70	6.78	16893.73	0.00%	0.00	19.55	0.00	16893.726	2240.5	2912.65	17.70	51553.91
0+800.00	0+900.00	3827.5	0.00%	0	4.57	0	100.00%	3827.50	6.78	25950.45	0.00%	0.00	19.55	0.00	25950.45	2551.4	3316.82	17.70	58707.71
0+900.00	1+000.00	1460.1	0.00%	0	4.57	0	100.00%	1460.10	6.78	9899.48	0.00%	0.00	19.55	0.00	9899.478	555.4	722.02	17.70	12779.75
1+000.00	1+100.00	2365.6	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2365.60	6.78	16038.77	0.00%	0.00	19.55	0.00	16038.768	1440.3	1872.39	17.70	33141.30
1+100.00	1+200.00	2806.8	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2806.80	19.55	54872.94	54872.94	2836.4	3687.32	17.70	65265.56
1+200.00	1+300.00	2490.4	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2490.40	19.55	48687.32	48687.32	1870.6	2431.78	17.70	43042.51
1+300.00	1+400.00	2105.9	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2105.90	19.55	41170.35	41170.345	1779.3	2313.09	17.70	40941.69
1+400.00	1+500.00	3597.1	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3597.10	19.55	70323.31	70323.305	3584.8	4660.24	17.70	82486.25
1+500.00	1+600.00	7479.6	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	7479.60	19.55	146226.18	146226.18	4496.2	5845.06	17.70	103457.56
1+600.00	1+700.00	3448.4	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3448.40	19.55	67416.22	67416.22	2862.3	3720.99	17.70	65861.52
1+700.00	1+800.00	1400.6	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	1400.60	19.55	27381.73	27381.73	760.8	989.04	17.70	17506.01
1+800.00	1+900.00	2021.5	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2021.50	19.55	39520.33	39520.325	1348.7	1753.31	17.70	31033.59
1+900.00	2+000.00	2118.5	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2118.50	19.55	41416.68	41416.675	1831.3	2380.69	17.70	42138.21

OPTIMIZACION [CURVAS Y TANGENTES] N° 02																			
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total			
0+000.00	0+100.00	3096.7	100%	3096.7	4.57	14151.919	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	14151.919	289.3	376.09	17.70	6656.79
0+100.00	0+200.00	1011.3	100%	1011.3	4.57	4621.641	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	4621.641	1390.3	1807.39	17.70	31990.80
0+200.00	0+300.00	1588	100%	1588	4.57	7257.16	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	7257.16	1009.6	1312.48	17.70	23230.90
0+300.00	0+400.00	1148.6	100%	1148.6	4.57	5249.102	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	5249.102	1324.2	1721.46	17.70	30469.84
0+400.00	0+500.00	2562.5	100%	2562.5	4.57	11710.625	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	11710.625	2700.8	3511.04	17.70	62145.41
0+500.00	0+600.00	2523.2	100%	2523.2	4.57	11531.024	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	11531.024	953.4	1239.42	17.70	21937.73
0+600.00	0+700.00	767.5	0.00%	0	4.57	0	100.00%	767.50	6.78	5203.65	0.00%	0.00	19.55	0.00	5203.65	746.4	970.32	17.70	17174.66
0+700.00	0+800.00	2622	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2622.00	6.78	17777.16	0.00%	0.00	19.55	0.00	17777.16	1879.4	2443.22	17.70	43244.99
0+800.00	0+900.00	3853.6	0.00%	0	4.57	0	100.00%	3853.60	6.78	26127.41	0.00%	0.00	19.55	0.00	26127.408	2494.8	3243.24	17.70	57405.35
0+900.00	1+000.00	1255.7	0.00%	0	4.57	0	100.00%	1255.70	6.78	8513.65	0.00%	0.00	19.55	0.00	8513.646	616.1	800.93	17.70	14176.46
1+000.00	1+100.00	2568.9	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2568.90	6.78	17417.14	0.00%	0.00	19.55	0.00	17417.142	1124.6	1461.98	17.70	25877.05
1+100.00	1+200.00	2820.7	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2820.70	19.55	55144.69	55144.685	2835.4	3686.02	17.70	65242.55
1+200.00	1+300.00	2541.2	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2541.20	19.55	49680.46	49680.46	1712.9	2226.77	17.70	39413.83
1+300.00	1+400.00	2202.9	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2202.90	19.55	43066.70	43066.695	1514.1	1968.33	17.70	34839.44
1+400.00	1+500.00	3521.9	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3521.90	19.55	68853.15	68853.145	4067.7	5288.01	17.70	93597.78
1+500.00	1+600.00	7701.3	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	7701.30	19.55	150560.42	150560.415	3999.2	5198.96	17.70	92021.59
1+600.00	1+700.00	3453.7	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3453.70	19.55	67519.84	67519.835	2837	3688.10	17.70	65279.37
1+700.00	1+800.00	1400.9	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	1400.90	19.55	27387.60	27387.595	746.9	970.97	17.70	17186.17
1+800.00	1+900.00	2004.2	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2004.20	19.55	39182.11	39182.11	1404.5	1825.85	17.70	32317.55
1+900.00	2+000.00	2200.8	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2200.80	19.55	43025.64	43025.64	1717.3	2232.49	17.70	39515.07

OPTIMIZACION [CURVAS Y TANGENTES VARIABLES] N° 02

INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)								
0+000.00	0+100.00	2796.9	100%	2796.9	4.57	12781.833	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	12781.833	630.7	819.91	17.70	14512.41
0+100.00	0+200.00	1242.4	100%	1242.4	4.57	5677.768	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	5677.768	1460.1	1898.13	17.70	33596.90
0+200.00	0+300.00	1597.9	100%	1597.9	4.57	7302.403	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	7302.403	966.1	1255.93	17.70	22229.96
0+300.00	0+400.00	1156.7	100%	1156.7	4.57	5286.119	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	5286.119	1124.9	1462.37	17.70	25883.95
0+400.00	0+500.00	2713.2	100%	2713.2	4.57	12399.324	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	12399.324	2346.9	3050.97	17.70	54002.17
0+500.00	0+600.00	2195.6	100%	2195.6	4.57	10033.892	0.00%	0.00	6.78	0.00	0.00%	0.00	19.55	0.00	10033.892	935.9	1216.67	17.70	21535.06
0+600.00	0+700.00	888.9	0.00%	0	4.57	0	100.00%	888.90	6.78	6026.74	0.00%	0.00	19.55	0.00	6026.742	1022.1	1328.73	17.70	23518.52
0+700.00	0+800.00	2568.2	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2568.20	6.78	17412.40	0.00%	0.00	19.55	0.00	17412.396	2113.5	2747.55	17.70	48631.64
0+800.00	0+900.00	3764.7	0.00%	0	4.57	0	100.00%	3764.70	6.78	25524.67	0.00%	0.00	19.55	0.00	25524.666	2604	3385.20	17.70	59918.04
0+900.00	1+000.00	1513.9	0.00%	0	4.57	0	100.00%	1513.90	6.78	10264.24	0.00%	0.00	19.55	0.00	10264.242	483.4	628.42	17.70	11123.03
1+000.00	1+100.00	2373.4	0.00%	0	4.57	0	100.00%	2373.40	6.78	16091.65	0.00%	0.00	19.55	0.00	16091.652	1428.4	1856.92	17.70	32867.48
1+100.00	1+200.00	2680.5	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2680.50	19.55	52403.78	52403.775	3020.3	3926.39	17.70	69497.10
1+200.00	1+300.00	2683	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2683.00	19.55	52452.65	52452.65	1476.1	1918.93	17.70	33965.06
1+300.00	1+400.00	1884.4	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	1884.40	19.55	36840.02	36840.02	2178.1	2831.53	17.70	50118.08
1+400.00	1+500.00	3865.1	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3865.10	19.55	75562.71	75562.705	2918.1	3793.53	17.70	67145.48
1+500.00	1+600.00	7489.6	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	7489.60	19.55	146421.68	146421.68	4388.9	5705.57	17.70	100988.59
1+600.00	1+700.00	3358.8	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	3358.80	19.55	65664.54	65664.54	2896.1	3764.93	17.70	66639.26
1+700.00	1+800.00	1387.2	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	1387.20	19.55	27119.76	27119.76	670.6	871.78	17.70	15430.51
1+800.00	1+900.00	2078.3	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2078.30	19.55	40630.77	40630.765	1193.3	1551.29	17.70	27457.83
1+900.00	2+000.00	2064.7	0.00%	0	4.57	0	0.00%	0.00	6.78	0.00	100.00%	2064.70	19.55	40364.89	40364.885	1796.6	2335.58	17.70	41339.77

EXPEDIENTE TECNICO N° 03

INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO			
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)							
0+000.000	0+100.000	501	100%	501	7.41	3712.41	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	3712.41	265.50	318.60	20.00	6372.00
0+100.000	0+200.000	551.5	100%	551.5	7.41	4086.615	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	4086.615	398.00	477.60	20.00	9552.00
0+200.000	0+300.000	679	100%	679	7.41	5031.39	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	5031.39	416.75	500.10	20.00	10002.00
0+300.000	0+400.000	498	100%	498	7.41	3690.18	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	3690.18	183.50	220.20	20.00	4404.00
0+400.000	0+500.000	645.5	100%	645.5	7.41	4783.155	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	4783.155	114.75	137.70	20.00	2754.00
0+500.000	0+600.000	878.5	100%	878.5	7.41	6509.685	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	6509.685	45.00	54.00	20.00	1080.00
0+600.000	0+700.000	763	100%	763	7.41	5653.83	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	5653.83	9.00	10.80	20.00	216.00
0+700.000	0+800.000	982	100%	982	7.41	7276.62	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	7276.62	0.00	0.00	20.00	0.00
0+800.000	0+900.000	629.5	100%	629.5	7.41	4664.595	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	4664.595	0.00	0.00	20.00	0.00
0+900.000	1+000.000	877.5	100%	877.5	7.41	6502.275	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	6502.275	54.00	64.80	20.00	1296.00
1+000.000	1+100.000	692.5	100%	692.5	7.41	5131.425	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	5131.425	243.25	291.90	20.00	5838.00
1+100.000	1+200.000	1024	100%	1024	7.41	7587.84	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	7587.84	17.50	21.00	20.00	420.00
1+200.000	1+300.000	844.5	100%	844.5	7.41	6257.745	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	6257.745	135.25	162.30	20.00	3246.00
1+300.000	1+400.000	815	100%	815	7.41	6039.15	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	6039.15	52.50	63.00	20.00	1260.00
1+400.000	1+500.000	644	100%	644	7.41	4772.04	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	4772.04	17.50	21.00	20.00	420.00
1+500.000	1+600.000	325.5	100%	325.5	7.41	2411.955	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	2411.955	188.50	226.20	20.00	4524.00
1+600.000	1+700.000	667	100%	667	7.41	4942.47	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	4942.47	213.50	256.20	20.00	5124.00
1+700.000	1+800.000	458.5	100%	458.5	7.41	3397.485	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	3397.485	441.00	529.20	20.00	10584.00
1+800.000	1+900.000	1365.5	100%	1365.5	7.41	10118.355	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	10118.355	137.50	165.00	20.00	3300.00
1+900.000	2+000.000	887.5	100%	887.5	7.41	6576.375	0.00%	0.00%	0	0.00	0.00	0	0.00	6576.375	104.50	125.40	20.00	2508.00

OPTIMIZACION [CURVAS] N° 03																			
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.					
0+000.000	0+100.000	95.25	100%	95.25	5.35	509.5875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	509.5875	440.50	528.60	20.00	10572.00
0+100.000	0+200.000	85.00	100%	85	5.35	454.75	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	24.94	0.00	454.75	430.50	516.60	20.00	10332.00
0+200.000	0+300.000	356.75	100%	356.75	5.35	1908.6125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	25.94	0.00	1908.6125	237.50	285.00	20.00	5700.00
0+300.000	0+400.000	92.50	100%	92.5	5.35	494.875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	26.94	0.00	494.875	294.00	352.80	20.00	7056.00
0+400.000	0+500.000	295.25	100%	295.25	5.35	1579.5875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	27.94	0.00	1579.5875	127.00	152.40	20.00	3048.00
0+500.000	0+600.000	13.00	100%	13	5.35	69.55	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	28.94	0.00	69.55	433.50	520.20	20.00	10404.00
0+600.000	0+700.000	544.00	100%	544	5.35	2910.4	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	29.94	0.00	2910.4	15.75	18.90	20.00	378.00
0+700.000	0+800.000	47.25	100%	47.25	5.35	252.7875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	30.94	0.00	252.7875	383.50	460.20	20.00	9204.00
0+800.000	0+900.000	403.50	100%	403.5	5.35	2158.725	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	31.94	0.00	2158.725	14.25	17.10	20.00	342.00
0+900.000	1+000.000	179.25	100%	179.25	5.35	958.9875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	32.94	0.00	958.9875	253.75	304.50	20.00	6090.00
1+000.000	1+100.000	170.00	100%	170	5.35	909.5	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	33.94	0.00	909.5	319.00	382.80	20.00	7656.00
1+100.000	1+200.000	578.50	100%	578.5	5.35	3094.975	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	34.94	0.00	3094.975	42.00	50.40	20.00	1008.00
1+200.000	1+300.000	308.50	100%	308.5	5.35	1650.475	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	35.94	0.00	1650.475	624.25	749.10	20.00	14982.00
1+300.000	1+400.000	330.50	100%	330.5	5.35	1768.175	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	36.94	0.00	1768.175	263.50	316.20	20.00	6324.00
1+400.000	1+500.000	211.00	100%	211	5.35	1128.85	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	37.94	0.00	1128.85	107.25	128.70	20.00	2574.00
1+500.000	1+600.000	162.00	100%	162	5.35	866.7	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	38.94	0.00	866.7	55.75	66.90	20.00	1338.00
1+600.000	1+700.000	146.75	100%	146.75	5.35	785.1125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	39.94	0.00	785.1125	412.75	495.30	20.00	9906.00
1+700.000	1+800.000	200.25	100%	200.25	5.35	1071.3375	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	40.94	0.00	1071.3375	234.00	280.80	20.00	5616.00
1+800.000	1+900.000	1155.00	100%	1155	5.35	6179.25	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	41.94	0.00	6179.25	45.75	54.90	20.00	1098.00
1+900.000	2+000.000	762.50	100%	762.5	5.35	4079.375	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	42.94	0.00	4079.375	72.00	86.40	20.00	1728.00

OPTIMIZACION [CURVAS Y TANGENTES] N° 03																		
INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO			
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total		
0+000.000	0+100.000	23.00	100%	23	5.35	123.05	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	123.05	712.50	855.00	20.00	17100.00	
0+100.000	0+200.000	21.50	100%	21.5	5.35	115.025	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	115.025	532.00	638.40	20.00	12768.00	
0+200.000	0+300.000	477.50	100%	477.5	5.35	2554.625	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	2554.625	195.00	234.00	20.00	4680.00	
0+300.000	0+400.000	51.75	100%	51.75	5.35	276.8625	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	276.8625	261.00	313.20	20.00	6264.00	
0+400.000	0+500.000	252.00	100%	252	5.35	1348.2	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	1348.2	199.00	238.80	20.00	4776.00	
0+500.000	0+600.000	67.75	100%	67.75	5.35	362.4625	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	362.4625	231.00	277.20	20.00	5544.00	
0+600.000	0+700.000	489.50	100%	489.5	5.35	2618.825	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	2618.825	14.00	16.80	20.00	336.00	
0+700.000	0+800.000	51.25	100%	51.25	5.35	274.1875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	274.1875	378.75	454.50	20.00	9090.00	
0+800.000	0+900.000	607.00	100%	607	5.35	3247.45	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	3247.45	0.25	0.30	20.00	6.00	
0+900.000	1+000.000	38.25	100%	38.25	5.35	204.6375	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	204.6375	285.50	342.60	20.00	6852.00	
1+000.000	1+100.000	115.25	100%	115.25	5.35	616.5875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	616.5875	328.25	393.90	20.00	7878.00	
1+100.000	1+200.000	1243.50	100%	1243.5	5.35	6652.725	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	6652.725	0.00	0.00	20.00	0.00	
1+200.000	1+300.000	235.50	100%	235.5	5.35	1259.925	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	1259.925	282.00	338.40	20.00	6768.00	
1+300.000	1+400.000	321.00	100%	321	5.35	1717.35	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	1717.35	87.75	105.30	20.00	2106.00	
1+400.000	1+500.000	218.00	100%	218	5.35	1166.3	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	1166.3	35.50	42.60	20.00	852.00	
1+500.000	1+600.000	190.00	100%	190	5.35	1016.5	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	1016.5	16.75	20.10	20.00	402.00	
1+600.000	1+700.000	116.25	100%	116.25	5.35	621.9375	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	621.9375	285.00	342.00	20.00	6840.00	
1+700.000	1+800.000	259.75	100%	259.75	5.35	1389.6625	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	1389.6625	232.50	279.00	20.00	5580.00	
1+800.000	1+900.000	1466.00	100%	1466	5.35	7843.1	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	7843.1	6.00	7.20	20.00	144.00	
1+900.000	2+000.000	503.50	100%	503.5	5.35	2693.725	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	2693.725	46.00	55.20	20.00	1104.00	

OPTIMIZACION [CURVAS Y TANGENTES VARIABLES] N° 03

INICIAL	FINAL	Volumen Corte(m3)	CORTE												RELLENO				
			Material Suelto				Roca Suelta				Roca Fija				Costo Total	Volumen relleno (m3)	Volumen relleno (m3) (F.C.=0.20)	P.U.	Costo Total
%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)	%	Cantidad(m3)	P.U.	Costo (\$/)								
0+000.000	0+100.000	112.5	100%	112.5	5.35	601.875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00	601.875	370.75	444.90	20.00	8898.00
0+100.000	0+200.000	124.5	100%	124.5	5.35	666.075	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	24.94	0.00	666.075	463.5	556.20	20.00	11124.00
0+200.000	0+300.000	343.5	100%	343.5	5.35	1837.725	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	25.94	0.00	1837.725	261.5	313.80	20.00	6276.00
0+300.000	0+400.000	98.75	100%	98.75	5.35	528.3125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	26.94	0.00	528.3125	384.5	461.40	20.00	9228.00
0+400.000	0+500.000	286.75	100%	286.75	5.35	1534.1125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	27.94	0.00	1534.1125	212	254.40	20.00	5088.00
0+500.000	0+600.000	25	100%	25	5.35	133.75	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	28.94	0.00	133.75	371.5	445.80	20.00	8916.00
0+600.000	0+700.000	527.25	100%	527.25	5.35	2820.7875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	29.94	0.00	2820.7875	20.25	24.30	20.00	486.00
0+700.000	0+800.000	24.25	100%	24.25	5.35	129.7375	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	30.94	0.00	129.7375	528	633.60	20.00	12672.00
0+800.000	0+900.000	420	100%	420	5.35	2247	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	31.94	0.00	2247	12.25	14.70	20.00	294.00
0+900.000	1+000.000	160.5	100%	160.5	5.35	858.675	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	32.94	0.00	858.675	239.25	287.10	20.00	5742.00
1+000.000	1+100.000	227.5	100%	227.5	5.35	1217.125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	33.94	0.00	1217.125	260	312.00	20.00	6240.00
1+100.000	1+200.000	586.5	100%	586.5	5.35	3137.775	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	34.94	0.00	3137.775	35.75	42.90	20.00	858.00
1+200.000	1+300.000	257.25	100%	257.25	5.35	1376.2875	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	35.94	0.00	1376.2875	614.25	737.10	20.00	14742.00
1+300.000	1+400.000	385	100%	385	5.35	2059.75	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	36.94	0.00	2059.75	149.25	179.10	20.00	3582.00
1+400.000	1+500.000	307.5	100%	307.5	5.35	1645.125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	37.94	0.00	1645.125	159.25	191.10	20.00	3822.00
1+500.000	1+600.000	142	100%	142	5.35	759.7	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	38.94	0.00	759.7	76.5	91.80	20.00	1836.00
1+600.000	1+700.000	148.5	100%	148.5	5.35	794.475	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	39.94	0.00	794.475	383.25	459.90	20.00	9198.00
1+700.000	1+800.000	194.75	100%	194.75	5.35	1041.9125	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	40.94	0.00	1041.9125	208.5	250.20	20.00	5004.00
1+800.000	1+900.000	1242.5	100%	1242.5	5.35	6647.375	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	41.94	0.00	6647.375	42.75	51.30	20.00	1026.00
1+900.000	2+000.000	369	100%	369	5.35	1974.15	0.00%	0.00%	16.75	0.00	0.00	0.00	42.94	0.00	1974.15	115.5	138.60	20.00	2772.00

ANEXO N°03

METODO ESTADISTICO

(SHAPIRO WILK & KRUSKAL WALLIS)

a) Script de cálculo estadístico en Python

```
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.stats import shapiro, kruskal, f_oneway

# Datos proporcionados
data = {
    "CURVA": [11498.39, 4463.40, 1427.22, 2511.51, 3996.71, 6850.41, 2088.23,
    1916.23, 1287.82, 2905.43, 25844.03, 2631.80, 3372.74, 2170.12, 5366.63,
    30717.29, 41170.89, 26894.53, 29488.20, 2283.52],
    "CURVAS Y TANGENTES": [10230.99, 6515.31, 1129.39, 2219.37, 6348.53,
    5126.03, 1959.89, 1677.36, 2341.24, 1208.91, 34861.07, 5033.72, 5243.96,
    3402.66, 3326.59, 26409.18, 37227.62, 33183.29, 33572.49, 2353.15],
    "CURVAS Y TANGENTES VARIABLES": [10248.18, 5026.49, 2728.18, 3591.92,
    4110.60, 6395.87, 3172.09, 1557.39, 1345.93, 2501.17, 29489.22, 2865.31,
    3568.30, 2346.10, 3984.72, 40004.47, 36380.44, 30077.67, 32467.47, 2528.92]
}

df = pd.DataFrame(data)

# Realizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilk
p_values = []
for column in df.columns:
    stat, p = shapiro(df[column])
    p_values.append(p)
    print(f"Prueba de normalidad para {column}: estadístico={stat:.3f}, p={p:.5f}")
    if p > 0.05:
        print(f"{column} es normal.")
    else:
        print(f"{column} no es normal.")

# Determinar si el análisis es paramétrico o no paramétrico
general_parametrico = all(p > 0.05 for p in p_values)

if general_parametrico:
    print("Los datos son normales en general. Procediendo con pruebas paramétricas.")
    # Prueba ANOVA
    stat, p_anova = f_oneway(*[df[column] for column in df.columns])
    print(f"Resultado ANOVA: estadístico={stat:.3f}, p={p_anova:.5f}")
    if p_anova < 0.05:
        print("Diferencias significativas encontradas entre los grupos.")
    else:
        print("No se encontraron diferencias significativas entre los grupos.")
```

```

else:
    print("Los datos no son normales en general. Procediendo con pruebas no
paramétricas.")
    # Prueba Kruskal-Wallis
    stat, p_kruskal = kruskal(*[df[column] for column in df.columns])
    print(f"Resultado Kruskal-Wallis: estadístico={stat:.3f},
p={p_kruskal:.5f}")
    if p_kruskal < 0.05:
        print("Diferencias significativas encontradas entre los grupos.")
    else:
        print("No se encontraron diferencias significativas entre los
grupos.")

```

b) Resultados de cálculo de Shapiro Wilk y Kruskal Wallis

b1) Expediente N°01

The screenshot shows a Jupyter Notebook interface with the following details:

- File Tree:** Shows a tree view of files and folders, including 'TESIS PY' which contains 'TESIS Python.ipynb'.
- Code Cell:** Displays Python code for performing statistical tests. It imports numpy, pandas, and scipy.stats, then defines a data variable containing three lists of numerical values. It creates a DataFrame 'df' from this data. A loop iterates over columns to perform Shapiro-Wilk normality tests, collecting results in a list 'p_values'. Finally, it performs a Kruskal-Wallis test on all columns.
- Output Cell:** Shows the execution results. It first displays the results of individual Shapiro-Wilk tests for each column, indicating that 'CURVA' is not normal. Then, it shows the overall Kruskal-Wallis test result, stating that 'No se encontraron diferencias significativas entre los grupos.' (No significant differences were found between the groups).
- Terminal:** Shows the command PS 0131, TESIS 2025-SOFITRE OPTIMAL\19, TESIS Python & C:\Users\llopez\OneDrive\Documentos\Universitarios\Python\Python013\python.exe "19\19.TESI...".
- Help Bar:** Provides information about the current session, including the date (2025-09-16), time (10:19), and the fact that it's a Python environment.

b2) Expediente N°02

The screenshot shows a Jupyter Notebook interface with two code cells. The first cell contains Python code for statistical testing:

```
1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 from scipy.stats import shapiro, kruskal, f_oneway
4
5 # Datos proporcionados
6 data = [
7     "CURVAS": [22984.91, 42783.85, 29282.68, 38243.93, 64034.33, 75419.05, 20130.15, 68447.63, 84656.16, 22679.13, 49180.07, 120138.56],
8     "CURVAS Y TANGENTES": [20888.73, 36612.46, 30031.06, 38718.04, 73155.05, 13408.76, 72178.41, 61822.15, 82182.05, 22690.11, 21204.0],
9     "CURVAS Y TANGENTES VARIABLES": [27294.36, 39274.97, 29337.76, 11178.97, 68821.05, 71568.70, 49545.70, 85424.71, 85424.71, 21387.0]
10 ]
11
12 df = pd.DataFrame(data)
13
14 # Realizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilk
15 p_values = []
16 for column in df.columns:
17     stat, p = shapiro(df[column])
18     p_values.append(p)
19
20 pvalues = pd.DataFrame(p_values)
```

The second cell shows the output of the statistical tests:

```
PS D:\J_3_TESIS_2025-SOFITREE OPTIMAL\10_TESIS_Python> & C:/Users/ntmt/AppData/Local/Programs/Python/Python311/python.exe "d:/J_3_TESIS_2025-SOFITREE OPTIMAL/10_TESIS_Python/TESTS.py"
Prueba de normalidad para CURVAS: estadístico=0.826, p=0.88219
CURVAS no es normal.
Prueba de normalidad para CURVAS Y TANGENTES: estadístico=0.810, p=0.88277
CURVAS Y TANGENTES no es normal.
Prueba de normalidad para CURVAS Y TANGENTES VARIABLES: estadístico=0.821, p=0.88183
CURVAS Y TANGENTES VARIABLES no es normal.
Los datos no son normales en general. Procediendo con pruebas no paramétricas.
Resultado Kruskal-Wallis: estadístico=0.817, p=0.98181
No se encontraron diferencias significativas entre los grupos.
```

PS D:\J_3_TESIS_2025-SOFITREE OPTIMAL\10_TESIS_Python>

b4) Expediente N°03

The screenshot shows a Jupyter Notebook interface with two code cells. The first cell contains Python code for statistical testing:

```
1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 from scipy.stats import shapiro, kruskal, F_oneway
4
5 # Datos proporcionados
6 data = [
7     "CURVAS": [18286.62, 18367.98, 18393.31, 40211.89, 45771.03, 47312.21, 47313.33, 1117.22, 5830.47, 3051.84, 5962.49, 4653.02, 5575.96],
8     "CURVAS Y TANGENTES": [6213.62, 9247.06, 6192.26, 7746.93, 4444.51, 6441.31, 5166.76, 4689.13, 4905.03, 3805.32, 3639.15, 1353.46],
9     "CURVAS Y TANGENTES VARIABLES": [7428.41, 38398.21, 9435.84, 4438.14, 1929.01, 4090.98, 4485.22, 3549.61, 3589.70, 3492.53, 4395.1]
10 ]
11
12 df = pd.DataFrame(data)
13
14 # Realizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilk
15 p_values = []
16 for column in df.columns:
17     stat, p = shapiro(df[column])
18     p_values.append(p)
19
20 pvalues = pd.DataFrame(p_values)
```

The second cell shows the output of the statistical tests:

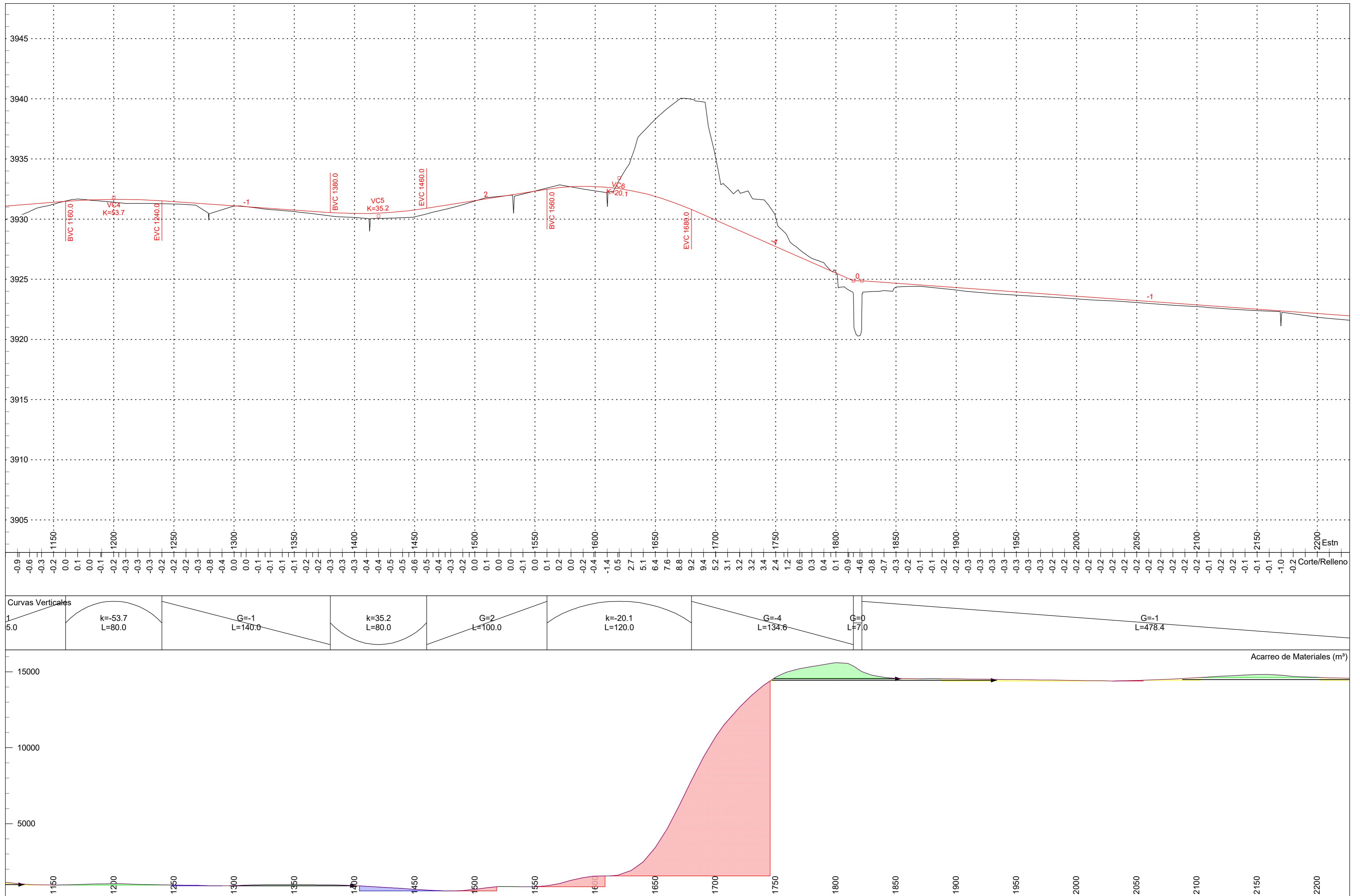
```
PS D:\J_3_TESIS_2025-SOFITREE OPTIMAL\10_TESIS_Python> & C:/Users/ntmt/AppData/Local/Programs/Python/Python311/python.exe "d:/J_3_TESIS_2025-SOFITREE OPTIMAL/10_TESIS_Python/TESTS.py"
Prueba de normalidad para CURVAS: estadístico=0.737, p=0.68012
CURVAS no es normal.
Prueba de normalidad para CURVAS Y TANGENTES: estadístico=0.903, p=0.61109
CURVAS Y TANGENTES es normal.
Prueba de normalidad para CURVAS Y TANGENTES VARIABLES: estadístico=0.847, p=0.68477
CURVAS Y TANGENTES VARIABLES no es normal.
Los datos no son normales en general. Procediendo con pruebas no paramétricas.
Resultado Kruskal-Wallis: estadístico=3.308, p=0.18289
No se encontraron diferencias significativas entre los grupos.
```

PS D:\J_3_TESIS_2025-SOFITREE OPTIMAL\10_TESIS_Python>

ANEXO N°04

DIAGRAMA DE MASA





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO

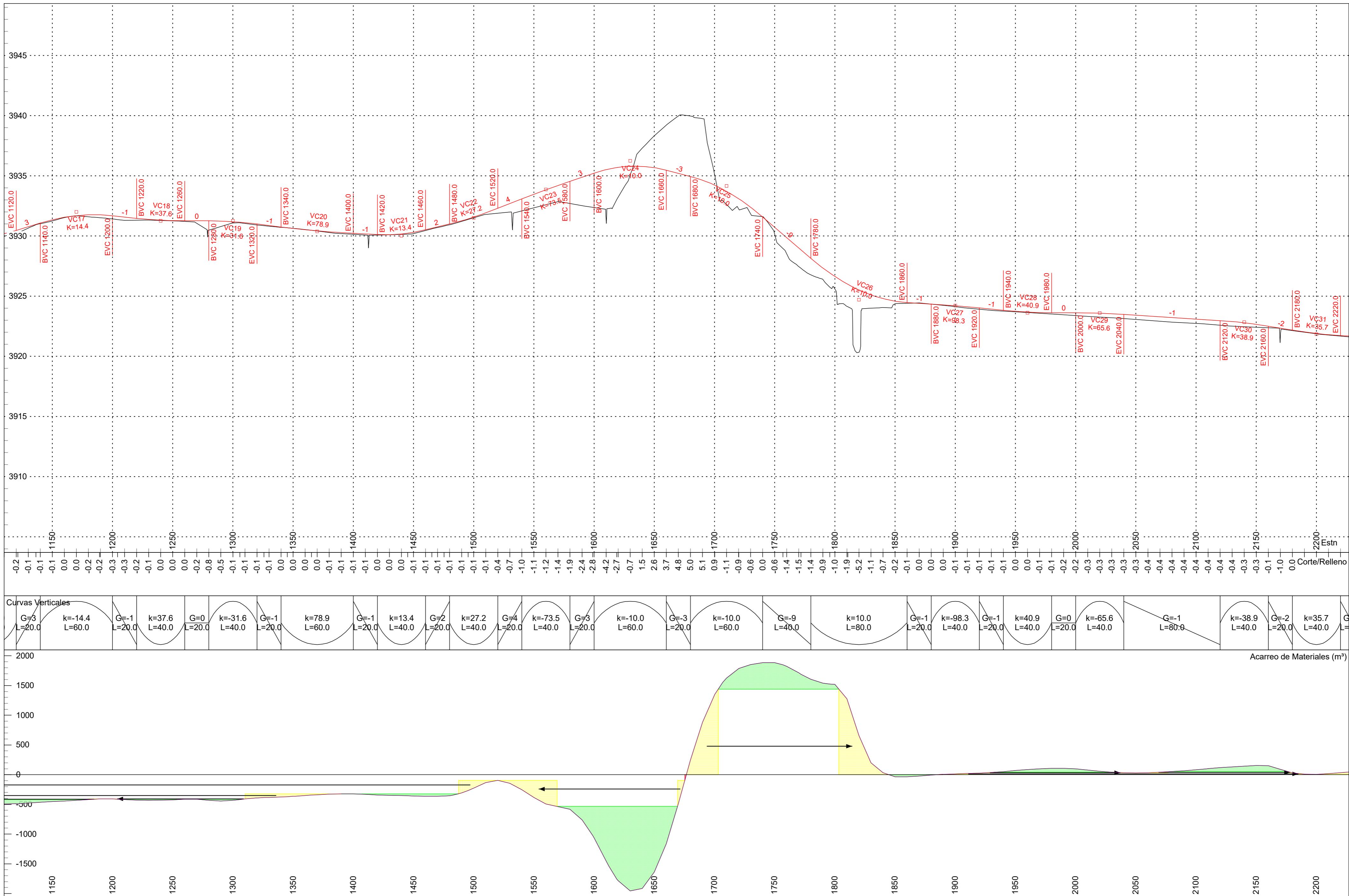
Escala Vert. del Perfil 1:250
Escala Horz Perfil 1:2500

DIAGRAMA DE CURVA MASA
(ALINEAMIENTO ORIGINAL)

Proyecto:
Kunturkanki-Checca
(Descanso)

Diseñado Por:
MOISES HANCCO
DAVID MERINO





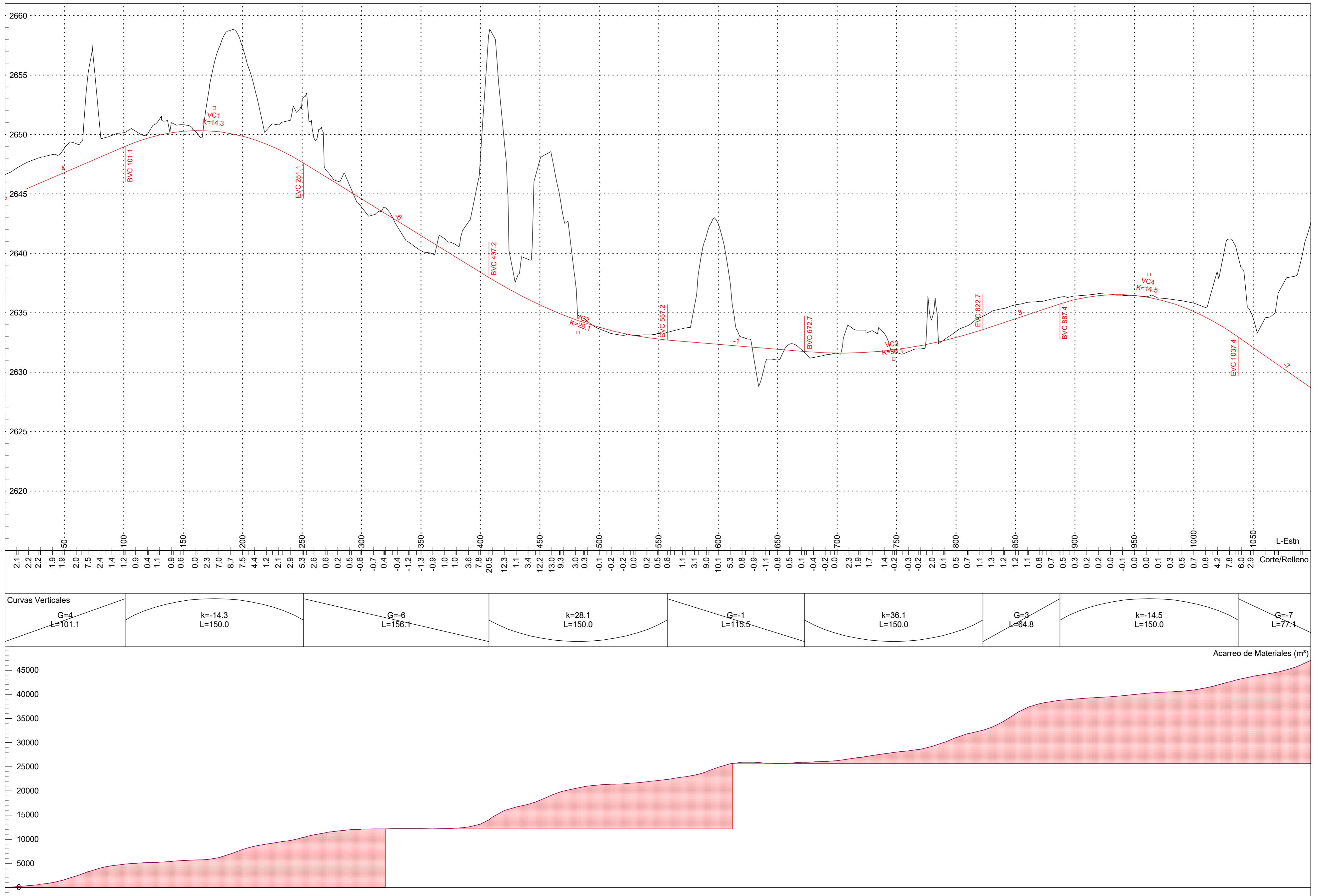
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO

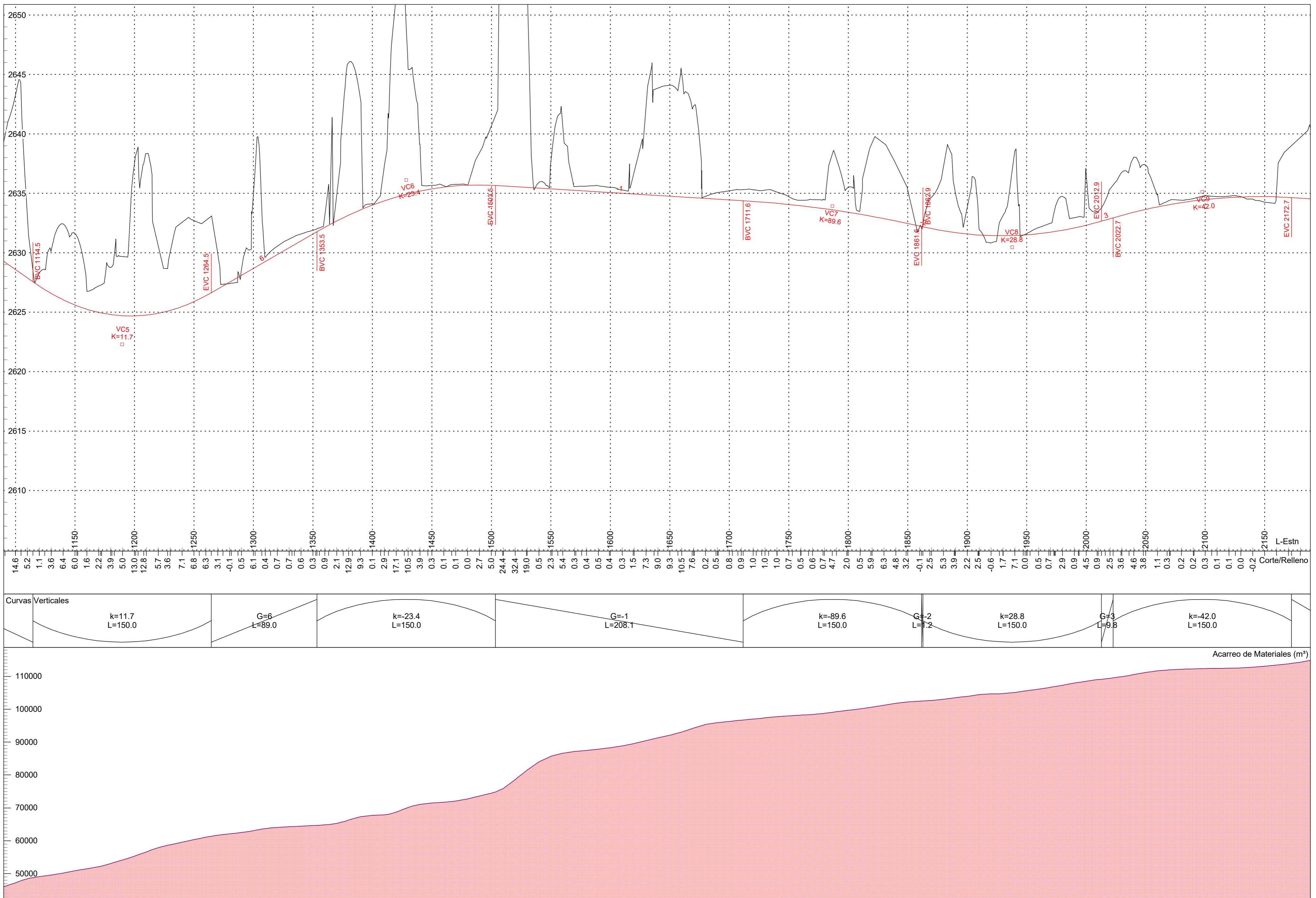
Escala Vert. del Perfil 1:250
Escala Horz Perfil 1:2500

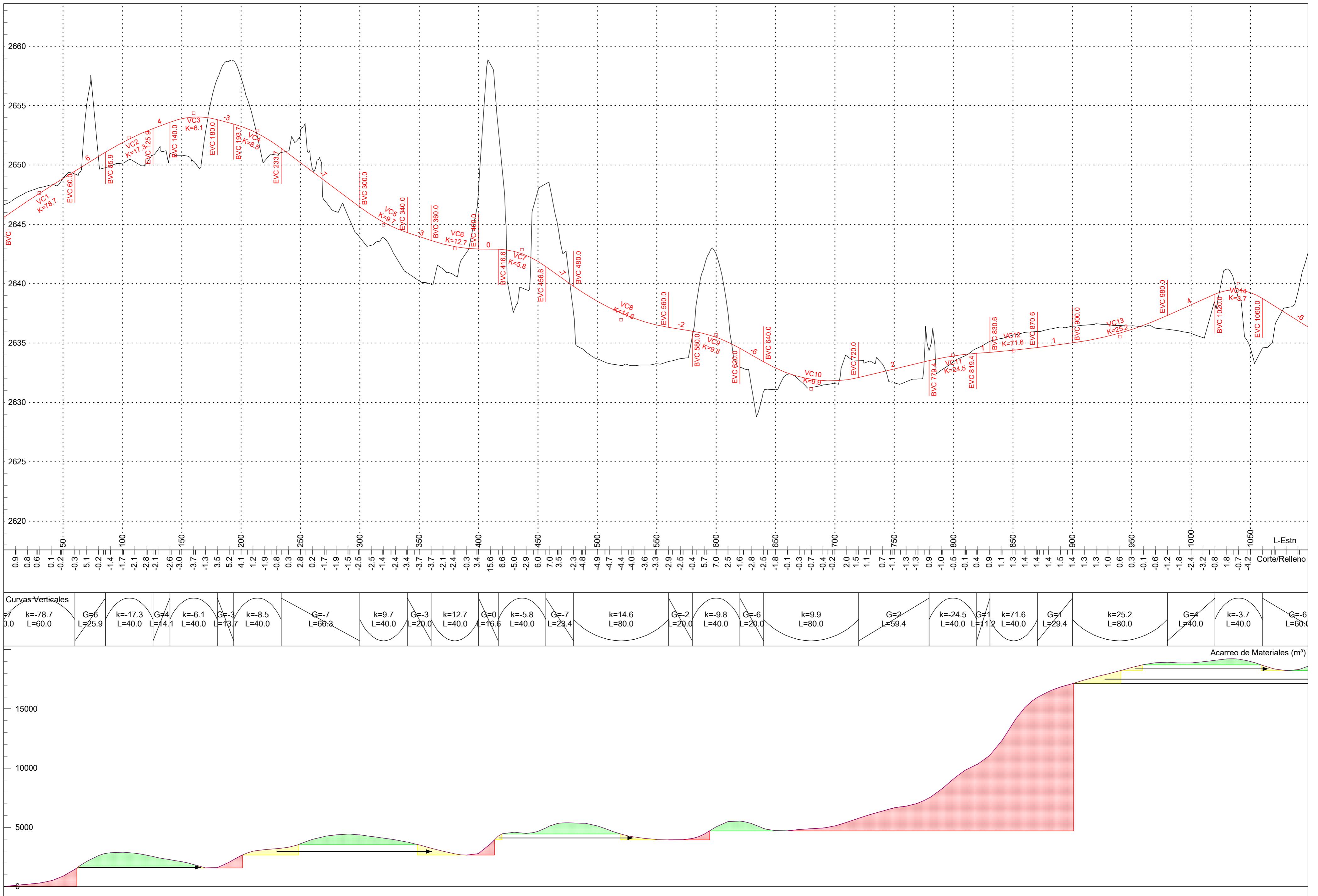
DIAGRAMA DE CURVA MASA
(ALINEAMIENTO OPTIMIZADO)

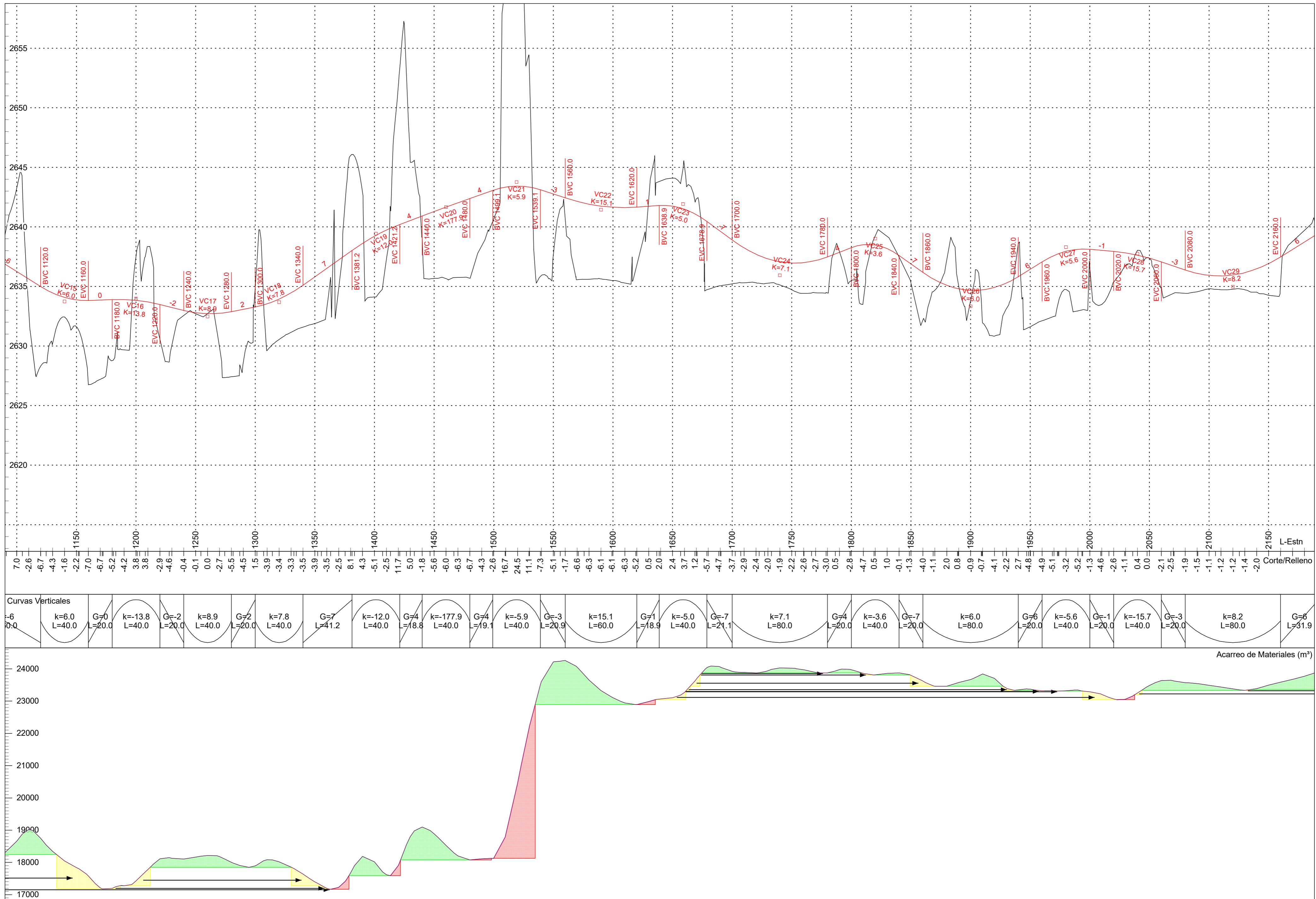
Proyecto:
Kunturkanki-Checca
(Descanso)

Diseñado Por:
MOISES HANCCO
DAVID MERINO









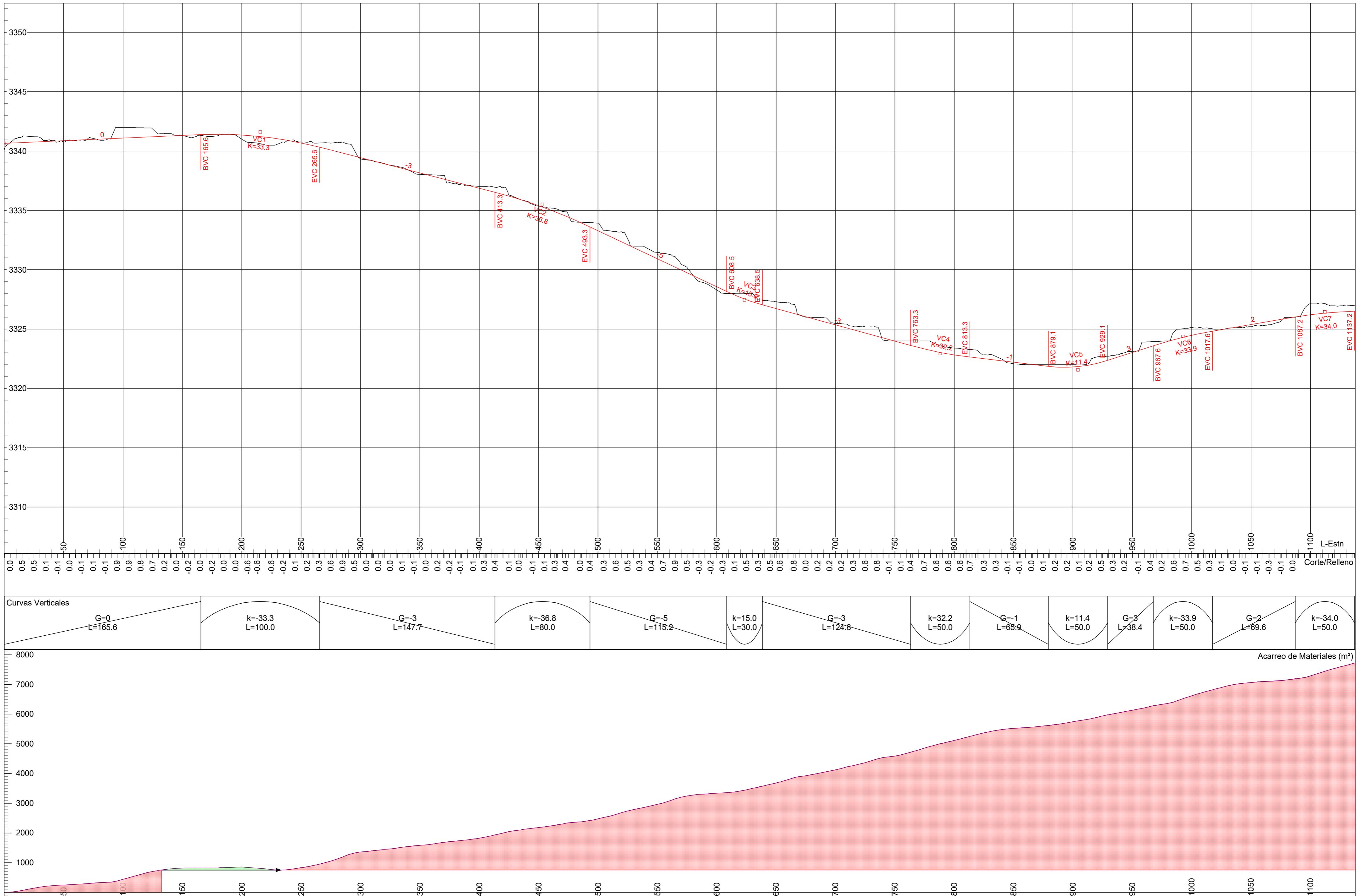
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

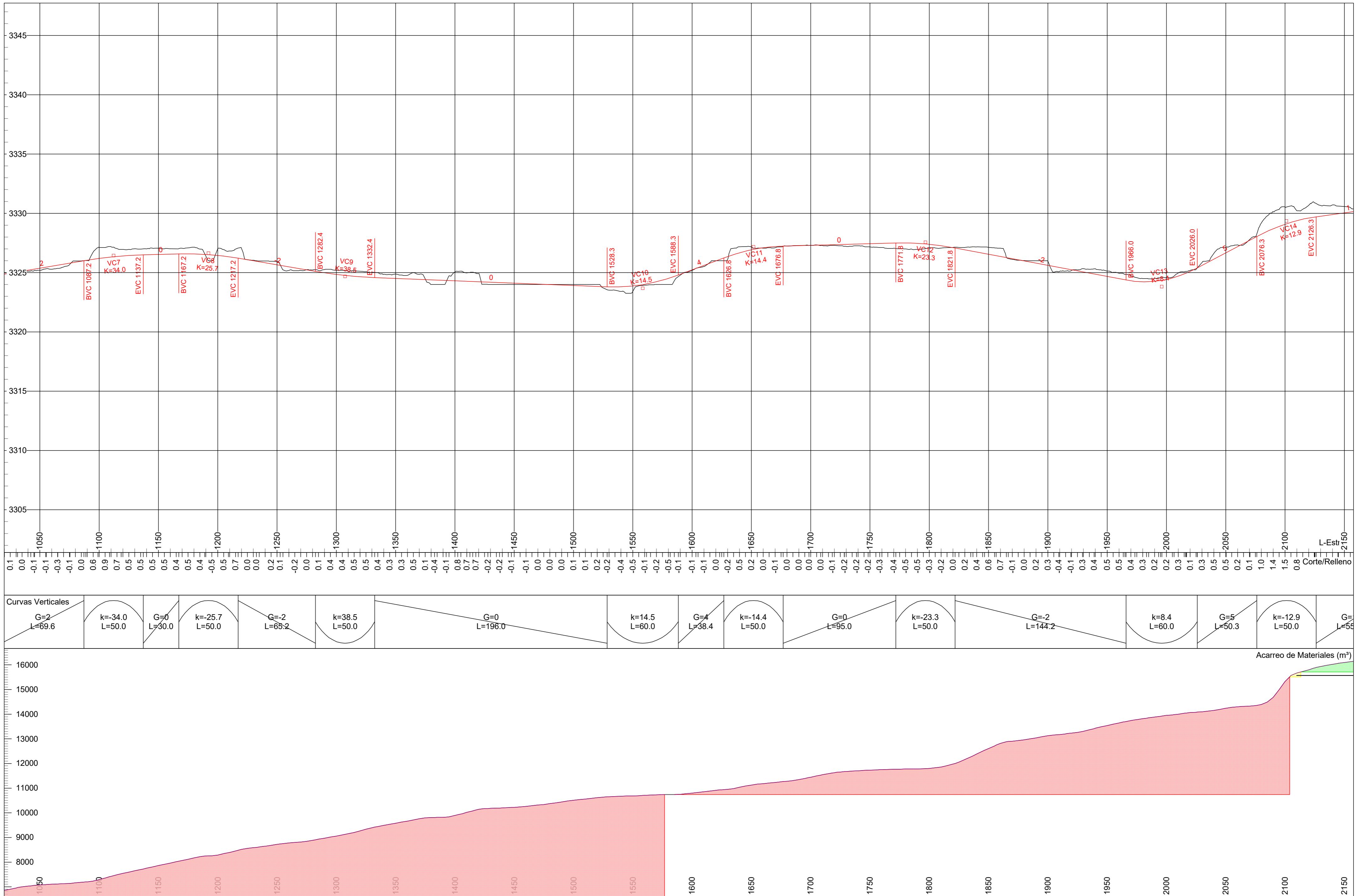
Escala Vert. del Perfil 1:250
Escala Horz Perfil 1:2500

DIAGRAMA DE CURVA MASA (ALINEAMIENTO OPTIMIZADO)

Proyecto:
CUSIBAMBA

Diseñado Por:
MOISES HANCCO
DAVID MERINO





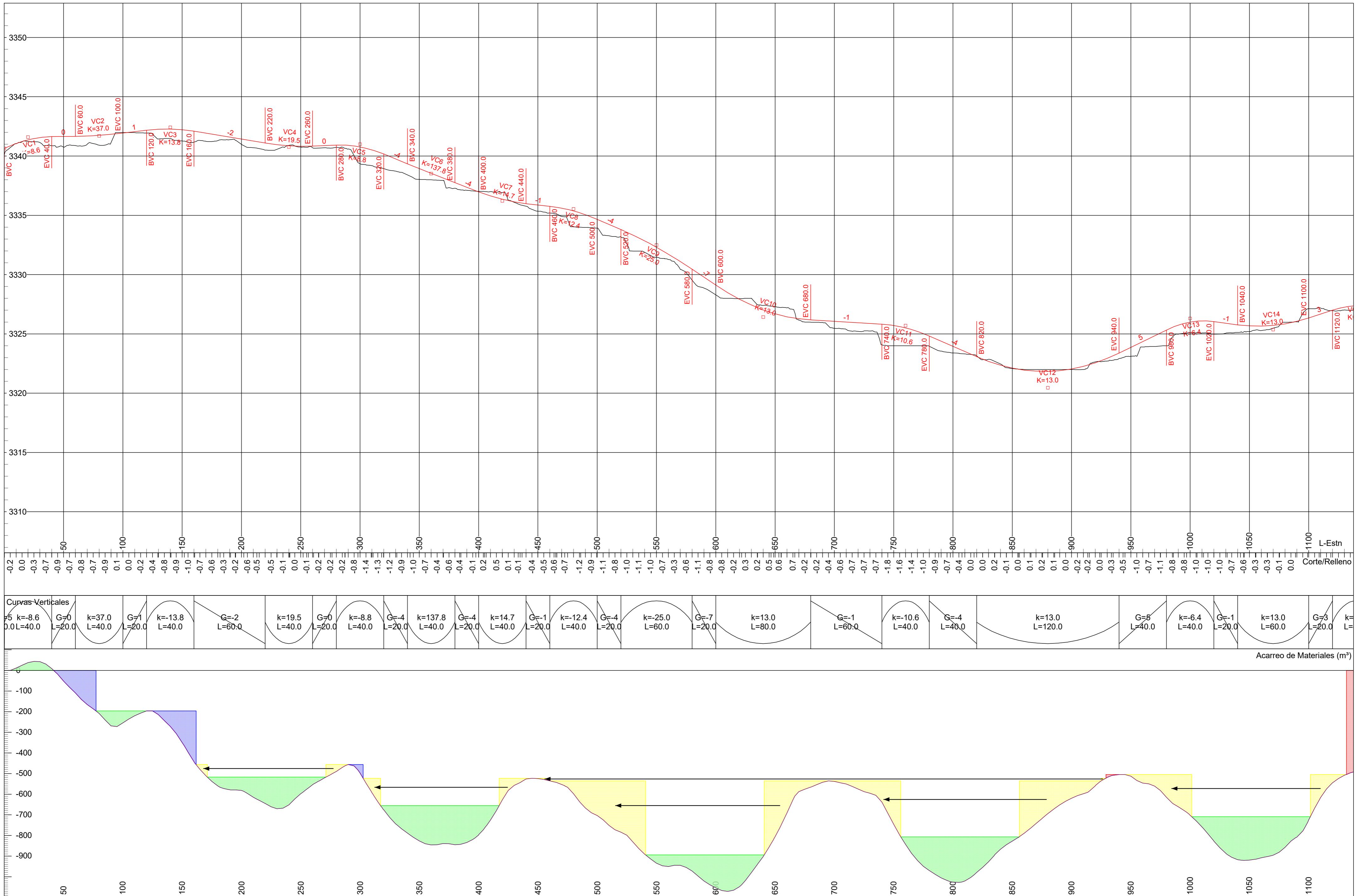
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO

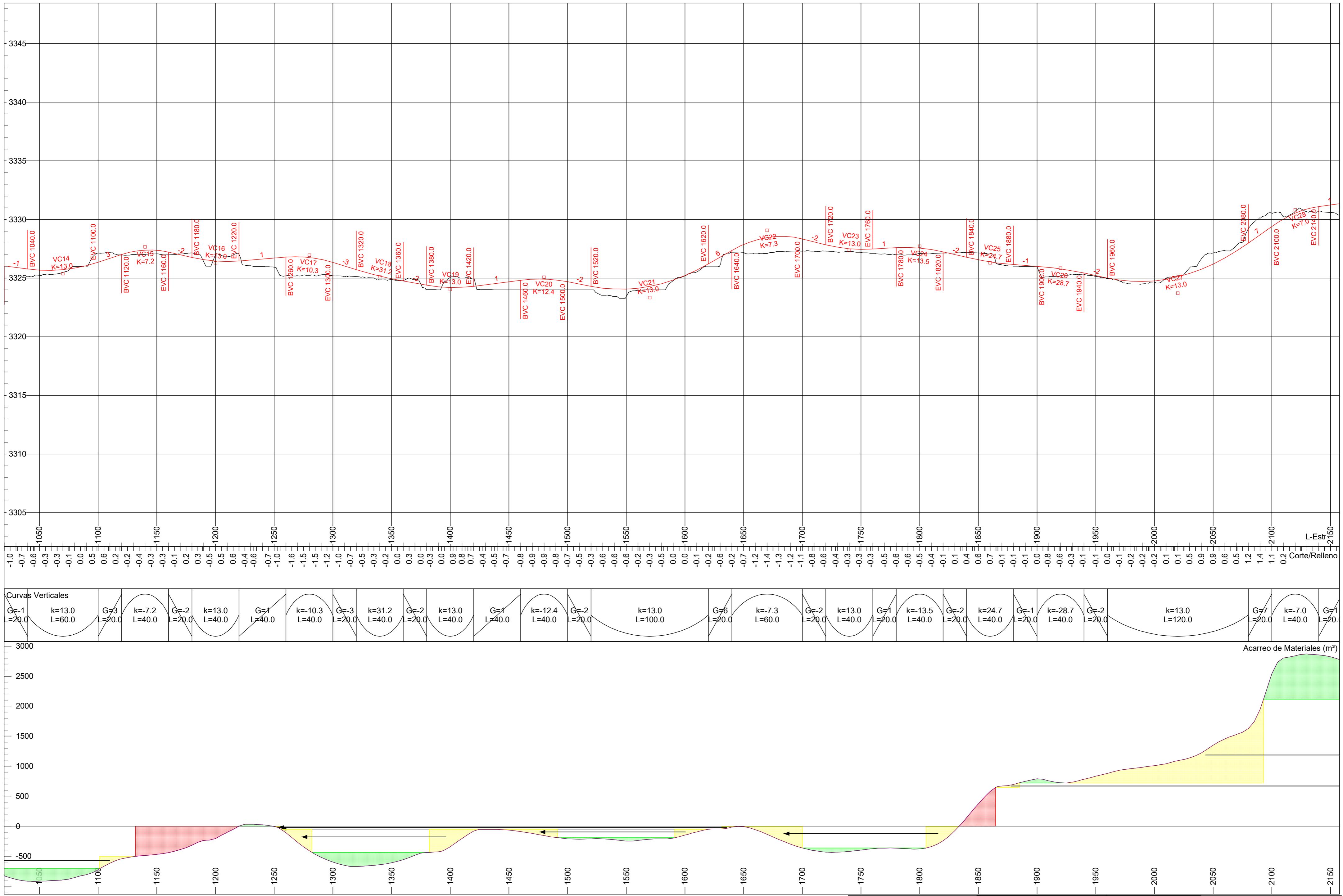
Escala Vert. del Perfil 1:250
Escala Horz Perfil 1: 2500

DIAGRAMA DE CURVA MASA
(ALINEAMIENTO ORIGINAL)

Proyecto:
ZURITE

Diseñado Por:
MOISES HANCCO
DAVID MERINO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO

Escala Vert. del Perfil 1:250
Escala Horz Perfil 1: 2500

DIAGRAMA DE CURVA MASA
(ALINEAMIENTO OPTIMIZADO)

Proyecto:
ZURITE

Diseñado Por:
MOISES HANCCO
DAVID MERINO

ANEXO N°05

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 01: Trabajos de corte - Obra Descanso.



Fotografía 02: Trabajos de excavación para obra de arte - Obra Descanso.



Fotografia 03: Trabajos de corte - Obra Cusibamba.



Fotografia 04: Sobreacarreo de material - Obra Cusibamba.



Fotografía 05: vaciado de losa - Obra Zurite.



Fotografía 06: Visita de campo - Obra Zurite.

