UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PROYECTO DE CREACIÓN DEL CAMINO VECINAL ENTRE LAS LOCALIDADES DE PAMPA EL SURO, SAN PEDRO Y LA ZANJA; DEL DISTRITO DE PULÁN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA; 2022"

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Henry León Suárez

ASESOR:

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra

CAJAMARCA - PERÚ

-2024-

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA –

1. **Investigador: Henry León Suárez**
   DNI: 72289508
   Escuela Profesional: Ingeniería Civil

2. **Asesor:** M.T Alejandro Cubas Becerra
   Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

   ☐Bachiller ■Título profesional ☐Segunda especialidad

   ☐Maestro ☐Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

   ■ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional

   ☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**
   "IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PROYECTO DE CREACIÓN DEL CAMINO VECINAL ENTRE LAS LOCALIDADES DE PAMPA EL SURO, SAN PEDRO Y LA ZANJA; DEL DISTRITO DE PULÁN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA; 2022"

   "Fecha de evaluación: 13 /I/2025

6. **Software antiplagio:** ■ **TURNITIN** ☐ **URKUND (OURIGINAL)** ***(*)***
7. **Porcentaje de Informe de Similitud: 16%**
8. **Código Documento: oid:::3117:420598651**
9. **Resultado de la Evaluación de Similitud: 16%**
10. **:**

    X☐ APROBADO ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 15/01/2025

Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 15/01/2025 11:50:10-0500

_____ _____

FIRMA DEL ASESOR ***UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI***

Alejandro Cubas Becerra

DNI: 26623287

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PROYECTO DE CREACIÓN DEL CAMINO VECINAL ENTRE LAS LOCALIDADES DE PAMPA EL SURO, SAN PEDRO Y LA ZANJA; DEL DISTRITO DE PULÁN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA; 2022."*

ASESOR : *M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple Nº 0057-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 20 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los ***veintitrés días del mes de enero de 2025***, siendo las dieciséis horas (4:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Vocal : M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Secretario : M.Cs. Ing. Manuel Rafael Urteaga Toro.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "*IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PROYECTO DE CREACIÓN DEL CAMINO VECINAL ENTRE LAS LOCALIDADES DE PAMPA EL SURO, SAN PEDRO Y LA ZANJA; DEL DISTRITO DE PULÁN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA; 2022*" presentada por el Bachiller en Ingeniería Civil *HENRY LEÓN SUÁREZ*, asesorado por el M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ....06..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : .....11..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL : .....17..... PTS ..... DIECISIETE ..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara .....APROBADO..... con el calificativo de .....DIECISIETE..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las .....17:15..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Presidente

M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Vocal

M.Cs. Ing. Manuel Rafael Urteaga Toro.
Secretario

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"
Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962
FACULTAD DE INGENIERÍA
Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: HENRY LEÓN SUÁREZ.

RUBRO	PUNTAJE Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	2.0
2.2. Dominio del tema	3.0
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3.0
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	3.0
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11.0

Cajamarca, 23 de enero de 2025

M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Presidente

M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Vocal

M.Cs. Ing. Manuel Rafael Urteaga Toro.
Secretario

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"
Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962
FACULTAD DE INGENIERÍA
Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130

EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: HENRY LEÓN SUÁREZ.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	06
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	17
EN LETRAS (A + B)	DIECISIETE
- Excelente 20 - 19	MUY BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 23 de enero de 2025

M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Presidente

M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Vocal

M.Cs. Ing. Manuel Rafael Urteaga Toro.
Secretario

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

COPYRIGHT © 2024 by
HENRY LEÓN SUÁREZ

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Dedico todo el esfuerzo resumido en el contenido de estas páginas:

A mis queridos padres Gladis y Santos, por siempre haberme brindado su apoyo y enseñarme el camino de la perseverancia, disciplina y determinación para superar obstáculos y lograr mis metas trazadas.

A mi hermano menor José, por su apoyo y paciencia le dedico este logro, para que siempre recuerde que, con esfuerzo y dedicación, todos los objetivos se pueden alcanzar.

A mis tíos, primos, docentes y amigos que estuvieron presentes, mediante sus consejos y apoyo a lo largo de mi vida, cuyo hecho de conocerlas es para mí un gran regalo que Dios en su infinita sabiduría decidió entregarme.

AGRADECIMIENTO

En esta oportunidad doy la más sincera expresión de gratitud a Dios, por su especial cuidado en todos los años trascurridos, permitiéndome concluir mis estudios superiores.

Así mismo, agradecer infinitamente a mi asesor M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, por brindarme el oportuno asesoramiento, aportes académicos y contribuir de manera genuina en la consolidación de la presente investigación de tesis.

A los docentes jurado de mi tesis y docentes en general de la Universidad Nacional de Cajamarca, por ser artífices de mi formación académica y proporcionarme las herramientas intelectuales indispensables para desarrollar esta investigación.

A mi familia y amigos que estuvieron siempre presentes, mediante sus consejos y apoyo, cuyo hecho de conocerlas es para mí un gran regalo que Dios en su infinita sabiduría decidió entregarme.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTO iv

INDICE GENERAL v

ÍNDICE DE ANEXOS x

INDICE DE FIGURAS xi

ÍNDICE DE TABLAS xv

ÍNDICE DE ABREVIATURAS xviii

RESUMEN xxi

ABSTRACT xxii

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del problema 1

1.2. Formulación del Problema 3

1.2.1. Problema general 3

1.2.2. Problemas específicos 3

1.3. Hipótesis 3

1.3.1. Hipótesis general 3

1.3.2. Hipótesis específicas 3

1.4. Justificación de la investigación 4

1.5. Alcances o delimitación de la investigación 5

1.6. Limitaciones de la investigación 5

1.7. Objetivos 6

1.7.1. Objetivo general 6

1.7.2. Objetivos específicos 6

1.8. Variables 6

1.8.1. Definición conceptual de las variables *6*

1.8.2. Definición Operacional: *7*

1.9. Operacionalización de Variables 8

1.10. Matriz de Consistencia 9

1.11. Descripción del desarrollo de capítulos 10

CAPÍTULO II 11

MARCO TEÓRICO 11

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación 11

2.1.1. A nivel internacional *11*

2.1.2. A nivel nacional *14*

2.1.3. A nivel local *18*

2.2. Bases teóricas 18

2.2.1. BIM *18*

2.2.2. Historia del BIM *20*

2.2.3. Diagrama de MacLeamy *21*

2.2.4. Fases de adopción de la metodología BIM *22*

2.2.5. Dimensiones del modelo BIM *23*

2.2.6. Ventajas y desventajas de la metodología BIM *24*

2.2.7. Uso del BIM en proyectos de infraestructura vial *24*

2.2.8. El diseño conceptual y el diseño de detalle en proyectos viales *25*

2.2.9. Metodología convencional VS. metodología BIM *32*

2.2.10. El croquis geométrico de proyectos viales *33*

2.2.11. La metodología BIM en el Perú *34*

2.2.12. Clasificación De La Carretera *35*

2.2.13. Diseño geométrico de la vía *39*

2.2.14. Parámetros geométricos de diseño *54*

2.2.15. Levantamiento topográfico *60*

2.2.16. Levantamiento fotogramétrico con RPAS *62*

2.3. Definición de términos básicos 67

2.3.1. Definición BIM *67*

2.3.2. Modelos BIM *67*

2.3.3. Infraworks 360 ..... *67*

2.3.4. AutoCAD Civil 3D *68*

CAPÍTULO III 69

MATERIALES Y MÉTODOS 69

5.1. Ubicación 69

5.1.1. Ubicación política *69*

5.1.2. Ubicación geográfica *73*

5.2. Equipos, materiales, y/o instrumentos utilizados 74

5.2.1. Equipos *74*

5.2.2. Materiales *78*

5.2.3. Instrumentos *80*

5.3. Procedimiento 83

5.3.1. Época en la que se realizó la investigación *83*

5.3.2. Elección del lugar para el proyecto de investigación *83*

5.3.3. Estudio de Tránsito *83*

5.3.4. Determinación del IMDA *89*

5.3.5. Metodología tradicional para determinar el eje de la carretera *92*

5.3.6. Metodología BIM para determinar el eje de la carretera *101*

5.3.7. Procesamiento de datos e interoperabilidad en los softwares BIM *130*

5.3.7.1. Diseño Geométrico de la Vía en Civil 3D 130
5.3.7.2. Modelamiento en InfraWorks 360 135
5.4. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados 137
5.4.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación 137
5.4.2. Población de estudio 138
5.4.3. Muestra 138
5.4.4. Unidad de análisis 138
5.4.5. Unidad de observación 138
5.5. Clasificación De La Carretera 138
5.5.1. Clasificación por demanda 138
5.5.2. Clasificación por orografía 138
5.5.3. Clasificación por su función 139
5.5.4. Clasificación por la relación entre demanda y características de la carretera 139
5.6. Parámetros de diseño geométrico del tramo en estudio 139
5.7. Elementos geométricos de curvas horizontales 142
5.8. Elementos geométricos de curvas verticales 154
CAPÍTULO IV 159
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 159
4.1. Análisis de los resultados obtenidos del estudio de tránsito 159
4.2. Análisis de los resultados obtenidos de la topografía y fotogrametría 159
4.3. Análisis de los resultados obtenidos de la fase BIM: Diseño Conceptual 160
4.4. Análisis de los resultados obtenidos de la fase BIM: Diseño de Detalle 163
4.5. Discusión de los resultados obtenidos respecto a la implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico del proyecto en estudio. 167
6.5.1. Discusión del estudio de tránsito 167

6.5.2. Discusión de la fotogrametría y topografía 167

6.5.3. Discusión de la fase BIM: Diseño Conceptual..... 168

6.5.4. Discusión de la fase BIM: Diseño de Detalle 171

6.5.5. Discusión de la aplicación de la metodología BIM en proyectos de carreteras..... 171

4.6. Contrastación de los resultados obtenidos respecto a las hipótesis planteadas. 172

4.6.1. Contrastación con la hipótesis general 172

4.6.2. Contrastación con las hipótesis específicas 172

CAPÍTULO V 173

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 173

5.1. Conclusiones: 173

5.2. Recomendaciones 175

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 177

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Procesamiento de trabajo para generación de modelos en Infraworks 360

Anexo II. Fotogrametría

Anexo II.1. Licencia de acreditación transitoria de piloto RPAS

Anexo II.2. Planes de vuelo

Anexo II.3. Parámetros de plan de vuelo

Anexo II.4. Certificado de calibración y operatividad del GNSS Diferencial

Anexo II.5. Certificado de calibración y operatividad del RPAS

Anexo II.6. Certificado de calibración y operatividad de la Estación TS-06 Plus 1”

Anexo II.7. Procesamiento en software Agisoft Metashape

Anexo III. Procesamiento de punto geodésico de orden C

Anexo IV. Tránsito

Anexo IV.1. Conteo vehicular

Anexo V. Panel Fotográfico

Anexo VI. Planos

Anexo IV.1. Plano de ubicación

Anexo IV.2. Plano clave

Anexo IV.3. Planos de planta y perfil

Anexo IV.4. Plano de sección típica y cuadros de movimiento de tierras

Anexo IV.5. Plano de secciones transversales

Anexo IV.6. Plano de diagrama de masas

Anexo IV.7. Planos de ortofotos

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Historia del origen y evolución de la metodología BIM 20

Figura 2 Distribución del esfuerzo de tiempo en las fases de un proyecto de ingeniería basado en metodología BIM y metodologías tradicionales..... 21

Figura 3 El ciclo de vida de un proyecto según BIM..... 22

Figura 4 Descripción de las dimensiones del modelado BIM..... 23

Figura 5 Esquema del diseño conceptual con BIM en un plan de construcción vial..... 26

Figura 6 Esquema del diseño de detalle con BIM en un proyecto de infraestructura vial..... 27

Figura 7 Esquema de herramientas en AutoCAD Civil 3D, para el diseño, documentación, análisis y visualización..... 30

Figura 8 Esquema de herramientas en Infraworks 360 31

Figura 9 Elementos de la curva circular simple 40

Figura 10 Tipos de curvas verticales convexas y cóncavas 49

Figura 11 Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas..... 50

Figura 12 Sección transversal típica a media ladera vía de dos carriles en curva..... 51

Figura 13 Trayectoria de giro mínima para el vehículo de diseño (P)..... 54

Figura 14 Flujo de trabajo del levantamiento fotogramétrico..... 66

Figura 15 Mapa político del Perú..... 69

Figura 16 Mapa regional de Cajamarca 70

Figura 17 Mapa provincial de Santa Cruz..... 71

Figura 18 Tramo Vial en estudio, camino vecinal 72

Figura 19 GPS diferencial South G7..... 74

Figura 20 Estación Total Leica TS-06 1”..... 75

Figura 21 Trípodes 75

Figura 22 Prisma Leica y bastón de 5 m y 10 m 76

Figura 23 Dron Dji Phantom 4 Pro V2 y accesorios 76
Figura 24 Tablet para diseñar los planes de vuelo 77
Figura 25 Laptop MSI GE72MVR 7RG Apache Pro 77
Figura 26 Radios comunicadores Motorola 78
Figura 27 Pintura para trazos 78
Figura 28 Brocha 79
Figura 29 Yeso 79
Figura 30 Formato de conteo vehicular por día, en intervalos de 15 minutos 80
Figura 31 Ubicación de la estación para el estudio de tránsito 83
Figura 32 Tránsito diario en intervalos de 15 minutos, en ambos sentidos 88
Figura 33 Tránsito diario por días 89
Figura 34 Reconocimiento de campo 92
Figura 35 Fotos panorámicas del lugar 93
Figura 36 Eclímetro 93
Figura 37 Marca en ceros del eclímetro a la altura visual del observador 94
Figura 38 Modificación de la señal de acuerdo a la pendiente 94
Figura 39 Visación del jalón portado por el jalonero ayudante 95
Figura 40 Distribución de imágenes en el eclímetro 95
Figura 41 Trazo de la rasante 97
Figura 42 Personal de trabajo para determinar la ruta óptima de manera tradicional 98
Figura 43 Apertura de zonas donde hay vegetación para continuar el trazo 99
Figura 44 Trazo del eje de la carretera de manera tradicional 100
Figura 45 Propuestas formuladas en Infraworks 360: Alternativa 01 102
Figura 46 Propuestas formuladas en Infraworks 360: Alternativa 02 103
Figura 47 Propuestas formuladas en Infraworks 360: Alternativa 03 104

Figura 48 Selección del área de influencia para el proyecto de investigación 105
Figura 49 DOP – Para trabajo de investigación 106
Figura 50 Asignación de puntos de control aproximados en gabinete 109
Figura 51 Monumentación del punto geodésico 110
Figura 52 Levantamiento del punto geodésico 110
Figura 53 Colocación de BM’s en campo 111
Figura 54 Marcado de puntos de apoyo tipo búmeran con yeso 111
Figura 55 Utilización de puntos de control en la fotogrametría 112
Figura 56 Determinación de zona de despegue y aterrizaje 113
Figura 57 Componentes: DRON DJI PHANTOM 4 PRO V2.0 114
Figura 58 Ensamblaje y uso del dron DJI Phantom 4 Pro V2.0 114
Figura 59 Configuración de parámetros para vuelo en software DJI Pilot 116
Figura 60 Empleo del dron DJI Phantom 4 Pro V2.0 para trabajo de fotogrametría 117
Figura 61 Levantamiento de los puntos en el área de estudio 117
Figura 62 Levantamiento topográfico con estación total de áreas con vegetación 120
Figura 63 Levantamiento topográfico con estación total 121
Figura 64 Procesamiento en Agisoft Metashape del levantamiento fotogramétrico 122
Figura 65 Georreferenciación del archivo 123
Figura 66 Selección del sistema WGS84 - Zona 17M 123
Figura 67 Se importa puntos de control 124
Figura 68 Se importa puntos de control levantados en campo 124
Figura 69 Se inserta el ortomosaico y se revisa los puntos de control 125
Figura 70 Se importa las curvas generadas con la fotogrametría 125
Figura 71 Puntos de evaluación sobrepuestos en el ortomosaico 126
Figura 72 Puntos en evaluación sobrepuestos en el ortomosaico 127

Figura 73 Preparación del equipo para trazar el eje de carretera con GPS diferencial 129
Figura 74 Trazo del eje de carretera con GPS diferencial en zonas boscosas 129
Figura 75 Alineamiento horizontal del eje de la carretera con curvas de desnivel a 0,50 m . 131
Figura 76 Alineamiento horizontal en ortofoto 131
Figura 77 Alineamiento horizontal con cuadro de radios y verificación de tangentes 132
Figura 78 Cuadro de peraltes 132
Figura 79 Creación de sobreanchos según DG-2018 133
Figura 80 Rasante con su cuadro de parámetros de diseño según DG-2018 133
Figura 81 Comparación de vías proyectadas con metodología tradicional y BIM 135
Figura 82 Creación de la superficie en InfraWorks 360 135
Figura 83 Renderización de la superficie en InfraWorks 360 136
Figura 84 Visualización de los elementos en una curva de volteo 136
Figura 85 Visualización de una sección de corte y relleno de la vía 137
Figura 86 Metodología de la investigación 138
Figura 87 Dimensión de la sección transversal tipo Corte 140
Figura 88 Dimensión de la sección transversal tipo relleno 141
Figura 89 Dimensión de la sección transversal tipo a media ladera 141
Figura 90 Diagrama de alternativas: Autodesk Infraworks 360 162
Figura 91 Detalle del camino vecinal en planta 164
Figura 92 Detalle del camino vecinal en perfil 165
Figura 93 Detalle del camino vecinal en secciones transversales 166
Figura 94 Tiempo total por ambas metodologías para el trazo del eje de la vía 170
Figura 95 Costo total por ambas metodologías para el trazo del eje de la vía 170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables 8
Tabla 2 Matriz de consistencia 9
Tabla 3 Ventajas y desventajas de la metodología BIM 24
Tabla 4 Software BIM para el diseño conceptual (prediseño) de proyectos viales 28
Tabla 5 Software BIM para el diseño de detalle de proyectos de infraestructura lineal (vías) 29
Tabla 6 Características básicas de la superficie de rodadura en carreteras de BVT 37
Tabla 7 Ángulos de deflexión máximos 39
Tabla 8 Necesidad de curvas de transición 41
Tabla 9 Longitud deseable de la curva de transición 42
Tabla 10 Fricción transversal máxima en curvas 43
Tabla 11 Radios mínimos y peraltes máximos 43
Tabla 12 Longitudes mínimas de transición de bombeo y de transición de peralte (m) 44
Tabla 13 Sobre ancho de la calzada en curvas circulares (m) 46
Tabla 14 Pendientes máximas (%) 47
Tabla 15 Pendientes máximas 48
Tabla 16 Pesos y medidas máximas permitidas 52
Tabla 17 Dimensiones de vehículos de diseño 53
Tabla 18 Velocidad de diseño - clasificación de la carretera por demanda y orografía 55
Tabla 19 Distancia de visibilidad de parada 56
Tabla 20 Ancho mínimo deseable de la calzada en tangente (en metros) 57
Tabla 21 Anchos mínimos de derecho de vía 59
Tabla 22 Valores referenciales para taludes en corte 59
Tabla 23 Taludes referenciales en zonas de relleno (terraplenes) 60

Tabla 24 Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos, replanteos y estacado en construcción de carreteras 62
Tabla 25 Software en fotogrametría 65
Tabla 26 Ubicación política 73
Tabla 27 Coordenadas UTM del punto inicial Pampa el Suro 73
Tabla 28 Coordenadas geográficas punto inicial Pampa el Suro 73
Tabla 29 Coordenadas UTM punto final La Zanja 73
Tabla 30 Coordenadas geográficas punto final La Zanja 73
Tabla 31 Estudio vehicular diario de 01 semana organizado en intervalos de 15 minutos, en ambos sentidos 84
Tabla 32 Estudio vehicular diario de 01 semana organizado en días, ambos sentidos 87
Tabla 33 Factores de corrección estacional (FCE) estación de peaje Pomalca 90
Tabla 34 Conteo vehicular, índice medio diario semanal 91
Tabla 35 Índice medio diario semanal ajustado por el factor de corrección 91
Tabla 36 Factores de equivalencia (FE) para transformar vehículos generados a vehículos equivalentes 90
Tabla 37 Índice medio diario semanal ajustado por los factores de equivalencia 90
Tabla 38 Actividades realizadas y ayudantes durante el reconocimiento de campo. 92
Tabla 39 Pendientes expresadas en porcentaje y grados 96
Tabla 40 Actividades realizadas y ayudantes durante el trazo del eje de manera tradicional .. 97
Tabla 41 Presupuesto para trazar el eje de la carretera de manera tradicional 99
Tabla 42 Parámetros empleados para los vuelos con drone PHANTOM 4 PRO V2.0 108
Tabla 43 Cuadro de coordenadas de los puntos de apoyo 118
Tabla 44 Cuadro de coordenadas de los puntos homólogos de BM’s y punto geodésico generados mediante el ortomosaico y el MDT 128

Tabla 45 Cronograma para el trabajo de campo y gabinete usando la metodología BIM 130
Tabla 46 Presupuesto para trazar el eje de carretera con metodología BIM 130
Tabla 47 Parámetros generales del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja 139
Tabla 48 Parámetros para el diseño en planta 139
Tabla 49 Diseño de perfil longitudinal 139
Tabla 50 Diseño de la sección transversal 140
Tabla 51 Elementos geométricos en curvas horizontales del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología tradicional 142
Tabla 52 Elementos geométricos en curvas horizontales del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología BIM 150
Tabla 53 Elementos geométricos en curvas verticales tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología tradicional 154
Tabla 54 Elementos geométricos en curvas verticales tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología BIM 1545
Tabla 55 Pendientes del perfil longitudinal del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja con metodología BIM 158
Tabla 56 Desviación de coordenadas entre el método GNSS (RTK) con GPS diferencial y fotogrametría PPK realizada con dron. 159
Tabla 57 Comparación de alternativas planteadas en Infraworks 360 160
Tabla 58 Comparación del los cronogramas y presupuestos de la metodología tradicional y la metodología BIM para el diseño geométrico de la carretera en estudio.. 161

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AASHTO: American Asociation Standards Highway Transportation Officials (Funcionarios de transporte por carretera de normas de la Asociación Estadounidense).

AEC: arquitectura (Architecture), ingeniería (Engineering) y construcción (Construction).

BIM: Building Information Modeling (Modelado de información de construcción)

BM: Bench Mark (punto de referencia topográfico con coordenadas y elevación conocida y precisión milimétrica).

BVT: Bajo Volumen de Tránsito

CICAT-UNI: Centro de Investigación y Capacitación en Tecnologías Apropiadas de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en Lima, Perú.

FCE: Factor de corrección estacional

DG-2018: Manual de Carreteras de Diseño Geométrico DG – 2018.

DG: diseño geométrico

DGPS: Differential Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial o GPS diferencial)

DOP: Diagrama de Operaciones del Proceso

GANTT: es una herramienta visual que muestra las tareas de un proyecto y su cronograma.

GIS: Geographical Information System (sistema de información geográfica)

GNSS: Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite).

GPS: Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global).

GRC: Gobierno Regional de Cajamarca

Green Project Management: aplicación de Metodologías, Herramientas y Técnicas en un proyecto para garantizar un impacto ambiental, social y económico positivo.

HCM: Highway Capacity Manual (Manual de Capacidad de Carreteras)

IAC: Ingeniería Asistida por Computador

IFC: es un formato de datos, funciona como un formato de archivos estandarizados para el intercambio entre distintos software.

IGV: Impuesto General a las Ventas

IMDA: Índice Medio Diario Anual.

IMDS: Índice Medio Diario Semanal.

Lean Construction: es una metodología de trabajo orientada a la construcción civil. Cada vez más, las distintas áreas de negocio buscan soluciones con mejoras continuas, y la construcción ajustada nos permite agregar valor y hacer más eficiente el trabajo.

MDCNPBVT: Manual del diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

MDT: Modelo Digital de Terreno

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

MSE: Mean Squared Error (Error Cuadrático Medio)

msnm: metros sobre el nivel del mar.

NC: No cumple con las condiciones para diseño geométrico

PC: Punto de control (punto de referencia para la fotogrametría con coordenadas y elevación conocida y precisión centimétrica).

PERT-CPM: Metodologías de gestión de proyectos que se utilizan ampliamente para planificar, programar y controlar proyectos.

PMBOK: Project Management Body of Knowledge (Cuerpo de Conocimiento de Gestión de Proyectos)

PMI: Programa Multianual de Inversiones

PPK: Post-Processed Kinematic (cinemática postprocesada, realiza un proceso de datos a posteriori).

RMSE: Root Mean Square Error (Raíz del Error Cuadrático Medio)

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System (Sistemas de Aeronave Pilotado a Distancia)

RTK: Real-Time Kinematic (cinemática en tiempo real)

RVV: Red Vial Vecinal o Redes Viales Vecinales (dependiendo del artículo utilizado)

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación

UNC: Universidad Nacional de Cajamarca

UTM: Universal Transversal de Mercator.

VDC: Virtual Design and Construction (diseño y construcción virtual)

VL: Vehículos ligeros.

VOC: Vehicle Operating Costs (Costos de Operación Básicos de Vehículos representativos del tránsito interurbano)

WGS-84: World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial 1984).

RESUMEN

La ineficiencia de los gobiernos locales para la gestión y uso de herramientas tecnológicas idóneas en la construcción de obras viales de interconexión entre localidades, presenta errores en las características geométricas de la vía, tales como las pendientes, radios de giro y anchos de calzada que se encuentran muy por debajo de lo aceptable. Debido a ello, es necesario abordar la implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico de caminos vecinales, con el objetivo de optimizar el proceso utilizando los software InfraWorks 360 y AutoCAD Civil 3D. El procedimiento incluyó un estudio de tránsito, levantamiento topográfico mediante dron, estación total y GPS diferencial, y un análisis comparativo entre metodologías tradicionales y BIM para el proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca. Los resultados revelaron un IMDA de 61 veh/día, predominantemente vehículos ligeros y de dos ejes, con mayor afluencia en horarios agrícolas. La metodología BIM permitió reducir el tiempo de diseño en un 44,44% y los costos en un 33,96%, además de generar un modelo digital del terreno con alta precisión planimétrica (±40,6 mm) y altimétrica (±52,2 mm). Las principales conclusiones destacan la eficacia de la metodología BIM para visualizar alternativas de diseño, minimizar incompatibilidades, reducir errores de diseño geométrico y optimizar el proceso de ingeniería de detalle, sugiriendo la creación de manuales técnicos estandarizados para facilitar su implementación en proyectos viales rurales peruanos.

Palabras claves: Metodología BIM, diseño geométrico, Infraworks 360, AutoCAD Civil 3D.

ABSTRACT

The inefficiency of local governments in the management and use of suitable technological tools in the construction of road works of interconnection between localities, presents errors in the geometric characteristics of the road, such as slopes, turning radii and roadway widths that are far below acceptable. Due to this, it is necessary to implement the BIM methodology in the geometric design of local roads, with the objective of optimizing the process using InfraWorks 360 and AutoCAD Civil 3D software. The procedure included a traffic study, topographic survey using drone, total station and differential GPS, and a comparative analysis between traditional and BIM methodologies for the project of creation of the local road between the towns of Pampa el Suro, San Pedro and La Zanja; of the district of Pulán, province of Santa Cruz, department of Cajamarca. The results revealed an IMDA of 61 vehicles/day, predominantly light vehicles and two-axle vehicles, with greater affluence during agricultural hours. The BIM methodology reduced design time by 44.44% and costs by 33.96%, in addition to generating a digital terrain model with high planimetric (±40.6 mm) and altimetric (±52.2 mm) accuracy. The main conclusions highlight the effectiveness of the BIM methodology to visualize design alternatives, minimize incompatibilities, reduce geometric design errors and optimize the detailed engineering process, suggesting the creation of standardized technical manuals to facilitate its implementation in Peruvian rural road projects.

Keywords: BIM methodology, geometric design, Infraworks 360, AutoCAD Civil 3D.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el ámbito estatal las gestiones que suelen realizar las municipalidades distritales y provinciales no cuentan con mecanismos idóneos que les permitan integrar sus capacidades para el cierre de brechas en infraestructura vial. Según el Análisis de Fisuras del Territorio de Cajamarca para el PMI 2022-2024, el 77,32% de la red de caminos vecinales permanecen sin pavimentar y con inadecuados niveles de servicio, afectando el acceso y desarrollo de las localidades rurales, GRC (2021).

Según MTC (2023). Los logros obtenidos de porcentaje con adecuados niveles de servicios por intervención del MTC para la RVV a nivel nacional, es solo del 23,70%. El tributo de servicio de eficacia en el transporte, tanto de personas como de mercancías, no solo fortalece los vínculos socioeconómicos, beneficiando a quienes utilizan la red vial, sino que también genera múltiples ventajas: optimiza los tiempos de traslado, disminuye la saturación vehicular, eleva el confort durante los viajes, optimiza el uso de combustible y facilita la conectividad con núcleos productivos y centros de distribución, entre otras mejoras.

Sin embargo, los niveles de servicio en las RVV son afectados por factores como apertura de vías vecinales sin estudios de ingeniería, presentar pendientes superiores al 15% y tener radios de giro inadecuados menores a 8 m. Por ende, resulta indispensable proponer y promover nuevos mecanismos que aprovechen los avances tecnológicos y permitan integrar eficientemente la información para la optimización de costos y tiempo.

Arteaga et al. (2022), indica que la administración de proyectos en la ingeniería requiere mantener el uso de métodos para disminuir los errores e incrementar su eficiencia. Es importante destacar que la brecha actual en carreteras es muy alta, sobre todo en los países subdesarrollados como Perú, las carreteras son un componente crucial en los servicios básicos

de transporte en la trayectoria de la población, así como de mercancías y bienes. Por esto, es necesario emplear de manera eficaz los instrumentales tecnológicos en la construcción de la ingeniería, perfeccionando el tiempo de diseño y edificación, lo que resulta en un mejoramiento socioeconómico de las comunidades.

Agreda y Herrera (2020), indican que actualmente las compañías de Perú no están ajenas a la metodología BIM, dado que su implementación disminuye los gastos durante los proyectos y las diferentes fases, generando una enorme rentabilidad para las compañías nacionales.

Limas (2020), considera que es imprescindible desarrollar estrategias que optimicen el diseño y desarrollo de vías terciarias (en Perú conocidas como RVV), por su diseño y construcción, siendo la metodología BIM la respuesta para optimizar los procesos de diseño y selección de opciones de eje en un proyecto vial.

Díaz (2020), destaca la utilización de la tecnología BIM en propósitos de servicios básicos viales, por el uso de herramientas tecnológicas, implementadas a través de una adecuada metodología para la gestión en cada etapa de los proyectos.

La falta de metodologías modernos para el diseño de infraestructuras viales representa múltiples problemas como excesos o menores metrados, mala programación en los trabajos, omisión de factores de diseño importantes como la topografía, el análisis de la visibilidad, entre otros; todos estos problemas son descubiertos posteriormente generando múltiples problemas en los proyectos.

Con esta investigación se busca lograr un diseño integral del proyecto en estudio, el cual no solo respondió a las necesidades de la población, sino que también empleó las herramientas vanguardistas de la metodología BIM.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de la metodología BIM puede disminuir el tiempo y las deficiencias en el diseño geométrico del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja, en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características del tránsito vehicular del tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro?
- ¿Cuál es la precisión de los datos topográficos y fotogramétricos obtenidos mediante el uso integrado de dron, estación total y GPS diferencial?
- ¿De qué manera la implementación de la fase BIM de diseño conceptual mediante InfraWorks 360 optimiza el análisis y selección del eje de la carretera?
- ¿Cómo la integración de la fase BIM de diseño de detalle mediante AutoCAD Civil 3D permite identificar y resolver las incompatibilidades e interferencias del proyecto vial?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La implementación de la metodología BIM optimiza el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y la Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca.

1.3.2. Hipótesis específicas

- El tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro presenta un IMDA menor a 200 vehículos/día.
- Obtener una buena precisión planimétrica y altimétrica del levantamiento topográfico y fotogramétrico mediante el uso de dron, estación total y GPS diferencial.

- La implementación de la fase BIM de diseño conceptual mediante InfraWorks 360 permite evaluar tres alternativas de trazo del eje del camino vecinal, resultando en la selección de una alternativa que reduce el tiempo y costos de evaluación, comparado con el método tradicional.
- La integración de la fase BIM de diseño de detalle mediante AutoCAD Civil 3D permite detectar y resolver todas las incompatibilidades e interferencias del proyecto vial a través del modelado coordinado de los elementos de diseño como el alineamiento, perfil y secciones transversales.

1.4. Justificación de la investigación

La justificación teórica se fundamenta en las dificultades de la elaboración del diseño geométrico de carreteras, que hace indispensable la aplicación de esta investigación, enfocada en determinar el modelo más óptimo, facilitando la toma de decisiones y reduciendo errores de diseño geométrico, para generar un nuevo enfoque de trabajo utilizando los software BIM, y crear proyectos de infraestructura vial de forma más eficiente. Además, permite verificar automáticamente el cumplimiento de normativas como el DG-2018, disminuir costos y tiempo en la elección del mejor trazo de carretera, mejorar la gestión de información topográfica y facilitar la visualización 3D.

La justificación metodológica busca integrar el método BIM en el DG del proyecto de creación de un camino vecinal, desarrollando las fases del diseño conceptual e ingeniería de detalle; apoyados en los software Infraworks 360 y Autocad Civil 3D, respectivamente; cuya interfaz y diseño son las más apropiadas para el proyecto de la carretera en estudio, lo cual incentiva la mejora de capacidades de los profesionales y funcionarios que tienen a cargo la formulación y ejecución de este tipo de proyectos de creación de infraestructuras viales para beneficio de los pobladores.

La justificación social o práctica de esta investigación se centra en adoptar el método BIM para el desarrollo del camino vecinal que conecta los caseríos de Pampa el Suro, San Pedro y la Zanja. Esta estrategia tecnológica no solo optimiza la gestión integral y reduce totalmente los errores en el DG, sino que se constituye como un instrumento de planificación y control que garantiza la eficiencia y precisión del proyecto en cada una de sus etapas. La importancia de esta vía de comunicación se debe a que es un catalizador de desarrollo socioeconómico para las comunidades involucradas, ya que al mejorar sustancialmente la conectividad se generan condiciones propicias para la expansión y optimización de la producción agrícola local, facilitando la movilización de productos, reduciendo costos logísticos y ampliando los canales de comercialización, lo que impacta directamente en el incremento de los ingresos económicos y en la transformación cualitativa de la aptitud de vida de los pobladores, quienes podrán acceder a nuevas oportunidades de desarrollo, hasta ahora limitadas por la falta de los servicios básicos viales.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación, se desarrolla en un proyecto de creación del camino vecinal entre las comunidades de Pampa El Suro, San Pedro y La Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca; para incorporar dos fases de la metodología BIM en el proyecto: la fase de diseño conceptual, que permite la elección de la alternativa más adecuada mediante el uso del software InfraWorks 360, cuya interfaz permite integrar la topografía, visualización 3D y demás factores de diseño geométrico; y la fase de ingeniería de detalle, donde se emplea el software Autodesk Civil 3D, debido a que sus entregables: planta, perfiles y secciones transversales son claves para la ejecución del proyecto.

1.6. Limitaciones de la investigación

No se tienen limitaciones para esta investigación.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Implementar la metodología BIM en el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa El Suro, San Pedro y La Zanja; en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca.

1.7.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio de tránsito vehicular del tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro.
- Realizar el levantamiento topográfico y fotogramétrico mediante el uso integrado de dron, estación total y GPS diferencial; para obtener un modelo digital del terreno con una buena precisión planimétrica y altimétrica.
- Incorporar la fase BIM de diseño conceptual, empleando el software InfraWorks 360, con el fin de disminuir el tiempo y costos al plantear y escoger la mejor alternativa de diseño geométrico para el trazo del camino vecinal.
- Integrar la fase BIM de diseño de detalle, empleando el software AutoCAD Civil 3D con el fin de involucrar cada parámetro de diseño geométrico para controlar incompatibilidades e interferencias.

1.8. Variables

1.8.1. Definición conceptual de las variables

- **Variable independiente (V1): Implementación de la Metodología BIM.** Basados en lo descrito por Chavil y Farfán (2016) la metodología BIM, representa un grupo de herramientas y uso imprescindible de software idóneos que se pueden implementar en las distintas etapas de los proyectos, tales como los de infraestructuras viales; esta integración parte del proceso de organización en las empresas, ajustes de las filosofías de trabajo, composición de los implicados

y una correspondencia fluida y abierta. Dentro del diseño de infraestructuras viales resulta idóneo integrar las fases BIM de diseño conceptual y diseño de detalle.

- **Variable dependiente (V2): Diseño geométrico del proyecto de creación de un camino vecinal.** Reyes (2018), indica que los principios de diseño sugeridos por el DG-2018 propone un estilo práctico, confiable, confortable, estético y asequible. El DG juega un papel crucial en las tecnologías de infraestructura de transporte acondicionado dentro de un área de terreno conocida como derecho de vía, con el objetivo de posibilitar el tránsito constante en el tiempo y lugar. En este punto se enmarcan la ubicación, forma y estructura de los componentes.

1.8.2. Definición Operacional:

- **Implementación de la Metodología BIM:** Para determinar cómo se implementa la metodología BIM en un proyecto vial es fundamental obtener los efectos en base a cada dimensión propuesta: Diseño conceptual e ingeniería de detalle; cuyos resultados serán obtenidos a través del procesamiento de datos en los softwares InfraWorks 360 y Civil 3D respectivamente.
- **Diseño geométrico del proyecto de construcción de un camino vecinal:** Para poder determinar como la metodología BIM perfecciona el DG de un proyecto vial, es fundamental obtener los resultados en base a cada dimensión propuesta: Estudio de tránsito, topografía y fotogrametría, diseño geométrico y control de calidad.

1.9.Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

"Implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca; 2022"						
Hipótesis	**Definición conceptual de las variables/categorías**	**Definición operacional de las variables/categorías**				
		Variables/ categorías	**Dimensiones/ factores**	**Indicadores/ cualidades**	**Escala de medición**	**Fuente/ instrumento**
La implementación de la metodología BIM optimiza el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y la Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca.	**Implementación de la Metodología BIM.** Basados en lo descrito por Chavil y Farfán (2016) la metodología BIM, representa un grupo de herramientas y uso imprescindible de software idóneos que se pueden implementar en las distintas etapas de los proyectos, tales como los de infraestructuras viales; esta integración parte del proceso de organización en las empresas, ajustes de las filosofías de trabajo, composición de los implicados y una correspondencia fluida y abierta. Dentro del diseño de infraestructuras viales resulta idóneo integrar las fases BIM de diseño conceptual y diseño de detalle.	**Independiente** Metodología BIM	Representación en 2D y 3D	- Software BIM (civil 3D) - Simulador 3D (Infraworks 360)	- km - km^2	Software AutoCAD Civil 3D Software InfraWorks 360
			Tiempo y costo de implementación	- Cronograma de aplicación - Presupuesto de aplicación	- Días - S/.	- Registro de actividades - Registro de gastos
	Diseño geométrico del proyecto de creación de un camino vecinal. Reyes (2018), indica que los principios de diseño sugeridos por el DG-2018 propone un estilo práctico, confiable, confortable, estético y asequible. El DG juega un papel crucial en las tecnologías de infraestructura de transporte acondicionado dentro de un área de terreno conocida como derecho de vía, con el objetivo de posibilitar el tránsito constante en el tiempo y lugar. En este punto se enmarcan la ubicación, forma y estructura de los componentes.	**Dependiente** Diseño Geométrico del Camino Vecinal	Estudio de Tránsito	- IMDA	Veh/día	- Formatos de conteo vehicular
			Topografía y Fotogrametría	- Precisión planimétrica - Precisión altimétrica	mm mm	- Dron, estación total y GPS diferencial - Software Agisoft Metashape
			Diseño geométrico horizontal, diseño geométrico vertical y secciones transversales	- Calzada - Radio - Longitud de curva - Peralte - Sobreancho - Pendiente	m m m % m %	- DG-2018 - Manual BVT -Normativas vigentes del MTC
			Control de Calidad	- Deficiencias resueltas - Incompatibilidades resueltas	Unidad Unidad	- Lista de deficiencias - Lista de Incompatibilidades

1.10. Matriz de Consistencia

Tabla 2

Matriz de consistencia

"Implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca; 2022"

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable/ categorías	Dimensiones/ factores	Indicadores/ cualidades	Fuente/ instrumento	Metodología	Población y muestra
Problema general ¿De qué manera la implementación de la metodología BIM puede disminuir el tiempo y las deficiencias en el diseño geométrico del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja, en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca?	**Objetivo general** Implementar la metodología BIM en el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa El Suro, San Pedro y La Zanja; en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca	**Hipótesis general** La implementación de la metodología BIM optimiza el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y la Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca.	**Independiente** Metodología BIM	Representación en 2D y 3D	-Software BIM (civil 3D) -Simulador 3D (Infraworks 360)	-Software AutoCAD Civil 3D -Software InfraWorks 360	*Tipo de investigación: Aplicada *Diseño: no experimental *Método: cuantitativo *Alcance: descriptivo y explicativo *De sección transversal	***Población** Corresponde a todo el tramo vial de 10,80 km ***Muestreo**: No probabilístico ***Muestra** *Corresponde al tramo vial final de 5,80 km
				Tiempo y costo de implementación	-Cronograma de aplicación -Presupuesto de aplicación	-Registro de actividades -Registro de gastos		
Problemas específicos 1. ¿Cuáles son las características del tránsito vehicular del tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro? 2. ¿Cuál es la precisión de los datos topográficos y fotogramétricos obtenidos mediante el uso integrado de dron, estación total y GPS diferencial? 3. ¿De qué manera la implementación de la fase BIM de diseño conceptual mediante InfraWorks 360 optimiza el análisis y selección del eje de la carretera? 4. ¿Cómo la integración de la fase BIM de diseño de detalle mediante AutoCAD Civil 3D permite identificar y resolver las incompatibilidades e interferencias del proyecto vial?	**Objetivos específicos** 1. Realizar el estudio de tránsito vehicular del tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro. 2. Realizar el levantamiento topográfico y fotogramétrico mediante el uso integrado de dron, estación total y GPS diferencial; permitiendo obtener un modelo digital del terreno con una buena precisión planimétrica y altimétrica. 3. Incorporar la fase BIM de diseño conceptual empleando el software InfraWorks 360, con el fin de disminuir el tiempo y costos al plantear y escoger la mejor alternativa de DG para el trazo del camino vecinal. 4. Integrar la fase BIM de diseño de detalle, empleando el software AutoCAD Civil 3D con el fin de involucrar cada parámetro geométrico para controlar incompatibilidades e interferencias.	**Hipótesis específicas** 1. El tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro presenta un IMDA menor a 200 vehículos/día. 2. Obtener una buena precisión planimétrica y altimétrica del levantamiento topográfico y fotogramétrico mediante el uso de dron, estación total y GPS diferencial. 3. La implementación de la fase BIM de diseño conceptual mediante InfraWorks 360 permite evaluar tres alternativas de trazo del eje del camino vecinal, resultando en la selección de una alternativa que reduce el tiempo y costos de evaluación, comparado con el método tradicional. 4. La integración de la fase BIM de diseño de detalle mediante AutoCAD Civil 3D permite detectar y resolver todas las incompatibilidades e interferencias del proyecto vial a través del modelado coordinado de los elementos de diseño como el alineamiento, perfil y secciones transversales.	**Dependiente** Diseño Geométrico del Camino Vecinal	Estudio de Tránsito	IMDA	-Formatos de conteo vehicular		
				Topografía y Fotogrametría	- Precisión planimétrica - Precisión altimétrica	-Dron, estación total y GPS diferencial -Software Agisoft Metashape		
				Diseño geométrico horizontal, diseño geométrico vertical y secciones transversales	-Calzada -Radio -Longitud de curva -Peralte -Sobreancho -Pendiente	-DG 2018 -Manual BVT -Normativas vigentes del MTC		
				Control de Calidad	-Deficiencias resueltas -Incompatibilidades resueltas	-Lista de deficiencias -Lista de Incompatibilidades		

1.11. Descripción del desarrollo de capítulos

En el Capítulo I. Introducción, se aborda el planteamiento del problema desde un enfoque internacional, nacional, regional y local. Asimismo, se formulan el problema, la hipótesis, la justificación, los alcances, las limitaciones, los objetivos, las variables y la matriz de consistencia. En el Capítulo II. Marco teórico, se analizan los antecedentes teóricos a nivel internacional, nacional y local relacionados con la investigación, desarrollando las bases teóricas y definiendo los términos básicos que estructuran el estudio. En el Capítulo III. Materiales y métodos, se describe la ubicación política y geográfica del estudio, se enumeran los equipos, materiales e instrumentos utilizados para la recolección de datos, y se detalla el procedimiento, procesamiento, análisis y presentación de los resultados. El Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados se centra en el análisis secuencial de los resultados obtenidos, integrando las fases BIM: diseño conceptual y diseño de detalle, además de contrastar las hipótesis planteadas. Finalmente, en el Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones, se presentan las respuestas a los objetivos e hipótesis del estudio, junto con las recomendaciones derivadas de la aplicación de la metodología, así como las dificultades encontradas durante la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Pérez (2019), en su tesis de maestría realizada en la Universidad Politécnica de Madrid, establece como objetivo principal analizar el estado actual de la metodología BIM, explorando las experiencias de otros países que ya han implementado de manera obligatoria su uso en proyectos públicos y evaluando su potencial en infraestructuras. Para ello, el autor examina el marco legal propuesto para su implementación en España, buscando aplicar esta metodología en el ámbito empresarial de forma eficiente dentro del plazo establecido. Como conclusión, señala que la metodología BIM ofrece un gran potencial en el ámbito de la ingeniería civil, particularmente en el diseño de infraestructuras. Asimismo, destaca que la obligatoriedad de su uso representa un hito significativo para el avance de los proyectos civiles en España. Sin embargo, enfatiza que este cambio debe ir acompañado de un impulso a la educación en universidades y centros de formación profesional, así como de la capacitación del personal actual, lo cual, según el autor, debería ser el siguiente paso a seguir por el Estado.

Acuña (2016), en su investigación realizada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, tuvo como objetivo demostrar la aplicación de la metodología BIM en el diseño y documentación de proyectos de infraestructura vial, reconociendo la importancia de las vías de comunicación para el desarrollo de una región y la necesidad de mejorar su construcción. Para ello, propuso el uso de herramientas BIM, que, basadas en esta metodología, permiten obtener resultados óptimos en el diseño y construcción de proyectos viales, así como en la documentación, cuantificación y gestión de los mismos. Concluyó que la complejidad de las soluciones viales que demandan las ciudades debe abordarse mediante esquemas metódicos que garanticen la eficiencia. Además, destacó que las herramientas digitales de la metodología BIM

son valiosos recursos para la ingeniería, aunque subrayó la importancia del criterio profesional para interpretar adecuadamente la información generada y aplicar la solución más adecuada al proyecto en curso.

Moreno (2021) llevó a cabo una investigación en la Universidad Militar Nueva Granada, donde elaboró un ensayo con el propósito de contribuir al fortalecimiento de la información sobre los avances de la metodología BIM en Colombia. Este enfoque, considerado una herramienta innovadora en la era digital, es ampliamente utilizado para la gestión de proyectos y resulta clave para mejorar la competitividad en el sector. La investigación adoptó un enfoque cualitativo, basado en la revisión de fuentes secundarias mediante un análisis bibliográfico de material disponible principalmente en formato digital. El objetivo fue construir un estado del conocimiento sobre la aplicación de la metodología BIM en el ámbito de la construcción, con especial énfasis en proyectos viales. Las fuentes consultadas incluyeron artículos científicos, trabajos de pregrado y posgrado, publicaciones de páginas oficiales, documentos gubernamentales, universidades y organizaciones. Asimismo, se consideraron experiencias internacionales en la implementación de BIM como referentes para su desarrollo en Colombia. También se identificaron casos específicos de proyectos de infraestructura vial en el país donde esta metodología fue aplicada en alguna de sus etapas. Como conclusión, se destacó que la metodología BIM contribuye significativamente a mejorar la eficiencia, promover la sinergia y reducir errores en las diferentes fases del ciclo de vida de los proyectos de construcción.

Moya et al. (2017) desarrollaron un artículo de investigación en la Universitat Politécnica de València, centrado en el proyecto ROADBIM, iniciado por un consorcio de empresas en España con el objetivo de desarrollar, entre otros aspectos, una extensión del formato IFC para carreteras. El estudio propone un formato basado en la extensión IFC4, ALIGNMENT 1.0, alineado con los esfuerzos internacionales liderados por "Building Smart International" dentro del proyecto "InfraRoom". La metodología se enfoca en diseñar un

esquema orientado a la verificación del cumplimiento de normativas aplicables a carreteras. Esto incluye identificar qué regulaciones pueden automatizarse, estructurar adecuadamente la información dentro del IFC y confirmar que dicho formato puede emplearse para verificar el cumplimiento normativo de manera automatizada. Como conclusión, se determinó que, al incorporar los datos necesarios en el IFC, es posible automatizar completamente la verificación de tres criterios de diseño geométrico establecidos en la normativa, sin necesidad de intervención del usuario, y su implementación ha resultado ser sencilla y eficiente.

Limas (2020) realizó una investigación en la Universidad Santo Tomás, con el objetivo de adaptar la metodología BIM a la fase de prefactibilidad de vías terciarias en el país, proponiendo una estrategia efectiva que optimice y transparente los procesos de diseño. El estudio también aborda la evolución histórica de la metodología BIM, su integración en la cultura colombiana y la presentación de sus bases teóricas. Además, se implementó la metodología BIM en la fase de prefactibilidad del proyecto vial en el municipio de Pesca, Boyacá, utilizando la herramienta Infraworks 360. La investigación concluyó que la combinación del enfoque técnico y aplicado permite que, en caso de implementar la metodología BIM en la Pesca, se cuente con información base clave para facilitar su adaptación a la fase de factibilidad y las etapas posteriores. Este enfoque contribuyó significativamente a mejorar el proceso de diseño a lo largo del ciclo de vida del proyecto, culminando en su construcción.

Antonio y Liévano (2017) desarrollaron una investigación en la Universidad Católica de Colombia con el propósito de implementar fases de trabajo que permitieran la adopción de la metodología BIM en empresas constructoras. El enfoque consistió en el uso de modelado 3D y bases de datos organizadas, con el fin de lograr una integración técnica entre diversas disciplinas, como la arquitectura, la estructura, la electricidad y la parte hidrosanitaria. Este enfoque buscaba establecer parámetros claros para garantizar el desarrollo eficiente de

proyectos arquitectónicos. A través de encuestas y el análisis del trabajo realizado, concluyeron que la implementación de la metodología BIM es esencial para Bogotá, ya que mejoraría significativamente la efectividad de los gerentes de proyectos. Además, destacaron que las empresas constructoras obtendrían beneficios económicos al optimizar procesos y reducir reprocesos, incrementando así la eficiencia global de los proyectos.

2.1.2. A nivel nacional

Cayco (2020) llevó a cabo una investigación en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, cuyo objetivo fue diseñar el trazado geométrico de una carretera de tercera clase utilizando dos programas BIM: AutoCAD Civil 3D, ampliamente utilizado en el país, e ISTRAM ISPOL, un software BIM español de gran aceptación en Europa. La metodología se basó en el análisis de un tramo muestral de 4,49 km del proyecto "Mejoramiento de la carretera vecinal Puente Chico – Milpo", que se encontraba en la etapa de estudio definitivo. Esta elección permitió evaluar posibles mejoras y garantizar la funcionalidad, seguridad, comodidad, estética, economía y compatibilidad ambiental de la carretera una vez construida y puesta en operación. Como resultado, se concluyó que el software ISTRAM ISPOL superó a AutoCAD Civil 3D en aspectos como tiempo de procesamiento, precisión, facilidad de uso y capacidad para manejar variantes automáticas. Por ello, se determinó que ISTRAM ISPOL es el software más efectivo para el diseño de carreteras, destacando las ventajas mencionadas a lo largo del estudio.

Chavarría (2018) realizó su investigación de pregrado en la Universidad César Vallejo. Su objetivo fue comparar la topografía digital con la topografía convencional dentro del modelado BIM de la carretera del distrito de Socos – Ayacucho 2021. Para ello, se utilizó el software Infraworks 360 como herramienta para facilitar y estructurar el modelado de proyectos viales. La población estuvo conformada por 10 proyectos de carreteras, mientras que la muestra fue seleccionada de manera intencional y no probabilística, centrándose en un único proyecto

vial. Los resultados demostraron que ambas metodologías lograron ajustar perfectamente el eje de la vía, proporcionando información detallada sobre las características geométricas obtenidas mediante el software Civil 3D. Finalmente, se concluyó que el uso de Infraworks 360 permite realizar levantamientos digitales funcionales y seguros para el diseño de carreteras.

Inga (2019) en su investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería, utilizó la metodología BIM con el objetivo de optimizar el diseño de carreteras, brindando al diseñador una visión global que facilita la toma de decisiones más eficientes y permite evaluar múltiples opciones de trazado de manera ágil. Además, se integró el uso de vuelos no tripulados (drones) para la recopilación de datos de campo, lo que permitió cubrir áreas más extensas en menor tiempo y a un costo reducido. Este enfoque topográfico proporcionó una mayor cantidad de datos, incluyendo límites de propiedades, uso del suelo, presencia de bosques, entre otros, simplificando significativamente el proceso de diseño. Los resultados evidenciaron la efectividad del método en la recopilación de datos en campo y en la toma rápida de decisiones al disponer de una visión integral para seleccionar el trazado óptimo de la carretera. También se destacó que la mayor cantidad de información obtenida permitió identificar posibles afectaciones a terrenos privados y delimitar sus linderos. La metodología BIM ofreció la posibilidad de evaluar diversas alternativas de trazado con mayor facilidad y trabajar en sincronía con Civil 3D, ajustando el diseño de acuerdo con el manual DG-2018 y generando los planos detallados necesarios para la construcción. Finalmente, en términos de costos y tiempo, el método demostró ser más eficiente que las técnicas tradicionales, ya que redujo significativamente el tiempo y los costos asociados tanto a la recopilación de datos como al diseño del trazado, al tiempo que entregó información más completa y precisa.

Reyes (2018) realizó su investigación en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, con el propósito de desarrollar un procedimiento para el diseño geométrico de carreteras en caminos vecinales, utilizando el software AutoCAD Civil 3D. Este programa ofrece una

solución integral en diseño, explanación, generación de planos de producción y maquetación en el ámbito de la ingeniería, soportando el flujo de trabajo de la metodología BIM. Esta herramienta facilita a ingenieros civiles, dibujantes técnicos y otros especialistas un mejor entendimiento del desempeño de los proyectos, permitiendo mejorar la consistencia en el procesamiento de datos y visualizando los cambios en el diseño dentro del entorno AutoCAD. La investigación se centró en la aplicación de este software en el diseño geométrico de carreteras de caminos vecinales, tomando como estudio de caso el proyecto "Construcción del camino vecinal del centro poblado de San Cristóbal de Atcur al pueblo de Piruro, distrito de San Pedro de Chaulán – Huánuco". Como resultado, se obtuvo el diseño de planta, perfil longitudinal, secciones transversales y presentaciones finales del proyecto, todo ello basado en el software de ingeniería de detalle utilizado.

Arteaga, Hilario y Nesterenko (2022), en su investigación de maestría realizada en la Universidad de Piura, tuvieron como objetivo evaluar la implementación de las metodologías de planificación, control y seguimiento: Tiempo-Camino, Gantt y PERT-CPM, con el fin de determinar cuál de ellas es la más eficiente para el caso de estudio: “Proyecto Vial Cusco” (Empalme PE–3S (Desvío Abancay) – Santo Tomás, Yauri, Héctor Tejeda, Empalme PE-3S (Ayaviri), Tramos contractuales III y V). El resultado obtenido de esta investigación concluyó que la metodología más eficaz y adecuada para este caso es el Diagrama Tiempo-Camino. Esto se debe a la flexibilidad que ofrece para gestionar cambios según las particularidades del proyecto, tales como: el enfoque de ejecución, la identificación de las actividades previas, la generación de la ruta crítica, la secuencialidad de las actividades, la dirección de movilización de los frentes de trabajo y la relación entre el tiempo y el espacio, dada la extensión física del proyecto.

Díaz (2020) llevó a cabo una investigación en la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con el objetivo principal de implementar una metodología de gestión de proyectos

aplicando las herramientas BIM durante la fase de diseño de proyectos viales. Como resultado, la investigación concluyó que los beneficios obtenidos tras la implementación del modelo de gestión de proyectos con el software BIM AutoCAD Civil 3D 2019 (Metric), incluyeron un aumento en la eficiencia, optimización de los flujos de trabajo, mejora en la gestión de la información y protección de la integridad de los datos.

Ocaña y Ortega (2021) realizaron una investigación en la Universidad Privada del Norte, el enfoque principal de esta tesis consistió en la aplicación del software ISTRAM BIM para el trazado geométrico de la carretera Vizcacha – Musga, en la provincia de Mariscal Luzuriaga, con el objetivo de identificar el área de aplicación de la propuesta y medirla mediante indicadores que permitieran verificar o refutar la hipótesis. Para ello, se utilizó el software ISTRAM BIM, que ofrece una solución avanzada de diseño que soporta el flujo de trabajo de la tecnología BIM, ayudando a ingenieros civiles, dibujantes técnicos y otros especialistas a comprender mejor el proceso de diseño y la ejecución de proyectos viales. La investigación concluyó que el modelado tridimensional inteligente, utilizando el software ISTRAM BIM, permitió evaluar, detectar y optimizar el DG en todas sus fases, produciendo como resultado final un modelo inteligente que mantiene su estructura, geometría y propiedades, mejorando los estándares de calidad del proyecto.

Minaya (2018), en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, llevó a cabo una investigación de tesis, con el objetivo de determinar cómo la aplicación de la metodología BIM mejora el diseño geométrico de las carreteras. Se partió de la premisa de que el uso de programas computacionales demuestra que BIM contribuye a una mejor elaboración del diseño vial, lo que facilita el desarrollo de soluciones más eficaces, rentables y sostenibles. La metodología implementó una nueva tecnología de software que optimizó las soluciones a los problemas de diseño, proporcionando ideas claras sobre la intención del proyecto. La conclusión final fue que el DG desarrollado cumple con los parámetros normativos establecidos

por el DG-2018 del MTC. Además, se comprobó que, al aplicar una metodología adecuada, se reduce el tiempo de diseño geométrico y se facilita la identificación de posibles errores.

2.1.3. A nivel local

Rodríguez (2022), en su trabajo de pregrado realizado en la Universidad Nacional de Cajamarca, propuso la aplicación de la metodología VDC/BIM en un proyecto de pavimentación urbana, específicamente en la obra "Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de la Ciudad de Anguía, Distrito de Anguía - Chota - Cajamarca - Etapa I". El proceso de investigación comenzó con el análisis del expediente técnico elaborado con metodología tradicional, identificando incompatibilidades que fueron corregidas mediante la aplicación de la nueva metodología. Se realizó una construcción virtual, se presentó un nuevo presupuesto y se actualizó el plazo de ejecución de la obra. Los resultados indicaron un aumento de 2.3% en el costo de la obra adicional y una reducción de 2.5% en el presupuesto en comparación con el presupuesto contractual, lo que resultó en un costo final de S/ 1,944,066.10 (con IGV). Además, se presentó un nuevo plazo de ejecución de 162 días utilizando la metodología VDC/BIM, lo que representó una reducción del 35% respecto al plazo establecido por la metodología tradicional. La conclusión fue que el uso de nuevas tecnologías y la implementación de la metodología VDC/BIM en el proyecto de infraestructura vial permitió una mayor precisión en el presupuesto y en el plazo de ejecución, reduciendo el riesgo de fracaso.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. BIM

Kaizen (2015) señala que BIM es el acrónimo de Building Information Modeling, aunque también podría interpretarse como Building Information Management. Esto implica que el BIM está estrechamente relacionado con la gestión de la información y no se limita únicamente al modelado. Además, el BIM no debe confundirse con un software específico, ya

que muchas veces se asocia erróneamente con programas como Revit, ArchiCAD u otras plataformas disponibles en el mercado. Aunque el software forma parte del BIM, este no es simplemente una herramienta de software.

Limas (2020) indica que la base teórica del BIM se apoya en el empleo de herramientas tecnológicas, la comunicación entre los participantes y flujos de trabajo ágiles, lo que facilita el cumplimiento de plazos, mejora la transparencia en la gestión de recursos y optimiza la calidad de las entregas.

Díaz (2020) señala que el BIM es una metodología colaborativa para la creación y gestión de proyectos de construcción, cuyo objetivo es centralizar toda la información en un modelo digital que es creado y gestionado por todos los involucrados en el proyecto. En el ámbito de los proyectos de infraestructura vial, BIM ofrece una oportunidad para mejorar la calidad de la información y reducir los costos mediante flujos de trabajo más eficientes. Además, busca optimizar la comunicación entre todos los profesionales responsables del diseño y la gestión del proyecto.

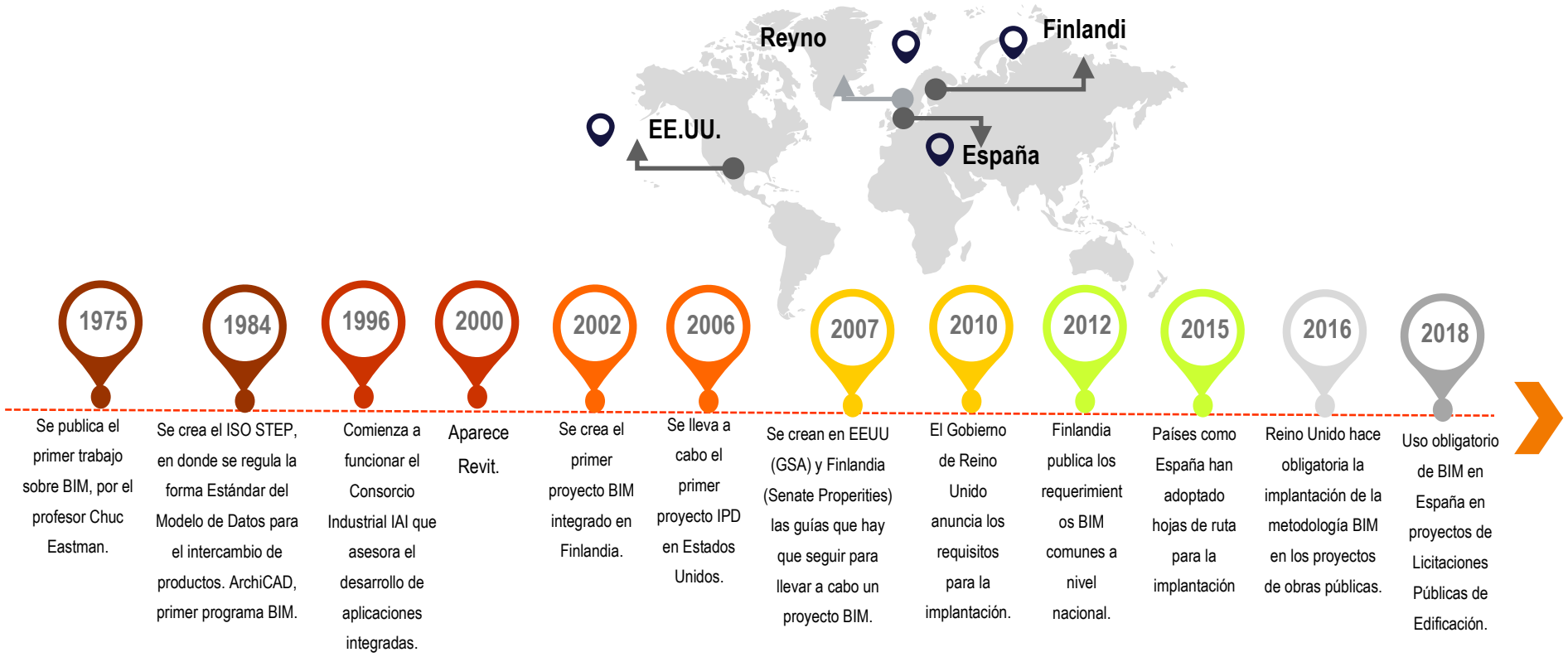
Serpa (2021) señala que uno de los aspectos más relevantes del BIM es que las tecnologías informáticas asociadas a este permiten que todos los actores involucrados en un proyecto, como ingenieros, promotores, constructores, contratistas, subcontratistas, jefes de obra, entre otros, puedan trabajar de manera mucho más colaborativa que como lo hacen actualmente.

Finalmente, Chavil y Farfán (2016) afirman que la implementación de la metodología BIM no debe ser vista como un paso demasiado grande y arriesgado para las empresas, ya que comenzar con las aplicaciones más simples y básicas de su potencial, como la compatibilización, ya resulta ser rentable. Esto se debe a que los resultados de la investigación muestran que el ROI del BIM en la compatibilización de un proyecto de oficinas es de 4,32, lo que significa que por cada S/. 1,00 invertido, se obtiene una ganancia de S/. 4,32.

2.2.2. Historia del BIM

Figura 1

Historia del origen y evolución de la metodología BIM



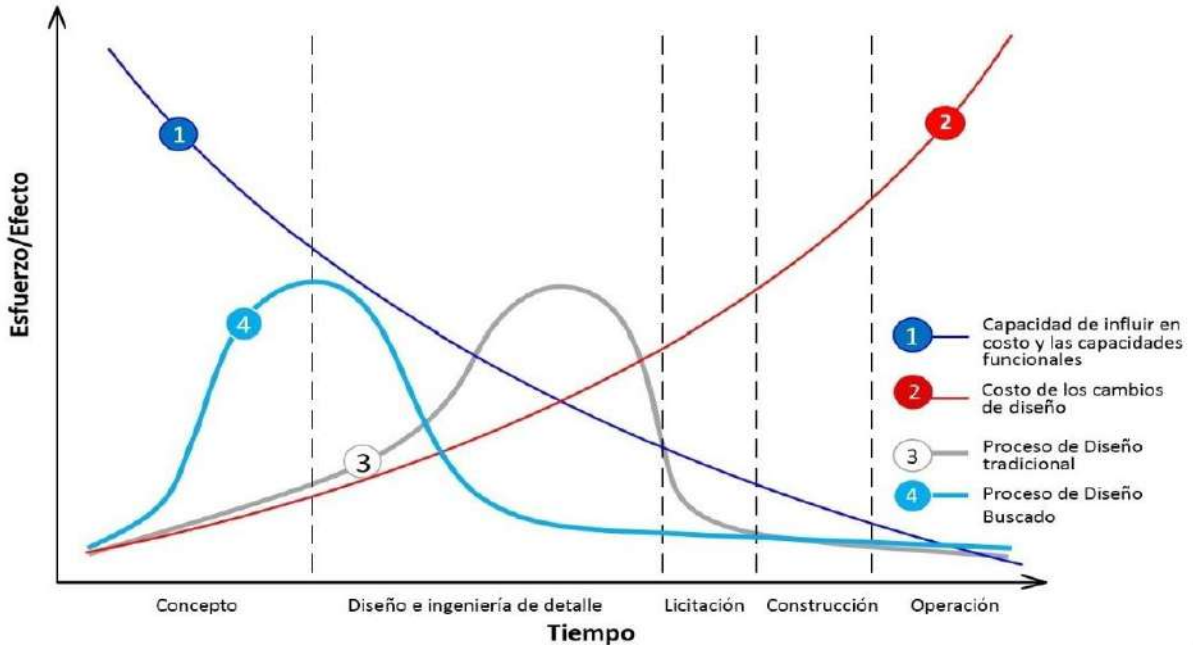
Nota. Adaptado de *Historia del BIM*, por VICSAN, 2021.

2.2.3. Diagrama de MacLeamy

De acuerdo con Patrick MacLeamy (2004), citado por Acuña (2016), los beneficios derivados de la implementación de un flujo de procesos BIM en proyectos de ingeniería pueden ser explicados mediante la gráfica comparativa presentada en la figura 2.

Figura 2

Distribución del tiempo invertido en las distintas fases de un proyecto de ingeniería utilizando la metodología BIM en comparación con metodologías tradicionales.



Nota. Reproducido de *Uso del modelo BIM en proyectos de infraestructura vial*, por Acuña, 2016.

La línea azul (1) de la figura representa la capacidad de influir en los costos y cambios a medida que avanza el proyecto, destacando que las etapas de diseño preliminar y de detalle son las que tienen mayor impacto en el costo y el esfuerzo del proyecto. La línea roja (2) ilustra el comportamiento del costo de los cambios conforme avanza el proyecto. La línea negra (3) refleja la distribución del esfuerzo cuando se aplican metodologías tradicionales, con un mayor enfoque en la etapa constructiva. Por último, la línea verde (4) muestra la distribución del esfuerzo en un proyecto que implementa procesos BIM, lo que genera un sesgo hacia las etapas

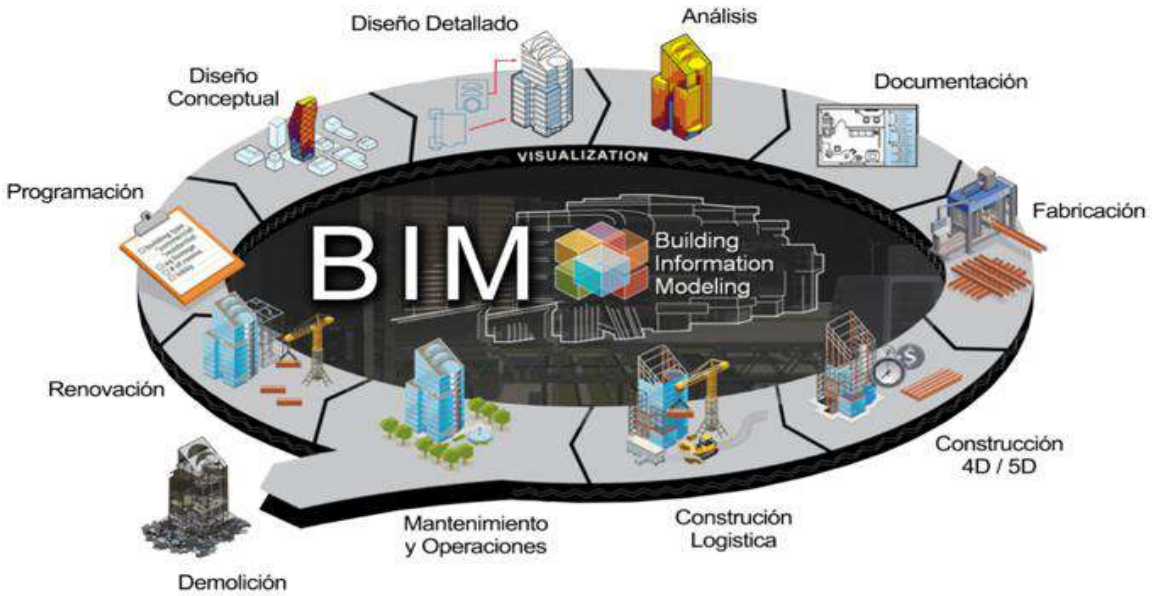
iniciales del proyecto, como el diseño conceptual y el diseño detallado. Esto significa que el costo de realizar cambios en los diseños es menor al aplicar procesos BIM, ya que no requiere la construcción de adicionales ni demoliciones (Acuña Correa, 2016)

2.2.4. Fases de adopción de la metodología BIM

Las empresas interesadas en fomentar la creación de modelos documentados dentro de sus flujos de trabajo (Tecnología BIM) deben primero evaluar sus capacidades y establecer objetivos escalables para integrar la metodología BIM en su organización. Esto implica realizar un diagnóstico que refleje el estado actual de la empresa en la que se ha implementado BIM. En este sentido, es aconsejable ubicar a la empresa en las etapas del ciclo del proyecto con las que más interactúa, tomando en cuenta si se dedican a proyectos de Ingeniería Conceptual, Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalles, modelos arquitectónicos, análisis estructurales, coordinación de construcción o proyectos de construcción (BIM Forum Chile, 2017).

Figura 3

El período de existencia de un plan según BIM



Nota. Reproducido de *Guía primera para realizar BIM en las empresas*, por BIM Forum Chile, 2016.

Las fases que conforman este ciclo de vida de un proyecto según BIM, son las detalladas a continuación: Demolición, Renovación, Programación, Diseño Conceptual, Diseño

Detallado, Análisis, Documentación, Fabricación, Construcción 4D/5D, Construcción Logística, Mantenimiento y Operaciones.

2.2.5. Dimensiones del modelo BIM

Las fases que componen el modelo BIM, son: BIM 1D (La idea), Dimensión 2D (El boceto), 3D (Modelado Tridimensional), 4D (Tiempo), 5D (Costos), 6D (Sostenibilidad), y 7D (Gestión de Operaciones). (Structuralia, 2018)

Figura 4

Descripción de las dimensiones del modelado BIM

DIMENSIONES DEL MODELADO BIM	
	BIM 1D (La idea): Todo proyecto BIM parte de una idea inicial, esta primera dimensión incluye: localización, condiciones iniciales de la estructura, estimaciones geométricas primigenias, costes y volúmenes de materiales o el establecimiento del plan de ejecución inicial.
	Dimensión 2D (El boceto): En esta fase se determinan las características genéricas del proyecto. Esta es la fase de preparación de modelización mediante software BIM, planteando: materiales, cargas estructurales, dimensión energética, y establecimiento de las bases para la sostenibilidad general de este.
	3D (Modelado Tridimensional): Generado a partir de la colección de toda la información o data en un modelo 3D, sirve de base para dimensionar las siguientes fases, representa toda la información geométrica del proyecto de manera integrada y real.
	4D (Tiempo): A esta plantilla de diseño se le aporta la dimensión del tiempo. El cual nos permitirá definir las fases del proyecto y el tiempo de duración, realizar modelamientos de las diferentes etapas en la construcción, así como el diseño del plan de ejecución del proyecto, etc.
	5D (Costos): Aquí está incluido el control de costos y valorización cuantitativa de gastos del proyecto, siendo el objetivo primordial generar la mayor productividad o beneficio del mismo
	6D (Sostenibilidad): Esta dimensión suele ser conocida como Green BIM o BIM Verde, ofrecen al proyectista la posibilidad de saber con anticipación cómo actua nuestro proyecto antes de que se tomen determinaciones importantes, antes de la construcción, permitiendo modificaciones.
	7D (Gestión de Operaciones): Permite tener un mejor control en todo el ciclo de vida del proyecto, así como las áreas comprometidas. Brinda el control logístico, operacional, del proyecto durante el uso y mantención de la vida útil, optimizando los procesos de inspección, reparaciones, mantenimientos, etc.

Nota. Adaptado de *Las 7 dimensiones del BIM y las razones para su dominio*, por Structuralia, 2018.

2.2.6. Ventajas y desventajas de la metodología BIM

De acuerdo con múltiples autores recopilados por Correa, Marín y Marín (2021), la metodología BIM puede ofrecer muchas ventajas y desventajas, tales como:

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la metodología BIM

Ventajas	Desventajas
- Ahorro presupuestal y de tiempo en la planificación del proyecto. - Tiempo de ejecución de los diseños. - Mayor control, calidad en la ejecución de obras. - Otorga ventajas financieras - El entorno BIM incrementa flujo de trabajo exponencialmente. - Reducción de costos. - Mayor control del proceso a lo largo de toda la ejecución del proyecto. - Reducción del tiempo en actividades en la ejecución de la obra. - Control en todo su ciclo de vida del proyecto. - Intercambio y almacenamiento una gran cantidad de datos para ser usado por diferentes especialidades de la ingeniería. - Uso eficiente de los recursos materiales en la ejecución de proyectos de inversión. - No se limita a modelos arquitectónicos, también brinda modelos de fontanería, climatización, saneamiento. - La interoperabilidad que nos brinda modelos parametrizados que puede ser fácilmente corregido por distintos software.	- Se necesita requisito formativo o capacitación de los profesionales para ser implementado y poder usarse correctamente. - Escasa difusión de su aplicación por parte de las entidades académicas. - Los profesionales aún utilizan herramientas del CAD que son más accesibles económicamente a diferencia de los software BIM. - La metodología BIM es aplicable para proyectos de gran envergadura. - Esta metodología está orientada hacia las empresas, ya que si un profesional independiente se interesa en esta metodología requiere de una gran inversión económica. - No existe un liderazgo de entidades en la difusión de la aplicación. - Resistencia al cambio de la metodología tradicional a la nueva tendencia en la gestión de proyectos. - Necesita tener formación académica especializada para su comprensión

Nota. Adaptado de *Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una Revisión*, por Correa, Marín y Marín, 2021.

2.2.7. Uso del BIM en proyectos de infraestructura vial

De acuerdo con Chavarria (2018), el uso de la metodología BIM en la fase de diseño de una carretera permite identificar y solucionar problemas de visualización y discrepancias en la geometría de un área geográfica específica, logrando una mejor modelación y planificación de la obra. Esto se diferencia de otros programas en 2D, que no simplificaban estos aspectos y, en

ocasiones, afectaban la precisión de los datos en campo al elaborar los planos, lo que podía generar retrasos y sobrecostos.

Según Cayco (2020), en la actualidad, el diseño y estudio de carreteras cuenta con software especializado que automatiza todo el proceso de diseño, independientemente del tamaño del proyecto, asegurando una alta precisión en los cálculos de los elementos y el DG.

Torres (2022) señala que, con el tiempo, la tecnología ha evolucionado y aumentado su demanda, lo que ha permitido observar la amplia oferta de software disponible para el diseño de carreteras. Estos programas se han vuelto esenciales para ejecutar proyectos de manera más precisa y eficiente, cumpliendo con los parámetros establecidos para la ejecución, los costos y garantizando una alta calidad.

2.2.8. El diseño conceptual y el diseño de detalle en proyectos viales

a. Diseño conceptual: Autodesk Infraworks 360

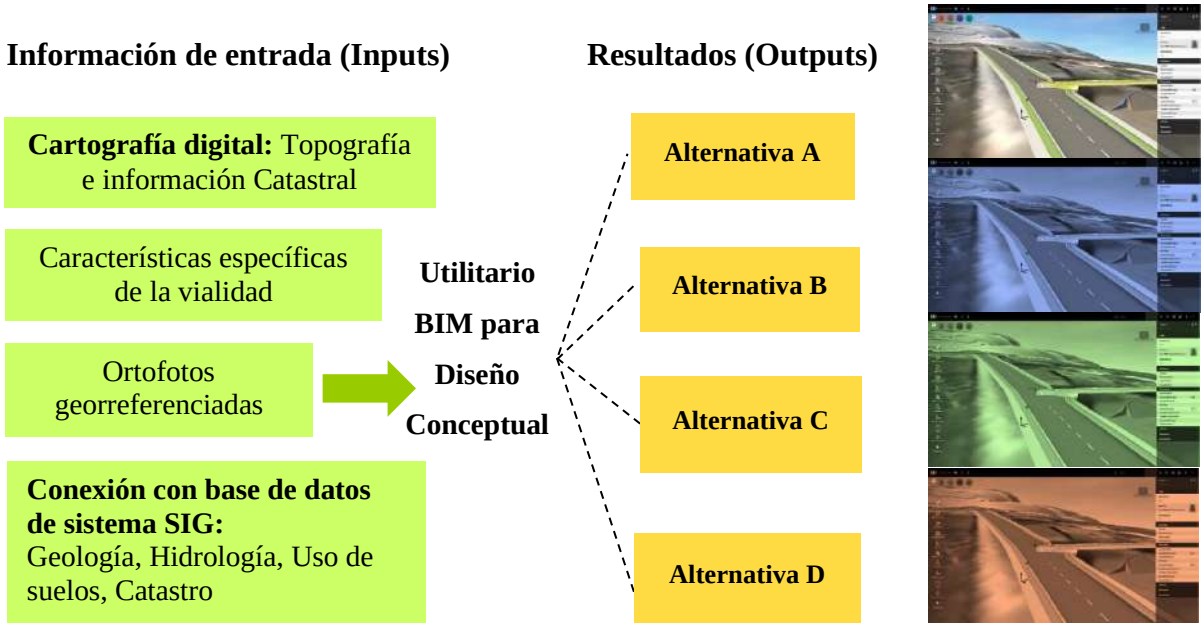
El diseño conceptual o preliminar es fundamental para proponer alternativas que ayuden a encontrar la mejor solución para el proyecto. Al comparar estas alternativas, se facilita la toma de decisiones por parte de los diseñadores, siempre y cuando se cuente con más herramientas de análisis, es decir, mientras más información se ingrese y se analice (Acuña Correa, 2016).

Autodesk Infraworks 360 es una herramienta BIM que facilita la comparación de información cartográfica proveniente de sistemas GIS, la cual incluye datos sobre la infraestructura existente de manera geométrica e informativa. Esta herramienta permite contrastar dicha información con los planteamientos preliminares de diferentes escenarios que un profesional pueda desarrollar, utilizando un entorno donde se dispone de datos en estado bruto, pero con campos informativos clave, como el nombre de las vías, la trayectoria geométrica, la altura de las edificaciones, el caudal de un cauce, la topografía, entre otros (Acuña Correa, 2016).

Para el prediseño conceptual de uno o varios escenarios, es fundamental conocer el alcance del proyecto, los objetivos específicos y las características principales, de modo que se ajuste a las métricas del diseño propuesto. Es necesario contar con información base, comenzando por los "trazos" del DG. BIM ofrece un esquema de información inicial (inputs) que, al pasar por el proceso de ingeniería conceptual, genera resultados (outputs) con un nivel básico de elementos de juicio que facilitan el análisis y la elección final de la alternativa, la cual servirá como base para el diseño detallado (Acuña Correa, 2016).

Figura 5

Esquema del diseño conceptual con BIM en un plan de construcción vial



Nota. Adaptado de *Aplicación de guía BIM para propósitos de servicios básicos viales,* Acuña (2021).

b. Diseño de detalle: AutoCAD Civil 3D

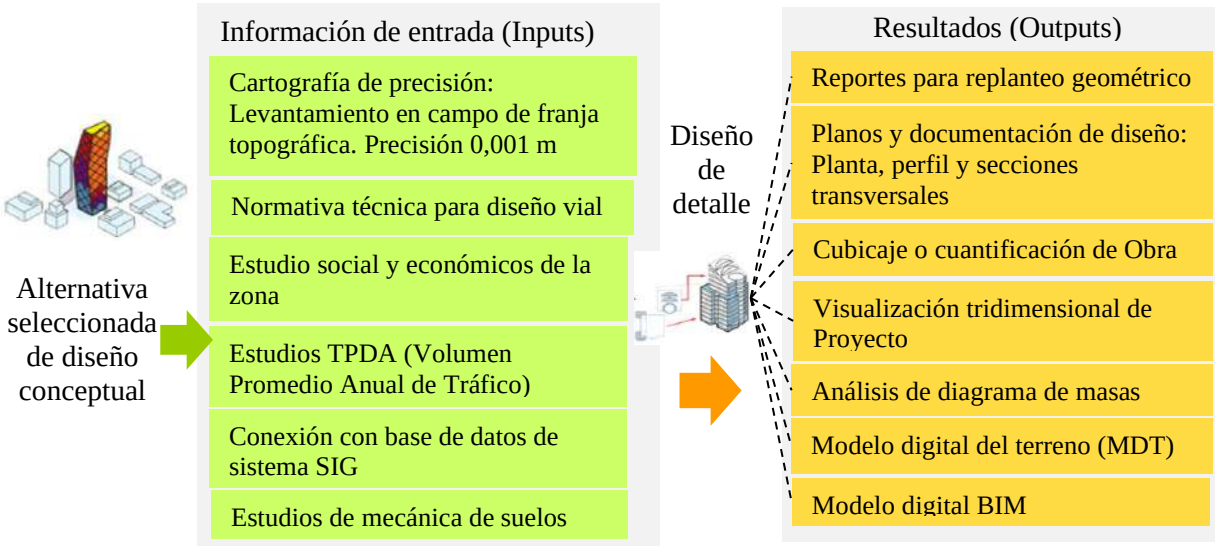
El diseño de detalle es la fase dentro del flujo BIM en la que se incorporan datos específicos del proyecto, como estudios del terreno en el que se desarrollará el proyecto, estudios de la zona por donde pasa la vialidad, entre otros. Su objetivo es ajustar o perfeccionar lo propuesto inicialmente en el diseño conceptual, llevándolo a una propuesta más cercana a la

realidad. La principal característica de esta etapa es la determinación de la geometría horizontal y vertical siguiendo la normativa técnica, para asegurar que la vía cumpla con los niveles de servicio y seguridad requeridos para su uso. La normativa puede ser aplicada de manera asistida por la herramienta BIM o según el criterio del profesional encargado del diseño (Acuña Correa, 2016)

AutoCAD Civil 3D es la herramienta líder en el mercado de software de ingeniería para el diseño vial, debido a su amplio conjunto de herramientas especializadas, su funcionalidad y su capacidad de integrarse con los diversos programas utilizados en las diferentes etapas de la modelación BIM. Este software es compatible con el concepto BIM, que se basa en la creación de modelos enriquecidos con información relevante, permitiendo la construcción de modelos digitales parametrizados. Estos modelos pueden ser sometidos a revisiones según normativas de diseño, análisis de cálculos, previsualización y generación de documentación, entre otros. Además, estos parámetros permiten modificar el proyecto de manera dinámica, lo que ayuda a optimizar el tiempo y agilizar los procesos de diseño y dibujo (Acuña Correa, 2016).

Figura 6

Esquema del diseño de detalle con BIM en un proyecto de infraestructura vial



Nota. Adaptado de *Aplicación de modelo BIM para proyectos de infraestructura vial*, por Acuña, 2021.

c. Oferta de software especializados en proyectos de infraestructura vial.

Conforme lo indica Pérez (2019), el progreso de planes de construcción lineal, utilizando las técnicas BIM, debe centrarse en dos factores principales que se desarrollan en paralelo. Uno de ellos es el prediseño (propuesta de alternativas), que se enfoca en el uso de modelos digitales, ofreciendo la ventaja de generar una gran cantidad de alternativas en un entorno tridimensional. Actualmente, los programas más utilizados comercialmente en este ámbito son Autodesk Infraworks 360 y Open Roads Concept Station (Ver tabla 4).

Tabla 4

Software BIM para el diseño conceptual (prediseño) de proyectos viales

Marca Comercial	Software	Descripción	Costo	Modelo realizado en software
AUTODESK	Infraworks 360	Esta herramienta permite la creación de modelos tridimensionales realistas, trabajando sobre un entorno real ya sea insertando la información o trabajando con información suministrada por Google Maps vinculada al software.	1450 € año licencia individual	
BENTLEY	Open Roads Concept Station	Permite la creación e interacción con modelos tridimensionales realistas, trabajando sobre un entorno real localizando y descargando en línea modelos de datos de distintas fuentes como nube de puntos, mallas 3D, imágenes geoespaciales.	6350 € año	

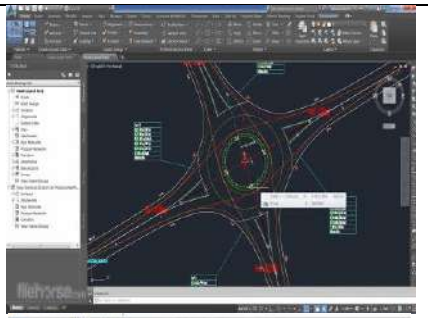
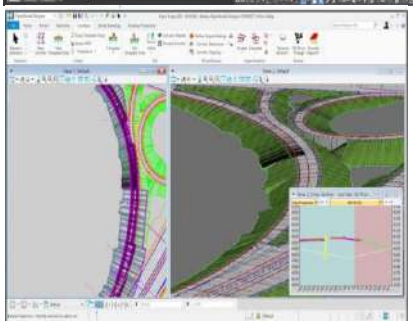
Nota. Adaptado de *Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil*, Pérez (2019).

Pérez (2019), indica que un segundo factor importante, es el diseño de detalle, realizando el piloto conceptual y seleccionando una o más opciones a desplegar se procede a ejecutar un modelo de detalle, definiendo parámetros técnicos de la viabilidad y el replanteo de

las etapas continuas, actualmente los softwares más utilizados son de marcas comerciales Autodesk Civil 3D y Open Roads Designer (Ver tabla 5).

Tabla 5

Software BIM para el diseño de detalle de proyectos de infraestructura lineal (vías)

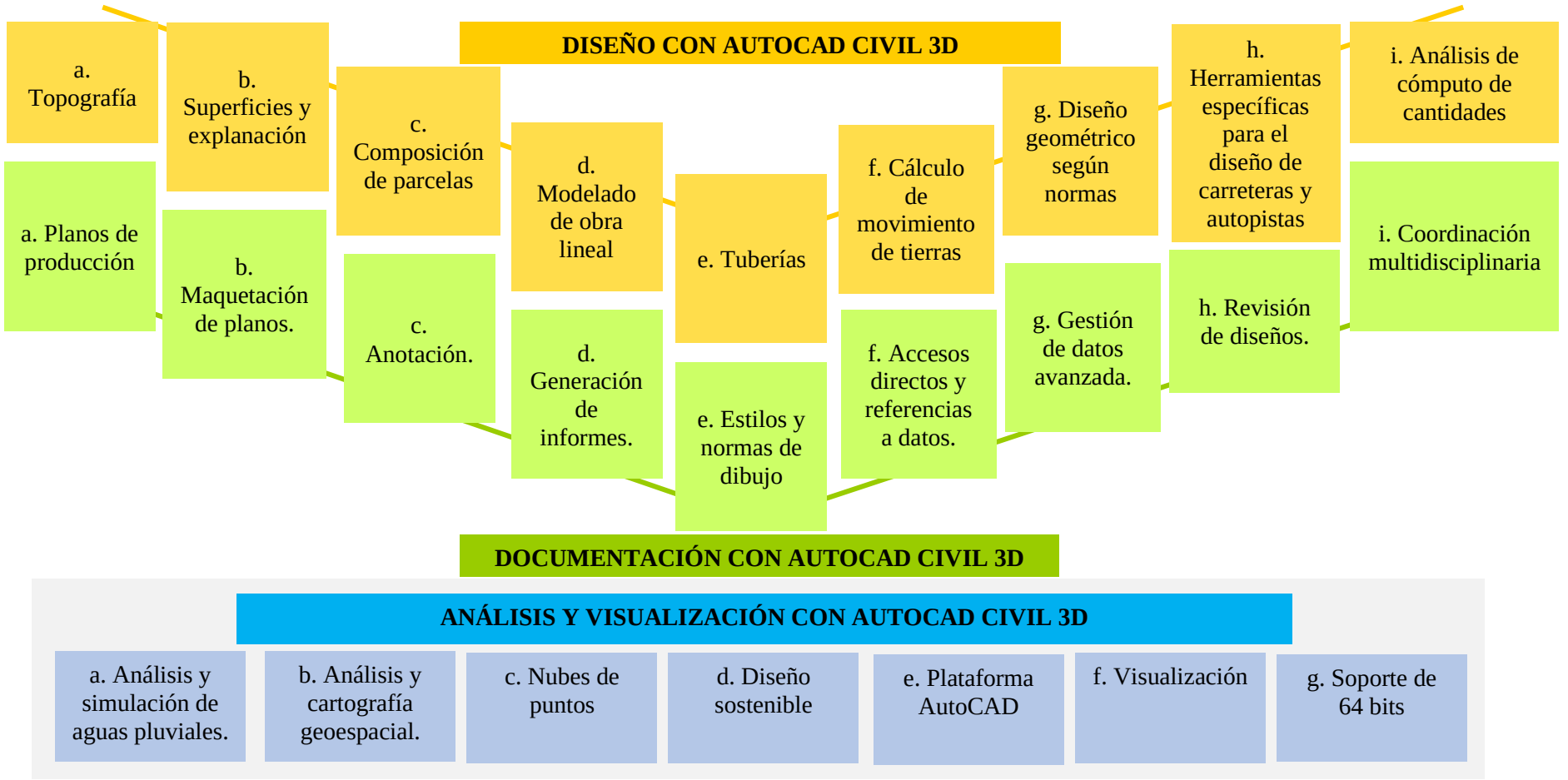
Marca Comercial	Software	Descripción	Costo	Modelo realizado en software
AUTODESK	Civil 3D	Esta herramienta permite la creación de modelos tridimensionales realistas de detalle, partiendo de un modelo conceptual o desarrollándose directamente en el software.	2500 €/ año licencia individual	
BENTLEY	Open Roads Designer	Herramienta que permite la creación de modelos de detalle partiendo de modelos conceptuales o desarrollados en esta, permitiendo la creación de alineaciones horizontales y verticales, creación de perfiles y secciones trasversales, diseño y análisis viales.	9800 €/ año	

Nota. Adaptado de *Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil*, Pérez (2019).

Reyes (2018) señala que: 1) AutoCAD Civil 3D permite completar proyectos de ingeniería medioambiental, de transporte y urbanismo en menos tiempo y con mayor calidad, 2) ofrece una mejor manera de diseñar, analizar y documentar proyectos de ingeniería civil, 3) genera documentos de construcción más consistentes que permanecen sincronizados incluso cuando se realizan modificaciones en el diseño del modelo, y 4) sus avanzadas herramientas de visualización en 3D facilitan la exploración de más escenarios hipotéticos con antelación, lo que mejora la comunicación de ideas efectivas.

Figura 7

Esquema de herramientas en AutoCAD Civil 3D, para el diseño, documentación, análisis y visualización



Nota. Adaptado de *Propuesta de diseño geométrico en carreteras de camino vecinal utilizando software AutoCAD civil 3d*, por Reyes, 2018.

Figura 8

Esquema de herramientas en Infraworks 360

Nota. Adaptado de *Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia*, por Limas (2020).

2.2.9. Metodología convencional VS. metodología BIM

En las técnicas habituales, los proyectos se manejan de forma aislada en cuanto a su base de información, sin conexión entre procesos ni una base de datos integrada. Este enfoque requiere la elaboración individual de cada plano en 2D. Por ejemplo, en un proyecto habitacional que necesite diversos planos (plantas, secciones y alzados), cada uno debe crearse de manera separada.

Si bien estos planos pertenecen al mismo proyecto, carecen de una conexión directa entre sí o con el proyecto general. Esto implica que cualquier cambio en el diseño debe ser implementado de manera manual en cada uno de los existentes planos.

Para obtener representaciones tridimensionales, habitualmente se recurriría a maquetas físicas o, más recientemente, a modelos virtuales. No obstante, aunque estas representaciones permiten apreciar el volumen y los acabados del proyecto, no incluye datos sobre los componentes estructurales de la construcción, limitándose únicamente a aspectos geométricos.

El modelo tridimensional, al igual que los planos bidimensionales, mantiene solo una conexión referencial con el proyecto. Por consiguiente, las modificaciones deben realizarse tanto en cada plano como en el modelo 3D de forma independiente.

Esta fragmentación en los procedimientos ha resultado en una mayor inversión de tiempo y recursos en el desarrollo de los proyectos.

En cambio, la tecnología BIM proporciona un enfoque innovador y simplificado para gestionar los proyectos. Una de sus mayores ventajas es la centralización de todos los elementos del proyecto en una sola base de datos exhaustivo.

Con BIM, el proceso de diseño se automatiza completamente. Los planos bidimensionales se generan directamente del modelo mediante la definición de vistas específicas, manteniéndose sincronizados con el modelo principal, lo que permite que las modificaciones se actualicen automáticamente en todas las representaciones.

La visualización tridimensional representa otra ventaja significativa, manteniendo una conexión directa con el modelo central. El sistema BIM almacena datos detallados sobre cada componente del proyecto, incluyendo especificaciones sobre los materiales de construcción.

En consecuencia, las visualizaciones 3D se actualizan automáticamente según los cambios en los materiales, incorporando sus propiedades físicas, lo que resulta en representaciones virtuales más realistas.

Las plataformas BIM continúan mejorando sus capacidades de visualización, evolucionando desde renders estáticos hasta experiencias inmersivas como recorridos virtuales y vistas de 360 grados.

Los cómputos métricos se derivan directamente de la información contenida en cada elemento del proyecto. El software extrae automáticamente las mediciones, proporcionando tanto dimensiones geométricas como información sobre identificación y cantidad de componentes.

2.2.10. El croquis geométrico de proyectos viales

Es significativo indicar que la esencia de todo proyecto vial, parte del diseño geométrico, el cual involucra diversos factores y demandas del proyecto adecuándolas a la topografía del lugar. Sin embargo, tal y como lo indica Rojas (2021) menciona que, en el contexto actual de nuestro ámbito de estudio, la misma población ha construido algunos tramos de veredas para uso personal en sus viviendas. Sin embargo, estos diseños no son adecuados para garantizar un servicio adecuado de transitabilidad peatonal, ya que carecen de continuidad con las viviendas adyacentes y no consideran aspectos importantes como la altura de los buzones de agua, desagüe, entre otros. Siendo esta la razón más importante por la que se debe estudiar y optimizar los diseños geométricos de las múltiples vías del país, ante ello diversos autores han conceptualizado, interpretado e incorporado las diferentes normativas referidas al tema, describiéndolas a continuación.

Reyes (2018) señala que la filosofía de diseño propuesta por la norma técnica de Diseño Geométrico DG-2014 del manual de carreteras busca un diseño funcional, seguro, cómodo, estético y económico. El DG es una parte crucial en los proyectos de infraestructura de transporte, los cuales se desarrollan dentro de una franja de terreno conocida como derecho de vía, con el objetivo de permitir la circulación continua de vehículos en el tiempo y espacio. En este contexto, se definen la ubicación, forma y geometría de los elementos.

Por su parte, Cayco (2020) menciona que en su estudio se propuso un diseño geométrico optimizado de la carretera, utilizando las etapas de la metodología BIM, que incluyen el diseño conceptual, el diseño de detalle, el análisis y la documentación, todo dentro del marco de la norma peruana DG-2018. Además, se llevó a cabo la creación de planos y otros gráficos derivados de cada etapa, registrando la duración del tiempo para ambos programas.

2.2.11. La metodología BIM en el Perú

Agreda y Herrera (2020) mencionan que actualmente, tanto en Perú como en otros países del mundo, el sector de la construcción está experimentando diversas actualizaciones tecnológicas, como es el caso del BIM. En un estudio realizado por Chavil y Farfán (2016), se realizaron 25 encuestas dirigidas a jefes BIM, coordinadores, consultores, implementadores, especialistas en software BIM y modeladores, todos colaboradores de empresas como Graña y Montero, Cosapi, Marcan, CDV Consultores, Proisac, entre otras.

En cuanto a la pregunta sobre en qué tipo de proyectos ejecutados en Perú se ha implementado BIM, los autores indican que se ha utilizado en proyectos de oficinas, hospitales, viviendas, centros comerciales, centrales hidroeléctricas, carreteras, plantas industriales e infraestructura institucional (colegios, universidades, etc.). En muchos de estos proyectos, la implementación de BIM fue solo un intento o se creó un modelo en 3D como parte del proceso BIM, pero en general, esto representa un primer paso para incorporar la metodología en diversos tipos de proyectos.

Respecto a las dificultades encontradas en la implementación de BIM en proyectos de construcción, los autores destacan varias razones principales: la resistencia al cambio por parte de los involucrados, el cambio de metodología de trabajo, los costos de implementación (como capacitaciones, licencias, compra de computadoras adecuadas, y contratación de especialistas), la ansiedad por obtener resultados inmediatos, la falta de información sobre BIM (muchos proyectistas creen que están utilizando BIM cuando en realidad solo están subcontratando el modelado), y la falta de experiencia en su implementación (muchos proyectos fracasan por no tener claro qué se quiere implementar y por qué es necesario hacerlo).

2.2.12. Clasificación De La Carretera

A. Clasificación por demanda. Según el manual de carreteras DG (2018):

Las Carreteras de Primera Clase se distinguen por contar con un IMDA que varía entre 2001 y 4000 vehículos por día, presentando carriles dobles con un ancho mínimo de 3,6 metros. Su diseño incluye cruces vehiculares a nivel y en zonas urbanas, dispone de infraestructura para peatones o elementos de seguridad vial que aseguren una operación segura, exigiendo una superficie pavimentada.

Las carreteras de Segunda Clase están proyectadas para un IMDA que oscila entre 400 y 2000 vehículos por día, con carriles dobles que tienen un ancho mínimo de 3,3 metros. Al igual que las de Primera Clase, permiten cruces vehiculares a nivel y requieren medidas de seguridad peatonal en áreas urbanas, manteniendo también el requisito de pavimentación.

En el caso de las carreteras clasificadas como Tercera Clase, soportan un IMDA inferior a 400 vehículos por día, con carriles dobles de al menos 3 metros de ancho, aunque en situaciones específicas y con justificación técnica, este puede reducirse a 2,5 metros. Su construcción permite soluciones más económicas, como estabilización de suelos, tratamientos asfálticos básicos o afirmados, aunque si se decide pavimentarlas, deben cumplir con los parámetros geométricos de las vías de Segunda Clase.

Por último, las Trochas Carrozables representan la categoría más elemental, siendo caminos transitables que no cumplen con los estándares geométricos de una carretera convencional, generalmente con un IMDA inferior a 200 vehículos por día. Su diseño requiere un ancho mínimo de 4 metros, complementado por plazoletas de cruce cada 500 metros, pudiendo tener superficie afirmada o natural.

B. Clasificación por orografía. En el Perú, según lo establecido por la DG (2018), se identifican cuatro tipos principales de terrenos según sus características:

El terreno plano (tipo 1) tiene pendientes transversales que no superan el 10% y pendientes longitudinales generalmente menores al 3%, lo que facilita la construcción con un mínimo movimiento de tierras. En el caso del terreno ondulado (tipo 2), las pendientes transversales varían entre el 11% y el 50%, mientras que las longitudinales oscilan entre el 3% y el 6%, requiriendo un movimiento de tierras moderado, pero permitiendo trazados con curvas más suaves. Los terrenos accidentados (tipo 3) presentan pendientes transversales entre el 51% y el 100%, con pendientes longitudinales que varían del 6% al 8%, lo que demanda un considerable movimiento de tierras y genera mayores desafíos en el diseño. Por último, el terreno escarpado (tipo 4), el más complejo, tiene pendientes transversales superiores al 100% y longitudinales que superan el 8%, exigiendo un máximo movimiento de tierras y presentando dificultades significativas en su trazado, lo que requiere soluciones de ingeniería más complicadas y costosas.

C. Clasificación por su función. En el Perú, según lo indica el MDCNPBVT, se tiene las siguientes clasificaciones:

c.1. Carreteras de la Red Vial Nacional.

c.2. Carreteras de la Red Vial Departamental o Regional.

c.3 Carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural.

D. Clasificación por la relación entre demanda y características de la carretera

La determinación de la superficie de rodadura en carreteras está vinculada a los niveles de tráfico vehicular, estableciéndose criterios específicos que determinan la transición de una superficie granular a una pavimentada. Esta decisión no sigue una regla universal, sino que se adapta a las particularidades de cada proyecto, considerando tanto la intensidad como la composición del flujo vehicular. La evaluación técnico-económica, conforme a los lineamientos establecidos por el MDCNPBVT (2008), constituye la herramienta fundamental para determinar la viabilidad de esta transición. La experiencia acumulada en el contexto peruano ha permitido desarrollar parámetros técnico-económicos óptimos para rutas no asfaltadas con bajo volumen de tráfico, los cuales se encuentran sistematizados en la tabla 6, que sirve como guía práctica para la toma de disposiciones en el arquetipo de construcciones viales.

Tabla 6

Características básicas de la superficie de rodadura en carreteras de BVT

CARRETERA DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO DE CALZADA (M)	ESTRUCTURAS Y SUPERFICIE DE RODADURA ALTERNATIVAS (**)
T3	101-200	2 carriles 5,5-6	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51-100	2 carriles 5,5-6	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16-50	1 carril (*) o 2 carriles 3,5-6	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3,5-4,5	Afirmado (tierra) En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

Nota. Adaptado del cuadro 1 del *MDCNPBVT (2008).* *) Con plazoletas de cruce a 500-1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso. **) Si las carreteras no cuentan con gravas

en una distancia próxima, pueden ser estabilizadas a través de métodos de estabilización de suelo-cemento, cal, productos químicos u otros.

E. Leyes y principios fundamentales utilizados en el diseño geométrico de carreteras

Para analizar los conceptos básicos y teorías fundamentales utilizados en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018 de Perú, podemos identificar varios principios científicos y físicos que son esenciales para el diseño geométrico de carreteras:

E.1. Leyes de la Física Clásica: La ley de newton del movimiento es primordial para percibir cómo se mueven los vehículos y cómo interactúan con la geometría de la carretera. Las leyes de inercia y movimiento determinan las fuerzas de frenado, fuerzas centrífugas en curvas y la estabilidad de vehículos en diferentes pendientes y radios de curvatura.

E.2. Ley de Gravedad: Influye claramente en el diseño de diferidos prolongados, sistemas de desagüe, persistencia de taludes y distribución de cargas en la estructura del pavimento.

E.3. Principios de mecánica: Momento angular para el cálculo de radios de giro, conservación de energía en el análisis de velocidades, fuerzas de rozamiento en el diseño de peraltes, dinámica vehicular en la determinación de distancias de visibilidad y el cálculo de esfuerzos para las estructuras de pavimento.

E.5. Teoría de la Mecánica de Suelos: Capacidad portadora del terreno, estabilidad de explanaciones, diseño de subbases y bases, compactación y densidad de suelos, comportamiento de materiales bajo cargas y análisis de deformaciones y asentamientos.

E.6. Principios trigonométricos: Cálculo de ángulos de deflexión, determinación de longitudes de curvas, diseño de alineamientos horizontales y verticales, cálculo de pendientes, geometría de intersecciones y empalmes.

E.7. Conceptos Termodinámicos: Dilatación de materiales de pavimento, comportamiento térmico de diferentes capas, juntas de dilatación en estructuras, efecto de temperaturas en propiedades mecánicas de materiales, expansión y contracción de materiales de cimentación.

2.2.13. Diseño geométrico de la vía

A. Alineamiento horizontal

Según lo establecido por el DG-2018, el diseño geométrico en planta, también conocido como alineamiento horizontal, se compone de alineamientos rectos, curvas circulares y curvas con grados de curvatura variable. Estas últimas permiten una transición gradual y fluida entre alineamientos rectos y curvas circulares, o entre dos curvas circulares con diferentes radios de curvatura. El alineamiento horizontal debe garantizar una operación vehicular continua, procurando mantener la misma velocidad de diseño en la mayor longitud posible de la carretera. Asimismo, no se considera necesaria la incorporación de una curva horizontal en casos de pequeños ángulos de deflexión. A continuación, se presenta una tabla que detalla los ángulos de deflexión máximos para los cuales no es necesaria la curva horizontal.

Tabla 7

Ángulos de deflexión máximos

Velocidad de diseño Km/h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30 ´
40	2° 15 ´
50	2° 50 ´
60	2° 30 ´
70	2° 20 ´
80	2° 10 ´

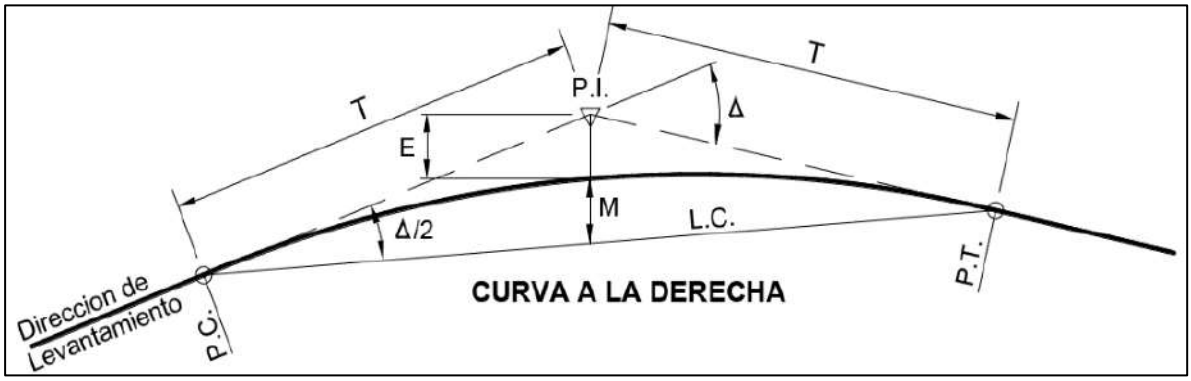
Nota. Adecuado del manual DG (2018), pág. 126.

a.1. Curvas circulares

De acuerdo con el DG-2018, las curvas horizontales circulares simples se definen como arcos de circunferencia con un único radio, los cuales conectan dos tangentes consecutivas y representan la proyección horizontal de las curvas reales o tridimensionales.

Figura 9

Elementos de la curva circular simple



Nota. Adaptado de la Figura 302.01 del manual de carreteras DG (2018).

P.C. = Punto de inicio de la curva

P.I. = Punto de intersección

P.T. = Punto de tangencia

E = Distancia a Externa (m)

M = Distancia de la ordenada media (m)

R = Longitud del radio de la curva (m)

T = Longitud de la subtangente (m)

L = Longitud de la curva (m)

L.C. = Longitud de la cuerda (m)

Δ = Ángulo de deflexión

$$T = R * \tan\frac{\Delta}{2}$$

$$L.C. = 2 * R * \operatorname{sen}\frac{\Delta}{2}$$

$$L = 2 * \pi * R * \frac{\Delta}{360}$$

$$M = R * \left(1 - \cos\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$E = R * \left(\sec\frac{\Delta}{2} - 1\right)$$

a.2. Curvas horizontales

De acuerdo con las directrices del MDCNPBVT (2008), el radio mínimo de curvatura se define como un valor restrictivo determinado a partir de dos factores clave: el peralte máximo permitido y el coeficiente máximo de fricción, ambos en función de la velocidad de diseño estipulada. La tabla 11 presenta una matriz que relaciona las velocidades de diseño con los radios mínimos y los peraltes máximos correspondientes.

Aunque se dispongan de parámetros básicos como la velocidad de diseño, el radio mínimo y el peralte máximo para configurar el alineamiento horizontal de una carretera, se recomienda evitar el uso constante de curvas con el radio mínimo. La práctica más adecuada es diseñar con radios de curvatura más amplios, reservando el uso de radios mínimos solo para casos en los que las condiciones del terreno u otras limitaciones lo hagan estrictamente necesario.

a.3. Curvas de transición

Según el MDCNPBVT (2008), la dinámica vehicular durante la transición entre tramos rectos y curvos requiere un proceso gradual, ya que los cambios direccionales y las fuerzas laterales asociadas no pueden manifestarse de manera instantánea.

Para lograr una transición fluida entre el perfil transversal con bombeo típico de las secciones rectas y el diseño peraltado con sobreancho característico de las curvas, resulta imperativo incorporar un elemento de diseño intermedio. Este elemento, conocido como longitud de transición, permite una modificación progresiva de la geometría vial.

La ejecución de curvas de trasformación se vuelve necesaria cuando los radios de curvatura horizontal son menores a los valores especificados en la tabla 8. En estos casos, se sugiere la utilización de espirales que se aproximan a las características geométricas de la parábola de Euler o Clotoide, garantizando así una transformación más suave y segura para los usuarios de la vía.

Tabla 8

Necesidad de curvas de transición

Velocidad Directriz Km/h	Radio m
20	24
30	55
40	95
50	150
60	210

Nota. Adaptado del cuadro Nº 3.2.3a del MDCNPBVT (2008).

Al implementar una curva de transición, es fundamental que su longitud se mantenga dentro de ciertos límites: no debe ser inferior a Lmín ni superior a Lmáx. Estas longitudes se determinan mediante las siguientes fórmulas:

$$L_{mín.} = 0{,}017\,8 * \frac{V^3}{R}$$

$$L_{máx.} = (24 * R)^{0{,}5}$$

Donde: R = Radio de la curvatura circular horizontal, L mín. = Longitud mínima de la curva de transición, L máx. = Longitud máxima de la curva de transición en metros y V = Velocidad directriz en Km/h.

A continuación, se presenta una tabla que muestra la longitud óptima de la curva de transición en relación con el radio de la curva circular.

Tabla 9

Longitud deseable de la curva de transición

Radio de curva circular (m)	Longitud deseable de la curva transición (m)
20	11
30	17
40	22
50	28
60	33

Nota. Adaptado del cuadro Nº 3.2.3b del MDCNPBVT, 2008.

a.4. Peralte de la carretera

De acuerdo con el MDCNPBVT (2008), el peralte se define como la elevación de la sección exterior de una curva en la carretera respecto a la sección interior. Su principal finalidad es contrarrestar los efectos generados por la fuerza centrífuga. Por ello, es fundamental que las curvas horizontales estén diseñadas con un peralte apropiado.

El porcentaje máximo de peralte generalmente aceptado es del 8%, aunque en circunstancias excepcionales puede llegar hasta el 10%. En el caso de carreteras bien drenadas y afirmadas, en situaciones extremas, se podría considerar un peralte máximo cercano al 12%.

El radio mínimo (Rmin) de una curva es un monto crítico que se determina en función del peralte máximo (emax) y el coeficiente máximo de fricción (fmax) establecidos para una velocidad directa (V). Este valor se puede calcular utilizando una fórmula específica:

$$R_{mín.} = \frac{V^2}{127*(0{,}01*e_{máx} + f_{máx})}$$

Tabla 10

Fricción transversal máxima en curvas

Velocidad directriz Km/h	$f_{máx}$
20	0,18
30	0,17
40	0,17
50	0,16
60	0,15

Nota. Adaptado del cuadro Nº3.2.6.1a del MDCNPBVT, 2008.

La Tabla 11 muestra los valores mínimos de radios y los máximos de peraltes que pueden aplicarse según cada velocidad directriz. Asimismo, este cuadro incluye los valores máximos correspondientes a la fricción transversal.

Tabla 11

Radios mínimos y peraltes máximos

Velocidad directriz (km/h)	Peralte máximo e (%)	Valor límite de fricción $f_{máx}$	Calculado radio mínimo (m)	Redondeo radio mínimo (m)
20	4	0,18	14,3	15
30	4	0,17	33,7	35
40	4	0,17	60	60
50	4	0,16	98,4	100
60	4	0,15	149,1	150
20	6	0,18	13,1	15
30	6	0,17	30,8	30
40	6	0,17	54,7	55
50	6	0,16	89,4	90
60	6	0,15	134,9	135
20	8	0,18	12,1	10
30	8	0,17	28,3	30
40	8	0,17	50,4	50
50	8	0,16	82	80

Velocidad directriz (km/h)	Peralte máximo e (%)	Valor límite de fricción $f_{máx}$	Calculado radio mínimo (m)	Redondeo radio mínimo (m)
60	8	0,15	123,2	125
20	10	0,18	11,2	10
30	10	0,17	26,2	25
40	10	0,17	46,6	45
50	10	0,16	75,7	75
60	10	0,15	113,3	115
20	12	0,18	10,5	10
30	12	0,17	24,4	25
40	12	0,17	43,4	45
50	12	0,16	70,3	70
60	12	0,15	104,9	105

Nota. Adaptado del cuadro Nº3.2.6.1b del MDCNPBVT, 2008.

En carreteras con un IMDA de diseño menor a 200 vehículos por día y una velocidad directriz de hasta 30 km/h, el peralte de todas las curvas puede establecerse en un 2,5%. La transición de la inclinación de la sección transversal, desde el bombeo normal en los tramos rectos hasta alcanzar el peralte pleno en las curvas, se realiza a lo largo de una longitud específica de la vía, conocida como transición. Esta transición comprende dos etapas: la longitud en la que el bombeo adverso se desvanece gradualmente y la longitud donde la inclinación de la sección varía progresivamente hasta alcanzar el peralte pleno correspondiente.

Tabla 12

Longitudes mínimas de transición de bombeo y de transición de peralte (m)

Velocidad directriz (Km/h)	Valor del peralte						Transición de bombeo
	2%	4%	6%	8%	10%	12%	
	Longitud de transición de peralte (m)*						
20	9	18	27	36	45	54	9
30	10	19	29	38	48	57	10
40	10	21	31	41	51	62	10
50	11	22	32	43	54	65	11
60	12	24	36	48	60	72	12

Nota. Adaptado del cuadro Nº3.2.6.1c del MDCNPBVT, 2008. *Intervalo de transición fundamentado en la rotación de un carril

a.5. Sobre ancho de la calzada en curvas circulares

El sobreancho corresponde al incremento en el ancho de la superficie de rodadura de una vía en tramos curvos, con el objetivo de compensar el mayor espacio que necesitan los vehículos al circular por dichas secciones. Esta ampliación es necesaria debido a la extensión de la trayectoria de los vehículos y a la mayor dificultad para mantenerlos dentro del carril en curvas. En curvas de radios pequeños y medianos, dependiendo del tipo de vehículos que transiten con frecuencia por la carretera, se debe incluir un sobreancho para garantizar holguras adecuadas entre los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales, los que realizan adelantamientos en calzadas unidireccionales y los que circulan cerca de los bordes de la calzada. El sobreancho requerido se calcula como la suma del aumento en el espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir la curva y las holguras teóricas adoptadas (valores promedio). Es importante que este sobreancho no se obtenga a expensas de reducir el ancho de las bermas.

$$Sa = n\left[R - \sqrt{R^2 - L^2}\right] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Donde: Sa = Sobre ancho (m), n = Número de carriles, R = Radio (m), L = Distancia entre eje posterior y parte frontal (m) y V = Velocidad de Diseño (Kph).

Tabla 13

Sobre ancho de la calzada en curvas circulares (m)

Velocidad	Radio de curva (m)																
directriz km/h	10	15	20	30	40	50	60	80	100	125	150	200	300	400	500	750	1000
20	*	6,52	4,73	3,13	2,37	1,92	1,62	1,24	1,01	0,83	0,70	0,55	0,39	0,30	0,25	0,18	0,14
30			4,95	3,31	2,53	2,06	1,74	1,35	1,11	0,92	0,79	0,62	0,44	0,35	0,30	0,22	0,18
40					2,68	2,20	1,87	1,46	1,21	1,01	0,87	0,69	0,50	0,40	0,34	0,25	0,21
50								1,57	1,31	1,10	0,95	0,76	0,56	0,45	0,39	0,29	0,24
60									1,41	1,19	1,03	0,83	0,62	0,50	0,43	0,33	0,27

Nota. Adaptado del cuadro Nº3.2.7 del MDCNPBVT, 2008. *Para Radio de 10 m se debe usar plantilla de la maniobra del vehículo de diseño

B. Alineamiento vertical

El diseño geométrico del perfil está compuesto por una sucesión de rectas unidas mediante curvas verticales parabólicas. Las pendientes se clasifican como positivas o negativas, dependiendo de si representan un incremento o disminución en las cotas, respectivamente. En términos generales, el relieve del terreno actúa como el principal factor de control para determinar el radio de las curvas verticales, que pueden ser cóncavas o convexas, y está vinculado tanto a la velocidad de diseño como a la distancia de visibilidad requerida.

Las curvas verticales, ubicadas entre pendientes consecutivas, permiten una transición gradual entre pendientes de diferente magnitud o dirección, eliminando los cambios abruptos en la rasante. Un diseño adecuado de estas curvas garantiza que se cumplan las distancias de visibilidad exigidas por el proyecto, contribuyendo así a la seguridad y funcionalidad de la vía (DG, 2018).

b.1. Pendientes. Es recomendable establecer una pendiente mínima del 0,5% para garantizar un drenaje eficiente de las aguas superficiales en toda la superficie de la calzada. Asimismo, se deben respetar las pendientes máximas especificadas en la Tabla 14. En situaciones no contempladas en dicha tabla, será necesario contar con un sustento técnico previo y obtener la autorización correspondiente del órgano competente del MTC para su aplicación.

Tabla 14

Pendientes máximas (%)

Demanda	**Autopistas**								**Carretera**				**Carretera**				**Carretera**			
Vehículos	**> 6000**				**6000-4001**				**4000-2001**				**2000-400**				**< 400**			
Características	**Primera clase**				**Segunda clase**				**Primera clase**				**Segunda clase**				**Tercera 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	10
40 km/h																9,0	8,0	9,0	10	
50 km/h											7,0	7,0			8,0	9,0	8,0	8,0	6,0	
60 km/h					6,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0		
70 km/h			5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0	7,0		7,0	7,0		
80 km/h	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0		6,0	6,0			7,0	7,0		
90 km/h	4,5	4,5	5,0		5,0	5,0	6,0		5,0	5,0			6,0				6,0	6,0		
100 km/h	4,5	4,5	4,0		5,0	5,0	6,0		5,0				6,0							
110 km/h	4,0	4,0			4,0															
120 km/h	4,0	4,0			4,0															
130 km/h	3,5																			

Nota. Adaptado de la tabla 303.02 del manual de carreteras DG (2018).

Acorde al MDCNPBVT se considera deseable no sobrepasar los límites máximos de pendiente que están indicados en la *Tabla 15*.

En tramos de carretera ubicados a altitudes mayores a 3000 msnm, los valores máximos especificados en la Tabla 15 para terrenos montañosos o escarpados se reducirán en un 1%. Los límites máximos de pendiente se determinarán considerando la seguridad de circulación de los vehículos más pesados, especialmente bajo las condiciones más adversas de la superficie de rodadura.

Tabla 15

Pendientes máximas

TIPO DE OROGRAFÍA	Terreno plano	Terreno ondulado	Terreno montañoso	Terreno escarpado
Velocidad de diseño:				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8

Nota. Adaptado del cuadro Nº3.3.3.a del MDCNPBVT, 2008.

Cuando se trate de ascensos continuos con una pendiente superior al 5%, se debe proyectar un tramo de descanso aproximadamente cada tres kilómetros, con una longitud mínima de 500 m y una pendiente no mayor al 2%. La ubicación y frecuencia de estos tramos de descanso deben ser determinadas de forma que se maximicen las ventajas y se minimicen los incrementos en los costos de construcción.

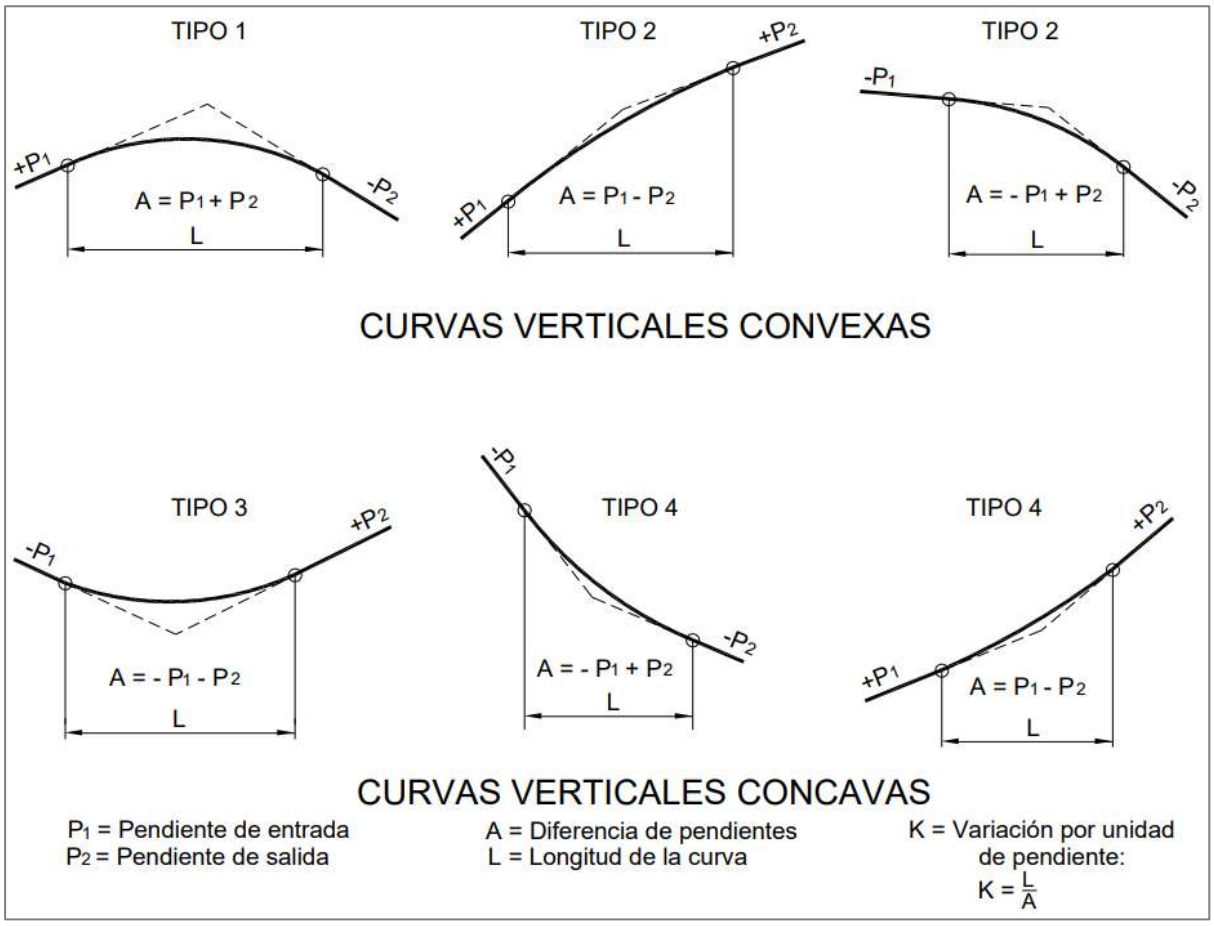
En general, cuando las pendientes superen el 10% en la construcción de carreteras, la longitud del tramo con esa pendiente no debe exceder los 180 m. Es recomendable que la pendiente promedio en tramos de más de 2000 m no sobrepase el 6%, siendo aplicables las pendientes máximas indicadas en la Tabla 15. Además, en curvas con radios menores a 50 m, se debe evitar que la pendiente exceda el 8%, ya que la pendiente en el lado interior de la curva aumenta de manera considerable.

b.2. Curvas verticales

Según lo establecido por el manual de carreteras DG (2018), los tramos de rasante consecutivos se conectarán mediante curvas verticales parabólicas cuando la diferencia algebraica entre sus pendientes sea superior al 1% en carreteras pavimentadas y al 2% en otras vías. Estas curvas verticales parabólicas se definen por su parámetro de curvatura K, el cual corresponde a la longitud de la curva en el plano horizontal, medida en metros, por cada 1% de variación en la pendiente, así: $K = L/A$. Dónde: K = Parámetro de curvatura, L = Longitud de la curva vertical, A = Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.

Figura 10

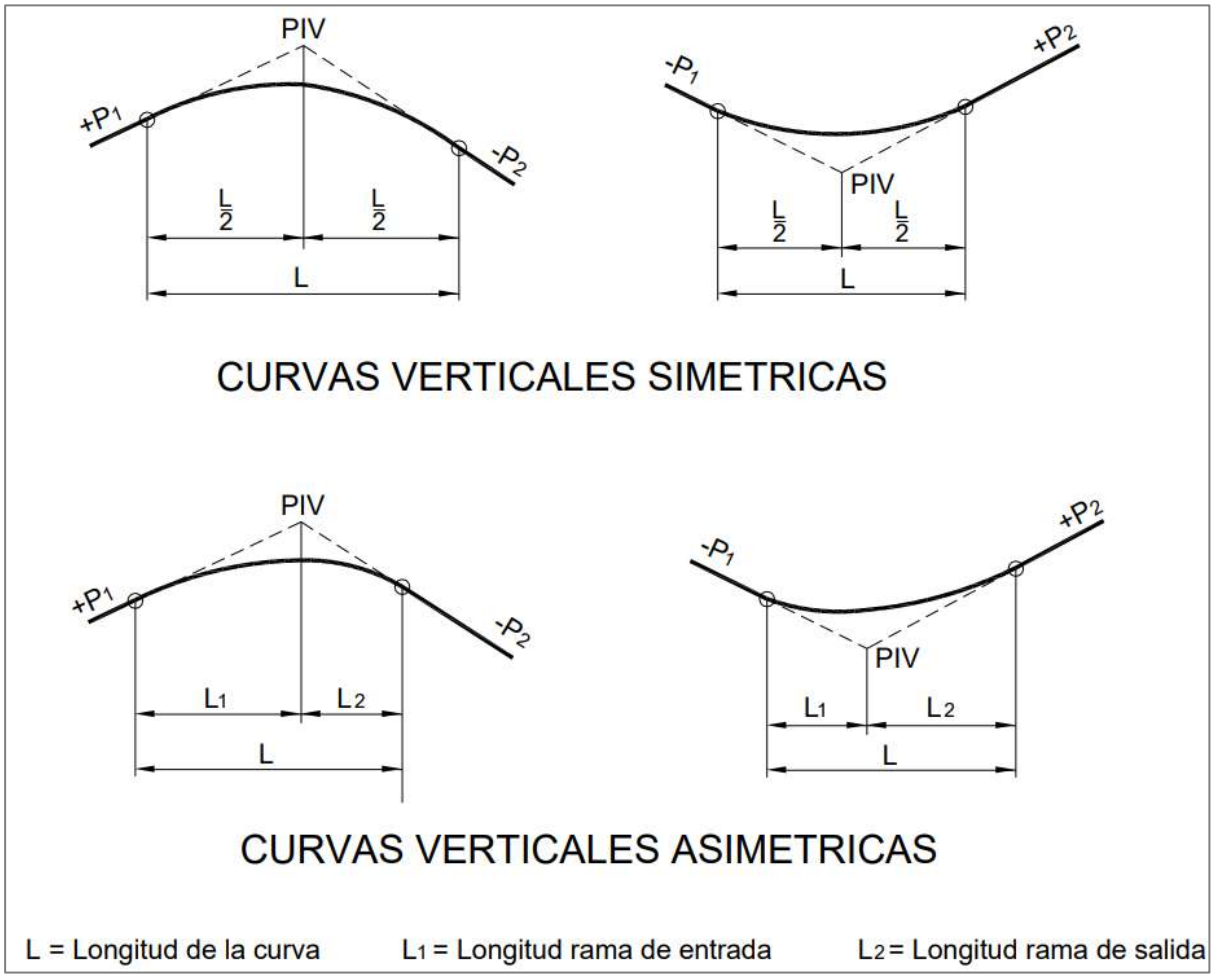
Tipos de curvas verticales convexas y cóncavas



Nota. Figura 303.02 del manual de carreteras DG (2018).

Figura 11

Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas



Nota. Figura 303.03 del manual de carreteras DG (2018).

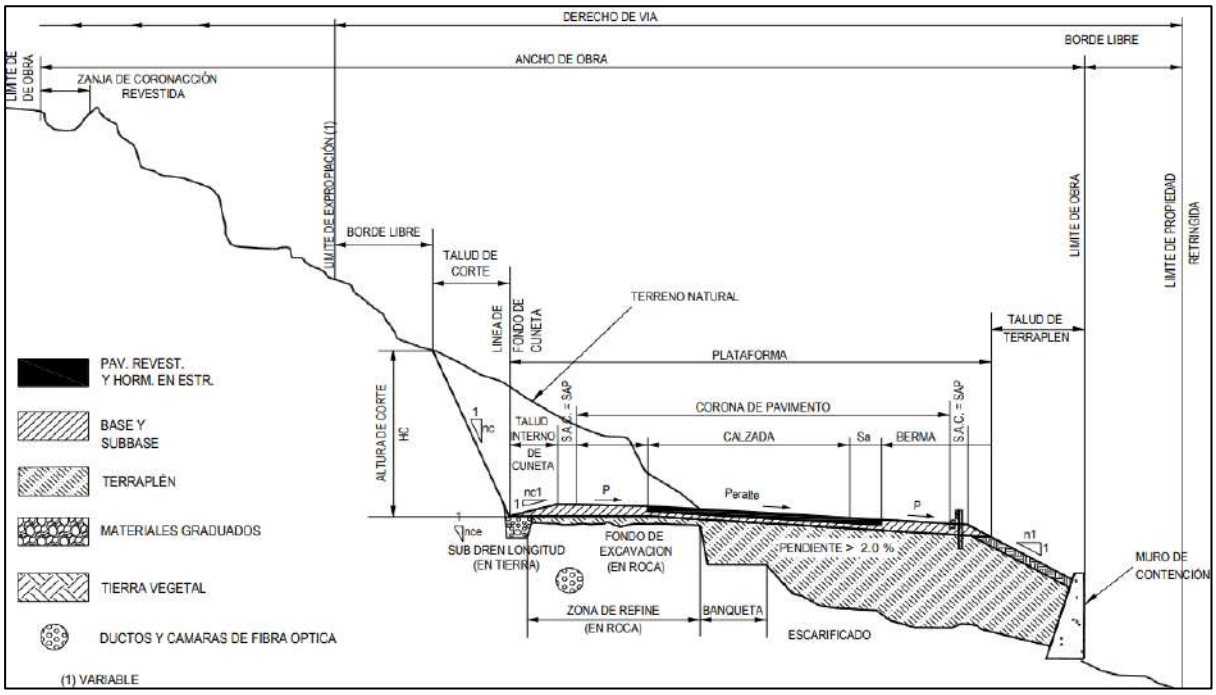
C. Secciones transversales

El DG de la sección transversal implica la descripción de los elementos de la carretera en un plano de corte vertical perpendicular al alineamiento horizontal, lo que permite definir la disposición y dimensiones de dichos elementos en cada sección y su relación con el terreno natural. El componente más relevante de la sección transversal es el área destinada a la superficie de rodadura o calzada, cuyas dimensiones deben asegurar el nivel de servicio proyectado, sin menospreciar la importancia de otros elementos de la sección transversal, como bermas, aceras, cunetas, taludes y otros elementos complementarios. En áreas con alta concentración de personas, actividades comerciales, tránsito de vehículos menores, maquinaria

agrícola, animales, entre otros, la sección transversal debe ser diseñada de manera integral para abordar estas situaciones especiales, garantizando así que el tránsito por la carretera se realice de forma segura (DG, 2018).

Figura 12

Sección transversal típica a media ladera vía de dos carriles en curva



Nota. Figura 304.02 del manual de carreteras DG (2018).

D. Vehículo de diseño

Las características de los vehículos tipo, determinan diversos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera, por ejemplo:

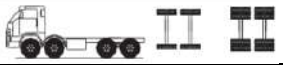
- La longitud del automóvil seleccionado afecta los anchos de las vías, carriles, plataformas y sobreancho de la sección transversal, así como el radio mínimo de giro, cruces y gálibo.
- La separación entre los ejes afecta el ancho y los radios mínimos tanto internos como externos de los carriles.

- La relación entre el peso bruto total y la potencia está vinculada al valor de las pendientes permitidas.

Según la clasificación obtenida en la encuesta de origen y destino, utilizada para calcular el costo de operación vehicular (VOC), los tipos de vehículos se dividen de la siguiente manera: 1) Vehículos de pasajeros: Jeep (VL), Auto (VL), Bus (B2, B3, B4 y BA), Camión C2. 2) Vehículos de carga: Pick-up (equivalente a remolque simple T2S1), Camión C2, Camión C3, Camión C2CR y T3S2.

Tabla 16

Pesos y medidas máximas permitidas

Tablas de pesos y medidas										
N°	**Config. vehicular**	**N° de ejes**	**Descripción gráfica de los vehículos**	**Long. Máx. (m)**	**Peso máximo (t)**					**Peso bruto máx. (t)**
					Eje Delan.	**Conjunto de ejes posteriores**				
						1°	**2°**	**3°**	**4°**	
1	C2	2		12,30	7	---	---	---	---	18
2	C3	3		13,20	7	---	---	---	---	25
3	C4	4		13,20	7	---	---	---	---	30
4	8x4	4		13,20	7+7[5]	---	---	---	---	32

Nota. Adaptado del *Reglamento Nacional de Vehículos* – Decreto Supremo Nº058-2003-MTC, pág. 106.

Tabla 17

Dimensiones de vehículos de diseño

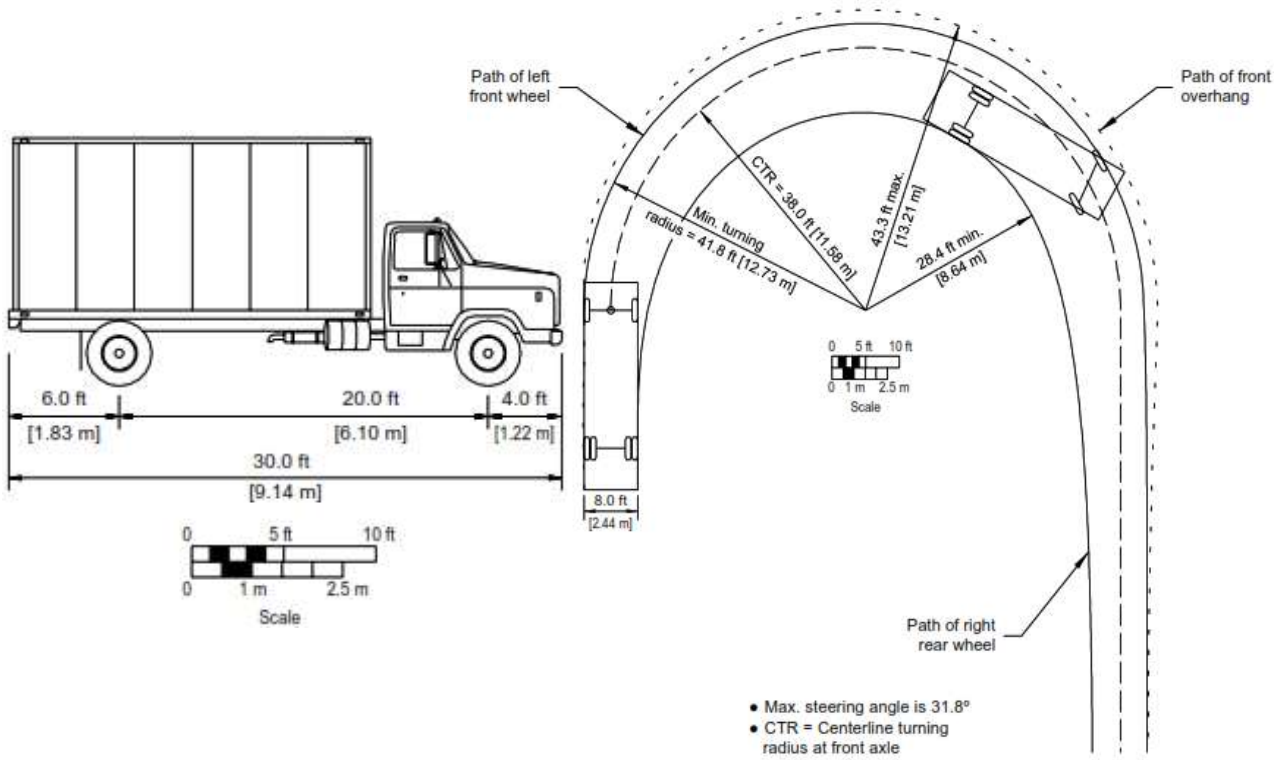
Design Vehicle Type	Symbol	Dimensions (m)											
		Overall			Overhang		WB_1	WB_2	S	T	WB_3	WB_4	Typical Kingpin to Center of Rear Tandem Axle
		Height	Width	Length	Front	Rear							
Passenger Car	P	1,30	2,13	5,79	0,91	1,52	3,35	-	-	-	-	-	-
Single-Unit Truck	SU-9	3,35-4,11	2,44	9,14	1,22	1,83	6,1	-	-	-	-	-	-
Single-Unit Truck (three-axle)	SU-12	3,35-4,11	2,44	12,04	1,22	3,2	7,62	-	-	-	-	-	-
Buses													
Intercity Bus (Motor Coaches)	BUS-12	3,66	2,59	12,36	1,93	2,73[a]	7,70	-	-	-	-	-	-
	BUS-14	3,66	2,59	13,86	1,89	2,73[b]	8,69	-	-	-	-	-	-
City Transit Bus	CITY-BUS	3,20	2,59	12,19	2,13	2,44	7,62	-	-	-	-	-	-
Conventional School Bus (65 pass.)	S-BUS 11	3,20	2,44	10,91	0,79	3,66	6,49	-	-	-	-	-	-
Large School Bus (84 pass.)	S-BUS 12	3,20	2,44	12,19	2,13	3,96	6,10	-	-	-	-	-	-
Articulated Bus	A-BUS	3,35	2,59	18,29	2,62	3,05	6,71	5,91	1,89[a]	4,02[a]	-	-	-
Combination Trucks													
Intermediate Semitrailer	WB-12	4,11	2,44	13,87	0,91	1,37[b]	3,81	7,77	-	-	-	-	7,77
Interstate Semitrailer	WB-19*	4,11	2,59	21,03	1,22	1,37[b]	5,94	12,50					12,50
Interstate Semitrailer	WB-20**	4,11	2,59	22,40	1,22	1,37[b]	5,94	13,87					13,87
"Double-Bottom" Semitrailer/Trailer	WB-20D	4,11	2,59	22,04	0,71	0,91	3,35	7,01	0,91[c]	2,13[c]	6,86	-	7,01
Rocky Mountain Double-Semitrailer/Trailer	WB-28D	4,11	2,59	29,67	0,71	0,91	5,33	12,19	1.37	2.13	6,86	-	12,34
Triple-Semitrailer/Trailers	WB-30T	4,11	2,59	31,94	0,71	0,91	3,35	6,86	0,91[d]	2,13[d]	6,86	6,86	7,01
Turnpike Double-Semitrailer/Trailer	WB-33D*	4,11	2,59	34,75	0,71	1,37[b]	3,72	12,19	1,37[e]	3,05[e]	12,19	-	12,34
Recreational Vehicles													
Motor Home	MH	3,66	2,44	9,14	1,22	1,83	6,10	-	-	-	-	-	-
Car and Camper Trailer	P/T	3,05	2,44	14,84	0,91	3,66	3,35	-	1,52	5,39	-	-	-
Car and Boat Trailer	P/B	-	2,44	12,80	0,91	2,44	3,35	-	1,52	4,57	-	-	-
Motor Home and Boat Trailer	MH/B	3,66	2,44	16,15	1,22	2,44	6,10	-	1,83	4,57	-	-	-

Nota. Adaptado de la Table 2-4b del *ASSTHO (2018) 7ma Edición*.

Debido a la falta de información en la normativa peruana, sobre las dimensiones de un vehículo C2 se recurrió a la Política de Diseño Geométrico de Carreteras y Calles 7ma Edición – ASSTHO (2018). Minimum Turning Path for Passenger Car (P) Design Vehicle, que grafica un vehículo con dimensiones acorde al vehículo C2 del reglamento nacional de vehículos:

Figura 13

Trayectoria de giro mínima para el vehículo de diseño (P)



Nota. Figura 2-10 del ASSTHO (2018) 7ma Edición.

2.2.14. Parámetros geométricos de diseño

A. Velocidad de diseño y su relación con el costo de la carretera

La velocidad de diseño representa la máxima velocidad que se podrá mantener con seguridad y comodidad en una sección específica de la carretera, bajo condiciones favorables que aseguren que prevalezcan los criterios de diseño (DG, 2018).

El proyectista debe identificar tramos homogéneos a lo largo de la ruta, en los cuales, debido a las características topográficas, se pueda asignar una misma velocidad. La velocidad de diseño es fundamental para definir las características geométricas de los elementos de la

carretera. Para determinar estos tramos homogéneos y establecer su velocidad de diseño, se deben considerar los siguientes criterios: 1) La longitud mínima de un tramo con una velocidad de diseño determinada debe ser de tres kilómetros para velocidades entre 20 y 50 km/h, y de cuatro kilómetros para velocidades entre 60 y 120 km/h. 2) La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos contiguos no debe exceder los 20 km/h.

Tabla 18

Velocidad de diseño - clasificación de la carretera por demanda y orografía

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

Nota. Adaptado de la Tabla 204.01 del manual de carreteras DG (2018).

B. Distancia de visibilidad de parada

Según el manual de carreteras DG-2018, la distancia de parada es la mínima necesaria para que un vehículo que circula a la velocidad de diseño se detenga antes de llegar a un obstáculo inmóvil en su ruta. Esta distancia de detención en pavimentos húmedos se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$Dp = 0{,}278 * V * t_p + 0{,}039 * \frac{V^2}{a}$$

Dónde: Dp = Distancia de parada (m), V = Velocidad de diseño (km/h), tp = Tiempo de percepción + recepción (s), a = Deceleración en m/s^2.

La distancia de visibilidad de parada es la distancia mínima necesaria para que un vehículo que circula a la velocidad directriz se detenga antes de alcanzar un objeto que se encuentra en su camino; para calcularla se asume que el objeto inmóvil tiene una altura de 0,60 m y que los ojos del conductor están ubicados a 1,10 m sobre la rasante de la carretera.

Tabla 19

Distancia de visibilidad de parada

Velocidad de directriz (km/h)	Pendiente nula o en bajada				Pendiente en subida		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75

Nota. Adaptado del cuadro 3.1.1 del MDCNPBVT (2008).

La pendiente tiene un impacto en la distancia de parada, especialmente en tramos con pendientes de subida o bajada de 6% o más, lo que resulta relevante en la práctica. En todos los tramos de la carretera, la distancia de visibilidad debe ser igual o superior a la distancia de visibilidad de parada. La Tabla 19 presenta las distancias de visibilidad de parada en función de la velocidad directriz y la pendiente. En carreteras con bajo volumen de tránsito, de un solo carril y tráfico en ambos sentidos, la distancia de visibilidad debe ser al menos el doble de la distancia correspondiente a la visibilidad de parada.

C. Calzada

Es la parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos, compuesta por uno o más carriles, sin incluir la berma. Los carriles están diseñados para el paso de una fila de

vehículos en un mismo sentido de tránsito. El número de carriles por calzada se determina según las previsiones y la composición del tráfico, de acuerdo con el IMDA de diseño y el nivel de servicio deseado. Los carriles de adelantamiento no se consideran para el conteo de carriles. Los anchos de los carriles pueden ser de 3,00 m, 3,30 m o 3,60 m (DG, 2018).

En el diseño de carreteras con muy BVT (IMDA < 50), la calzada puede ser diseñada para un solo carril. En otros casos, se dimensiona para dos carriles (MDCNPBVT, 2008).

Tabla 20

Ancho mínimo deseable de la calzada en tangente (en metros)

Tráfico IMDA	**<15**	**16 á 50**		**51 á 100**		**101 á 200**	
Velocidad km/h	*		**		**		**
20	3,50	3,50	5,00	5,50	5,50	5,50	6,00
30	3,50	4,00	5,50	5,50	5,50	5,50	6,00
40	3,50	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00
50	3,50	5,50	6,00	5,50	6,00	6,00	6,00
60		5,50	6,00	5,50	6,00	6,00	6,00

Nota. Adaptado del cuadro Nº3.5.1.a del MDCNPBVT, 2008. *Calzada de un solo carril, con plazoleta de cruce y/o adelantamiento. ** Calzada con predominio de tráfico pesado.

En los tramos rectos, la sección transversal de la calzada tiene inclinaciones transversales (bombeo) que van desde el centro hacia los bordes, con el fin de favorecer el drenaje superficial y prevenir la acumulación de agua.

Las carreteras no pavimentadas deben contar con bombeo entre el 2% y el 3%. En los tramos curvos, el bombeo se reemplaza por peralte. En las carreteras de BVT, con IMDA menor a 200 veh/día, es posible reemplazar el bombeo por una inclinación transversal de la superficie de rodadura del 2,5% al 3%, dirigiendo la pendiente hacia uno de los lados de la calzada.

D. Bermas

Franja de longitud longitudinal, paralela y próxima a la superficie de rodadura de la carretera, que actúa como confinamiento de la capa de rodadura y se emplea como área de seguridad para el aparcamiento de vehículos en situaciones de emergencia. Si la superficie de

acabado de la berma es cualquiera, generalmente debe conservar el mismo nivel y pendiente (bombeo o peralte) de la superficie de rodadura o calzada. De acuerdo con la evaluación técnica y económica del proyecto, está formada por materiales parecidos a la capa de rodadura de la calzada (DG, 2018)

E. Bombeo

En segmentos de tangente o en curvas de contraperalte, las vías deben presentar una mínima inclinación transversal conocida como bombeo, con el objetivo de drenar las aguas superficiales. El bombeo se basa en la naturaleza de la superficie de rodadura y en los niveles de lluvia de la región (DG, 2018)

F. Peralte

Es la pendiente transversal de la vía en las zonas de curvatura, diseñada para neutralizar la fuerza centrífuga del automóvil (DG, 2018). Para determinar el peralte que cumple con el criterio de seguridad frente al deslizamiento, se aplica la fórmula siguiente:

$$p = \frac{V^2}{127\,R} - f$$

Dónde: p = Peralte máximo asociado a V (km/h), V = Velocidad de diseño (km/h), R = Radio mínimo absoluto (m), f = Coeficiente de fricción lateral máximo asociado a V (km/h).

Usualmente, se justifica el uso de radios superiores al mínimo, con peraltes inferiores al máximo, debido a que son más confortables tanto para los vehículos lentos (que reducen la incidencia de f negativa), como para los vehículos rápidos (que requieren menores f).

G. Derecho de Vía o faja de dominio

Se refiere a la extensión de terreno de ancho variable que abarca la carretera, sus obras adicionales, servicios, áreas destinadas a futuras obras de ensanchamiento o mejora, y áreas de seguridad para el usuario. La parcela que constituye el derecho de vía es un bien de dominio público inalienable e imprescriptible, cuyas especificaciones y términos de uso están definidos

en el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado con Decreto Supremo N° 034-2008-MTC y sus ediciones modificadas (DG, 2018).

Tabla 21

Anchos mínimos de derecho de vía

Clasificación	Anchos mínimos (m)
Autopistas Primera Clase	40
Autopistas Segunda Clase	30
Carreteras Primera Clase	25
Carreteras Segunda Clase	20
Carreteras Tercera Clase	16

Nota. Adaptado de la tabla 304.09 del manual de carreteras DG (2018).

H. Plazoletas

Son los ensanches en la plataforma, por ejemplo, en carreteras de un solo carril con dos direcciones de tráfico, se colocan al menos cada 500 metros, para permitir el cruce de vehículos contrarios o el adelanto de aquellos del mismo sentido. La disposición de las plazoletas se determina preferentemente en los lugares que maximicen la visibilidad a lo largo del camino y faciliten el ensanchado de la plataforma (MDCNPBVT, 2008).

I. Taludes

El talud es el ángulo de diseño que presenta el terreno lateral de la carretera, tanto en áreas de curvatura como en terraplenes. Esta inclinación es la tangente del ángulo que forman el plano de la superficie del suelo y la línea longitudinal teórica (DG, 2018).

Tabla 22

Valores referenciales para taludes en corte

Clasificación de materiales de corte		Roca fija	Roca suelta	Material		
				Grava	Limo arcilloso y arcilla	Arenas
Altura de corte	<5 m	1:10	1:6-1:4	1:1-1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
	>10 m	1:8	1:2	*	*	*

Nota. Adaptado de la tabla 304.10 del manual de carreteras DG (2018).

Tabla 23

Taludes referenciales en zonas de relleno (terraplenes)

Materiales	Talud (V:H) Altura (m)		
	<5	**5-10**	**>10**
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1,5	1:1,75	1:2
Arena	1:2	1:2,25	1:2,5
Enrocado	1:1	1:1,25	1:1,5

Nota. Adaptado de la tabla 304.11 del manual de carreteras DG (2018).

2.2.15. Levantamiento topográfico

La topografía es la disciplina que se encarga de determinar la ubicación exacta de diversos detalles sobre la superficie terrestre. Implica la medición de ángulos, distancias y elevaciones, lo que facilita la representación en planos detallados de áreas del terreno que requieren mediciones, anotaciones y ubicaciones en sus posiciones precisas. Estos datos son esenciales para la ejecución de proyectos (Tacca, 2016).

La metodología del DGPS se fundamenta en el principio de posicionamiento relativo, donde las coordenadas se determinan en relación con un punto de referencia conocido. Como señala Huerta et al. (2018) en su investigación "Aplicaciones topográficas del GPS", la estación base, ubicada en un punto de coordenadas conocidas, calcula continuamente las correcciones necesarias para eliminar los errores sistemáticos propios de las señales GPS, transmitiendo estas correcciones al receptor móvil para mejorar significativamente la precisión de las mediciones.

Los levantamientos con DGPS pueden realizarse mediante diferentes métodos, cada uno adaptado a necesidades específicas de precisión y productividad. González Martínez (2019) en su obra "Topografía moderna y sistemas satelitales" describe que el método estático, caracterizado por largos períodos de observación, puede alcanzar precisiones milimétricas, mientras que el método RTK (Real Time Kinematic) permite obtener coordenadas con precisiones centimétricas en tiempo real, revolucionando la eficiencia en campo.

Las limitaciones del sistema DGPS también deben ser consideradas durante la planificación del levantamiento. Investigaciones recientes de López y García (2023), publicadas en "Sistemas de navegación global por satélite", indican que factores como las obstrucciones físicas, interferencias electromagnéticas y el efecto multitrayectoria pueden afectar la precisión de las mediciones, requiriendo estrategias específicas de mitigación.

Torres et al. (2023) señalan que el levantamiento con estación total debe seguir una planificación meticulosa que incluye el reconocimiento previo del terreno, la selección estratégica de puntos de estación y la determinación de la densidad apropiada de puntos a medir. Los autores enfatizan que esta fase de planificación es crucial para optimizar el trabajo de campo y garantizar la calidad de los resultados.

Sánchez y Ramírez (2024) abordan la importancia del procesamiento posterior de los datos, destacando que la integración de las mediciones en sistemas de información geográfica y programas CAD permite generar productos cartográficos de alta precisión. Sus investigaciones demuestran que la calidad del producto final depende tanto de la precisión de las mediciones como de la rigurosidad en el procesamiento de los datos.

La evolución tecnológica en el campo de la topografía, según González-Martínez (2023), ha permitido que las estaciones totales modernas incorporen funcionalidades avanzadas como sistemas de medición sin prisma, conectividad bluetooth y capacidades de almacenamiento expandidas. El autor señala que estas innovaciones han mejorado significativamente la eficiencia y precisión de los levantamientos topográficos.

a. Tolerancias para los trabajos de levantamiento topográfico

Antes de comenzar los trabajos, es necesario coordinar la ubicación de los puntos de control geodésico, el sistema de campo que se utilizará, la monumentación, las referencias, tipo de marcas en las estacas, los colores y las medidas de seguridad que se implementarán.

Los trabajos topográficos y de control deben ajustarse a las tolerancias especificadas en la tabla siguiente, conforme al manual de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (EG-CBT 2008).

Tabla 24

Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos, replanteos y estacado en construcción de carreteras (Estación total y DGPS)

Tolerancias fase de trabajo	Tolerancias fase de trabajo	
	Horizontal	**Vertical**
Puntos	± 50 mm	± 100 mm
Sección transversal y estacas de talud	± 50 mm	± 100 mm
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm	± 20 mm
Muros de contención	± 20 mm	± 10 mm
Límites para roce y limpieza	± 500 mm	-
Estacas de subrasante	± 50 mm	± 10 mm
Estacas de rasante	± 50 mm	± 10 mm

Nota. Adaptado de la tabla 102B-1 del *Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (EG-CBT 2008)*

2.2.16. Levantamiento fotogramétrico con RPAS

El levantamiento fotogramétrico con RPAS (Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia) es una técnica bastante económica en términos de costo/beneficio, que permite obtener información de la superficie de manera mucho más rápida que los métodos topográficos tradicionales. La fotogrametría aérea con drones es una ciencia que emplea drones equipados con cámaras para capturar imágenes aéreas de una zona específica. Estas imágenes son procesadas y analizadas para generar modelos 3D y mapas precisos del terreno. (¿Qué es la fotogrametría y en qué ámbitos se aplica?, Escuela Artesanía, s.f.)

a. División de la fotogrametría

Comúnmente, la fotogrametría se clasifica en dos categorías según el tipo de imagen usada: La primera es la fotogrametría terrestre, que se refiere cuando la cámara, al tomar la foto, mantiene su eje horizontal y alineado con la superficie terrestre. Esta técnica se utiliza

principalmente en campos como la arquitectura y la arqueología. Se basa en capturar imágenes desde la superficie terrestre, conociendo exactamente la posición de la cámara y el objeto (Geociencias Aplicadas, 2016). La segunda categoría es la fotogrametría aérea, la cual implica la obtención de imágenes desde aeronaves, con el eje de la cámara posicionada de manera casi perpendicular al suelo. Este método utiliza fotografías capturadas desde el aire mediante una cámara instalada en una estructura específica (Geociencias Aplicadas, 2016).

Según la técnica utilizada, se identifican tres variantes de fotogrametría: 1. Fotogrametría analógica: Si definimos fotogrametría como la determinación exacta de un objeto en el espacio usando fotos aéreas, la variante analógica logra esto empleando directamente estas fotos (a través de modelos estereoscópicos) y recreando el espacio usando sistemas ópticos o mecánicos. 2. Fotogrametría analítica: Aquí, el espacio es recreado únicamente con software que simula esa geometría. 3. Fotogrametría digital: Este tipo de fotogrametría emplea imágenes aéreas que se han convertido previamente a formato digital, realizando una reconstrucción numérica o digital del espacio; en esta situación, los elementos del procesamiento digital de imágenes son cruciales. Por último, la tecnología moderna ha facilitado la transición hacia la fotogrametría digital, aprovechando las computadoras y el software especializado para crear modelos digitales 3D del terreno (Geociencias Aplicadas, 2016).

b. Tipos de fotografías por el ángulo:

Contamos con dos tipos: Las verticales donde las cámaras apuntan directamente hacia el suelo, produciendo una imagen que parece un mapa del área. Y las oblicuas, en las cuales el enfoque de la cámara se dirige en un ángulo respecto al suelo. Si se ve el horizonte, se denomina oblicua alta; si no, oblicua baja.

c. Fotogrametría digital con drones

La fotogrametría se basa en la relación de perspectiva entre dos imágenes para identificar un punto específico, utilizando líneas de visión que se cruzan en un "punto

principal", de forma similar a cómo percibimos con nuestros ojos. Para este proceso, es crucial que las cámaras estén correctamente calibradas y enfocadas en el mismo objetivo.

Es fundamental en la cartografía, ya que nos permite analizar y comprender las características geométricas de objetos y lugares mediante fotografías. Una imagen sola proporciona datos bidimensionales, pero al superponer dos imágenes se consigue una perspectiva estereoscópica, es decir, datos tridimensionales. Esta técnica de medición tridimensional utiliza fotografías y referencias topográficas del área.

El dron es un dispositivo autónomo de navegación que se utiliza para diversos fines, tanto en espacios abiertos como cerrados, y puede estar equipado con varios sensores ópticos y otros instrumentos. Su altura de vuelo varía, desde 1 m hasta 500 m o más, según su capacidad y el propósito del dron, y puede operar de forma automática o mediante control remoto (Rosana M. & Gerardo V., 2017).

d. Recolección de datos

Las fotografías e imágenes capturadas por un RPAS (dron) generalmente son subortogonales. Aunque su precisión no es perfecta, para obtener medidas exactas se utilizan puntos de referencia distribuidos uniformemente en el terreno. Además, es fundamental conocer bien el área y sus características distintivas.

Seleccionar la escala adecuada es clave, y durante el vuelo, la altitud no debe ser excesiva. En Perú, por ejemplo, se recomienda que el vuelo se realice por debajo de los 120 m. Las cámaras empleadas varían desde las tradicionales hasta las multiespectrales, y es esencial que estén debidamente calibradas, ya que factores ambientales pueden alterarlas.

Es importante considerar las condiciones climáticas al recopilar los datos. Dado que los drones son dispositivos ligeros, son muy sensibles al viento y la lluvia, los cuales pueden ocasionar fallos en la seguridad del vuelo, generando resultados imprecisos. Las condiciones

desfavorables pueden alterar la posición del dron durante la captura de imágenes, lo que afectaría la calidad y exactitud de los datos obtenidos.

e. Software utilizado para fotogrametría

Tabla 25

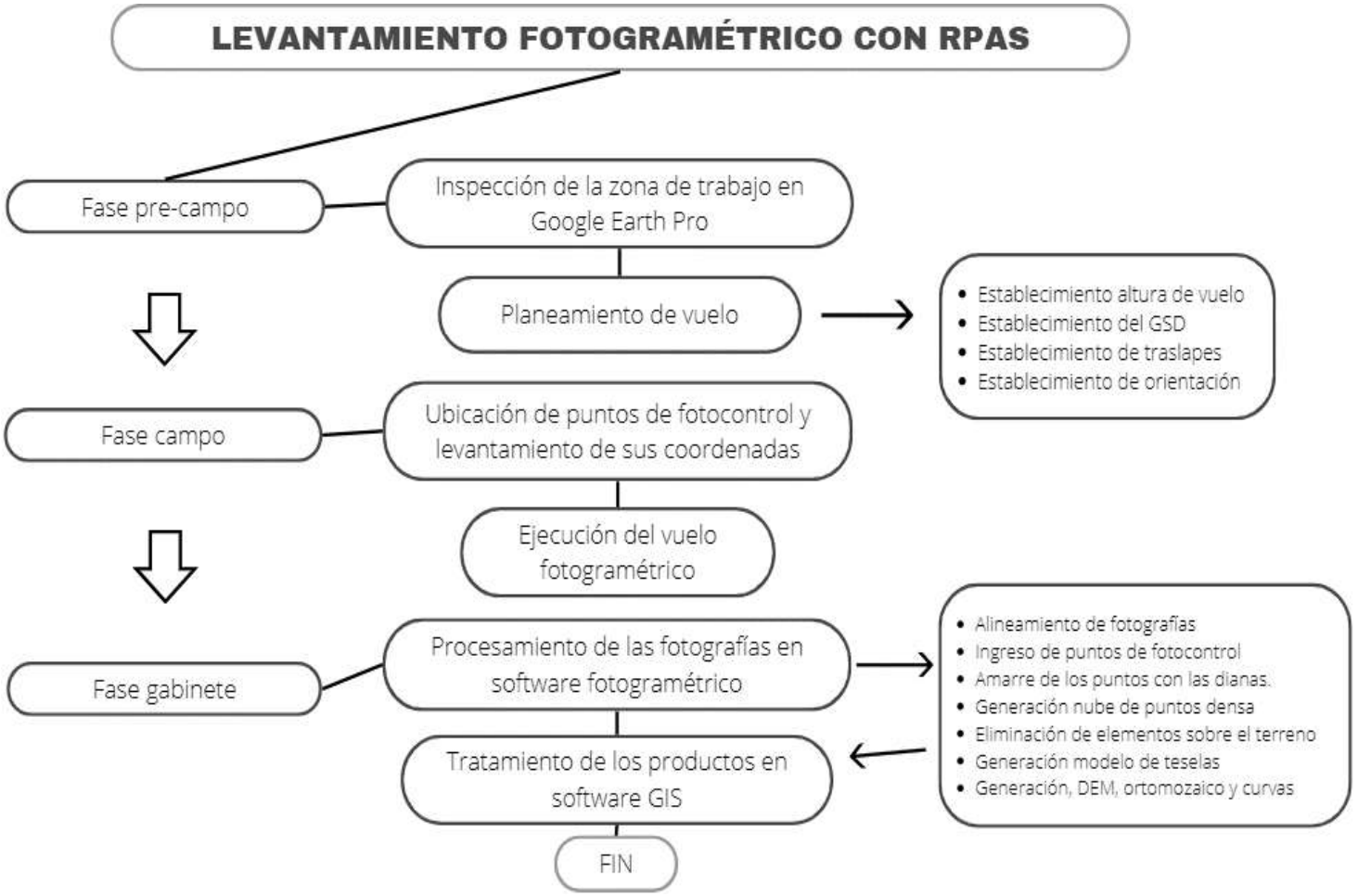
Software en fotogrametría

SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Agisoft Metashape	Agisoft metashape	Procesa fotogramétricamente imágenes digitales y genera datos espaciales 3D que se pueden utilizar en aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG)
PIX4D	Pix4D-Drone Mapping	El programa especializado en fotogrametría para cartografía profesional con drones. Capture imágenes RGB, térmicas o multiespectrales con cualquier cámara.
PhotoScan 3D Modeling and Mapping	Agisoft Photoscan	Es una clase de software independiente que lleva a cabo el tratamiento fotogramétrico de imágenes digitales y produce información espacial en 3D
PHOTOMODELER	PHOTOMODELER	Se utiliza para la creación tridimensional basada en fotos de un objeto o construcción.
acute3D capturingreality	ACUTE 3D	Con él, se puede examinar y determinar con exactitud las mallas tridimensionales realistas de cualquier tamaño hechas con el programa Context Capture de Bentley.
Vsfm	VisualSFM	Busca formar una agrupación de puntos en 3D utilizando diferentes instrumentos.
AUTODESK 123D CATCH	AUTODESK 123D Catche	Es un software que se basa en la captura de la realidad que permite transformar la realidad en un modelo 3D.

Nota. Diferentes softwares que se usan para procesar los datos de los drones. (Costales G., 2018).

Figura 14

Flujo de trabajo del levantamiento fotogramétrico



Nota. Elaboración propia

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Definición BIM

Chavil y Farfán (2016) expresan que, en los últimos años, un "avance tecnológico" ha ganado gran popularidad debido a las ventajas que ofrece, y es conocido por sus siglas en inglés como BIM. Existen diversas definiciones en la literatura académica; algunos lo describen como una tecnología, otros como una metodología e incluso como una filosofía. Más allá de la necesidad de utilizar software o tecnología específica para implementarlo, lo cierto es que adoptar el BIM en los proyectos implica realizar cambios en los procesos de la organización. Quienes lo han implementado con éxito reconocen que realizaron ajustes en su "filosofía de trabajo", especialmente en lo relacionado con la integración de los participantes y la comunicación fluida y abierta.

2.3.2. Modelos BIM

La metodología abarca el uso de diversas dimensiones dentro de una misma maqueta digital. El modelo 2D es un diseño básico que se basa en el uso de un plano, mientras que el modelo 3D maneja un modelo digital en tres dimensiones, lo que permite evaluar los proyectos de manera volumétrica. El modelo 4D introduce la dimensión temporal al incorporar cronogramas del proyecto sincronizados. El modelo 5D integra los costos al incluir presupuestos, mientras que el modelo 6D se enfoca en la sostenibilidad, y el modelo 7D está relacionado con la gestión del ciclo de vida, mantenimiento y operación del proyecto. (Moreno Pachón, 2021)

2.3.3. Infraworks 360

Las herramientas tecnológicas representan el futuro de la construcción, ya que permiten desarrollar proyectos a través de computadoras, reproduciendo la realidad con un alto nivel de detalle. El BIM incorpora estos programas como uno de sus pilares en la fase de prefactibilidad, destacando que Infraworks, desarrollado por Autodesk, ofrece grandes oportunidades para la

construcción virtual de alternativas. Su interfaz gráfica es intuitiva, facilitando análisis precisos del sitio, como pendientes, alturas e índices de ocupación, entre otros. Además, cuenta con múltiples sistemas de intercambio que optimizan el flujo de trabajo entre las diversas especialidades involucradas. (Limas Mendigaño, 2020)

2.3.4. AutoCAD Civil 3D

Es una herramienta de diseño y cálculo sumamente valiosa en el desarrollo de proyectos de diseño de sitios, urbanismo, carreteras, movimientos de tierra, cálculos topográficos, replanteo de información, entre otros. La característica principal del programa es que ha sido desarrollado por Autodesk para asegurar que todos los componentes del diseño estén interconectados. Al modificar los objetos, el diseño se regenera automáticamente y se recalculan los datos en tablas y perfiles, lo que facilita realizar ajustes en la propuesta sin necesidad de rehacer el proyecto completo (Reyes Villanueva, 2018).

CAPÍTULO III

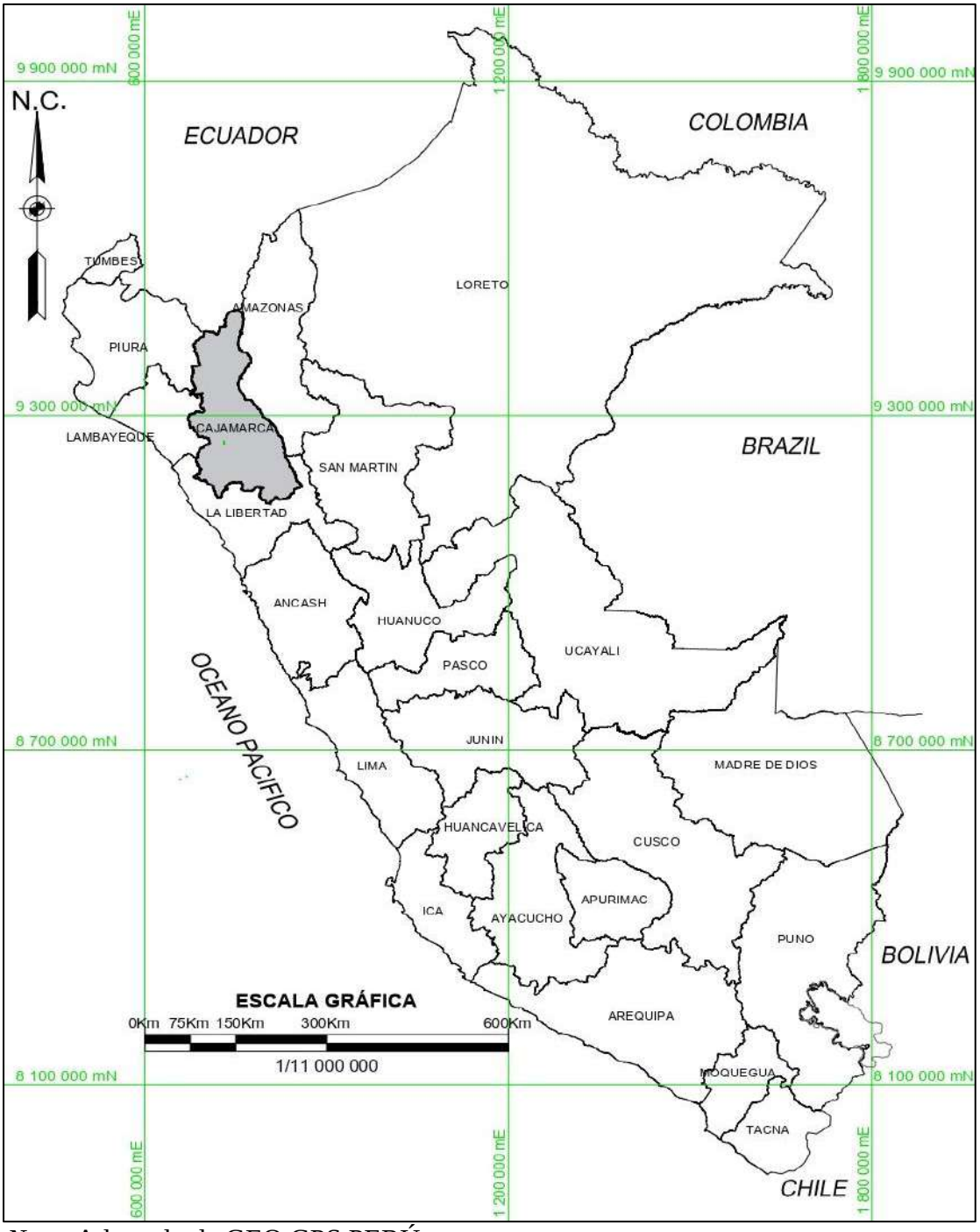
MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación

5.1.1. Ubicación política

Figura 15

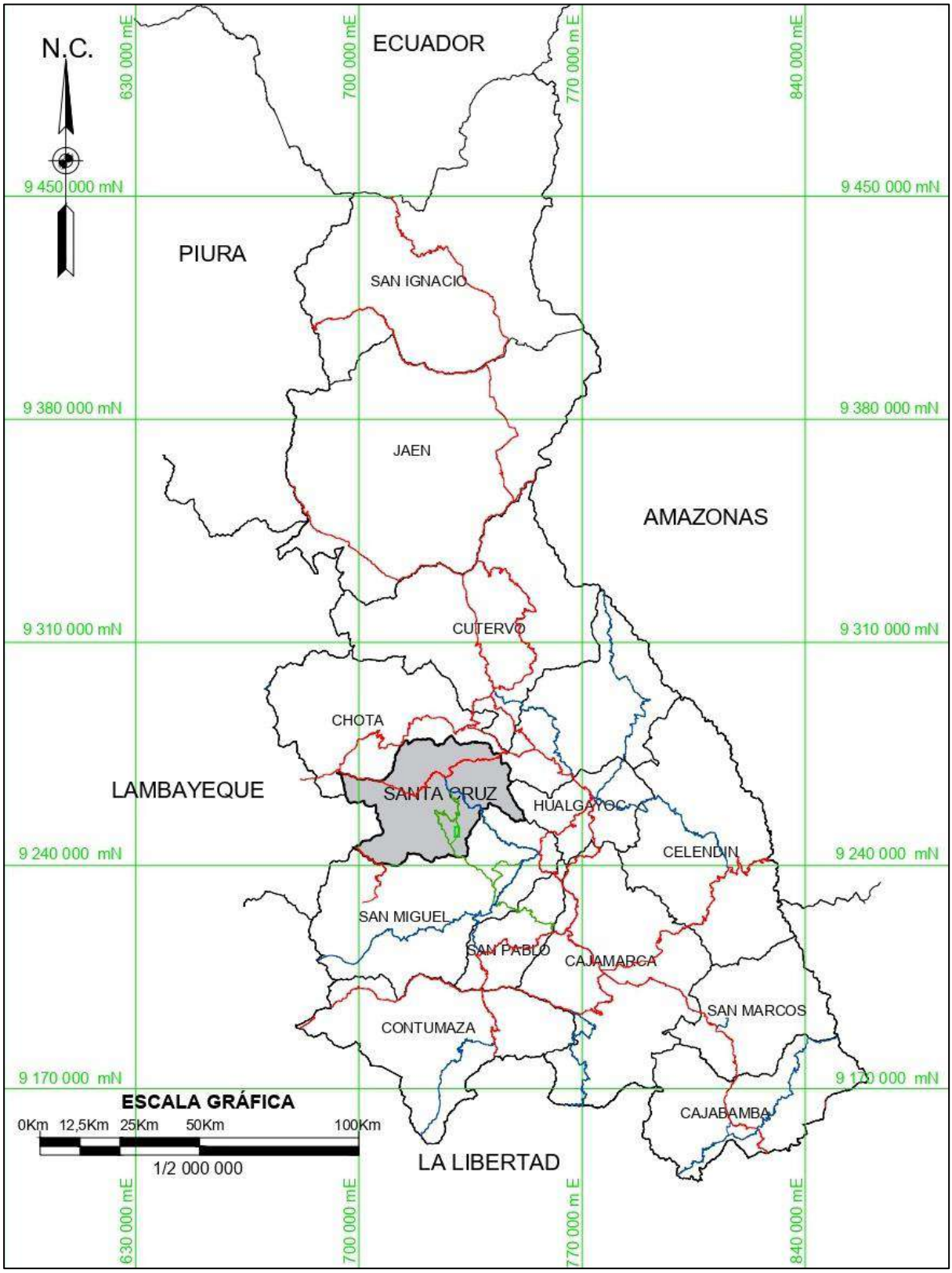
Mapa político del Perú



Nota. Adaptado de GEO GPS PERÚ

Figura 16

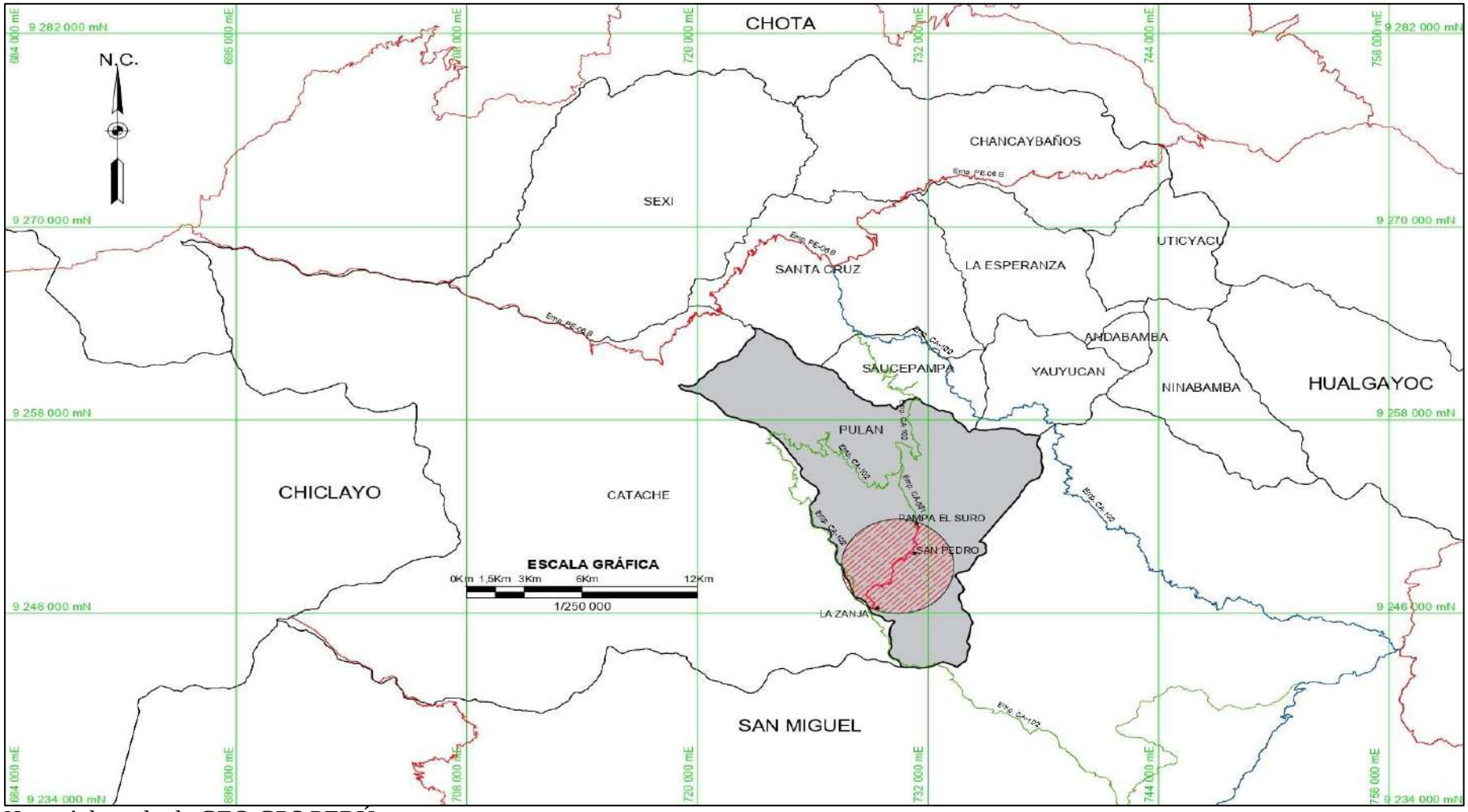
Mapa regional de Cajamarca



Nota. Adaptado de GEO GPS PERÚ

Figura 17

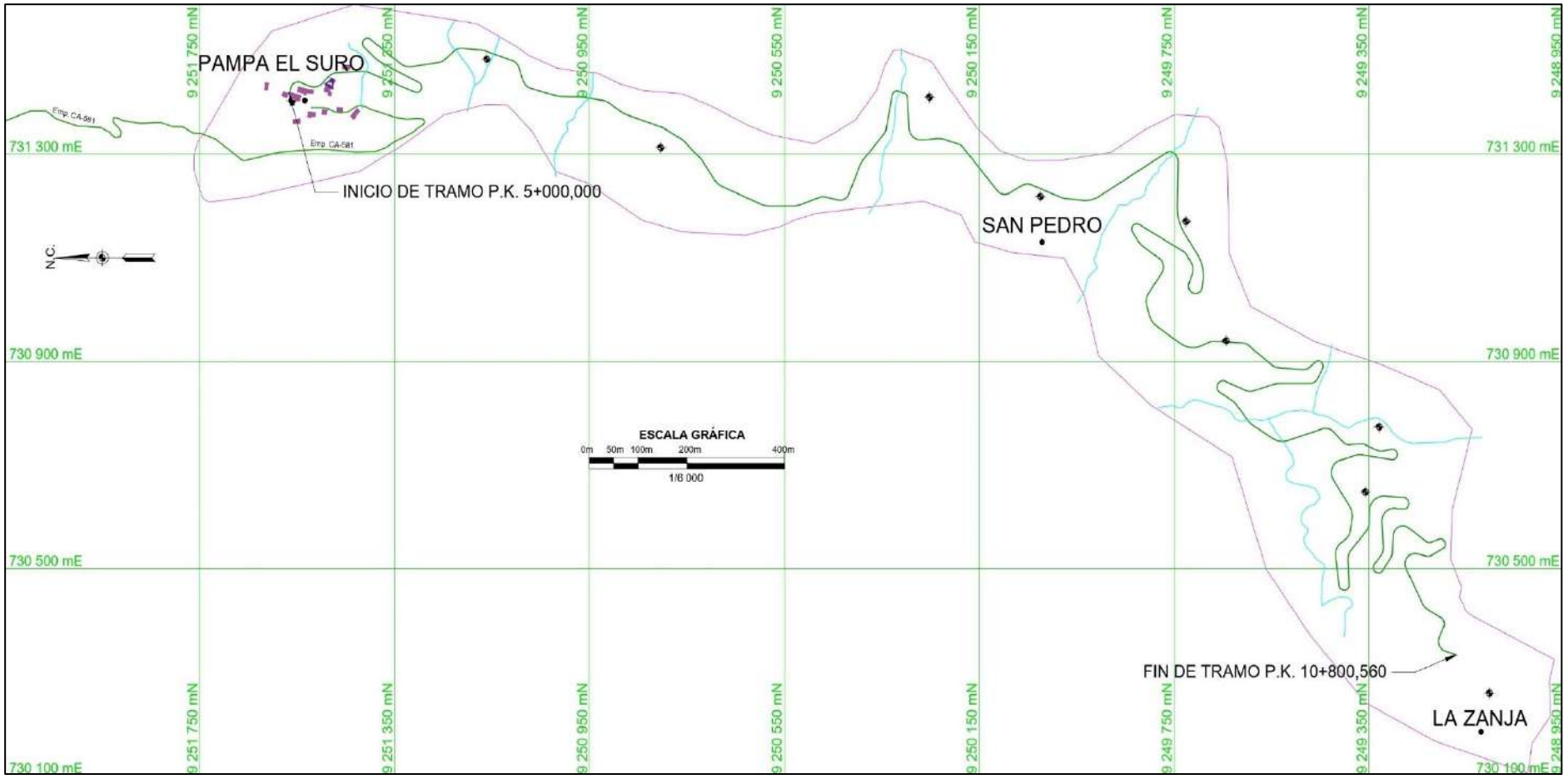
Mapa provincial de Santa Cruz



Nota. Adaptado de GEO GPS PERÚ

Figura 18

Tramo Vial en estudio, camino vecinal



Nota. Adaptado de GEO GPS PERÚ

Tabla 26

Ubicación política

PAÍS	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CENTRO POBLADO
Perú	Cajamarca	Santa Cruz	Pulán	Pampa el Suro – San Pedro – La Zanja

5.1.2. Ubicación geográfica

Tabla 27

Coordenadas UTM del punto inicial Pampa el Suro

COORDENDAS UTM		
DATUM: WGS-84	**ZONA: 17-M**	
ESTE	**NORTE**	**ALTURA**
731 417,39 m	9 251 566,13 m	2 618,31 m.s.n.m

Tabla 28

Coordenadas geográficas punto inicial Pampa el Suro

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
LATITUD	**LONGITUD**	**ALTURA**
-6,766 492 177°	-78,906 276 348°	2 618,31 m.s.n.m

Tabla 29

Coordenadas UTM punto final La Zanja

COORDENDAS UTM		
DATUM: WGS-84	**ZONA: 17-M**	
ESTE	**NORTE**	**ALTURA**
730 333,60 m	9 249 170,03 m	2 724,60 m.s.n.m

Tabla 30

Coordenadas geográficas punto final La Zanja

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
LATITUD	**LONGITUD**	**ALTURA**
-6,788 195 082°	-78,915 984 332°	2 724,60 m.s.n.m

5.2. Equipos, materiales, y/o instrumentos utilizados

5.2.1. Equipos

Figura 19

GPS diferencial South G7

Figura 20

Estación Total Leica TS-06 1”

Figura 21

Trípodes

Figura 22

Prisma Leica y bastón de 5 m y 10 m

Figura 23

Dron Dji Phantom 4 Pro V2 y accesorios

Figura 24

Tablet para diseñar los planes de vuelo

Figura 25

Laptop MSI GE72MVR 7RG Apache Pro

Figura 26

Radios comunicadores Motorola

5.2.2. Materiales

Figura 27

Pintura para trazos

Figura 28

Brocha

Figura 29

Yeso

5.2.3. Instrumentos

Figura 30

Formato de conteo vehicular por día, en intervalos de 15 minutos

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER			TRAYLER					TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 00:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
00:15 - 00:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
00:30 - 00:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
00:45 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01:00 - 01:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01:15 - 01:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01:30 - 01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01:45 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:00 - 02:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:15 - 02:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:30 - 02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02:45 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:00 - 03:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:15 - 03:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:30 - 03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03:45 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04:00 - 04:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04:15 - 04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04:30 - 04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04:45 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05:00 - 05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05:15 - 05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05:30 - 05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05:45 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06:00 - 06:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06:15 - 06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06:30 - 06:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06:45 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07:00 - 07:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07:15 - 07:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07:30 - 07:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07:45 - 08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
08:00 - 08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08:15 - 08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08:30 - 08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08:45 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:00 - 09:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:15 - 09:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:30 - 09:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:45 - 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10:00 - 10:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10:15 - 10:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10:30 - 10:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10:45 - 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:00 - 11:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:15 - 11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:30 - 11:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:45 - 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:00 - 12:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:15 - 12:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:30 - 12:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:45 - 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13:00 - 13:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13:15 - 13:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13:30 - 13:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13:45 - 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14:00 - 14:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14:15 - 14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14:30 - 14:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14:45 - 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15:00 - 15:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15:15 - 15:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15:30 - 15:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15:45 - 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
16:00 - 16:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16:15 - 16:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16:30 - 16:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16:45 - 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17:00 - 17:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17:15 - 17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17:30 - 17:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17:45 - 18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:00 - 18:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:15 - 18:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:30 - 18:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:45 - 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19:00 - 19:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19:15 - 19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19:30 - 19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19:45 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20:00 - 20:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20:15 - 20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20:30 - 20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20:45 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00 - 21:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:15 - 21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:30 - 21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:45 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00 - 22:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:15 - 22:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:30 - 22:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:45 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:00 - 23:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:15 - 23:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:30 - 23:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23:45 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
%																			

Nota. Adaptado de MTC

5.3. Procedimiento

5.3.1. Época en la que se realizó la investigación

La investigación se llevó a cabo durante los períodos de mayo a octubre del año 2023.

5.3.2. Elección del lugar para el proyecto de investigación

Se seleccionó una zona de interés para apoyar la realización del proyecto de investigación, eligiendo un área del distrito de Pulán, en la provincia de Santa Cruz, que facilite la conexión entre varios de los caseríos más distantes y productivos del distrito, con el objetivo de mejorar la rapidez de acceso tanto entre los caseríos como con el centro del distrito.

5.3.3. Estudio de Tránsito

Se realizó el estudio de tránsito en la progresiva 0+000 km del tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro, por ser una vía con similares características que la vía proyectada.

Figura 31

Ubicación de la estación para el estudio de tránsito

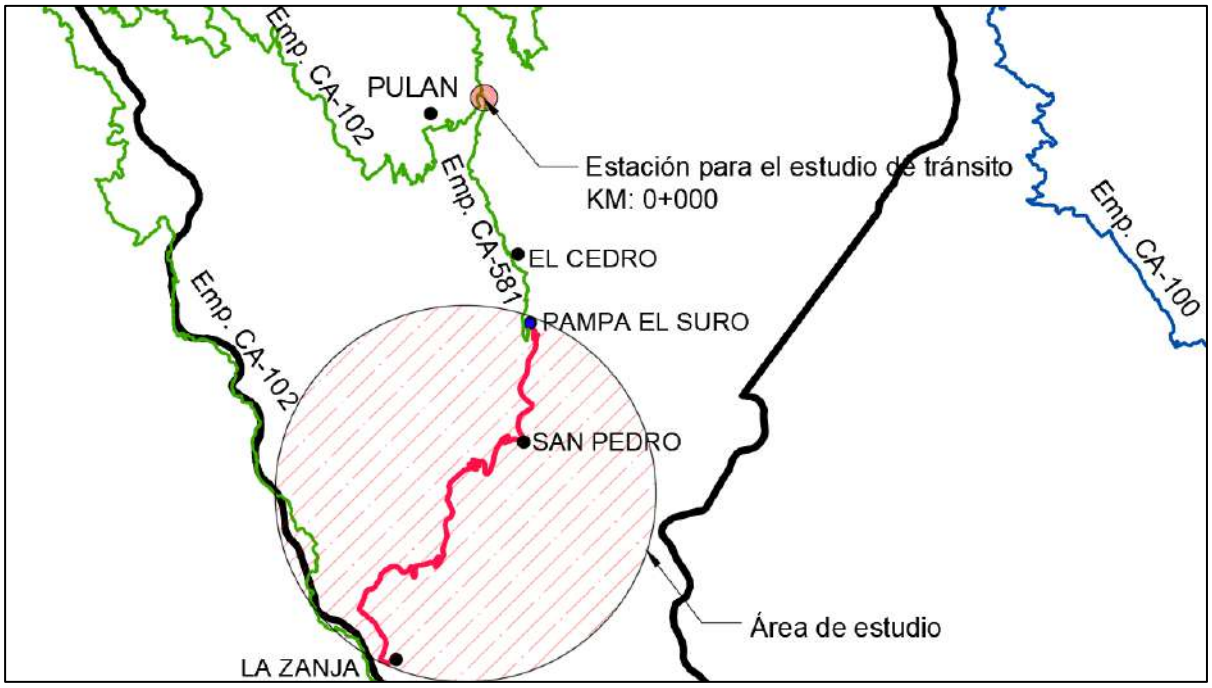


Tabla 31

Estudio vehicular diario de 01 semana organizado en intervalos de 15 minutos, en ambos sentidos

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 00:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
00:15 - 00:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
00:30 - 00:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
00:45 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 01:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:15 - 01:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:30 - 01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:45 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 02:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:15 - 02:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:30 - 02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:45 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 03:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:15 - 03:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:30 - 03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:45 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 04:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:15 - 04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:30 - 04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:45 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 05:15	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2.17%
05:15 - 05:30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.62%
05:30 - 05:45	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.93%
05:45 - 06:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
06:00 - 06:15	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.86%
06:15 - 06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
06:30 - 06:45	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.62%
06:45 - 07:00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
07:00 - 07:15	7	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3.73%
07:15 - 07:30	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.86%
07:30 - 07:45	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2.17%
07:45 - 08:00	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2.17%
08:00 - 08:15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.62%
08:15 - 08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
08:30 - 08:45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
08:45 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
09:00 - 09:15	3	5	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	4.66%
09:15 - 09:30	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.55%
09:30 - 09:45	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3.73%
09:45 - 10:00	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.55%
10:00 - 10:15	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2.80%
10:15 - 10:30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
10:30 - 10:45	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.86%
10:45 - 11:00	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2.17%
11:00 - 11:15	4	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	3.42%
11:15 - 11:30	4	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2.48%
11:30 - 11:45	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.86%
11:45 - 12:00	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.86%
12:00 - 12:15	7	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	4.35%
12:15 - 12:30	3	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	3.42%
12:30 - 12:45	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3.11%
12:45 - 13:00	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	4.04%
13:00 - 13:15	8	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3.73%
13:15 - 13:30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.62%
13:30 - 13:45	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.55%
13:45 - 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
14:00 - 14:15	10	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	5.90%
14:15 - 14:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
14:30 - 14:45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
14:45 - 15:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
15:00 - 15:15	2	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3.11%
15:15 - 15:30	0	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2.17%
15:30 - 15:45	2	6	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	3.42%
15:45 - 16:00	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.86%
16:00 - 16:15	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3.73%
16:15 - 16:30	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.62%
16:30 - 16:45	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.55%
16:45 - 17:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.93%
17:00 - 17:15	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3.11%
17:15 - 17:30	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.62%
17:30 - 17:45	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.55%
17:45 - 18:00	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.93%

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER			TRAYLER					TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
18:00 - 18:15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2.48%
18:15 - 18:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
18:30 - 18:45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
18:45 - 19:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.31%
19:00 - 19:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
19:15 - 19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
19:30 - 19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
19:45 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 20:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:15 - 20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:30 - 20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:45 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 21:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:15 - 21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:30 - 21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:45 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 22:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:15 - 22:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:30 - 22:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:45 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 23:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:15 - 23:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:30 - 23:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:45 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	168	70	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322	100.00%
%	52.17%	21.74%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	26.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Nota. Adaptado del MTC

Tabla 32

Estudio vehicular diario de 01 semana organizado en días, ambos sentidos

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER			TRAYLER					TOTAL	%
		PICKUP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
LUNES	22	10	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	13.66%
MARTES	23	11	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	13.66%
MIÉRCOLES	23	11	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	14.29%
JUEVES	28	14	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	18.32%
VIERNES	25	7	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	13.66%
SÁBADO	24	10	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	13.35%
DOMINGO	23	7	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	13.04%
TOTAL	168	70	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322	100.00%
%	52.17%	21.74%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	26.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Nota. Adaptado del MTC

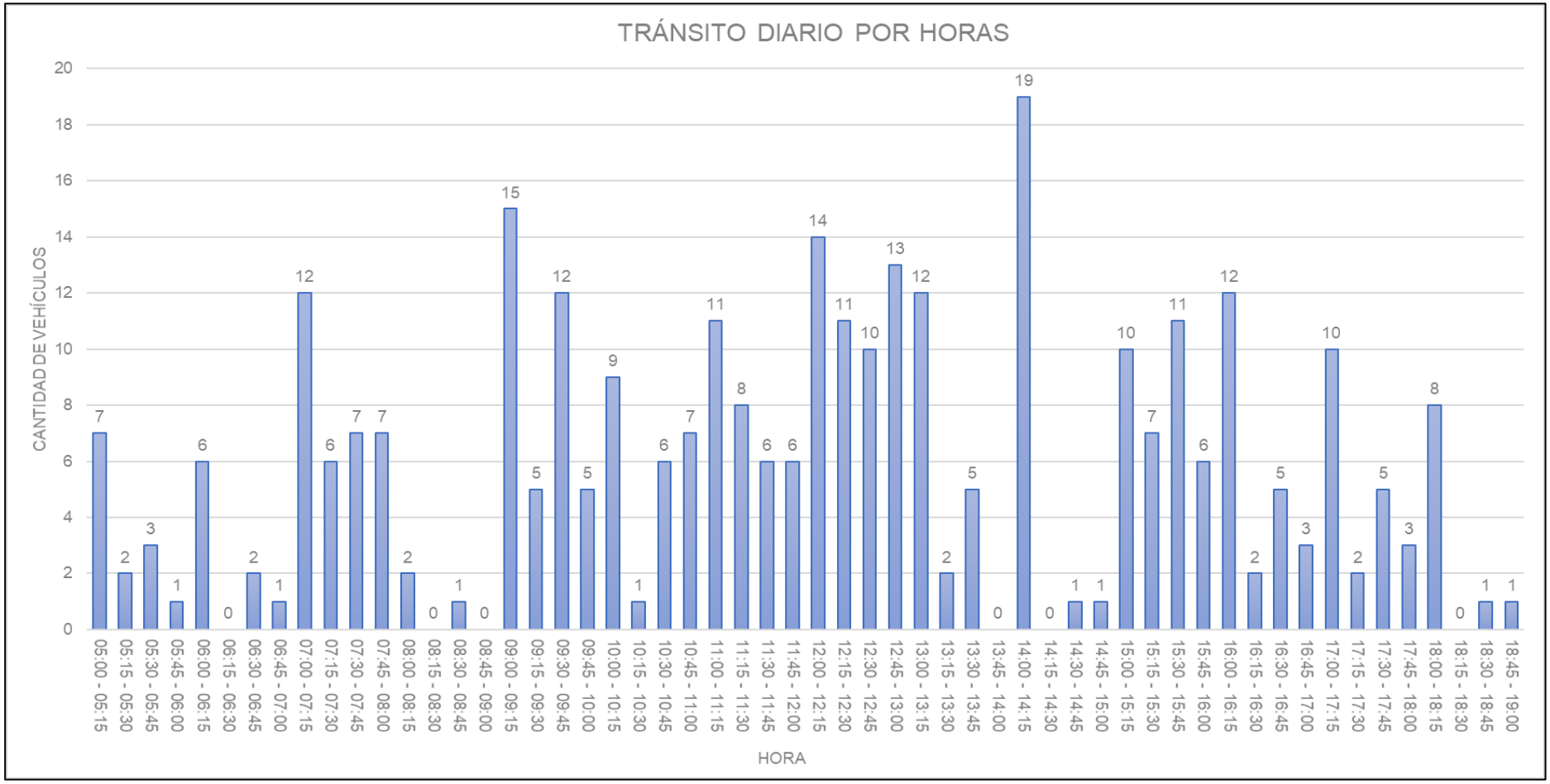
La *tabla 31*, presentó los datos acumulados en intervalos de 15 minutos durante 07 días tomando como día inicial el lunes 22 de mayo del 2023 y finalizando el día domingo 28 de mayo del 2023.

La *tabla 32*, presentó los datos acumulados por día durante 07 días tomando como día inicial el lunes 22 de mayo del 2023 y finalizando el día domingo 28 de mayo del 2023.

El acumulado total de vehículos según la *tabla 31* y *tabla 32* fue de **322 veh/seman.**

Figura 32

Tránsito diario en intervalos de 15 minutos, en ambos sentidos

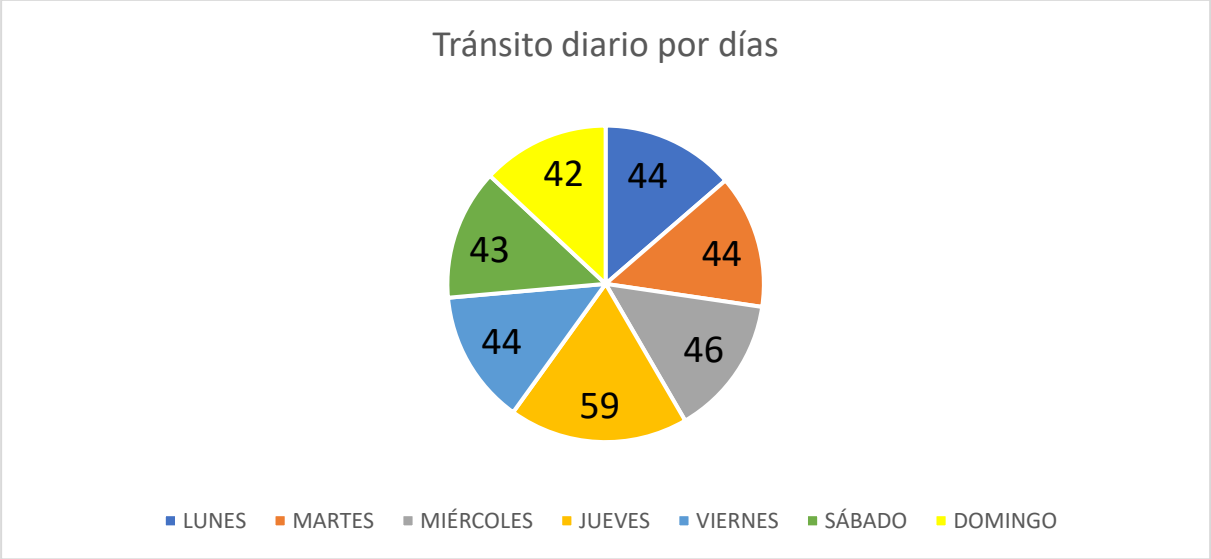


Nota. En el gráfico solo se consideró los intervalos en las que hubo tránsito vehicular.

De acuerdo a figura anterior, se apreció la hora donde concurrió mayor circulación de vehículos (hora pico), fue entre las 14:00 – 14:15 hrs, contrariamente las horas donde concurrió menor circulación de vehículos durante el día fue entre las 17:00 – 05:00 hrs, además de otros intervalos durante el día con presencia de 0 vehículos.

Figura 33

Tránsito diario por días



Nota. Se aprecia que el día de mayor flujo de tránsito fue el jueves y el día de menor flujo fue el domingo.

5.3.4. Determinación del IMDA

Para convertir el volumen de tráfico obtenido en Índice Medio Diario Anual (IMDA), se utilizó la siguiente fórmula:

$$IMDA = \frac{(\sum VTS) * FCE * FE}{7}$$

Donde: ∑VTS es la suma del tránsito vehicular semanal, FCE es el Factor de corrección estacional y FE es el factor de equivalencia.

a. Factor de Corrección Estacional: Los volúmenes de tráfico cambian mensualmente debido a factores como las épocas de cosecha, las lluvias, las estaciones del año, festividades, vacaciones, entre otros. Por esta razón, para calcular el Índice Medio Diario Anual (IMDA), es necesario aplicar un factor de corrección. Este factor fue estimado a partir de las estadísticas del flujo de vehículos registradas en la estación de Pomalca, ya que se considera una estación de peaje cercana a la zona de estudio y se toma como referencia.

Tabla 33

Factores de corrección estacional (FCE) estación de peaje Pomalca

Mes de Conteo	Factor de corrección estacional vehicular	
	Ligero	Pesado
Abril	0,974 945 881 132 931	1,174 515 878 749 85

Nota. Adaptado de Factores de Corrección para Determinar el Índice Medio Diario Anual – OPI Transportes – MTC, 2016-2020.

Tabla 34

Conteo vehicular, índice medio diario semanal

Tipo de vehículo	Fecha: del 22/05/2023 al 22/05/2023							
	L	M	M	J	V	S	D	TOTAL
Auto	22	23	23	28	25	24	23	**168**
Pick up	10	11	11	14	7	10	7	**70**
Camión de 2 ejes	12	10	12	17	12	9	12	**84**

Tabla 35

Índice medio diario semanal ajustado por el factor de corrección

Tipo de vehículo	Fecha: del 22/05/2023 al 22/05/2023		
	(∑VTS)	FCE	(∑VTS) * FCE
Auto (vehículo ligero)	**168**	0,974945881132931	**163,79**
Pick up (vehículo ligero)	**70**	0,974945881132931	**68,25**
Camión de 2 ejes (vehículo pesado)	**84**	1,17451587874985	**98,66**

b. Conversión de vehículos: El concepto de Unidad Coche Patrón (UCP) o Passenger Car Equivalent (PCE) fue introducido en el HCM de 1965. Se define como la cantidad de automóviles de pasajeros (coche patrón) que se desplazan en un flujo de tráfico por otros medios

de transporte, bajo las condiciones prevalentes de tráfico y carretera. De esta manera, la UCP se utiliza para convertir flujos de tráfico heterogéneos en flujos homogéneos. Los valores de la UCP varían según las condiciones del flujo, como el espaciamiento, la velocidad y el volumen del tráfico (que son variables intrínsecas), así como las características tanto de los vehículos como de la vía.

Tabla 36

Factores de equivalencia (FE) para transformar vehículos generados a vehículos equivalentes

Tipo de vehículo	FE
Autos-Stations-Jeeps	1,00
Camionetas (Pick Up)	1,00
Taxis-Colectivos	1,35
Camiones simples 2 ejes	2,00
Camiones simples de más de 2 ejes	2,50
Camiones semi-remolques	2,50
Camiones remolques	2,50
Buses	2,00

Nota. Adaptado del Estudio de impacto vial PUC Valparaíso – Chile, 2020.

Tabla 37

Índice medio diario semanal ajustado por los factores de equivalencia

Tipo de vehículo	(∑VTS) * FCE	FE	(∑VTS) * FCE * FE
Auto	163,79	1	163,79
Pick up	68,25	1	68,25
Camión de 2 ejes	98,66	2	197,32
TOTAL			**429,36**

$$IMDA = \frac{(\sum VTS) * FCE * FE}{7} = \frac{429{,}36}{7}$$

IMDA = 61 veh/día

Luego de la elección del lugar y determinar el IMDA para el proyecto de investigación se delineó el eje de la vía, para ello se usó dos metodologías, de la manera tradicional y haciendo uso de metodología BIM. Para ambas situaciones se medió el tiempo y costo con la intención de determinar la eficiencia de cada método.

5.3.5. Metodología tradicional para determinar el eje de la carretera

a. Reconocimiento de campo: Inspeccionar visualmente el terreno, registrando obstáculos, cambios de pendientes, cursos de agua, caminos en zona en estudio. Se tuvo obstáculos como la vegetación del terreno, el clima lluvioso de la zona, las discrepancias con propietarios de los terrenos colindantes, entre otros aspectos.

Tabla 38

Actividades realizadas y ayudantes durante el reconocimiento de campo

DESCRIPCIÓN	DÍAS	PEONES
Reunión con las autoridades del lugar, en el caserío de Pampa el Suro, para informar sobre el proyecto de investigación en proceso y encontrar personas con disponibilidad de tiempo para realizar el recorrido ya que son más conocedores de la zona.	1	2
No se pudo iniciar el recorrido debido a las lluvias de ese día ya que fueron fuertes y constantes.	1	2
Reconocimiento de campo, recorriendo desde el punto de inicio hasta un poco más de la mitad del tramo. Identificando cursos de agua, puntos más altos, obstáculos, pendientes, caminos, trochas, entre otros aspectos importantes para el estudio.	1	2
Se continuó con el reconocimiento de campo, desde el tramo que se dejó el día anterior concluyendo el día en el punto de llegada.	1	2
Se llevó a cabo un inventario total e identificación de todos los aspectos a considerar para el trazado.	1	2
TOTAL	**5**	**10**

Nota. Cronograma acorde al trabajo de campo realizado.

Figura 34

Reconocimiento de campo

Figura 35

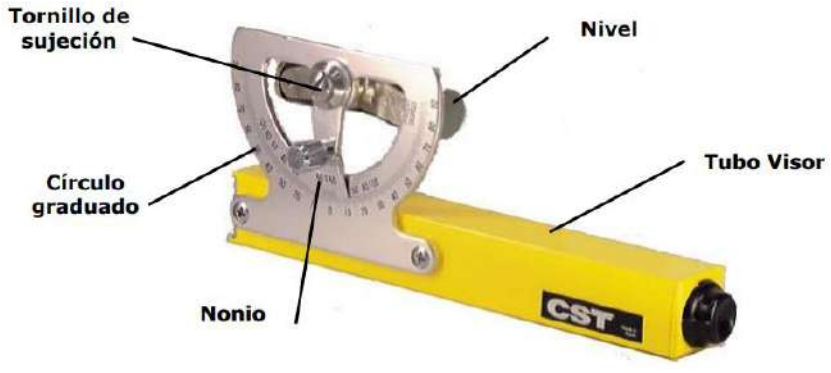
Fotos panorámicas del lugar

b. Trazo del eje de carretera: Usando herramientas básicas como brújula, cinta métrica de 100 m, jalones y eclímetro, se mapeó la ruta del eje de carretera, midiendo distancias y desniveles, conllevó un total de quince días para determinar solo un eje probable, con un total de tres personas apoyando por día durante todo el proceso.

b.1. Trazo de Linea de Gradiente en el terreno con Eclímetro. Cuando no se dispone de un plano con curvas de nivel o cuando se desea observar la línea de gradiente en el terreno, se lleva a cabo un trabajo de campo para trazar la línea de gradiente utilizando un Eclímetro o Nivel Abney, herramientas que están calibradas en grados y minutos.

Figura 36

Eclímetro



b.2. Medición de pendientes. Para señalar en el terreno una línea que mantenga una pendiente constante en todo su recorrido, por ejemplo 2% con el eclímetro, se procede de dos maneras.

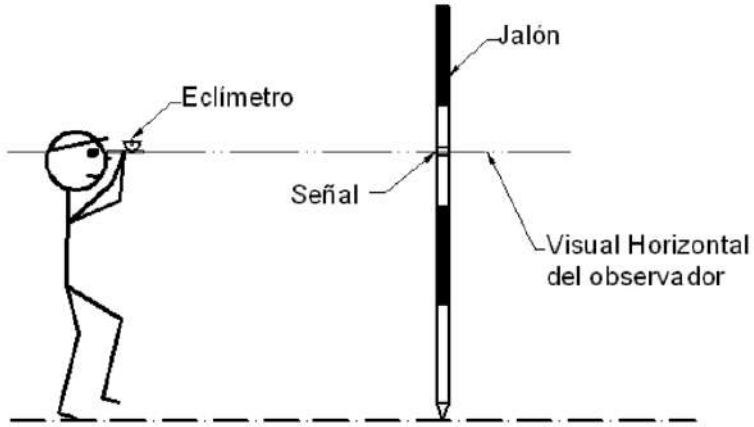
b.2.1. Con el eclímetro en cero.

1. Marcar ceros en el eclímetro (00º 00')

2. Tomar en un jalón la altura de visual de observador y amarrar a esa altura una señal visible como en la siguiente figura.

Figura 37

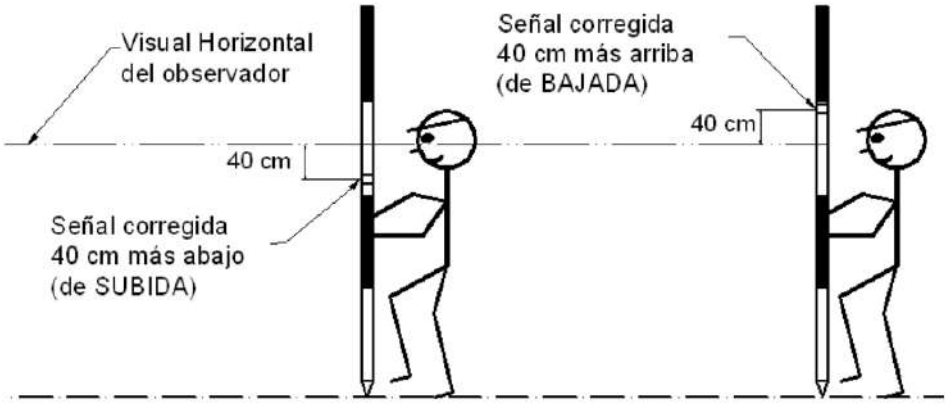
Marca en ceros del eclímetro a la altura visual del observador



3. Modificar la señal de acuerdo a lo siguiente: Con una pendiente del 2%, cada 20 metros en sentido horizontal equivale a una distancia vertical de 40 cm. Si el jalonamiento se realiza en dirección ascendente, se debe bajar la señal 40 cm; en cambio, si el jalonamiento se efectúa en dirección descendente, es necesario elevar la señal 40 cm.

Figura 38

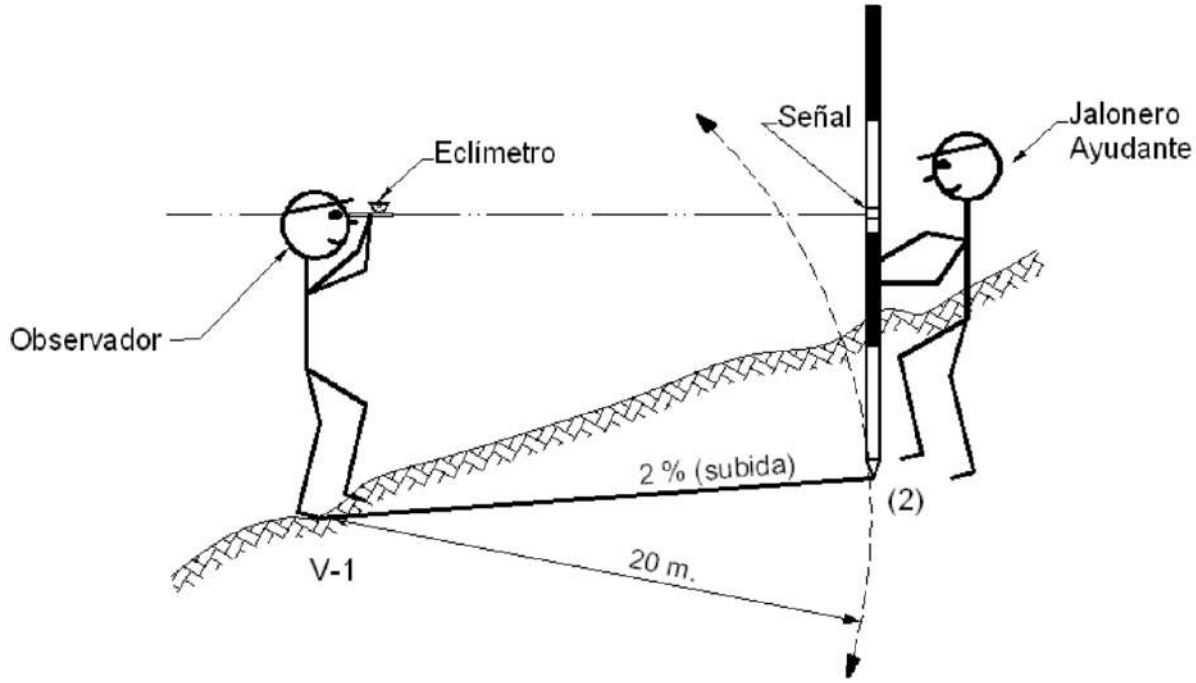
Modificación de la señal de acuerdo a la pendiente



4. El operador, con el eclímetro ajustado a cero grados (00º 00’), se posiciona sobre la estaca inicial (V-1) y enfoca el jalón sostenido por el asistente, ubicado a una distancia de 20 metros. Este último se desplazará de manera radial hacia uno u otro lado según las indicaciones dadas por el operador.

Figura 39

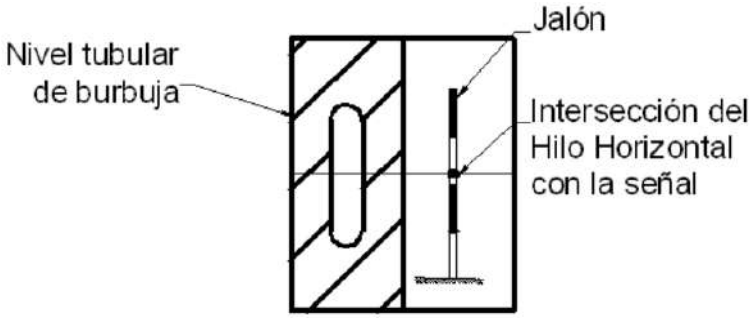
Visación del jalón portado por el jalonero ayudante



5. El observador ordenará clavar jalón que porta el ayudante cuando a través del eclímetro tenga la distribución de imágenes. Mostrada en la siguiente figura:

Figura 40

Distribución de imágenes en el eclímetro



b.2.2. Marcando con el eclímetro la pendiente deseada.

1. En el eclímetro se ajusta la pendiente deseada, en este caso, un 2%.

2. Se coloca una señal visible en un jalón, a la altura correspondiente a la línea de visión del operador.

3. El operador, con el eclímetro calibrado, se posiciona en el punto inicial y enfoca el jalón marcado que sostiene el asistente, ubicado a 20 metros de distancia. El asistente moverá el jalón radialmente alrededor del operador, siguiendo sus indicaciones.

4. Cuando el operador, a través del eclímetro, observe la alineación correcta de las imágenes como en el caso anterior (Figura 40), ordenará al asistente fijar el jalón en ese punto.

5. Siguiendo este procedimiento, se pueden colocar consecutivamente tantos puntos como sean necesarios para trazar una línea con una pendiente del 2% sobre el terreno.

6. Dado que las pendientes suelen expresarse en porcentajes, en ocasiones es necesario convertirlas a una graduación angular. Para los valores de pendiente comunes en carreteras, se puede utilizar como referencia que una pendiente del 1% equivale a un ángulo de 0º 34’ 30”. Conforme a la siguiente tabla:

Tabla 39

Pendientes expresadas en porcentaje y grados

Porcentaje %	Grados
0,5	0°17'15"
1,0	0°34'30"
1,5	0°51'45"
2,0	1°09'00"
2,5	1°26'15"
3,0	1°43'30"
3,5	2°00'45"
4,0	2°18'00"
4,5	2°35'15"
5,0	2°52'30"
5,5	3°09'45"
6,0	3°27'00"
6,5	3°44'15"
7,0	4°01'30"
7,5	4°18'45"
8,0	4°36'00"

7. Supongamos que empezamos el estudio estacionado sobre la rasante, como se ve en la Figura 41, se coloca el eclímetro sobre un jalón de 1,50 m de alto graduado con la pendiente de trazo y se mira por el instrumento al jalonero que está adelante a cierta distancia. Si se lee 1,50 m en el jalón, ambos puntos están marcando la rasante deseada, si se lee menos de 1,50 m, la rasante está en corte en el punto donde está el jalón y si se lee más de 1,50 m, la rasante está en relleno.

Figura 41

Trazo de la rasante

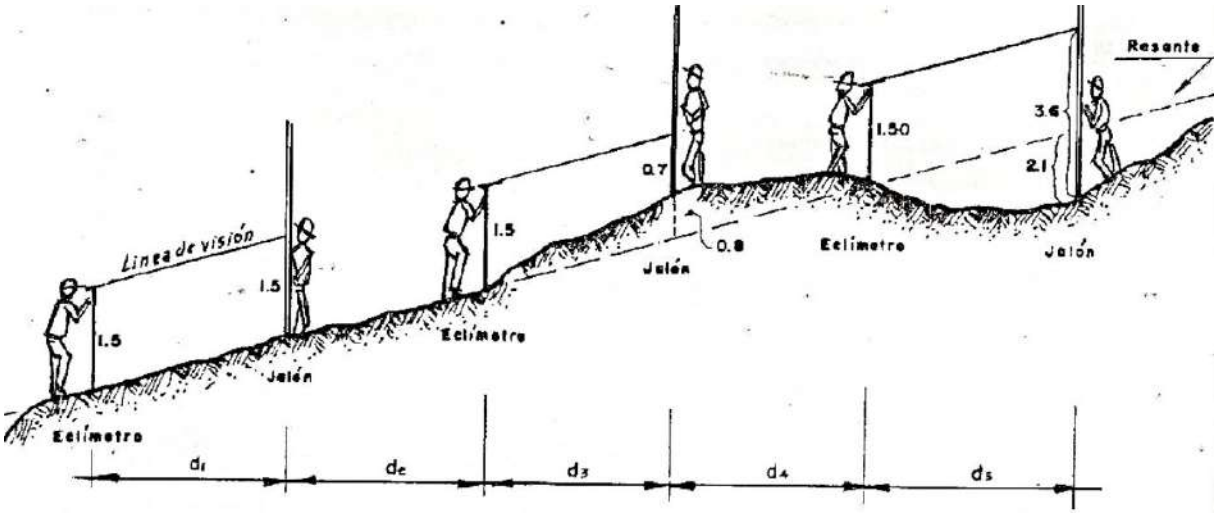


Tabla 40

Actividades realizadas y ayudantes durante el trazo del eje de manera tradicional

DESCRIPCIÓN	DÍAS	PEONES
Tomando en cuenta los parámetros de diseño para el tipo de camino vecinal a trazar, se inició con la capacitación del personal de apoyo respecto de cómo se realizará el trabajo. Luego se preparó el material necesario para campo, como estacas pintadas, brújula, cinta métrica de 100 m, jalones, eclímetro, machetes y calabozos para aperturas en zonas boscosas.	1	3
Se comenzó el estaqueo desde el caserío de Pampa el Suro y se continuó por el camino de herradura ya existente, haciendo un control de pendientes mientras se continúa. Se hizo el trazo de 520 m, cada 20 m con estacas pintadas acorde a su progresiva y cada 10 m en curvas de volteo.	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 600 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 640 m	1	3

DESCRIPCIÓN	DÍAS	PEONES
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 520 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 420 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 500 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 580 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 460 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 420 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 480 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 540 m	1	3
Se continuó con el estaqueo desde el punto dejado el día anterior, se avanzó aproximadamente 536 m	1	3
TOTAL	**13**	**39**

Nota. Para todos los tramos se hizo un control minucioso de las pendientes para que no excedan del 10% y en curvas de volteo se calculó empíricamente para que los radios sean mayores a 10 m, hubo tramos con densa vegetación que aumentó la dificultad de trazo y por ende disminuyó la cantidad de metros señalizados por día. Al finalizar el trazo del eje se contabilizó un total de 6216 m entre el punto inicial y el punto de llegada.

Figura 42

Personal de trabajo para determinar la ruta óptima de manera tradicional

Figura 43

Apertura de zonas donde hay vegetación para continuar el trazo

Tabla 41

Presupuesto para trazar el eje de la carretera de manera tradicional

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT. (S/.)	P. PARCIAL (S/.)
Mano de obra no calificada del caserío	Per.	49	60	2 940,00
Pintura	Bal.	10	25	250
Brújula	Und.	1	310	310
Wincha	Und.	1	120	120
Estacas de madera	Und.	300	0,5	150
Jalones	Und.	4	30	120
Eclímetro	Und.	1	350	350
COSTO TOTAL				**4 240,00**

Figura 44

Trazo del eje de la carretera con metodología tradicional

Nota. Adaptado de Google Earth, eje de la carretera trazado con metodología tradicional, posterior al trazo en campo se hizo el levantamiento topográfico del eje para compararlo con el trazo del eje con metodología BIM.

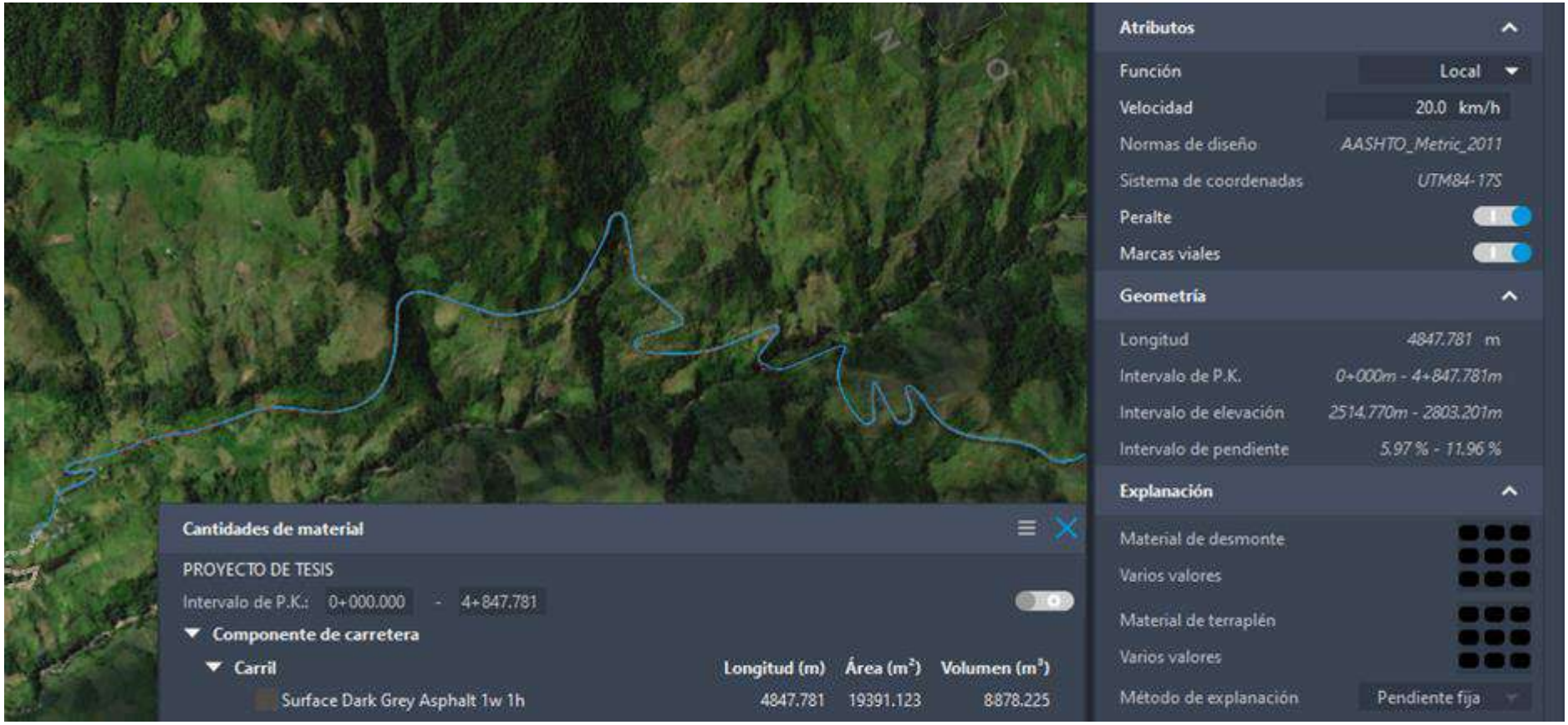
5.3.6. Metodología BIM para determinar el eje de la carretera

a. Formular Propuestas en Infraworks 360: Consiste en determinar alternativas confiables en base a la data topográfica del programa Infraworks 360, mediante las cuales se llevó a cabo un levantamiento topográfico más preciso para la posterior fase de diseño geométrico.

- Ubicamos la zona de estudio y creamos el modelo en Infraworks 360 eligiendo la forma más adecuada de seleccionar el área de trabajo, con un máximo de 200 km2.
- Creación de la obra lineal siguiendo caminos, viendo zonas preferentemente despejadas, y de acuerdo a las curvas de nivel del modelo digital creado en el programa.
- Para el trazo se tuvo que tomar en cuenta las características de diseño geométricos de acuerdo al IMDA, y topografía del lugar.
- Para el trazo del eje se tomó en cuenta las pendientes máximas, mínimas y velocidad de diseño.
- Se adecua el trazo de tal manera que se tenga la menor cantidad de corte y relleno acorde al eje.
- Teniendo los ejes trazados, se procede analizar el eje probable y con mejores características de todos los obtenidos.
- Para el trazo de cada alternativa se empleó un tiempo aproximado de 1 hora.
- El costo de la capacitación en el software Infraworks 360 fue de S/. 500,00 (Quinientos con 00/100 soles)

Figura 45

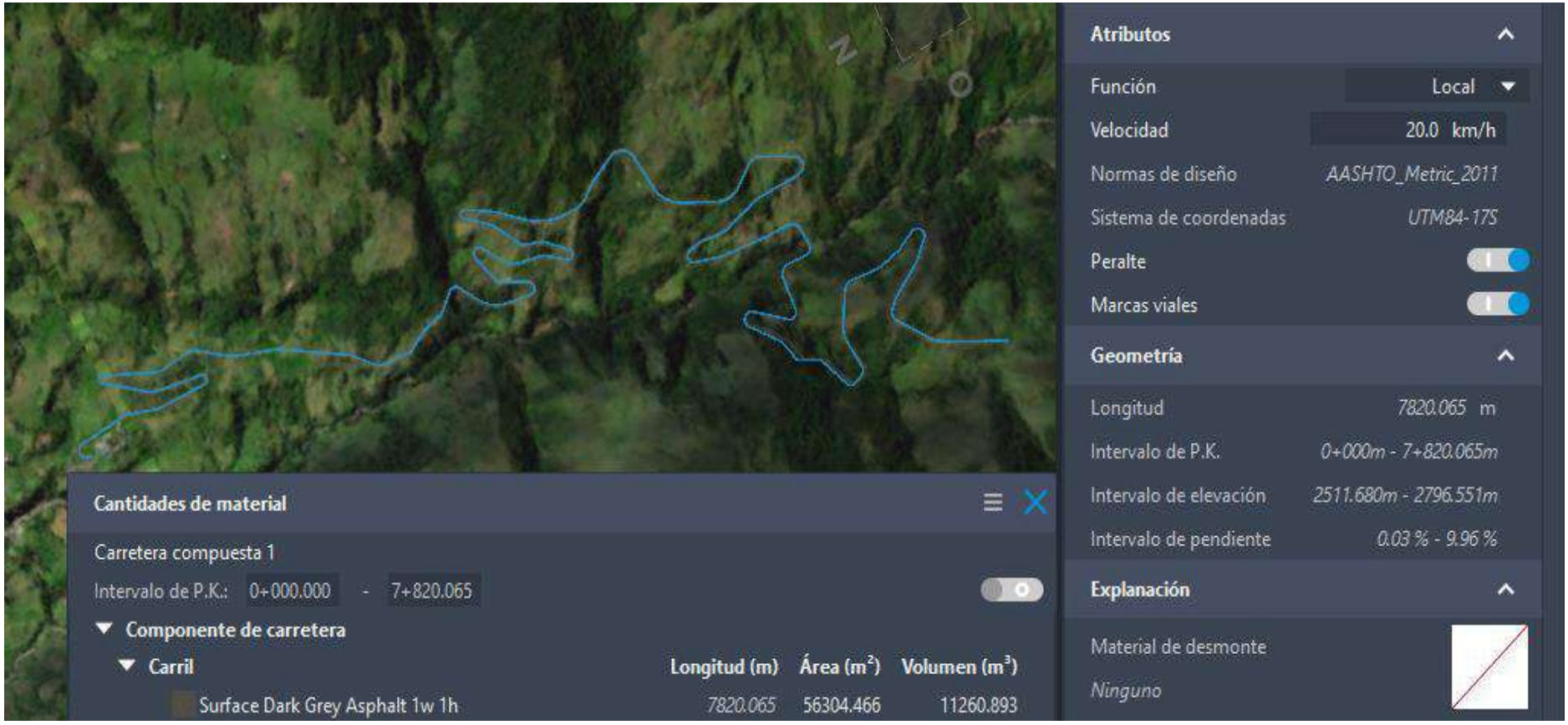
Propuestas formuladas en Infraworks 360: Alternativa 01



Nota. Adaptado de Infraworks 360, donde se muestra la alternativa 01, la cual nos da una longitud total del trazo de 4 847,781 m, un intervalo de pendientes entre 5,97% y 11,96%, se observa que hay un volumen de movimiento de tierra calculado de 8 378,225 m3.

Figura 46

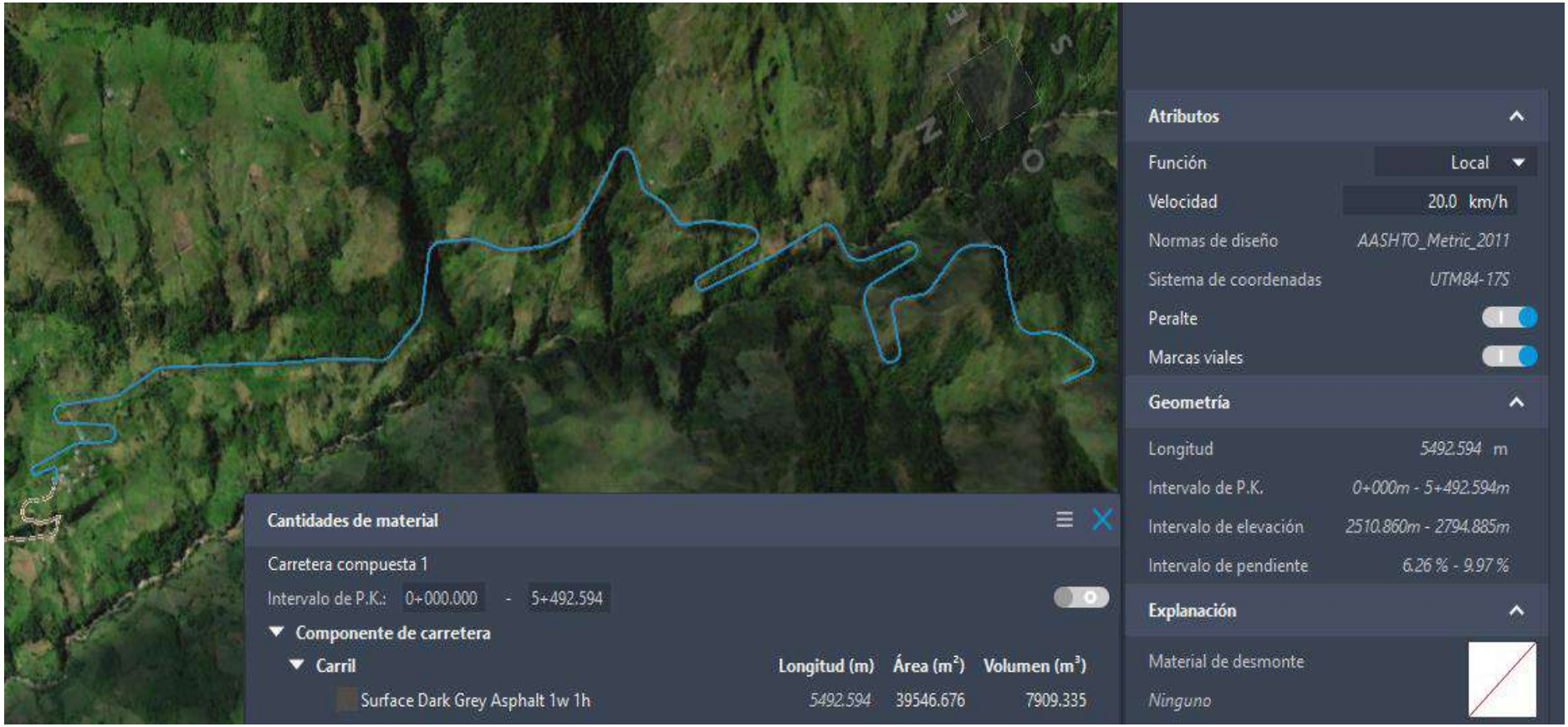
Propuestas formuladas en Infraworks 360: Alternativa 02



Nota. Adaptado de Infraworks 360, donde se muestra la alternativa 02, la cual nos da una longitud total del trazo de 7 820,065 m, un intervalo de pendientes entre 0,03% y 9,96%, se observa que hay un volumen de movimiento de tierra calculado de 11 260,893 m3.

Figura 47

Propuestas formuladas en Infraworks 360: Alternativa 03



Nota. Adaptado de Infraworks 360, donde se muestra la alternativa 03, la cual nos da una longitud total del trazo de 5 492,594 m, un intervalo de pendientes entre 6,26% y 9,97%, se observa que hay un volumen de movimiento de tierra calculado de 7 909,355 m3

Figura 48

Selección del área de influencia para el proyecto de investigación

Nota. Adaptado de Google Earth. Una vez determinado los ejes de las tres alternativas en el programa Infraworks 360, se procede a trazar un área de influencia que abarque todas las posibles rutas, dando la visión completa y necesaria para el levantamiento topográfico y fotogramétrico.

Figura 49

DOP – Para trabajo de investigación

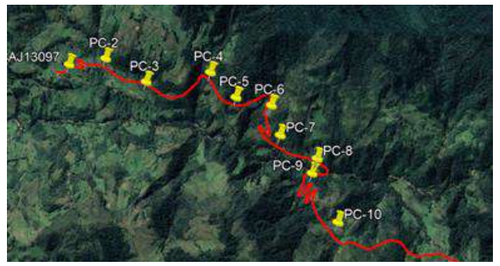
Diagrama de Operaciones del Proceso DOP - Para trabajo de

Proceso de recolección de datos

a. Elección del lugar para el proyecto en investigación.

b. Formular Propuestas en Infraworks 360.

Consiste en determinar una alternativa confiable en base a la data topográfica del programa.



c. Planificación del levantamiento fotogramétrico.

d. Elección de la zona de vuelo y parámetros para su realización.

f. Marcado de los puntos de apoyo

Proceso de análisis de datos

h. Empleo de dron: Modelo DJI PHANTOM 4 PRO V2.0

i. Empleo de Estación Total Leica TS-06 1" en zonas boscosas

g. Empleo de GPS Diferencial

j. Empleo de software Leica Infinity

k. Empleo de software Agisoft Metashape

l. Empleo de software AutoCAD Civil 3D

m. Empleo de software Autodesk Infraworks 360

Procesamiento de datos, discusión, conclusiones y presentación de resultados

Actividad	Símbolo	Descripción
Operación		Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento.
Inspección		Indica que se verifica la calidad y/o cantidad de algo.
Transporte		Indica desplazamiento o movimiento de empleados, material y equipo de un lugar a otro.
Espera		Indica demora en el desarrollo de los hechos

b. Proceso de trabajo para la fotogrametría

Se ha estructurado en cuatro etapas:

- Primera etapa: planificación del levantamiento en campo (trabajo de gabinete).
- Segunda etapa: levantamiento de la fotogrametría (trabajo de campo).
- Tercera etapa: levantamiento topográfico (trabajo de campo).
- Cuarta etapa: procesamiento de información en software (trabajo de gabinete).

Cada etapa es desarrollada conforme a los procesos estándar empleados en estudios similares, los cuales se han adecuado a las características geográficas del lugar.

b.1. Primera Etapa: planificación del levantamiento en campo (trabajo de gabinete).

b.1.1. Determinación de la zona de vuelo

Para determinar la zona de vuelo se empleó el software Google Earth Pro, en el cual se ha trazado una ruta que involucre el área óptima (Figura 48) para la vinculación de los caseríos en estudio de la jurisdicción del distrito de Pulan, con la finalidad de poder observar los posibles espacios de intervención y plantear una estrategia para el levantamiento de la fotogrametría.

El punto desde donde se partió fue el caserío de Pampa El Suro, cercano a la zona noreste de la mina La Zanja, debido a su topografía accidentada y la altitud del lugar.

Para poder determinar los puntos más altos del trabajo en campo, durante esta etapa de planificación, se optó por dividir toda la ruta en ocho tramos, para ello se pasó la información del software Google Earth Pro al software Global Mapper, determinando así los puntos de mayor altura en cada tramo.

b.1.2. Parámetros que condicionan el vuelo:

Para realizar el trabajo de la fotogrametría, se ha empleó el dron DJI PHANTOM 4 PRO V2.0, cuyos parámetros para todos los vuelos de forma fidedigna, deben ser como se detallan a continuación.

Tabla 42

Parámetros empleados para los vuelos con drone PHANTOM 4 PRO V2.0

Parámetros	Descripción
Velocidad del drone: 7 m/s	Esta velocidad empleada es la recomendable para el modelo del dron utilizado: DJI PHANTOM 4 PRO V2.0
Tiempo de vuelo máximo: 15 min por batería	El tiempo de programación en base a esta duración para la recopilación de datos suele ser de 13 min a 14 min, en función al tiempo de vuelo máximo, con la finalidad de tener un margen para el regreso del dron a su punto de origen.
Traslape longitudinal por foto: 80%	Logrando así tener una mayor precisión en cada fotografía.
Traslape transversal por foto: 80%	Logrando así tener una mayor precisión en cada fotografía.
Altura de vuelo: 90 m	Este es un valor promedio de la altura de vuelo para el trabajo realizado bajo estas características, debido a que depende mucho de la topografía del lugar.
Radio de trabajo: 1000 m	Este es un valor promedio
Altura máxima: 120 m	Esta altura es la máxima óptimo promedio para este trabajo en particular realizado con el modelo empleado del dron DJI PHANTOM 4 PRO V2.0, con el fin de mantener la nitidez de las fotografías y distinción de las curvas de nivel.
Forma de despegue del drone:	La forma de despegue es vertical, desde el punto de donde se suelta el dron, este se eleva hasta la altura programada y se dirige hacia el punto de donde se va a iniciar el vuelo; siendo este el punto clave para el inicio del trabajo en ruta. El software para el empleo en campo del dron es el **DJI Pilot**.
La misión del drone debe ser en sentido contrario al viento	Debido a que a una determinada altura la fuerza del viento tiende a retener la posición del dron, lo cual dificultaría el desarrollo óptimo del trabajo en campo.

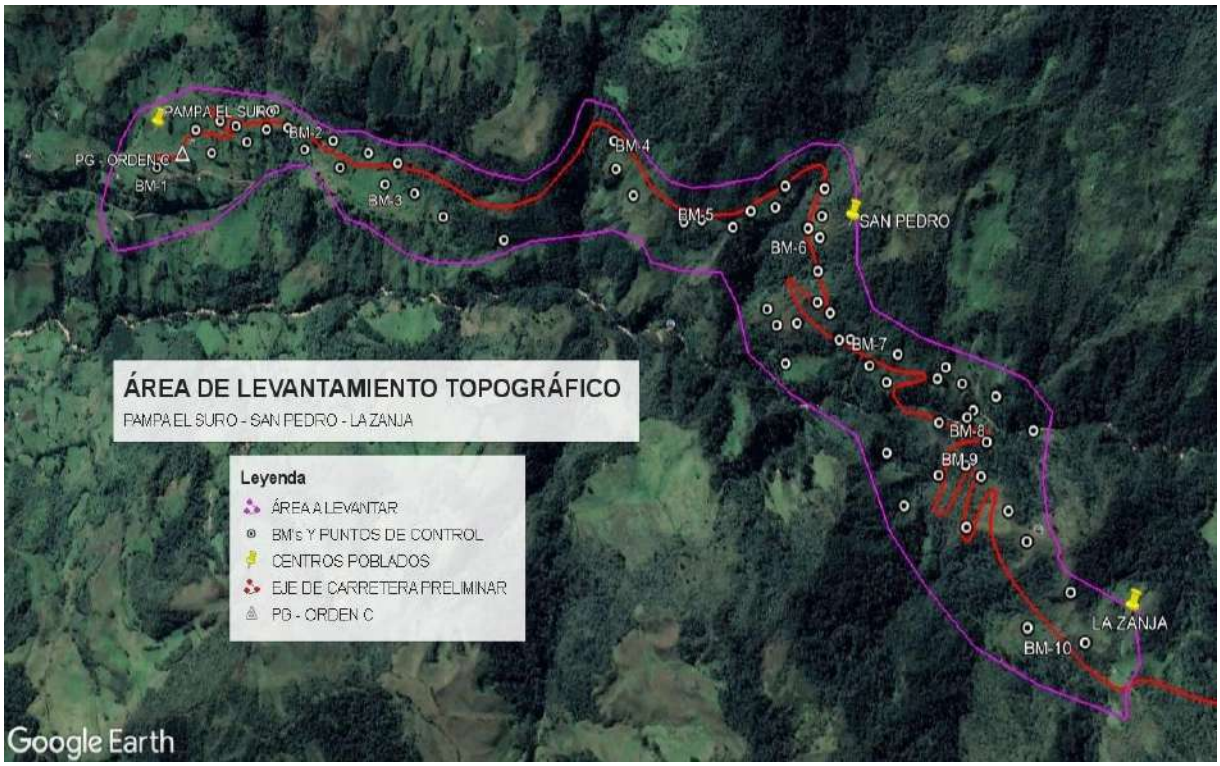
b.1.3. Asignación y colocación de punto geodésico, puntos de control y BM's.

En base al software Google Earth Pro, se visualiza el espacio aéreo para el vuelo y se identifica estratégicamente los posibles puntos de control. Los puntos planteados no son necesariamente los definitivos ya que estos se deben determinar con precisión in situ.

Se han preasignado como BM’s monumentados en campo un total de 20 y como puntos de control un total de 54, para el desarrollo del trabajo en toda la ruta, se colocó además 1 punto geodésico en el área de estudio.

Figura 50

Asignación de puntos de control aproximados en gabinete



Nota. Adaptado de Google Earth.

b.2. Segunda Etapa: levantamiento de la fotogrametría (Trabajo De Campo)

b.2.1. Marcado y señalización de los puntos de control y apoyo

Encontrándose in situ, es necesario realizar primeramente la colocación del punto geodésico de orden “C” y en base a ese punto realizar la colocación de los BM’s y puntos de control, para el posterior levantamiento de puntos y enlace a la red geodésica nacional.

Figura 51

Monumentación del punto geodésico

Figura 52

Levantamiento del punto geodésico

Figura 53

Colocación de BM's en campo

Respecto a los puntos de control, cada punto de apoyo fue colocado a través de una marca tipo búmeran hecha con yeso con dimensiones promedio de 1,5m x 1,5m de lado. Todos los puntos de apoyo fueron replanteados en campo utilizando GPS diferencial, sin alterar el ambiente intervenido debido a que el yeso es un material biodegradable. Para colocar los puntos de control el tiempo estimado ha sido de un día.

Figura 54

Marcado de puntos de apoyo tipo búmeran con yeso

Figura 55

Utilización de puntos de control en la fotogrametría

b.2.2. Factores preliminares para vuelo con dron

- **Verificación del estado del equipo a emplear**

Es primordial iniciar con el diagnóstico del estado físico y funcionamiento del equipo a emplear. Respecto al dron se debe priorizar que cuente con carga completa de las baterías del dron y la cámara. Se debe tener cuidado respecto a la fijación y posición de las hélices. Y el estado general del equipo.

Esta verificación es importante debido a que en su mayoría las zonas de trabajos se encuentran alejadas dificultando el acceso a servicios de soporte técnico.

- **Determinación de la zona de despegue y aterrizaje**

La metodología partió de la identificación de los puntos más altos en la ruta, los cuales fueron determinados previamente en la primera etapa: Planificación del levantamiento en campo. Logrando identificarlos con éxito y precisión para el correcto trabajo en campo.

Figura 56

Determinación de zona de despegue y aterrizaje

- **Verificación de factores meteorológicos: clima, viento, tormentas**

Si bien se ha tomado en cuenta las estimaciones sobre el clima de plataformas como el SENAMHI, en la zona de estudio las condiciones climáticas que se suelen dar en este lugar no pueden ser consideradas como seguras debido a los cambios constantes del clima que se suelen dar en el transcurso del día.

b.2.3. Ensamblaje, uso y recopilación de información con el dron: Modelo DJI PHANTOM 4 PRO V2.0

Debe priorizarse la correcta colocación y unión de las partes que componen al dron. Se retira los seguros y parches de la cámara del dron, una vez que la cámara queda libre y estable se instala las hélices, hay dos tipos de hélices las cuales giran una en sentido horario y la otra en antihorario y estas se colocan de acuerdo con el color (hélices horario: blancas, hélices antihorario: negras), para la colocación de las baterías estas deben estar en correcta posición y es preferente que estas se quiten después de cada uso del dron. Es primordial y se tiene que revisar que el dron cuente con una tarjeta de memoria.

Figura 57

Componentes: DRON DJI PHANTOM 4 PRO V2.0

Figura 58

Ensamblaje y uso del dron DJI Phantom 4 Pro V2.0

Generalmente para el uso de drones se emplea sistemas Android o iOS, la empresa DJI recomienda Android, para ello se adquirió una tablet adicional al dron.

El control del dron, se conecta con la tablet. Primero se enciende el control automáticamente. Estando listo para su funcionamiento se abre el programa y se carga la ruta para el vuelo, en este caso se ha empleado el software libre de DJI Pilot, a través de la siguiente secuencia:

1. Abrimos el software DJI Pilot.
2. Se selecciona Misión de vuelo.
3. Se selecciona la opción de importar kml que es el tipo de archivo generado por Google Earth. En caso de no haberlo trabajado en gabinete se puede optar por crear ruta.
4. Se elige cartografía: Si la carretera ya existiera se selecciona trayectoria o misión de vuelo lineal, en el caso de la investigación donde no sé conoce con exactitud los puntos de la carretera se opta por la cartografía.
5. Se selecciona el archivo de la tarjeta de memoria interna del equipo.

El trabajo de campo se ha realizado en un día, con un total de 120 minutos aproximadamente, los cuales, por agentes como la lluvia, el tiempo de llegada al lugar, entre otros factores, no fueron secuenciales. Siendo un total de 8 vuelos realizados, dividiéndose el trabajo en 8 tramos, se pudo estimar que se levantó un total aproximado de 88 hectáreas.

Figura 59

Configuración de parámetros para vuelo en software DJI Pilot

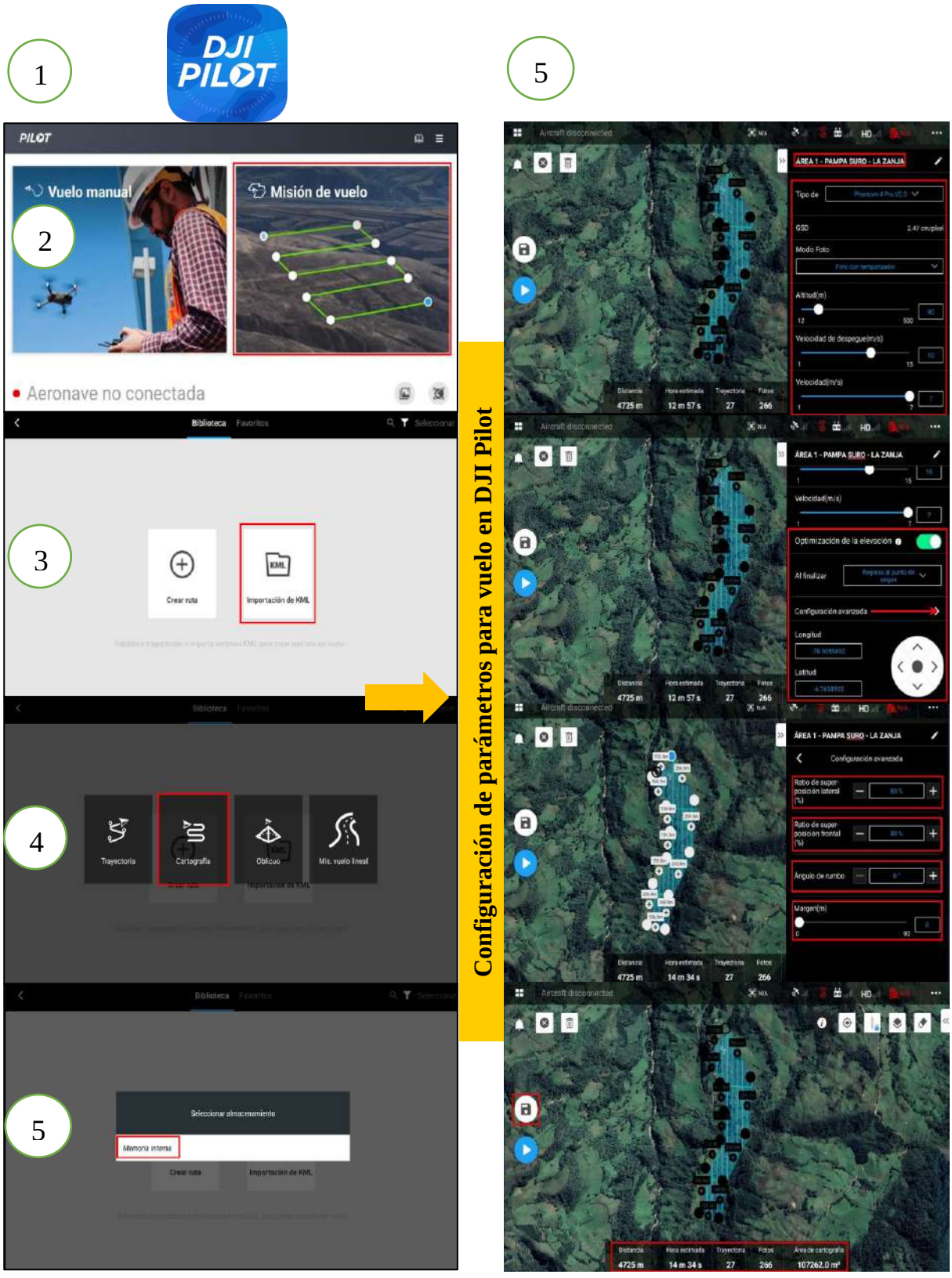


Figura 60

Empleo del dron DJI Phantom 4 Pro V2.0 para trabajo de fotogrametría

b.3. Tercera Etapa: Levantamiento Topográfico (Trabajo De Campo)

A través del sistema de coordenadas WGS-84. Se determinó los puntos de control con el GPS diferencial, el cual estuvo enlazado a la base en el punto geodésico de orden "C" colocado en el caserío de Pampa el Suro.

Figura 61

Levantamiento de los puntos en el área de estudio

Tabla 43

Cuadro de coordenadas de los puntos de apoyo

N°	ESTE (X)	NORTE (Y)	COTA (Z)	DESCRIPCIÓN
1	731 403,1140	9 251 560,5530	2 616,5003	BM-1
2	731 506,9294	9 251 357,9206	2 636,4453	BM-2
3	731 483,1520	9 251 160,8230	2 637,8962	BM-3
4	731 382,7480	9 251 015,3099	2 635,8496	BM-4
5	731 312,4060	9 250 803,6520	2 640,7990	BM-5
6	731 190,8985	9 250 553,5068	2 658,7773	BM-6
7	731 409,8430	9 250 251,9400	2 687,5899	BM-7
8	731 218,0950	9 250 024,7230	2 685,2215	BM-8
9	731 285,0187	9 249 812,9264	2 697,7137	BM-9
10	731 169,8500	9 249 725,4810	2 703,7685	BM-10
11	731 011,8571	9 249 854,8624	2 675,9529	BM-11
12	730 939,7380	9 249 643,1300	2 676,8741	BM-12
13	730 840,3978	9 249 547,2552	2 660,6038	BM-13
14	730 673,9337	9 249 552,3660	2 663,5985	BM-14
15	730 773,4270	9 249 329,3460	2 646,6492	BM-15
16	730 647,9620	9 249 357,5600	2 680,6946	BM-16
17	730 505,6100	9 249 363,6953	2 693,1043	BM-17
18	730 544,2473	9 249 267,2684	2 712,3535	BM-18
19	730 287,5429	9 249 230,1954	2 709,6727	BM-19
20	730 260,0520	9 249 102,5390	2 746,8362	BM-20
21	731 435,6220	9 251 482,1950	2 622,4829	PG - ORDEN C
22	731 489,9202	9 251 433,4195	2 629,1151	PC-1
23	731 432,9966	9 251 393,0346	2 619,6020	PC-2
24	731 493,5181	9 251 311,9702	2 640,8027	PC-3
25	731 456,0152	9 251 285,3836	2 633,2497	PC-4
26	731 526,2846	9 251 229,2129	2 646,7276	PC-5
27	731 482,4405	9 251 224,1259	2 641,8948	PC-6
28	731 525,4444	9 251 191,6233	2 648,2851	PC-7
29	731 431,4429	9 251 116,9016	2 633,1982	PC-8
30	731 445,6935	9 251 027,7580	2 646,5172	PC-9
31	731 410,2207	9 250 926,4223	2 644,0471	PC-10
32	731 336,8100	9 250 887,1373	2 637,9074	PC-11
33	731 383,4673	9 250 844,2277	2 651,6475	PC-12
34	731 253,3988	9 250 723,4314	2 645,2072	PC-13
35	731 347,1794	9 250 247,7897	2 680,1416	PC-14
36	731 285,2775	9 250 202,5939	2 673,6783	PC-15
37	731 217,2414	9 250 069,8411	2 679,8195	PC-16
38	731 199,2833	9 249 943,7798	2 689,6974	PC-17
39	731 232,6815	9 249 899,0188	2 692,5657	PC-18
40	731 240,4001	9 249 836,7362	2 691,8050	PC-19
41	731 277,9127	9 249 714,6921	2 704,2580	PC-20
42	731 216,9651	9 249 720,0692	2 706,0678	PC-21
43	731 190,9272	9 249 753,6775	2 703,2476	PC-22
44	731 093,2888	9 249 728,7470	2 689,9316	PC-23
45	730 974,4752	9 249 829,7649	2 676,3222	PC-24

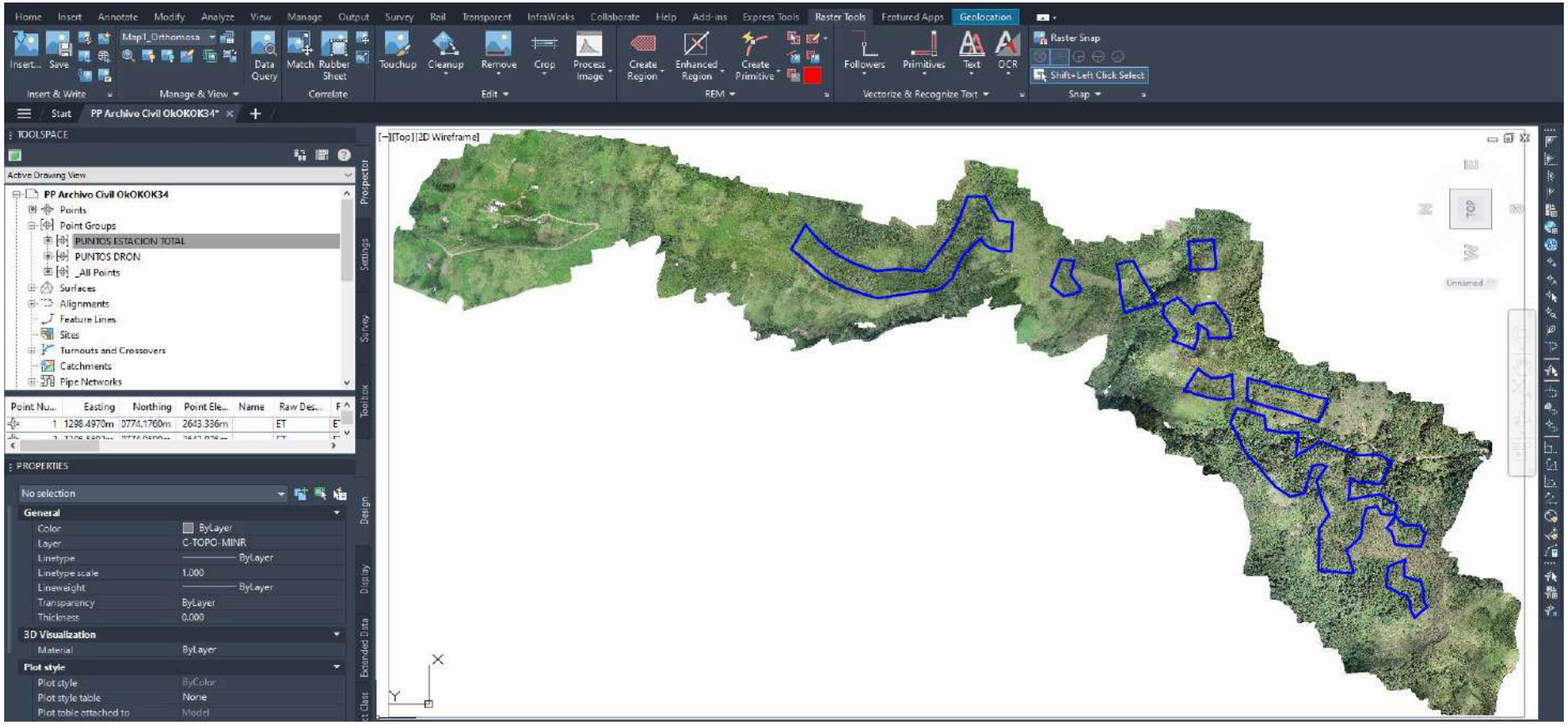
N°	ESTE (X)	NORTE (Y)	COTA (Z)	DESCRIPCIÓN
46	730 977,9577	9 249 778,6646	2 682,3515	PC-25
47	731 022,7075	9 249 728,5352	2 695,3349	PC-26
48	730 998,3438	9 249 696,3940	2 692,3095	PC-27
49	730 885,6756	9 249 806,2895	2 651,9327	PC-28
50	730 938,0503	9 249 670,9047	2 675,4942	PC-29
51	730 903,6364	9 249 522,1893	2 675,0181	PC-30
52	730 878,4567	9 249 591,9235	2 664,8730	PC-31
53	730 847,4599	9 249 419,1482	2 662,8196	PC-32
54	730 873,3905	9 249 399,2005	2 668,3218	PC-33
55	730 835,8631	9 249 356,1434	2 657,9281	PC-34
56	730 805,4178	9 249 273,5310	2 657,9152	PC-35
57	730 756,5400	9 249 345,3391	2 649,7727	PC-36
58	730 745,4742	9 249 415,6493	2 660,2281	PC-37
59	730 554,0386	9 249 514,7574	2 669,7167	PC-38
60	730 622,7606	9 249 423,1024	2 661,8606	PC-39
61	730 699,4992	9 249 300,9969	2 667,5277	PC-40
62	730 726,2713	9 249 184,2495	2 657,8984	PC-41
63	730 620,5898	9 249 322,9953	2 690,1790	PC-42
64	730 478,4145	9 249 231,3870	2 734,2356	PC-43
65	730 369,0934	9 249 134,2867	2 744,1505	PC-44

Después de realizar el levantamiento del punto geodésico, los BM’s y los puntos de control, se identificaron las zonas con densa vegetación que se encuentran dentro del trazado del eje de la carretera proyectada. Esto se realizó con el objetivo de llevar a cabo un levantamiento topográfico tradicional utilizando la estación total Leica TS-06 con precisión de 1”. Esto se debe a que la fotogrametría PPK empleada en este estudio no ofrece una topografía precisa en estas áreas, ya que la vegetación sería interpretada como el nivel del terreno. Por ello, estas zonas boscosas se levantaron con estación total.

En la figura siguiente se muestra la fotogrametría del área levantada con dron, donde se destacan en color azul los perímetros de las áreas con mayor vegetación, las cuales requieren un levantamiento topográfico con estación total para alcanzar la precisión necesaria.

Figura 62

Levantamiento topográfico con estación total de áreas con vegetación



Nota. Adaptado del Civil 3D, se detectaron áreas con perímetros de color azul para levantamiento con estación total debido a su densa vegetación.

Figura 63

Levantamiento topográfico con estación total

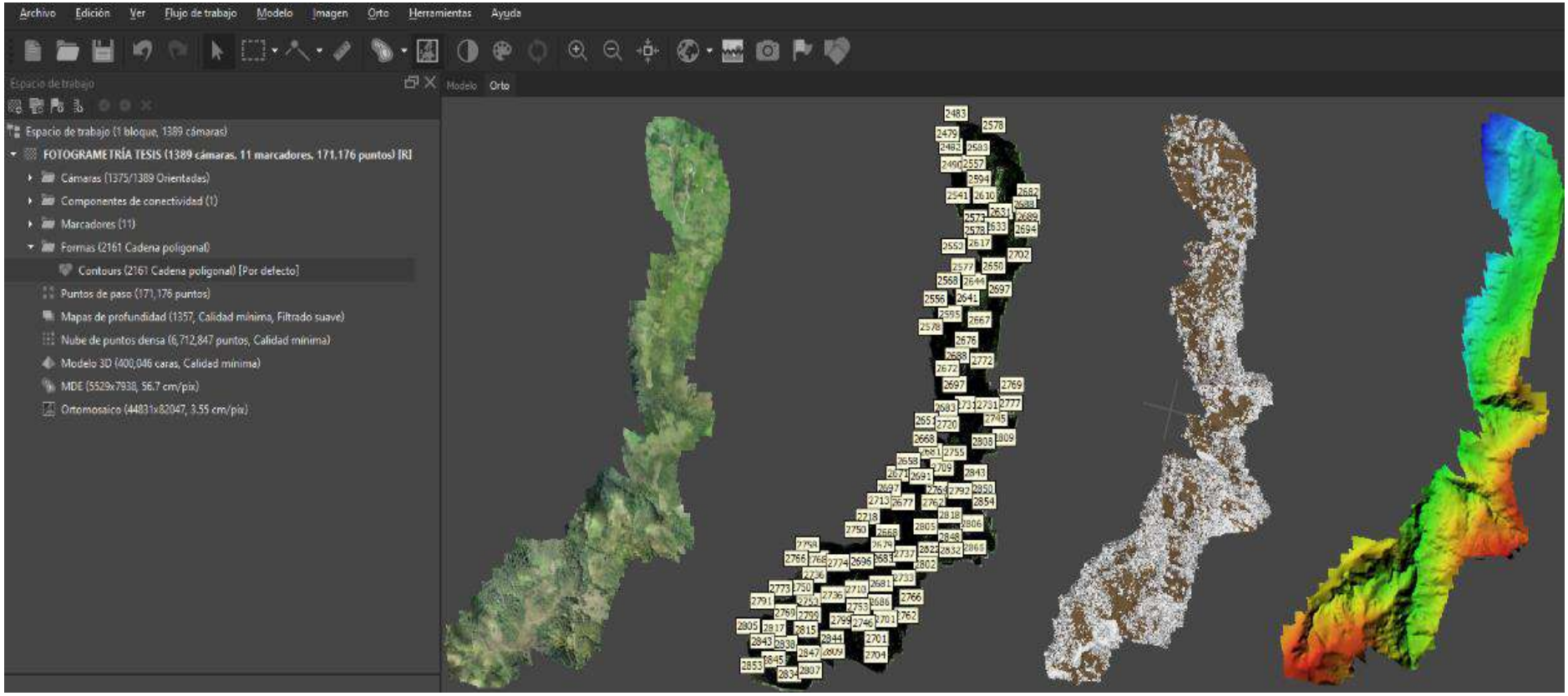
b.4. Cuarta Etapa: procesamiento de información en software (trabajo de gabinete)

Una vez concluido el trabajo del levantamiento topográfico y fotogramétrico en campo, se debe procesar la información para la obtención de la ortofoto.

b.4.1. Primero: se optó por emplear el software Agisoft Metashape, Este proceso permite llevar a cabo el tratamiento fotogramétrico de imágenes digitales, generando datos espaciales en 3D. Una vez finalizado el procesamiento, se exportó el ortomosaico, el modelo digital del terreno, la nube de puntos y las curvas de nivel, guardándolos en el formato y con la extensión deseada.

Figura 64

Procesamiento en Agisoft Metashape del levantamiento fotogramétrico



Nota. Adaptado de Agisoft Metashape, se puede observar el procesamiento del ortomosaico, las curvas de nivel, nube de puntos y un mapa de profundidad respectivamente; toda esa información en base a la fotogrametría realizada.

b.4.2. Segundo: para las características del trabajo de investigación, se debe abrir las imágenes generadas en Agisoft Metashape en el software Civil 3D, con la herramienta Raster Desing, debido a que el procesamiento fue georreferenciado, se generan los puntos a partir de las curvas de nivel exportadas del software para continuar la inclusión de los puntos levantados con estación total. El proceso realizado en el software CIVIL 3D, se presenta a continuación:

Figura 65

Georreferenciación del archivo

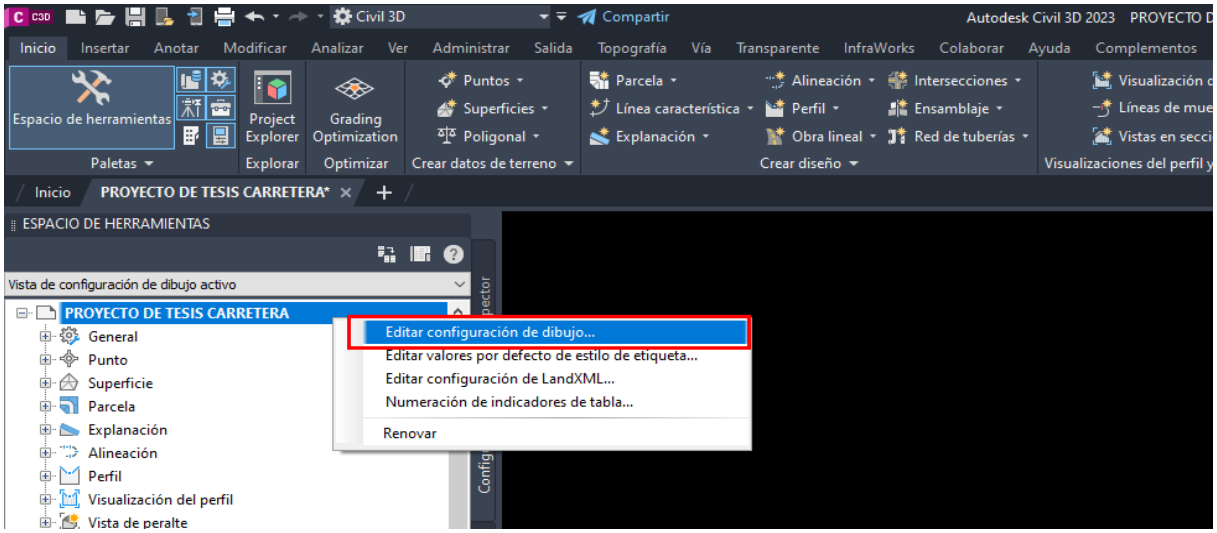


Figura 66

Selección del sistema WGS84 - Zona 17M

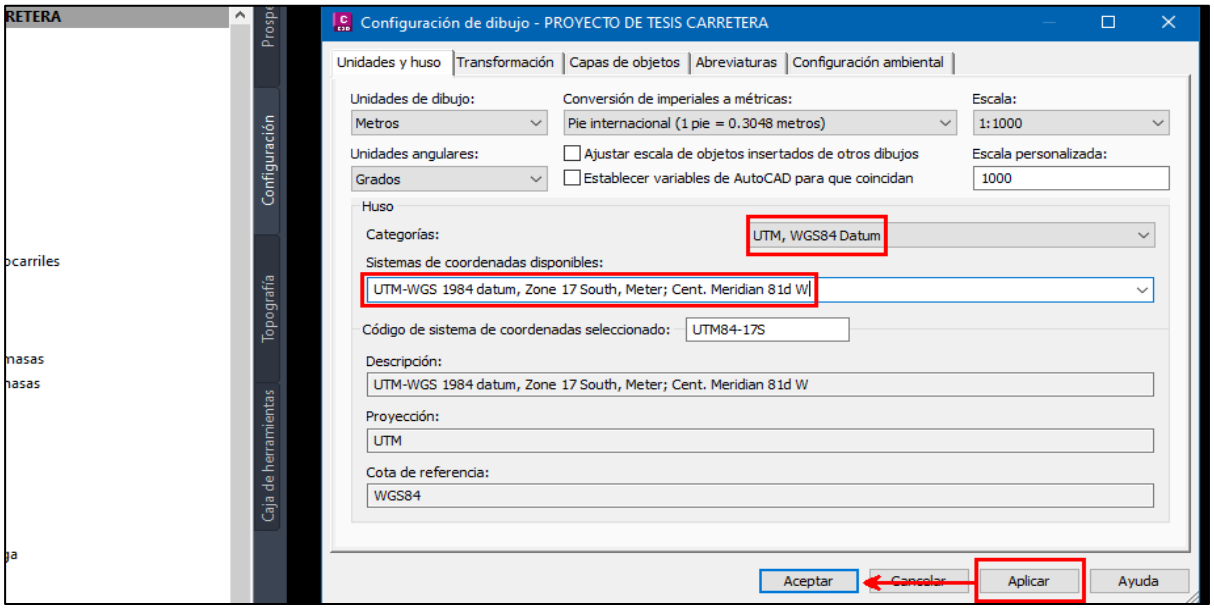


Figura 67

Se importa puntos de control

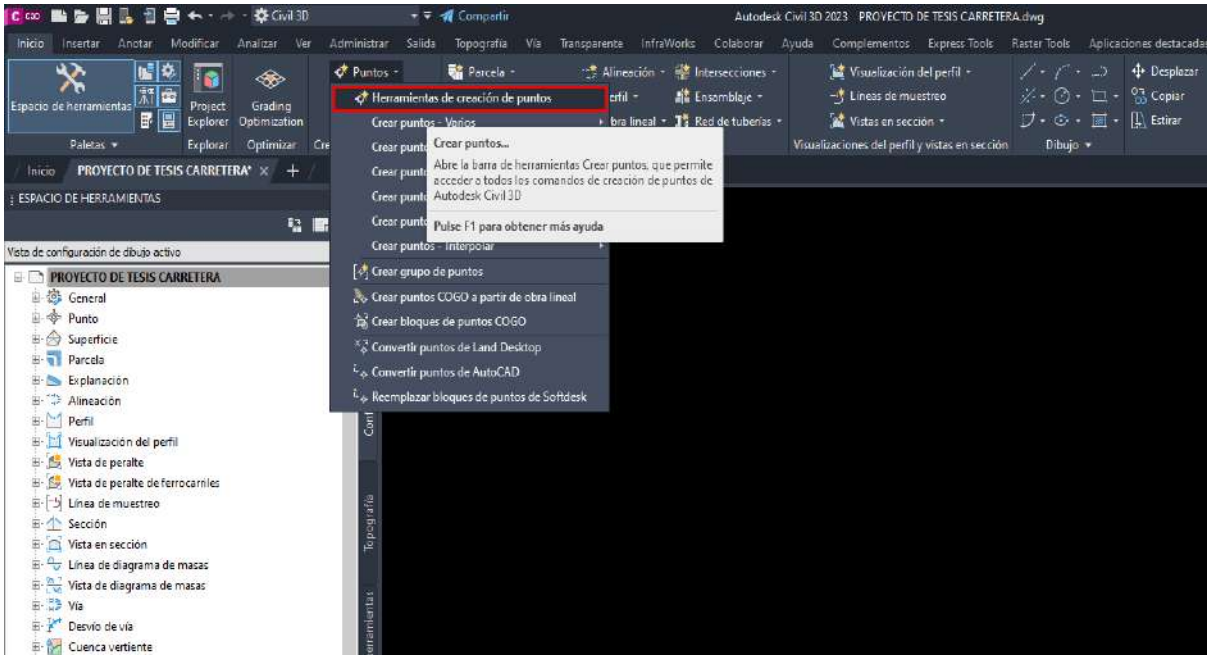


Figura 68

Se importa puntos de control levantados en campo

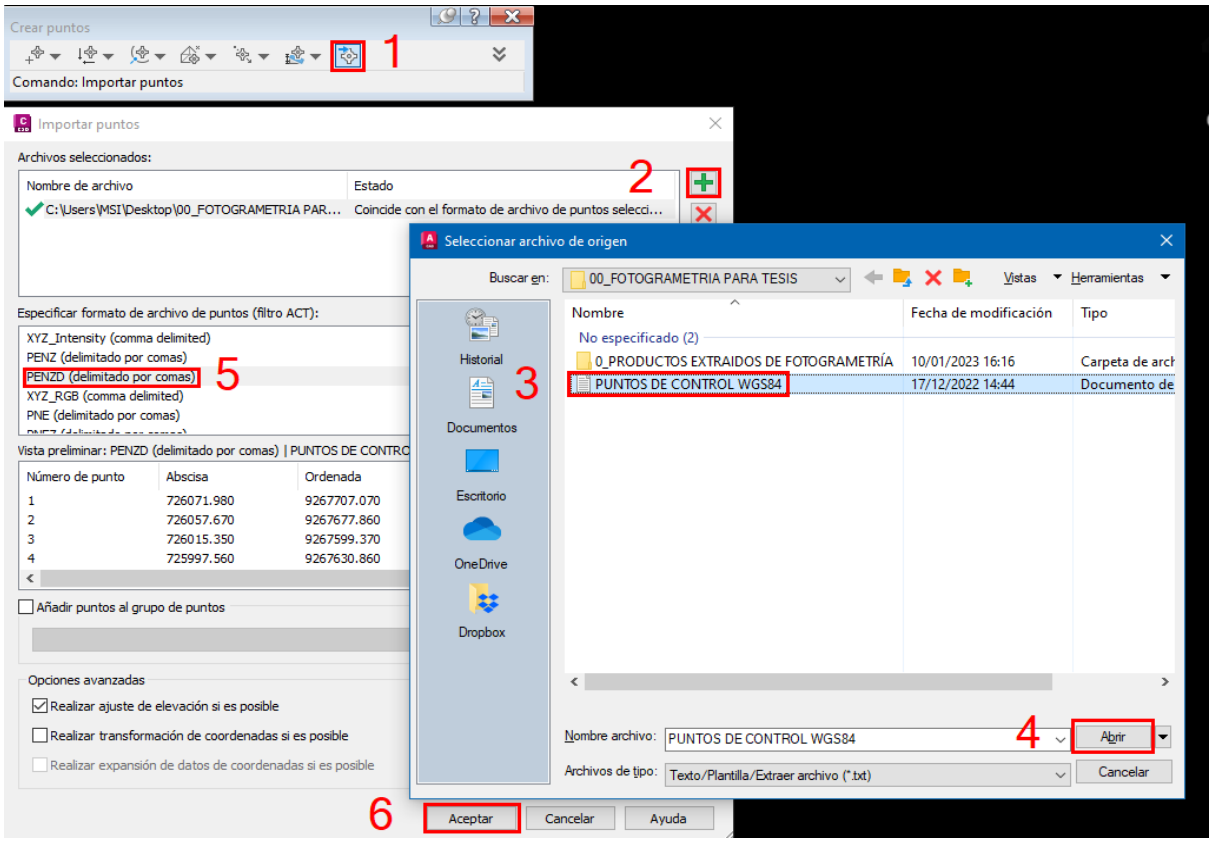


Figura 69

Se inserta el ortomosaico y se revisa los puntos de control

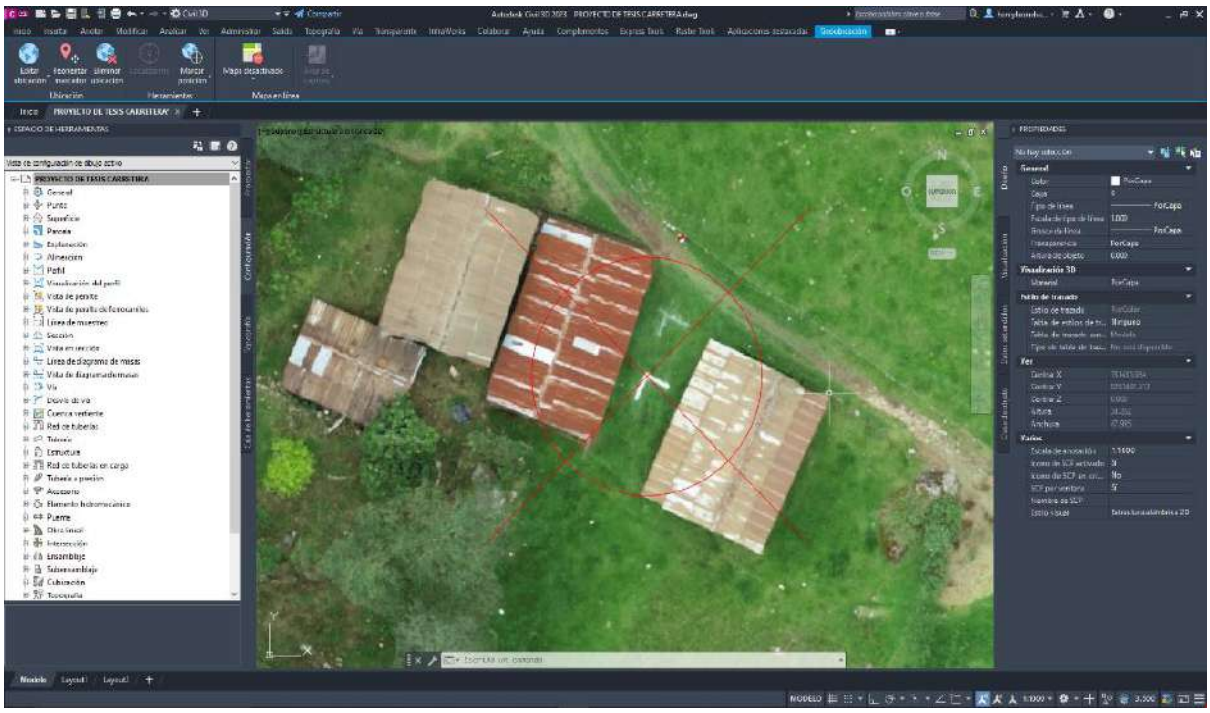


Figura 70

Se importa las curvas generadas con la fotogrametría

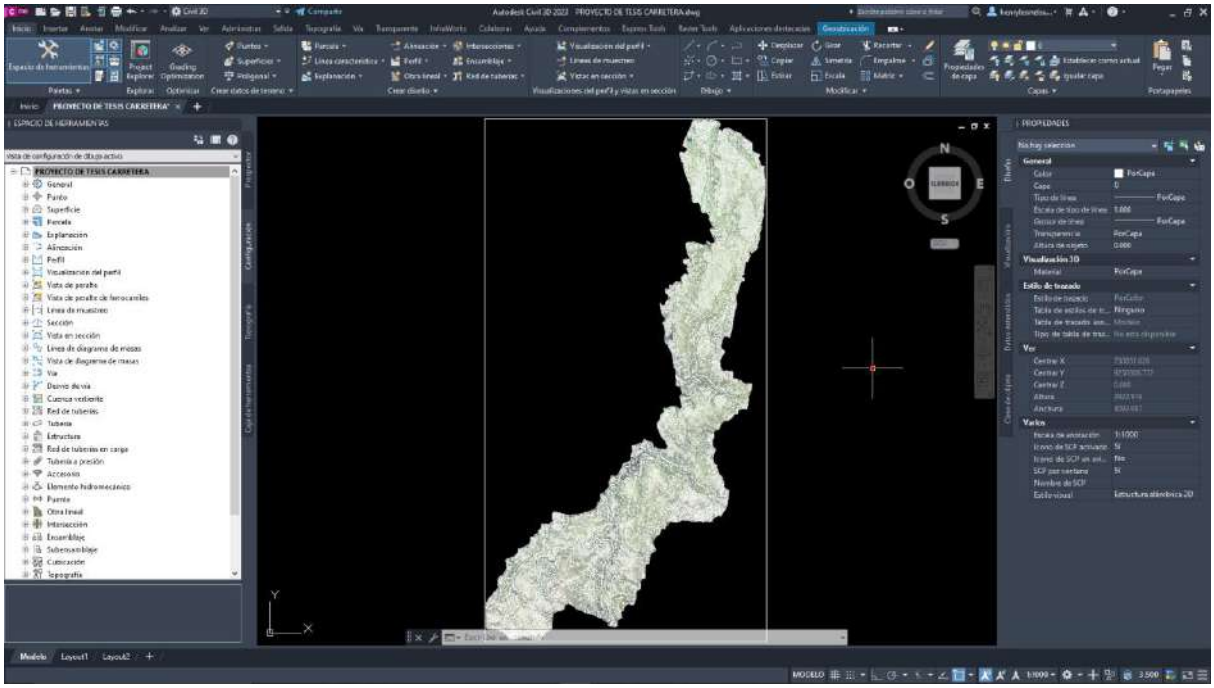
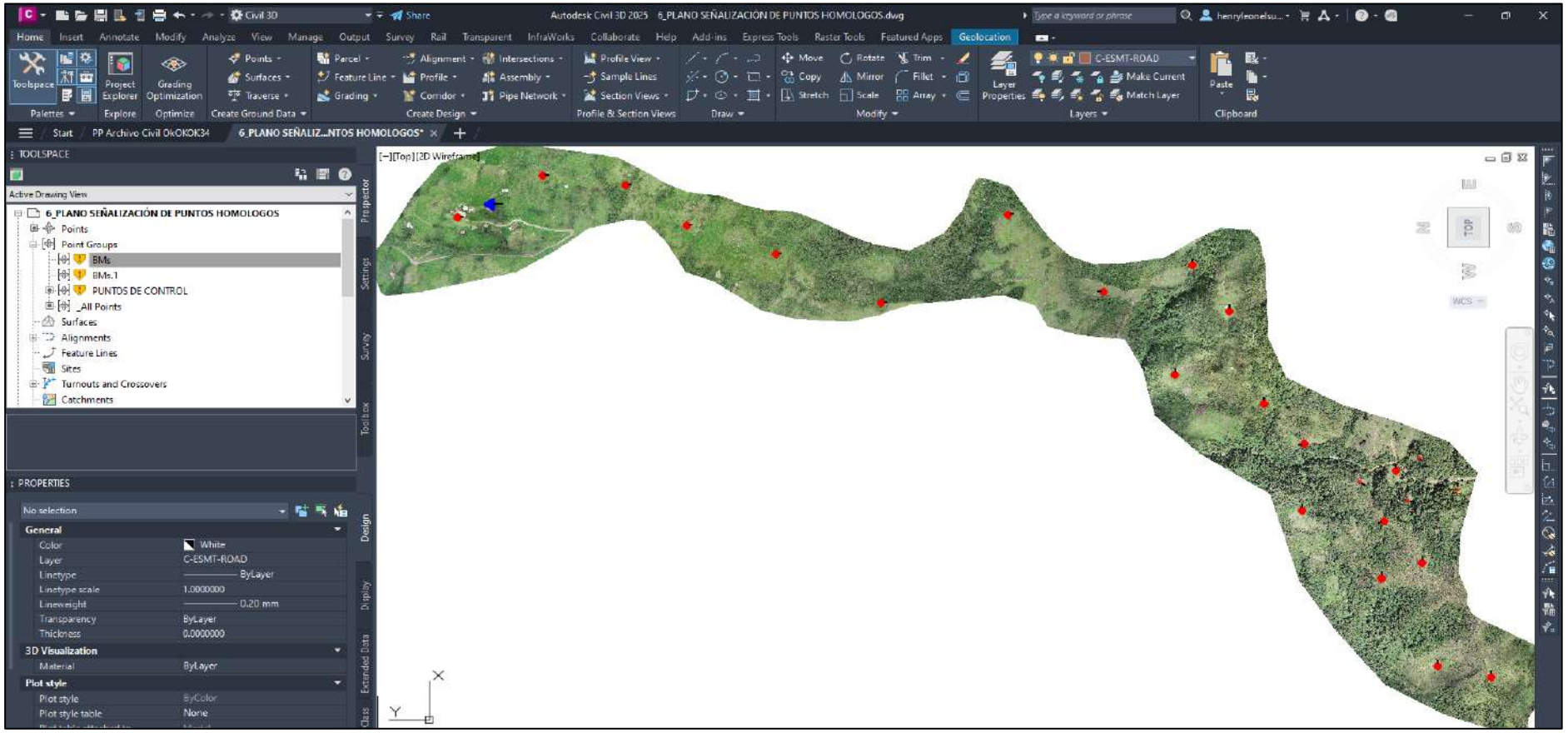


Figura 71

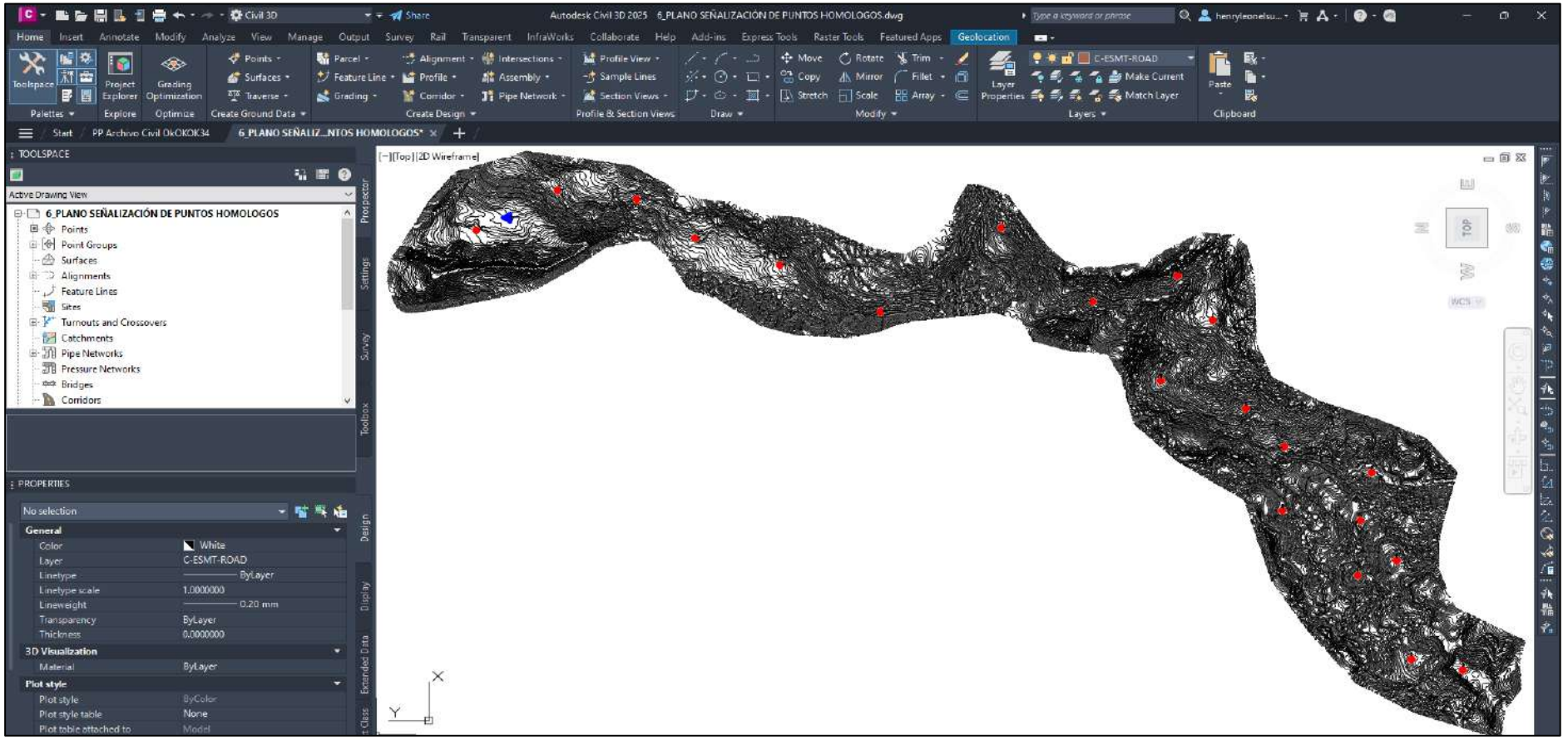
Puntos de evaluación sobrepuestos en el ortomosaico



Nota. Se procedió a señalar los puntos de inspección en la capa del ortomosaico, con el fin de comparar los puntos de evaluación de los BM's respecto a los puntos homólogos levantados en campo, para determinar la precisión en el este y el norte.

Figura 72

Puntos en evaluación sobrepuestos en el ortomosaico



Nota. Se encendió la capa del MDT, con el fin de superponer los puntos de evaluación de los BM's respecto a los puntos homólogos levantados en campo para determinar la precisión en altura.

Tabla 44

Cuadro de coordenadas de los puntos homólogos de BM's y punto geodésico generados mediante el ortomosaico y el MDT.

N°	ESTE (X)	NORTE (Y)	COTA (Z)	DESCRIPCIÓN
1	731 403,1420	9 251 560,5630	2 616,5683	BM-1
2	731 506,8964	9 251 357,9526	2 636,4993	BM-2
3	731 483,1370	9 251 160,8430	2 637,8392	BM-3
4	731 382,7190	9 251 015,2629	2 635,8096	BM-4
5	731 312,4270	9 250 803,6080	2 640,7540	BM-5
6	731 190,9255	9 250 553,5468	2 658,7543	BM-6
7	731 409,8200	9 250 251,9180	2 687,6229	BM-7
8	731 218,0830	9 250 024,6890	2 685,1405	BM-8
9	731 285,0007	9 249 812,9084	2 697,6857	BM-9
10	731 169,8200	9 249 725,5000	2 703,8175	BM-10
11	731 011,8941	9 249 854,8954	2 675,9359	BM-11
12	730 939,7990	9 249 643,1090	2 676,9541	BM-12
13	730 840,3718	9 249 547,2232	2 660,5208	BM-13
14	730 673,9507	9 249 552,3380	2 663,6255	BM-14
15	730 773,4640	9 249 329,3630	2 646,5922	BM-15
16	730 647,9100	9 249 357,5740	2 680,6816	BM-16
17	730 505,5880	9 249 363,6843	2 693,0253	BM-17
18	730 544,2223	9 249 267,2394	2 712,3345	BM-18
19	730 287,5099	9 249 230,2204	2 709,6467	BM-19
20	730 260,0410	9 249 102,5510	2 746,8782	BM-20
21	731 435,6060	9 251 482,1680	2 622,5519	PG - ORDEN C

Posterior al trabajo de gabinete, y definido el eje de acuerdo a la topografía, normativas de diseño geométrico y la ingeniería de detalle en el programa CIVIL 3D, se procede al trazo del eje de carretera en campo, para ello se adquirió los materiales y equipos necesarios.

Figura 73

Preparación del equipo de trabajo para trazar el eje de carretera con GPS diferencial

Figura 74

Trazo del eje de carretera con GPS diferencial en zonas boscosas

Tabla 45

Cronograma para el trabajo de campo y gabinete usando la metodología BIM

DESCRIPCIÓN	DÍAS	PEÓN
Trabajo de gabinete para determinar el eje probable en InfraWorks 360, trazar el área de influencia y planificar del levantamiento en campo	1	0
Marcado y señalización del punto geodésico, los BM's y los puntos de control.	1	2
Levantamiento fotogramétrico de toda el área planificada y levantamiento con equipo GNSS del punto geodésico, los BM's y los puntos de control.	1	2
Trabajo de gabinete para procesamiento del levantamiento fotogramétrico enlazado a los puntos de control georreferenciados en campo.	1	0
Levantamiento topográfico de áreas de extensa vegetación con estación total	2	8
Procesamiento de la información en civil 3D	2	0
Trazo del eje de carretera con GPS diferencial de acuerdo al plano determinado en la ingeniería de detalle	2	4
TOTAL	**10**	**16**

Tabla 46

Presupuesto para trazar el eje de carretera con metodología BIM

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT. (S/.)	P. PARCIAL (S/.)
Mano de obra no calificada del caserío	Peón	16	50	800,00
Pintura	Bal.	4	25	100,00
Estacas de madera	Und.	400	0,5	200,00
Dron (alquiler)	Glb.	1	200	200,00
Estación total (alquiler)	Glb.	2	150	300,00
GPS diferencial (alquiler)	Glb.	3	400	1 200,00
COSTO TOTAL				**2 800,00**

5.3.7. Procesamiento de datos e interoperabilidad en los softwares BIM

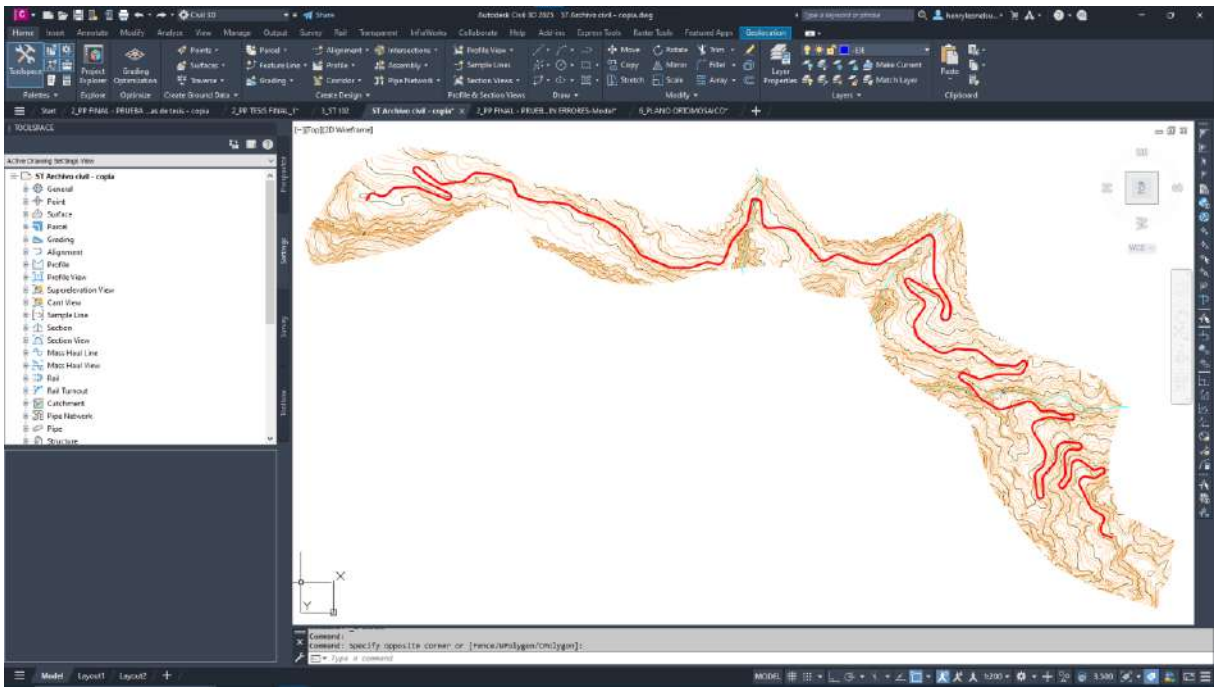
5.3.7.1. Diseño Geométrico de la Vía en Civil 3D

Para el diseño de la carretera de esta investigación se consideró los criterios del MDGCNPBVT, y en menor medida el DG-2018 publicadas por el MTC.

Las curvas de nivel se obtuvieron del procesamiento de la fotogrametría, con equidistancias de 0,50 m.

Figura 75

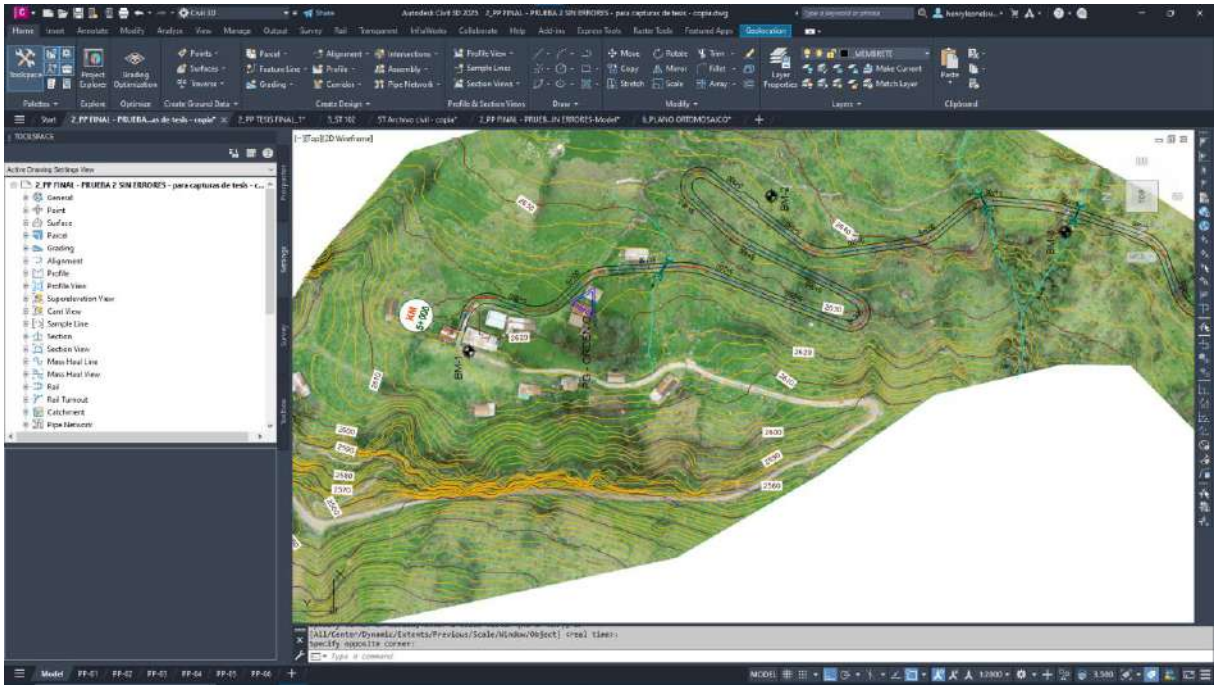
Alineamiento horizontal del eje de la carretera con curvas de desnivel a 0,50 m



Nota. Adaptado del programa Civil 3D

Figura 76

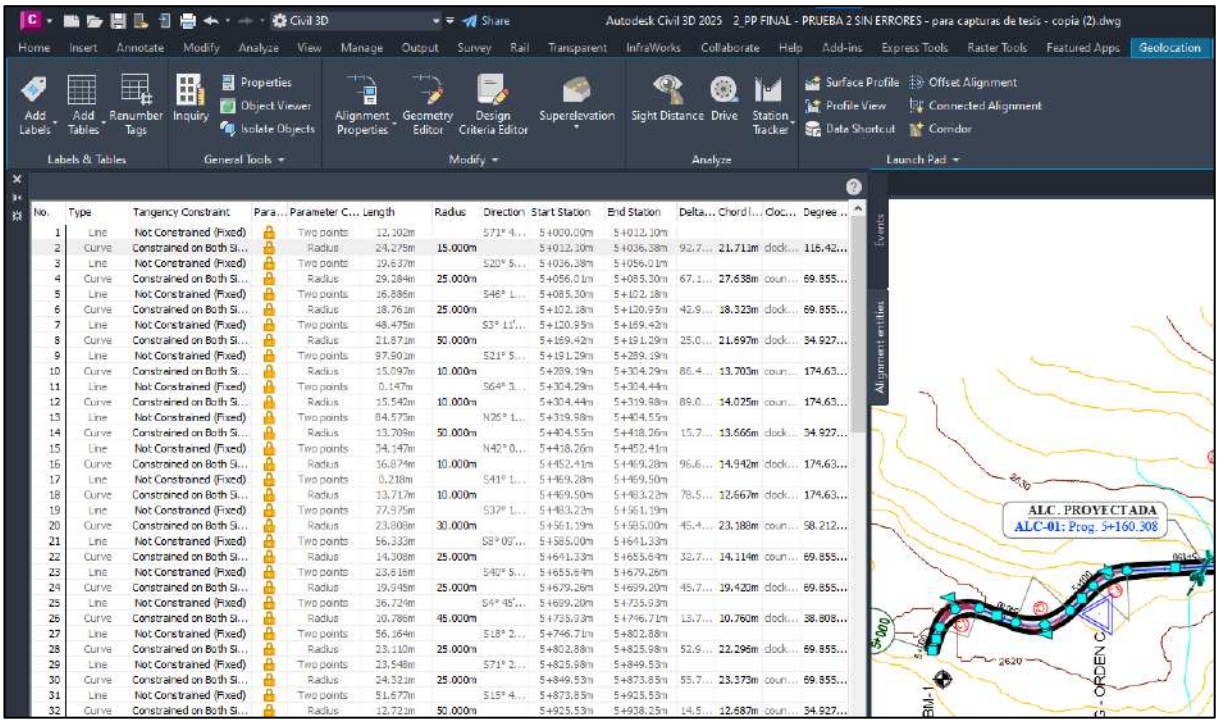
Alineamiento horizontal en ortofoto



Nota. Adaptado del programa Civil 3D

Figura 77

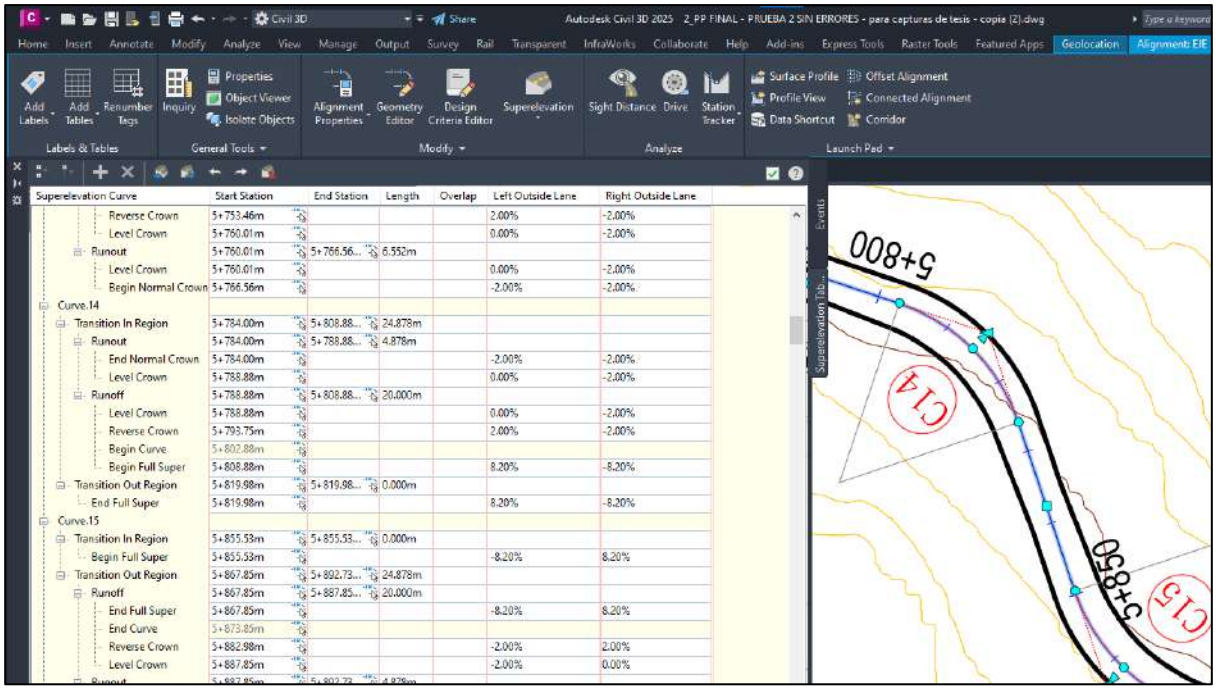
Alineamiento horizontal con cuadro de radios y verificación de tangentes



Nota. Adaptado del programa Civil 3D

Figura 78

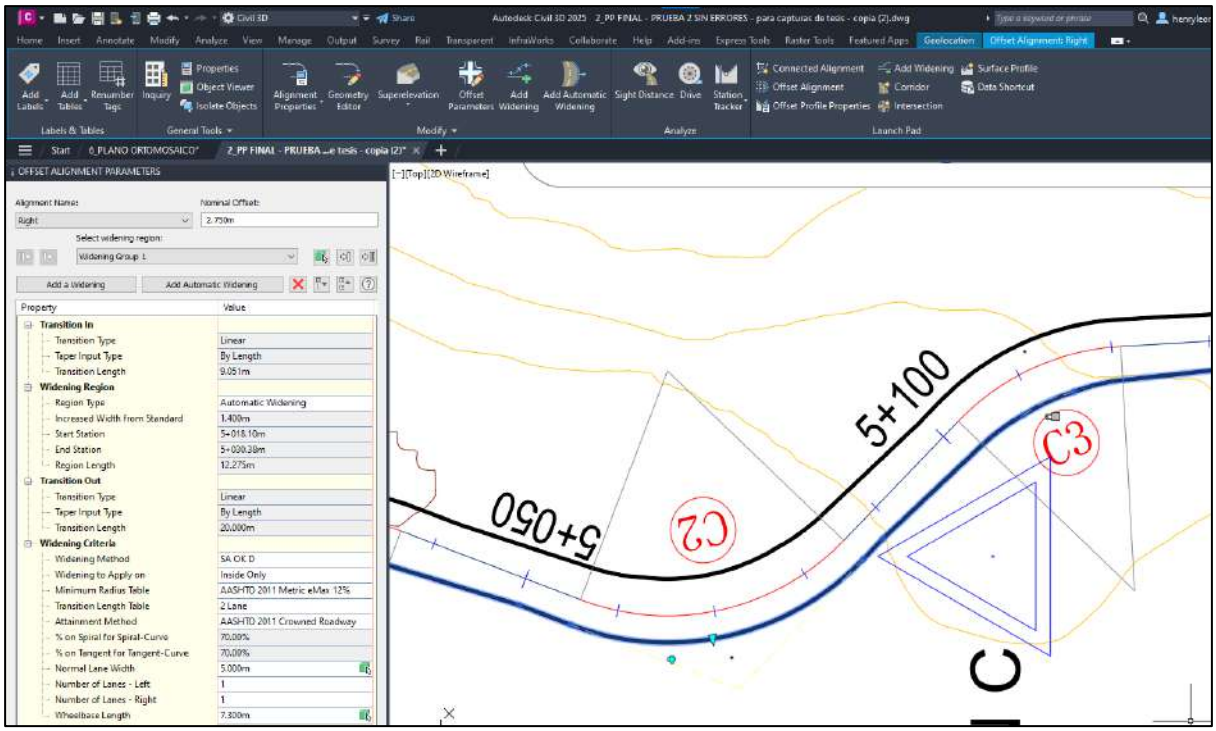
Cuadro de peraltes



Nota. Adaptado del programa Civil 3D

Figura 79

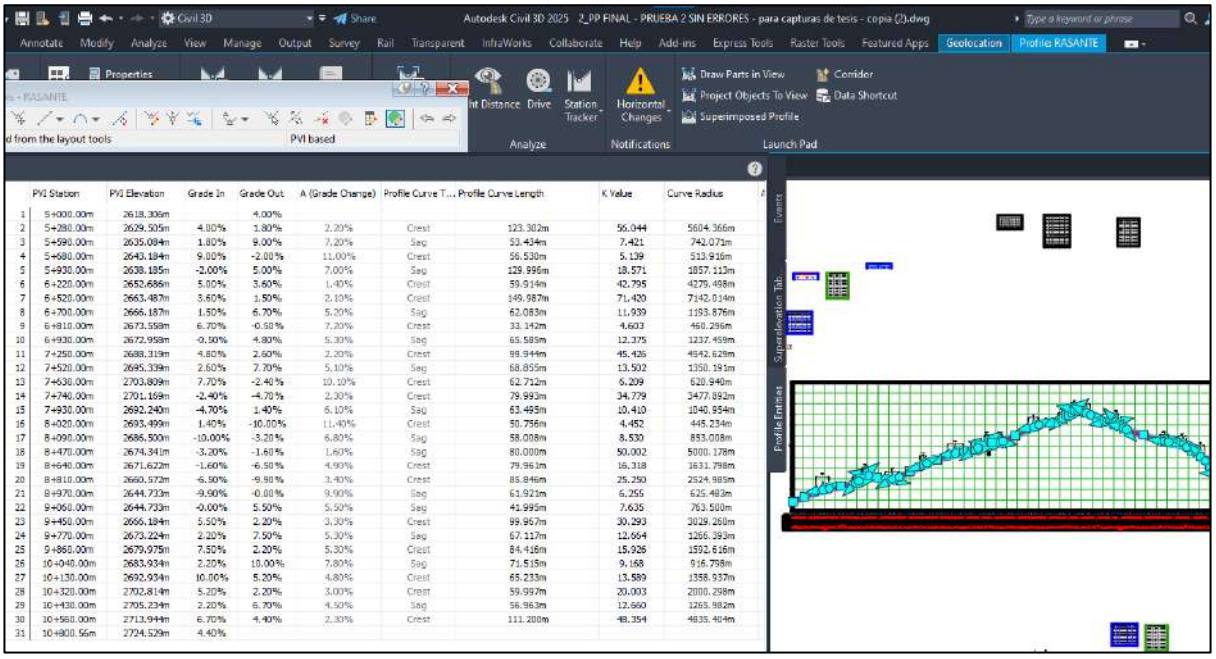
Creación de sobreanchos según DG-2018



Nota. Adaptado del programa Civil 3D

Figura 80

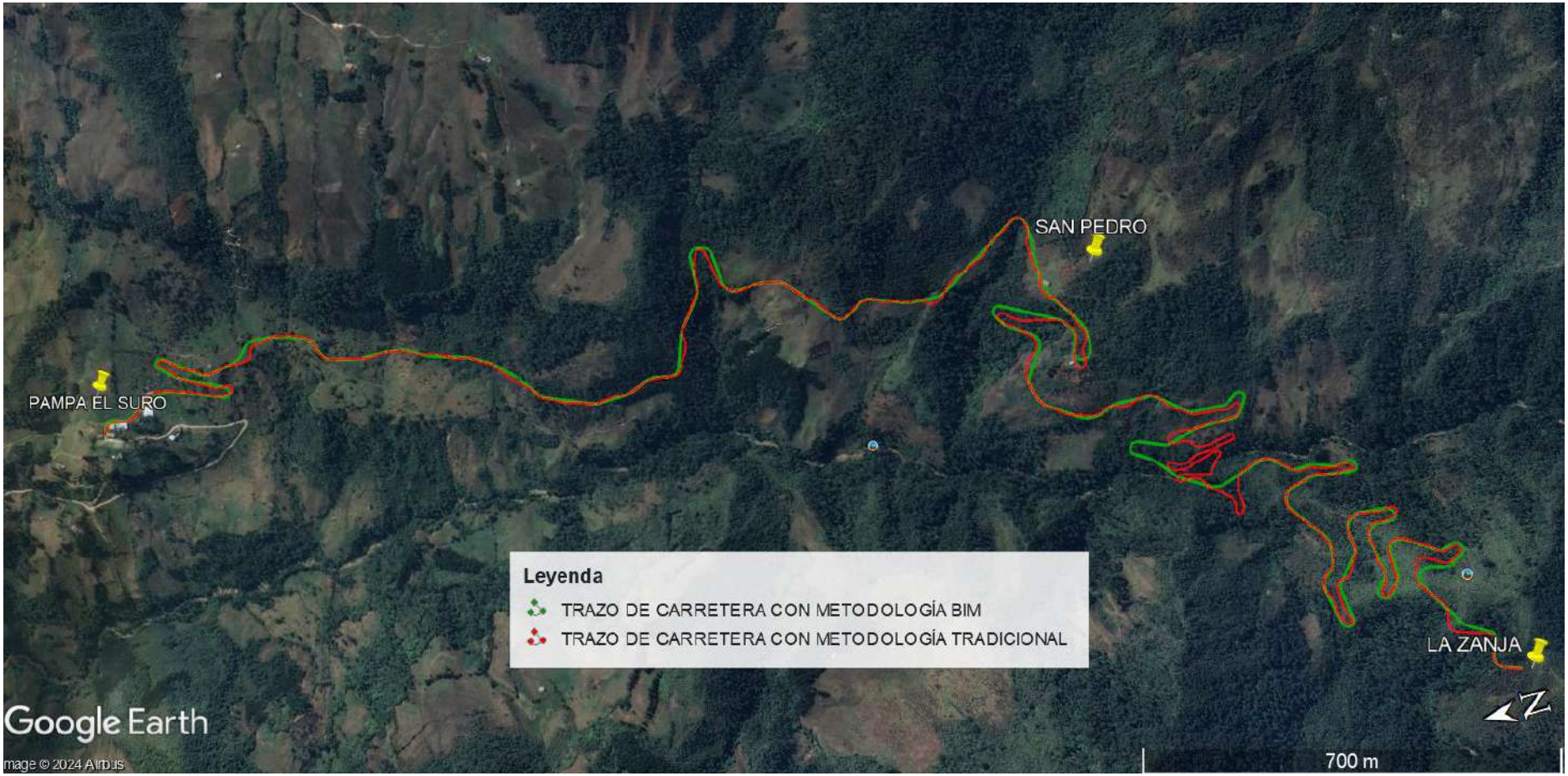
Rasante con su cuadro de parámetros de diseño según DG -2018



Nota. Adaptado del programa Civil 3D

Figura 81

Comparación de vías proyectadas con metodología tradicional y metodología BIM



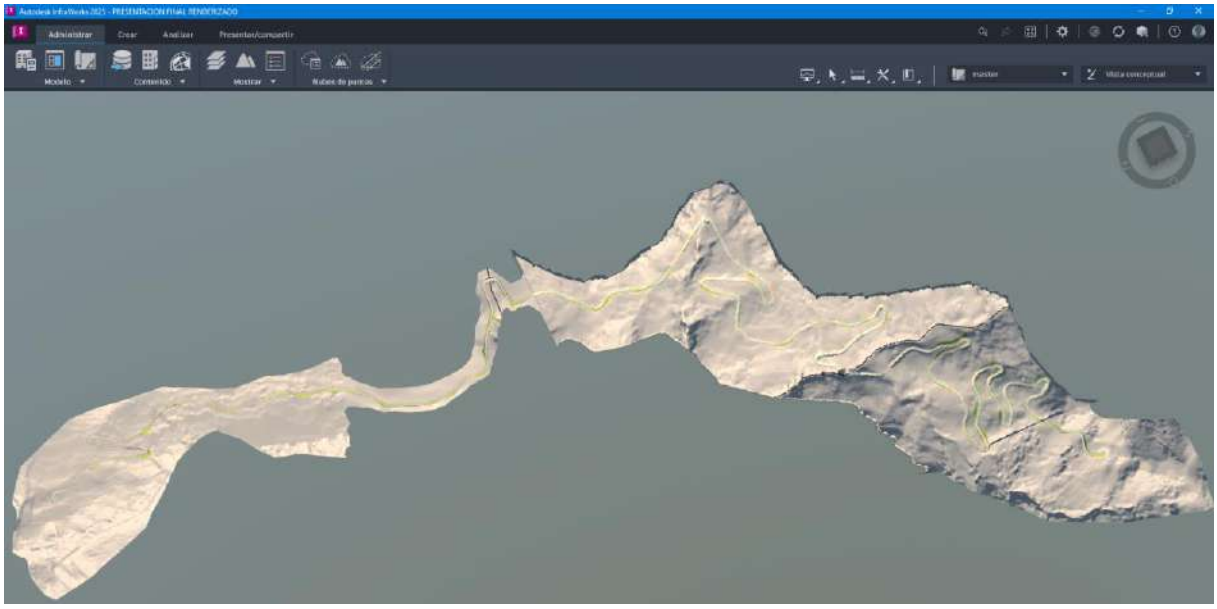
Nota. Adaptado de Google Earth.

5.3.7.2. Modelamiento en InfraWorks 360

La plataforma de diseño e ingeniería InfraWorks 360 emerge como una herramienta tecnológica revolucionaria que permite a profesionales e investigadores construir representaciones geográficas digitales con una precisión extraordinaria, mediante un avanzado generador de modelos capaz de reproducir superficies topográficas con un nivel de detalle sorprendente. Para los académicos e investigadores interesados en aprovechar todas las capacidades de este software especializado, existe una estrategia eficiente que minimiza las barreras económicas: la obtención de una licencia estudiantil a través de Autodesk. Esta modalidad de acceso no solo elimina los elevados costos asociados con las versiones comerciales del programa, sino que también brinda una oportunidad única de explorar y dominar una herramienta de vanguardia en proyectos de modelado urbano y territorial, permitiendo a los usuarios crear entornos virtuales realistas con ninguna inversión económica y obteniendo el máximo potencial de desarrollo profesional.

Figura 82

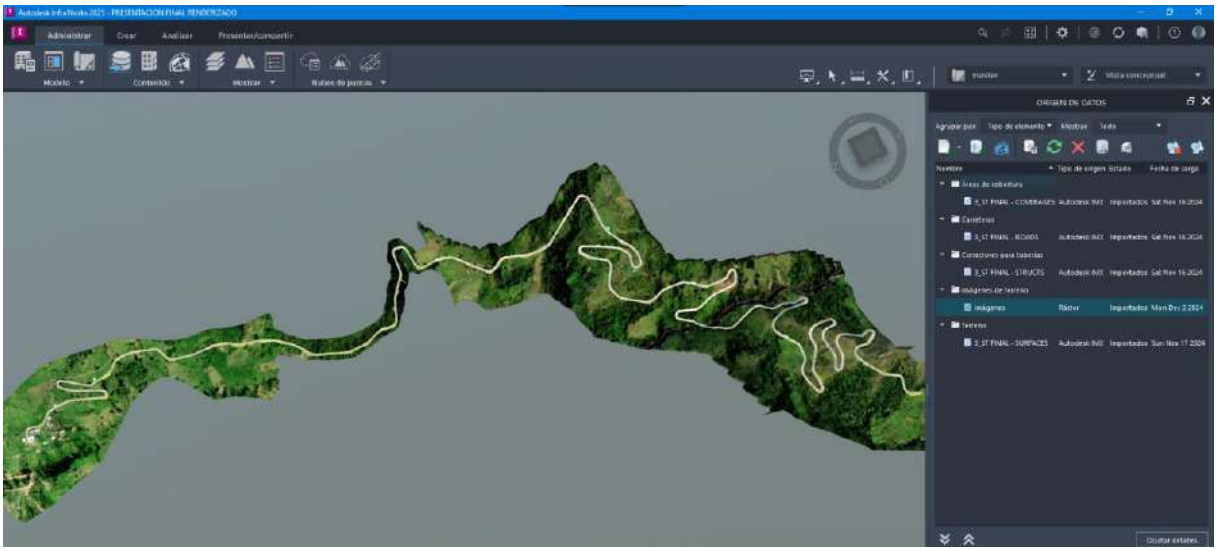
Creación de la superficie en InfraWorks 360



Nota. Adaptado del programa InfraWorks 360, donde se importó la superficie georreferenciada del Civil 3D, que fue generada mediante curvas de nivel obtenidos de la fotogrametría.

Figura 83

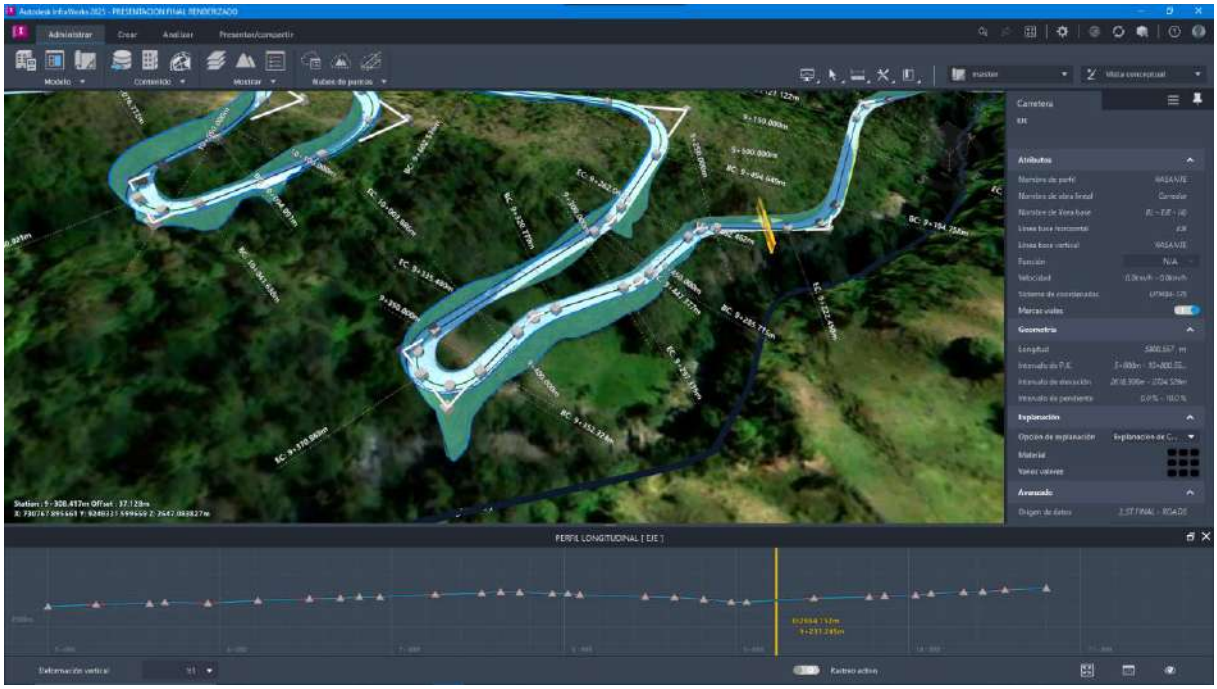
Renderización de la superficie en InfraWorks 360



Nota. Adaptado del programa InfraWorks 360. A partir de imágenes satelitales se renderiza la superficie del terreno y se importa los elementos de la vía creada en Civil 3D para renderizar y darle un acabado de realidad virtual al proyecto vial.

Figura 84

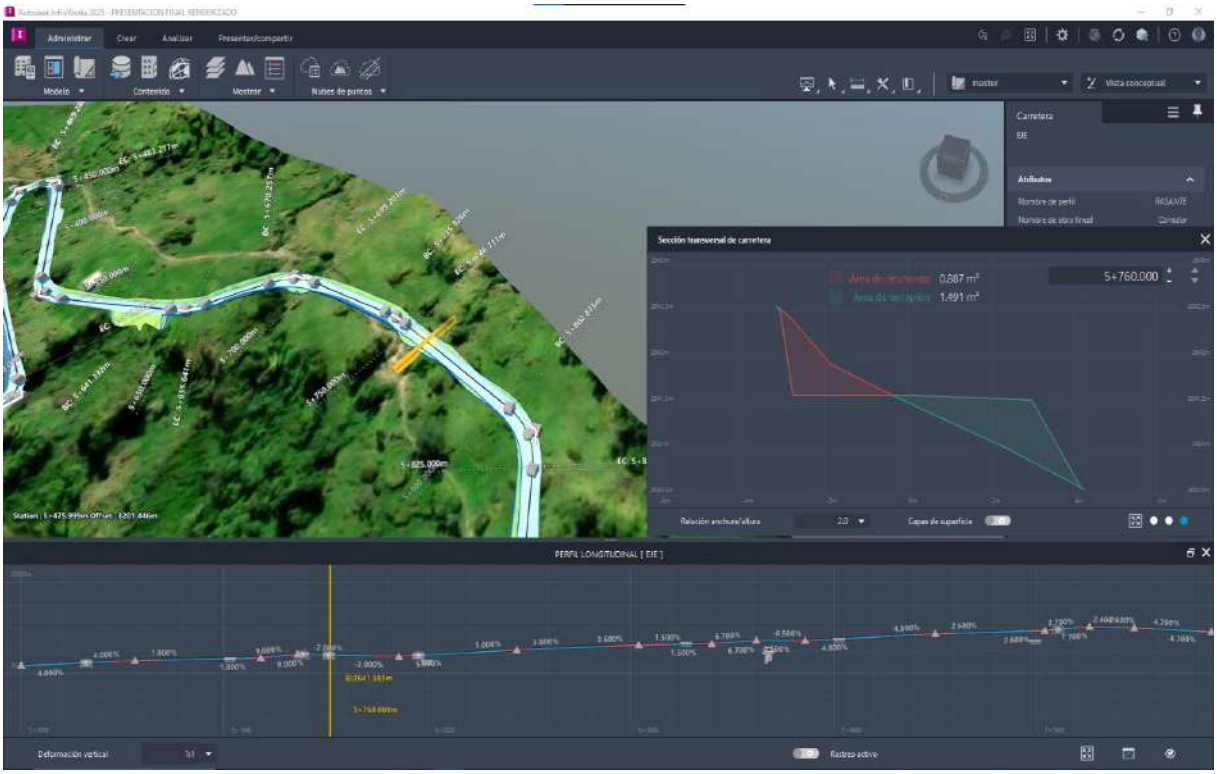
Visualización de los elementos en una curva de volteo



Nota. Adaptado del programa InfraWorks 360.

Figura 85

Visualización de una sección de corte y relleno de la vía



Nota. Adaptado del programa InfraWorks 360.

5.4. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados

5.4.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

La presente investigación es de diseño “descriptivo”: debido a que se desarrollan las características del diseño geométrico de un camino vecinal, a través de la implementación de la metodología BIM.

El nivel de alcance de la presente investigación es del tipo “explicativa”: debido a que busca determinar: ¿por qué o cómo la implementación de la metodología BIM mejora el diseño geométrico de un camino vecinal?

La investigación es del tipo “no experimental”; con un diseño “transversal”, ya que toma solo un periodo consecutivo de estudio y diseño: abril de 2022 a julio de 2024, para la presente investigación.

El método de la investigación es “cuantitativo”: ya que se realizó un procesamiento de datos cuantitativos, a través de software Infraworks 360 y Civil 3D.

Figura 86

Metodología de la investigación

Tipo de la investigación	Nivel de alcance de la investigación	Diseño de la investigación
•No experimental	•Explicativa	•Descriptiva

5.4.2. Población de estudio

Corresponde a todo el tramo vial de 10,800.56 m de longitud, del camino vecinal que unirá las comunidades: Pampa El Suro, San Pedro y La Zanja, en el distrito de Pulán.

5.4.3. Muestra

Se ha optado por emplear un tramo vial de 5,800.56 m, cuya elección ha partido de un muestreo no probabilístico intencional o dirigido.

5.4.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis para la presente investigación es “el diseño geométrico”, enfocándose en el estudio de cada uno de los parámetros de diseño que involucra la norma DG-2018, así como todo el soporte que brindan los softwares BIM.

5.4.5. Unidad de observación

La unidad de observación para la presente investigación es “el tramo vial vecinal de 5,801 km”.

5.5. Clasificación De La Carretera

5.5.1. Clasificación por demanda

Según el manual de carreteras DG (2018) se clasifica como Trocha Carrozable.

5.5.2. Clasificación por orografía

Según la DG (2018) se clasifica como Terreno accidentado - Tipo 3.

5.5.3. Clasificación por su función

Según el MDCNPBVT es una carretera de la red vial vecinal o rural.

5.5.4. Clasificación por la relación entre demanda y características de la carretera

Según la *tabla 6* es una carretera de bajo volumen de tránsito: T2.

5.6. Parámetros de diseño geométrico del tramo en estudio

Tabla 47

Parámetros generales del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja

Parámetros generales de la vía	
Longitud total de vía	5+800,560 Km.
Altitud mínima	2618,31 msnm
Altitud máxima	2724,60 msnm
Velocidad de Diseño	20 km/h
IMD Anual	61 veh/día
Bombeo	2%
Vehículo de diseño	C2
Distancia entre eje posterior y parte frontal del vehículo de diseño	7,32 m

Tabla 48

Parámetros para el diseño en planta

Parámetros para el diseño geométrico preliminar en Planta	
Número de curvas circulares	97
Radio máximo	80,00 m
Radio mínimo	10,00 m
Peralte máximo	12,00%
Peralte mínimo	1,25%
Sobre ancho máximo	2,00 m
Sobre ancho mínimo	0,50 m

Tabla 49

Diseño de perfil longitudinal

Diseño de perfil longitudinal de la vía	
Pendiente máxima	10,00 %
Pendiente mínima	0,00 %

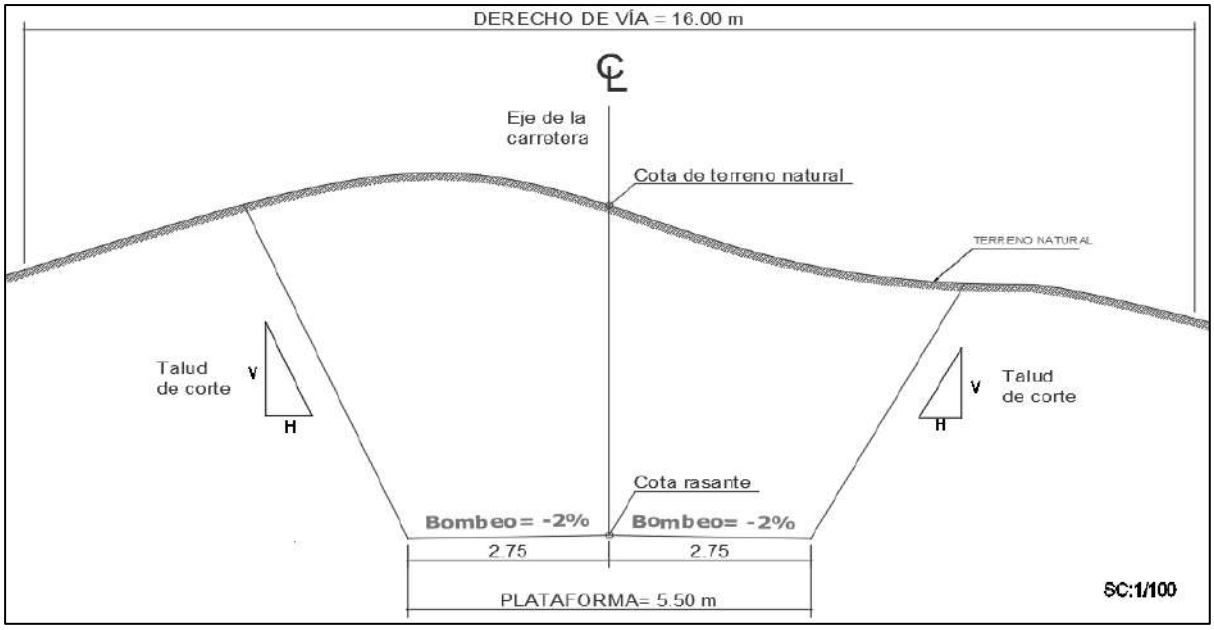
Tabla 50

Diseño de la sección transversal

Diseño de la sección transversal de la vía	
Superficie de rodadura	Terreno natural
Bermas	Carece de bermas
Cunetas	Carece de cunetas
Número de carriles	1
Ancho de calzada	5,50
Velocidad directriz	20 km/h
Radio mínimo	10,00 m
Pendiente máxima	10,00 %
Peraltes y sobre ancho	Acorde al DG-2018
Talud en corte	Material suelto H:V (1:4) Roca suelta H:V (1:5) Roca fija H:V (1:10)
Talud en relleno	H:V (1,25:1)

Figura 87

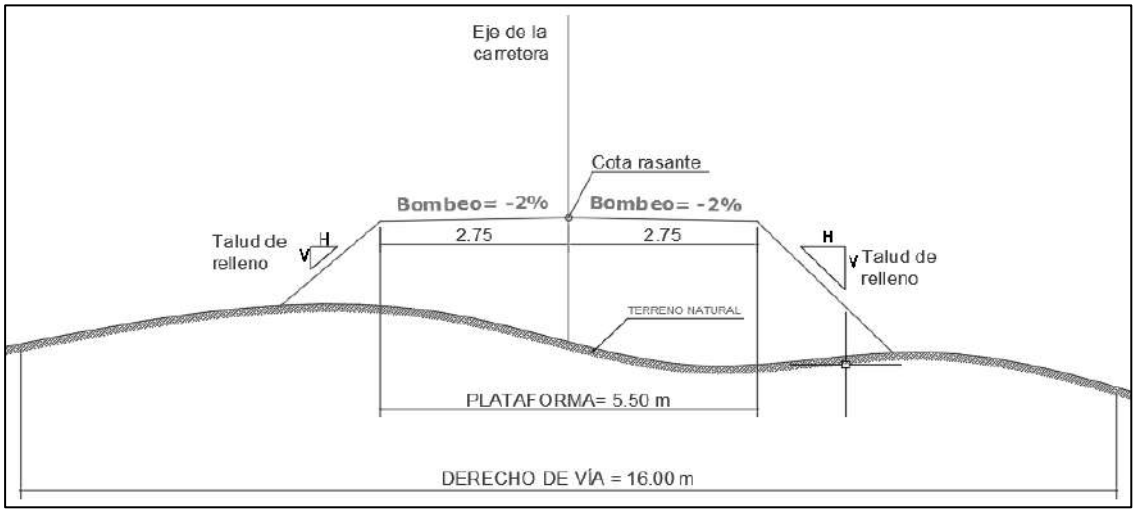
Dimensión de la sección transversal tipo corte



Nota. Adaptado de AutoCad Civil 3D.

Figura 88

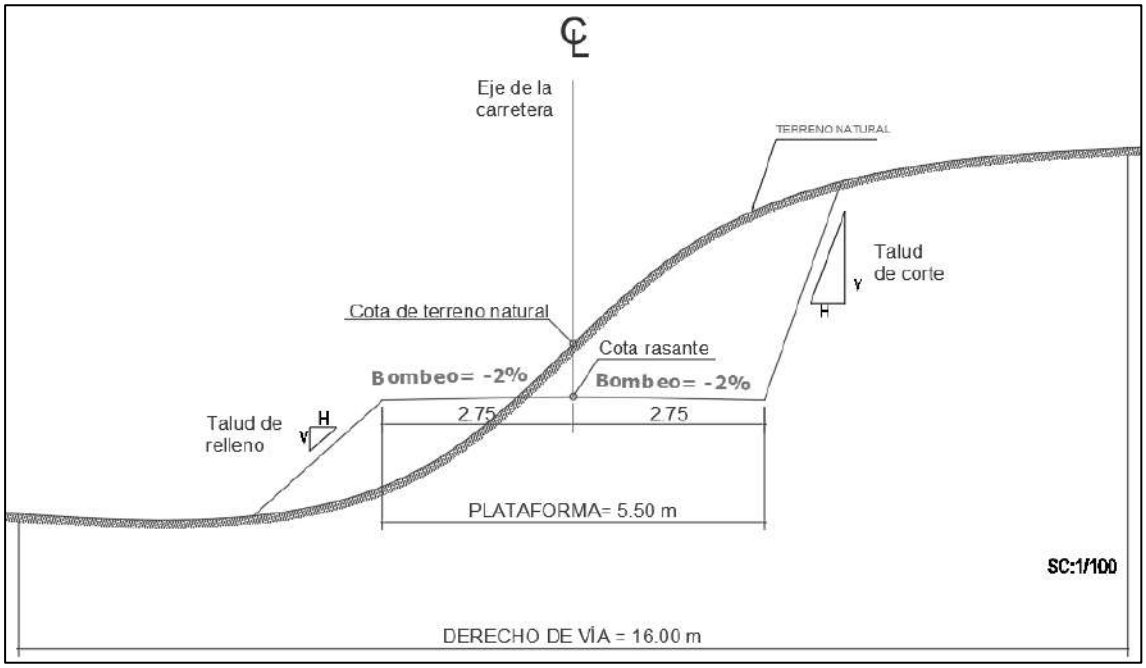
Dimensión de la sección transversal tipo relleno



Nota. Adaptado de AutoCad Civil 3D.

Figura 89

Dimensión de la sección transversal tipo a media ladera



Nota. Adaptado de AutoCad Civil 3D.

5.7. Elementos geométricos de curvas horizontales

Tabla 51

Elementos geométricos en curvas horizontales del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología tradicional

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-1	D	25	28,394	26,892	3,924	65°04'26"	4,654	15,949	9,30%	1,10	Ok
C-2	I	25	21,146	20,521	2,203	48°27'48"	2,415	11,252	9,30%	1,10	Ok
C-3	D	25	17,207	16,870	1,466	39°26'10"	1,557	8,960	9,30%	1,10	Ok
C-4	D	25	5,217	5,208	0,136	11°57'27"	0,137	2,618	9,30%	1,10	Ok
C-5	D	50	2,945	2,944	0,022	3°22'28"	0,022	1,473	6,50%	0,70	Ok
C-6	I	25	11,317	11,221	0,638	25°56'15"	0,654	5,757	9,30%	1,10	Ok
C-7	I	8	23,022	14,990	7,230	175°52'37"	200,992	208,357	12,00%	2,70	**NC**
C-8	D	35	17,796	17,605	1,125	29°07'58"	1,162	9,095	8,20%	0,90	Ok
C-9	D	25	11,885	11,774	0,703	27°14'21"	0,723	6,057	9,30%	1,10	Ok
C-10	I	25	12,558	12,426	0,784	28°46'47"	0,810	6,414	9,30%	1,10	Ok
C-11	D	7	20,563	13,927	6,287	168°18'47"	61,755	68,398	12,00%	2,80	**NC**
C-12	D	25	13,730	13,558	0,937	31°28'04"	0,973	7,043	9,30%	1,10	Ok
C-13	I	25	10,836	10,751	0,585	24°50'04"	0,599	5,504	9,30%	1,10	Ok
C-14	D	25	8,595	8,553	0,368	19°41'55"	0,374	4,340	9,30%	1,10	Ok
C-15	I	25	18,647	18,218	1,719	42°44'09"	1,845	9,781	9,30%	1,10	Ok
C-16	I	25	6,006	5,992	0,180	13°45'55"	0,181	3,018	9,30%	1,10	Ok
C-17	D	25	9,568	9,510	0,456	21°55'44"	0,465	4,843	9,30%	1,10	Ok
C-18	I	30	4,655	4,651	0,090	8°53'27"	0,091	2,332	8,80%	1,00	Ok
C-19	I	15	16,926	16,042	2,325	64°39'05"	2,751	9,492	10,40%	1,50	Ok
C-20	D	15	18,270	17,161	2,697	69°47'07"	3,288	10,461	10,40%	1,50	Ok
C-21	I	35	13,098	13,022	0,611	21°26'32"	0,622	6,627	8,20%	0,90	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-22	D	25	13,694	13,524	0,932	31°23'05"	0,968	7,024	9,30%	1,10	Ok
C-23	D	70	11,763	11,749	0,247	9°37'42"	0,248	5,895	5,00%	0,60	Ok
C-24	D	25	21,010	20,397	2,175	48°09'03"	2,382	11,170	9,30%	1,10	Ok
C-25	I	25	25,511	24,418	3,184	58°27'59"	3,649	13,991	9,30%	1,10	Ok
C-26	I	50	19,706	19,579	0,968	22°34'53"	0,987	9,983	6,50%	0,70	Ok
C-27	D	50	17,942	17,846	0,803	20°33'36"	0,816	9,069	6,50%	0,70	Ok
C-28	D	45	21,338	21,139	1,259	27°10'08"	1,295	10,874	7,10%	0,80	Ok
C-29	I	25	14,660	14,451	1,067	33°35'53"	1,114	7,547	9,30%	1,10	Ok
C-30	D	25	10,317	10,244	0,530	23°38'41"	0,542	5,233	9,30%	1,10	Ok
C-31	I	25	8,042	8,007	0,323	18°25'52"	0,327	4,056	9,30%	1,10	Ok
C-32	D	25	11,133	11,041	0,617	25°30'56"	0,633	5,660	9,30%	1,10	Ok
C-33	I	60	8,042	8,036	0,135	7°40'45"	0,135	4,027	5,50%	0,60	Ok
C-34	D	25	12,157	12,037	0,735	27°51'40"	0,758	6,201	9,30%	1,10	Ok
C-35	I	60	8,334	8,327	0,145	7°57'30"	0,145	4,174	5,50%	0,60	Ok
C-36	I	35	4,719	4,715	0,079	7°43'29"	0,080	2,363	8,20%	0,90	Ok
C-37	D	18	10,516	10,367	0,762	33°28'20"	0,796	5,413	10,00%	1,30	Ok
C-38	I	20	18,339	17,703	2,065	52°32'13"	2,303	9,871	9,85%	1,20	Ok
C-39	D	30	6,098	6,088	0,155	11°38'48"	0,156	3,060	8,80%	1,00	Ok
C-40	I	25	7,339	7,313	0,269	16°49'13"	0,272	3,696	9,30%	1,10	Ok
C-41	D	30	2,160	2,160	0,019	4°07'34"	0,019	1,081	8,80%	1,00	Ok
C-42	I	25	11,322	11,225	0,638	25°56'52"	0,655	5,760	9,30%	1,10	Ok
C-43	D	25	7,002	6,979	0,245	16°02'50"	0,247	3,524	9,30%	1,10	Ok
C-44	I	25	12,992	12,846	0,839	29°46'31"	0,868	6,646	9,30%	1,10	Ok
C-45	D	25	8,156	8,120	0,332	18°41'31"	0,336	4,115	9,30%	1,10	Ok
C-46	D	25	4,021	4,016	0,081	9°12'52"	0,081	2,015	9,30%	1,10	Ok
C-47	I	20	27,798	25,614	4,638	79°38'09"	6,039	16,674	9,85%	1,20	Ok
C-48	D	25	6,873	6,852	0,236	15°45'08"	0,238	3,458	9,30%	1,10	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-49	I	25	6,021	6,007	0,181	13°48'00"	0,182	3,025	9,30%	1,10	Ok
C-50	I	20	11,910	11,734	0,880	34°07'06"	0,920	6,137	9,85%	1,20	Ok
C-51	D	20	18,211	17,589	2,037	52°10'19"	2,268	9,792	9,85%	1,20	Ok
C-52	I	60	3,168	3,168	0,021	3°01'31"	0,021	1,584	5,50%	0,60	Ok
C-53	D	25	1,300	1,300	0,008	2°58'47"	0,008	0,650	9,30%	1,10	Ok
C-54	I	25	19,274	18,800	1,834	44°10'18"	1,980	10,144	9,30%	1,10	Ok
C-55	D	25	10,692	10,611	0,569	24°30'15"	0,583	5,429	9,30%	1,10	Ok
C-56	D	40	5,248	5,244	0,086	7°31'01"	0,086	2,628	7,65%	0,80	Ok
C-57	D	9	22,687	17,140	6,251	144°25'46"	20,465	28,056	12,00%	2,20	**NC**
C-58	I	25	4,657	4,650	0,108	10°40'21"	0,109	2,335	9,30%	1,10	Ok
C-59	I	25	15,837	15,574	1,244	36°17'45"	1,309	8,194	9,30%	1,10	Ok
C-60	I	25	18,046	17,657	1,611	41°21'28"	1,722	9,436	9,30%	1,10	Ok
C-61	D	55	22,745	22,583	1,172	23°41'40"	1,197	11,537	6,10%	0,70	Ok
C-62	D	25	15,051	14,825	1,124	34°29'39"	1,177	7,761	9,30%	1,10	Ok
C-63	I	25	5,738	5,726	0,164	13°09'03"	0,166	2,882	9,30%	1,10	Ok
C-64	D	30	7,848	7,826	0,256	14°59'19"	0,258	3,947	8,80%	1,00	Ok
C-65	I	20	29,710	27,053	5,268	85°06'46"	7,151	18,363	9,85%	1,20	Ok
C-66	D	25	13,852	13,676	0,953	31°44'48"	0,991	7,109	9,30%	1,10	Ok
C-67	D	25	15,499	15,252	1,191	35°31'13"	1,251	8,007	9,30%	1,10	Ok
C-68	I	25	12,072	11,955	0,725	27°40'01"	0,747	6,156	9,30%	1,10	Ok
C-69	D	25	8,280	8,243	0,342	18°58'38"	0,347	4,178	9,30%	1,10	Ok
C-70	I	25	14,157	13,968	0,995	32°26'42"	1,037	7,274	9,30%	1,10	Ok
C-71	D	20	18,417	17,773	2,083	52°45'37"	2,325	9,919	9,85%	1,20	Ok
C-72	I	10	10,036	9,620	1,233	57°30'00"	1,406	5,486	12,00%	2,00	Ok
C-73	I	25	18,515	18,095	1,694	42°25'58"	1,818	9,705	9,30%	1,10	Ok
C-74	D	25	7,602	7,572	0,288	17°25'18"	0,292	3,830	9,30%	1,10	Ok
C-75	D	25	8,986	8,938	0,403	20°35'43"	0,409	4,542	9,30%	1,10	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-76	I	25	3,943	3,939	0,078	9°02'16"	0,078	1,976	9,30%	1,10	Ok
C-77	I	25	13,583	13,416	0,917	31°07'46"	0,952	6,964	9,30%	1,10	Ok
C-78	D	25	17,286	16,944	1,479	39°37'02"	1,572	9,005	9,30%	1,10	Ok
C-79	I	25	10,084	10,015	0,507	23°06'36"	0,517	5,111	9,30%	1,10	Ok
C-80	D	25	2,945	2,943	0,043	6°44'57"	0,043	1,474	9,30%	1,10	Ok
C-81	D	10	14,876	13,542	2,641	85°13'59"	3,589	9,201	12,00%	2,00	Ok
C-82	D	25	19,837	19,321	1,942	45°27'46"	2,105	10,474	9,30%	1,10	Ok
C-83	D	25	7,760	7,729	0,300	17°47'04"	0,304	3,911	9,30%	1,10	Ok
C-84	I	20	11,973	11,795	0,889	34°17'57"	0,931	6,172	9,85%	1,20	Ok
C-85	D	25	5,353	5,343	0,143	12°16'04"	0,144	2,687	9,30%	1,10	Ok
C-86	I	25	10,614	10,535	0,561	24°19'33"	0,574	5,388	9,30%	1,10	Ok
C-87	D	25	13,816	13,641	0,948	31°39'53"	0,986	7,090	9,30%	1,10	Ok
C-88	I	25	30,286	28,468	4,448	69°24'41"	5,410	17,314	9,30%	1,10	Ok
C-89	D	15	10,267	10,068	0,870	39°13'02"	0,923	5,344	10,40%	1,50	Ok
C-90	I	20	12,030	11,849	0,898	34°27'46"	0,940	6,203	9,85%	1,20	Ok
C-91	D	12	9,614	9,359	0,950	45°54'18"	1,032	5,082	10,75%	1,70	Ok
C-92	I	30	9,543	9,503	0,379	18°13'32"	0,383	4,812	8,80%	1,00	Ok
C-93	D	20	22,208	21,084	3,004	63°37'12"	3,535	12,405	9,85%	1,20	Ok
C-94	I	20	15,164	14,804	1,420	43°26'32"	1,529	7,968	9,85%	1,20	Ok
C-95	I	9	25,817	17,833	7,775	164°21'24"	57,133	65,517	12,00%	2,20	**NC**
C-96	D	20	14,890	14,549	1,370	42°39'28"	1,471	7,809	9,85%	1,20	Ok
C-97	I	25	26,196	25,014	3,353	60°02'11"	3,873	14,444	9,30%	1,10	Ok
C-98	I	25	15,123	14,894	1,135	34°39'37"	1,189	7,801	9,30%	1,10	Ok
C-99	I	45	4,605	4,603	0,059	5°51'47"	0,059	2,304	7,10%	0,80	Ok
C-100	D	25	10,877	10,791	0,589	24°55'42"	0,603	5,526	9,30%	1,10	Ok
C-101	D	25	6,103	6,088	0,186	13°59'17"	0,187	3,067	9,30%	1,10	Ok
C-102	D	7	20,497	13,920	6,255	167°46'23"	58,729	65,355	12,00%	2,80	**NC**

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-103	I	20	9,709	9,614	0,586	27°48'52"	0,604	4,952	9,85%	1,20	Ok
C-104	D	25	4,656	4,649	0,108	10°40'16"	0,109	2,335	9,30%	1,10	Ok
C-105	D	20	34,330	30,268	6,925	98°20'52"	10,592	23,149	9,85%	1,20	Ok
C-106	I	25	18,504	18,085	1,693	42°24'30"	1,815	9,699	9,30%	1,10	Ok
C-107	I	25	11,888	11,776	0,703	27°14'42"	0,724	6,059	9,30%	1,10	Ok
C-108	I	45	28,779	28,291	2,281	36°38'34"	2,403	14,901	7,10%	0,80	Ok
C-109	I	25	8,273	8,236	0,341	18°57'40"	0,346	4,175	9,30%	1,10	Ok
C-110	I	25	18,904	18,457	1,766	43°19'30"	1,900	9,930	9,30%	1,10	Ok
C-111	D	20	18,610	17,946	2,126	53°18'50"	2,379	10,040	9,85%	1,20	Ok
C-112	I	25	20,512	19,942	2,074	47°00'37"	2,262	10,873	9,30%	1,10	Ok
C-113	D	25	21,206	20,576	2,215	48°36'02"	2,430	11,288	9,30%	1,10	Ok
C-114	D	25	15,213	14,979	1,148	34°51'56"	1,204	7,850	9,30%	1,10	Ok
C-115	I	25	17,528	17,171	1,520	40°10'15"	1,619	9,141	9,30%	1,10	Ok
C-116	D	25	6,089	6,074	0,185	13°57'21"	0,187	3,060	9,30%	1,10	Ok
C-117	I	25	14,758	14,545	1,081	33°49'25"	1,130	7,601	9,30%	1,10	Ok
C-118	D	25	6,456	6,438	0,208	14°47'45"	0,210	3,246	9,30%	1,10	Ok
C-119	I	20	19,796	18,998	2,400	56°42'45"	2,727	10,794	9,85%	1,20	Ok
C-120	D	7	20,157	13,880	6,086	164°59'19"	46,589	53,129	12,00%	2,80	**NC**
C-121	D	20	15,856	15,444	1,551	45°25'28"	1,681	8,371	9,85%	1,20	Ok
C-122	I	25	7,817	7,785	0,305	17°54'54"	0,309	3,941	9,30%	1,10	Ok
C-123	D	25	9,676	9,616	0,467	22°10'33"	0,476	4,899	9,30%	1,10	Ok
C-124	I	25	7,152	7,128	0,255	16°23'32"	0,258	3,601	9,30%	1,10	Ok
C-125	D	25	5,980	5,966	0,179	13°42'21"	0,180	3,004	9,30%	1,10	Ok
C-126	I	8	21,402	15,567	6,152	153°16'52"	26,623	33,686	12,00%	2,50	**NC**
C-127	I	25	10,587	10,509	0,558	24°15'53"	0,571	5,374	9,30%	1,10	Ok
C-128	D	20	22,464	21,301	3,072	64°21'12"	3,629	12,583	9,85%	1,20	Ok
C-129	I	15	15,194	14,553	1,883	58°02'19"	2,154	8,321	10,40%	1,50	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-130	I	25	7,062	7,039	0,249	16°11'09"	0,251	3,555	9,30%	1,10	Ok
C-131	D	30	4,886	4,881	0,099	9°19'53"	0,100	2,448	8,80%	1,00	Ok
C-132	I	30	4,936	4,930	0,101	9°25'37"	0,102	2,474	8,80%	1,00	Ok
C-133	D	5	15,204	9,987	4,748	174°13'49"	94,346	99,220	12,00%	3,00	**NC**
C-134	D	15	4,465	4,448	0,166	17°03'17"	0,168	2,249	10,40%	1,50	Ok
C-135	I	25	4,428	4,422	0,098	10°08'54"	0,098	2,220	9,30%	1,10	Ok
C-136	D	25	4,720	4,713	0,111	10°49'03"	0,112	2,367	9,30%	1,10	Ok
C-137	I	25	12,441	12,313	0,770	28°30'49"	0,794	6,352	9,30%	1,10	Ok
C-138	I	25	17,314	16,970	1,484	39°40'47"	1,578	9,020	9,30%	1,10	Ok
C-139	D	25	11,907	11,794	0,705	27°17'16"	0,726	6,068	9,30%	1,10	Ok
C-140	D	5	14,590	9,938	4,442	167°11'38"	39,834	44,555	12,00%	3,00	**NC**
C-141	I	15	10,337	10,134	0,882	39°29'04"	0,937	5,383	10,40%	1,50	Ok
C-142	I	25	15,529	15,281	1,196	35°35'26"	1,256	8,024	9,30%	1,10	Ok
C-143	D	10	4,028	4,001	0,202	23°04'39"	0,206	2,042	12,00%	2,00	Ok
C-144	I	15	3,354	3,347	0,094	12°48'37"	0,094	1,684	10,40%	1,50	Ok
C-145	D	15	3,869	3,858	0,125	14°46'40"	0,126	1,945	10,40%	1,50	Ok
C-146	D	5	13,144	9,673	3,732	150°37'18"	14,718	19,074	12,00%	3,00	**NC**
C-147	I	20	8,032	7,978	0,402	23°00'34"	0,410	4,071	9,85%	1,20	Ok
C-148	I	8	9,739	9,149	1,437	69°45'12"	1,752	5,576	12,00%	2,50	**NC**
C-149	D	25	1,682	1,682	0,014	3°51'19"	0,014	0,841	9,30%	1,10	Ok
C-150	D	20	9,582	9,490	0,571	27°26'59"	0,588	4,885	9,85%	1,20	Ok
C-151	I	5	14,266	9,896	4,281	163°28'29"	29,792	34,431	12,00%	3,00	**NC**
C-152	I	25	3,651	3,647	0,067	8°22'00"	0,067	1,829	9,30%	1,10	Ok
C-153	D	25	4,413	4,407	0,097	10°06'50"	0,098	2,212	9,30%	1,10	Ok
C-154	D	20	19,687	18,902	2,374	56°24'00"	2,694	10,724	9,85%	1,20	Ok
C-155	I	25	13,236	13,082	0,871	30°20'06"	0,902	6,777	9,30%	1,10	Ok
C-156	D	25	7,296	7,270	0,266	16°43'13"	0,269	3,674	9,30%	1,10	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-157	D	15	14,566	14,001	1,734	55°38'22"	1,960	7,915	10,40%	1,50	Ok
C-158	I	6	16,800	11,825	4,980	160°25'34"	29,297	34,784	12,00%	2,90	**NC**
C-159	I	15	10,805	10,573	0,962	41°16'16"	1,028	5,649	10,40%	1,50	Ok
C-160	D	25	11,077	10,987	0,611	25°23'12"	0,626	5,631	9,30%	1,10	Ok
C-161	D	25	20,894	20,292	2,151	47°53'11"	2,354	11,101	9,30%	1,10	Ok
C-162	D	25	12,949	12,804	0,834	29°40'34"	0,862	6,623	9,30%	1,10	Ok
C-163	D	25	16,556	16,255	1,358	37°56'35"	1,436	8,594	9,30%	1,10	Ok
C-164	I	15	14,039	13,532	1,613	53°37'26"	1,807	7,581	10,40%	1,50	Ok
C-165	D	25	11,703	11,596	0,682	26°49'15"	0,701	5,961	9,30%	1,10	Ok
C-166	I	25	4,749	4,742	0,113	10°53'05"	0,113	2,382	9,30%	1,10	Ok
C-167	I	25	8,504	8,463	0,361	19°29'24"	0,366	4,294	9,30%	1,10	Ok
C-168	D	15	9,108	8,968	0,686	34°47'20"	0,719	4,699	10,40%	1,50	Ok
C-169	I	5	14,565	9,935	4,430	166°53'57"	38,830	43,544	12,00%	3,00	**NC**
C-170	D	15	6,248	6,202	0,324	23°51'50"	0,331	3,170	10,40%	1,50	Ok
C-171	I	25	15,081	14,854	1,129	34°33'51"	1,182	7,778	9,30%	1,10	Ok
C-172	D	25	23,413	22,567	2,691	53°39'31"	3,016	12,644	9,30%	1,10	Ok
C-173	D	25	12,175	12,055	0,737	27°54'08"	0,760	6,211	9,30%	1,10	Ok
C-174	I	25	25,655	24,544	3,219	58°47'46"	3,695	14,086	9,30%	1,10	Ok
C-175	I	25	26,032	24,872	3,313	59°39'43"	3,819	14,336	9,30%	1,10	Ok
C-176	I	25	3,791	3,787	0,072	8°41'15"	0,072	1,899	9,30%	1,10	Ok
C-177	D	25	8,771	8,726	0,384	20°06'08"	0,390	4,431	9,30%	1,10	Ok
C-178	D	25	14,306	14,112	1,016	32°47'16"	1,059	7,355	9,30%	1,10	Ok
C-179	D	25	20,212	19,666	2,015	46°19'23"	2,192	10,695	9,30%	1,10	Ok
C-180	I	15	9,510	9,351	0,747	36°19'28"	0,787	4,921	10,40%	1,50	Ok
C-181	I	15	11,791	11,490	1,144	45°02'19"	1,238	6,219	10,40%	1,50	Ok
C-182	D	25	11,698	11,591	0,681	26°48'32"	0,700	5,958	9,30%	1,10	Ok
C-183	I	20	17,264	16,733	1,834	49°27'26"	2,019	9,211	9,85%	1,20	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-184	I	6	15,405	10,841	4,568	160°28'39"	26,940	31,971	12,00%	3,00	**NC**
C-185	D	25	12,664	12,529	0,798	29°01'22"	0,824	6,471	9,30%	1,10	Ok
C-186	D	15	20,370	18,841	3,327	77°48'34"	4,275	12,106	10,40%	1,50	Ok
C-187	I	9	7,669	7,411	0,850	51°41'29"	0,945	4,117	12,00%	2,30	**NC**
C-188	I	25	12,001	11,886	0,717	27°30'13"	0,738	6,118	9,30%	1,10	Ok
C-189	D	20	21,071	20,110	2,711	60°21'52"	3,137	11,632	9,85%	1,20	Ok
C-190	D	15	9,660	9,494	0,771	36°53'58"	0,813	5,004	10,40%	1,50	Ok
C-191	I	30	12,467	12,377	0,645	23°48'36"	0,659	6,325	8,80%	1,00	Ok
C-192	D	7	18,940	12,916	5,762	166°57'11"	50,713	56,843	12,00%	2,90	**NC**
C-193	I	25	17,716	17,348	1,553	40°36'09"	1,656	9,248	9,30%	1,10	Ok
C-194	D	15	17,671	16,667	2,528	67°29'56"	3,040	10,022	10,40%	1,50	Ok
C-195	I	25	17,514	17,158	1,518	40°08'23"	1,616	9,134	9,30%	1,10	Ok
C-196	D	25	4,141	4,136	0,086	9°29'25"	0,086	2,075	9,30%	1,10	Ok
C-197	I	25	6,317	6,300	0,199	14°28'37"	0,201	3,175	9,30%	1,10	Ok
C-198	D	25	14,536	14,332	1,049	33°18'51"	1,095	7,480	9,30%	1,10	Ok
C-199	D	25	4,212	4,207	0,089	9°39'11"	0,089	2,111	9,30%	1,10	Ok
C-200	I	6	17,842	11,958	5,497	170°22'45"	65,549	71,297	12,00%	2,90	**NC**
C-201	I	25	15,997	15,726	1,269	36°39'46"	1,336	8,283	9,30%	1,10	Ok
C-202	D	20	41,345	34,366	9,766	118°26'41"	19,085	33,580	9,85%	1,20	Ok
C-203	D	25	6,798	6,777	0,231	15°34'45"	0,233	3,420	9,30%	1,10	Ok
C-204	I	10	10,900	10,368	1,449	62°27'02"	1,694	6,062	12,00%	2,00	Ok
C-205	D	25	4,360	4,355	0,095	9°59'34"	0,095	2,186	9,30%	1,10	Ok
C-206	D	6	16,037	11,672	4,607	153°08'37"	19,837	25,131	12,00%	2,90	**NC**
C-207	I	15	15,950	15,209	2,071	60°55'31"	2,402	8,823	10,40%	1,50	Ok
C-208	D	15	26,956	23,473	5,659	102°57'58"	9,087	18,846	10,40%	1,50	Ok
C-209	I	25	22,385	21,645	2,464	51°18'13"	2,733	12,006	9,30%	1,10	Ok
C-210	D	25	18,850	18,406	1,756	43°12'01"	1,888	9,898	9,30%	1,10	Ok

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)	Validación del radio mínimo
C-211	I	15	22,375	20,358	3,982	85°28'00"	5,422	13,858	10,40%	1,50	Ok
C-212	D	15	12,366	12,019	1,256	47°14'09"	1,371	6,559	10,40%	1,50	Ok
C-213	D	15	16,199	15,423	2,134	61°52'34"	2,488	8,991	10,40%	1,50	Ok
C-214	I	20	27,205	25,156	4,450	77°56'16"	5,724	16,178	9,85%	1,20	Ok
C-215	I	25	14,372	14,175	1,026	32°56'15"	1,070	7,391	9,30%	1,10	Ok
215	**Curvas horizontales**								**Cantidad de deficiencias**		**19**

Tabla 52

Elementos geométricos en curvas horizontales del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología BIM

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)
C-1	D	15	24,275	21,711	4,649	92° 43' 27,15"	6,736	15,731	10,40%	1,50
C-2	I	25	29,284	27,638	4,167	67° 06' 52,06"	5,000	16,583	9,30%	1,10
C-3	D	25	18,761	18,323	1,739	42° 59' 45,33"	1,869	9,847	9,30%	1,10
C-4	D	50	21,871	21,697	1,191	25° 03' 43,38"	1,220	11,113	6,50%	0,70
C-5	I	10	15,097	13,703	2,716	86° 29' 52,13"	3,729	9,407	12,00%	2,00
C-6	I	10	15,542	14,025	2,871	89° 03' 05,10"	4,027	9,836	12,00%	2,00
C-7	D	50	13,709	13,666	0,469	15° 42' 32,62"	0,474	6,898	6,50%	0,70
C-8	D	10	16,874	14,942	3,353	96° 40' 54,68"	5,044	11,240	12,00%	2,00
C-9	D	10	13,717	12,667	2,261	78° 35' 38,06"	2,922	8,184	12,00%	2,00
C-10	I	30	23,808	23,188	2,331	45° 28' 11,60"	2,527	12,571	8,80%	1,00
C-11	I	25	14,308	14,114	1,017	32° 47' 30,40"	1,060	7,356	9,30%	1,10
C-12	D	25	19,945	19,420	1,963	45° 42' 37,12"	2,130	10,537	9,30%	1,10
C-13	D	45	10,786	10,760	0,323	13° 43' 57,45"	0,325	5,419	7,10%	0,80
C-14	D	25	23,110	22,296	2,623	52° 57' 50,31"	2,931	12,455	9,30%	1,10

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)
C-15	I	25	24,321	23,373	2,900	55° 44' 24,89"	3,280	13,220	9,30%	1,10
C-16	I	50	12,721	12,687	0,404	14° 34' 37,74"	0,407	6,395	6,50%	0,70
C-17	D	50	6,999	6,993	0,122	8° 01' 12,10"	0,123	3,505	6,50%	0,70
C-18	D	45	20,926	20,738	1,211	26° 38' 36,15"	1,244	10,656	7,10%	0,80
C-19	I	50	15,209	15,150	0,577	17° 25' 41,85"	0,584	7,664	6,50%	0,70
C-20	D	40	8,077	8,064	0,204	11° 34' 11,69"	0,205	4,052	7,65%	0,80
C-21	D	80	19,957	19,905	0,621	14° 17' 34,94"	0,626	10,030	4,45%	0,50
C-22	D	80	15,471	15,447	0,374	11° 04' 48,80"	0,375	7,760	4,45%	0,50
C-23	I	30	16,859	16,638	1,177	32° 11' 54,03"	1,225	8,659	8,80%	1,00
C-24	I	40	16,129	16,020	0,810	23° 06' 11,47"	0,827	8,176	7,65%	0,80
C-25	I	40	13,711	13,644	0,586	19° 38' 23,17"	0,595	6,923	7,65%	0,80
C-26	D	25	14,007	13,825	0,975	32° 06' 07,62"	1,014	7,193	9,30%	1,10
C-27	I	20	28,018	25,782	4,709	80° 15' 53,52"	6,159	16,861	9,85%	1,20
C-28	D	40	12,758	12,704	0,508	18° 16' 27,51"	0,514	6,434	7,65%	0,80
C-29	I	25	15,751	15,491	1,230	36° 05' 51,96"	1,294	8,147	9,30%	1,10
C-30	D	15	25,874	22,783	5,242	98° 49' 52,96"	8,057	17,511	10,40%	1,50
C-31	D	15	19,159	17,883	2,956	73° 11' 01,54"	3,682	11,137	10,40%	1,50
C-32	I	25	39,846	35,760	7,527	91° 19' 12,99"	10,770	25,583	9,30%	1,10
C-33	D	55	20,883	20,758	0,988	21° 45' 18,01"	1,006	10,569	6,10%	0,70
C-34	D	25	14,468	14,267	1,039	33° 09' 29,86"	1,084	7,443	9,30%	1,10
C-35	I	20	27,864	25,665	4,660	79° 49' 32,44"	6,075	16,730	9,85%	1,20
C-36	D	25	22,557	21,800	2,501	51° 41' 50,99"	2,779	12,112	9,30%	1,10
C-37	I	45	12,440	12,400	0,429	15° 50' 20,89"	0,433	6,260	7,10%	0,80
C-38	I	55	35,917	35,282	2,906	37° 24' 57,70"	3,068	18,625	6,10%	0,70
C-39	D	15	22,352	20,340	3,974	85° 22' 37,60"	5,407	13,836	10,40%	1,50
C-40	D	25	16,274	15,988	1,313	37° 17' 49,79"	1,385	8,437	9,30%	1,10
C-41	I	80	47,680	46,978	3,526	34° 08' 54,14"	3,689	24,572	4,45%	0,50

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)
C-42	D	75	54,008	52,848	4,809	41° 15' 31,87"	5,139	28,235	4,70%	0,60
C-43	I	14	27,762	23,432	6,336	113° 37' 04,52"	11,574	21,402	10,50%	1,60
C-44	D	14	18,993	17,569	3,099	77° 43' 43,73"	3,980	11,282	10,50%	1,60
C-45	I	25	21,858	21,168	2,351	50° 05' 40,00"	2,595	11,683	9,30%	1,10
C-46	I	25	13,010	12,864	0,842	29° 49' 00,97"	0,871	6,656	9,30%	1,10
C-47	D	10	26,663	19,438	7,646	152° 46' 01,54"	32,477	41,283	12,00%	2,00
C-48	I	25	9,748	9,686	0,474	22° 20' 25,28"	0,483	4,937	9,30%	1,10
C-49	D	20	31,296	28,199	5,815	89° 39' 22,28"	8,200	19,880	9,85%	1,20
C-50	I	25	21,790	21,107	2,337	49° 56' 22,24"	2,578	11,642	9,30%	1,10
C-51	I	45	31,477	30,839	2,724	40° 04' 38,47"	2,900	16,413	7,10%	0,80
C-52	I	44	43,977	42,170	5,381	57° 15' 58,44"	6,131	24,023	7,20%	0,80
C-53	D	20	9,223	9,141	0,529	26° 25' 15,22"	0,544	4,695	9,85%	1,20
C-54	D	25	15,265	15,029	1,156	34° 59' 04,76"	1,212	7,879	9,30%	1,10
C-55	I	25	15,028	14,802	1,121	34° 26' 26,85"	1,173	7,749	9,30%	1,10
C-56	I	20	15,335	14,962	1,452	43° 55' 54,08"	1,566	8,067	9,85%	1,20
C-57	D	10	27,437	19,606	8,024	157° 12' 13,05"	40,601	49,603	12,00%	2,00
C-58	I	20	21,897	20,820	2,923	62° 43' 48,40"	3,423	12,191	9,85%	1,20
C-59	D	40	12,012	11,967	0,450	17° 12' 21,89"	0,455	6,052	7,65%	0,80
C-60	I	25	17,466	17,113	1,510	40° 01' 42,62"	1,607	9,106	9,30%	1,10
C-61	D	12	17,745	16,172	3,133	84° 43' 27,67"	4,240	10,943	10,75%	1,70
C-62	I	12	18,043	16,391	3,234	86° 08' 54,90"	4,428	11,219	10,75%	1,70
C-63	D	35	12,463	12,397	0,553	20° 24' 07,14"	0,562	6,298	8,20%	0,90
C-64	I	35	12,663	12,594	0,571	20° 43' 44,12"	0,581	6,401	8,20%	0,90
C-65	I	35	30,175	29,249	3,202	49° 23' 50,26"	3,524	16,097	8,20%	0,90
C-66	D	25	27,692	26,297	3,737	63° 27' 51,30"	4,394	15,460	9,30%	1,10
C-67	I	15	12,777	12,394	1,340	48° 48' 16,38"	1,471	6,805	10,40%	1,50
C-68	D	25	11,619	11,515	0,672	26° 37' 45,29"	0,691	5,916	9,30%	1,10

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)
C-69	I	25	14,700	14,489	1,073	33° 41' 26,12"	1,121	7,570	9,30%	1,10
C-70	D	10	18,539	15,996	3,997	106° 13' 06,71"	6,659	13,323	12,00%	2,00
C-71	I	10	16,104	14,420	3,070	92° 16' 13,79"	4,431	10,404	12,00%	2,00
C-72	D	35	15,085	14,969	0,810	24° 41' 40,86"	0,829	7,662	8,20%	0,90
C-73	I	25	46,506	40,085	10,057	106° 35' 05,03"	16,825	33,531	9,30%	1,10
C-74	D	35	26,130	25,527	2,410	42° 46' 30,13"	2,589	13,708	8,20%	0,90
C-75	D	25	18,367	17,957	1,668	42° 05' 40,23"	1,787	9,620	9,30%	1,10
C-76	I	28	28,889	27,624	3,644	59° 06' 51,07"	4,189	15,878	9,00%	1,00
C-77	I	11	12,078	11,480	1,616	62° 54' 33,89"	1,895	6,729	10,85%	1,90
C-78	I	10	19,707	16,669	4,474	112° 54' 38,88"	8,097	15,083	12,00%	2,00
C-79	D	25	18,685	18,253	1,725	42° 49' 20,77"	1,853	9,803	9,30%	1,10
C-80	I	25	16,847	16,530	1,406	38° 36' 38,77"	1,490	8,758	9,30%	1,10
C-81	D	30	48,658	43,498	9,336	92° 55' 51,14"	13,555	31,575	8,80%	1,00
C-82	D	12	19,282	17,274	3,669	92° 03' 56,22"	5,285	12,441	10,75%	1,70
C-83	I	10	15,504	13,997	2,857	88° 49' 51,65"	4,000	9,798	12,00%	2,00
C-84	D	25	43,028	37,911	8,700	98° 36' 49,67"	13,343	29,072	9,30%	1,10
C-85	D	25	18,056	17,667	1,613	41° 22' 56,79"	1,724	9,442	9,30%	1,10
C-86	I	10	15,402	13,924	2,822	88° 14' 58,97"	3,931	9,699	12,00%	2,00
C-87	I	10	16,549	14,724	3,232	94° 49' 07,08"	4,776	10,878	12,00%	2,00
C-88	I	25	13,902	13,723	0,960	31° 51' 36,35"	0,998	7,136	9,30%	1,10
C-89	D	20	42,954	35,162	10,465	123° 03' 16,38"	21,952	36,877	9,85%	1,20
C-90	I	10	9,729	9,350	1,160	55° 44' 30,98"	1,312	5,288	12,00%	2,00
C-91	D	10	15,745	14,169	2,942	90° 12' 51,67"	4,169	10,037	12,00%	2,00
C-92	D	10	14,160	13,006	2,403	81° 07' 40,95"	3,163	8,560	12,00%	2,00
C-93	I	15	10,967	10,724	0,991	41° 53' 27,46"	1,061	5,742	10,40%	1,50
C-94	D	20	45,330	36,232	11,525	129° 51' 35,53"	27,200	42,754	9,85%	1,20
C-95	I	20	11,775	11,606	0,860	33° 43' 58,39"	0,899	6,064	9,85%	1,20

Curva Horizontal	Sentido	Radio (m)	Longitud de Curva (m)	Cuerda (m)	Distancia de Ordenada Media (m)	Ángulo de Deflexión (°)	Distancia a Externa (m)	Longitud de la Subtangente (m)	Peralte (%)	Sobre Ancho (m)
C-96	D	15	22,232	20,252	3,934	84° 55' 09,15"	5,332	13,726	10,40%	1,50
C-97	I	20	34,020	30,064	6,808	97° 27' 34,57"	10,321	22,789	9,85%	1,20
97	**Curvas horizontales**							**0 deficiencias**		

5.8. Elementos geométricos de curvas verticales

Tabla 53

Elementos geométricos en curvas verticales tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología tradicional

Curva Vertical	PVI	PVI Cota	s% Entrada	s% Salida	Diferencia s%	Tipo	Longitud (m)	K	Validación de la pendiente mínima
Inicio	5+000,000	2 518,000		11,84%					
CV-01	5+018,000	2 520,130	11,84%	1,82%	-10,02%	Cóncava	25,000	2.495	s% no cumple
CV-02	5+080,590	2 521,270	1,82%	7,85%	6,03%	Convexa	60,000	9.956	Ok
CV-03	5+175,250	2 528,700	7,85%	5,96%	-1,89%	Cóncava	45,000	23.818	Ok
CV-04	5+259,970	2 533,740	5,96%	14,65%	8,69%	Convexa	50,000	5.749	Ok
CV-05	5+340,070	2 545,480	14,65%	3,56%	-11,09%	Cóncava	60,000	5.408	s% no cumple
CV-06	5+491,180	2 550,850	3,56%	8,97%	5,41%	Convexa	65,000	12.006	Ok
CV-07	5+598,270	2 560,460	8,97%	10,29%	1,32%	Convexa	100,000	75.573	Ok
CV-08	5+719,350	2 572,920	10,29%	-7,93%	-18,22%	Cóncava	95,000	5.213	s% no cumple
CV-09	5+847,770	2 562,740	-7,93%	2,44%	10,37%	Convexa	75,000	7.231	Ok
CV-10	5+962,370	2 565,540	2,44%	7,42%	4,98%	Convexa	75,000	15.056	Ok
CV-11	6+128,110	2 577,840	7,42%	6,68%	-0,74%	Cóncava	100,000	134.354	Ok
CV-12	6+289,680	2 588,640	6,68%	12,70%	6,02%	Convexa	100,000	16.597	Ok
CV-13	6+379,110	2 600,000	12,70%	6,88%	-5,82%	Cóncava	65,000	11.154	s% no cumple
CV-14	6+463,330	2 605,790	6,88%	9,01%	2,13%	Convexa	65,000	30.432	Ok
CV-15	6+591,790	2 617,370	9,01%	10,06%	1,05%	Convexa	55,000	52.542	Ok

Curva Vertical	PVI	PVI Cota	s% Entrada	s% Salida	Diferencia s%	Tipo	Longitud (m)	K	Validación de la pendiente mínima
CV-16	6+647,030	2 622,930	10,06%	6,85%	-3,21%	Cóncava	55,000	17.116	s% no cumple
CV-17	6+702,690	2 626,740	6,85%	11,69%	4,84%	Convexa	50,000	10.330	Ok
CV-18	6+799,240	2 638,020	11,69%	6,77%	-4,92%	Cóncava	75,000	15.241	s% no cumple
CV-19	6+888,770	2 644,080	6,77%	10,32%	3,55%	Convexa	55,000	15.465	Ok
CV-20	6+972,590	2 652,730	10,32%	10,06%	-0,26%	Cóncava	75,000	288.886	s% no cumple
CV-21	7+194,250	2 675,040	10,06%	7,30%	-2,76%	Cóncava	80,000	28.948	s% no cumple
CV-22	7+327,260	2 684,750	7,30%	10,02%	2,72%	Convexa	65,000	23.907	Ok
CV-23	7+470,230	2 699,070	10,02%	7,66%	-2,36%	Cóncava	85,000	36.023	s% no cumple
CV-24	7+568,480	2 706,600	7,66%	12,32%	4,66%	Convexa	40,000	8.579	Ok
CV-25	7+665,570	2 718,560	12,32%	-7,48%	-19,80%	Cóncava	85,000	4.293	s% no cumple
CV-26	7+780,000	2 710,000	-7,48%	-8,48%	-1,00%	Cóncava	80,000	79.723	Ok
CV-27	7+860,000	2 703,210	-8,48%	-9,64%	-1,16%	Cóncava	75,000	64.625	Ok
CV-28	7+958,680	2 693,700	-9,64%	-12,05%	-2,41%	Cóncava	100,000	41.591	Ok
CV-29	8+049,680	2 682,730	-12,05%	-11,80%	0,25%	Convexa	50,000	205.345	Ok
CV-30	8+108,660	2 675,770	-11,80%	-7,76%	4,04%	Convexa	40,000	9.879	Ok
CV-31	8+222,670	2 666,930	-7,76%	-4,70%	3,06%	Convexa	75,000	24.573	Ok
CV-32	8+335,930	2 661,600	-4,70%	-13,07%	-8,37%	Cóncava	90,000	10.757	Ok
CV-33	8+467,990	2 644,340	-13,07%	-5,67%	7,40%	Convexa	85,000	11.489	Ok
CV-34	8+630,220	2 635,140	-5,67%	-11,20%	-5,53%	Cóncava	70,000	12.659	Ok
CV-35	8+718,500	2 625,250	-11,20%	-7,96%	3,24%	Convexa	50,000	15.420	Ok
CV-36	8+835,910	2 615,910	-7,96%	-11,67%	-3,71%	Cóncava	30,000	8.082	Ok
CV-37	8+948,970	2 602,720	-11,67%	-11,48%	0,19%	Convexa	55,000	290.723	Ok
CV-38	9+023,310	2 594,180	-11,48%	-6,86%	4,62%	Convexa	35,000	7.577	Ok
CV-39	9+113,160	2 588,020	-6,86%	-11,99%	-5,13%	Cóncava	55,000	10.720	Ok
CV-40	9+180,000	2 580,000	-11,99%	-0,65%	11,34%	Convexa	60,000	5.290	Ok
CV-41	9+272,170	2 579,400	-0,65%	11,00%	11,65%	Convexa	30,000	2.575	Ok
CV-42	9+322,110	2 584,890	11,00%	6,52%	-4,48%	Cóncava	50,000	11.150	s% no cumple
CV-43	9+467,910	2 594,400	6,52%	9,86%	3,34%	Convexa	90,000	26.956	Ok

Curva Vertical	PVI	PVI Cota	s% Entrada	s% Salida	Diferencia s%	Tipo	Longitud (m)	K	Validación de la pendiente mínima
CV-44	9+595,800	2 607,000	9,86%	5,93%	-3,93%	Cóncava	85,000	21.642	Ok
CV-45	9+723,070	2 614,540	5,93%	11,54%	5,61%	Convexa	65,000	11.573	Ok
CV-46	9+844,730	2 628,590	11,54%	3,91%	-7,63%	Cóncava	55,000	7.203	s% no cumple
CV-47	9+936,640	2 632,180	3,91%	9,12%	5,21%	Convexa	60,000	11.504	Ok
CV-48	10+111,110	2 648,100	9,12%	11,47%	2,35%	Convexa	50,000	21.325	Ok
CV-49	10+211,190	2 659,580	11,47%	2,44%	-9,03%	Cóncava	60,000	6.644	s% no cumple
CV-50	10+274,400	2 661,120	2,44%	9,61%	7,17%	Convexa	35,000	4.883	Ok
CV-51	10+366,870	2 670,000	9,61%	4,61%	-5,00%	Cóncava	65,000	13.016	Ok
CV-52	10+440,690	2 673,400	4,61%	12,95%	8,34%	Convexa	40,000	4.797	Ok
CV-53	10+520,000	2 683,670	12,95%	12,17%	-0,78%	Cóncava	55,000	70.389	s% no cumple
CV-54	10+718,790	2 707,870	12,17%	2,98%	-9,19%	Cóncava	60,000	6.527	s% no cumple
CV-55	10+809,080	2 710,550	2,98%	11,10%	8,12%	Convexa	60,000	7.383	Ok
CV-56	10+926,950	2 723,640	11,10%	6,80%	-4,30%	Cóncava	55,000	12.792	s% no cumple
CV-57	11+102,810	2 735,600	6,80%	11,01%	4,21%	Convexa	60,000	14.275	Ok
CV-58	11+155,970	2 741,460	11,01%	0,20%	-10,81%	Cóncava	30,000	2.776	s% no cumple
CV-59	11+200,470	2 741,540	0,20%	7,48%	7,28%	Convexa	25,000	3.435	Ok
Fin	11+215,680	2 742,680	7,48%						
59	**Curvas verticales**						**Cantidad de deficiencias**		**17**

Tabla 54

Elementos geométricos en curvas verticales tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja realizado con metodología BIM

Curva Vertical	PVI	PVI Cota	s% Entrada	s% Salida	Diferencia s%	Tipo	Longitud (m)	K
Inicio	5+000,000	2 618,306		4,00%				
CV-01	5+280,000	2 629,505	4,00%	1,80%	-2,20%	Cóncava	120,000	54,543
CV-02	5+590,000	2 635,084	1,80%	9,00%	7,20%	Convexa	60,000	8,333
CV-03	5+680,000	2 643,184	9,00%	-2,00%	-11,00%	Cóncava	60,000	5,455

Curva Vertical	PVI	PVI Cota	s% Entrada	s% Salida	Diferencia s%	Tipo	Longitud (m)	K
CV-04	5+930,000	2 638,185	-2,00%	5,00%	7,00%	Convexa	130,000	18,572
CV-05	6+220,000	2 652,686	5,00%	3,60%	-1,40%	Cóncava	60,000	42,857
CV-06	6+520,000	2 663,487	3,60%	1,50%	-2,10%	Cóncava	150,000	71,426
CV-07	6+700,000	2 666,187	1,50%	6,70%	5,20%	Convexa	60,000	11,538
CV-08	6+810,000	2 673,558	6,70%	0,50%	-6,20%	Cóncava	40,000	5,556
CV-09	6+930,000	2 672,958	0,50%	4,80%	4,30%	Convexa	70,000	13,208
CV-10	7+250,000	2 688,319	4,80%	2,60%	-2,20%	Cóncava	100,000	45,452
CV-11	7+520,000	2 695,339	2,60%	7,70%	5,10%	Convexa	70,000	13,726
CV-12	7+630,000	2 703,809	7,70%	-2,40%	-10,10%	Cóncava	60,000	5,941
CV-13	7+740,000	2 701,169	-2,40%	-4,70%	-2,30%	Cóncava	80,000	34,782
CV-14	7+930,000	2 692,240	-4,70%	1,40%	6,10%	Convexa	60,000	9,837
CV-15	8+020,000	2 693,499	1,40%	-10,00%	-11,40%	Cóncava	50,000	4,386
CV-16	8+090,000	2 686,500	-10,00%	-3,20%	6,80%	Convexa	40,000	5,882
CV-17	8+470,000	2 674,341	-3,20%	-1,60%	1,60%	Convexa	80,000	50,002
CV-18	8+640,000	2 671,622	-1,60%	-6,50%	-4,90%	Cóncava	80,000	16,326
CV-19	8+810,000	2 660,572	-6,50%	-9,90%	-3,40%	Cóncava	90,000	26,472
CV-20	8+970,000	2 644,733	-9,90%	0,00%	9,90%	Convexa	60,000	6,061
CV-21	9+060,000	2 644,733	0,00%	5,50%	5,50%	Convexa	40,000	7,272
CV-22	9+450,000	2 666,184	5,50%	2,20%	-3,30%	Cóncava	100,000	30,302
CV-23	9+770,000	2 673,224	2,20%	7,50%	5,30%	Convexa	70,000	13,208
CV-24	9+860,000	2 679,975	7,50%	2,20%	-5,30%	Cóncava	60,000	11,320
CV-25	10+040,000	2 683,934	2,20%	10,00%	7,80%	Convexa	70,000	8,974
CV-26	10+130,000	2 692,934	10,00%	5,20%	-4,80%	Cóncava	60,000	12,499
CV-27	10+320,000	2 702,814	5,20%	2,20%	-3,00%	Cóncava	60,000	20,004
CV-28	10+430,000	2 705,234	2,20%	6,70%	4,50%	Convexa	60,000	13,335
CV-29	10+560,000	2 713,944	6,70%	4,40%	-2,30%	Cóncava	110,000	47,832
Fin	10+800,560	2 724,529	4,40%					
29	**Curvas verticales**					**0 deficiencias**		

Tabla 55

Pendientes del perfil longitudinal del tramo Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja con metodología BIM

Progresiva		Longitud	s (%)
Inicio	Fin		
5+000,000	5+280,000	280,00	4,00%
5+280,000	5+590,000	310,00	1,80%
5+590,000	5+680,000	90,00	9,00%
5+680,000	5+930,000	250,00	-2,00%
5+930,000	6+220,000	290,00	5,00%
6+220,000	6+520,000	300,00	3,60%
6+520,000	6+700,000	180,00	1,50%
6+700,000	6+810,000	110,00	6,70%
6+810,000	6+930,000	120,00	0,50%
6+930,000	7+250,000	320,00	4,80%
7+250,000	7+520,000	270,00	2,60%
7+520,000	7+630,000	110,00	7,70%
7+630,000	7+740,000	110,00	-2,40%
7+740,000	7+930,000	190,00	-4,70%
7+930,000	8+020,000	90,00	1,40%
8+020,000	8+090,000	70,00	-10,00%
8+090,000	8+470,000	380,00	-3,20%
8+470,000	8+640,000	170,00	-1,60%
8+640,000	8+810,000	170,00	-6,50%
8+810,000	8+970,000	160,00	-9,90%
8+970,000	9+060,000	90,00	0,00%
9+060,000	9+450,000	390,00	5,50%
9+450,000	9+770,000	320,00	2,20%
9+770,000	9+860,000	90,00	7,50%
9+860,000	10+040,000	180,00	2,20%
10+040,000	10+130,000	90,00	10,00%
10+130,000	10+320,000	190,00	5,20%
10+320,000	10+430,000	110,00	2,20%
10+430,000	10+560,000	130,00	6,70%
10+560,000	10+800,560	240,56	4,40%

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados obtenidos del estudio de tránsito

Los resultados del estudio de tránsito realizado en el tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro evidencian un comportamiento vehicular característico de una vía rural secundaria, con un IMDA de 61 veh/día.

4.2. Análisis de los resultados obtenidos de la topografía y fotogrametría

Tabla 56

Desviación de coordenadas entre el método GNSS (RTK) con GPS diferencial y fotogrametría PPK realizada con dron

N°	VARIACIÓN EN ESTE (m)	VARIACIÓN EN NORTE (m)	VARIACIÓN EN ALTURA (m)	VARIACIÓN EN DISTANCIA EUCLIDEANA (m)
BM-1	-0,0280	-0,0100	-0,0680	0,0297
BM-2	0,0330	-0,0320	-0,0540	0,0460
BM-3	0,0150	-0,0200	0,0570	0,0250
BM-4	0,0290	0,0470	0,0400	0,0552
BM-5	-0,0210	0,0440	0,0450	0,0488
BM-6	-0,0270	-0,0400	0,0230	0,0483
BM-7	0,0230	0,0220	-0,0330	0,0318
BM-8	0,0120	0,0340	0,0810	0,0361
BM-9	0,0180	0,0180	0,0280	0,0255
BM-10	0,0300	-0,0190	-0,0490	0,0355
BM-11	-0,0370	-0,0330	0,0170	0,0496
BM-12	-0,0610	0,0210	-0,0800	0,0645
BM-13	0,0260	0,0320	0,0830	0,0412
BM-14	-0,0170	0,0280	-0,0270	0,0328
BM-15	-0,0370	-0,0170	0,0570	0,0407
BM-16	0,0520	-0,0140	0,0130	0,0539
BM-17	0,0220	0,0110	0,0790	0,0246
BM-18	0,0250	0,0290	0,0190	0,0383
BM-19	0,0330	-0,0250	0,0260	0,0414
BM-20	0,0110	-0,0120	-0,0420	0,0163
PG - ORDEN C	0,0160	0,0270	-0,0690	0,0314
MEDIANA	0,0160	0,0110	0,0190	0,0383
ERROR MEDIO	0,0056	0,0043	0,0070	0,0389
VARIANZA	0,0009	0,0008	0,0028	0,0001
DESV. EST.	0,0300	0,0278	0,0531	0,0119
MSE	0,0009	0,0008	0,0027	0,0016
RMSE	0,0298	0,0275	0,0522	0,0406

La topografía realizada con estación total para las áreas de mayor vegetación fue de 17,28 ha, distribuidos en diez zonas donde se levantó puntos con estación total, para mejorar la precisión de las zonas mencionadas.

4.3. Análisis de los resultados obtenidos de la fase BIM: Diseño Conceptual

El diseño conceptual, permitió plantear tres alternativas para la elección de la mejor opción preliminar del proyecto, siendo que, bajo condiciones de diseño similares, la información introducida y generada se pudo analizar las tres propuestas.

Para ello se optó por emplear el software de Autodesk, Infraworks 360 (utilitario BIM), el cual permitió contrastar información cartográfica disponible en sistema GIS, pudiendo establecer sobre este entorno cartográfico los planteamientos preliminares.

El diseño conceptual ha partido del alcance del proyecto, "Creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa El Suro, San Pedro y la Zanja del distrito de Pulán - Santa Cruz", para ello se ha contado con la información preliminar, que ha facilitado el trazo de gradientes y el diseño geométrico de las propuestas.

El esquema a manejar dentro del diseño conceptual parte de los "inputs" (información entrante), que, al atravesar el proceso de ingeniería conceptual, permite obtener resultados "outputs", los cuales son base para el diseño de detalle.

En base a las alternativas planteadas, se mostró 3 alternativas con la metodología BIM que nos brindaron la siguiente información de los trazos preliminares:

Tabla 57

Comparación de alternativas planteadas en Infraworks 360

Alternativas	Longitud	Intervalo de pendientes	Volumen de movimiento de tierra
01	4 847,781 m	5,97% y 11,96%	8 378,225 m3
02	7 820,065 m	0,03% y 9,96%	11 260,893 m3
03	5 492,594 m	6,26% y 9,97%	7 909,355 m3

En esta fase también se analiza el tiempo y costos que llevó tanto la metodología tradicional como la metodología BIM para el trazo del eje de la carretera en campo del diseño geométrico. Para ello se tendrán en cuenta las siguientes tablas 38; 40; 41; 45 y 46; en las cuales se han descrito las actividades, equipos, instrumentos, personal y costos de llevar a cabo ambas metodologías mostrando sus diferencias y contrastes.

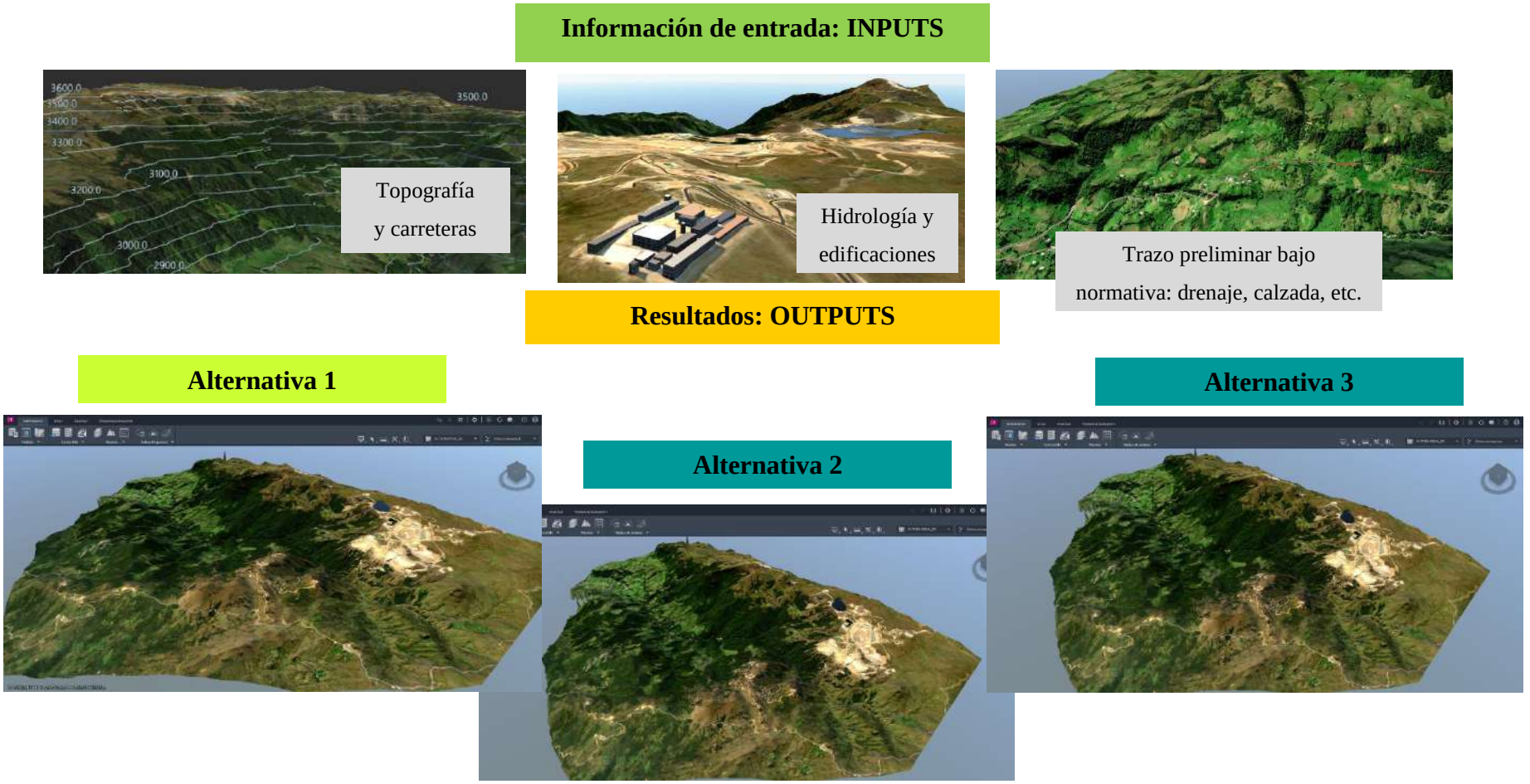
Tabla 58

Comparación del los cronogramas y presupuestos de la metodología tradicional y la metodología BIM para el diseño geométrico de la carretera en estudio.

METODOLOGÍA	CRONOGRAMA (DÍAS)	PRESUPUESTO (S/.)
Tradicional	18	4 240,00
BIM	10	2 800,00

Figura 90

Diagrama de alternativas: Autodesk Infraworks 360



A través del software Infraworks, facilita los niveles de acabado en el escenario del proyecto y diferentes puntos de vista, en base a la generación de propuestas y su interacción con diferentes software como el Revit del cual se pueden insertar elementos dentro de Infraworks como edificaciones, puentes y similares.

4.4. Análisis de los resultados obtenidos de la fase BIM: Diseño de Detalle

Con la finalidad de ajustar y perfeccionar la propuesta del diseño conceptual, y en función a los parámetros de la norma DG-2018 y el Manual De Diseño De Carreteras No Pavimentadas De Bajo Volumen De Tránsito, se ha optado por un diseño geométrico funcional y su optimización a través de las fases de la metodología BIM.

El software empleado para el desarrollo de la fase BIM: diseño de detalle, ha sido el AutoCAD Civil 3D el cual cuenta con un alto potencial de herramientas especializadas, funcionalidad y capacidad de integración.

Después de haber procesado la información en el programa Autocad Civil 3d, se tienen los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 59

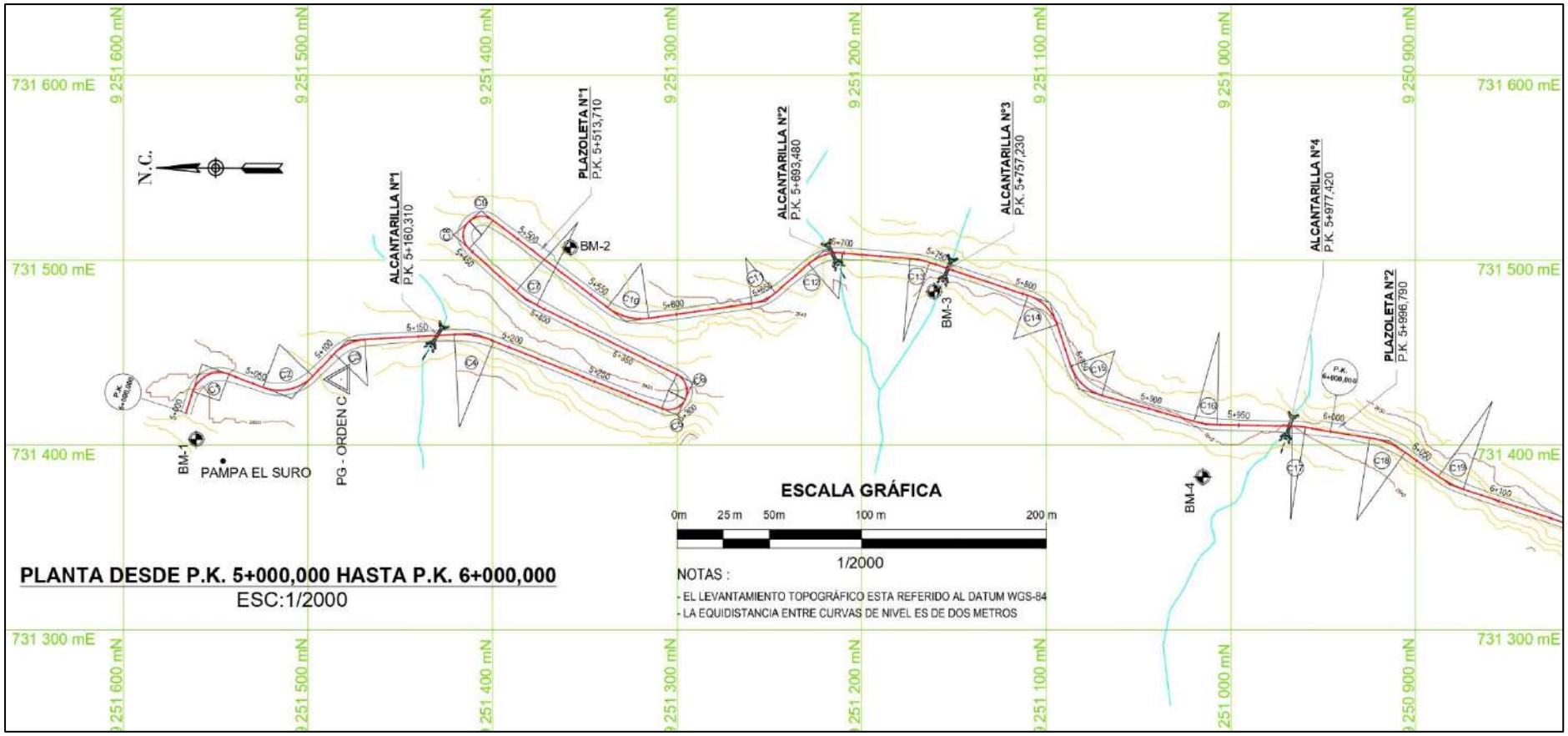
Comparación de parámetros geométricos de metodología tradicional y metodología BIM.

Parámetro Geométrico	Metodología Tradicional	Metodología BIM
Cantidad de Curvas horizontales	215	97
Cantidad de Curvas Verticales	59	29
Errores de radios menores al mínimo en curvas horizontales	19	0
Errores de pendientes mayores al máximo en curvas verticales	17	0

Nota. Como se puede visualizar, se logró mejorar el diseño geométrico con la metodología BIM al disminuir la cantidad de curvas horizontales y verticales con la finalidad de disminuir las incompatibilidades que el exceso de estas puede generar; adicionalmente se solucionó las deficiencias de errores geométricos que se presentan en los radios en curvas horizontales y las pendientes en las curvas verticales.

Figura 91

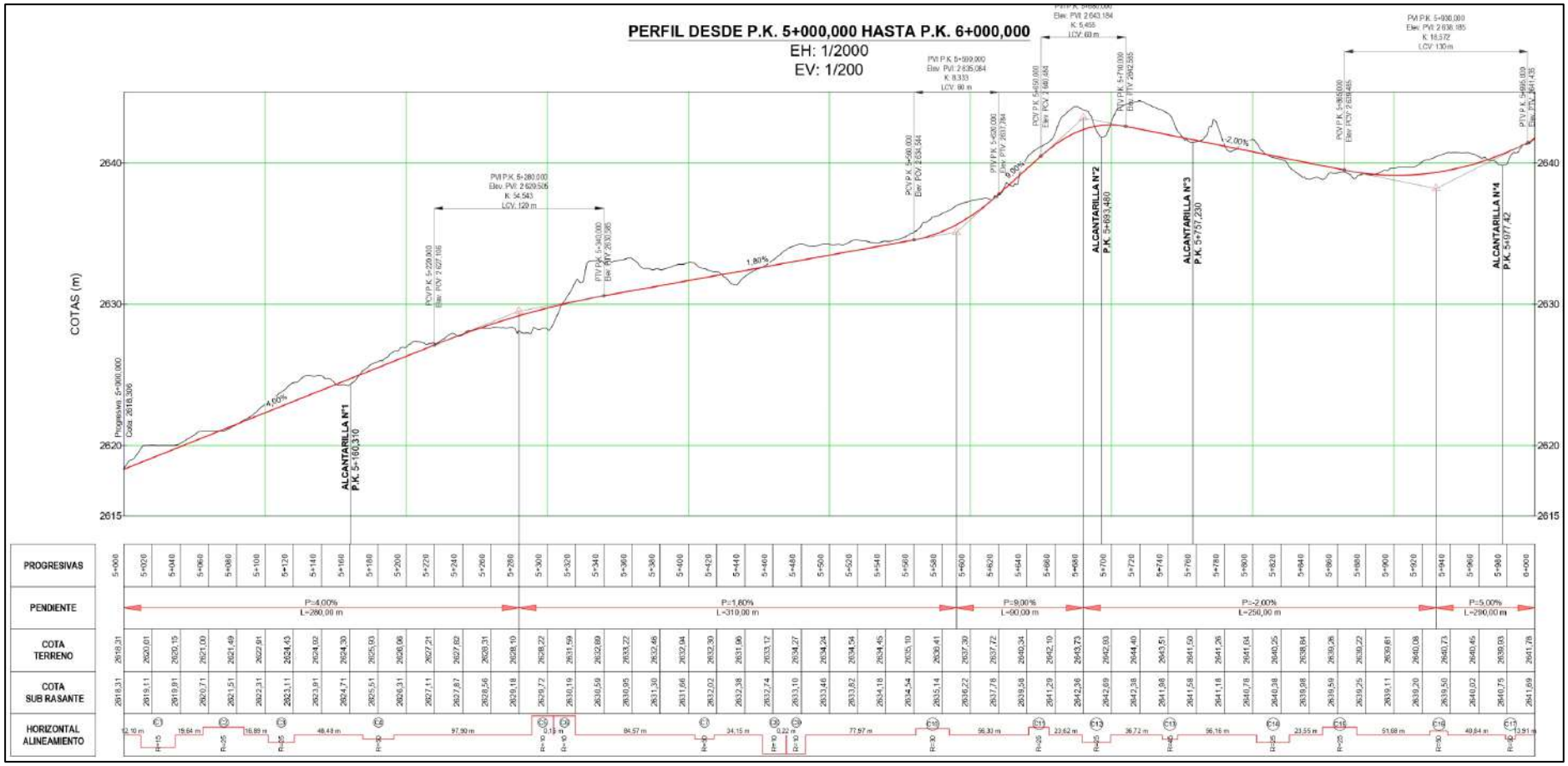
Detalle del camino vecinal en planta



Nota. Adaptado de AutoCad Civil 3D, forma correcta de presentación, acorde a parámetros y directrices adaptados del MTC y la UNC.

Figura 92

Detalle del camino vecinal en perfil



Nota. Adaptado de AutoCad Civil 3D, forma correcta de presentación, acorde a parámetros y directrices adaptados del MTC y la UNC.

Figura 93

Detalle del camino vecinal en secciones transversales

Nota. Adaptado de AutoCad Civil 3D, forma correcta de presentación, acorde a parámetros y directrices adaptados del MTC y la UNC.

4.5. Discusión de los resultados obtenidos respecto a la implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico del proyecto en estudio.

6.5.1. Discusión del estudio de tránsito

El estudio de tránsito fue ejecutado del 22 al 28 de mayo de 2023, el mismo que reveló patrones de tráfico distintivos, destacando el jueves como el día de mayor afluencia con 59 vehículos, en contraste con el domingo que registró el menor flujo con 42 vehículos. La distribución horaria mostró su punto máximo entre las 14:00 y 14:15 horas, mientras que el período comprendido entre las 17:00 y 05:00 horas presentó una notable reducción en la circulación vehicular, incluso con intervalos de flujo nulo. Este comportamiento sugiere que la vía sirve principalmente en actividades diurnas locales, posiblemente vinculadas a labores agrícolas o comerciales de la zona, mientras que la marcada disminución nocturna indica un uso predominantemente relacionado con actividades diurnas de la población local, aspectos fundamentales para la planificación de futuras intervenciones viales en el sector.

6.5.2. Discusión de la fotogrametría y topografía

De acuerdo con Espinoza (2020), la fotogrametría o levantamiento topográficos con dron, es una metodología de gran precisión y exactitud, debido a la confiabilidad de los resultados que ellos obtuvieron en su investigación, destacando la gran utilidad de estos para el área de infraestructuras.

Ante ello la presente investigación, se orientó por emplear parámetros óptimos durante el desarrollo de los vuelos no tripulados con dron, con la finalidad de obtener imágenes con gran precisión y exactitud.

Conforme a lo indicado con Díaz (2019), ante el uso de drones; la precisión de la información derivada de las imágenes puede optimizarse mediante una metodología más estructurada para la captura de fotografías digitales, así como mejoras en el procesamiento, enfocadas en la automatización y normalización de los datos de entrada. Esto incluye una

clasificación más eficiente y la definición de umbrales generalizados para la binarización de las imágenes.

En esta investigación, el proceso llevado a cabo ha permitido obtener correctamente el ortomosaico mediante la adecuada configuración y procesamiento de las imágenes capturadas en campo. No obstante, el uso de un dron con características más avanzadas, como una mayor estabilidad de vuelo y una batería de mayor duración, facilitaría la obtención de imágenes con una resolución y calidad superior.

Los drones son fundamentales en proyectos de ingeniería vial porque permiten realizar levantamientos topográficos precisos, monitorear el avance de obra en tiempo real, inspeccionar infraestructura y detectar problemas tempranamente. Además, reducen costos operativos y mejoran la seguridad al minimizar la exposición del personal en zonas peligrosas.

6.5.3. Discusión de la fase BIM: Diseño Conceptual

Según Cayco (2020), Infraworks 360 es una herramienta orientada al diseño preliminar que permite combinar y conectar datos en diversos formatos para crear, visualizar, analizar, compartir y gestionar información dentro de un modelo tridimensional realista. Este enfoque facilita la evaluación de múltiples escenarios dentro de un entorno BIM.

En línea con lo señalado por el autor, el software utilizado en esta investigación ha sido Infraworks 360, el cual ha simplificado el proceso de diseño de alternativas para el proyecto del camino vecinal.

De acuerdo con Minaya (2018), la aplicación de la metodología BIM en el diseño geométrico permite visualizar de manera realista la carretera y detectar posibles errores generados en esta etapa. BIM, en este contexto, se utiliza para identificar fallos y generar una vista final de la carretera proyectada (empleando Infraworks). Cualquier error identificado en el diseño conceptual será revisado y ajustado mediante un programa especializado para diseño detallado, como Civil 3D.

En concordancia con lo señalado por Minaya (2018), el uso del software Infraworks 360 durante la fase de diseño conceptual ha facilitado la evaluación de las alternativas propuestas dentro del entorno creado, permitiendo identificar la opción más adecuada para el proyecto según las consideraciones de diseño. Por otro lado, la etapa correspondiente al diseño detallado se desarrolló utilizando el software Civil 3D.

Una vez, definido y creado el contexto sobre el cual se han creado los diseños que componen las alternativas 01, 02 y 03; se ha explorado, visualizado y evaluado rápidamente los diseños para comprender las implicancias e impacto dentro del entorno que abarca el proyecto.

En función a ello se ha optado por la alternativa 03, la cual representa una mejor propuesta conceptual y técnica según los resultados obtenidos en el software y los parámetros normativos con los que se diseñó. Los cuales son los mínimos para una carretera debido a la naturaleza de camino vecinal y la apertura de este.

Se evidencia que, en el uso de la metodología tradicional para el trazo del eje de la carretera, no es eficiente, debido a la dificultad de visualizar todo el entorno, a diferencia del programa Infraworks 360 con la incorporación de la topografía de precisión, además, el gasto en la metodología tradicional fue de 49 peones (ver tabla 41) en comparación a la metodología BIM donde solo se empleó 16 peones (ver tabla 46).

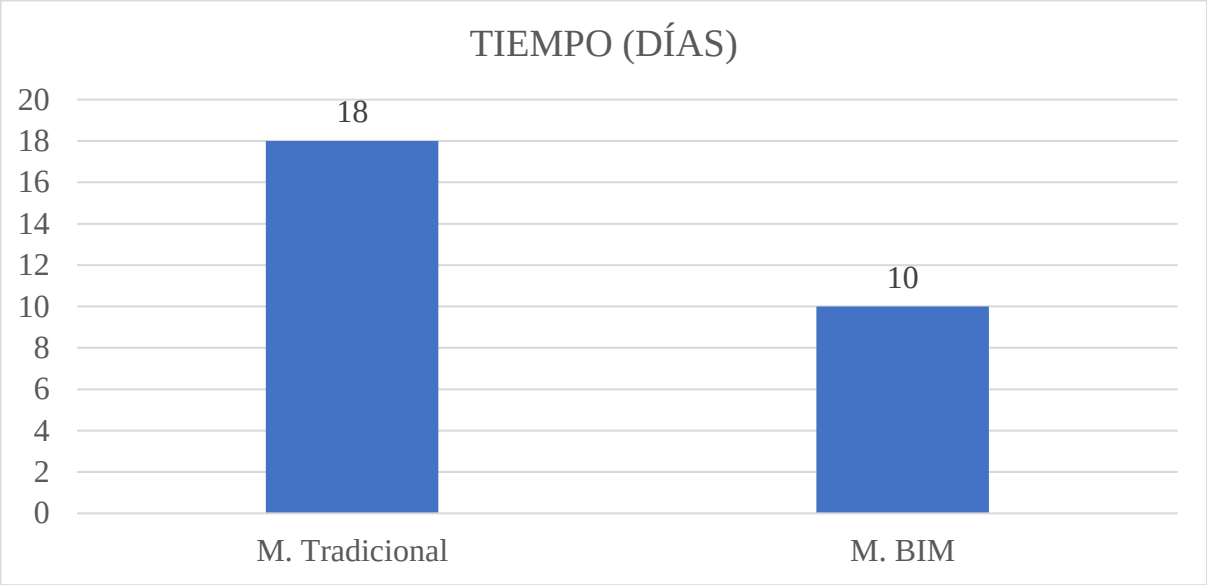
La metodología tradicional demandó 18 días en campo; en cambio BIM y tecnologías modernas solo emplearon 6 días de campo, reduciendo el tiempo considerablemente. Por otro lado, el trabajo de gabinete fue lo único que elevó el tiempo en 4 días más para la metodología BIM, ya que en la metodología tradicional no se empleó tiempo en gabinete.

El GPS diferencial hizo un gran aporte al momento del trazo del eje de la carretera en campo, debido a que todo lo trabajado y procesado en gabinete, se incorporó al equipo haciendo más fácil trabajar. El tiempo para trazar la carretera con metodología tradicional fue de 13 días

(ver tabla 40) en contraste con los 2 días utilizando el equipo GNSS (ver tabla 45) para trazar el eje de carretera y toda información de la metodología BIM incorporada al equipo.

Figura 94

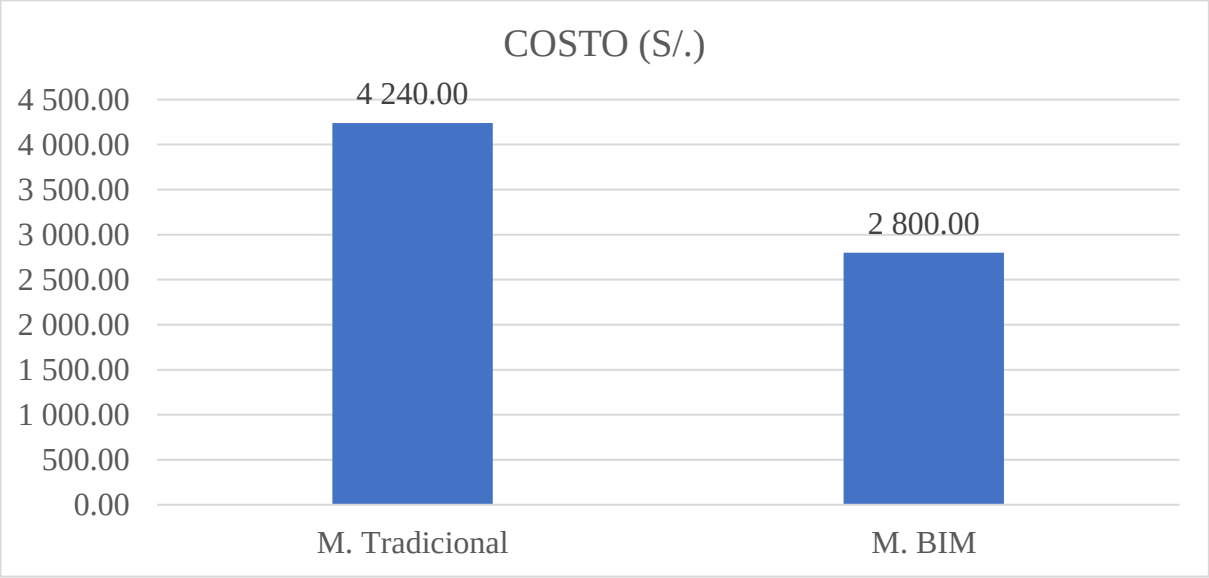
Tiempo total por ambas metodologías para el trazo del eje de la vía



Nota. Adaptado de la Tabla 51

Figura 95

Presupuesto total por ambas metodologías para el trazo del eje de la vía



Nota. Adaptado de la Tabla 51

6.5.4. Discusión de la fase BIM: Diseño de Detalle

Según Cayco (2020), en la metodología BIM el diseño detallado es el punto más importante, este es el punto donde se definen los parámetros técnicos propios de la carretera producto del análisis conceptual, y a partir de esta etapa se replantean todas las siguientes fases del proyecto. Una vez elegida la alternativa que más beneficia a los objetivos del proyecto se procede con el diseño detallado, para ello el Infraworks exporta el diseño preliminar al software AutoCAD Civil 3D; posteriormente para pulir el diseño anterior y someterlo a un diseño apoyado en la normativa DG-2018.

Conforme a lo indicado por Cayco, el software Civil 3D, junto al manual de carreteras y diseño geométrico DG-2018, facilitan el diseño de la ingeniería de detalle y definición de cada uno de los parámetros del diseño del proyecto, a partir de los entregables: planos en planta, perfil y secciones transversales.

6.5.5. Discusión de la aplicación de la metodología BIM en proyectos de carreteras

Rodríguez (2021) al aplicar la metodología BIM/VDC en una infraestructura vial se logró un metrado preciso, mejorando el expediente técnico eliminando incompatibilidades y culminando la obra dentro de los plazos establecidos por esta nueva metodología alcanzando así mejorar la accesibilidad a las viviendas, el ornato de la localidad, su desarrollo urbano y los servicios, fortaleciendo el nivel social y mejorando la calidad ambiental del entorno; es necesario mencionar que no podemos generalizar esta regla en todos los proyectos ya que cada uno es independiente, además de tener diversas variables.

Lo indicado por Rodríguez (2021), muestra que la implementación de la metodología BIM, puede integrarse en múltiples etapas del desarrollo de un proyecto de infraestructura vial, como en el caso que el describe (etapa de ejecución), mostrando resultados positivos en el metrado, tiempo de ejecución del proyecto e incluso identificación de incompatibilidades.

4.6.Contrastación de los resultados obtenidos respecto a las hipótesis planteadas.

4.6.1. Contrastación con la hipótesis general

Se logró la implementación de la metodología BIM, al optimizar el diseño geométrico del proyecto de creación del camino vecinal entre las localidades de Pampa el Suro, San Pedro y la Zanja; del distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca; disminuyendo 148 incompatibilidades de curvas horizontales y curvas verticales y 36 errores geométricos en radios y pendientes; por lo tanto, se acepta la hipótesis general.

4.6.2. Contrastación con las hipótesis específicas

- El tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA-581 El Cedro – Pampa el Suro, presenta un IMDA de 61 veh/día siendo menor a 200 veh/día, tal cual se planteó en la primera hipótesis específica.
- Se obtuvo una buena precisión planimétrica de ±40,6 mm y buena precisión altimétrica de ±52,2 mm; ambas precisiones están por debajo del máximo permitido. Por lo tanto, se acepta la segunda hipótesis específica.
- La implementación de la fase BIM de diseño conceptual mediante InfraWorks 360 permitió evaluar tres alternativas de trazo del eje del camino vecinal, resultando en la selección de una alternativa que reduce el tiempo y costos de evaluación, comparado con el método tradicional que eleva los costos y tiempo de análisis. Por ende, se acepta la tercera hipótesis específica.
- La integración de la fase BIM de diseño de detalle mediante AutoCAD Civil 3D permitió detectar y resolver todas las incompatibilidades e interferencias del proyecto vial a través del modelado coordinado de los elementos de diseño como el alineamiento, perfil y secciones transversales. Por lo tanto, se acepta la cuarta hipótesis específica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

- La implementación de la metodología BIM en el diseño geométrico del camino vecinal entre Pampa el Suro, San Pedro y La Zanja representa una solución innovadora que optimiza significativamente el proceso de planificación y diseño de infraestructura vial, permitiendo una reducción sustancial de costos y tiempo mediante la integración de herramientas digitales avanzadas que facilitan la modelación precisa del terreno, la simulación de diferentes alternativas de trazo del eje de carretera, la detección temprana de interferencias y la generación de documentación técnica más eficiente, lo que se traduce en un proyecto más económico, rápido y con mayor calidad geométrica que los métodos tradicionales de diseño.
- Se realizó el estudio de tránsito vehicular del tramo de carretera Emp. CA-102 – Emp. CA – 581, El Cedro – Pampa el Suro en el P.K. 0+000,000 Obteniéndose un IMDA = 61 veh/día. Con existencia de vehículos ligeros como autos y camionetas pick up; y vehículos pesados como camiones de 2 ejes, clasificándose como una carretera de BVT T2 según el MDCNPBVT, con variaciones horarias significativas acorde a la demanda agrícola de la zona entre las 14:00 y 14:15 horas, siendo un total de 19 vehículos en ese horario durante toda la semana.
- La aplicación de la fotogrametría en el levantamiento mediante dron fue exitosa para capturar datos topográficos detallados, permitiendo la creación de ortofotos de la zona del proyecto. La integración de la estación total, GPS diferencial y dron permitió obtener un modelo digital del terreno con una precisión planimétrica de ±40,6 mm y altimétrica ±52,2 mm, siendo buena la precisión de los datos topográficos, por estar dentro de las tolerancias acorde a la Tabla 24, generando una representación precisa y completa de la

superficie del área de estudio. Esta metodología fue fundamental para el desarrollo del modelo 3D y facilitó la toma de decisiones en la ingeniería de detalle, mejorando la precisión y la adaptabilidad del diseño al entorno natural.

- La implementación de la fase BIM de diseño conceptual del proyecto vial se logró utilizando el software InfraWorks 360, obteniendo una visualización 3D de alta calidad, reduciendo el tiempo en un 44,44% y el costo en un 33,96% para la obtención del eje vial con la metodología BIM, respecto a métodos tradicionales. Este proceso permitió la integración de datos fotogramétricos y topográficos, lo que optimizó la precisión del diseño y potenció la identificación de factores críticos en el trazado.
- La integración de la fase BIM de diseño de detalle con la implementación del software AutoCAD Civil 3D permitió una optimización significativa en el diseño geométrico del camino. La integración de este software facilitó la creación de planos detallados en planta, perfil y secciones transversales, asegurando la alineación con las normativas, lo cual resultó en un diseño geométrico que maximiza la seguridad y funcionalidad del camino. Además, por tratarse de un trazo nuevo de carretera, se logró reducir al 100% los conflictos e interferencias del proyecto vial.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a los profesionales y entidades involucradas en proyectos de infraestructura vial rural implementar protocolos de capacitación especializados en metodología BIM, estableciendo programas de formación que integran herramientas de modelado digital, software de simulación geométrica y análisis de costos, con el fin de desarrollar competencias técnicas, que permitirá una adopción progresiva y sistemática de estas tecnologías innovadoras en el diseño de caminos vecinales con características topográficas complejas.
- Se recomienda llevar a cabo el estudio de tráfico durante las temporadas de cosecha más significativas de la zona (considerando los principales productos agrícolas), ya que el IMDA de 61 veh/día podría disminuir o aumentar significativamente en otros períodos de tiempo. Esto permitirá un diseño más realista que considere las variaciones estacionales típicas de la zona rural en estudio.
- Para obtener las precisiones correctas en futuros proyectos similares o afines, se sugiere seguir el protocolo de levantamiento topográfico mixto que combine el uso de dron, estación total y GPS diferencial acorde a lo puesto en práctica en esta investigación, especificando claramente las zonas donde cada tecnología es más eficiente. Esto es particularmente importante en zonas de la sierra peruana donde las condiciones climáticas, la topografía accidentada y las zonas boscosas pueden afectar la precisión del dron.
- Se recomienda desarrollar un manual técnico detallado que documente el flujo de trabajo BIM con InfraWorks 360 adaptado a proyectos viales rurales peruanos, incluyendo: a) procedimientos para la correcta importación de datos topográficos desde diferentes fuentes disponibles en el Perú (IGN, COFOPRI, Gobiernos Regionales), b) parámetros de diseño específicos según la normativa peruana vigente (DG-2018 y

Manual de Carreteras No Pavimentadas), y c) criterios de disminución de costos y tiempo para optimizar el consumo de recursos computacionales considerando las limitaciones tecnológicas típicas de las entidades públicas peruanas. Este manual serviría como base para la implementación progresiva de BIM en proyectos viales rurales a nivel nacional mediante el uso de Infraworks 360.

- Se recomienda desarrollar una biblioteca digital estandarizada de componentes y plantillas para AutoCAD Civil 3D específicamente adaptada a proyectos viales rurales peruanos, que incluya: a) secciones típicas predefinidas según el Manual de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, b) criterios de diseño geométrico automatizados según la DG-2018 para diferentes tipos de terreno (plano, ondulado, accidentado y escarpado), c) configuraciones de visualización optimizadas para la presentación de expedientes técnicos ante entidades públicas como Provías, gobiernos regionales y municipalidades, y d) parámetros de diseño personalizados que consideren las características particulares de las diferentes regiones del Perú (costa, sierra y selva). Esta biblioteca contribuiría a estandarizar y agilizar el desarrollo de proyectos viales rurales a nivel nacional, facilitando la adopción de metodologías BIM en entidades con recursos técnicos limitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña Correa, F. X. (2016). Aplicación de modelo BIM para proyectos de infraestructura vial. *[Trabajo de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]*. Repositorio Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13466

Agreda Zevallos, A., & Herrera Yangali, B. E. (2020). Diseño geométrico de las vías urbanas usando la metodología BIM en la Asoc. Lúcumo, Distrito de Ate – Lima, 2020. *[Trabajo de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/60479

Alonso Fernández, L. (2020). *Grupo Avintia*. Obtenido de El uso de la metodología BIM en la construcción industrializada: https://www.grupoavintia.com/blog/el-uso-de-la-metodologia-bim-en-la-construccion-industrializada/#gref

American Association of State Higway and Transportation Officials. (2018). *Geometric Design of Highways and streets* (Vol. 7).

Antonio Cerón, I., & Liévano Ramos, D. A. (2017). Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto. *[Trabajo de pregrado, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio Universidad Católica de Colombia. Obtenido de http://hdl.handle.net/10983/15347

Arteaga Espinoza, I. D., Hilario Barreto, I. F., & Nesterenko Cortes, D. (2022). Análisis comparativo de metodologías de planificación, seguimiento y control del proyecto vial Cusco. *[Trabajo de maestría, Universidad de Piura]*. Repositorio Universidad de Piura. Obtenido de https://hdl.handle.net/11042/5480

BIM Forum Chile, B. (2017). Guia inicial para implementar BIM en las organizaciones. Obtenido de https://www.bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/Gu%c3%ada-inicial-para-implementar-BIM-en-las-organizaciones-versi%c3%b3n-imprenta.pdf

Cayco Rueda, K. K. (2020). Análisis comparativo del software AutoCAD Civil 3D e ISTRAM ISPOL para el diseño geométrico de carreteras de tercera clase aplicado al proyecto Mejoramiento de la carretera vecinal puente Chico – Sancaragra – Cuchicancha – Mal Paso – Choquicocha – Santa R. *[Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]*. Repositorio Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.13080/6057

Chavarria Arévalo, E. O. (2018). "La metodología BIM para optimizar el diseño de la carretera Luricocha-Pacchancca, Ayacucho 2018". *[Trabajo de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/22807

Chavil Pisfil, J. D., & Farfán Tataje, E. Z. (2016). Análisis y evaluación de la implementación de la metodología bim en empresas peruanas. *[Trabajo de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de http://hdl.handle.net/10757/621662

Chavil Pisfil, J. D., & Farfán Tataje, E. Z. (2016). Análisis y evaluación de la implementación de la metodología bim en empresas peruanas. *[Trabajo de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de http://hdl.handle.net/10757/621662

Correa, L., Marín, N., & Marín, R. (Abril de 2021). Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una Revisión. *Revista Pakamuros*, 29-42. Obtenido de http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/180/218

Díaz Baeza, E. (2019). Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfálto. *[Trabajo de pregrado, Universidad de Concepción]*. Repositorio Universidad de Concepción. Obtenido de http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3359

Díaz Linarez, J. A. (2020). Gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial. *[Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de San Martin - Tarapoto]*. Repositorio Universidad Nacional de San Martin - Tarapoto. Obtenido de https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3785

Espinoza Cabello, N. J. (2020). Nivel de exactitud en el diseño geométrico de una carretera de segunda clase, utilizando modelo digital de terreno de Dron y método convencional, tramo Ambo-Huacar. *[Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan]*. Repositorio Universidad Nacional "Hermilio Valdizan". Obtenido de https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6226

GRC, (2021). *Diagnóstico de Brechas de la Región Cajamarca para el PMI 2022-2024*. Subgerencia de Programación e Inversión Pública OPMI Regional.

Guerrero Paredes, R. M., & Quito Huaman, G. E. (2021). Implementación de una gestión de calidad utilizando la metodología BIM Management para movimiento de tierra en pavimento urbano en el distrito de Carabayllo año 2019. *Trabajo de pregrado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/26387

IAC. (2021). *Metodología BIM en Colombia.* Obtenido de Architecture IAC: https://www.iac.com.co/metodologia-bim-en-colombia/

Inga Pariona, S. C. (2019). Diseño de carreteras utilizando herramientas BIM y vuelo no tripulado. *[Trabajo de pregado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio

Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/19339

Kaizen. (2015). *¿Qué es el BIM?* Obtenido de KAIZEN Arquitectura & Ingeniería: https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/

Limas Mendigaño, D. F. (2020). Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia. *[Trabajo de pregrado, Universidad Santo Tomas Primer Claustro Universitario de Colombia]*. Repositorio Universidad Santo Tomas Primer Claustro Universitario de Colombia. Obtenido de http://hdl.handle.net/11634/21185

MEF. (2018). *El ciclo de inversión*. Obtenido de Ministerio de Economía y Finanzas: https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=100282&lang=es-ES&view=article&id=5520

Minaya Pablo, R. M. (2018). Implementacion de la metologia Bim en la elaboración de un proyecto de carretera. *[Trabajo de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión]*. Repositorio Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión. Obtenido de http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2927

Moreno Pachón, R. (2021). Estado del conocimiento de la aplicabilidad de la Metodología BIM en proyectos de infraestructura vial en Colombia. *[Trabajo de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]*. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40445

Moya Sala, Q., García García, A., Camacho Torregrosa, F. J., & Campoy Ungria, J. M. (2017). BIM para infraestructuras de carreteras: Verificación de la normativa de diseño geométrico. *Universitat Politécnica de Valencia*, 9. Obtenido de https://riunet.upv.es/handle/10251/103296

MTC, M. d. (2008). *Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.*

MTC, (2023). *Informe de Evaluación de Resultados año 2022, del Plan Estratégico Institucional PEI 2020-2026 y del Plan Operativo Institucional Anual POI 2022 Modificado Versión 1, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.* Oficina General De Planeamiento y Presupuesto, Oficina de Planeamiento y Cooperación Técnica.

Ocaña Guerrero, L. C., & Ortega Espinoza, W. (2021). Aplicación del software Istram Bim en el trazado geométrico de la carretera de Vizcacha – Musga, distrito de Musga, provincia de Mariscal Luzuriaga, región Ancash, 2020. *[Trabajo de pregrado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/26951

Pérez González, L. A. (2019). Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil. *[Trabajo de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]*. Repositorio Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/54370/

Reyes Villanueva, N. N. (2018). Propuesta de diseño geométrico en carreteras de camino vecinal utilizando software Autocad civil 3d. *[Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]*. Repositorio Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.13080/4004

Rodríguez Cabellos, J. (2022). Aplicación de la metodología VDC/BIM para el rediseño y construcción en proyecto de infraestructura vial. *[Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4613

Rojas Blas, W. N. (2021). Propuesta de workflow BIM/VDC para el diseño geométrico de vías de transitabilidad de la Zona Q - Huaycán Ate-Lima. *[Trabajo de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/71151

Serpa Rupay, A. (2021). Análisis comparativo y modelado BIM mediante topografía digital y convencional de la carretera Socos - Ayacucho, 2021. *[Trabajo de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/83070

Structuralia. (14 de Febrero de 2018). *Las 7 dimensiones del BIM y las razones para su dominio*. Obtenido de Structuralia Formación para la ingeniería: https://blog.structuralia.com/las-7-dimensiones-del-bim-y-las-razones-para-su-dominio

SUTRAN Superintendencia de Transporte Terrestre de personas, carga y mercancias. (2021). *Reglamento Nacional de Vehiculos- Decreto Supremo N° 058-2003-MTC.*

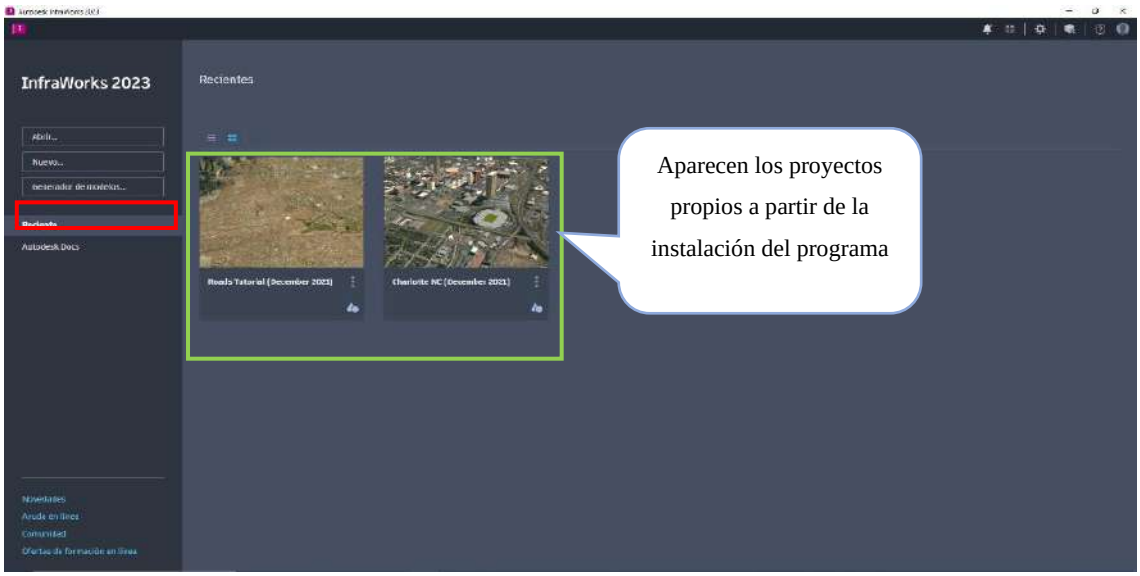
Tacca, H. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional. Universidad Nacional Del Altiplano, 1.

Torres Laredo, S. (2022). Aplicación de la tecnología vía internet en el diseño geométrico de carretera de la ruta Comas - San Juan de Lurigancho. *[Trabajo de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/84484

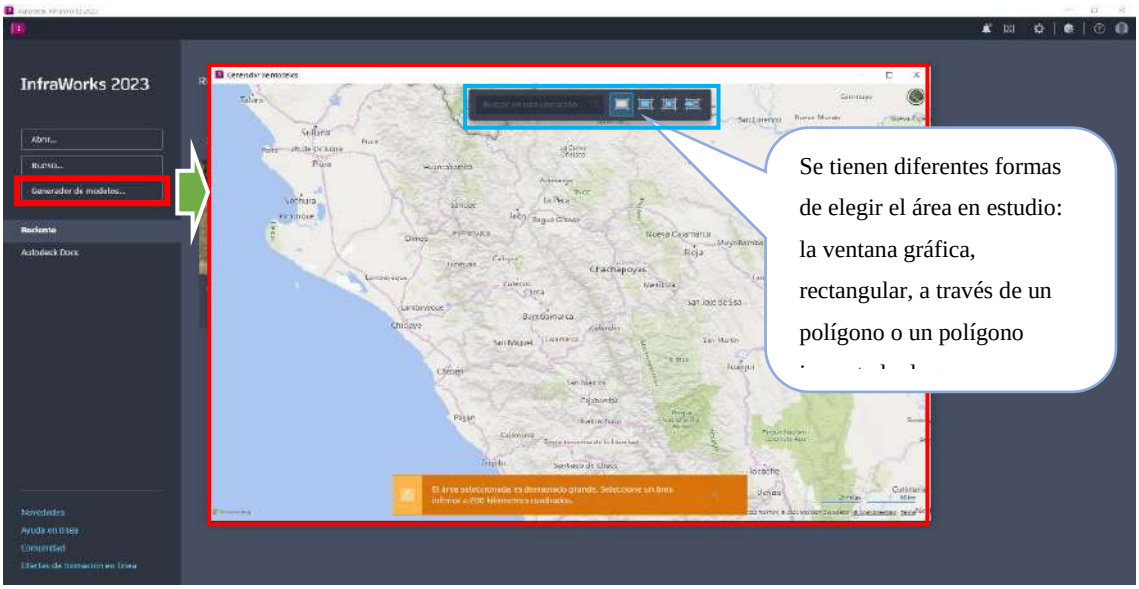
ANEXOS

Anexo I. Proceso de trabajo para generación de modelos en Infraworks 360

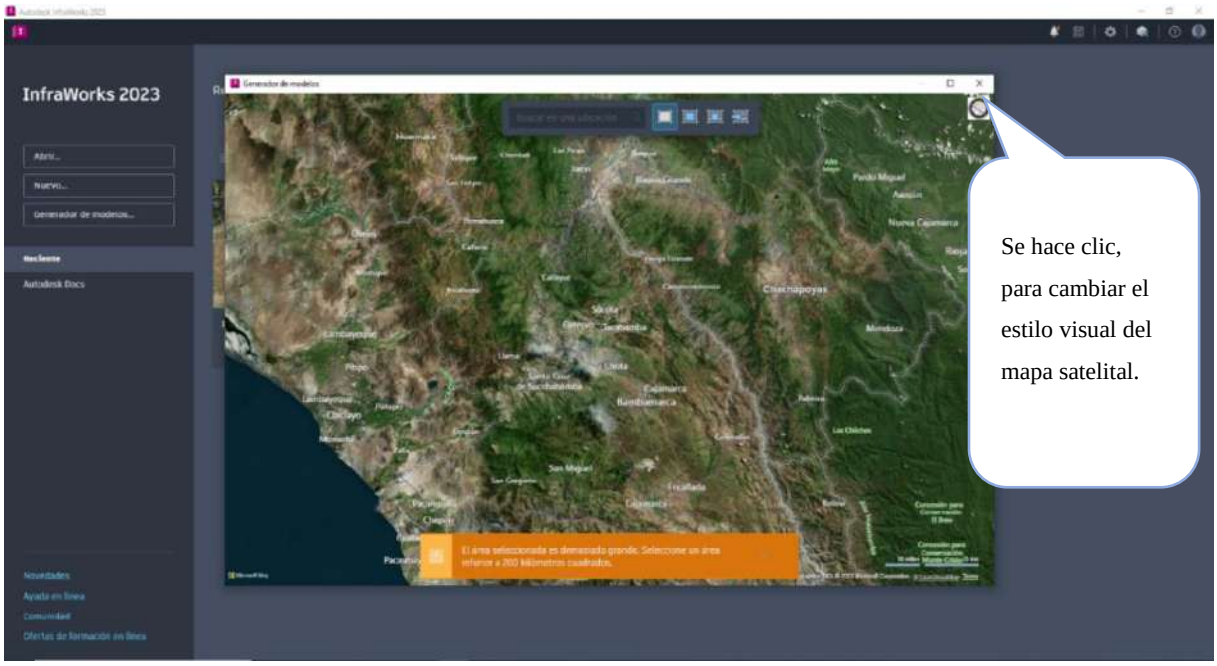
Paso 01: *Al ejecutar el programa nos aparecerá la siguiente ventana, la misma que permite abrir un archivo existente, crear un nuevo proyecto con un sistema de coordenadas conocido o a través del generador de modelos, para crear el proyecto se utiliza esta última opción.*



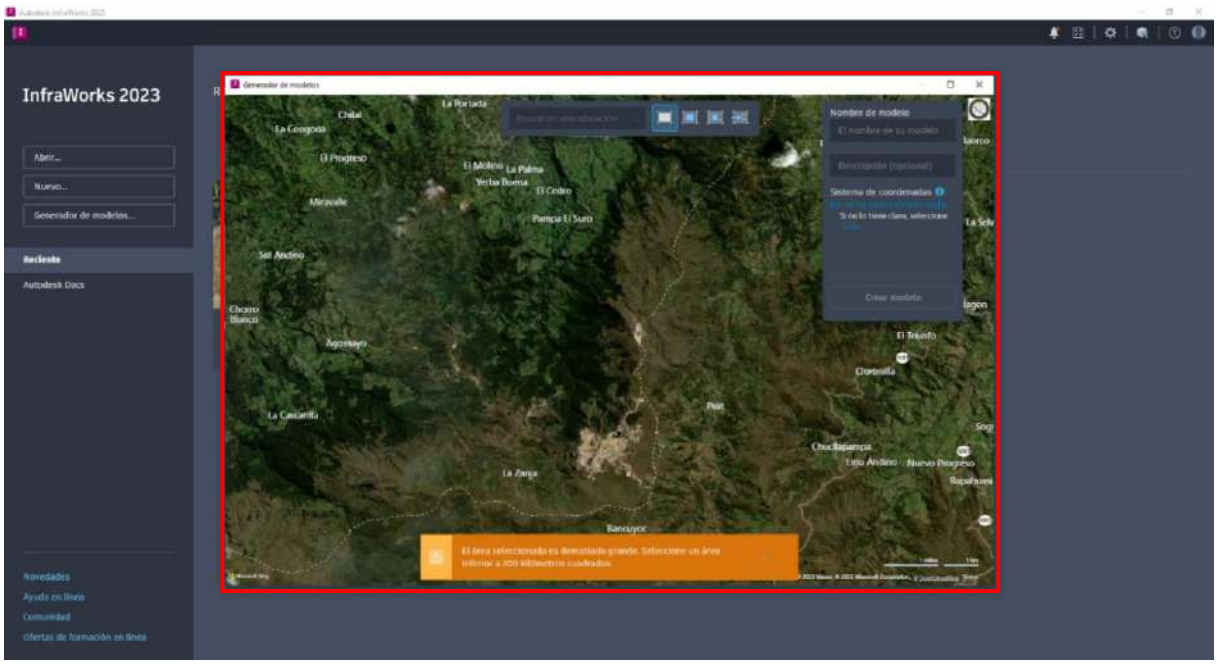
Paso 02: *Al hacer clic en el generador de modelos, el programa ofrece una ventana con la vista satelital del planeta, a partir de la misma podemos elegir la zona en donde desarrollar el proyecto.*



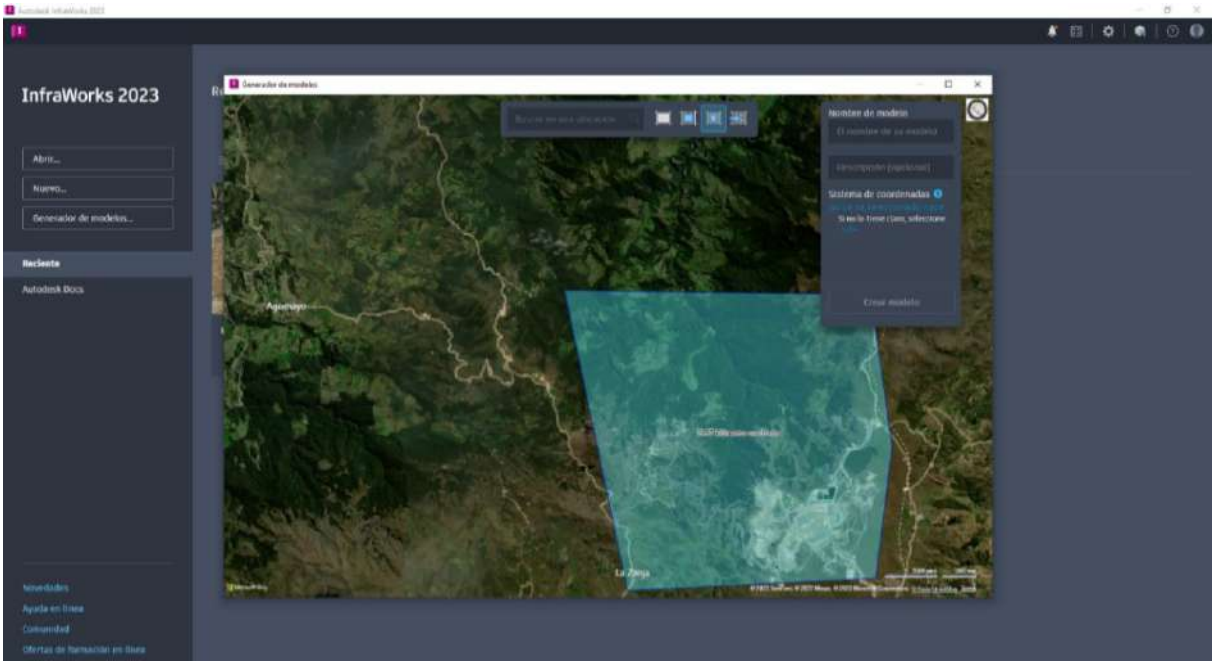
Paso 03: *Se puede cambiar la forma, visualizar el mapa satelital y cabe resaltar que el área máxima que se puede seleccionar es menor a 200 km2.*



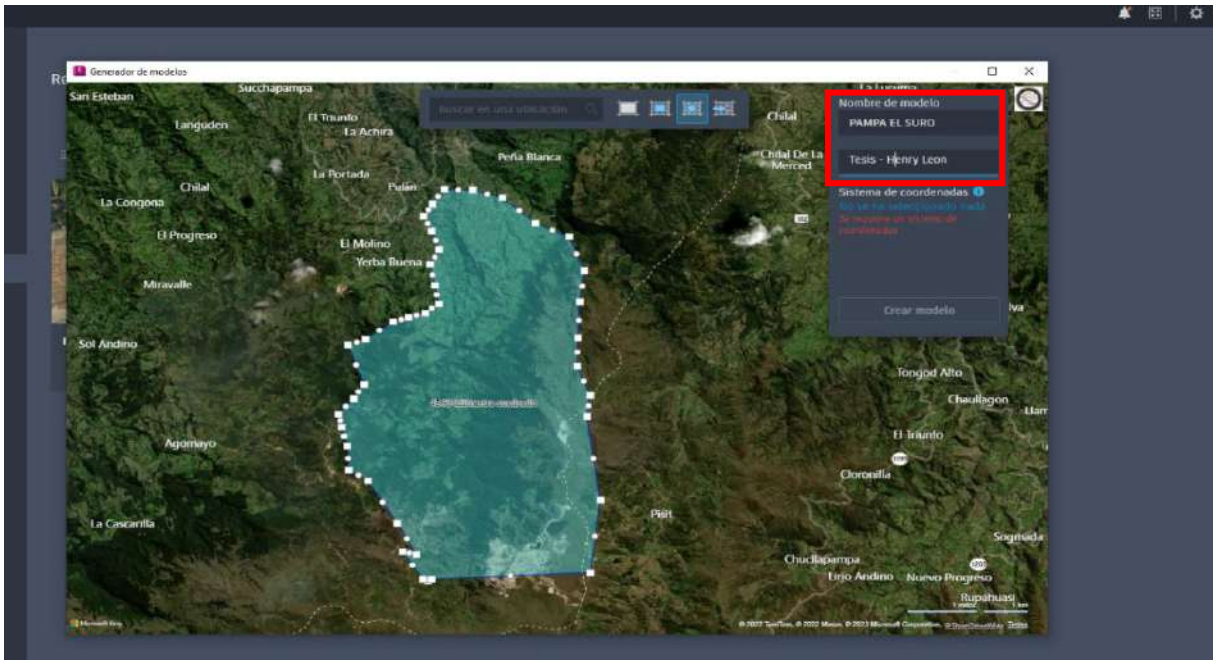
Paso 04: *Se ubica la zona de estudio y se elige la forma más de adecuada de seleccionar área de trabajo.*



Paso 05: *Se ubica la zona de estudio y con la opción de dibujar polígono seleccionamos el área de interés.*

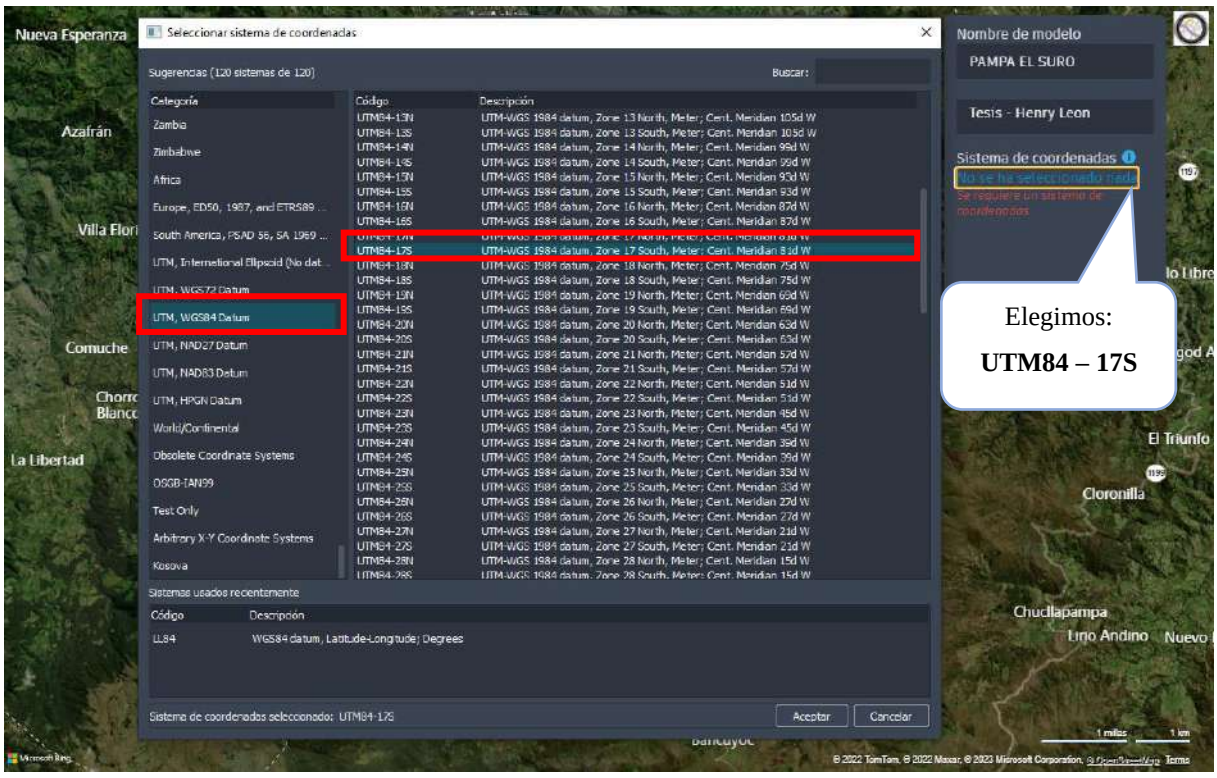


Paso 06: *Para culminar con la selección del área de estudio mediante dibujar polígono, presionamos ENTER y le asignamos un nombre y descripción a nuestro proyecto.*



Paso 07: *Se puede cambiar la forma, visualizar el mapa satelital y cabe resaltar que el área máxima que se puede seleccionar es menor a 200 km2.*

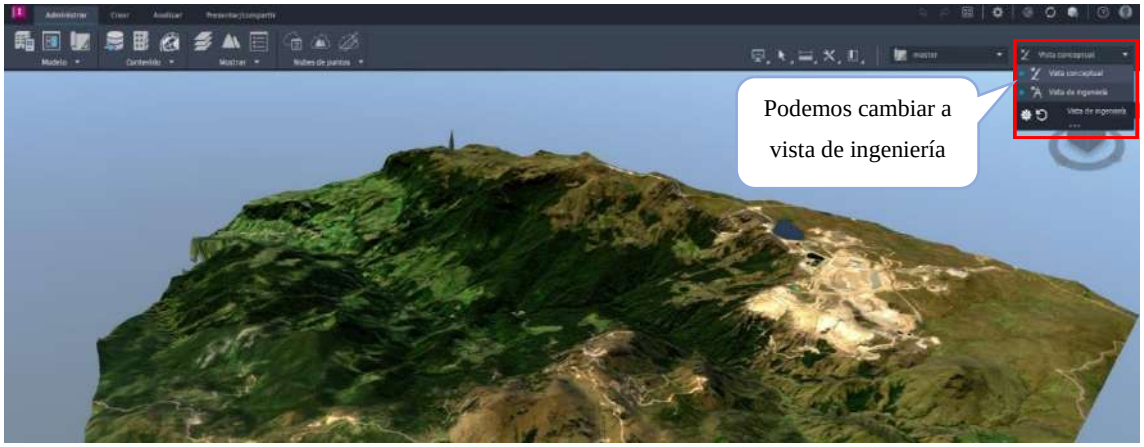
Paso 08:



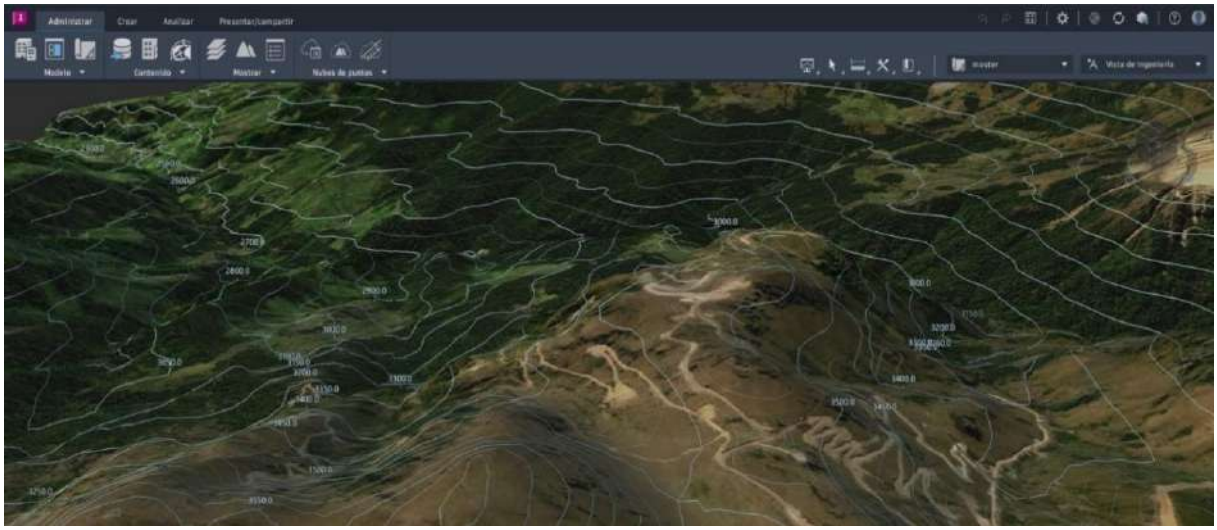
Paso 09: *Después de realizar estas configuraciones, creamos el modelo Infraworks haciendo clic en Crear Modelo.*

Paso 10: *Esperamos unos minutos para que se genere el modelo con la información satelital, una vez terminado el proceso de descarga, nos mostrara la siguiente ventana con el nuevo modelo generado Al abrir el modelo esperamos que descargue la información.*

Paso 11: *Después de completar el proceso de descarga, nos ofrecerá el modelo de Infraworks creado (vista conceptual), tal y como nos muestra en la siguiente imagen.*

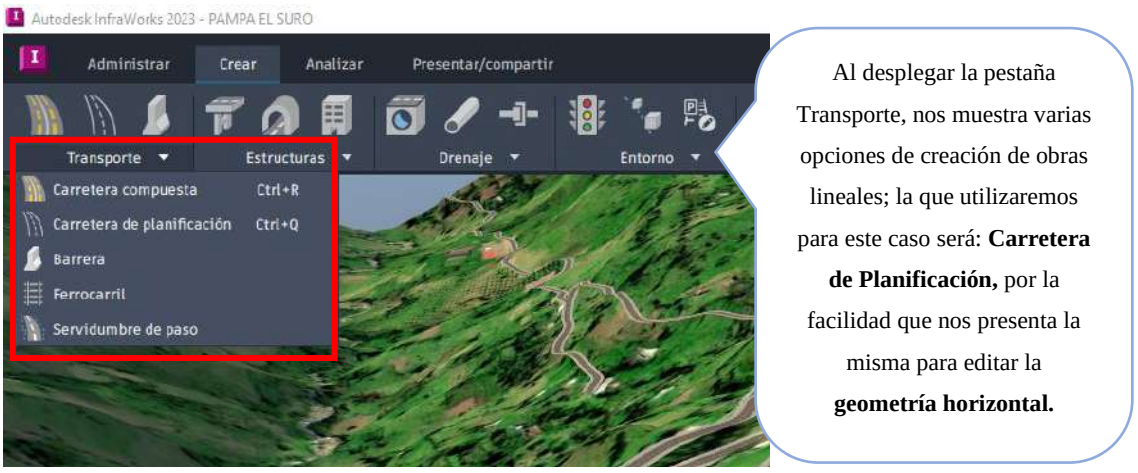


Paso 12: *Del mismo modo también podemos cambiar la vista conceptual a vista de ingeniería, en la cual nos muestra las curvas de nivel y elevaciones.*

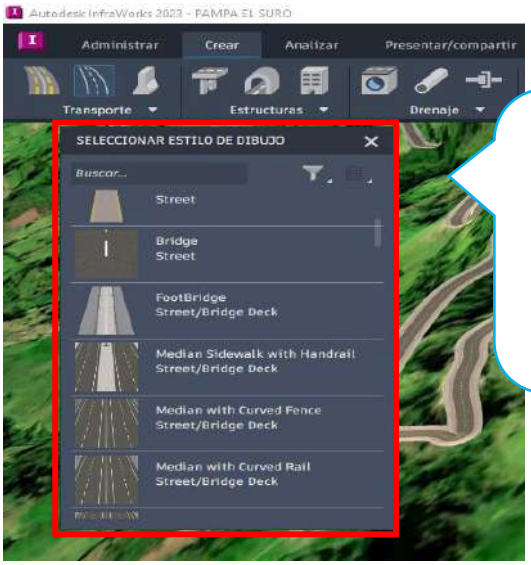


Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 01

Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Pasos 02

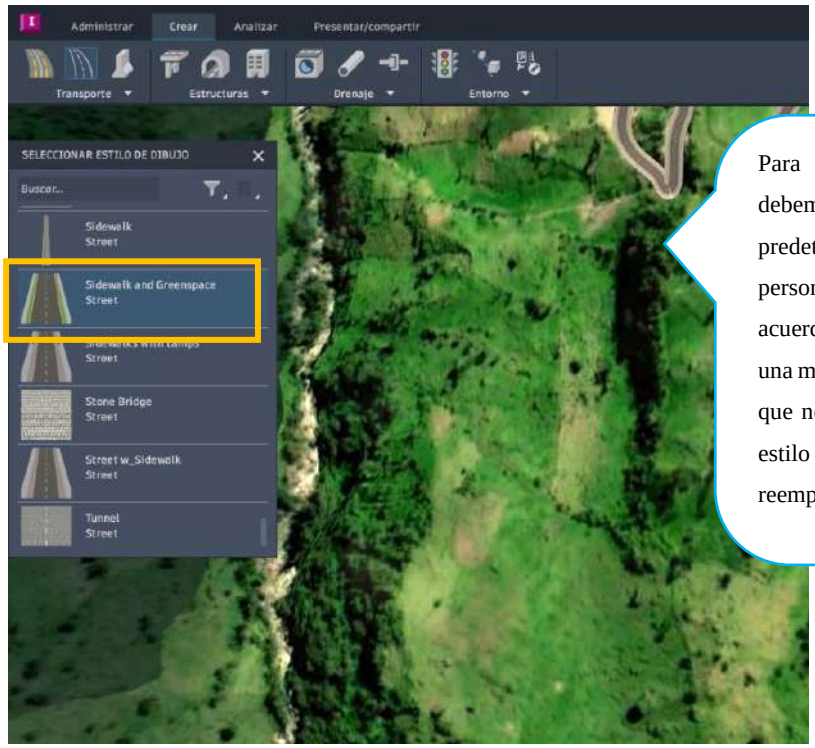


Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Pasos 03



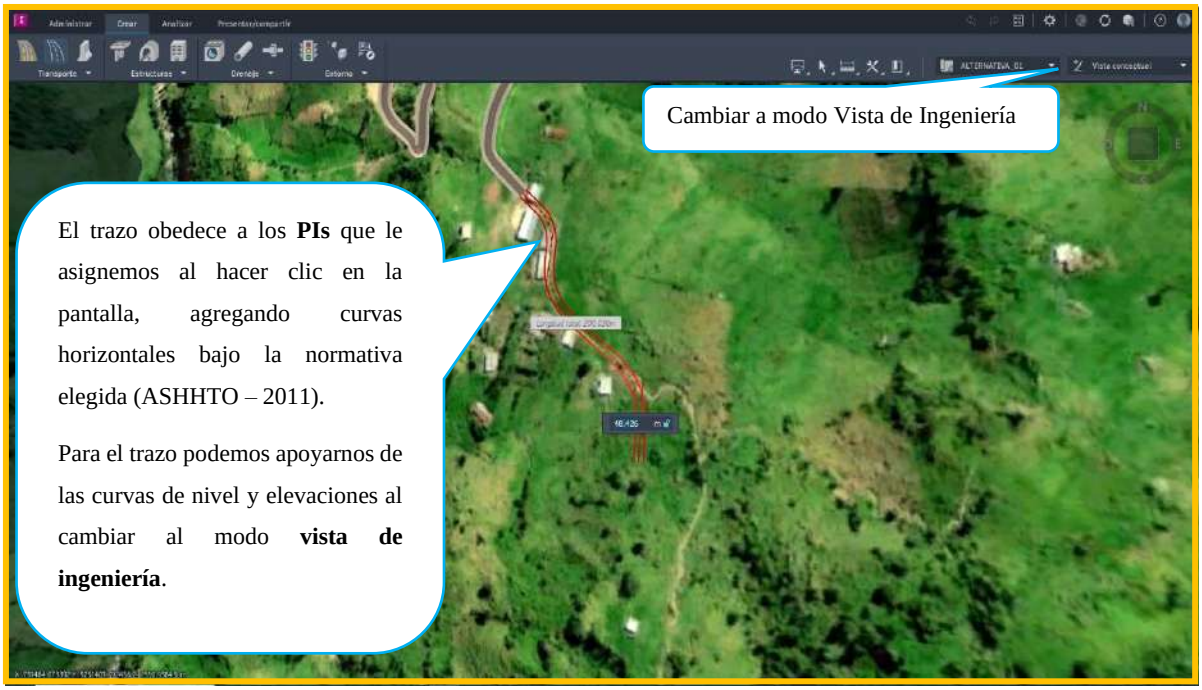
Luego de seleccionar la opción **Carretera de planificación**, nos muestra el menú de estilos de secciones transversales típicas descargadas al momento la instalación del programa

Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 04

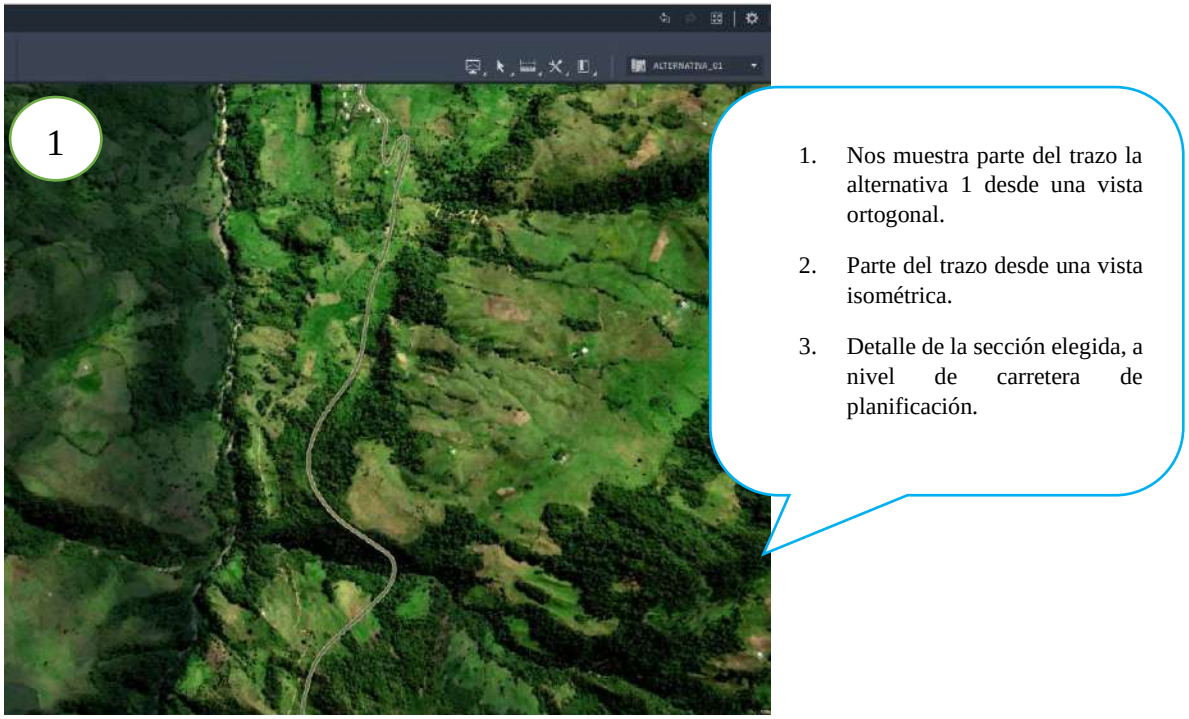


Para empezar a trazar la carretera debemos elegir un estilo de sección predeterminada o también podemos personalizar o crear una nueva de acuerdo con nuestro requerimiento, para una mejor visualización de las facilidades que nos ofrece el programa elegimos el estilo señalado, el mismo que podremos reemplazarlo más adelante.

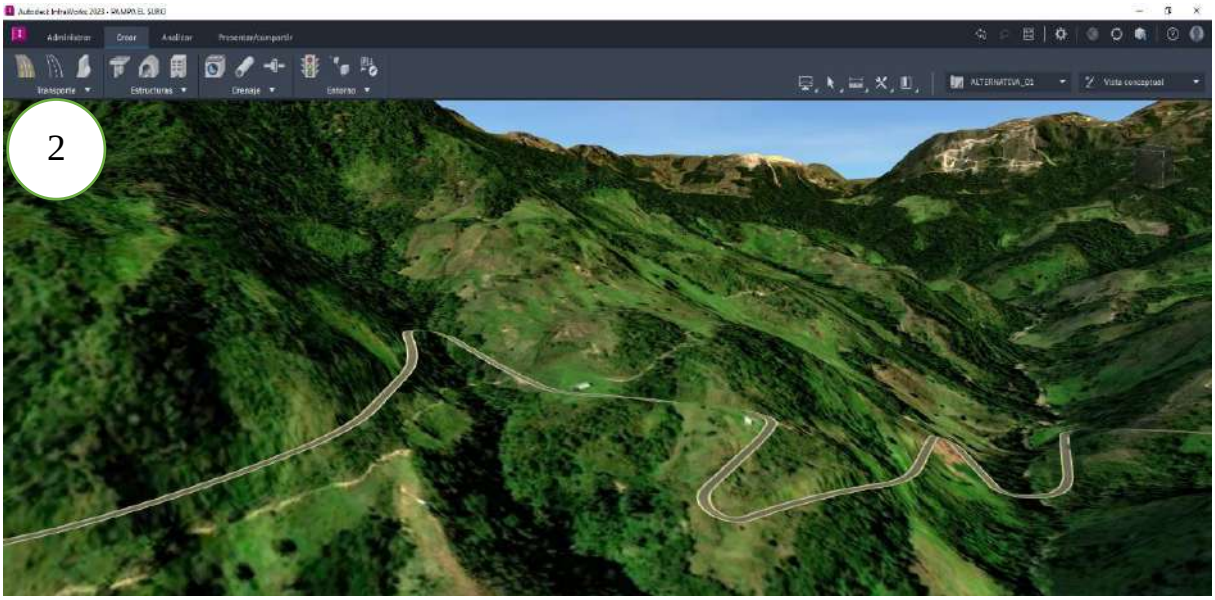
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Pasos 05



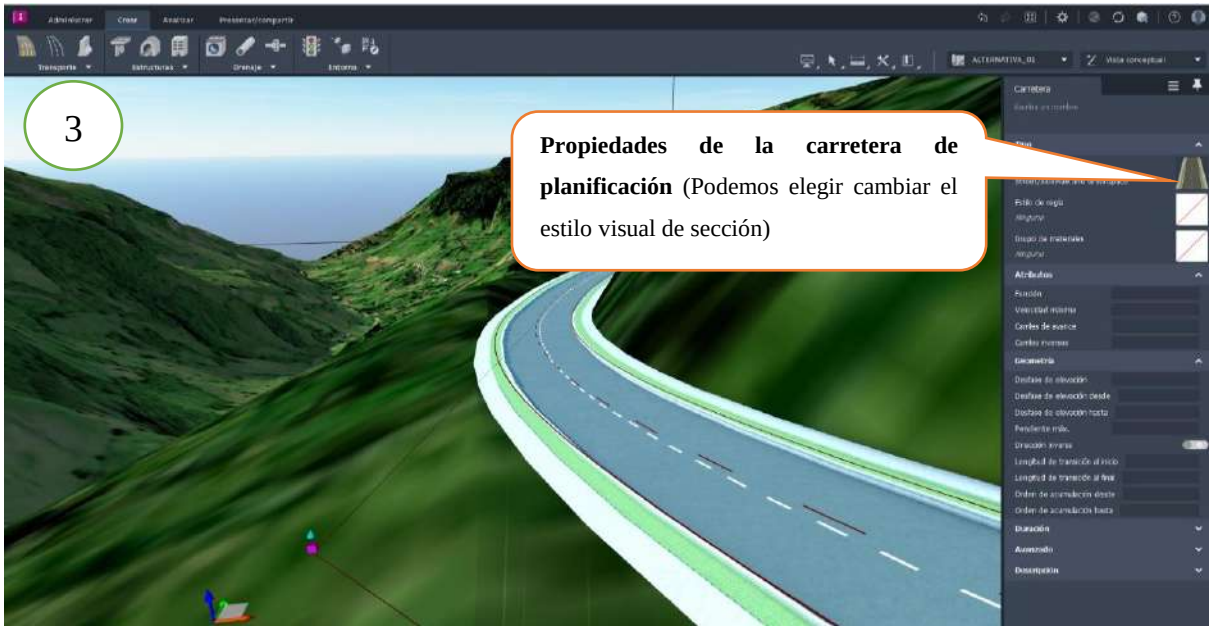
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 06



Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 07



Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 08



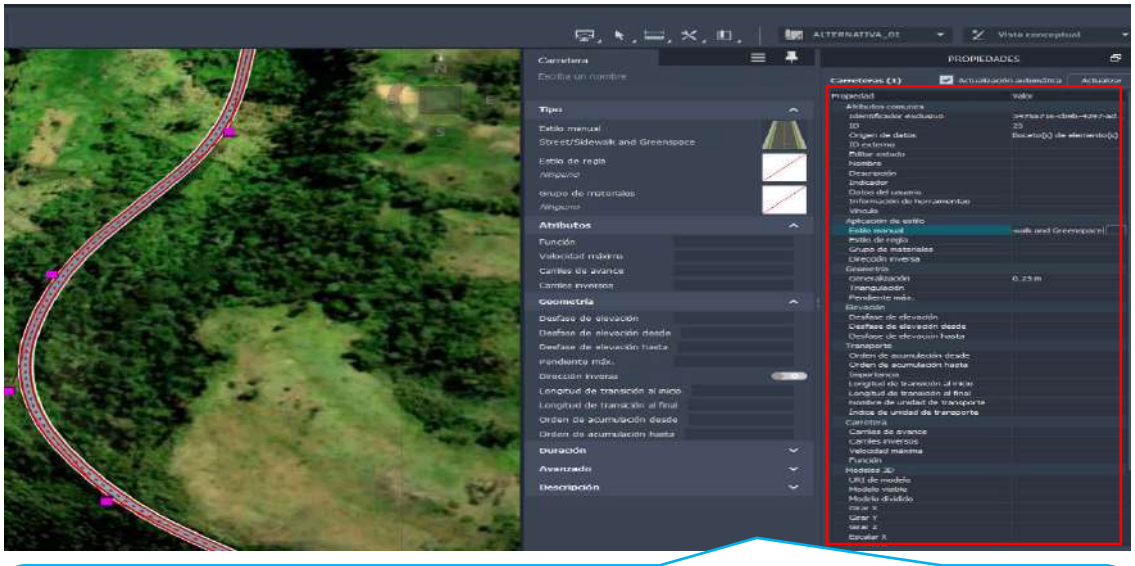
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 09

Al seleccionar este elemento (Pi) podemos desplazarlo al lugar que deseamos.

Al seleccionar el elemento y al hacer clic derecho nos presenta las opciones de edición de su geometría horizontal:

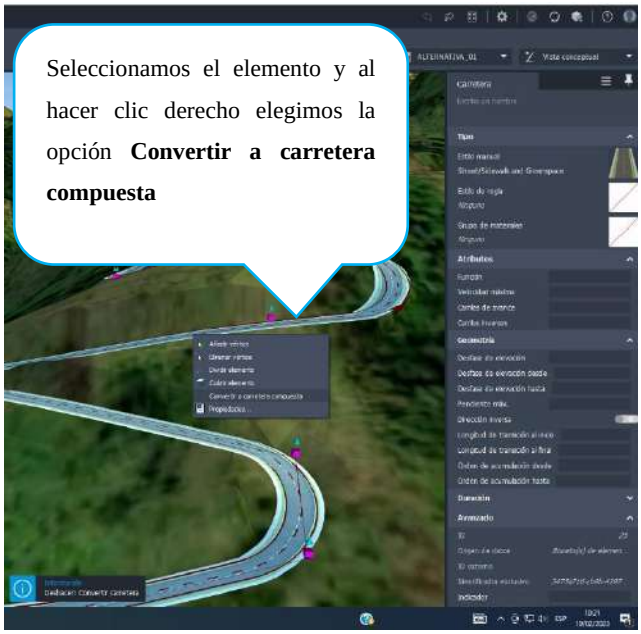
- Añadir un **PI**
- Eliminar un **PI**
- Dividir el elemento mismo
- Y Convertir a elemento o carretera compuesta (Opción

Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): Paso 10



Propiedades del elemento → Información básica del mismo a nivel carretera de Planificación; el siguiente paso es convertir el elemento en **carretera compuesta** (Cabe resaltar que antes de realizar este cambio debemos tener bien definido el trazo horizontal y la sección adecuada a utilizar)

Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 11*

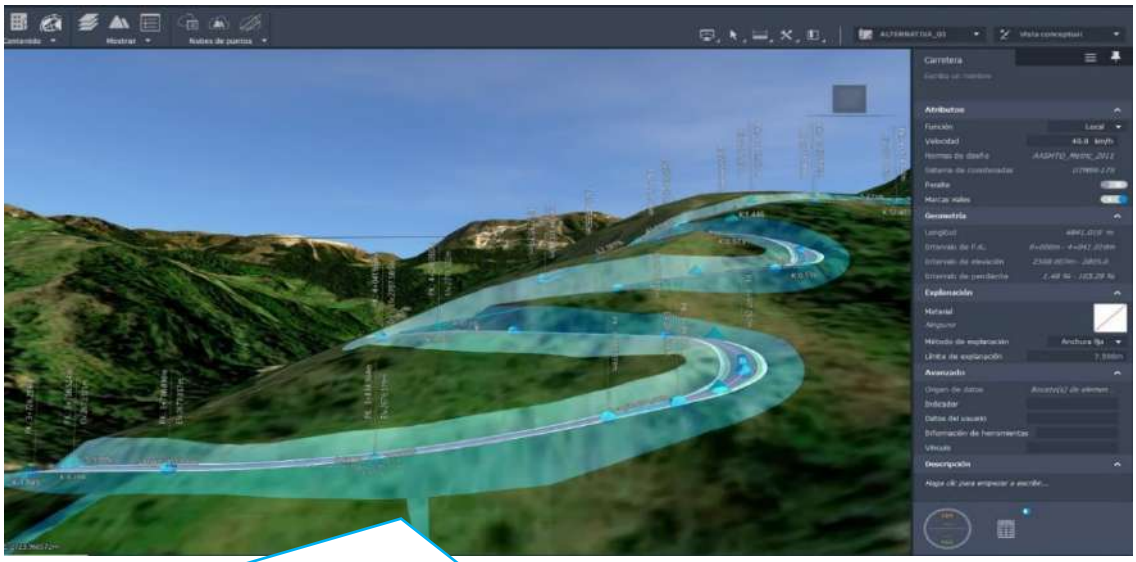


Seleccionamos el elemento y al hacer clic derecho elegimos la opción **Convertir a carretera compuesta**

La opción de carretera compuesta nos muestra más opciones de editar la obra lineal, tal es el caso de presentar y modificar:

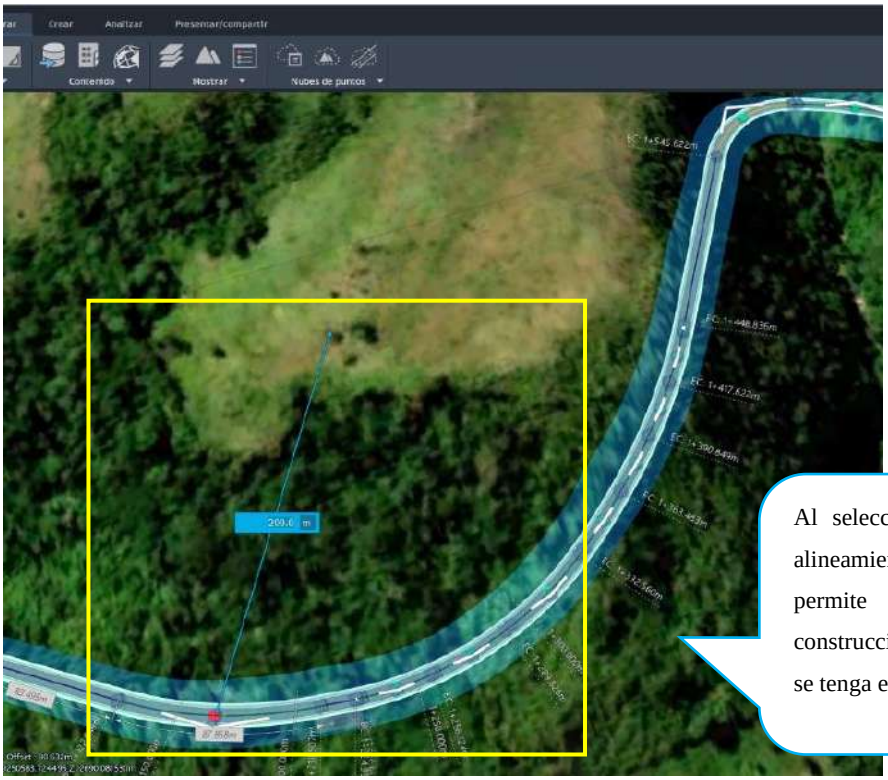
- El perfil longitudinal
- Los taludes de corte y relleno
- Secciones transversales
- Reportes de volúmenes

Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 12*



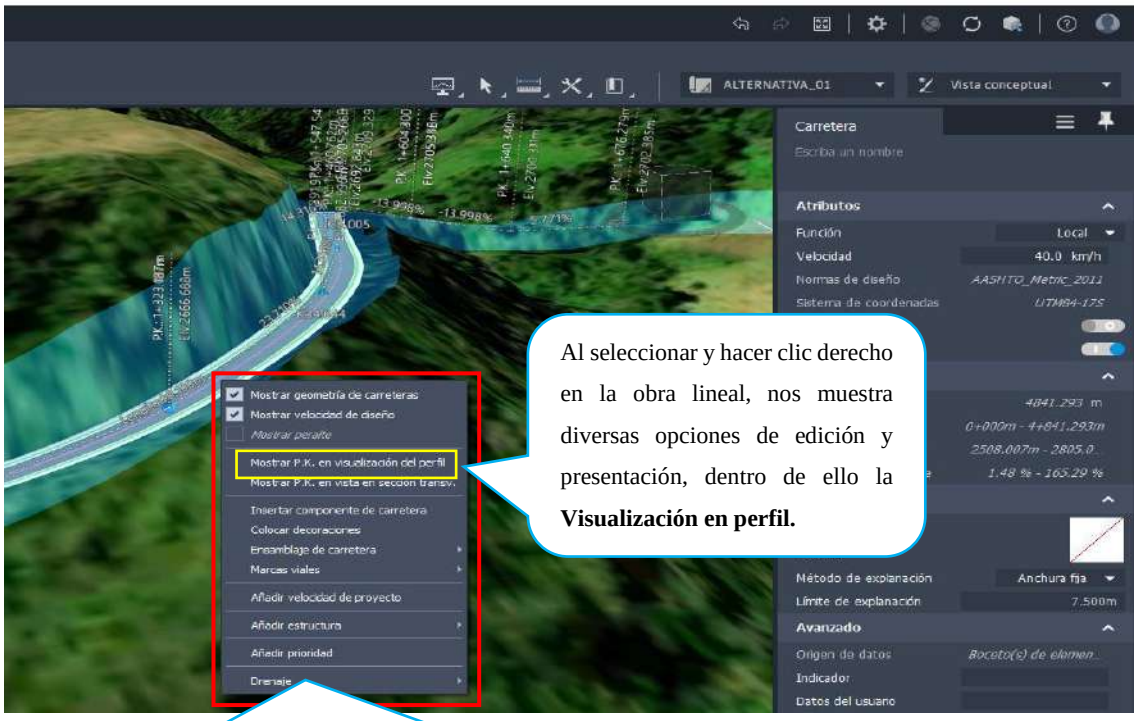
La imagen anterior nos presenta una carretera compuesta, en donde podemos observar mayor información en sus propiedades, además de información de puntos geométricos de construcción de la obra lineal.

Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 13*



Al seleccionar una curva del alineamiento horizontal, nos permite editar el radio de construcción, siempre y cuando se tenga el espacio requerido.

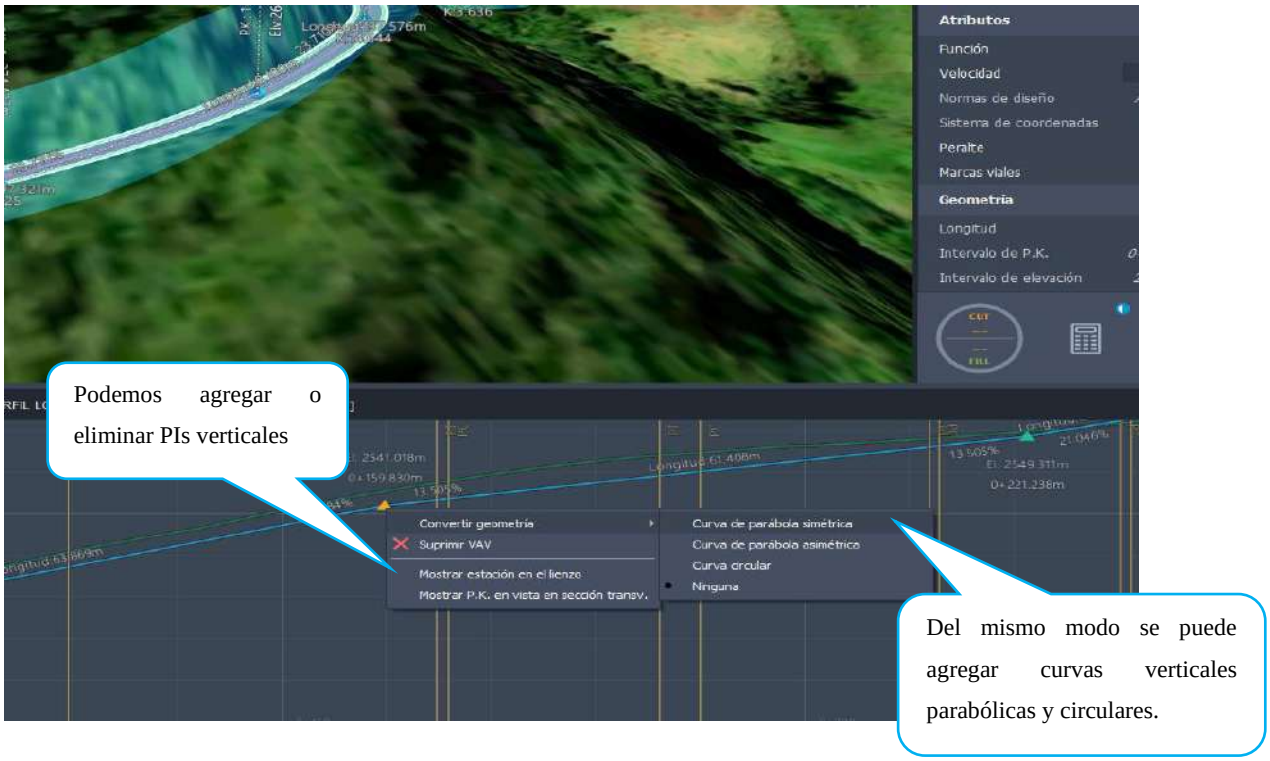
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 14*



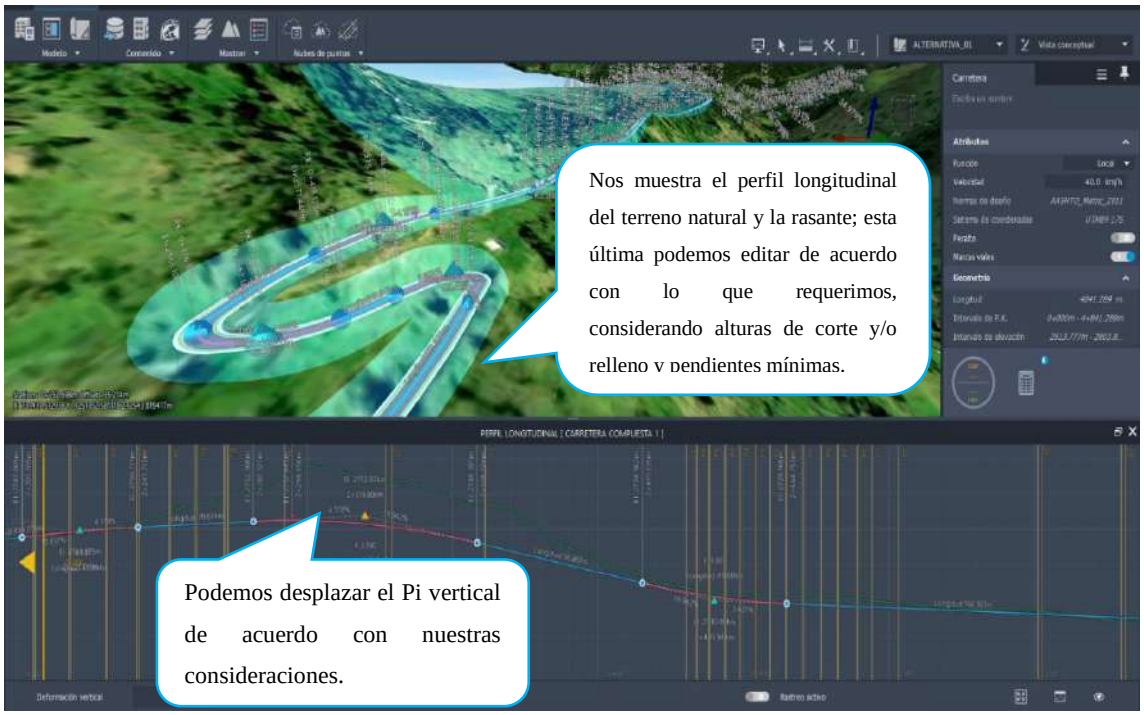
Al seleccionar y hacer clic derecho en la obra lineal, nos muestra diversas opciones de edición y presentación, dentro de ello la **Visualización en perfil.**

Del mismo modo podemos presentar las vistas en sección transversal, agregar obras de arte (puentes) y túneles; colocar decoraciones, marcas viales y cambiar estilos de ensamblaje en los tramos que se requiera.

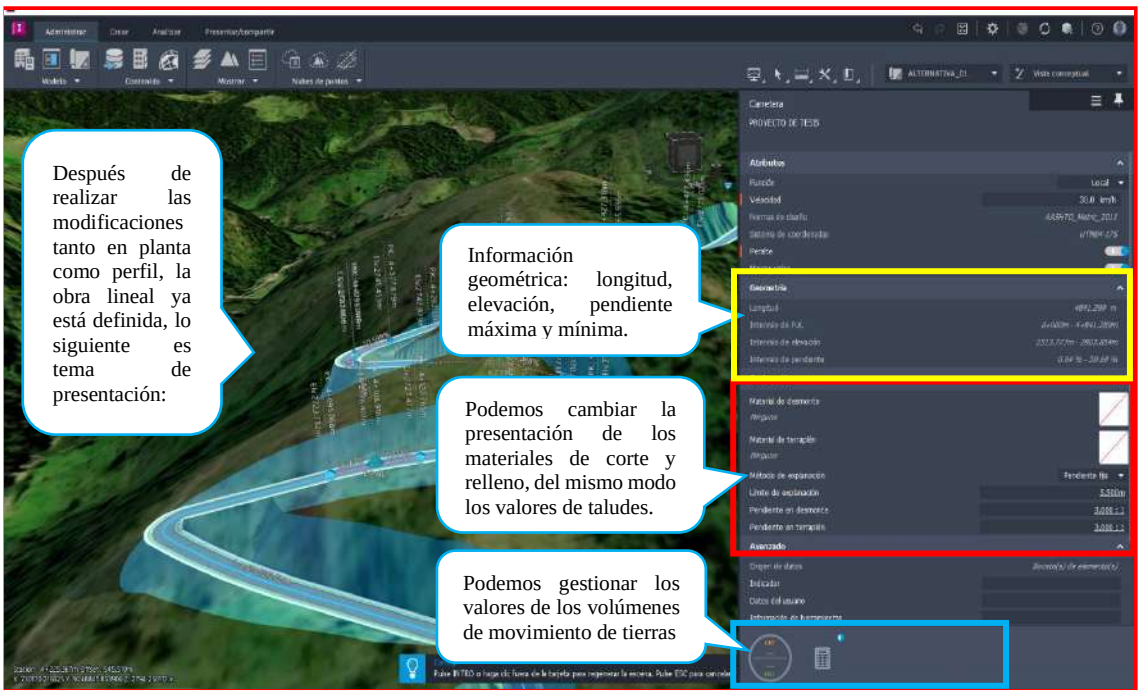
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 15*



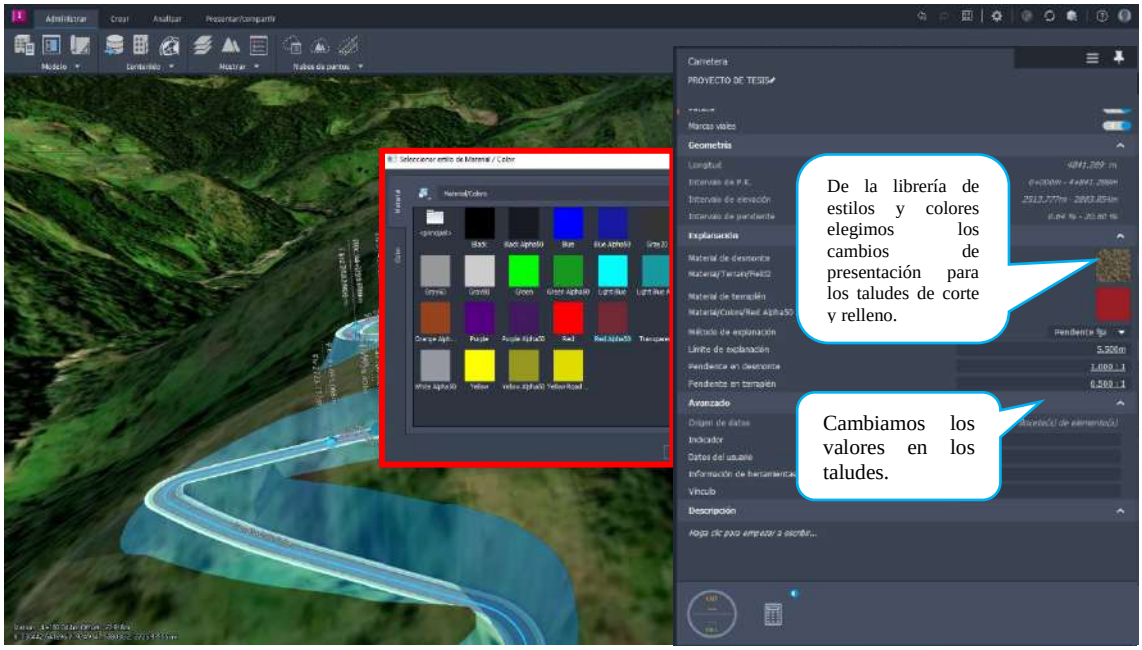
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 16*



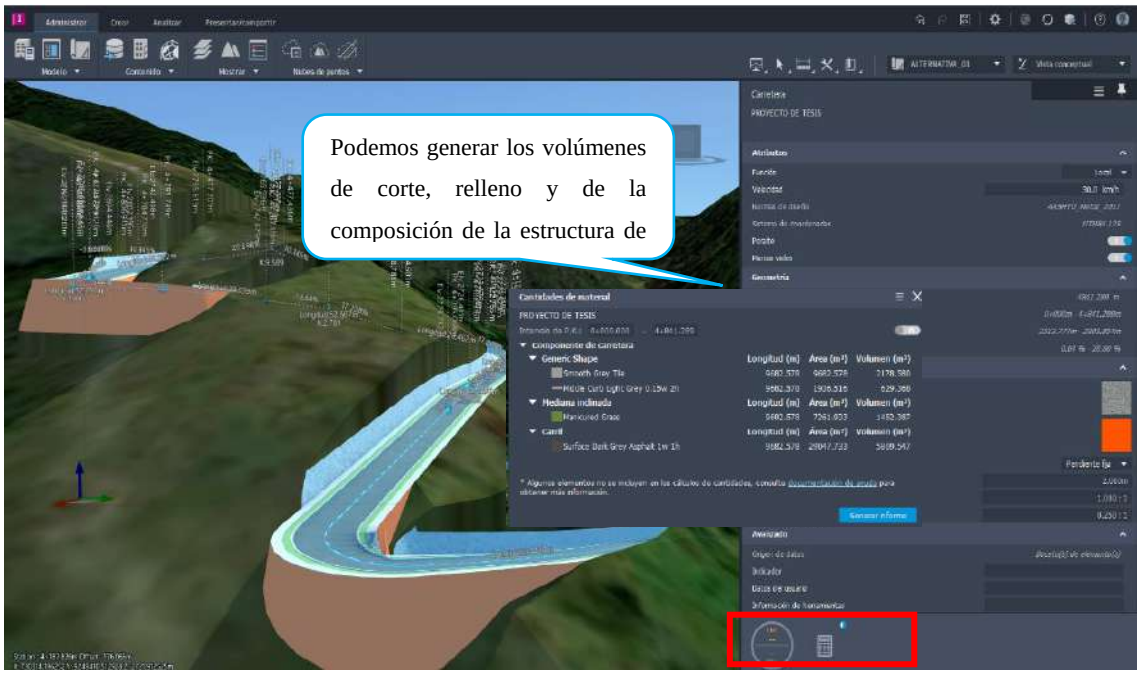
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 17*



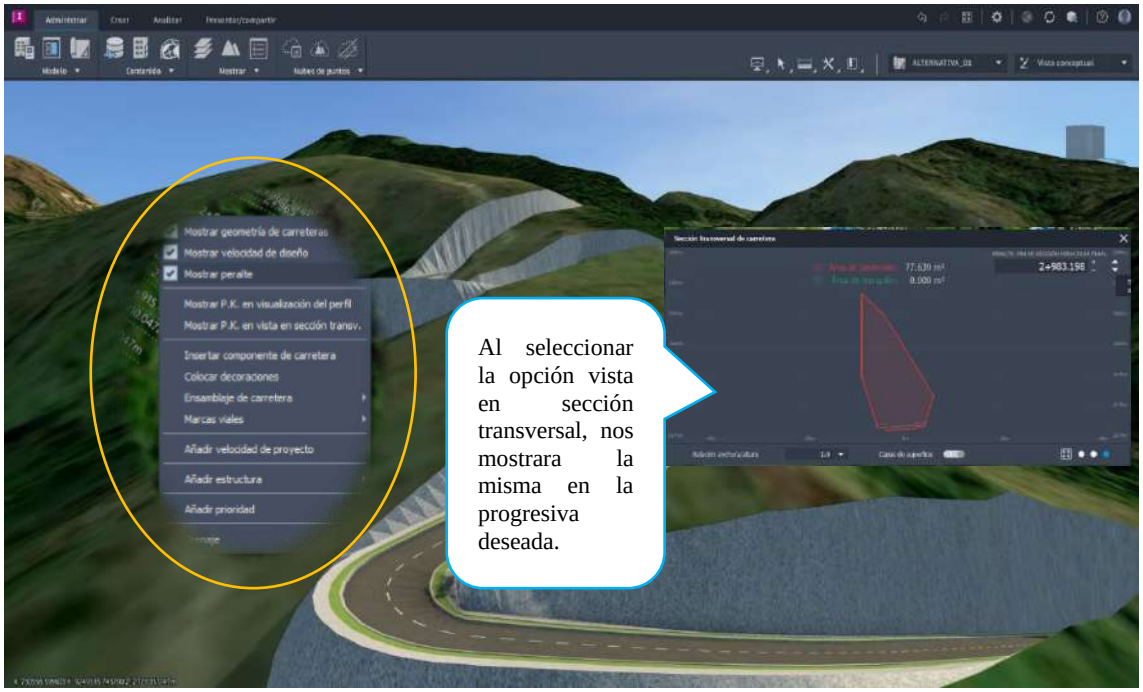
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 18*



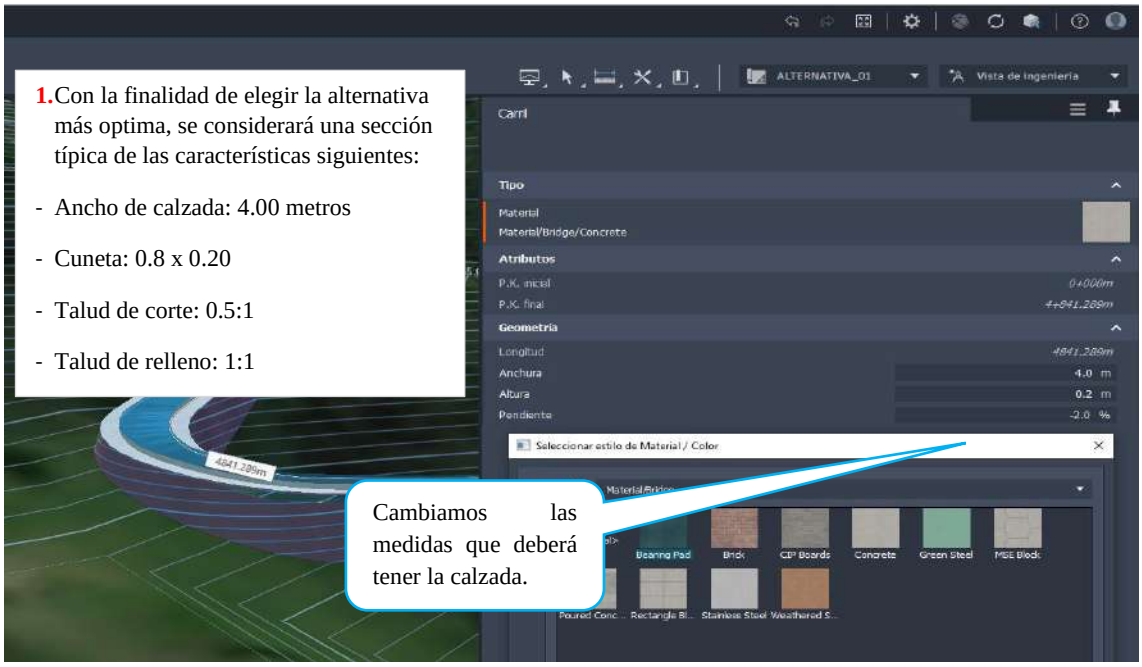
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 19*



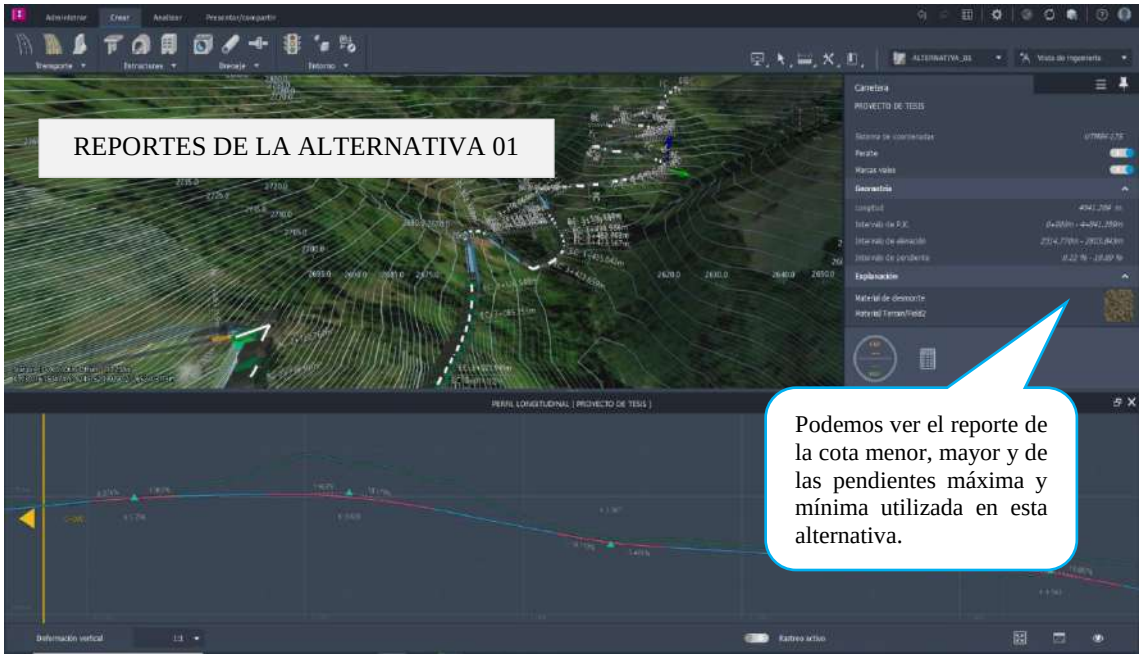
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 20*



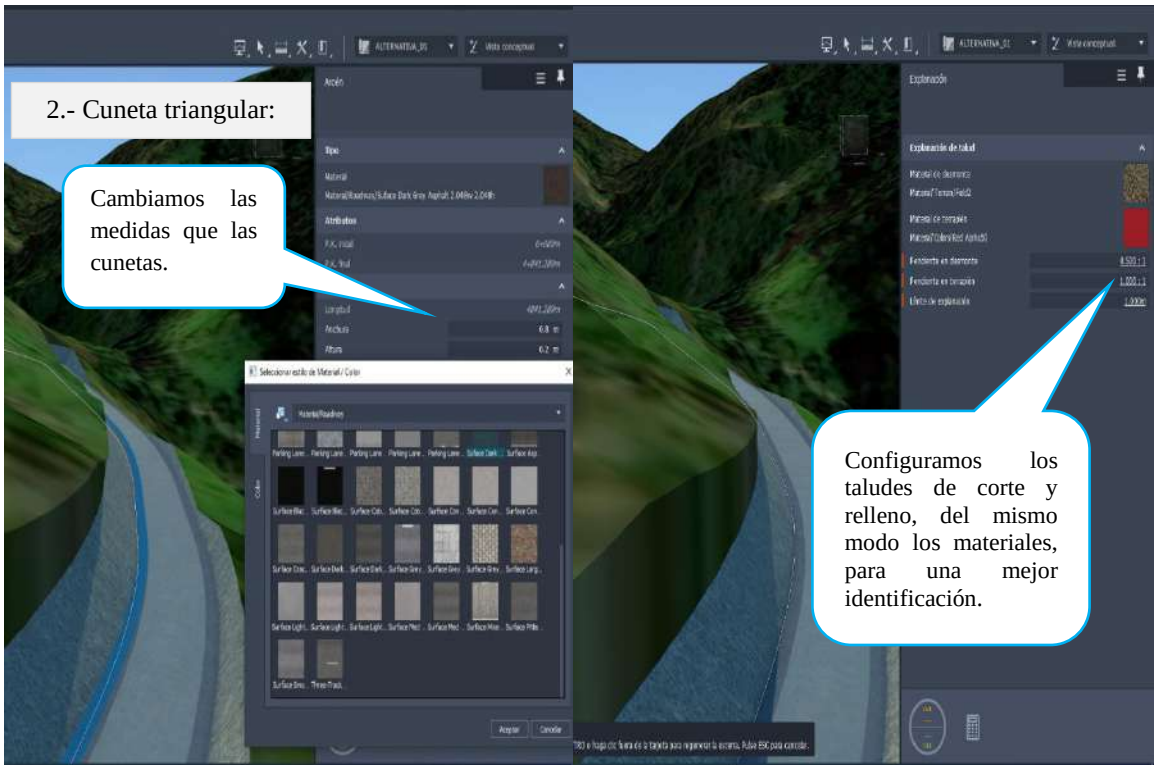
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 21*



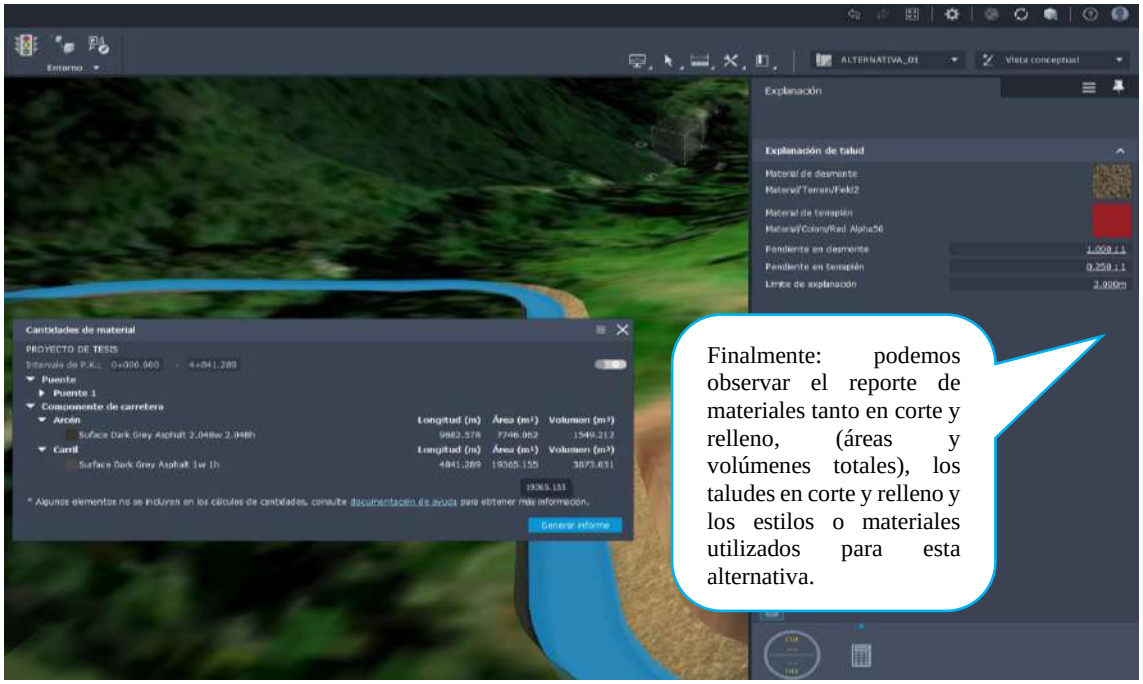
Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 22*



Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 23*

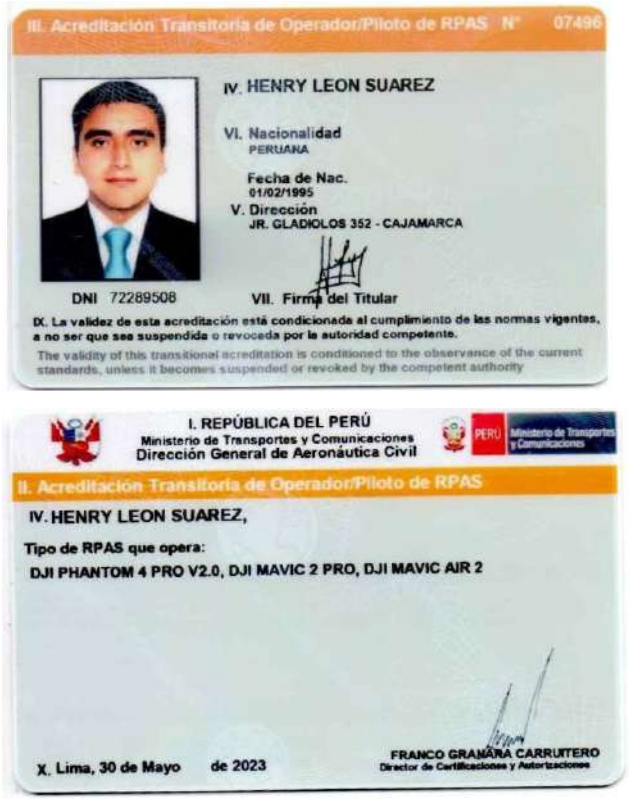


Creación de obra lineal (Carretera y/o Trocha Carrozable): *Paso 24*



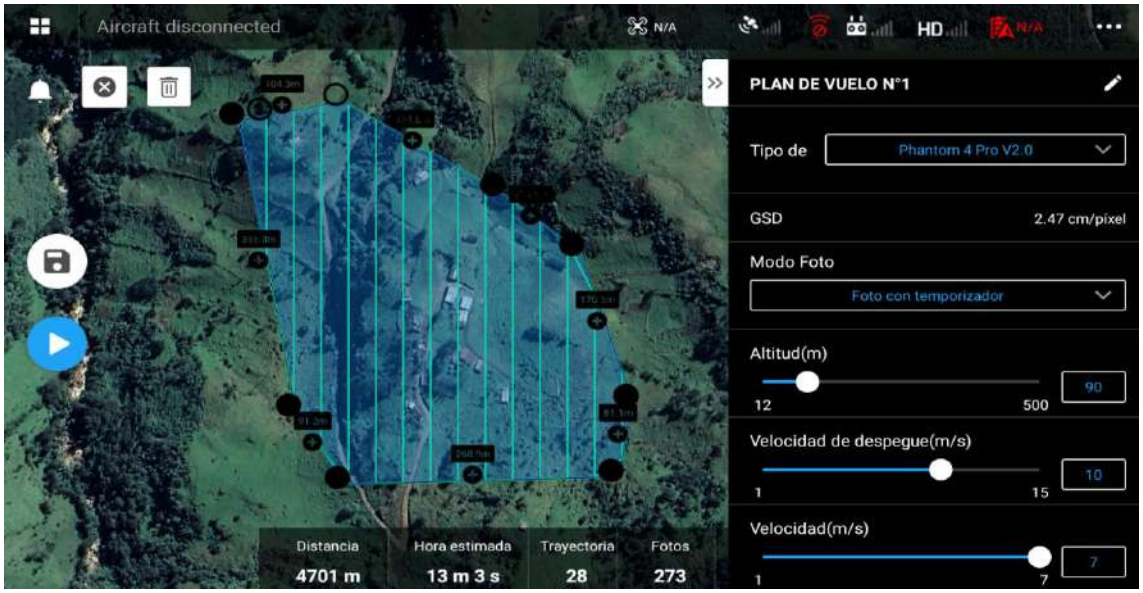
Anexo II. Fotogrametría

Anexo II.1. Licencia de acreditación transitoria de piloto RPAS



Anexo II.2. Planes de vuelo

Plan de vuelo 01



Nota: Adaptado del software DJI Pilot

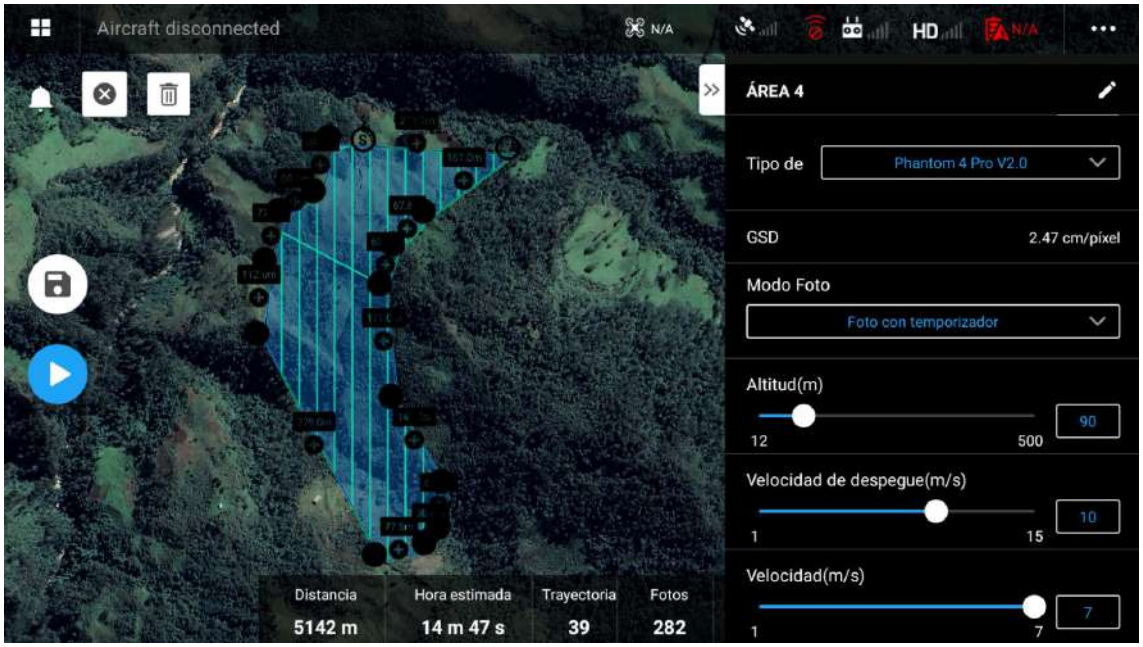
Plan de vuelo 02

Nota: Adaptado del software DJI Pilot

Plan de vuelo 03

Nota: Adaptado del software DJI Pilot

Plan de vuelo 04



Nota: Adaptado del software DJI Pilot

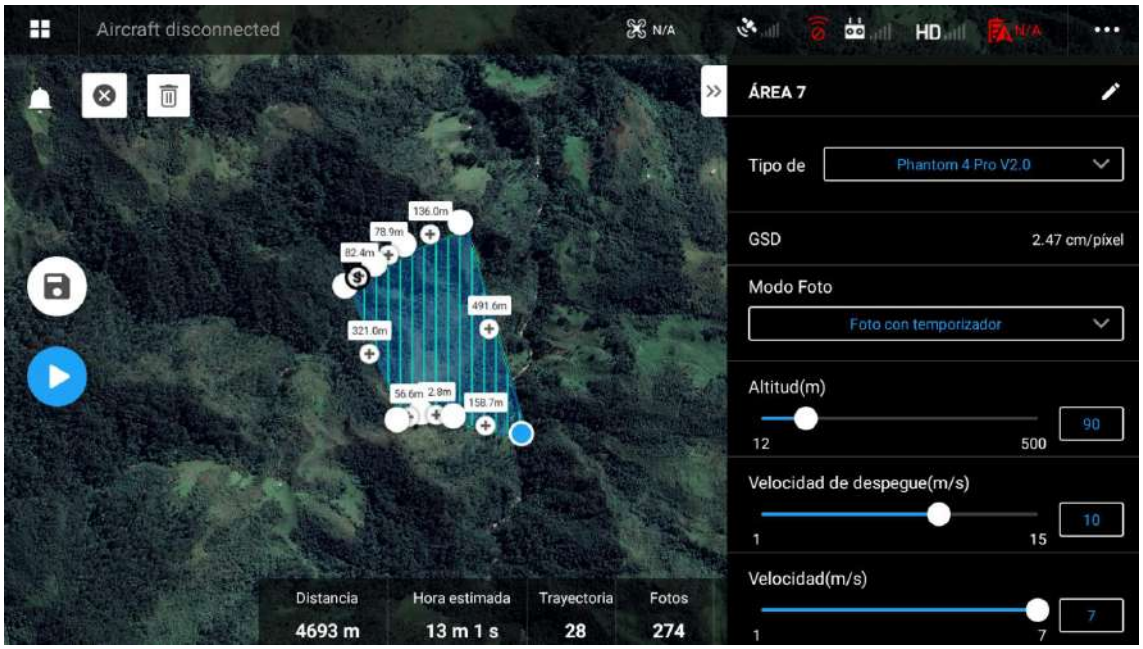
Plan de vuelo 05

Nota: Adaptado del software DJI Pilot

Plan de vuelo 06

Nota: Adaptado del software DJI Pilot

Plan de vuelo 07



Nota: Adaptado del software DJI Pilot

Plan de vuelo 08

Nota: Adaptado del software DJI Pilot

Anexo II.3. Parámetros de plan de vuelo

Dron	Phantom 4 Pro V2.0
Altura vuelo	90 m
Superposición Lateral	80 %
Superposición Frontal	80 %
Pixeles	20
GSD	2,74 cm/pixel
Velocidad (m/s)	7 m/s
Velocidad de despegue (m/s)	10

**GSD: Ground Sampling Distance, altura de muestreo del suelo*

Anexo II.4. Certificado de calibración y operatividad del GNSS Diferencial

TOPOEQUIPOS
Nos reinventamos en el Perú

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD N° 00292-2023

OTORGADO A

HLS CONSULTORIA Y SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

DATOS GENERALES

EQUIPO	RECEPTOR GNSS	MARCA	SOUTH
MODELO EQUIPO	G7	SERIAL EQUIPO	S914D2148669070PKA
ANTENA CALIBRADA NGS	STHG7	ANTENA CALIBRADA FABRICA	STHG7
FIRMWARE	1.09.220914.R914PY	ANTENA UHF	QT450GTC
COLECTORA	H6	SERIAL COLECTORA	SN15D20D0374425E
RADIO EXTERNA	S6	SERIAL RADIO EXTERNA	SD33C90D1100192

VIGENCIA DEL CERTIFICADO

FECHA DE EMISIÓN	08/05/2023	FECHA DE VENCIMIENTO	08/05/2024

TOPOEQUIPOS T&T SRL CERTIFICA QUE EL EQUIPO Y ACCESORIOS ARRIBA DESCRITO, SE ENCUENTRA TOTALMENTE REVISADO, CONTROLADO Y OPERATIVO, SEGÚN LOS ESTÁNDARES INTERNACIONALES ISO 17123 Y POR LA CASA FABRICANTE.

CARACTERISTICAS DEL RECEPTOR GNSS

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
PRECISIÓN ESTÁTICO OBSERVACIÓN LARGA HORIZONTAL	± 2.5 mm ± 0.1 ppm
PRECISIÓN ESTÁTICO OBSERVACIÓN LARGA VERTICAL	± 3.0 mm ± 0.4 ppm
PRECISIÓN ESTÁTICO HORIZONTAL	± 2.5 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN ESTÁTICO VERTICAL	± 3.5 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN RTK UHF HORIZONTAL	± 8 mm ± 1 ppm
PRECISIÓN RTK UHF VERTICAL	± 15 mm ± 1 ppm
PRECISIÓN RTK NTRIP HORIZONTAL	± 8 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN RTK NTRIP VERTICAL	± 15 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN PPK HORIZONTAL	± 3 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN PPK VERTICAL	± 5 mm ± 0.5 ppm
IMU (UNIDAD DE MEDICIÓN INERCIAL)	OPERATIVO
MODELOS E INTERFAZ DE COMUNICACIÓN I/O	OPERATIVO
MÓDULO DE ALMACENAMIENTO	OPERATIVO

COLECTOR DE DATOS Y APLICATIVO DE CAMPO

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
APP SURVSTAR	OPERATIVO
MODELOS E INTERFAZ DE COMUNICACIÓN I/O	OPERATIVO

- LAS PRUEBAS, TESTEO, MANTENIMIENTO, AJUSTE Y CONFIGURACIÓN CORRESPONDEN A LA FECHA DE EMISION DE ESTE DOCUMENTO. EL USUARIO ES EL RESPONSABLE DEL CUIDADO, CONSERVACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO. TOPOEQUIPOS T&T S.R.L. NO SE HACE RESPONSABLE DE LOS HECHOS OCURRIDOS POSTERIOR A SU ENTREGA.
- SE EXPIDE EL PRESENTE CERTIFICADO A SOLICITUD DE LA PARTE INTERESADA, PARA LOS FINES QUE ESTIME CONVENIENTE.

ESTA ES UN COPIA AUTENTICA IMPRIMIBLE DE UN DOCUMENTO ELECTRÓNICO EMITIDO POR TOPOEQUIPOS PERÚ, ESCANEE EL CÓDIGO QR PARA OBTENER EL CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD ELECTRÓNICO

PIERINA I. TUANAMA S.
PERSONAL RESPONSABLE

Av. Aramburú N° 920 Of 202, San Isidro, Lima - Perú
(511) 421-6165 | 222-6102 | 222-6062
WT Business: 992-724084 | 992-722730
peru@topoequipos.com

30th ANNIVERSARY

www.topoequiposperu.com

TOPOEQUIPOS
Nos reinventamos en el Perú

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD N° 00293-2023

OTORGADO A

HLS CONSULTORIA Y SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

DATOS GENERALES

EQUIPO	RECEPTOR GNSS	MARCA	SOUTH
MODELO EQUIPO	G7	SERIAL EQUIPO	S914D1148666580PKA
ANTENA CALIBRADA NGS	STHG7	ANTENA CALIBRADA FABRICA	STHG7
FIRMWARE	1.09.220914.R914PY	ANTENA UHF	QT450GTC
COLECTORA	H6	SERIAL COLECTORA	SN15D20D0374425E
RADIO EXTERNA	S6	SERIAL RADIO EXTERNA	SD33C90D1100192

VIGENCIA DEL CERTIFICADO

FECHA DE EMISIÓN	08/05/2023	FECHA DE VENCIMIENTO	08/05/2024

TOPOEQUIPOS T&T SRL CERTIFICA QUE EL EQUIPO Y ACCESORIOS ARRIBA DESCRITO, SE ENCUENTRA TOTALMENTE REVISADO, CONTROLADO Y OPERATIVO, SEGÚN LOS ESTÁNDARES INTERNACIONALES ISO 17123 Y POR LA CASA FABRICANTE.

CARACTERISTICAS DEL RECEPTOR GNSS

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
PRECISIÓN ESTÁTICO OBSERVACIÓN LARGA HORIZONTAL	± 2.5 mm ± 0.1 ppm
PRECISIÓN ESTÁTICO OBSERVACIÓN LARGA VERTICAL	± 3.0 mm ± 0.4 ppm
PRECISIÓN ESTÁTICO HORIZONTAL	± 2.5 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN ESTÁTICO VERTICAL	± 3.5 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN RTK UHF HORIZONTAL	± 8 mm ± 1 ppm
PRECISIÓN RTK UHF VERTICAL	± 15 mm ± 1 ppm
PRECISIÓN RTK NTRIP HORIZONTAL	± 8 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN RTK NTRIP VERTICAL	± 15 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN PPK HORIZONTAL	± 3 mm ± 0.5 ppm
PRECISIÓN PPK VERTICAL	± 5 mm ± 0.5 ppm
IMU (UNIDAD DE MEDICIÓN INERCIAL)	OPERATIVO
MODELOS E INTERFAZ DE COMUNICACIÓN I/O	OPERATIVO
MÓDULO DE ALMACENAMIENTO	OPERATIVO

COLECTOR DE DATOS Y APLICATIVO DE CAMPO

DESCRIPCIÓN	RESULTADO
APP SURVSTAR	OPERATIVO
MODELOS E INTERFAZ DE COMUNICACIÓN I/O	OPERATIVO

- LAS PRUEBAS, TESTEO, MANTENIMIENTO, AJUSTE Y CONFIGURACIÓN CORRESPONDEN A LA FECHA DE EMISION DE ESTE DOCUMENTO. EL USUARIO ES EL RESPONSABLE DEL CUIDADO, CONSERVACIÓN Y CONTROL DEL PRODUCTO. TOPOEQUIPOS T&T S.R.L. NO SE HACE RESPONSABLE DE LOS HECHOS OCURRIDOS POSTERIOR A SU ENTREGA.
- SE EXPIDE EL PRESENTE CERTIFICADO A SOLICITUD DE LA PARTE INTERESADA, PARA LOS FINES QUE ESTIME CONVENIENTE.

ESTA ES UN COPIA AUTENTICA IMPRIMIBLE DE UN DOCUMENTO ELECTRÓNICO EMITIDO POR TOPOEQUIPOS PERÚ, ESCANEE EL CÓDIGO QR PARA OBTENER EL CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD ELECTRÓNICO

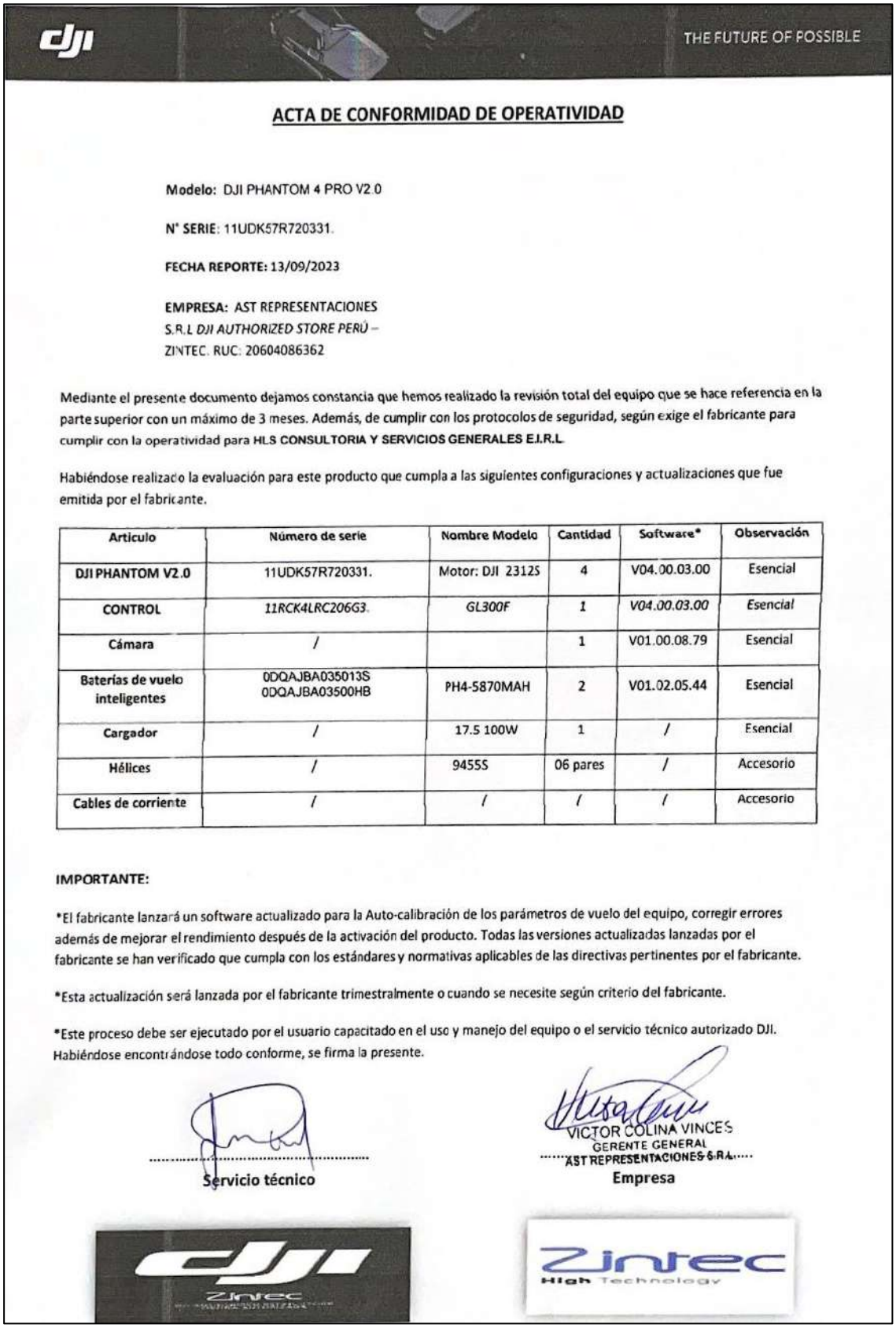
PIERINA I. TUANAMA S.
PERSONAL RESPONSABLE

Av. Aramburú N° 920 Of 202, San Isidro, Lima - Perú
(511) 421-6165 | 222-6102 | 222-6062
WT Business: 992-724084 | 992-722730
peru@topoequipos.com

30th ANNIVERSARY

www.topoequiposperu.com

Anexo II.5. Certificado de calibración y operatividad del RPAS



THE FUTURE OF POSSIBLE

ACTA DE CONFORMIDAD DE OPERATIVIDAD

Modelo: DJI PHANTOM 4 PRO V2.0

N° SERIE: 11UDK57R720331.

FECHA REPORTE: 13/09/2023

EMPRESA: AST REPRESENTACIONES S.R.L *DJI AUTHORIZED STORE PERÚ* – ZINTEC. RUC: 20604086362

Mediante el presente documento dejamos constancia que hemos realizado la revisión total del equipo que se hace referencia en la parte superior con un máximo de 3 meses. Además, de cumplir con los protocolos de seguridad, según exige el fabricante para cumplir con la operatividad para **HLS CONSULTORIA Y SERVICIOS GENERALES E.I.R.L**

Habiéndose realizado la evaluación para este producto que cumpla a las siguientes configuraciones y actualizaciones que fue emitida por el fabricante.

Articulo	Número de serie	Nombre Modelo	Cantidad	Software*	Observación
DJI PHANTOM V2.0	11UDK57R720331.	Motor: DJI 2312S	4	V04.00.03.00	Esencial
CONTROL	*11RCK4LRC206G3.*	*GL300F*	*1*	*V04.00.03.00*	*Esencial*
Cámara	/		1	V01.00.08.79	Esencial
Baterías de vuelo inteligentes	0DQAJBA035013S 0DQAJBA03500HB	PH4-5870MAH	2	V01.02.05.44	Esencial
Cargador	/	17.5 100W	1	/	Esencial
Hélices	/	9455S	06 pares	/	Accesorio
Cables de corriente	/	/	/	/	Accesorio

IMPORTANTE:

*El fabricante lanzará un software actualizado para la Auto-calibración de los parámetros de vuelo del equipo, corregir errores además de mejorar el rendimiento después de la activación del producto. Todas las versiones actualizadas lanzadas por el fabricante se han verificado que cumpla con los estándares y normativas aplicables de las directivas pertinentes por el fabricante.

*Esta actualización será lanzada por el fabricante trimestralmente o cuando se necesite según criterio del fabricante.

*Este proceso debe ser ejecutado por el usuario capacitado en el uso y manejo del equipo o el servicio técnico autorizado DJI.

Habiéndose encontrándose todo conforme, se firma la presente.

Servicio técnico

VICTOR COLINA VINCES
GERENTE GENERAL
AST REPRESENTACIONES S.R.L.

Empresa

Anexo II.6. Certificado de calibración y operatividad de la Estación TS-06 Plus 1”

CONSEVIAL

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

COD: CC003824

Otorgado a:

HLS CONSULTORÍA Y SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.

Equipo	Marca	Modelo	Series	Precisión
ESTACION TOTAL	LEICA	TS06 PLUS	1892446	01”

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:

Angulos	Valor del Patrón	Valor Obtenido	Error	Incertidumbre
DIRECTO	00°00'00''	00°00'00''	00°00'00''	± 00°00'01''
INVERSO	180°00'00''	180°00'00''	00°00'00''	± 00°00'01''

PATRÓN UTILIZADO:

SET COLIMADOR MARCA: SOUTH MODELO: F555 / TD5 SERIE N°: 413979

Procedimiento: Se hace una línea al horizonte enfocando al infinito con un grosor de 01” del trazo del retículo; este colimador es patronado periódicamente por un teodolito WILD modelo T2 de precisión al 01” con el método de lectura DIRECTA-INVERSA.

CONSEVIAL SAC, a través de su servicio técnico CERTIFICA que el equipo en mención se encuentra totalmente revisado, controlado, calibrado y 100% operativo, cumpliendo con las especificaciones técnicas de fábrica y los estándares internacionales establecidos (DIN 18723), sugiriéndose una recalibración en un periodo máximo de 06 meses, aproximada al 17 de Setiembre del 2024.

Chiclayo, 17 de marzo del 2024

Nota: CONSEVIAL SAC no se responsabiliza por desajustes y /o descalibraciones en los equipos causados por un inadecuado transporte del mismo.

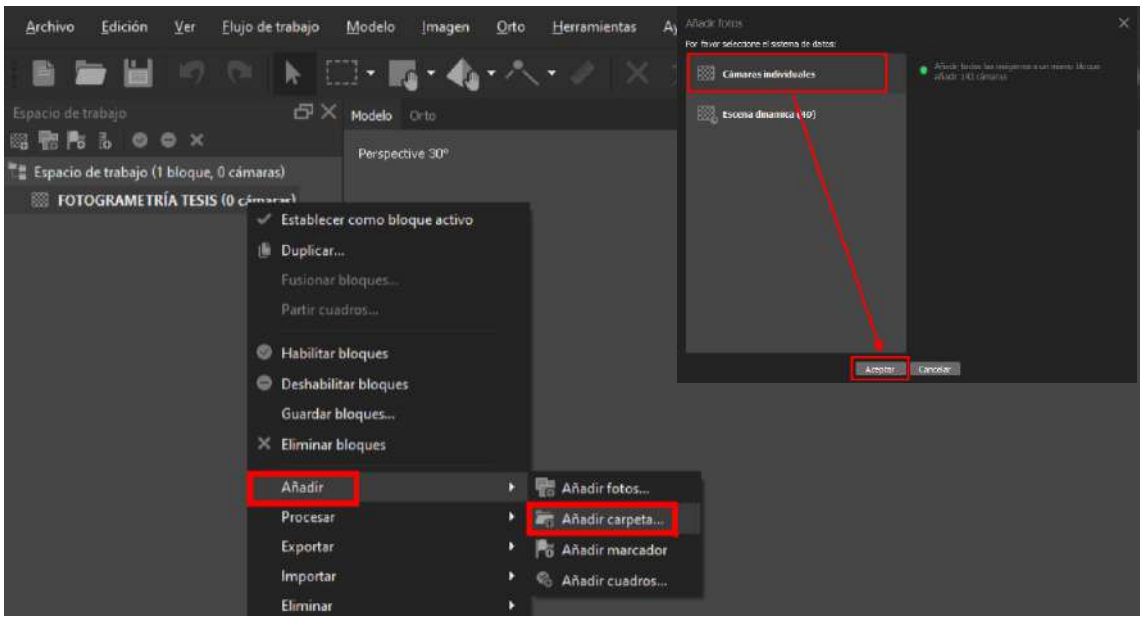
Fecha de emisión	Próxima Calibración	Validez del Certificado
17 – MARZO - 2024	17 – SETIEMBRE - 2024	06 meses

José María La Torre
SERVICIO TÉCNICO
CONSEVIAL

CONSEVIAL GERENCIA

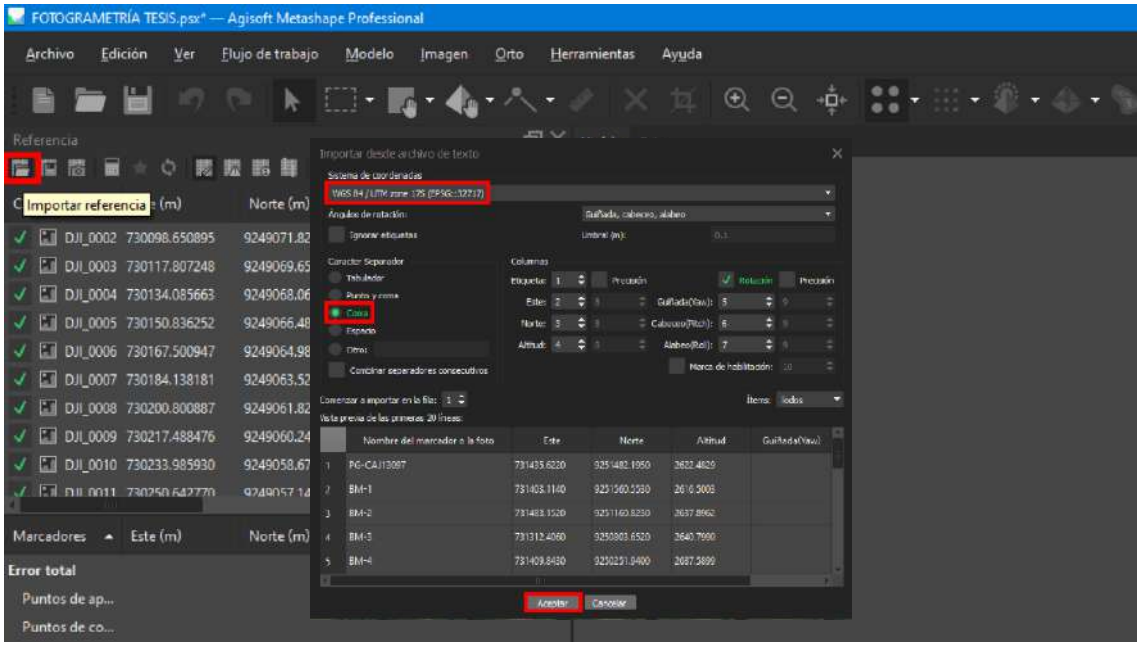
Anexo II.7. Procesamiento en software Agisoft Metashape

Importación de imágenes de la fotogrametría



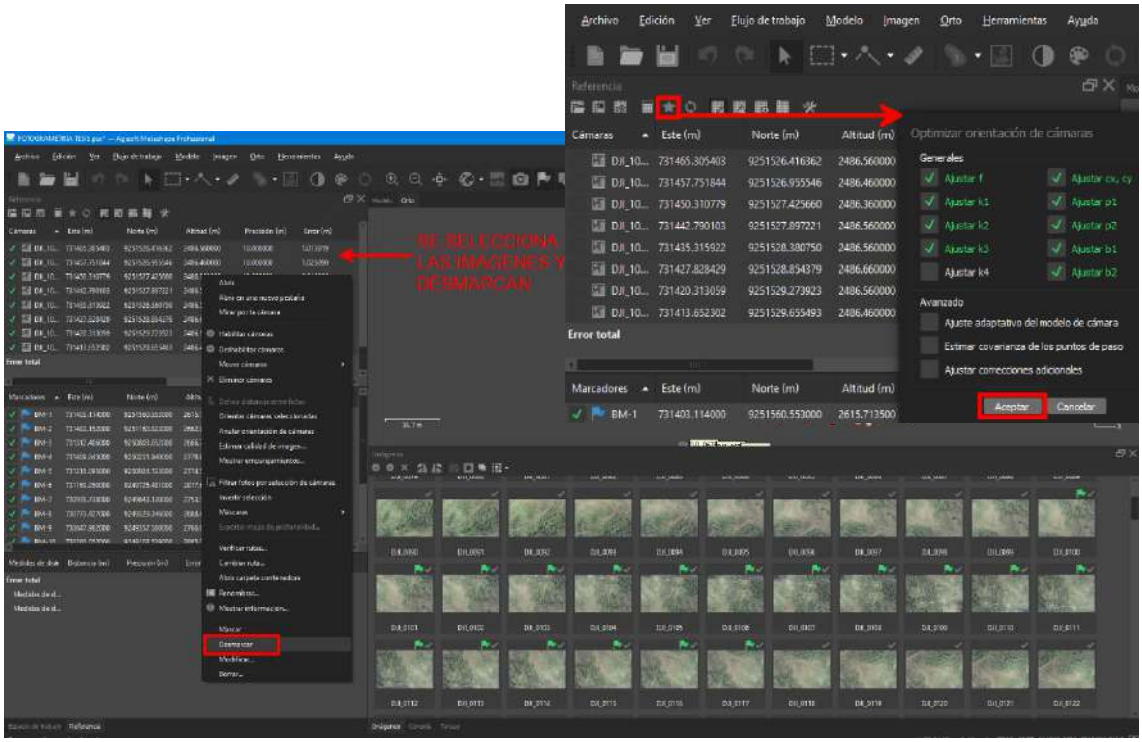
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Importación de puntos de control para orientación de la fotogrametría



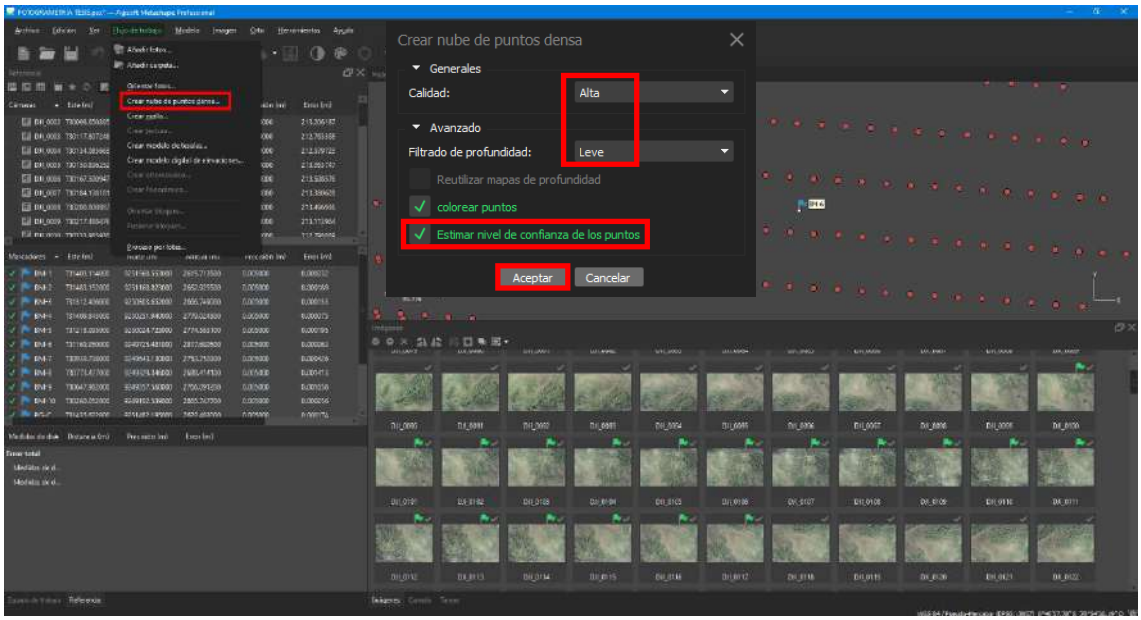
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Optimización de la orientación de cámaras



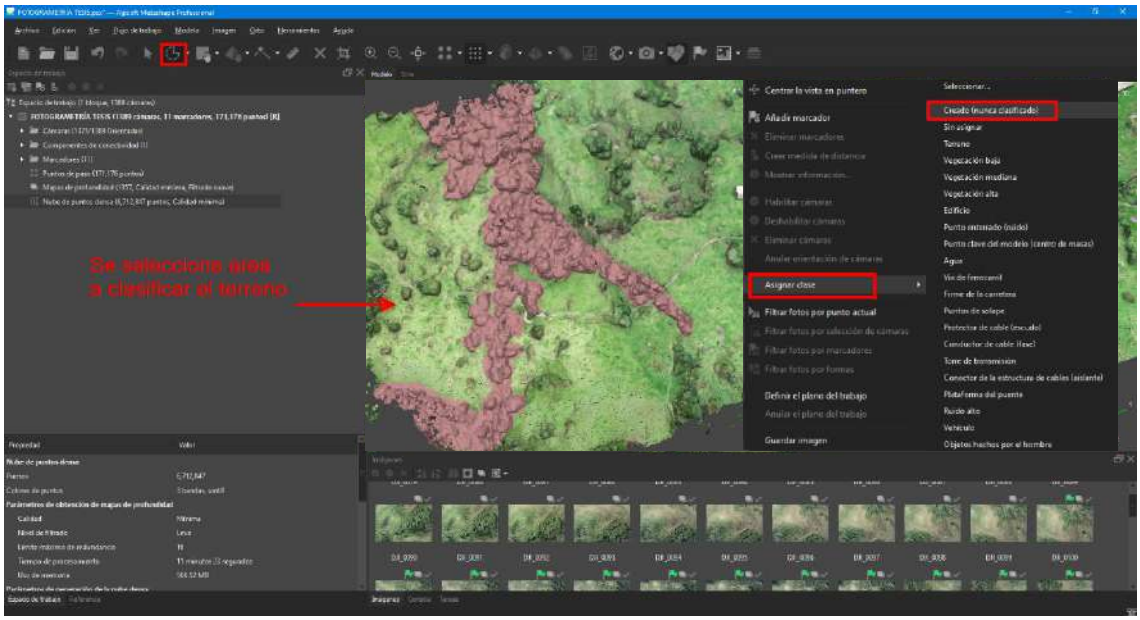
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Creación de la nube de puntos



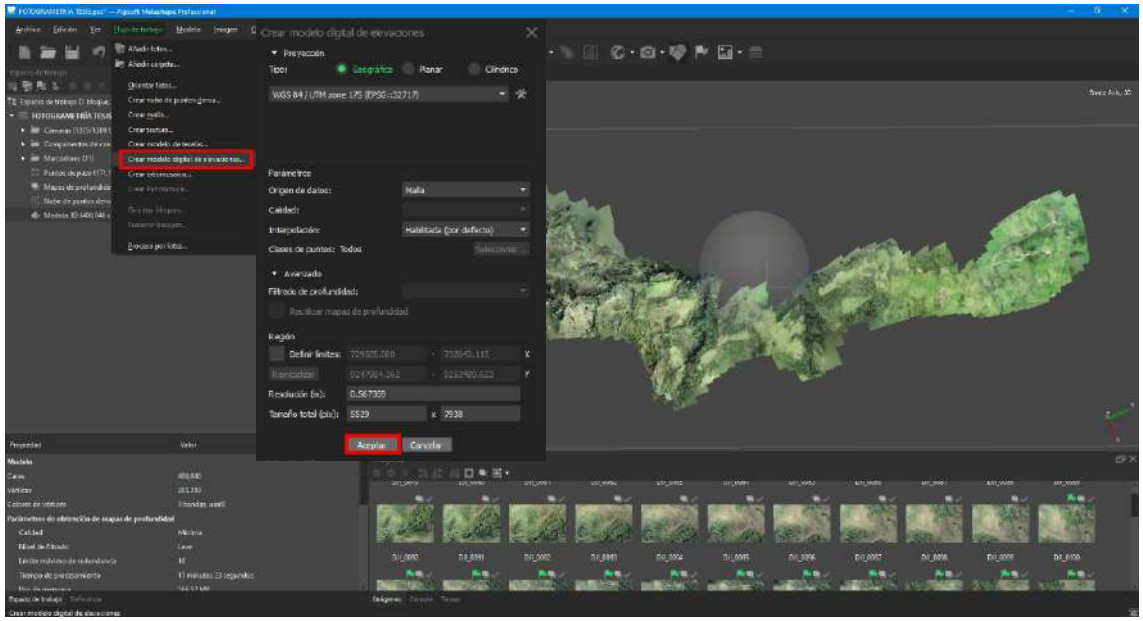
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashap

Clasificación de áreas de terreno boscosas



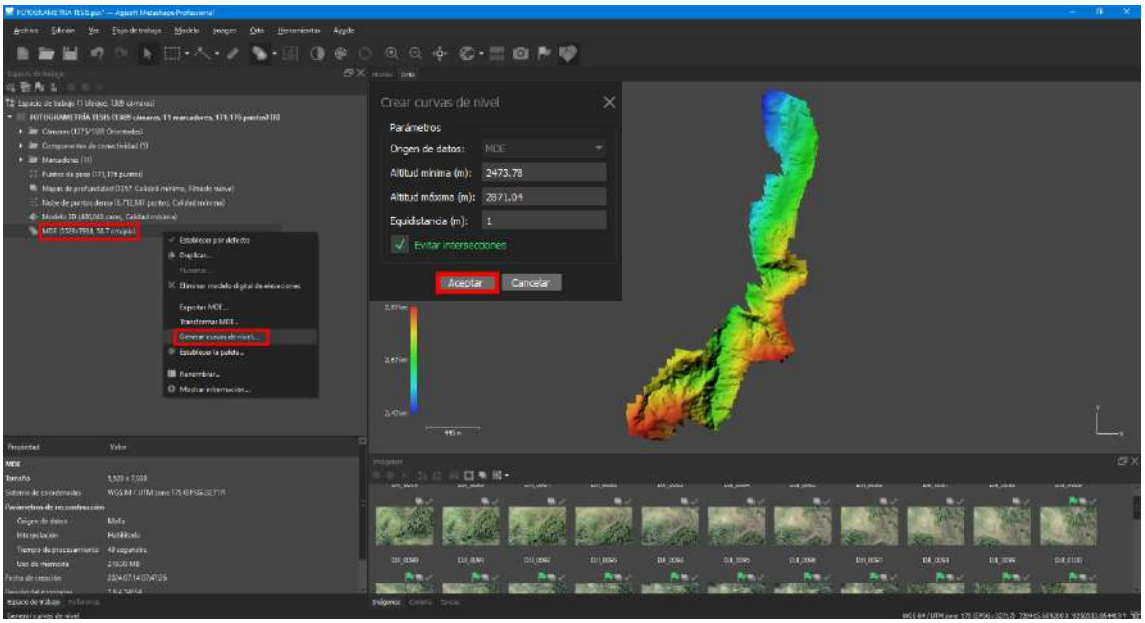
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Creación de modelo digital de elevaciones



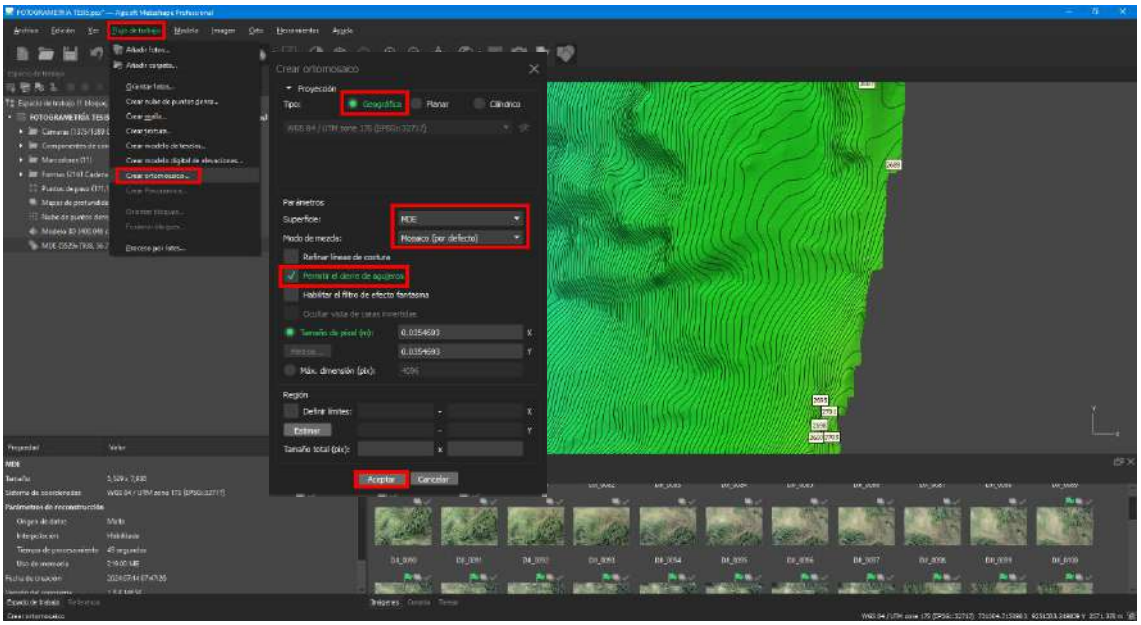
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Creación de curvas de nivel a partir del modelo digital de elevaciones



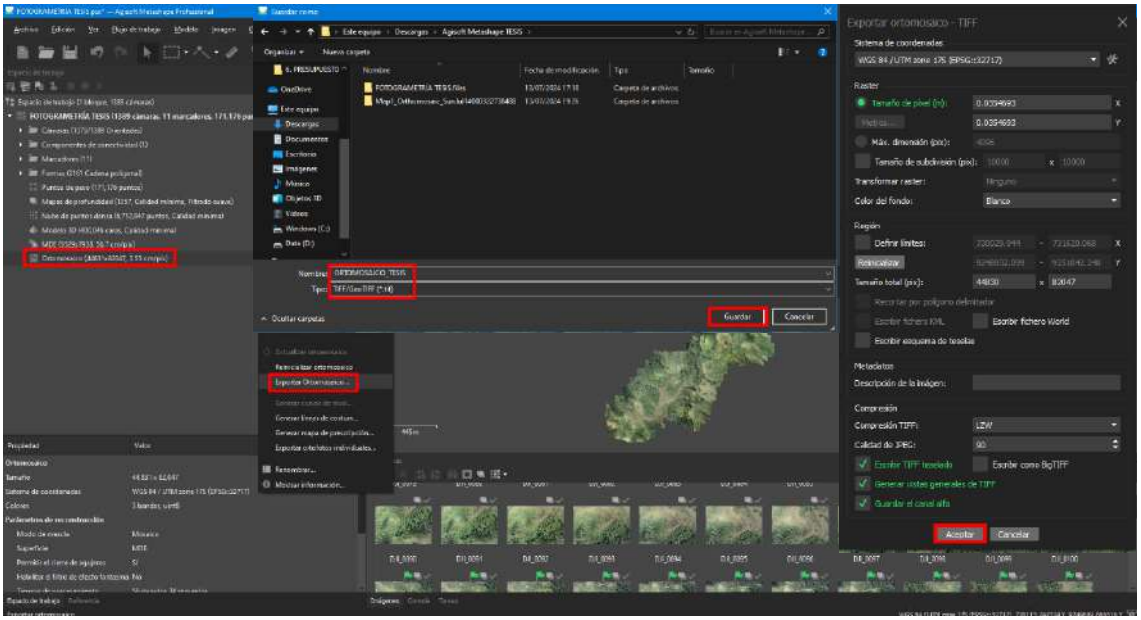
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Creación del ortomosaico



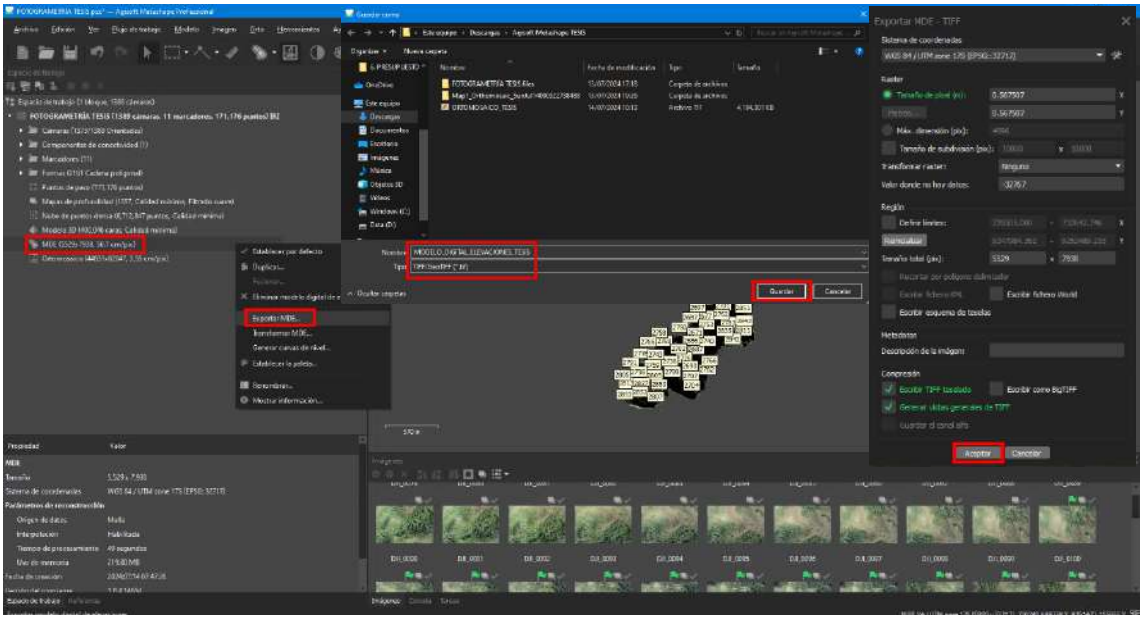
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Exportación del ortomosaico



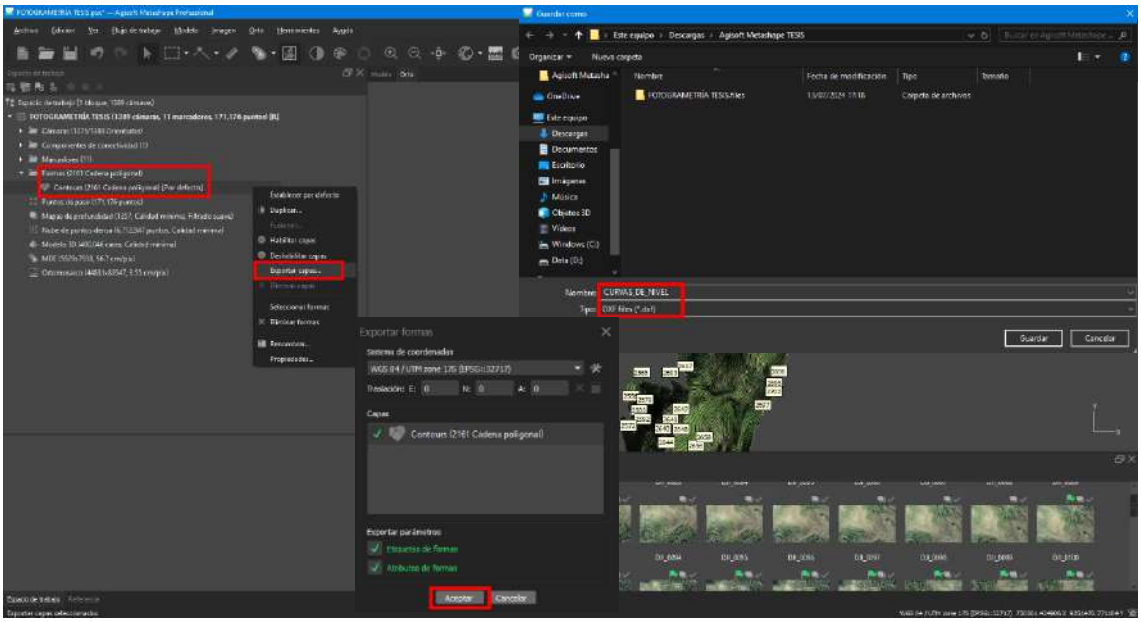
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Exportación del modelo digital de terreno



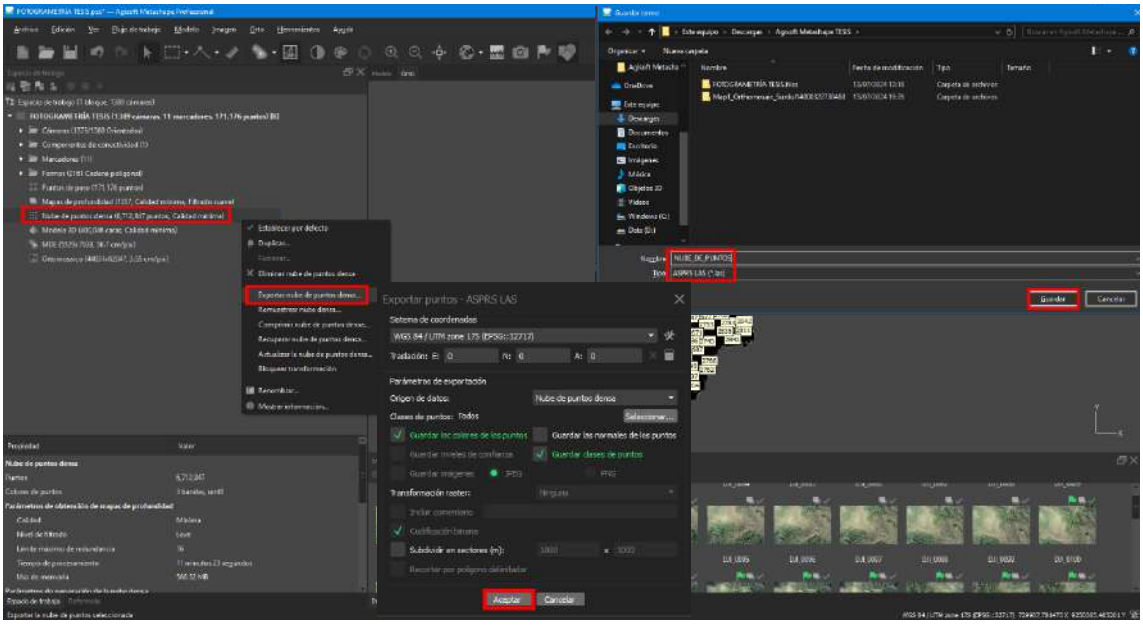
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Exportación de curvas de nivel



Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Exportación de nube de puntos



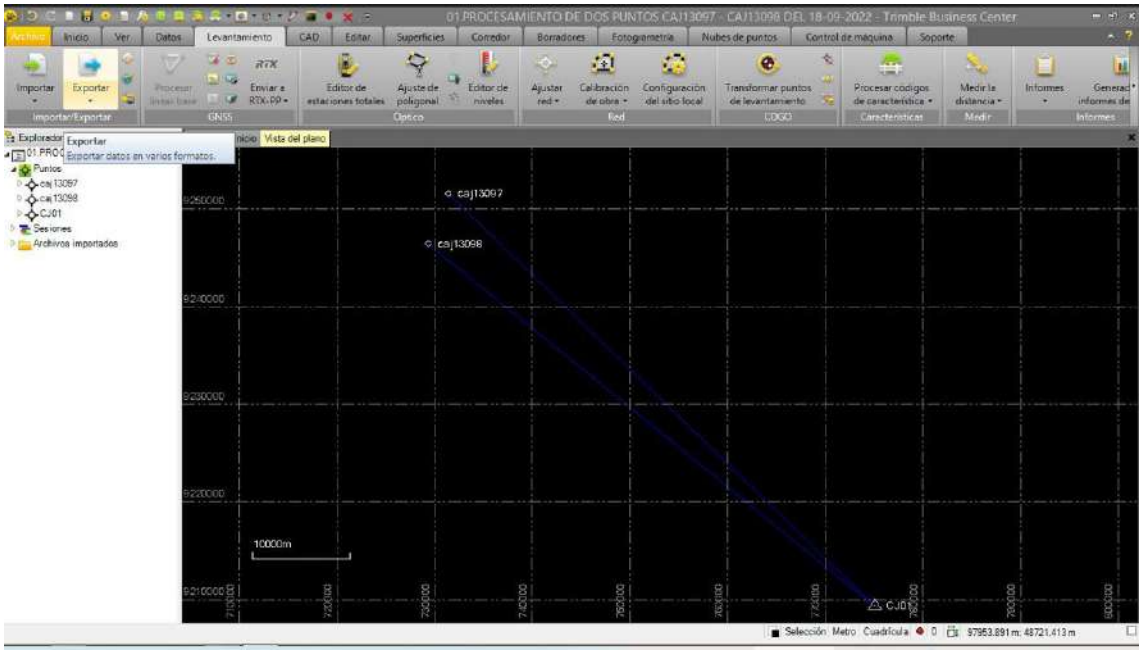
Nota: Adaptado del software Agisoft Metashape

Anexo III. Procesamiento de punto geodésico de orden C

Consideraciones técnicas para cada punto geodésico establecido.

CÓDIGO:	**CAJ13097**
MÉTODO DE POSICIONAMIENTO:	FAST STATIC (ESTATICO)
ESTACIÓN BASE:	**CJ01**
INTERVALO DE GRABACIÓN:	5”
MÁSCARA DE ELEVACIÓN:	10°
DATUM HORIZONTAL:	WGS84
TIEMPO DE REGISTRO DE DATOS:	**03:04:10**

Esquema o figura de la línea base y/o ajuste de red generado por el software de procesamiento.



Diario de observaciones

DIARIO DE OBSERVACIÓN GNSS

Estación

Nombre Completo: CAJ13097 Identificación (4 letras): 3097

Inscripción en el monumento: CAJ13097 Fecha: 29/09/2022

Coordenadas Aproximadas:

Latitud: S6°46'02.10091" Longitud: 78°54'21.98963" Altura: 2540.823

Receptor / Antena	**Tipo**	**Modelo**	**Nro. Serie**
Receptor:	South Galaxy G7	STHG7 GNSS	S914D1148666580
Antena:	South Galaxy G7	STHG7 GNSS	S914D1148666580

Software del Receptor (Versión): SurvStar

Longitud del Cable Antena – Receptor: Sin Cable

Altura de la Antena

Sobre el monumento

Punto de referencia: Placa de extensión de base

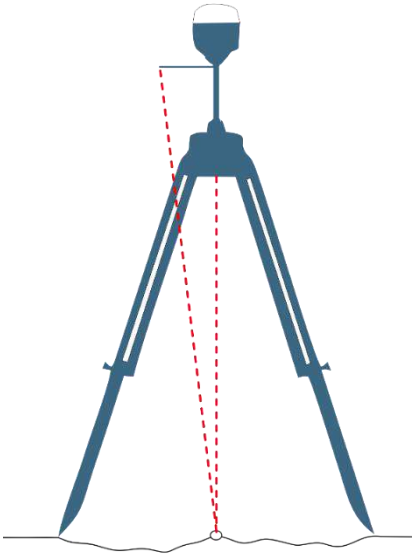
□Vertical ó □Inclinada

Antes de las Observaciones: 1.583 m

Después de las Observaciones: 1.583 m

Datos del Receptor: _____ m

Croquis de las medidas de la Antena (Ejemplo)



Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____

Intervalo de Medición: 5 Seg.

Elevación Mínima: 10 ° Hora de Inicio: 09:40:57 A.M

Hora de Término: 12:45:07 P.M

Operador / Institución: HLS

Reporte de procesamiento:

CJ01 - caj13097 (09:40:57 a.m.-12:45:07 p.m.) (S2)

Observación de línea base:	CJ01 --- caj13097 (B2)
Procesados:	27/09/2022 10:45:23 a.m.
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.002 m
Precisión vertical:	0.011 m
RMS:	0.018 m
PDOP máximo:	2.246
Efemérides utilizadas:	Preciso/a
Modelo de antena:	NGS Relative
Hora de inicio de procesamiento:	18/09/2022 09:40:57 a.m. (Local: UTC-5hr)
Hora de detención de procesamiento:	18/09/2022 12:45:07 p.m. (Local: UTC-5hr)
Duración del procesamiento:	03:04:10
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes de vector (Marca a marca)

De:	CJ01				
Cuadrícula		**Local**		**Global**	
Este	775089.687 m	**Latitud**	S7°08'48.70124"	**Latitud**	S7°08'48.70124"
Norte	9209271.837 m	**Longitud**	O78°30'33.75096"	**Longitud**	O78°30'33.75096"
Elevación	2710.424 m	**Altura**	2731.063 m	**Altura**	2731.063 m

Hasta:	caj13097				
Cuadrícula		**Local**		**Global**	
Este	731435.622 m	**Latitud**	S6°46'02.10091"	**Latitud**	S6°46'02.10091"
Norte	9251482.195 m	**Longitud**	O78°54'21.98963"	**Longitud**	O78°54'21.98963"
Elevación	2522.483 m	**Altura**	2540.823 m	**Altura**	2540.823 m

Vector					
ΔEste	-43654.065 m	**Acimut Adelante NS**	313°44'04"	**ΔX**	-42050.681 m
ΔNorte	42210.358 m	**Dist. elip**	60699.866 m	**ΔY**	-13391.597 m
ΔElevación	-187.942 m	**ΔAltura**	-190.240 m	**ΔZ**	41712.622 m

Errores estándar

Errores de vector:					
σ ΔEste	0.002 m	**σ Acimut NS delantero**	0°00'00"	**σ ΔX**	0.002 m
σ ΔNorte	0.002 m	**σ Dist. elipsoide**	0.002 m	**σ ΔY**	0.010 m
σ ΔElevación	0.011 m	**σ ΔAltura**	0.011 m	**σ ΔZ**	0.002 m

Matriz de covarianzas a posteriori (Metro²)

	X	Y	Z
X	0.0000051464		
Y	-0.0000160407	0.0001098758	
Z	-0.0000023700	0.0000065382	0.0000031104

Ocupaciones

	De	A
ID de punto:	CJ01	caj13097
Archivo de datos:	C:\Users\USER\Desktop\PROCESO \PROCESO\01.PROCESAMIENTO DE DOS PUNTOS 18-09-2022\01.PROCESAMIENTO DE DOS PUNTOS CAJ13097 - CAJ13098 DEL 18-09-2022\CJ01261aA.T01	C:\Users\USER\Desktop\PROCESO \PROCESO\01.PROCESAMIENTO DE DOS PUNTOS 18-09-2022\01.PROCESAMIENTO DE DOS PUNTOS CAJ13097 - CAJ13098 DEL 18-09-2022\47362610.t02
Tipo de receptor:	NetR8	R8s
Número de serie del receptor:	4906K34427	5508R00482
Tipo de antena:	Zephyr Geodetic 2 w/Dome	R8s Internal
Número de serie de la antena:	40925457	--------
Altura de la antena (medida):	0.075 m	1.583 m
Método de antena:	Base del soporte de la antena	Centro del tope protector

Estilo de procesamiento:

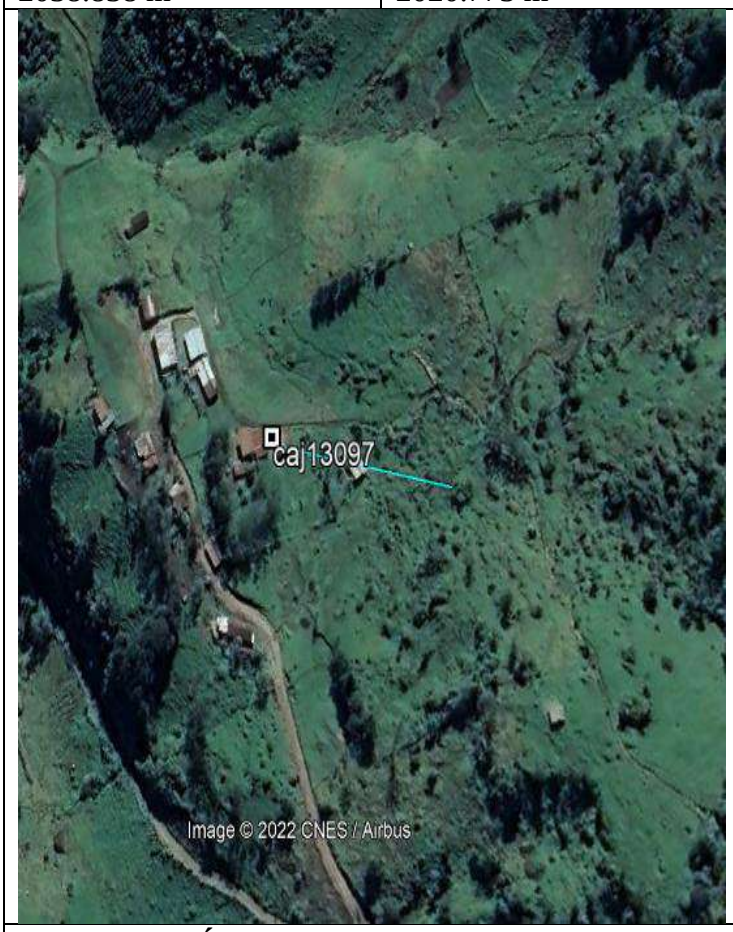
Máscara de elevación:	10°00'00.0"
Autoiniciar procesamiento:	Sí
Iniciar numeración automática de ID:	AUTO0001
Vectores continuos:	No
Generar residuales:	Sí
Modelo de antena:	Automático
Tipo de efeméride:	Preciso/a
Frecuencia:	Múltiples frecuencias
Intervalo de procesamiento:	1 segundo
Forzar flotante:	No
Tipo de procesamiento de SIG:	Procesamiento automático de portadoras y códigos

Criterios de aceptación

Componente del vector	Indicador	Fallida
Precisión horizontal >	0.050 m + 1.000 ppm	0.100 m + 1.000 ppm
Precisión vertical >	0.100 m + 1.000 ppm	0.200 m + 1.000 ppm

27/09/2022 12:20:32 p.m.	C:\Users\USER\Desktop\PROCESO\PROCESO \01.PROCESAMIENTO DE DOS PUNTOS 18-09-2022\01.PROCESAMIENTO DE DOS PUNTOS CAJ13097 - CAJ13098 DEL 18-09-2022.vce	Trimble Business Center

Descripción monográfica de (01) punto geodésico de orden C

<table>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA</td></tr>
<tr><td>NOMBRE:</td><td>CÓDIGO :</td><td>LOCALIDAD:</td><td rowspan="2">ESTABLECIDA POR:
HENRY LEÓN SUÁREZ</td></tr>
<tr><td>CAJ13097</td><td>CAJ13097</td><td>PULAN</td></tr>
<tr><td colspan="3">UBICACIÓN:
EL PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA UBICADO DENTRO DE LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ - DISTRITO DE PULAN, SE ESTABLECIO EL PUNTO GEODESICO.</td><td>CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA:
PLACA DE BRONCE 7 CM DE DIÁMETRO</td></tr>
<tr><td colspan="2">LATITUD (S) WGS-84
S06°44'21.97525"</td><td>LONGITUD (W) WGS-84
O78°55'03.33365"</td><td>NORTE WGS-84
9254564.205 m</td><td>ESTE WGS-84
730178.864 m</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTURA ELIPSOIDAL
2038.838 m</td><td>ELEVACIÓN
2020.773 m</td><td>ZONA UTM 17 M</td><td>ORDEN “C”</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2"> 
</td><td colspan="2">IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA
 </td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="5">DESCRIPCIÓN
Es un hito de concreto de 40 x 40 por lado, con una placa de bronces en el centro con descripción CAJ13097, ubicado en el distrito de PULAN.</td></tr>
</table>

Anexo IV. Estudio de tráfico de una carretera en igual condiciones que la estudiada.

Tabla. Día número 01 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
06:00 - 07:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.17%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10.87%
08:00 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
09:00 - 10:00	3	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.04%
10:00 - 11:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.52%
11:00 - 12:00	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.04%
12:00 - 13:00	3	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	15.22%
13:00 - 14:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
14:00 - 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
15:00 - 16:00	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	17.39%
16:00 - 17:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
17:00 - 18:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.52%
18:00 - 19:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.17%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	22	10	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	100.00%
%	47.83%	21.74%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	30.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla. Día número 02 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.27%
06:00 - 07:00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.55%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.09%
08:00 - 09:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.55%
09:00 - 10:00	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.09%
10:00 - 11:00	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.36%
11:00 - 12:00	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.82%
12:00 - 13:00	3	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	15.91%
13:00 - 14:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.55%
14:00 - 15:00	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.09%
15:00 - 16:00	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.82%
16:00 - 17:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.82%
17:00 - 18:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.27%
18:00 - 19:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.82%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	23	11	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	100.00%
%	52.27%	25.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	22.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla. Día número 03 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
06:00 - 07:00	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10.87%
08:00 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
09:00 - 10:00	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8.70%
10:00 - 11:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.52%
11:00 - 12:00	4	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	17.39%
12:00 - 13:00	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10.87%
13:00 - 14:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.52%
14:00 - 15:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
15:00 - 16:00	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.04%
16:00 - 17:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.35%
17:00 - 18:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.52%
18:00 - 19:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.17%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	23	11	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	100.00%
%	50.00%	23.91%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	26.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla. Día número 04 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.39%
06:00 - 07:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.69%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5.08%
08:00 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
09:00 - 10:00	4	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	15.25%
10:00 - 11:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.39%
11:00 - 12:00	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.39%
12:00 - 13:00	3	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	20.34%
13:00 - 14:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5.08%
14:00 - 15:00	2	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	13.56%
15:00 - 16:00	6	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	18.64%
16:00 - 17:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.39%
17:00 - 18:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5.08%
18:00 - 19:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.69%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	28	14	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	100.00%
%	47.46%	23.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	28.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla. Día número 05 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.55%
06:00 - 07:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.27%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.36%
08:00 - 09:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.27%
09:00 - 10:00	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.09%
10:00 - 11:00	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.09%
11:00 - 12:00	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.64%
12:00 - 13:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.82%
13:00 - 14:00	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.55%
14:00 - 15:00	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.82%
15:00 - 16:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.27%
16:00 - 17:00	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.64%
17:00 - 18:00	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.09%
18:00 - 19:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.55%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	25	7	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	100.00%
%	56.82%	15.91%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla. Día número 06 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.65%
06:00 - 07:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.33%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.63%
08:00 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
09:00 - 10:00	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9.30%
10:00 - 11:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.98%
11:00 - 12:00	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.95%
12:00 - 13:00	3	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	16.28%
13:00 - 14:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.65%
14:00 - 15:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.65%
15:00 - 16:00	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.63%
16:00 - 17:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.65%
17:00 - 18:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6.98%
18:00 - 19:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.33%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	24	10	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	100.00%
%	55.81%	23.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	20.93%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Tabla. Día número 07 de conteo vehicular

DIA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
		PICKUP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>+3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
05:00 - 06:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.76%
06:00 - 07:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.38%
07:00 - 08:00	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.90%
08:00 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
09:00 - 10:00	3	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	14.29%
10:00 - 11:00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7.14%
11:00 - 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
12:00 - 13:00	3	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	16.67%
13:00 - 14:00	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.90%
14:00 - 15:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.76%
15:00 - 16:00	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.76%
16:00 - 17:00	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11.90%
17:00 - 18:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7.14%
18:00 - 19:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.38%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	23	7	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	100.00%
%	54.76%	16.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	28.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	

Anexo V. Panel fotográfico

Colocación de BM's en campo

BM
14

BM
15

BM
16

BM
17

BM
18

BM
19

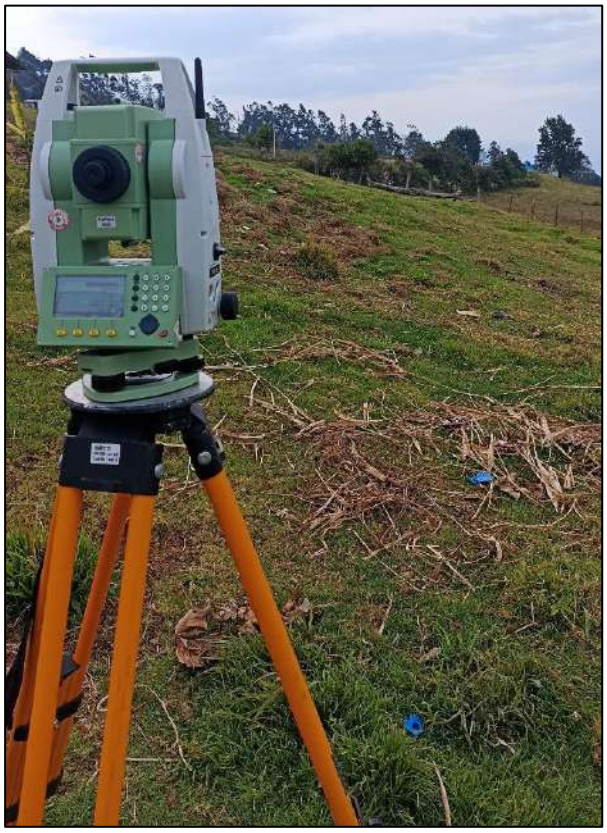
BM-20

Excavación para colocación de punto geodésico de orden C

Monumentación de Punto geodésico de orden C

Levantamiento modo estático de Punto geodésico de orden C

Levantamiento topográfico con estación total TS-06 Plus 1" de zonas boscosas



Levantamiento topográfico con estación total TS-06 Plus 1” de zonas boscosas

Inicio del tramo de carretera en el Caserío Pampa el suro

Vista panorámica del Caserío Pampa el suro

Fuente de agua donde se proyectará Alcantarilla N°1

Fuente de agua donde se proyectará Alcantarilla N°2

Fuente de agua donde se proyectará Alcantarilla N°3

Fuente de agua donde se proyectará Alcantarilla N°4

Fuente de agua donde se proyectará Puente N°1

Fuente de agua donde se proyectará Alcantarilla N°5

Fuente de agua donde se proyectará Puente N°2

Fuente de agua donde se proyectará Alcantarilla N°6

Fotos panorámicas del entorno

Anexo VI. Planos

Anexo VI.1. Plano de ubicación

Anexo VI.2. Plano clave

Anexo VI.3. Planos de planta y perfil

Anexo VI.4. Plano de sección típica y cuadros de movimiento de tierras

Anexo VI.5. Plano de secciones transversales

Anexo VI.6. Plano de diagrama de masas

Anexo VI.7. Planos de ortofotos