

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL
EMPLEANDO EL PERFILÓMETRO LÁSER Y FOTOGRAFÍAS
AÉREAS EN LA CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR TRAMO 2
URCOS – INAMBARI CUSCO, 2024-2025**

PRESENTADO POR:

Br. MARILYN TAIRO QUINTANILLA

Br. KATY ARCAYA BAUTISTA

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

ASESOR:

M. Sc. Ing. SANDRO VIRGILIO GUTIERREZ
SAMANEZ

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el **Asesor** M.Sc. Ing. SANDRO VIRGILIO GUTIERREZ SAMANEZ quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL EMPLEANDO EL PERFILÓMETRO LÁSER Y FOTOGRAFÍAS AÉREAS EN LA CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR TRAMO 2 URCOS - INAMBARI CUSCO, 2024 - 2025

Presentado por: MARILYN TAIRO QUINTANILLA DNI N° 70683259 ;
presentado por: KATY ARCAYA BAUTISTA DNI N°: 77426290
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

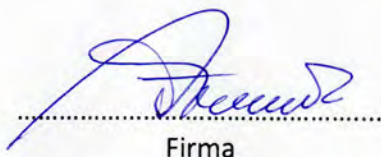
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

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

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

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

Cusco, 16 de ENERO de 2026



Firma

Post firma M.Sc. Ing. SANDRO VIRGILIO GUTIERREZ SAMANEZ

Nro. de DNI 23906692

ORCID del Asesor 0006 - 0002 - 5014 - 9474

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:546818767

MARILYN TAIRO QUINTANILLA - KATY ARCAYA B...

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL EMPLEANDO EL PERFILÓMETRO LÁSER Y F...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546818767

Fecha de entrega

16 ene 2026, 1:45 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 ene 2026, 1:55 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL EMPLEANDO EL PERFILÓMETRO LÁ....pdf

Tamaño del archivo

28.5 MB

283 páginas

30.966 palabras

179.122 caracteres

6% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

Dedicatoria

Marilyn Tairo Quintanilla

A mis padres, Juana Quintanilla y Elver Tairo, por sembrar en mí la pasión por la ingeniería. Su apoyo y dedicación han sido la inspiración para plantearme nuevos desafíos.

A mis hermanos, quienes siempre me acompañaron durante todos estos años de formación, por su constante aliento para seguir mis metas.

A quienes contribuyeron de manera invaluable a mi crecimiento profesional y personal, Omar Alayo y Jhonatan Ramos, por su apoyo incondicional y su compañía en este camino.

Katy Arcaya Bautista

A mis padres, Maria Ysabel y Miguel Angel, que con su ejemplo han sido el cimiento sobre el cual he construido mis sueños inspirándome a crecer y a superar cada desafío con determinación.

A mis líderes y amigos de la concesionaria IIRSA Sur, por su confianza y respaldo constante. Su orientación y acompañamiento fueron determinantes no solo en este proceso académico, sino también en mi formación profesional.

A mis docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, quienes transmitieron conocimientos y valores que marcaron mi etapa universitaria, dejando en mí enseñanzas que hoy son parte de mi ejercicio profesional.

Y a todas las personas que contribuyeron a mi desarrollo personal y profesional, por su apoyo y confianza en los momentos que más lo necesité.

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por guiarnos, fortalecernos y permitirnos culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas. Su presencia fue fundamental en los momentos de dificultad, brindándonos sabiduría, paciencia y esperanza para seguir adelante.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil, por la formación académica recibida y por brindarnos los recursos necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

Nuestro profundo reconocimiento y gratitud al M. Sc. Ing. Enrique Saloma González (†), quien en vida nos brindó su valiosa guía, consejos y acompañamiento durante una parte fundamental del desarrollo de esta tesis. Su compromiso, vocación docente y experiencia profesional dejaron una huella significativa en nuestra formación académica y personal.

Asimismo, expresamos nuestro más sincero agradecimiento al M. Sc. Ing. Sandro Virgilio Gutiérrez Samanez, quien, con gran disposición y compromiso, asumió la orientación de la presente investigación, brindándonos su apoyo académico, acompañamiento constante y valiosas recomendaciones que hicieron posible la culminación de este trabajo.

Agradecemos también a nuestras familias, por su amor, paciencia, comprensión y apoyo constante a lo largo de nuestra formación profesional, siendo un pilar fundamental en cada etapa de este proceso. De igual forma, reconocemos el apoyo de la empresa IIRSA Sur, por facilitar el uso de los equipos necesarios para el proceso de recolección de datos, así como el acceso a la vía objeto de estudio.

Finalmente, a todos nuestros amigos y compañeros de carrera que compartieron este camino con nosotros, muchas gracias por su apoyo incondicional y por ser parte de esta etapa tan importante en nuestras vidas.

Marilyn Tairo Quintanilla

Katy Arcaya Bautista

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el estado de la superficie de rodadura mediante la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI), empleando un perfilómetro láser y fotografías aéreas en la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos – Inambari, Cusco, durante el periodo 2024–2025. El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo-correlacional y diseño no experimental, aplicando un muestreo no probabilístico.

Se realizaron vuelos a distintas alturas y configuraciones de solape, cuyos resultados fueron comparados con los obtenidos mediante el perfilómetro láser, operado a una velocidad constante de 50 km/h y procesado con el software Dynatest para calcular el IRI; la comparación entre ambos métodos se efectuó mediante el análisis de Bland-Altman. Los resultados evidenciaron que, a mayores alturas (20 m, 24 m, 30 m y 36 m), el método basado en fotografías aéreas tendió a sobreestimar el IRI con elevada dispersión, mientras que a 12 m de altura, con un GSD de 0.39 cm/px y un solape del 80 % longitudinal y 70 % transversal, se obtuvo una diferencia media mínima (-0.0607 m/km) y una buena concordancia entre ambos métodos.

Se concluye que, bajo condiciones óptimas de vuelo, el uso de fotografías aéreas constituye una alternativa viable para la medición del IRI. Finalmente, se proponen recomendaciones para optimizar la metodología y extender su aplicabilidad en futuras investigaciones.

Palabras clave: Índice de Regularidad Internacional (IRI), Fotografías aéreas, Perfilómetro láser y Diferencia media.

Abstract

The objective of this research was to determine the condition of the road surface by measuring the International Roughness Index (IRI) using a laser profilometer and aerial photographs on the South Interoceanic Highway, Section 2: Urcos–Inambari, Cusco, during the period 2024–2025. The study was conducted using a quantitative approach, with a descriptive-correlational scope and a non-experimental design, applying non-probabilistic sampling.

Flights were conducted at different heights and overlap configurations, and the results were compared with those obtained using a laser profilometer, operated at a constant speed of 50 km/h and processed with Dynatest software to calculate the IRI; the comparison between the two methods was performed using Bland-Altman analysis. The results showed that at higher altitudes (20 m, 24 m, 30 m, and 36 m), the method based on aerial photographs tended to overestimate the IRI with high dispersion, while at a height of 12 m, with a GSD of 0.39 cm/px and an overlap of 80% longitudinal and 70% transverse, a minimum average difference (-0.0607 m/km) and good agreement between the two methods were obtained.

It is concluded that, under optimal flight conditions, the use of aerial photographs is a viable alternative for measuring the IRI. Finally, recommendations are proposed to optimize the methodology and extend its applicability in future research.

Keywords: International Regularity Index (IRI); Aerial photographs; Laser profilometer; Average difference.

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tablas.....	xiii
Introducción.....	1
Capítulo I.....	3
1. Planteamiento de problema.....	3
1.1. Situación Problemática.....	3
1.1.1. A Nivel Internacional.....	3
1.1.2. A Nivel Nacional.....	4
1.1.3. A Nivel Local.....	6
1.2. Formulación del Problema.....	12
1.2.1. Problema General.....	12
1.2.2. Problemas Específicos.....	12
1.3. Justificación de la Investigación.....	13
1.3.1. Justificación Teórica.....	13
1.3.2. Justificación Práctica.....	13
1.3.3. Justificación Metodológica.....	14
1.4. Objetivos de la Investigación.....	15
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos.....	15
1.5. Delimitación del estudio.....	15
1.5.1. Delimitación Espacial.....	15
1.5.2. Delimitación Temporal.....	16
Capítulo II.....	17
2. Marco Teórico.....	17
2.1. Marco Teórico Referencial.....	17
2.1.1. Antecedentes de la Investigación.....	17
2.2. Marco Teórico Conceptual.....	21
2.2.1. Pavimento.....	21

2.2.2.	<i>Índice de Regularidad Internacional (IRI)</i>	23
2.2.3.	<i>Perfilómetro láser</i>	23
2.2.4.	<i>Drone (Vehículo Aéreo No Tripulado – VANT)</i>	23
2.2.5.	<i>Perfil Longitudinal del Pavimento</i>	23
2.2.6.	<i>Fotogrametría</i>	24
2.2.7.	<i>Puntos Geodésicos</i>	24
2.2.8.	<i>Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)</i>	24
2.3.	Marco Teórico Científico	25
2.3.1.	<i>Regularidad Superficial del Pavimento</i>	25
2.3.2.	<i>Índice de Regularidad Internacional (IRI)</i>	26
2.3.3.	<i>Clasificación de Equipos según el Banco Mundial</i>	31
2.3.4.	<i>Factores que afectan la Precisión</i>	33
2.3.5.	<i>Perfil longitudinal del Pavimento</i>	36
2.3.6.	<i>Equipos para la medición del Perfil longitudinal</i>	37
2.3.7.	<i>Equipos dinámicos</i>	40
2.3.8.	<i>Fotogrametría</i>	45
2.4.	Marco Teórico Legal	47
2.4.1.	<i>Normativa de Organismos Internacionales para la Medición del IRI</i>	47
2.4.2.	<i>Especificaciones técnicas para la medición del IRI en el Perú</i>	47
2.4.3.	<i>Normatividad Peruana Respecto a la metodología de control de IRI</i>	48
2.5.	Hipótesis	49
2.5.1.	<i>Hipótesis General</i>	49
2.5.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	49
2.6.	Variables	50
2.6.1.	<i>Identificación de variables</i>	50
2.6.2.	<i>Operacionalización de variables</i>	51
	Capítulo III	52
3.	Marco metodológico	52
3.1.	Tipo de Investigación	52
3.2.	Nivel de Investigación	52
3.3.	Diseño de investigación	53
3.4.	Población	54
3.5.	Muestra	54
3.5.1.	<i>Tamaño Muestral</i>	54

3.6.	Metodología de Recolección y Procesamiento de Datos	55
3.6.1.	<i>Colocación de Puntos de Control</i>	55
3.6.2.	<i>Medición con Fotografías Aéreas</i>	62
3.6.3.	<i>Medición con Perfilómetro Láser</i>	134
3.6.4.	<i>Registro de Condiciones Ambientales</i>	148
Capítulo IV		150
4.	Resultados de la investigación	150
4.1.	Análisis de datos	150
4.1.1.	<i>Análisis estadístico</i>	150
4.2.	Discusión de resultados	161
Capítulo V		164
5.	Conclusiones y recomendaciones	164
5.1.	Conclusiones	164
5.2.	Recomendaciones	167
Bibliografía		168
Anexos		171
Anexo A.	Matriz de Consistencia	172
Anexo B.	Certificado de Operatividad de los Equipos	173
Anexo C.	Fichas de observación GNSS	179
Anexo D.	Reporte del procesamiento – Software Leica Infinity	185
Anexo E.	Descripción Monográfica de los puntos	214
Anexo F.	Ficha de observación – Condiciones Climáticas	220
Anexo G.	Base de datos para el procesamiento en IBM SPSS Statistics 27	226
Anexo H.	Imágenes de la condición de la vía – Tramo 1	252
Anexo G.	Imágenes de la condición de la vía – Tramo 2	255
Anexo H.	Imágenes de la condición de la vía – Tramo 3	258
Anexo I.	Imágenes de la condición de la vía – Tramo 4	261
Anexo J.	Imágenes de la condición de la vía – Tramo 5	264
Anexo K.	Imágenes de la condición de la vía – Tramo 6	267

Índice de Figuras

Figura 1 Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 1	9
Figura 2 Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 2	10
Figura 3 Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 3	10
Figura 4 Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 4	11
Figura 5 Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 5	11
Figura 6 Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 6	12
Figura 7 Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari.....	16
Figura 8 Golden car	28
Figura 9 Diagramas de cuerpo libre.....	29
Figura 10 Nivel y mira topográfica.....	38
Figura 11 Dipstick.....	39
Figura 12 Rugosímetro Merlin.....	40
Figura 13 Perfilómetro Laser	41
Figura 14 Walking Profiler	42
Figura 15 Perfilómetro Inercial	43
Figura 16 Drone.....	44
Figura 17 Ajuste de Red del Punto Geodésico 1	57
Figura 18 Ajuste de Red del Punto Geodésico 2.....	58
Figura 19 Ajuste de Red del Punto Geodésico 3.....	58
Figura 20 Ajuste de Red del Punto Geodésico 4.....	59
Figura 21 Ajuste de Red del Punto Geodésico 5.....	59
Figura 22 Ajuste de Red del Punto Geodésico 6.....	60
Figura 23 DJI Mavic 3E.....	62
Figura 24 Ortofoto y MDS del tramo 3 (36 m)	67
Figura 25 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	68
Figura 26 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 131+100	69
Figura 27 Ortofoto y MDS del tramo 5 (36 m)	71
Figura 28 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	71
Figura 29 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 138+900	73
Figura 30 Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)	74
Figura 31 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	75
Figura 32 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800	76

Figura 33 Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)	77
Figura 34 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	78
Figura 35 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800	79
Figura 36 Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)	81
Figura 37 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	81
Figura 38 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800	83
Figura 39 Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)	84
Figura 40 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	85
Figura 41 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800	86
Figura 42 Ortofoto y MDS del tramo 2 (30 m)	87
Figura 43 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	88
Figura 44 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 128+400	89
Figura 45 Ortofoto y MDS del tramo 3 (24 m)	91
Figura 46 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	91
Figura 47 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 131+100	93
Figura 48 Ortofoto y MDS del tramo 6 (24 m)	94
Figura 49 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	95
Figura 50 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 139+600	96
Figura 51 Ortofoto y MDS del tramo 4 (20 m)	97
Figura 52 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	98
Figura 53 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 134+800	99
Figura 54 Ortofoto y MDS del tramo 6 (20 m)	101
Figura 55 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	101
Figura 56 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 139+600	103
Figura 57 Ortofoto y MDS del tramo 2 (17 m)	104
Figura 58 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	105
Figura 59 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 128+400	106
Figura 60 Ortofoto y MDS del tramo 4 (17 m)	107
Figura 61 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	108
Figura 62 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 134+800	109
Figura 63 Ortofoto y MDS del tramo 4 (15 m)	111
Figura 64 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	111
Figura 65 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 134+800	113
Figura 66 Ortofoto y MDS del tramo 5 (15 m)	114

Figura 67 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	115
Figura 68 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 138+900	116
Figura 69 Ortofoto y MDS del tramo 1 (12 m)	117
Figura 70 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	118
Figura 71 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800	119
Figura 72 Ortofoto y MDS del tramo 2 (12 m)	121
Figura 73 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	121
Figura 74 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 128+400	123
Figura 75 Ortofoto y MDS del tramo 3 (12 m)	124
Figura 76 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	125
Figura 77 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 131+100	126
Figura 78 Ortofoto y MDS del tramo 5 (12 m)	127
Figura 79 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	128
Figura 80 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 138+900	130
Figura 81 Ortofoto y MDS del tramo 6 (12 m)	131
Figura 82 Perfil longitudinal extraído con Path Profile.....	131
Figura 83 Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 139+600	133
Figura 84 Esquema de medición Perfilómetro Láser	134
Figura 85 Perfilómetro láser Dynatest 5051	135
Figura 86 Instalación de Sensores láser y Odómetro	136
Figura 87 Recolección de datos con el perfilómetro láser	136
Figura 88 Configuración de eventos en la vía - Dynatest.....	137
Figura 89 Representación gráfica del IRI - Tramo 1.....	139
Figura 90 Representación gráfica del IRI - Tramo 2.....	141
Figura 91 Representación gráfica del IRI - Tramo 3.....	142
Figura 92 Representación gráfica del IRI - Tramo 4.....	144
Figura 93 Representación gráfica del IRI - Tramo 5.....	145
Figura 94 Representación gráfica del IRI - Tramo 6.....	147
Figura 95 Resumen estadístico de las diferencias	151
Figura 96 Prueba T de una muestra	151
Figura 97 Gráfico de Bland-Altman - caso 36m.....	151
Figura 98 Resumen estadístico de las diferencias	152
Figura 99 Prueba T de una muestra	152
Figura 100 Gráfico de Bland-Altman - caso 30m.....	153

Figura 101 <i>Resumen estadístico de las diferencias</i>	154
Figura 102 <i>Prueba T de una muestra</i>	154
Figura 103 <i>Gráfico de Bland-Altman - caso 24m</i>	154
Figura 104 <i>Resumen estadístico de las diferencias</i>	155
Figura 105 <i>Prueba T de una muestra</i>	155
Figura 106 <i>Gráfico de Bland-Altman - caso 20m</i>	155
Figura 107 <i>Resumen estadístico de las diferencias</i>	156
Figura 108 <i>Prueba T de una muestra</i>	157
Figura 109 <i>Gráfico de Bland-Altman - caso 17m</i>	157
Figura 110 <i>Resumen estadístico de las diferencias</i>	158
Figura 111 <i>Prueba T de una muestra</i>	158
Figura 112 <i>Gráfico de Bland-Altman - caso 15m</i>	158
Figura 113 <i>Resumen estadístico de las diferencias</i>	159
Figura 114 <i>Prueba T de una muestra</i>	159
Figura 115 <i>Gráfico de Bland-Altman - caso 12m</i>	160

Índice de Tablas

Tabla 1	Clasificación de métodos de evaluación de la Regularidad.....	31
Tabla 2	Requisitos de precisión para la medición perfilométrica de IRI de Clase 1 y 2	33
Tabla 3	Evaluación y Valoración del IRI, según el tipo de vía	49
Tabla 4	Operacionalización de variables	51
Tabla 5	Instrumentos y equipos para levantamiento GNSS	55
Tabla 6	Ubicación de los puntos geodésicos	56
Tabla 7	Tiempo de Registro de los Puntos Geodésicos	56
Tabla 8	Coordenadas de los puntos geodésicos y los puntos de control.....	61
Tabla 9	Parámetros técnicos de vuelo.....	63
Tabla 10	Parámetros de vuelo - Tramo 3 (36m)	67
Tabla 11	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 3 (36m).....	70
Tabla 12	Parámetros de vuelo - Tramo 5 (36m)	70
Tabla 13	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 5 (36m).....	73
Tabla 14	Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)	74
Tabla 15	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m).....	77
Tabla 16	Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)	77
Tabla 17	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m).....	80
Tabla 18	Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)	80
Tabla 19	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m).....	83
Tabla 20	Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)	84
Tabla 21	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m).....	87
Tabla 22	Parámetros de vuelo - Tramo 2 (30m)	87
Tabla 23	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 2 (30m).....	90
Tabla 24	Parámetros de vuelo - Tramo 3 (24m)	90
Tabla 25	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 3 (24m).....	93
Tabla 26	Parámetros de vuelo - Tramo 6 (24m)	94
Tabla 27	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 6 (24m).....	97
Tabla 28	Parámetros de vuelo - Tramo 4 (20m)	97
Tabla 29	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 4 (20m).....	100
Tabla 30	Parámetros de vuelo - Tramo 6 (20m)	100
Tabla 31	Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 6 (20m).....	103
Tabla 32	Parámetros de vuelo - Tramo 2 (17m)	104

Tabla 33 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 2 (17m).....	107
Tabla 34 Parámetros de vuelo - Tramo 4 (17m)	107
Tabla 35 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 4 (17m).....	110
Tabla 36 Parámetros de vuelo - Tramo 4 (15m)	110
Tabla 37 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 4 (15m).....	113
Tabla 38 Parámetros de vuelo - Tramo 5 (15m)	114
Tabla 39 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 5 (15m).....	117
Tabla 40 Parámetros de vuelo - Tramo 1 (12m)	117
Tabla 41 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (12m).....	120
Tabla 42 Parámetros de vuelo - Tramo 2 (12m)	120
Tabla 43 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 2 (12m).....	124
Tabla 44 Parámetros de vuelo - Tramo 3 (12m)	124
Tabla 45 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 3 (12m).....	127
Tabla 46 Parámetros de vuelo - Tramo 5 (12m)	127
Tabla 47 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 5 (12m).....	130
Tabla 48 Parámetros de vuelo - Tramo 6 (12m)	130
Tabla 49 Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 6 (12m).....	133
Tabla 50 Resultados IRI Tramo 1: Km 88+800 - 89+000	138
Tabla 51 Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 1	139
Tabla 52 Resultados IRI Tramo 2: Km 128+400 - 128+600	140
Tabla 53 Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 2	140
Tabla 54 Resultados IRI Tramo 3: Km 131+100 - 131+300	141
Tabla 55 Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 3	142
Tabla 56 Resultados IRI Tramo 4: Km 134+800 - 135+000	143
Tabla 57 Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 4	143
Tabla 58 Resultados IRI Tramo 5: Km 138+900 – 139+100	144
Tabla 59 Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 5	145
Tabla 60 Resultados IRI Tramo 6: Km 139+600 - 139+800	146
Tabla 61 Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 6	146
Tabla 62 IRI medido con perfilómetro láser y fotografías aéreas.....	148
Tabla 63 Condiciones Climáticas por Tramo	149
Tabla 64 Análisis Estadístico por Altura (Método de Bland-Altman).....	161

Introducción

La evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) constituye un aspecto fundamental en la valoración de la condición del pavimento, ya que este indicador refleja la regularidad superficial de la vía y se asocia directamente con la funcionalidad, la seguridad y el confort de los usuarios. Asimismo, el IRI es ampliamente reconocido a nivel internacional como un parámetro estándar para la gestión del mantenimiento y la rehabilitación vial, al influir en los costos de operación vehicular y en la priorización de intervenciones. En el caso de la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2, la determinación del IRI adquiere especial relevancia debido a la importancia estratégica de esta vía para la conectividad regional, pues al reflejar de manera objetiva la calidad de la superficie de rodadura, contribuye a garantizar la seguridad y el bienestar de los usuarios.

El uso de las fotografías aéreas surge como una alternativa para la medición del IRI en pavimentos urbanos y rurales. Los drones, mediante el uso de imágenes georreferenciadas, ofrecen una opción eficiente y accesible para calcular el IRI, buscando precisión frente a los métodos tradicionales y en comparación con los equipos de referencia propuestos por el Banco Mundial.

El presente estudio tiene como objetivo investigar la confiabilidad del Vehículo aéreo no tripulado para la determinación del IRI en este tramo específico, implementando una metodología que permita obtener datos geoespaciales precisos y eficientes para su análisis. De esta manera, se contribuye al mantenimiento y mejora continua de la infraestructura vial, permitiendo que los gobiernos municipales, provinciales y distritales realicen evaluaciones precisas del IRI y tomen decisiones informadas para la gestión de sus redes viales.

La presente investigación se estructuró en cinco capítulos:

Capítulo I: En este apartado los fundamentos principales del estudio, incluyendo la descripción de la problemática, la formulación del problema de investigación, los objetivos

planteados, la justificación del trabajo y los límites dentro de los cuales se desarrollará la investigación.

Capítulo II: En este capítulo se exponen los principios teóricos y conceptuales fundamentales, así como los antecedentes relacionados con el tema, que respaldan el desarrollo de la investigación. Además, se presenta la hipótesis del estudio, las variables involucradas y la definición de los términos básicos utilizados.

Capítulo III: Este apartado presenta el tipo, nivel y diseño de la investigación; además, se determina la población objeto de estudio, la muestra seleccionada, así como la metodología para la recolección y el procesamiento de datos.

Capítulo IV: En esta sección se exponen los resultados obtenidos durante la investigación, incluyendo el análisis detallado de los datos y la discusión de los hallazgos más relevantes.

Capítulo V: En este apartado, se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, fundamentadas en el análisis desarrollado en los capítulos previos.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas empleadas a lo largo de la investigación, junto con los anexos relacionados que complementan el estudio.

Capítulo I

1. Planteamiento de problema

1.1. Situación Problemática

1.1.1. *A Nivel Internacional*

La infraestructura vial es esencial para el desarrollo de las economías nacionales, ya que brinda una variedad de beneficios tanto económicos como sociales. Un mantenimiento adecuado de estas infraestructuras es vital para asegurar la continuidad y el crecimiento de esos beneficios. Es imperativo garantizar la conservación de las vías, asignando los recursos necesarios para su adecuada financiación y gestión. (PIARC, 2014)

A nivel mundial, uno de los parámetros principales para evaluar la funcionalidad de la superficie del pavimento es el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Este parámetro cuantifica las variaciones verticales que presenta la superficie de rodadura a lo largo de un tramo de un kilómetro, tomando como referencia un plano ideal de desplazamiento, reflejando así la calidad de la superficie de rodadura. Las irregularidades en la vía pueden originarse por diversos factores, como un proceso constructivo deficiente, el uso de materiales inapropiados, el daño ocasionado por el incremento de tránsito vehicular. A medida que se utiliza la vía, la superficie del pavimento se deteriora, generando baches, grietas y deformaciones que afectan la calidad del pavimento. Además, el cambio climático, la falta de mantenimiento adecuado y la sobrecarga vehicular contribuyen significativamente al aumento de la rugosidad de las vías, lo que reduce su nivel de serviciabilidad y pone en riesgo la seguridad vial. La medición del IRI se ha convertido en una herramienta esencial para identificar estos problemas y tomar las decisiones adecuadas para la rehabilitación y mantenimiento de las carreteras. (Rodríguez et al., 2019)

1.1.2. A Nivel Nacional

Uno de los factores más críticos que afecta la realidad nacional es el deterioro del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), el cual está conformado por tres niveles de redes viales: la Red Vial Nacional, que conecta las principales ciudades y regiones del país y es gestionada principalmente por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Esta red puede ser concesionada o no; en caso de concesión, se exige un Índice de Regularidad Internacional (IRI) máximo de 3.5 m/km más una tolerancia del 15%. La Red Vial Departamental o Regional, que conecta las capitales de los departamentos con las provincias, no se encuentra concesionada y se encuentra bajo la responsabilidad directa de los Gobiernos Regionales; a diferencia de la red vial nacional, a esta red no se le exige el cumplimiento de un valor máximo del IRI, motivo por el cual muchos de sus tramos presentan valores de IRI superiores a 5 m/km, reflejando una menor calidad en la superficie de rodadura. Finalmente, la Red Vial Vecinal o Rural, que conecta las capitales de los distritos dentro de cada provincia, tampoco se encuentra concesionada y está a cargo de las municipalidades provinciales, a las cuales no se les exige el cumplimiento de un valor específico del IRI, aunque pueden utilizarlo como indicador técnico de evaluación del estado de la vía. En consecuencia, muchos de estos tramos presentan valores de IRI superiores a 5 m/km, reflejando condiciones de regularidad deficiente. En términos de extensión, las redes no concesionadas abarcan aproximadamente 23 086 kilómetros, de los cuales 15 933 kilómetros están pavimentados, lo que representa el 69% de la red no concesionada y las redes concesionadas abarcan 6 693 kilómetros, lo que representa alrededor del 23% del total de la red vial nacional.

Aunque esta estructura jerárquica busca asegurar una gestión eficiente y descentralizada de la infraestructura vial en todo el país, no siempre garantiza que los niveles de IRI sean óptimos para los usuarios que transitan por estas vías. Cuando el IRI supera los 5 m/km en vías pavimentadas, se considera que su estado es muy malo, lo que incrementa significativamente

el riesgo de accidentes, con posibles daños tanto personales como materiales. Con el propósito de mejorar estas condiciones, PROINVERSIÓN adjudicó un presupuesto de US\$ 4,548 millones para la conservación de la Red Vial Nacional durante el periodo 2025–2026, destinado a la ejecución de 20 proyectos orientados a garantizar la operación y el mantenimiento permanente de 6 693 kilómetros distribuidos en 11 regiones del país (Agencia de Promoción de la Inversión Privada, 2024).

El bajo nivel de serviciabilidad de las carreteras puede ser causado por varios factores, como el crecimiento del parque automotor, el cambio climático, la falta de mantenimiento oportuno, así como deficiencias constructivas, tales como una compactación inadecuada de la base o una ejecución deficiente en la colocación de las capas asfálticas, entre otros. Estas condiciones generan un deterioro prematuro de la infraestructura vial, lo cual se refleja en la superficie de rodadura, que presenta baches, deformaciones, hundimientos, agrietamientos y otros defectos superficiales.

Una forma de evaluar la serviciabilidad de una vía es mediante la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI), el cual constituye un parámetro estadístico que cuantifica las condiciones de la superficie de rodadura de una carretera y que es ampliamente reconocido a nivel mundial como indicador de la comodidad para los usuarios.

Para calcular el IRI, se han desarrollado diversos equipos y métodos que difieren principalmente en su nivel de precisión, los cuales se clasifican en cuatro clases. La Clase 1, de máxima precisión, exige intervalos de hasta 250 mm entre puntos y tolerancias de ± 0.5 mm a ± 1 mm; la Clase 2 admite intervalos de 0.5 m y precisiones de 1 mm a 1.5 mm; la Clase 3 emplea dispositivos que requieren correlación estadística, como el RTRRMS y el MERLIN; y la Clase 4 se basa en evaluaciones subjetivas o mediciones no calibradas, que solo brindan estimaciones aproximadas del IRI. Dentro de estas, los equipos de Clase 1 son los más confiables, aunque suelen implicar elevados costos o bajo rendimiento operativo; mientras que

los de Clase 3, si bien presentan menor precisión, resultan más accesibles económicamente y fáciles de implementar.

1.1.3. A Nivel Local

En la ciudad de Cusco, se evidencia un deficiente mantenimiento de las vías, lo que provoca un deterioro acelerado de la infraestructura vial. Este deterioro contribuye a un bajo nivel de serviciabilidad, lo cual se refleja en la incapacidad de las vías para cumplir adecuadamente con las necesidades y expectativas de los usuarios. Además, la presencia de irregularidades en la superficie de rodadura, baches, grietas y deformaciones no solo disminuye la calidad de la vía, sino que también aumenta el riesgo de accidentes, reduce la fluidez del tráfico y, en consecuencia, genera mayores costos operativos y tiempos de viaje.

La Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos–Inambari, constituye una de las vías más importantes para la integración económica y territorial del sur del Perú, al conectar la región del Cusco con Madre de Dios y, posteriormente, con la frontera brasileña. Este tramo forma parte del Corredor Interoceánico Perú–Brasil, orientado a impulsar el desarrollo comercial, turístico y productivo de las regiones andinas y amazónicas. Dada su relevancia estratégica, resulta fundamental priorizar la conservación y el mantenimiento de su infraestructura vial, a fin de evitar el deterioro del pavimento y la reducción del nivel de serviciabilidad, factores que impactan directamente en la seguridad, el confort y la eficiencia del tránsito vehicular.

1.1.3.1. Situación actual del IRI

La Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2 Urcos–Inambari, clasificada como una carretera de Segunda Clase de acuerdo con su demanda, fue concesionada bajo el modelo de Asociación Público-Privada (APP). El proyecto comprende la rehabilitación, mejora, conservación y operación del tramo comprendido entre los kilómetros 0+000 y 245+000. Como parte de las obligaciones contractuales, se debe garantizar la seguridad vial y mantener la vía

en condiciones adecuadas para el tránsito. Actualmente, esta carretera registra un Índice Medio Diario (IMD) de 918 vehículos/día, según datos de la Unidad Integrada de Peaje y Pesaje de Quincemil, que realiza el control de tránsito de manera continua durante las 24 horas, lo que representa un flujo anual aproximado de 335 100 unidades. Del total, cerca del 70% corresponde a vehículos livianos, principalmente camionetas y autos particulares, mientras que el 30% restante está compuesto por vehículos pesados, entre los que predominan camiones de dos y tres ejes que transportan cargas de 20 a 40 toneladas. Estos últimos generan la mayor proporción del daño acumulado en la superficie de rodadura, dado que cada eje pesado equivale a varios miles de pasos de vehículos livianos en términos de deterioro (ESALs). Asimismo, circulan buses de transporte interprovincial, aunque en menor proporción dentro del flujo total.

Para garantizar el óptimo estado de la vía, se realizan evaluaciones semestrales de los niveles de servicio y mediciones anuales del Índice de Regularidad Internacional (IRI). En el tramo Urcos–Inambari, dichas evaluaciones, a cargo de OSITRAN, registraron en su última medición realizada en diciembre de 2024 un valor de 1.81 m/km, obtenido mediante un perfilómetro láser de Clase 1, considerado un equipo de alta precisión.

Este índice se determina a partir del análisis del perfil longitudinal, cuya medición, sin embargo, enfrenta limitaciones debido al alto costo de los equipos de Clase 1, como el perfilómetro láser. Este dispositivo tiene un valor de adquisición cercano a los US\$ 100000, un costo de alquiler aproximado de US\$ 100 por kilómetro evaluado, y un rendimiento operativo de hasta 80 km/h. Estas condiciones restringen la aplicación frecuente y eficiente de evaluaciones de la regularidad superficial, lo que puede afectar negativamente la gestión oportuna de las actividades de conservación y mantenimiento.

1.1.3.2. Situación futura del IRI

En este contexto, la falta de evaluación del IRI implica la ausencia de información objetiva para una adecuada gestión del mantenimiento, lo que encarece los costos de

conservación, reduce la vida útil del pavimento y compromete la seguridad de los usuarios. Frente a ello, la adopción de metodologías alternativas, como el uso de fotografías aéreas obtenidas mediante drones, surge como una opción eficiente para evaluar la condición funcional de las vías. Esta tecnología permite recolectar datos precisos del perfil longitudinal, facilitando la generación de modelos digitales de superficie (MDS) que evidencian irregularidades y deformaciones.

Para garantizar la calidad y consistencia de los datos, resulta fundamental controlar cuidadosamente factores como el gradiente de temperatura durante las mediciones, ya que este puede afectar la nitidez de las imágenes. Del mismo modo, es indispensable una adecuada planificación de los parámetros de vuelo (altura, Ground Sample Distance (GSD) y porcentajes de solape transversal y longitudinal) con el fin de asegurar una reconstrucción tridimensional precisa mediante fotogrametría, evitando zonas con información insuficiente o distorsionada.

Finalmente, el cálculo del IRI busca proporcionar una evaluación técnica que sirva de base para planificar y organizar las acciones de mantenimiento de la vía, facilitando a los gestores la toma de decisiones técnicas y económicas fundamentadas en datos confiables, lo que optimiza la conservación vial. Para garantizar la confiabilidad de los datos y validar esta metodología, es necesario realizar comparaciones con mediciones convencionales, en este caso, con el perfilómetro láser. Así, se asegura que los resultados sean precisos y útiles para la toma de decisiones, representando una valiosa oportunidad para modernizar y optimizar la evaluación funcional del pavimento.

La implementación de esta metodología constituye una alternativa accesible y aplicable para municipalidades u otras entidades que no disponen de equipos especializados, ya sea por el alto costo de adquisición o por el bajo rendimiento de los disponibles, convirtiéndose en una herramienta práctica para fortalecer la gestión vial en distintos niveles de gobierno. La ausencia de una adecuada evaluación del IRI genera elevados costos de rehabilitación, económicamente

insostenibles, que pueden alcanzar aproximadamente US\$ 150000/km. En contraste, un mantenimiento preventivo demanda alrededor de US\$ 30000/km cada 5 años; además, el alquiler de un equipo de medición resulta significativamente menor en comparación con los costos de rehabilitación, ofreciendo una relación beneficio/costo mucho más favorable.

La metodología propuesta se valida a través del desarrollo de esta investigación mediante la comprobación de la hipótesis, al identificar los parámetros de vuelo y el gradiente de temperatura que influyen en el proceso de medición. De esta manera, se establecen los parámetros óptimos de operación del dron para la aplicación del método con fotografías aéreas, lo que constituye una guía práctica para su implementación. Este aporte busca optimizar la gestión del mantenimiento vial en los distintos niveles de gobierno, al ofrecer una alternativa técnica y económicamente viable frente a los métodos tradicionales de evaluación del IRI.

Figura 1

Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 1



Nota: La figura muestra el tramo de evaluación 1, comprendido entre los Km 88+800 y 89+000, el cual presenta un IRI de 1.43 m/km. **Fuente:** Google Maps (s.f.)

Figura 2

Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 2



Nota: La figura muestra el tramo de evaluación 2, comprendido entre los Km 128+400 y 128+600, el cual presenta un IRI de 1.46 m/km. **Fuente:** Google Maps (s.f.)

Figura 3

Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 3



Nota: La figura muestra el tramo de evaluación 3, comprendido entre los Km 131+100 y 131+300, el cual presenta un IRI de 1.92 m/km. **Fuente:** Google Maps (s.f.)

Figura 4

Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 4



Nota: La figura muestra el tramo de evaluación 4, comprendido entre los Km 134+800 y 135+000, el cual presenta un IRI de 1.70. m/km. **Fuente:** Google Maps (s.f.)

Figura 5

Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 5



Nota: La figura muestra el tramo de evaluación 5, comprendido entre los Km 138+900 y 139+100, el cual presenta un IRI de 1.46 m/km. **Fuente:** Google Maps (s.f.)

Figura 6

Carretera Interoceánica Sur - Tramo de evaluación 6



Nota: La figura muestra el tramo de evaluación 6, comprendido entre los Km 139+600 y 139+800, el cual presenta un IRI de 1.29 m/km. **Fuente:** Google Maps (s.f.)

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. *Problema General*

PG: ¿Cuál es la variación del Índice de Regularidad Internacional empleando las Fotografías Aéreas con relación al Perfilómetro Láser en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?

1.2.2. *Problemas Específicos*

PE 1: ¿Cómo incide la gradiente de temperatura en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?

PE 2: ¿De qué manera influyen los parámetros de vuelo en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?

PE 3: ¿Cuál es el estado de la superficie de rodadura a través de la medición del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?

1.3. Justificación de la Investigación

1.3.1. Justificación Teórica

Los pavimentos son un elemento clave en la infraestructura vial, ya que permiten la conexión entre diferentes localidades y favorecen el crecimiento económico y social de las ciudades. Por esta razón, es fundamental realizar un seguimiento regular de su condición funcional para garantizar la seguridad y comodidad para los usuarios de la vía.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un parámetro clave que permite evaluar el estado funcional de un pavimento, identificar el nivel de deterioro de la vía y establecer umbrales de alerta para la realización de labores de mantenimiento. Además, el IRI se utiliza para medir el confort que la carretera ofrece a los usuarios y evaluar la seguridad vial, reflejando así el nivel de serviciabilidad de la vía en función de su calidad y estado.

1.3.2. Justificación Práctica

Existen diversos equipos empleados para la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), los cuales se clasifican en cuatro clases según su precisión en la obtención de datos. Los equipos de Clase 1, como los perfilómetros láser, ofrecen mediciones de alta precisión y elevado rendimiento; sin embargo, su alto costo y limitada disponibilidad pueden restringir su uso en evaluaciones extensas. Dentro de esta misma clase se incluyen instrumentos como el nivel y mira topográfica y el Dipstick, los cuales, pese a ser de bajo costo y alta

precisión, presentan un rendimiento limitado y se utilizan principalmente en tramos cortos o con fines de calibración de otros equipos.

Los equipos de Clase 2, como los perfilómetros mecano–electrónicos y los vehículos con respuesta inercial o de acelerómetro, presentan una precisión intermedia y un menor costo de operación, por lo que resultan adecuados para la evaluación funcional de redes viales. En cambio, los equipos de Clase 3, como el RTRRMS (Response-Type Road Roughness Measuring System) y el MERLIN (Machine for Evaluating Roughness Using Low-cost Instrumentation), requieren correlación estadística con equipos de mayor precisión y son de bajo costo y alta disponibilidad, por lo que se emplean en evaluaciones rápidas o en vías rurales. Finalmente, los equipos de Clase 4 se basan en métodos subjetivos o visuales, proporcionando únicamente estimaciones aproximadas del IRI utilizadas en inspecciones preliminares o inventarios básicos de carreteras.

Mediante el proceso de investigación de la tesis se buscó incorporar un método para medir el Índice de Regularidad Internacional (IRI), utilizando fotografías aéreas capturadas por un drone. Este enfoque se selecciona debido a las ventajas que el drone ofrece, al ser un equipo accesible, de bajo costo y alto rendimiento. Además, en los últimos años ha ganado gran aceptación en diversas ramas de la ingeniería debido a su versatilidad y su amplia gama de aplicaciones.

1.3.3. Justificación Metodológica

Mediante esta investigación se buscó dar a conocer la eficacia de las fotografías con drone para lograr los resultados más eficientes en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2 Urcos – Inambari. Este equipo fue empleado como un método alternativo, mediante el cual, a través de la generación de ortofotos, fue posible obtener el perfil longitudinal de la carretera.

Además, se tuvo como objetivo estructurar y explicar los conceptos teóricos y prácticos, con el fin de establecer un precedente que sirva de referencia para otras entidades públicas o privadas que deseen adoptar el uso de fotografías aéreas con drones. Esto permitirá una gestión más eficiente de las infraestructuras viales, optimizando el uso de recursos a disposición.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. *Objetivo General*

OG: Evaluar el Índice de Regularidad Internacional empleando las Fotografías Aéreas con relación al Perfilómetro Láser en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

OE 1: Definir la incidencia de la gradiente de temperatura en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.

OE 2: Analizar la influencia de los parámetros de vuelo en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.

OE 3: Evaluar el estado de la superficie de rodadura a través de la medición del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1. *Delimitación Espacial*

La presente investigación se llevó a cabo en la Carretera Interoceánica Sur Urcos – Inambari (IIRSA Sur – Tramo 2), que comprende un total de 246.4 km. Para el estudio se seleccionaron seis tramos de 200m cada uno, ubicados en los distritos de Ocongate y Marcapata,

utilizando como instrumentos de medición los equipos DJI Mavic 3 Enterprise y Dynatest 5051 Profiler 2 Laser.

Figura 7

Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari



Nota: La figura muestra el tramo 2 asignado a la concesionaria IIRSA SUR. **Fuente:** OSITRAN (2018)

1.5.2. Delimitación Temporal

La tesis se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre noviembre de 2024 y abril de 2025, tiempo durante el cual se realizó la recolección de datos en campo, seguida del procesamiento y análisis correspondiente en gabinete.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1. Marco Teórico Referencial

2.1.1. *Antecedentes de la Investigación*

2.1.1.1. A Nivel Internacional

Según (Angarita & Sánchez , 2017) en la tesis “Comparación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a partir de información obtenida por métodos fotogramétricos”, donde registraron mediante imágenes la superficie de un tramo de pavimento flexible ubicado en la Universidad Militar de Nueva Granada en Bogotá, Colombia. Se utilizó un Drone de la serie Phantom4, que fue configurado para realizar los vuelos de tipo cuadrícula y doble cuadrícula, resultado de dichos vuelos se obtuvo imágenes con resolución de 9.00 mm y 4.00 mm por píxel. Se colocaron puntos de control con ayuda de un GPS para incrementar la precisión. Las imágenes se procesaron en el software PIX4D Mapper, generando una nube de puntos que se filtró a intervalos de 25.00cm para determinar el perfil longitudinal de las huellas de circulación y proceder con el cálculo del IRI con ayuda del software PROVAL. Los resultados del IRI se compararon con datos recolectados con un escáner láser de dos años antes, las diferencias fueron entre 2/10 m/km y 1 m/km. Finalmente, se concluye que la metodología propuesta permite optimizar los tiempos de recolección de datos y facilita la detección de daños en el pavimento como la piel de cocodrilo, baches y grietas. Se recomienda tener la carpeta de rodadura limpia para no alterar los resultados.

Según (Sánchez M. C., 2018) en el artículo “Medición de la Regularidad Superficial en Pavimentos a partir de Método Fotogramétrico Digital de corto alcance”, donde obtuvieron imágenes de la superficie de tres tramos de pavimento flexible ubicados en la Habana, Cuba. En este artículo se utilizó una cámara digital la cual se instaló a una altura de 1.00m sobre un trípode con base móvil. Así mismo, se colocaron 10 puntos de control distribuidos a lo largo

del perfil para orientar las imágenes, y sus coordenadas fueron determinadas utilizando una estación total y un teodolito de precisión media. Las imágenes, con resoluciones entre 3/10mm y 5/10 mm por píxel, fueron procesadas mediante el software Agisoft PhotoScan para generar el perfil de la huella circular y se calculó el IRI. Como método de referencia, el IRI fue calculado utilizando el método topográfico con nivel y mira, midiendo la elevación de la huella cada 0.50 m. El IRI calculado cada 20 metros mostró una geometría similar en el perfil de regularidad en uno de los tramos, aunque se identificaron diferencias entre 0.01m/km y 1.65m/km. Se concluye que los valores obtenidos a diferentes alturas muestran variaciones milimétricas y las desviaciones estándar se encuentra una variación en centímetros.

Según (Cruz J. , 2022) en la tesis “Cálculo del índice de Regularidad Internacional (IRI) a través de imágenes obtenidas de un vehículo aéreo no tripulado”, registraron la superficie del pavimento con imágenes georreferenciadas y generar una ortofoto de alta resolución. Estos modelos permitieron calcular el IRI de cada huella de circulación. Sus equipos de referencia son el perfilómetro láser, Dipstick y Escáner LIDAR. Se obtuvo a partir de 40 vuelos realizados, la resolución óptima en el tramo de evaluación. Los resultados mostraron que el uso de puntos de control permitió una mejor correlación, con una regresión lineal y un coeficiente $R^2=0.791$, en comparación con la data original que presentó un $R^2=0.644$. Al analizar el promedio de la desviación estándar de los valores de IRI calculados cada 10 metros en ambas huellas, se estima, con un 95% de confianza y que el valor del IRI tiene una precisión de ± 0.091 m/km al utilizar puntos de control, frente a una precisión de ± 0.121 m/km con los datos originales. Recomienda que es necesario hacer una inspección previa para realizar el vuelo y considerar las condiciones climáticas.

2.1.1.2. A Nivel Nacional

Según (Quispe, 2024) en la tesis “Índice de rugosidad internacional (IRI) en pavimentos flexible mediante el uso dron a diferentes alturas de vuelo y el rugosímetro de merlín en la vía

MO-590-Moquegua”, evaluó el IRI comparando el uso de un dron (Phantom 4 PRO) a distintas alturas de vuelo con el rugosímetro de Merlín. El estudio abarcó un tramo de 400 metros, donde se obtuvieron mediciones en ambos carriles. Los resultados mostraron que el IRI medido con el rugosímetro de Merlín osciló entre 1.13 y 1.40 m/km en el carril derecho y entre 0.90 y 1.10 m/km en el carril izquierdo. En contraste, los valores obtenidos con dron presentaron mayor aproximación a las mediciones tradicionales cuando las capturas se realizaron a una altura promedio de 10 metros; sin embargo, el nivel de similitud alcanzado fue solo del 35,61 % en promedio, con tendencia negativa. Estos resultados evidencian que la fotogrametría aplicada con drones constituye una alternativa incipiente, pero aún requiere ajustes metodológicos para equipararse a los métodos estandarizados de medición de rugosidad en pavimentos.

Según (Falcom & Ramon, 2023) en la tesis “Aplicación de la Fotogrametría con RPA, para analizar la Calidad del Pavimento Flexible en la Carretera Lima – Canta – Huayllay, Tramo Laguna 7 Colores – Fantasma Cordillera La Viuda – 2023”, desarrolló una investigación en la carretera Lima–Canta–Huayllay (tramo Laguna 7 Colores – Fantasma, cordillera La Viuda) con el objetivo de aplicar la fotogrametría mediante un RPA (dron) para evaluar la condición del pavimento flexible. El estudio se enmarcó en el contexto del proyecto de mejoramiento y rehabilitación de 203,796 km de la vía, donde se incluyeron intervenciones en la calzada, bermas, drenaje, estabilización de taludes y señalización. La metodología consistió en la captura de imágenes aéreas con dron en el tramo 2 (Canta–Huayllay, 95,2 km) y su procesamiento en el software Agisoft Metashape, lo que permitió generar modelos 3D de la superficie del pavimento. Con esta técnica se realizó una evaluación visual detallada de la carpeta asfáltica, bermas y obras de seguridad. Asimismo, se identificaron fallas superficiales y estructurales en la vía, lo que aportó criterios para estimar el Present Serviceability Index (PSI), indicador vinculado a la percepción de calidad y seguridad por parte de los usuarios.

Los resultados evidenciaron que la fotogrametría con RPA constituye una herramienta eficaz para la inspección superficial de pavimentos, ya que permite detectar fallas y caracterizar elementos de seguridad vial con rapidez y precisión, representando una alternativa complementaria a los métodos tradicionales de evaluación de la condición vial.

2.1.1.3. A Nivel Local

Según (Rodas, 2024) en la tesis “Grado de confiabilidad en la determinación del IRI de pavimento urbano empleando VANT en la prolongación Avenida La Cultura km 3+500 - km 4+500 en la ciudad del Cusco, 2022” tuvo como objetivo evaluar la precisión del Índice de Regularidad Internacional (IRI) calculado mediante imágenes georreferenciadas obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado (VANT). Este método innovador genera un modelo tridimensional y ortofotos de la vía, permitiendo extraer perfiles longitudinales de las huellas vehiculares para calcular el IRI. Para validar esta técnica, se compararon los resultados con mediciones de alta precisión obtenidas mediante nivel topográfico, considerado un método de Clase 1. Los resultados mostraron altos coeficientes de determinación, alcanzando valores de 92.67% a 5 m, 92.89% a 10 m, 92.23% a 20 m, 93.50% a 50 m y 93.40% a 100 m. Esto confirma que el uso de VANT para determinar el IRI en pavimentos urbanos es confiable y preciso. Se recomienda calcular el IRI en rangos pequeños para detectar toda la irregularidad de la superficie del pavimento y saber utilizar el equipo.

Según (Chura & Flores, 2022) en la tesis “Modelo Matemático y Medición para Estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) Preciso en Carreteras Sinuosas Caso: Tramo Urcos - Ocongate de la Red Vial PE-30C, Región Cusco, 2018.” la fórmula original para calcular el Índice de Regularidad Internacional (IRI), basada en el modelo matemático de “cuarto de coche” y estandarizada en la norma ASTM E1170, presenta una limitación al no considerar las características de los tramos sinuosos. Esta omisión genera un incremento aproximado de 0,5 m/km en el valor del IRI en dichos sectores, reduciendo la precisión de la evaluación de la

rugosidad. Con el propósito de superar esta restricción, los autores desarrollaron un nuevo modelo matemático aplicado en la carretera PE-30C, tramo Urcos–Ocongate (56,3 km). El estudio incluyó mediciones de campo con nivel y mira, uso del aplicativo Roadroid, un radar de control de velocidad, y datos secundarios proporcionados por OSITRAN (perfilómetro láser, deflectómetro de impacto FWD y coordenadas UTM). Posteriormente, la información fue procesada mediante la determinación del alineamiento con coordenadas UTM y la herramienta SPLINE, así como la sectorización de la vía bajo el método de diferencias acumuladas de AASHTO (1993). Para el análisis estadístico se aplicó regresión lineal con el software SPSS. Los resultados mostraron que el grado de curvatura horizontal (CCR) es la variable con mayor influencia en el IRI, obteniendo una correlación muy alta ($r = 0,901$). En consecuencia, se propuso el siguiente modelo para estimar el IRI en tramos sinuosos: $IRIts = IRI - 0.00193 \cdot CCR$, donde *IRIts* corresponde al IRI ajustado para carreteras con sinuosidad. Este modelo representa un aporte importante, ya que mejora la precisión en la evaluación de la rugosidad en vías con geometría compleja, facilitando una gestión vial más confiable.

2.2. Marco Teórico Conceptual

2.2.1. Pavimento

El pavimento se compone de un conjunto de capas estructurales dispuestas horizontalmente, conformadas con materiales previamente seleccionados, cuyo propósito es asegurar la resistencia y el adecuado desempeño de la vía. Estas estructuras descansan sobre la subrasante obtenida mediante movimientos de tierra y deben resistir adecuadamente las fuerzas que le transmiten las cargas repetidas de tráfico durante el período para el cual se diseñó la estructura del pavimento (Montejo, 2002, pág. 1)

2.2.1.1. Pavimentos Flexibles

Este tipo de pavimentos está compuesto por 2 capas de materiales granulares y una carpeta bituminosa. Este tipo de estructura transmite las cargas de tránsito hacia las capas inferiores de manera gradual, dependiendo principalmente de la rigidez de la subrasante. (Montejo, 2002, pág. 2)

2.2.1.2. Pavimentos Rígidos

Está constituido principalmente por losas de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub base, distribuye las cargas sobre una mayor área gracias a su rigidez estructural. (Montejo, 2002, pág. 5)

2.2.1.3. Función estructural y desempeño funcional

La función estructural del pavimento se basa en soportar y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito vehicular, evitando deformaciones permanentes. Esta función asegura la durabilidad de la vía ante el uso continuo y las condiciones ambientales (Tighe, 2013).

Por otro lado, el desempeño funcional está orientado a ofrecer una superficie de rodadura segura, cómoda y eficiente para los usuarios. Esto implica mantener niveles adecuados de regularidad, fricción, visibilidad y drenaje, que contribuyen a la seguridad vial y al confort del usuario (MTC, 2014).

2.2.1.4. Comportamiento del pavimento ante el tránsito

El comportamiento del pavimento ante el tránsito está influenciado por varios factores, entre ellos: el peso y volumen de tránsito, la calidad de los materiales, las condiciones climáticas y el diseño estructural. Con el paso del tiempo y la repetición de cargas, se generan esfuerzos acumulativos que producen deterioros como grietas, deformaciones plásticas, baches y pérdida de regularidad superficial (Huang, 2004).

Este comportamiento también depende del tipo de pavimento: los pavimentos flexibles tienden a sufrir más deformaciones en la subrasante y en las capas inferiores, mientras que los pavimentos rígidos presentan fallas como agrietamiento por contracción o por fatiga del concreto.

2.2.2. Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Es un parámetro que resume matemáticamente el perfil longitudinal de una vía, expresando las vibraciones que un vehículo de referencia experimenta al desplazarse a 80 km/h. Se define como la relación entre los movimientos acumulados de la suspensión y la distancia recorrida, expresado en mm/m o m/km reflejando su calidad y confort.

2.2.3. Perfilómetro láser

Equipo especializado diseñado para medir con alta precisión el perfil longitudinal de un pavimento, permitiendo calcular el Índice de Regularidad Internacional (IRI) de manera rápida, continua y no destructiva. Su funcionamiento se basa en la emisión de un haz láser acompañado de sensores y sistemas de posicionamiento que aseguran resultados confiables y precisos.

2.2.4. Drone (Vehículo Aéreo No Tripulado – VANT)

Dispositivo volador controlado remotamente que permite la captura de imágenes aéreas. Se emplea para generar modelos digitales del terreno mediante fotogrametría y facilita la evaluación de grandes extensiones viales en menor tiempo y con alta resolución.

2.2.5. Perfil Longitudinal del Pavimento

Representación gráfica de las irregularidades verticales de la superficie de rodadura a lo largo de su eje. Sirve como base para el cálculo del IRI y permite analizar el desempeño estructural y funcional del pavimento en el tiempo.

2.2.6. Fotogrametría

Técnica que permite obtener dimensiones, formas y posiciones de objetos a partir de fotografías. En el ámbito vial, se aplica para generar ortofotos y modelos tridimensionales que permiten analizar el estado superficial del pavimento, extraer perfiles longitudinales y calcular indicadores de regularidad como el IRI.

2.2.6.1. Ortofoto (u Ortoimagen)

Imagen aérea corregida geométricamente para que tenga una escala uniforme y sirve como base para realizar mediciones de distancias, áreas o deformaciones sobre el pavimento con la misma confiabilidad que un plano topográfico. En este caso, permite evaluar continuidad y homogeneidad del pavimento en todo el tramo.

2.2.6.2. Superposición de Imágenes (Overlap)

Porcentaje de coincidencia entre imágenes sucesivas capturadas por un drone, tanto en sentido longitudinal como transversal, necesario para asegurar una reconstrucción 3D precisa en fotogrametría.

2.2.6.3. Modelo Digital de Superficie (MDS)

Representación tridimensional de la superficie del terreno obtenida a partir de datos fotogramétricos o sensores remotos. Permite extraer perfiles y realizar análisis geométricos.

2.2.7. Puntos Geodésicos

Referencias físicas materializadas en el terreno que permiten determinar con precisión una ubicación geográfica mediante procesos como la triangulación y nivelación geodésica, funcionan como apoyo para cualquier levantamiento topográfico o geoespacial. Garantiza una base confiable en la generación de cartografía o en la medición de variables como el IRI.

2.2.8. Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Se basa en la proyección Transversal de Mercator. Divide la Tierra en 60 zonas longitudinales de 6° cada una. Facilita el posicionamiento de ortofotos y modelos

fotogramétricos en un marco métrico estandarizado, donde todos los datos geoespaciados (ortofotos, modelos 3D, planos) se ubican de manera coherente, facilitando su uso en GIS, topografía e ingeniería civil.

2.3. Marco Teórico Científico

2.3.1. Regularidad Superficial del Pavimento

2.3.1.1. Definición

“Desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, el perfil longitudinal, perfil transversal.” (ASTM E 867-06).

(Badilla, 2008) indicó que, en la década de los 70s, el Banco Mundial impulsó diversos programas de investigación a gran escala, entre los cuales destacó un proyecto orientado a analizar la calidad de las vías y los costos para los usuarios. A través de dicho estudio se evidenció que los datos de regularidad superficial obtenidos en distintas regiones del mundo no eran comparables entre sí y que, incluso dentro de un mismo país, los resultados presentaban inconsistencias, producto del uso de equipos y métodos de medición que carecían de estabilidad a lo largo del tiempo (pág. 3).

La regularidad superficial del pavimento puede verse afectada por diversos factores como errores en la construcción (compactación deficiente o mala nivelación), condiciones inadecuadas de la subrasante, tránsito repetitivo de vehículos pesados, cambios climáticos (temperatura, humedad) y falta de mantenimiento oportuno. Estas condiciones deterioran progresivamente la superficie de rodadura, generando baches, deformaciones y pérdida de confort para el usuario (MTC, 2014).

La regularidad es un parámetro clave en la gestión de pavimentos, ya que influye en la seguridad, comodidad y eficiencia del tránsito. Su monitoreo, a través de indicadores como el

IRI, permite identificar deterioros, planificar el mantenimiento y optimizar recursos en la conservación vial. Además, mejora la experiencia del usuario y reduce los costos operativos del transporte (Banco Mundial, 1993).

2.3.2. Índice de Regularidad Internacional (IRI)

2.3.2.1. Definición

El índice de Regularidad Internacional (IRI) resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, producto de la simulación del modelo matemático del cuarto de carro (Golder Car) para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h (Michael W. Sayers, 1986).

En términos generales, el IRI se define como la relación entre los desplazamientos acumulados en el sistema de suspensión de un vehículo de referencia y la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad constante de 80.00 km/h, expresándose en unidades de mm/m o m/km.

Según señala Sayers y Karamihas (1998), este criterio responde a los siguientes parámetros:

- **Consistente a lo largo del tiempo:** el IRI se basa en la representación de un perfil longitudinal real, sin depender de las particularidades físicas de un instrumento específico.
- **Versátil:** puede calcularse a partir de perfiles obtenidos con diferentes tipos de equipos.
- **Reproducible:** los resultados pueden replicarse utilizando diversos métodos de medición, tanto con perfilómetros de respuesta rápida como con equipos de registro estático.

- **Significativo:** constituye un indicador confiable de la condición superficial del pavimento, vinculado de manera directa con el confort del usuario y los costos de operación vehicular.

2.3.2.2. Cálculo del IRI (Modelo del cuarto de carro)

El cálculo del IRI se realiza a través de técnicas matemáticas y estadísticas que permiten derivar la medida de regularidad relacionada al camino y consta de diferentes etapas que se presentan a continuación:

El primer paso consiste en la obtención de las elevaciones o cotas del perfil longitudinal de las huellas de circulación asociadas al pavimento a través de un equipo de buena precisión (W. Sayers & Karamihas, 1998). A continuación, se aplica un primer proceso de filtrado basado en un análisis estadístico de tipo media móvil, con el objetivo de generar un perfil suavizado que posibilite:

- a) Representar la interacción entre los neumáticos y la superficie del pavimento, evidenciando las irregularidades.
- b) Reducir influencia del intervalo de muestreo en respuesta del algoritmo del IRI.

Para un perfil muestreado a un intervalo (Δ), el filtrado de la regularidad mediante la media móvil se define como la suma:

$$h_{ps}(i) = \frac{1}{k} \sum_{j=i}^{i+k-1} h_p(j)$$

$$k = \max[1, \text{nint}(L_B/\Delta)]$$

Donde:

h_p = elevación del perfil

h_{ps} = elevación del perfil suavizado

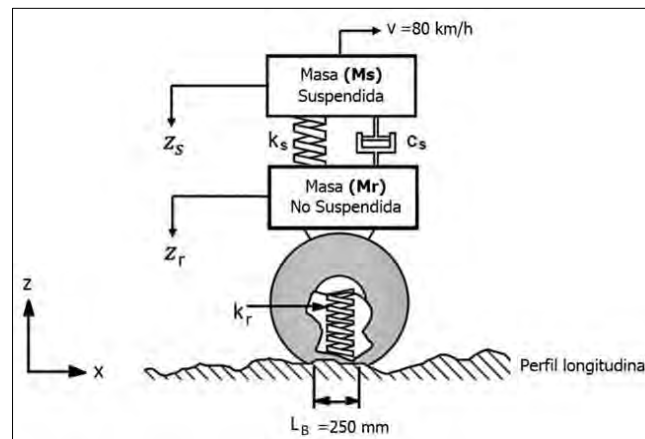
nint = entero más cercano

L_B = Longitud base de la media móvil, 250 mm

A este nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, que consiste en la aplicación del modelo de cuarto de carro, donde se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo (Loria et al., 2014). El modelo de simulación del cuarto de carro está compuesto de una masa amortiguada o suspendida (masa de un cuarto de carro ideal) conectada a una masa “no amortiguada” (eje y neumático) a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión), donde el neumático está representado por otro resorte lineal como se aprecia en la **Figura 8** (Badilla, 2008).

Figura 8

Golden car



Nota: Modelo matemático del cuarto de carro. **Fuente:** Sayers (1995)

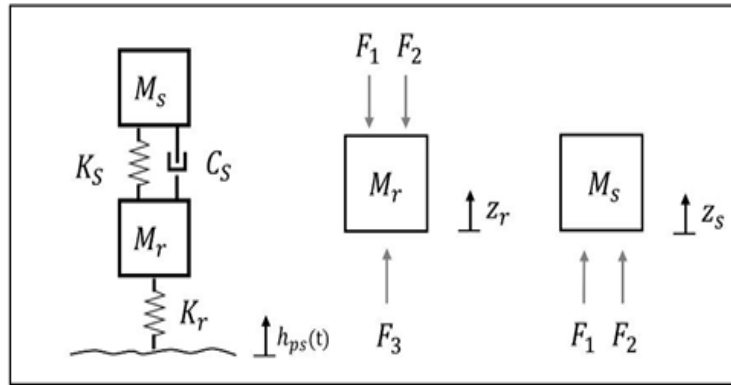
El estudio del Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras en su informe 228 establece un conjunto de parámetros específicos para el sistema computarizado de respuesta de un cuarto de carro, denominado Golden Car. En este modelo, las masas suspendida y no suspendida se representan como M_s y M_r , respectivamente. La suspensión se idealiza mediante un resorte lineal con rigidez k_s y un amortiguador lineal con coeficiente de amortiguamiento C_s . El neumático, por su parte, se modela como un resorte lineal caracterizado por una rigidez K_r , mientras que z corresponde al desnivel del perfil longitudinal. La medición del perfil se realiza a una velocidad constante de 80 km/h. La irregularidad de la superficie genera una vibración dinámica en el sistema del cuarto de carro, dando como resultado

diferentes velocidades verticales ($\dot{Z}_s$ y $\dot{Z}_r$) o aceleraciones ($\ddot{Z}_s$ y $\ddot{Z}_r$) en las masas suspendidas y no suspendidas. (Chen, 2020)

La **Figura 9** presenta los diagramas de cuerpo libre, a partir de los cuales, aplicando la Segunda Ley de Newton se obtiene las siguientes ecuaciones:

Figura 9

Diagramas de cuerpo libre



Fuente: Tomado de Sayers. (1995)

$$F_1 + F_2 = M_s \times \ddot{Z}_s$$

$$K_S(Z_r - Z_s) + C_S(\dot{Z}_r - \dot{Z}_s) = M_s \times \ddot{Z}_s \quad (3)$$

$$F_3 - F_2 - F_1 = M_r \times \ddot{Z}_r$$

$$K_r(h_{ps} - Z_r) + C_S(\dot{Z}_r - \dot{Z}_s) - K_S(Z_r - Z_s) = M_r \times \ddot{Z}_r \quad (4)$$

Al dividir simultáneamente ambos lados de las Ecuaciones (3) y (4) por la masa suspendida M_s al mismo tiempo, se obtiene una formulación simplificada de las ecuaciones de movimiento se pueden simplificar y adoptan la forma mostrada en a las Ecuaciones (5) y (6):

En la ecuación (3):

$$\ddot{Z}_s = -\frac{K_S}{M_s} \times Z_s - \frac{C_S}{M_s} \times \dot{Z}_r + \frac{K_S}{M_s} \times Z_r + \frac{C_S}{M_s} \times \dot{Z}_r$$

$$\ddot{Z}_s + K_2 \times Z_s + C \times \dot{Z}_s - K_2 \times Z_r - C \times \dot{Z}_r = 0 \quad (5)$$

En la ecuación (4):

$$\ddot{Z}_r = \frac{K_s}{M_r} \times Z_s + \frac{C_s}{M_r} \times \dot{Z}_r - \frac{(K_r + K_s)}{M_r} \times Z_r - \frac{C_s}{M_r} \times \dot{Z}_r + \frac{K_r}{M_r} \times h_{ps}$$

$$\ddot{Z}_r + \frac{K_2}{\mu} \times Z_s + \frac{C_s}{\mu} \times \dot{Z}_r - \frac{(K_1 + K_2)}{\mu} \times Z_r - \frac{C}{\mu} \times \dot{Z}_r - \frac{K_1}{\mu} \times h_{ps} = 0 \quad (6)$$

Donde:

$$C = \frac{C_s}{M_s} = 6; \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15; K_1 = \frac{K_r}{M_s} = 653; K_2 = \frac{K_s}{M_s} = 63.3$$

El modelo dinámico se representa mediante un sistema de ecuaciones que toma como insumo el perfil longitudinal de la vía. Se calcula y acumula el movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida y se determina el valor del IRI en unidades de m/km. (Sayers, 1995). Así mismo, el parámetro tiempo se encuentra vinculado con la distancia recorrida a lo largo de la calzada, en función de la velocidad de simulación del vehículo:

$$t = \frac{X}{V}$$

Donde:

X= distancia longitudinal

V= velocidad (80 km/h)

Las unidades de la velocidad deben expresarse en términos de longitud/segundo y además las unidades de la longitud deben ser coherentes con las empleadas en la variable.

Por lo tanto, el valor de IRI correspondiente a tramo de carretera con una longitud determinada puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L [\dot{Z}_s - \dot{Z}_r] dt$$

Donde:

IRI= Índice de Regularidad Internacional, expresada en m/km

L = longitud del tramo, expresada en km.

Al ser una ecuación lineal, se puede decir que si el IRI de una sección de 500 m es 1.0 m/km y el IRI en la siguiente sección de 500 m es 2.0 m/km, el IRI para el kilómetro completo es el promedio aritmético simple: 1.5 m/km (Sayers, 1995).

2.3.2.3. Métodos para la medida de la Regularidad

La norma ASTM E950/950M denominada “Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference” presenta una clasificación de acuerdo a la longitud de almacenamiento de datos y la resolución de las mediciones verticales que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de métodos de evaluación de la Regularidad

Clasificación	Requerimientos	
	Distancia de muestreo	Resolución de mediciones verticales
Clase 1	Menor o igual a 250 mm	Menor o igual a 1 mm
Clase 2	Mayor que 250 mm hasta 500 mm	Mayor que 1 mm hasta 1.5 mm
Clase 3	No continuo / estimado	No definido
Clase 4	Evaluación subjetiva	-

Fuente: Adaptado de ASTM (2020).

2.3.3. Clasificación de Equipos según el Banco Mundial

El Banco Mundial mediante el documento técnico N°46 titulado Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements agrupa los métodos para medir la regularidad en cuatro clases que están en función al intervalo de muestreo para almacenar los datos y nivel de precisión, como también métodos mediante correlaciones y calificaciones subjetivas como se detalla a continuación:

2.3.3.1. Clase 1: Perfiles de precisión

Este grupo corresponde a los procedimientos de mayor exactitud para la estimación del IRI, ya que el perfil longitudinal se obtiene directamente en la huella de rodadura. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, la separación máxima entre puntos de medición no debe superar los 250 mm, mientras que la tolerancia en la determinación de elevaciones se establece en aproximadamente ± 0.5 mm cuando el pavimento presenta valores de rugosidad entre 1 y 3 m/km, y en ± 1 mm cuando los valores se ubican entre 3 y 5 m/km. Dentro de esta categoría se incluyen instrumentos de referencia como el Dipstick y el levantamiento topográfico mediante nivel y mira. Asimismo, pueden incorporarse los perfilómetros de alta velocidad, siempre que sean previamente calibrados o contrastados con equipos de referencia de precisión, con el fin de asegurar la validez de las mediciones.

2.3.3.2. Clase 2: Otros métodos perfilométricos

Esta categoría abarca los métodos que permiten medir el perfil longitudinal para calcular directamente el IRI, pero que no alcanzan el nivel de precisión exigido para una medición de Clase 1. El intervalo máximo entre puntos de medición debe ser de 0.5 m, y la exactitud de las medidas de elevación debe ser de 1 mm para pavimentos con valores de IRI entre 1 y 3 m/km, y de 1.5 mm para valores de IRI entre 3 y 5 m/km.

2.3.3.3. Clase 3: Estimación del IRI a partir de ecuaciones de correlación

Esta categoría comprende dispositivos de medición que pueden proporcionar un valor numérico de regularidad que guarda una correlación razonable con el IRI. Los datos obtenidos pueden emplearse para estimar el IRI utilizando ecuaciones de regresión, siempre que se realice un análisis previo de correlación. En este grupo se incluyen los equipos del tipo de respuesta (RTRRMS) y el MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), que es un dispositivo manual de baja productividad.

2.3.3.4. Clase 4: Calificaciones subjetivas y medidas no calibradas

En estas situaciones, puede recurrirse a una evaluación subjetiva basada en la percepción del usuario al transitar por la carretera o mediante una inspección visual. Otra alternativa es emplear mediciones obtenidas con un instrumento que no haya sido calibrado. Sin embargo, la interpretación de estos resultados en términos de IRI solo puede como una estimación aproximada, la cual se define de manera más precisa al comparar dichas observaciones con descripciones de caminos que incluyen los valores de IRI correspondientes.

2.3.4. Factores que afectan la Precisión

El análisis de IRI se limita a los datos disponibles, ya que no puede aportar información adicional sobre la carretera que no haya sido capturada durante la medición del perfil. Por este motivo, es fundamental cumplir con ciertos requisitos mínimos para garantizar un cálculo válido del IRI mediante la aplicación de un método perfilométrico. En la Tabla 2 se presentan los requisitos correspondientes a los dos principales enfoques.

Tabla 2

Requisitos de precisión para la medición perfilométrica de IRI de Clase 1 y 2

Roughness range IRI (m/km)	Maximum convenient sample interval between points (mm) ^{1/}		Precision of elevation measures (mm) ^{2/}	
	Class 1	Class 2	Class 1	Class 2
1.0 – 3.0	250	500	0.5	1.0
3.0 – 5.0	250	500	1.0	1.5
5.0 – 7.0	250	500	1.5	2.5
7.0 – 10.	250	500	2.0	4.0
10 – 20	250	500	3.0	6.0

Fuente: Adaptada de Sayers (1986).

2.3.4.1. Error de Repetibilidad (er)

Se refiere a las variaciones que ocurren cuando se repiten las mediciones en las mismas condiciones, utilizando el mismo instrumento y bajo el mismo procedimiento. Estos errores son de naturaleza aleatoria, lo que significa que las mediciones repetidas pueden mostrar pequeñas discrepancias debido a factores que no se pueden controlar completamente, como ligeros cambios en el ambiente, el equipo o el operador. En el contexto del Índice de Regularidad Internacional (IRI), estos errores pueden generar variaciones en los resultados que no son atribuibles a fallos en el equipo o condiciones anormales, sino a fluctuaciones naturales en el proceso de medición.

Existen diferentes fuentes que abordan cómo manejar estos errores para mejorar la precisión de los datos:

- Factores del equipo: La calibración y el mantenimiento del equipo pueden reducir los errores de repetibilidad. Un equipo mal calibrado o con desgaste puede aumentar la variabilidad en las mediciones.
- Condiciones ambientales: Variaciones en las condiciones de temperatura, humedad o tipo de pavimento pueden afectar la repetibilidad de las mediciones. Las mediciones realizadas en diferentes momentos o bajo distintas condiciones pueden mostrar diferencias, aunque se utilice el mismo equipo.
- Promedio de resultados: Para mitigar estos errores, se recomienda realizar mediciones repetidas y promediar los resultados. Esto ayuda a que los errores aleatorios se cancelen parcialmente, mejorando la fiabilidad de los datos.

En general, el error de repetibilidad es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud total cubierta, donde la longitud total es la longitud del sitio multiplicada por el número de mediciones repetidas (Michael W. Sayers, 1986).

2.3.4.2. Error de Calibración

Es la discrepancia que ocurre cuando un instrumento de medición no proporciona resultados precisos debido a un ajuste inadecuado o incorrecto de sus componentes. En el contexto de la medición de la rugosidad de pavimentos, estos errores se producen si los dispositivos, como los perfilómetros o rugosímetros, no están correctamente calibrados según estándares específicos, lo que puede generar mediciones imprecisas o sesgadas. Este tipo de error puede ser sistemático, ya que afecta todas las mediciones realizadas con el instrumento mal calibrado de la misma manera.

Los errores de calibración pueden tener diversas causas, como el desgaste del equipo, variaciones en las condiciones de funcionamiento, o la falta de seguimiento de los procedimientos de calibración establecidos por las normativas. Para minimizar estos errores, es crucial realizar ajustes periódicos del equipo y verificar su precisión mediante la comparación con estándares conocidos.

Sin embargo, si la calibración no cubre todas las variables que afectan la medición, es posible que el cambio de escala no sea correcto y persistirá un error de calibración (Michael W. Sayers, 1986).

2.3.4.3. Error de Reproducibilidad

Cuando se mide una característica compleja como la rugosidad de una carretera utilizando un método distinto al perfilado directo, es frecuente que diferentes instrumentos clasifiquen las carreteras en un orden distinto en función de su rugosidad. Esto genera un error en la selección de rutas que, aunque aleatorio, es sistemático para cada instrumento. Si bien un instrumento puede ofrecer mediciones altamente consistentes por sí mismo, estas no son necesariamente comparables con las de otro dispositivo. El problema radica en que las diferencias entre los métodos de medición van más allá de simples ajustes de escala, si bien es posible reducir la variabilidad mediante repeticiones sucesivas y la aplicación de promedios, y

a la vez compensar las desviaciones de calibración con ajustes específicos, las discrepancias en repetibilidad persisten siempre que el instrumento se aleja de la referencia establecida.

Sí las mediciones provienen de perfiles clasificados como Clase 1, el error de repetibilidad del instrumento es prácticamente nulo, y la incertidumbre se limita únicamente a los márgenes de repetibilidad. Por esta razón, es posible aplicar controles de repetibilidad para optimizar la precisión global.

Un enfoque adicional aplicable a cualquier método de medición consiste en evaluar la rugosidad en secciones más extensas de la carretera. Debido a que el error de reproducibilidad es aleatorio en cada segmento, este puede disminuir ligeramente al calcular un promedio utilizando tramos de mayor longitud. A diferencia del error de repetibilidad, este error no necesariamente disminuye con la raíz cuadrada de la longitud (Michael W. Sayers, 1986).

2.3.4.4. Efecto de Singularidades

Se denomina singularidad a toda irregularidad ajena al proceso constructivo que ocasiona un incremento en los valores del producto evaluado. Los más comunes son: puentes, alcantarillas, intersecciones de carreteras, óvalos, cuñas y badenes, el valor IRI está influenciado por cualquier alteración del perfil longitudinal (Moyano, 2020).

2.3.5. Perfil longitudinal del Pavimento

El perfil longitudinal del pavimento representa la forma de la superficie vial a lo largo de una línea paralela al eje de la vía. Esta característica es fundamental para evaluar la regularidad superficial, ya que permite cuantificar las deformaciones verticales que afectan la comodidad del usuario, la seguridad y el desempeño del vehículo (W. Sayers & Karamihas, 1998).

Para obtener el perfil longitudinal del pavimento, se emplean diversas técnicas que varían en precisión y eficiencia. Entre ellas se encuentran los métodos manuales, como el uso del Dipstick o nivel topográfico, que, aunque precisos, resultan poco prácticos en extensas

áreas por su baja productividad. También se utilizan equipos de contacto y perfilómetros láser o inerciales, los cuales permiten mediciones rápidas y continuas con alta resolución, siendo ampliamente utilizados en estudios de regularidad vial. En los últimos años, los métodos fotogramétricos, como el uso de drones equipados con cámaras, han ganado relevancia al permitir la obtención del perfil mediante modelos digitales del terreno, especialmente útiles en zonas de difícil acceso.

2.3.6. Equipos para la medición del Perfil longitudinal

2.3.6.1. Nivel y mira topográfico

Tradicionalmente, la medición de los perfiles longitudinales se ha efectuado mediante instrumentos básicos, como el nivel y mira considerados como la alternativa convencional. Es esencial para realizar mediciones precisas de la altitud de puntos específicos y crear perfiles longitudinales en proyectos de infraestructura, como el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Su versión óptica o digital permite lecturas precisas que se registran en campo para su análisis posterior.

La mira topográfica, también conocida como estadal, es una regla graduada que complementa el nivel. Se emplea para medir directamente las diferencias de altura entre dos puntos. Las miras modernas, construidas en aluminio u otros materiales ligeros, cuentan con marcas específicas que facilitan las lecturas de precisión, imprescindibles para cálculos como el IRI. Su correcta colocación y uso garantizan datos fiables en la nivelación y el análisis de superficies pavimentadas.

Figura 10

Nivel y mira topográfica



Nota. Nivel, trípode y mira topográfica. **Fuente:** Medid.

2.3.6.2. Fase Dipstick

Inicialmente diseñado para medir irregularidades en losas de edificios, el Dipstick es un dispositivo que consta de un acelerómetro montado en una estructura con pequeños apoyos dispuestos a 300 mm de distancia entre sí. Dispone de un mango que facilita su desplazamiento a lo largo de la huella, permitiendo que el Dipstick pivote sobre cada apoyo, rotando 180 grados en el proceso. El dispositivo cuenta con un microprocesador que registra los datos obtenidos durante el recorrido y procesa indicadores asociados a la rugosidad del pavimento. La medición se realiza a través de un acelerómetro que detecta la inclinación del equipo; con esa información y la distancia fija entre los apoyos, es posible estimar la variación de altura entre puntos consecutivos. En comparación con el método tradicional de nivel y mira, ofrece una mayor rapidez en la obtención de las cotas principales, aunque todavía puede considerarse un procedimiento de ejecución lenta. El Dipstick resulta especialmente útil para evaluar tramos cortos de pavimento o para calibrar dispositivos tipo respuesta. Su rendimiento puede superar

los 250 m por hora en una sola huella. Entre sus principales ventajas se encuentran su bajo costo inicial y la simplicidad en su uso.

Figura 11

Dipstick



Nota. Dipstick Floor Profiler 2285. **Fuente:** Trinnovation.

2.3.6.3. Rugosímetro de Merlin

Conocido como "Machine for Evaluating Roughness using Low cost Instrumentation", es un equipo sencillo diseñado para estimar la rugosidad del pavimento a bajo costo, está compuesto por una estructura metálica de aproximadamente 1.8m de longitud, con una rueda delantera, un soporte fijo en la parte posterior y un punto de apoyo intermedio de carácter oscilante. Este último se encarga de registrar los cambios de elevación respecto a la línea de referencia que forman los otros dos apoyos.

El sistema integra un brazo articulado unido al apoyo central, el cual desplaza un puntero que refleja las variaciones de altura sobre una hoja de registro. A medida que el

dispositivo avanza sobre la superficie, el puntero sigue las variaciones de la cota, permitiendo que el operador registre manualmente las mediciones. Este sistema proporciona un registro directo de las irregularidades a lo largo de un tramo específico para evaluar la rugosidad del pavimento.

Figura 12

Rugosímetro Merlin



Nota. Equipo de Clase 3. **Fuente:** Pinzuar.

2.3.7. Equipos dinámicos

Los equipos dinámicos permiten obtener perfiles del pavimento a velocidades elevadas, lo que facilita la recolección de datos en campo. No obstante, la información obtenida no corresponde de manera exacta al perfil longitudinal, ya que ciertos intervalos de longitudes de onda son atenuados durante el proceso de medición. Pese a ello, presentan una buena precisión en el rango de longitudes de onda que influye directamente en la regularidad superficial, lo que los convierte en una herramienta práctica para evaluar la condición funcional de la vía.

2.3.7.1. Perfilómetro láser

Un perfilómetro láser es un dispositivo avanzado utilizado para medir con precisión el perfil de la superficie de una carretera. Utiliza tecnología láser para captar datos detallados,

generando un perfil longitudinal que permite evaluar la rugosidad, uniformidad y otras características clave de la vía. Este instrumento es fundamental para estudios de mantenimiento y calidad en infraestructuras viales, ya que proporciona datos precisos y repetibles en tiempo real. Los perfilómetros láser también destacan por su capacidad de registrar mediciones a altas velocidades, lo que los hace ideales para inspecciones en tramos largos de carreteras.

Además, este tipo de equipo se clasifica dentro de los dispositivos de Clase 1, debido a su alta precisión y capacidad para generar mediciones estandarizadas del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Los perfilómetros láser modernos pueden estar integrados en vehículos de auscultación que incorporan sistemas GPS, cámaras y sensores inerciales, permitiendo el registro sincronizado de datos georreferenciados. Gracias a esta combinación tecnológica, se obtiene una caracterización integral del pavimento que facilita la toma de decisiones en planes de conservación y rehabilitación vial.

Figura 13

Perfilómetro Laser



Nota. Perfilómetro Laser Dynatest (RSP). **Fuente:** Dynatest.

2.3.7.2. Walking Profiler

El walking profiler es un dispositivo que utiliza acelerómetros inerciales para medir distancias y registrar los perfiles longitudinales de las carreteras, o cualquier otra superficie

que se desee analizar. Gracias a su portabilidad, este equipo permite realizar mediciones a paso de caminata, ya que solo necesita ser empujado por una persona para recolectar información conforme se desplaza. Actualmente, existen versiones que incorporan una computadora portátil, lo que facilita el procesamiento de los datos en el lugar. Dependiendo del modelo y del proveedor, estos equipos permiten obtener diversos índices de rugosidad superficial de los pavimentos, lo que facilita la inspección sistemática de la red vial. Además, ofrecen alta precisión en la medición del perfil longitudinal y permiten la georreferenciación de los resultados, ya que incluyen un sistema autónomo de posicionamiento global (GPS).

Figura 14

Walking Profiler



Nota. CS8900 Access Profiler. **Fuente:** Surface Systems & Instruments.

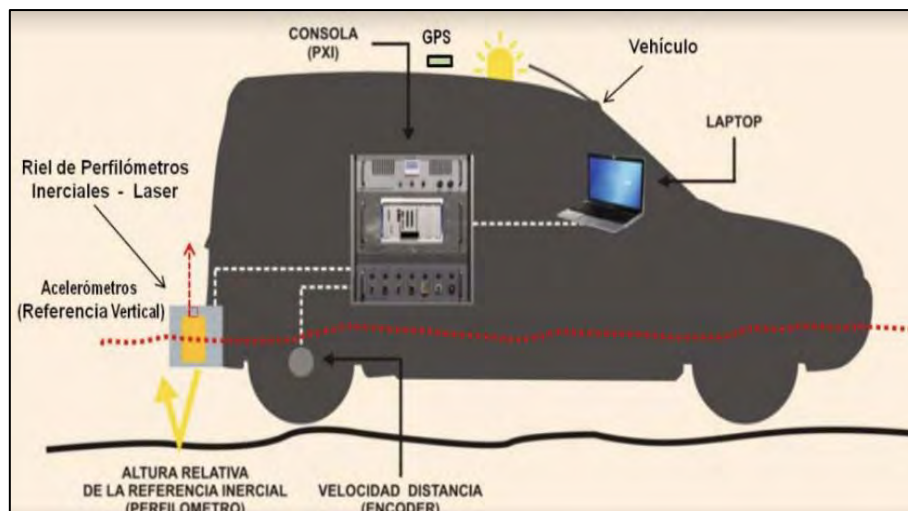
2.3.7.3. Perfilómetro inercial

Un perfilómetro inercial es un equipo diseñado para registrar el perfil longitudinal de los pavimentos con gran precisión y a velocidades de operación elevadas. Su funcionamiento combina sensores inerciales, acelerómetros y sistemas de medición de distancia, lo que permite obtener datos continuos de la superficie de rodadura y evaluar la calidad y deformación.

Emplean el Índice de Regularidad Internacional (IRI) como parámetro para determinar la uniformidad del pavimento. Los perfilómetros inerciales proporcionan a los ingenieros una herramienta avanzada, eficiente y precisa para realizar mediciones rápidas de la superficie de los pavimentos. Este tipo de instrumentación resulta fundamental en la gestión de carreteras y aeropuertos, ya que aseguran que la regularidad superficial sea adecuada, garantizando la seguridad y la durabilidad de las vías de tránsito.

Figura 15

Perfilómetro Inercial



Nota. Esquema Simplificado del Perfilómetro. **Fuente:** HOB Consultores, S.A.

2.3.7.4. Drone (Vehículo Aéreo No Tripulado)

Un drone, también conocido como vehículo aéreo no tripulado, es una aeronave no tripulada capaz de volar de manera autónoma mediante programación o ser controlada remotamente por un operador. Estos dispositivos han evolucionado significativamente desde sus primeros usos militares en el siglo XX, hasta convertirse en herramientas versátiles y accesibles, aplicadas en múltiples industrias como ingeniería, topografía, vigilancia, agricultura y recreación. Su diseño incluye sensores avanzados, cámaras de alta precisión y sistemas GPS, lo que los hace ideales para tareas que requieren alta eficiencia y precisión, como la inspección de infraestructuras o la recopilación de datos geoespaciales.

Figura 16

Drone



Nota. DJI Mavic 3 Enterprise. **Fuente:** Arinsa.

Los drones se clasifican según su diseño y aplicación. En la ingeniería vial, los más utilizados son los multirrotores, que ofrecen gran estabilidad y facilidad de maniobra, y los drones de ala fija, que cubren mayores distancias y son ideales para levantamientos en áreas extensas. Sus principales componentes incluyen: estructura, motores, baterías, sistema de control de vuelo (GPS y sensores), cámara o sensor, y sistema de transmisión de datos.

El uso de drones en ingeniería vial ofrece múltiples beneficios, permitiendo realizar levantamientos topográficos precisos, monitorear obras y detectar fallas superficiales con rapidez mediante la generación de ortofotos o nubes de puntos. Además, su portabilidad, bajo costo operativo y capacidad de recolectar información georreferenciada los hacen una alternativa eficiente frente a métodos tradicionales de medición (Zhang & Elaksher, 2012).

A pesar de sus ventajas, los drones presentan algunas limitaciones. Entre ellas se encuentran: la autonomía limitada, la sensibilidad a las condiciones climáticas, la capacidad de carga limitada y las restricciones legales de vuelo (permisos). Además, requieren operadores capacitados para su manejo y procesamiento de datos.

2.3.7.4.1. Marco Legal que Regula el uso del Drone

El incremento significativo en la utilización de drones en los últimos años, junto con los avances en sus prestaciones operativas para diversas aplicaciones, ha originado nuevos retos para los operadores, principalmente por las preocupaciones de las autoridades aeronáuticas respecto a la seguridad pública, la privacidad y la protección de la información.

Estas se encuentran reguladas por normas nacionales e internacionales buscando minimizar riesgos asociados a su operación; estas normas incluyen restricciones específicas sobre dónde y cómo se pueden operar los drones, así como requisitos de autorización para ciertas actividades. En el Perú la ley que regula el uso y las operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a distancia es la Ley N°30740.

2.3.8. Fotogrametría

La Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS), indica que la fotogrametría constituye una disciplina científica y tecnológica orientada a obtener información geométrica y temática tridimensional confiable de objetos o escenarios a partir de imágenes o conjuntos de datos, incluso considerando su variación temporal. Los resultados de esta técnica permiten la generación de bases de datos espaciales y su integración en sistemas de información geográfica en distintos formatos digitales, gráficos o de imágenes.

Por otro lado, Claros et al. (2016) definió a la fotogrametría como una técnica de medición indirecta que permite obtener las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales mediante el procesamiento de imágenes fotográficas.

2.3.8.1. Clasificación de la Fotogrametría

Hilario (2015), clasificó a la fotogrametría en:

La **fotogrametría analógica**, que surgió en la década de 1930, se basa en el uso de equipos de restitución para la elaboración de cartografía a nivel global. Este procedimiento consistía en situar un par de fotografías en un restituidor óptico o mecánico, donde el operador

realiza manualmente la orientación interna y externa generando un modelo estereoscópico correctamente escalado y nivelado.

La **fotogrametría analítica**, desarrollada hacia 1957, fue el resultado natural de la interacción entre los restituidores analógicos y los primeros avances en computación. En este tipo de fotogrametría, la obtención de información se realiza de manera analógica, mientras que el modelado geométrico se lleva a cabo mediante métodos matemáticos.

La **fotogrametría digital**, que es la que se utiliza en la actualidad, nació gracias al avance significativo en la programación, lo que permitió el procesamiento fotogramétrico a través de computadoras. Esta tecnología amplía la capacidad de extraer toda la información contenida en una fotografía, al mismo tiempo que simplifica y automatiza los procesos. Esto posibilita la obtención más rápida y eficiente de modelos digitales de elevación del terreno, ortoimágenes, estereortoimágenes, así como la generación y visualización de modelos tridimensionales, entre otros.

2.3.8.2. Ortoimágenes y estereofotogrametría

Las ortoimágenes son fotografías aéreas corregidas geométricamente para que tengan escala uniforme, eliminando distorsiones causadas por la inclinación de la cámara y la topografía del terreno. Esto permite que puedan ser usadas como mapas precisos para mediciones directas.

La estereofotogrametría se basa en el análisis de dos o más imágenes tomadas desde diferentes ángulos para generar modelos tridimensionales. Al observar estas imágenes en conjunto, es posible estimar la profundidad y obtener perfiles topográficos, siendo fundamental para la evaluación de pavimentos y el levantamiento geoespacial.

2.4. Marco Teórico Legal

2.4.1. *Normativa de Organismos Internacionales para la Medición del IRI*

Estas normas nos garantizan precisión y consistencia en las evaluaciones de infraestructura vial, entre ellas se encuentran:

- **ASTM E950:** Esta norma proporciona los lineamientos para medir el perfil longitudinal de superficies mediante sistemas inerciales con acelerómetros. Es particularmente relevante para dispositivos de clase 1, que son de alta precisión.
- **Boletín 46 del Banco Mundial:** Este documento establece directrices para el uso de dispositivos de clase 3, los cuales se utilizan en la evaluación de redes viales con menos rigor que los de clase 1, pero con una mayor cobertura y rapidez.
- **AASHO Road Test y el concepto de serviciabilidad:** Este ensayo, realizado en los años 60, introdujo conceptos fundamentales como el Present Serviceability Index (PSI), precursor de los índices actuales como el IRI, destacando la necesidad de una medición objetiva y estandarizada.

Estas normas se complementan con especificaciones locales que adaptan el uso del IRI a las necesidades específicas de cada país.

2.4.2. *Especificaciones técnicas para la medición del IRI en el Perú*

En el Perú, la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) se realiza siguiendo especificaciones técnicas que incluyen metodologías y normativas internacionales adaptadas al contexto local. Algunos de los equipos empleados, como los perfilómetros inerciales y de láser de clase I, cumplen con normativas globales como la ASTM E950-98 y las recomendaciones del Banco Mundial (Boletín Técnico 46).

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) valida y certifica equipos utilizados en condiciones diversas (costa, sierra, selva) y garantiza su precisión en diferentes gradientes de temperatura y altitudes. Además, los datos obtenidos son fundamentales para

evaluar la calidad del pavimento, asegurar el confort del usuario, y gestionar la conservación de las vías, siguiendo lineamientos establecidos en contratos de concesión y proyectos de mantenimiento.

2.4.3. Normatividad Peruana Respecto a la metodología de control de IRI

Se han identificado diversas metodologías de control, cada una implementada por distintas entidades según sus necesidades y requisitos específicos. Sin embargo, a pesar de que existen controles de recepción establecidos por la normativa actual, todavía no contamos con una metodología estandarizada (como la Norma Técnica Peruana o los Ensayos del MTC) para medir la rugosidad a nivel nacional. Actualmente, se emplean como referencia las pautas definidas en el Boletín N° 46 del Banco Mundial, que recomienda el uso de dispositivos de clase 3, así como la norma ASTM E950, titulada "Método estándar de prueba para medir el perfil longitudinal de superficies de tránsito utilizando un acelerómetro con referencia inercial establecida", para los dispositivos de clase 1.

Ambas normas son reconocidas internacionalmente y se consideran estándares globales en la medición de perfiles longitudinales en superficies de transporte. Estas directrices y normativas son esenciales para garantizar la precisión y consistencia en las mediciones, siendo cruciales para evaluar la regularidad y el estado de las infraestructuras viales. No obstante, es fundamental contar con el apoyo de organismos nacionales encargados de estandarizar, actualizar, divulgar y adaptar estas metodologías al contexto local.

2.4.3.1. Escalas del Índice de Regularidad Internacional

Se tomará como referencia la Norma Técnica Peruana CE.010 y las Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras (MTC), según el estado vial.

Tabla 3

Evaluación y Valoración del IRI, según el tipo de vía

Estado	Vías pavimentadas	Vías no pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$	$\text{IRI} \leq 6$
Regular	$2.8 < \text{IRI} \leq 4.0$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
Malo	$4 < \text{IRI} \leq 5.0$	$10 \leq \text{IRI}$
Muy malo	$5 < \text{IRI}$	$9 < \text{IRI} \leq 10$

Fuente: Tabla adaptada de la NTP CE 0.10 y Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

HG: La diferencia media del Índice de Regularidad Internacional entre el Perfilómetro Láser y las Fotografías Aéreas es igual a cero en la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos – Inambari, Cusco, 2024–2025.

2.5.2. Hipótesis Específicas

HE 1: La gradiente de temperatura incide directamente en el Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.

HE 2: Los parámetros de vuelo afectan directamente la precisión en la obtención del Índice de Regularidad Internacional en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.

HE 3: El estado de la superficie de rodadura obtenido mediante fotografías aéreas permite calcular el Índice de Regularidad Internacional clasificado como un método de medición en Clase 1 en la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos – Inambari, Cusco, 2024–2025.

2.6. Variables

2.6.1. *Identificación de variables*

Variable Dependiente:

Índice de Regularidad Internacional

Variable Independiente:

IRI = f (Perfil longitudinal, Gradiente de temperatura, Parámetros de vuelo).

2.6.2. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN							
MÉTODOS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
Empleando Perfilómetro Láser	X1: Perfil Longitudinal	Representación gráfica de las variaciones de elevación de la superficie de rodadura a lo largo del eje central de la vía.	Datos de elevación medidos a intervalos regulares mediante perfilómetro láser para calcular IRI y Rutting.	Especificaciones técnicas	Velocidad	15-80 km/hr	Ficha de análisis documental
					Acelerómetro	m/s ²	
					Odómetro	km	
	X2: Gradiente de Temperatura	Diferencia de temperatura a lo largo de la vía que puede afectar la medición de la superficie.	Medición de temperatura y humedad del pavimento en los tramos seleccionados durante las pruebas con perfilómetro láser.	Temperatura	Grados Celsius	°C	Fichas de observación
				Condición superficial	Relación seco húmedo	seco / húmedo	
	Y1: Índice de Regularidad Internacional	Indicador que refleja la regularidad superficial del pavimento a partir de las desviaciones del perfil longitudinal.	Cálculo del IRI a partir de los datos de perfil longitudinal obtenidos con perfilómetro láser.	Desviaciones del perfil longitudinal	Regularidad superficial (IRI)	m/km	Fichas de observación
Empleando Fotografías Aéreas	X1: Perfil Longitudinal	Representación gráfica de las variaciones de elevación de la superficie de rodadura a lo largo del eje central de la vía.	Reconstrucción del perfil longitudinal mediante modelos digitales de superficie generados por fotogrametría con imágenes georeferenciadas.	Especificaciones técnicas	Giroscopio	Rad/s	Ficha de análisis documental
					Acelerómetro	m/s ²	
	X2: Gradiente de Temperatura	Diferencia de temperatura a lo largo de la vía que puede afectar la calidad de las imágenes aéreas.	Medición de la temperatura y condición superficial en los tramos seleccionados durante los vuelos.	Temperatura	Grados Celsius	°C	Fichas de observación
				Condición superficial	Relación seco húmedo	seco / húmedo	
	X3: Parámetros de vuelo	Factores de planificación del vuelo que afectan la calidad de la reconstrucción del perfil longitudinal.	Planificación de altura de vuelo, resolución de cámara (GSD) y solape longitudinal y transversal de las fotografías.	Parámetros	Altura de vuelo 12-36m	m	Fichas de observación
					Resolución de cámara - GSD	cm/px	
					Solape (Traslape Longitudinal y Transversal)	porcentaje	
	Y1: Índice de Regularidad Internacional	Indicador que refleja la regularidad superficial del pavimento a partir de las desviaciones del perfil longitudinal.	Cálculo del IRI a partir del perfil reconstruido mediante fotogrametría.	Desviaciones del perfil longitudinal	Regularidad superficial (IRI)	m/km	Fichas de observación

Capítulo III

3. Marco metodológico

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, debido a que su propósito principal fue determinar el grado de confiabilidad de las fotografías aéreas capturadas mediante drones como herramienta para la evaluación del pavimento. Específicamente, se buscó validar el uso de esta tecnología en el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), parámetro fundamental para medir la calidad de las vías. A través de este enfoque, se recopilaron y analizaron datos objetivos, los cuales permitieron establecer la precisión y fiabilidad de las imágenes obtenidas mediante el uso de drones, en comparación con los resultados proporcionados por los métodos tradicionales de medición, particularmente el perfilómetro láser. El análisis realizado permitió evaluar la viabilidad del uso de esta tecnología como una alternativa eficiente para la medición del IRI, evidenciando su potencial para optimizar los procesos de evaluación de pavimentos y facilitar la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento y la rehabilitación de la infraestructura vial. En ese sentido, los resultados obtenidos indican que el uso de drones podría contribuir a una mayor rapidez y eficiencia en la medición de la calidad del pavimento.

3.2. Nivel de Investigación

Esta investigación tuvo un nivel descriptivo – correlacional, ya que, según Hernández Sampieri (2018), la investigación descriptiva busca precisar y detallar las características, propiedades y particularidades de personas, procesos o fenómenos objeto de análisis. En cuanto a la investigación correlacional, se enfoca en identificar y analizar las relaciones entre dos o más variables sin que el investigador las manipule. En lugar de buscar una causalidad directa, se examina cómo las variables se interrelacionan o varían entre sí.

Para el presente estudio, el individuo en estudio fueron las fotografías aéreas generadas por drones y el objetivo principal fue analizar la relación entre los resultados obtenidos mediante los métodos con perfilómetro láser y fotografías aéreas obtenidas por el drone. Para establecer esta relación, se aplicó un análisis estadístico que permitió comparar los valores medios de ambos métodos. Este análisis resultó esencial para evaluar la consistencia, precisión y comportamiento de las mediciones, así como para identificar posibles diferencias o patrones sistemáticos en los datos. La obtención de la media y la desviación estándar proporcionó una base cuantitativa sólida para determinar la fiabilidad y efectividad de cada técnica, y permitió establecer cuál de los dos métodos resultó más adecuado para la evaluación de la regularidad superficial de la infraestructura vial.

3.3. Diseño de investigación

Según Hernández, Sampieri y Fernández (2014), un diseño No Experimental se distingue por no implicar la manipulación ni el control de las variables por parte del investigador. En este tipo de diseño, el investigador se limita a observar los fenómenos tal como ocurren de forma natural, sin intervenir en su desarrollo. El objetivo principal de este enfoque es describir, analizar o identificar las relaciones entre las variables sin modificar el entorno o las condiciones en las que se producen los fenómenos estudiados.

Esta investigación empleó un diseño no experimental debido a que su objetivo principal fue observar y analizar las condiciones actuales de la carretera sin intervenir en su funcionamiento ni modificar su estructura. Este estudio se limitó a recolectar datos tal como ocurrieron en la realidad, sin manipular las variables ni alterar el entorno. En este caso, el estudio se centró en evaluar el Índice de Regularidad Internacional, utilizando como herramientas el perfilómetro láser y fotografías aéreas tomadas con un drone, sin realizar ningún tipo de modificación o control sobre las condiciones de la carretera.

3.4. Población

Está constituida por la Carretera Interoceánica Sur, tramo 2: desde Urcos (Km 0+000) hasta Inambari (Km 246+440).

3.5. Muestra

Según Hernández y Mendoza (2018), los enfoques de muestreo se dividen en dos tipos principales: probabilístico y no probabilístico. En el muestreo probabilístico, cada elemento de la población cuenta con la misma probabilidad de ser incluido en la muestra. Esto se consigue estableciendo primero las características de la población y el tamaño adecuado de la muestra, y luego seleccionando al azar las unidades. Por otro lado, en el muestreo no probabilístico, la elección de las unidades no se basa en probabilidades, sino en criterios relacionados con las características y el contexto de la investigación. Este enfoque no sigue un proceso mecánico ni utiliza fórmulas probabilísticas, sino que depende de las decisiones del investigador.

La muestra utilizada en esta investigación es de tipo intencional no probabilística, lo que significa que la selección de las unidades no se realiza de manera aleatoria, sino que se basa en el juicio experto del investigador. Este enfoque se justifica debido a que se busca un conjunto de datos que sea relevante y representativo para el objetivo específico del estudio. En este caso, la elección de las unidades de muestra también está influenciada por la disponibilidad de datos específicos, autorización de uso de la vía, lo que hace que este enfoque sea particularmente adecuado para este tipo de estudio.

3.5.1. *Tamaño Muestral*

En esta investigación, se seleccionaron 6 tramos de 200 metros como sectores de calibración y comprobación, ubicados en los Km 88+800, Km 128+400, Km 131+100, Km 134+800, Km 138+900 y Km 139+600. La selección de estos tramos se realizó de acuerdo con el criterio y los objetivos del investigador, teniendo en cuenta factores específicos que permitieran una evaluación representativa de la carretera.

3.6. Metodología de Recolección y Procesamiento de Datos

3.6.1. Colocación de Puntos de Control

Se establecieron cinco puntos de control ubicados de manera uniforme a ambos lados de la vía, en los seis tramos seleccionados de acuerdo con los criterios definidos por el investigador. Para este trabajo se emplearon dos receptores GNSS de doble frecuencia, marca REACH, modelo RS2 cuyos certificados de operatividad se encuentran en el Anexo B. La estación base fue posicionada durante un periodo mínimo de dos horas, cumpliendo los requisitos establecidos para puntos geodésicos de orden "C".

El levantamiento GNSS se efectuó conforme a lo establecido en la Norma Técnica Geodésica “POSICIONAMIENTO GEODÉSICO ESTÁTICO RELATIVO CON RECEPTORES DEL SISTEMA SATELITAL DE NAVEGACIÓN GLOBAL”. Para ello, se procedió al llenado de las fichas de observación GNSS correspondientes a cada punto geodésico, las cuales incluyen la descripción del equipo utilizado, las características del punto y las medidas de la antena para realizar el post proceso de la data obtenida; las cuales se encuentran en el Anexo C.

Tabla 5

Instrumentos y equipos para levantamiento GNSS

N°	Equipos / instrumentos	Marca	Modelo	Cantidad
1	GNSS Diferencial	EMLID	REACH RS2	2
2	Trípode	-	-	1
3	Base Nivelante	-	-	1
4	Wincha	-	-	1
5	Libreta de campo	-	-	1
6	Gancho de medición de altura instrumental de 12 cm.	-	-	1

Nota. Equipos e instrumentos empleados.

Tabla 6

Ubicación de los puntos geodésicos

Código:	PG-1	PG-2	PG-3	PG-4	PG-5	PG-6
Ubigeo:	081210	081209	081209	081209	081209	081209
Distrito:	Ocongate	Marcapata	Marcapata	Marcapata	Marcapata	Marcapata
Accesibilidad:	Sector	Sector	Sector	Sector	Sector	Sector
	Km	Km	Km	Km	Km	Km
	88+800.	128+400.	131+100.	134+800.	138+900.	139+600.

Nota. Datos de localización de los Puntos Geodésicos en el Departamento del Cusco, Provincia de Quispicanchi, con accesibilidad desde la Carretera Interoceánica Sur – Tramo 2.

Consideraciones Técnicas de los Puntos Geodésicos

Para su identificación en campo, se realizaron marcas temporales sobre el pavimento utilizando pintura en aerosol, diferenciando las marcas con códigos alfanuméricos, permitiendo distinguir los puntos geodésicos y los puntos de control para la ejecución del Plan de Vuelo.

Tabla 7

Tiempo de Registro de los Puntos Geodésicos

Código:	PG-1	PG-2	PG-3	PG-4	PG-5	PG-6
Tiempo de Registro de Datos:	01 hrs 28 min	02 hrs 11 min	02 hrs 19 min	02 hrs 11 min	02 hrs 24 min	02 hrs 27 min

Nota. Parámetros de los Puntos Geodésicos: Método de Posicionamiento: Estático - Estación Base: CS01 - Intervalo de Grabación: 1seg - Máscara de elevación: 10° - Datum Horizontal: GRS80/WGS84.

Procesamiento de en el Software Leica Infinity

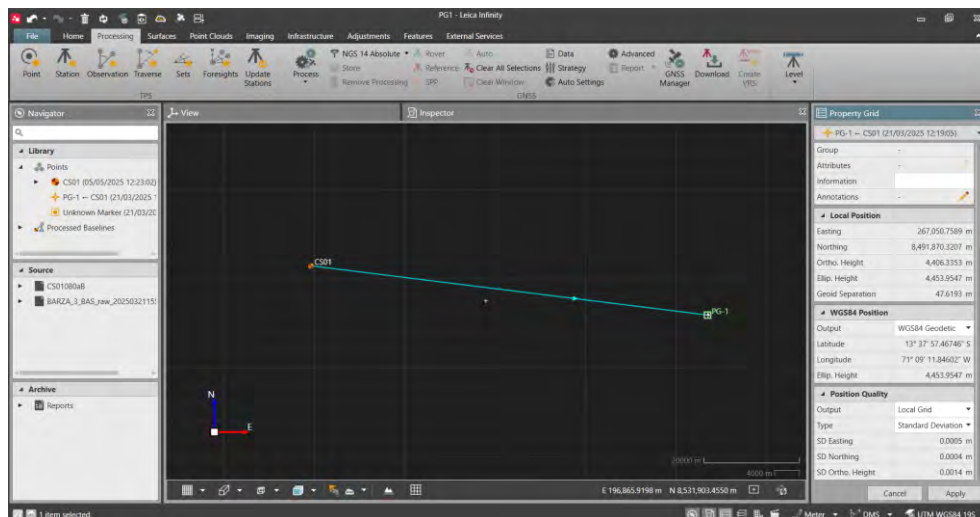
Para el procesamiento de los datos obtenidos en campo, fue necesario referenciarlos a las Estaciones de Rastreo Permanente (ERP) más cercanas a la zona de estudio, las cuales son administradas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Para este fin, se adquirió la Data y Ficha Técnica correspondiente a la estación base ERP CS01, perteneciente a la Red Peruana de Monitoreo Continuo (REGPMOC), establecida por el IGN. Asimismo, se procedió a la

descarga de efemérides ultra rápidas en formato SP3, conforme a los datos del calendario GPS, día del año y semana GPS.

El post-procesamiento se efectuó utilizando el software Leica Infinity versión 4.2. Para ello, se cargó la Data obtenida en campo en formato UBX, la Data de la ERP en formato T01, y las efemérides ultrarrápidas en formato SP3.gz; corrigiendo las coordenadas de la ERP con la ficha técnica adquirida, obteniendo así las coordenadas de los Puntos Geodésicos.

Figura 17

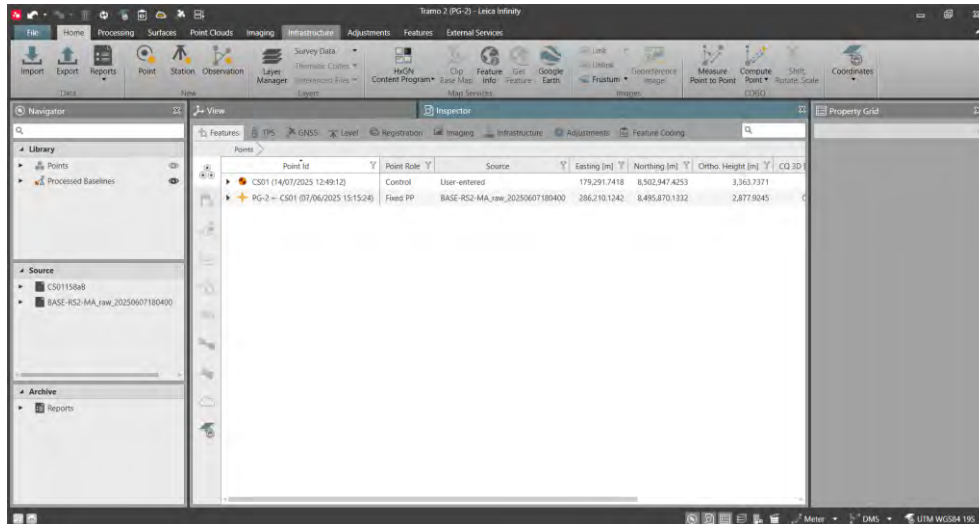
Ajuste de Red del Punto Geodésico 1



Nota. Línea base generada por el software Leica Infinity (PG-1 – ERP – CS01 – 10/01/2025).

Figura 18

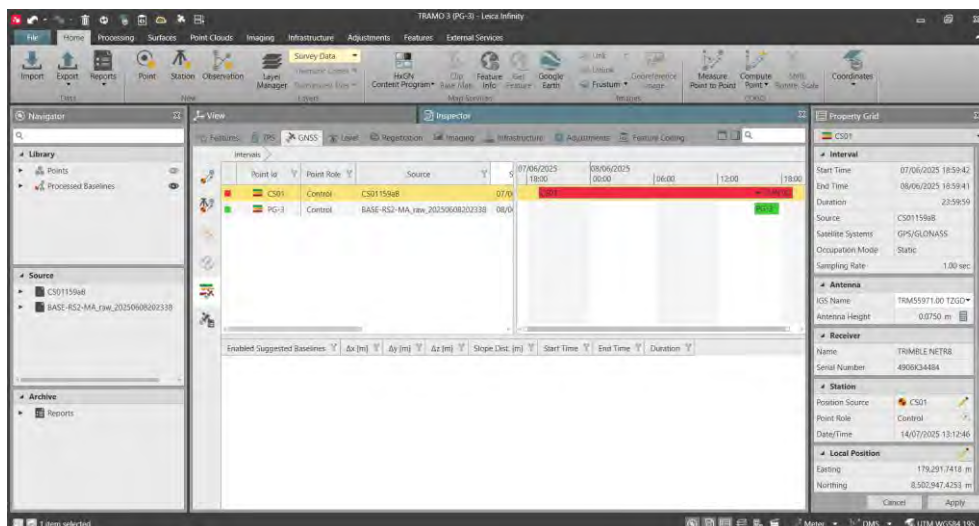
Ajuste de Red del Punto Geodésico 2



Nota. Características de los puntos en el software Leica Infinity (PG-2 – ERP – CS01 – 10/01/2025).

Figura 19

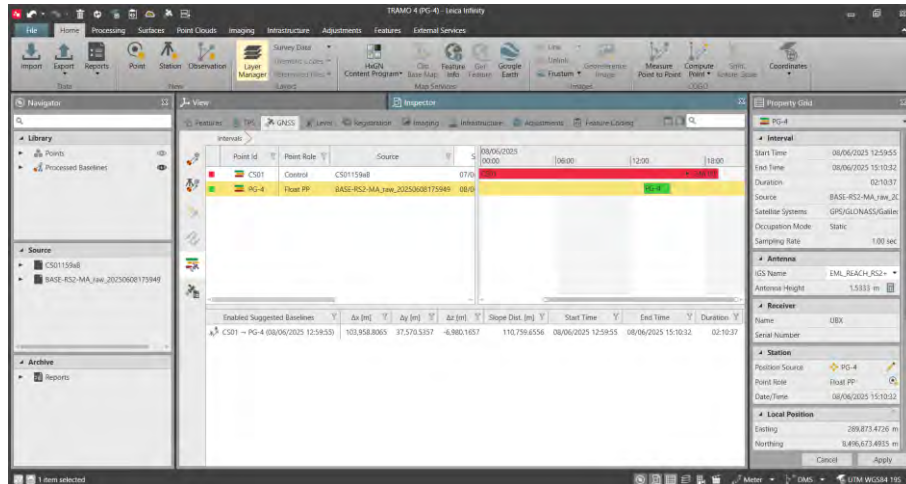
Ajuste de Red del Punto Geodésico 3



Nota. Inspector – GNSS (datos de la ERP) en el software Leica Infinity (PG-3 – ERP – CS01 – 15/12/2024).

Figura 20

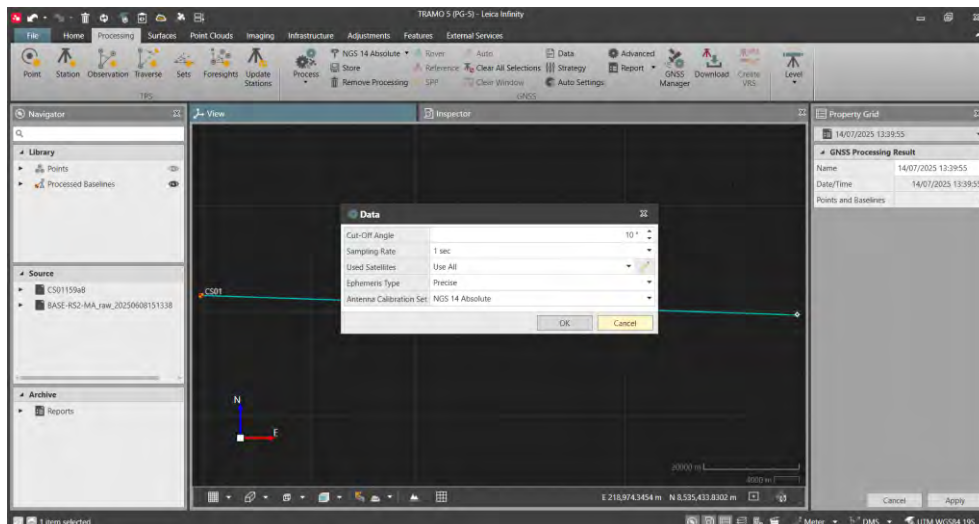
Ajuste de Red del Punto Geodésico 4



Nota. Inspector – GNSS (datos de la base) en el software Leica Infinity (PG-4 – ERP – CS01 – 02/02/2025).

Figura 21

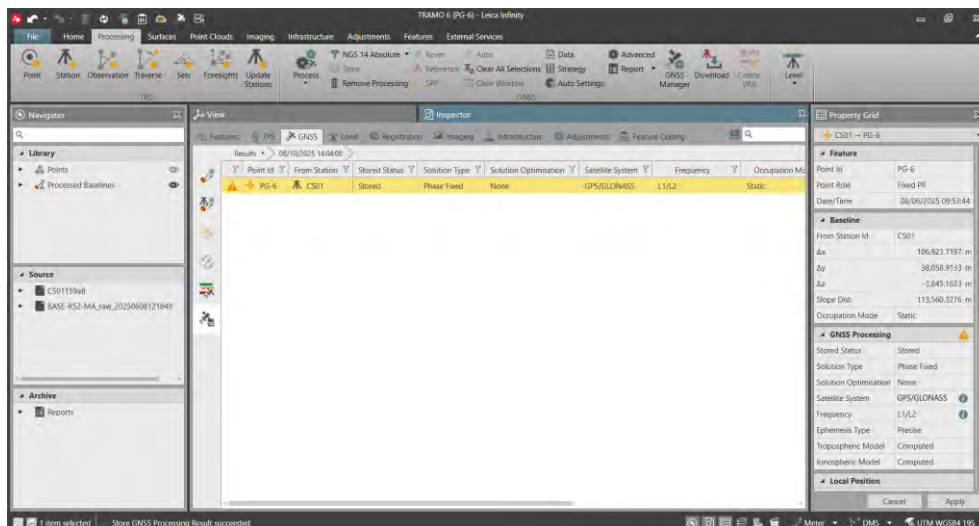
Ajuste de Red del Punto Geodésico 5



Nota. Data para el procesamiento en el software Leica Infinity (PG-5 – ERP – CS01 – 15/12/2024).

Figura 22

Ajuste de Red del Punto Geodésico 6



Nota. Corrección de las coordenadas de la base en el software Leica Infinity (PG-6 – ERP – CS01 – 02/02/2025).

De acuerdo con el informe emitido por el software de procesamiento (Anexo D), se han determinado las coordenadas finales de los puntos, en cumplimiento de la Norma Técnica para Puntos Geodésicos de orden “C”. Con las coordenadas ajustadas, se llevaron a cabo las correcciones en los cinco Puntos de Control instalados en cada tramo. A partir de este proceso, se elaboró la Ficha de Descripción Monográfica (véase Anexo E), en la que se incluyen tanto las coordenadas corregidas de los puntos geodésicos como las correspondientes a los puntos de control (GCP).

Tabla 8

Coordenadas de los puntos geodésicos y los puntos de control

Punto Geodésico (PG) / Puntos de Control (BM)	Este (m) WGS-84	Norte (m) WGS-84	Elevación (m) EGM2008
PG-1	267050.7589	8491870.3207	4401.3353
BM-1	267112.9788	8491852.9120	4405.1634
BM-2	267207.0083	8491819.1840	4412.7537
BM-3	267298.0890	8491778.2790	4420.7466
BM-4	267150.9973	8491848.0660	4407.9064
BM-5	267261.0798	8491802.4260	4417.2637
PG-2	286210.1242	8495870.1332	2872.9245
BM-1	286279.1913	8495802.2090	2889.3167
BM-2	286186.8399	8495841.7460	2883.4032
BM-3	286172.1319	8495884.8250	2876.0235
BM-4	286250.1502	8495812.4150	2887.5683
BM-5	286150.9889	8495845.2940	2881.3477
PG-3	287018.1215	8496380.6364	2740.6932
BM-1	286979.7405	8496322.7720	2742.2463
BM-2	287035.1773	8496405.9440	2740.2993
BM-3	287090.9323	8496488.9970	2735.2246
BM-4	287007.3486	8496376.4190	2741.1027
BM-5	287062.8799	8496459.2250	2737.8672
PG-4	289873.4726	8496673.4935	2515.2852
BM-1	289735.8535	8496597.0580	2527.8352
BM-2	289810.6688	8496661.0620	2519.2381
BM-3	289907.1148	8496674.5010	2514.1214
BM-4	289840.0819	8496676.3190	2517.5439
BM-5	289768.2730	8496637.6540	2523.3312
PG-5	292566.6052	8499221.5214	2305.1302
BM-1	292460.3029	8499112.6320	2318.0688
BM-2	292530.0076	8499183.8540	2310.1385
BM-3	292599.9879	8499255.4220	2302.1357
BM-4	292480.6162	8499144.0320	2315.2503
BM-5	292559.1128	8499223.3660	2306.2751
PG-6	292809.3908	8499862.2298	2274.9110
BM-1	292794.3232	8499710.8480	2273.1840
BM-2	292810.3590	8499809.3640	2272.8603
BM-3	292830.7856	8499905.5970	2274.4161
BM-4	292794.2046	8499754.1730	2272.9557
BM-5	292807.7968	8499842.0370	2273.1790

Nota. Coordenadas ajustadas de los PG y BM.

3.6.2. Medición con Fotografías Aéreas

Se llevaron a cabo vuelos aéreos a diferentes alturas con el objetivo de determinar la altura más adecuada para la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Asimismo, este estudio tuvo como finalidad analizar la viabilidad y precisión del uso de técnicas de fotogrametría aérea, a partir de imágenes capturadas por un drone, como método alternativo para la evaluación de la regularidad superficial en infraestructuras viales. Las características del equipo utilizado se detallan a continuación:

Marca: DJI

Modelo: Mavic 3E

Cámara RGB: 20 MP con sensor CMOS 4/3"

Lente: FOV 84° / 24 mm

Sistema de Posicionamiento Satelital: GPS + Galileo + BeiDou + GLONASS

Figura 23

DJI Mavic 3E



Nota. Drone empleado para la captura de imágenes aéreas.

3.6.2.1. Plan de Vuelo

El plan de vuelo fue diseñado con el objetivo de obtener imágenes aéreas con una resolución espacial (GSD) adecuada para la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). El GSD es el tamaño real del terreno que representa un píxel en una imagen capturada por un dron, y se calcula con la fórmula: $GSD = \frac{H \times S}{f \times I}$, donde H es la altura de vuelo sobre el terreno, S el tamaño físico del sensor (17.3 mm), f la distancia focal (10.26 mm) y I el número de píxeles en el lado considerado (5280 px); es decir a un menor GSD significa mayor resolución y más detalle en el modelo generado.

Para ello, se planificaron y ejecutaron vuelos utilizando un drone DJI Mavic 3E. Las misiones se realizaron a distintas alturas, con el propósito de determinar la altura óptima que permita capturar imágenes adecuadas para el análisis de la regularidad superficial mediante técnicas de fotogrametría aérea. Para garantizar un estudio adecuado, se establecieron los siguientes parámetros técnicos de vuelo que se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9

Parámetros técnicos de vuelo

Alturas de vuelo	12m – 36m
Resolución esperada	~1.0 cm/píxel (a 36 m)
Traslape frontal	70% - 85%
Traslape lateral	70% - 85%
Velocidad de vuelo	5 – 8 m/s
Orientación de la cámara	Nadir (vertical, 90°)
Modo de disparo	Captura en intervalos automáticos
Condiciones ambientales	Cielo despejado, viento <12 m/s
Software de planificación	DJI Pilot 2

Nota. Parámetros de vuelo definidos para la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

3.6.2.2. Ejecución del Vuelo

Antes de iniciar la misión de vuelo, el drone fue ubicado en una zona despejada y libre de obstáculos, donde se procedió a encender tanto el drone como el control remoto, verificando

la correcta conexión entre ambos dispositivos. A través del control remoto se planificó la ruta de vuelo y se configuraron los parámetros técnicos necesarios para la misión.

Durante la ejecución del vuelo, se monitorearon en tiempo real la trayectoria, la conectividad satelital, la velocidad, el nivel de batería, y la altitud relativa al punto de despegue del drone. Las imágenes capturadas se almacenaron automáticamente en la memoria externa instalada en el equipo, asegurando su disponibilidad para el procesamiento posterior.

De acuerdo con las configuraciones establecidas en el software DJI Pilot 2 y las recomendaciones del fabricante, el DJI Mavic 3 Enterprise permite la planificación y ejecución de vuelos automáticos únicamente a alturas superiores a 30 metros. En este rango, es posible programar misiones con rutas predefinidas y configurar parámetros como altura, velocidad de vuelo y solape de imágenes. Esta limitación busca garantizar tanto la seguridad operativa como la precisión en la adquisición de datos.

Por otro lado, para vuelos a alturas inferiores a 30 metros, el fabricante recomienda operar en modo manual, lo que permite al piloto controlar en tiempo real la trayectoria, altura y desplazamiento del drone, facilitando las maniobras durante el recorrido. Para el presente estudio, se emplearon ambos métodos de operación (automático y manual) en función a los parámetros de vuelo establecidos.

3.6.2.3. Procesamiento de Imágenes

Las imágenes obtenidas por el drone se procesaron en gabinete utilizando una computadora con sistema operativo de 64 bits, con procesador AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics. El procesamiento se realizó mediante el software Pix4Dmapper, que combina los principios clásicos de la fotogrametría digital con algoritmos avanzados de visión por computadora, lo que le permite generar productos topográficos de alta precisión a partir de imágenes obtenidas por drones. El software se fundamenta en la geometría de la proyección central de la cámara, aplicando un proceso de aerotriangulación automatizada que determina

la posición y orientación de cada imagen mediante el método de ajuste por haces (Bundle Adjustment).

Durante este proceso, PIX4D emplea algoritmos como SIFT (Scale Invariant Feature Transform) para la detección de puntos característicos en las imágenes, RANSAC (Random Sample Consensus) para eliminar emparejamientos erróneos y Structure from Motion (SfM) para reconstruir la geometría tridimensional del terreno a partir de múltiples vistas. Posteriormente, se aplica el algoritmo Multi-View Stereo (MVS) para generar una nube de puntos densa, que sirve de base para la creación de modelos digitales de superficie (MDS) y ortomosaicos georreferenciados. Además, el software permite integrar puntos de control terrestre (GCPs) o datos GNSS para mejorar la precisión absoluta del modelo, reduciendo los errores sistemáticos de posicionamiento.

Con estos procedimientos, PIX4D produce resultados altamente confiables en términos de precisión métrica, resolución espacial y realismo tridimensional, lo que permitió generar los ortomosaicos y modelos digitales de superficie utilizados para el análisis del Índice de Regularidad Internacional (IRI), siguiendo las etapas que se describen a continuación:

- a. Importación de imágenes: Se cargaron las imágenes en formato JPEG al software Pix4Dmapper, seleccionando como sistema de coordenadas de salida el WGS 84 / UTM zona 19S para la referencia horizontal, y el sistema vertical basado en el EGM 2008 Geoid para la correcta georreferenciación altimétrica, realizando el procesamiento preliminar de las imágenes.
- b. Georreferenciación de imágenes: Se realizó el posicionamiento geográfico de las imágenes empleando los puntos de control terrestre (GCP) distribuidos adecuadamente en cada tramo, lo que facilitó incrementar la precisión espacial y garantizar la correcta alineación entre las imágenes y sus coordenadas geográficas correspondientes.

- c. Generación de nube de puntos: Se generó una nube de puntos densa que representa la superficie capturada. Posteriormente, se procede a la clasificación de los puntos y eliminación de ruido (puntos desfasados del modelo).
- d. Construcción del modelo digital: Se generaron modelos digitales de superficie (MDS), en los cuales los colores rojo, amarillo, verde y azul representan diferentes rangos de elevación, correspondientes a zonas altas, intermedias, medias-bajas y bajas, respectivamente. Asimismo, se obtuvieron ortomosaicos georreferenciados, los cuales facilitan la evaluación del Índice de Regularidad Superficial (IRI).
- e. Análisis y extracción de datos: A partir de los modelos digitales generados, se realizó el cálculo y análisis del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Para ello, se utilizó la herramienta Path Profile, mediante la cual se extrajeron los perfiles longitudinales correspondientes a las huellas de rodadura del pavimento. En estos perfiles, el área verde del gráfico representa la superficie del terreno según los datos del Modelo Digital de Superficie (MDS), es decir, la elevación real reconstruida a lo largo del trayecto trazado.

Estos perfiles fueron procesados en el software ProVAL, que aplica el algoritmo desarrollado por el Banco Mundial, basado en la simulación de un modelo dinámico de cuarto de carro (quarter-car). Dicho modelo representa la interacción entre la masa suspendida (carrocería) y la masa no suspendida (rueda y eje) durante el desplazamiento sobre el perfil longitudinal del pavimento.

ProVAL emplea métodos numéricos de integración, como Runge–Kutta o Euler, para resolver las ecuaciones diferenciales del sistema y calcular el movimiento relativo de la suspensión. El IRI se obtiene como la relación entre el desplazamiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida, reflejando la irregularidad promedio de la vía en función de la respuesta dinámica del vehículo. Este

procedimiento sigue las especificaciones establecidas en el World Bank Technical Paper N.º 46 y la norma ASTM E1926, permitiendo así determinar de manera precisa la regularidad superficial del pavimento.

A continuación, se presentan los datos correspondientes a cada tramo analizado, incluyendo los parámetros de vuelo empleados y los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) calculados, organizados según la altura de vuelo utilizada.

3.6.2.3.1. Tramo 3 – Altura de vuelo: 36m (vuelo automático)

Tabla 10

Parámetros de vuelo - Tramo 3 (36m)

Altura de vuelo	36m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	1.25 cm/px
Imágenes procesadas	98

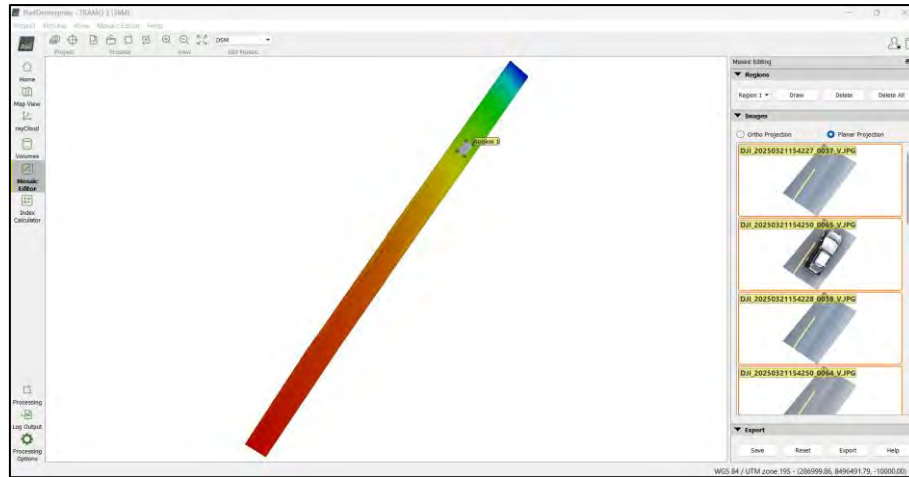
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 24

Ortofoto y MDS del tramo 3 (36 m)



(a)

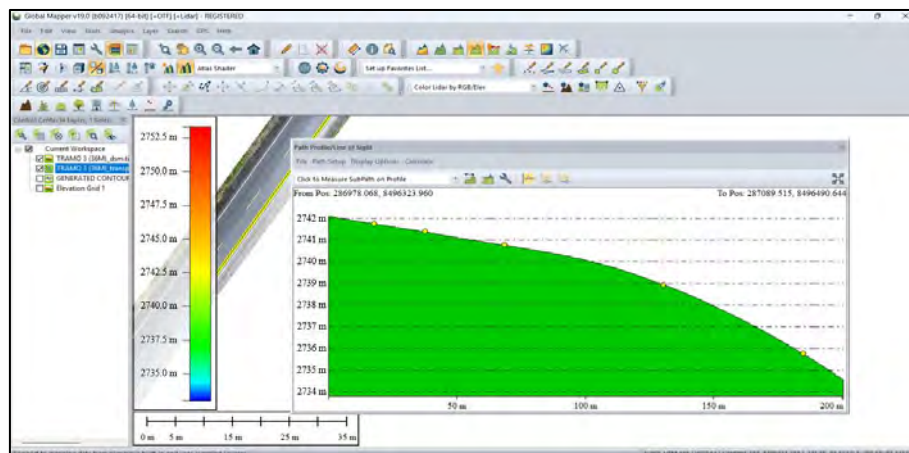


(b)

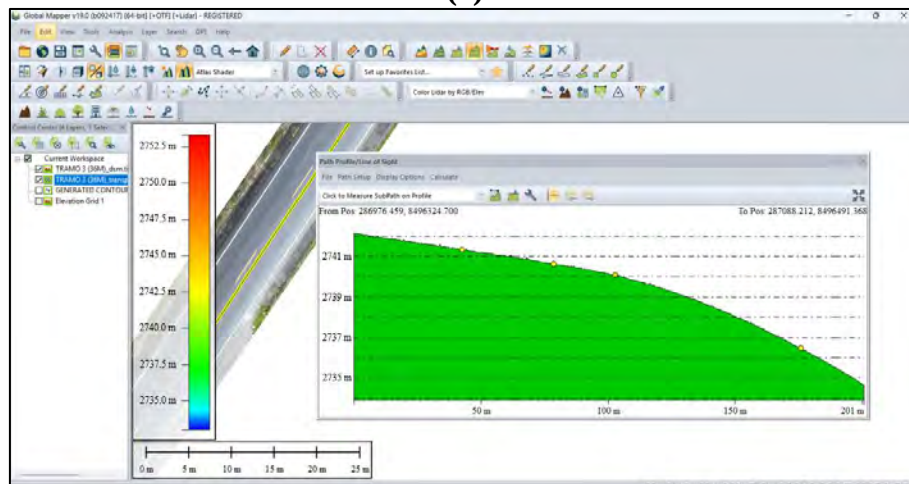
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo Digital de Superficie (MDS).

Figura 25

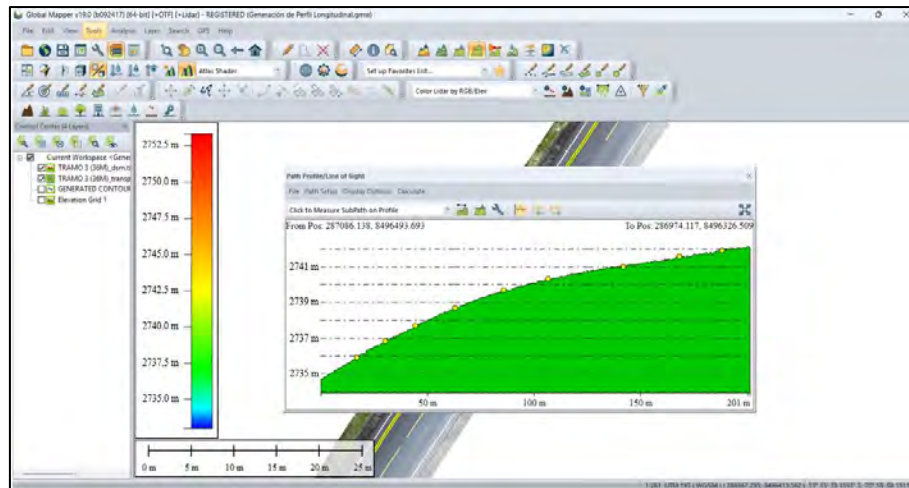
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



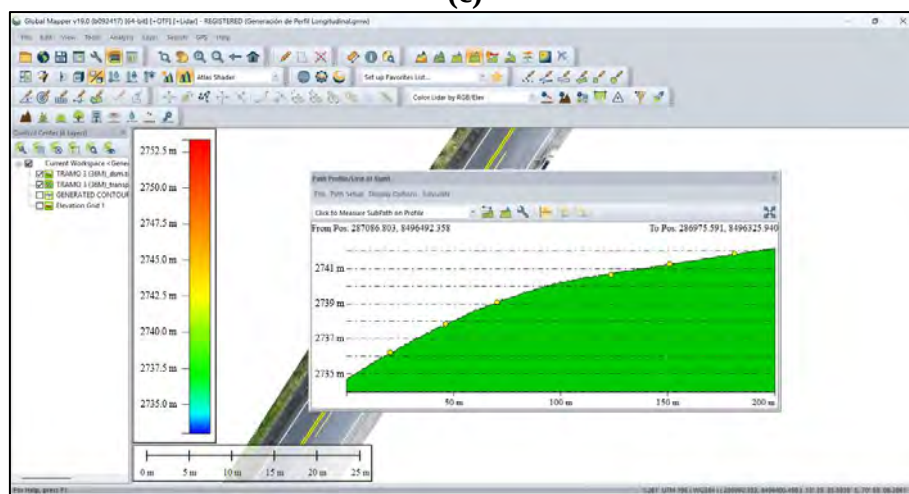
(a)



(b)



(c)

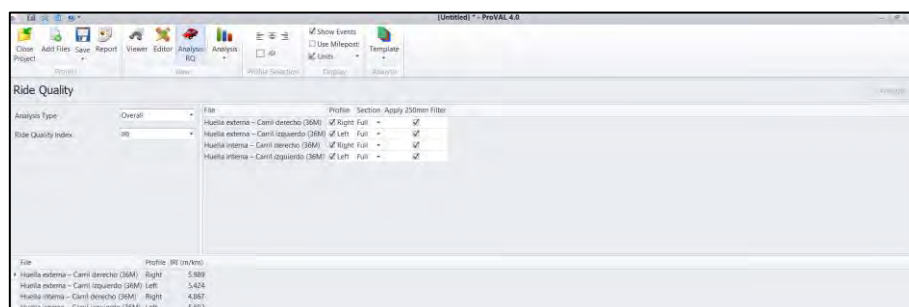


(d)

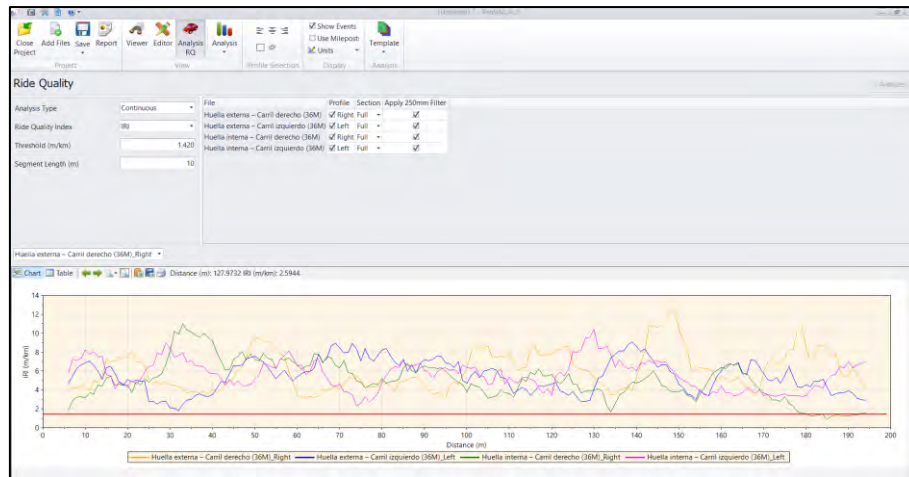
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 26

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 131+100



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 11

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 3 (36m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	5.43	5.51	5.47

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.2. Tramo 5 – Altura de vuelo: 36m (vuelo automático)

Tabla 12

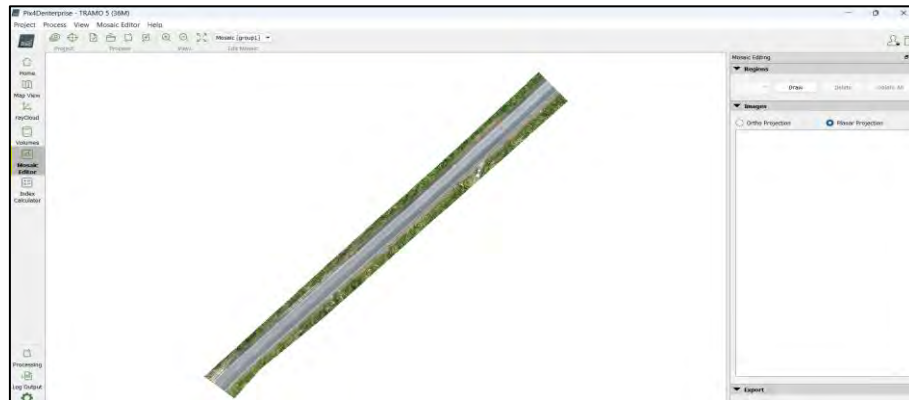
Parámetros de vuelo - Tramo 5 (36m)

Altura de vuelo	36m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	1.44 cm/px
Imágenes procesadas	141

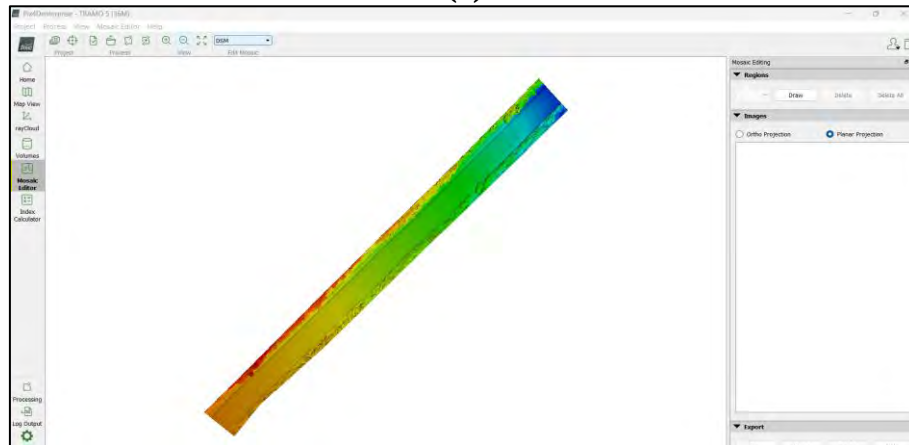
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 27

Ortofoto y MDS del tramo 5 (36 m)



(a)

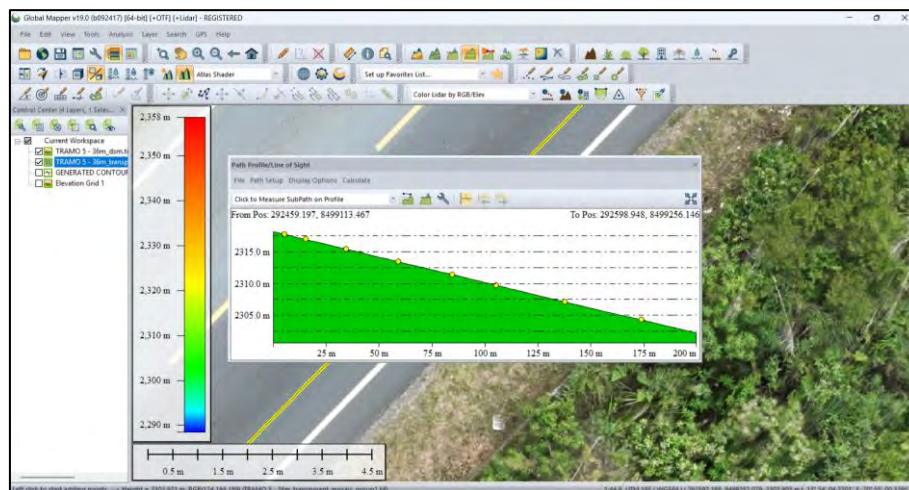


(b)

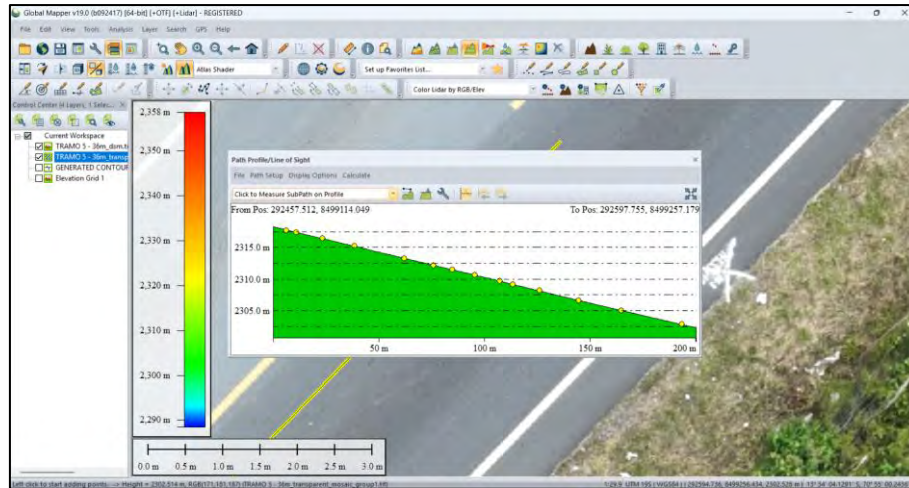
Nota. a) Ortofoto y b) MDS.

Figura 28

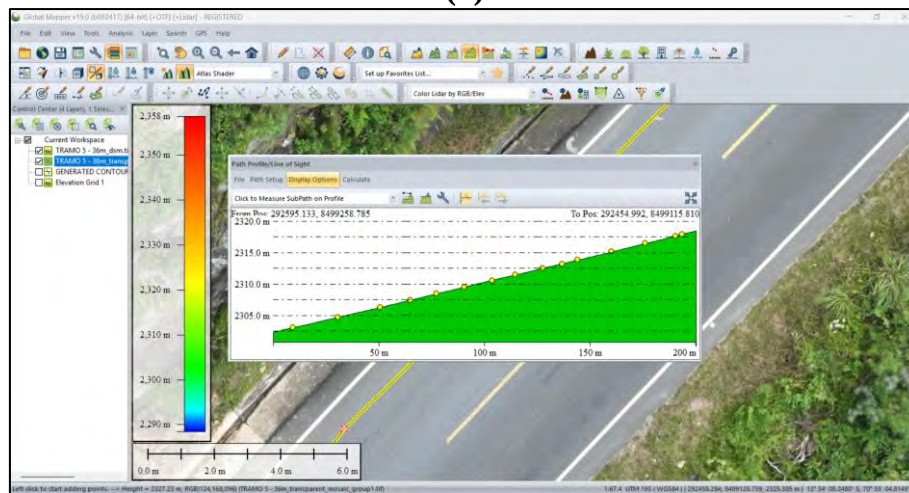
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



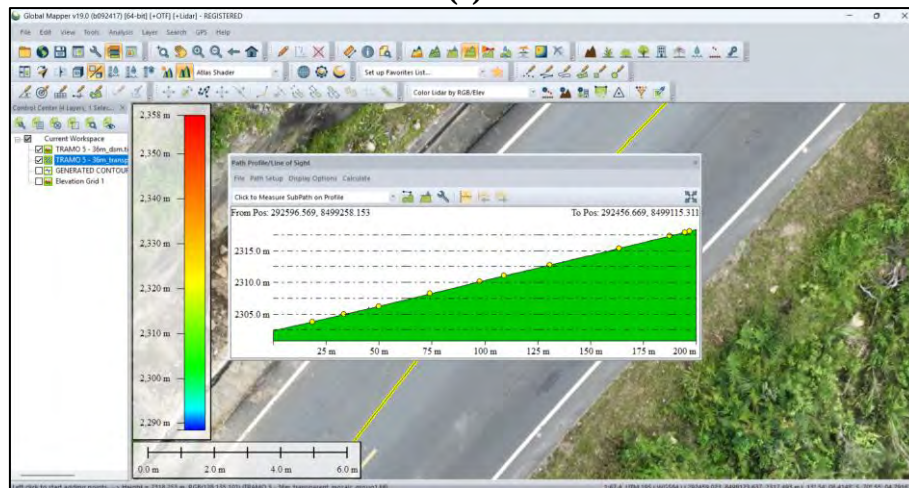
(a)



(b)



(c)

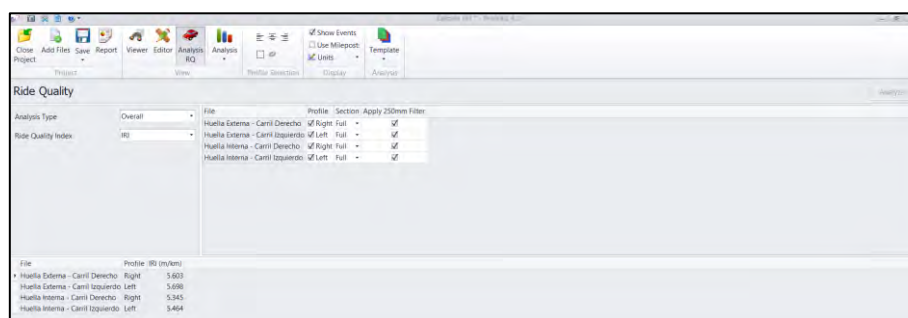


(d)

Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 29

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 138+900



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 13

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 5 (36m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	5.47	5.58	5.53

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.3. Tramo 1 – Altura de vuelo: 30m (vuelo automático)

Tabla 14

Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)

Altura de vuelo	30m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	70% - 70%
GSD	1.03 cm/px
Imágenes procesadas	360

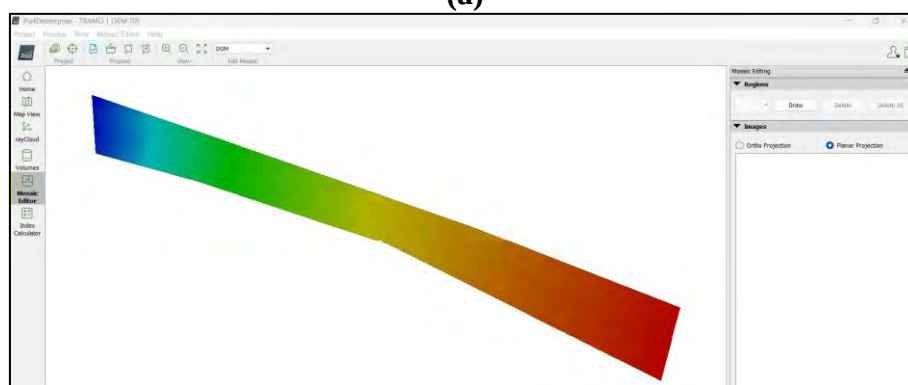
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 30

Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)



(a)

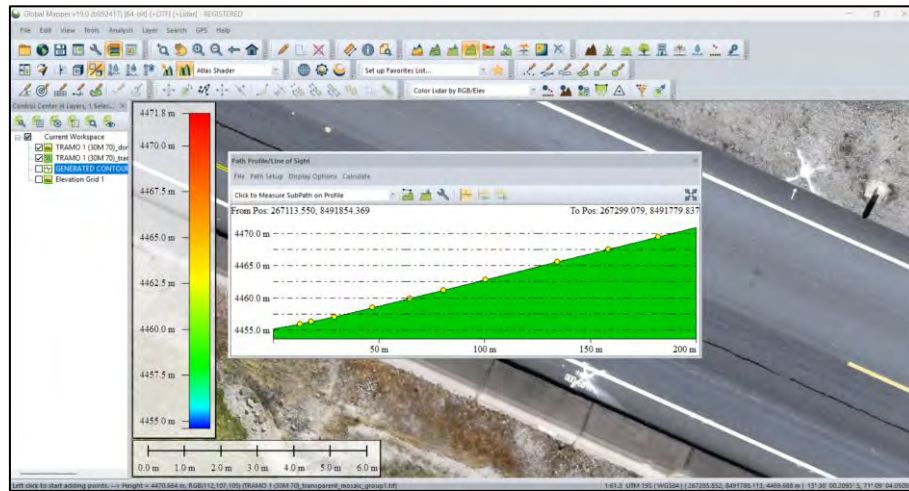


(b)

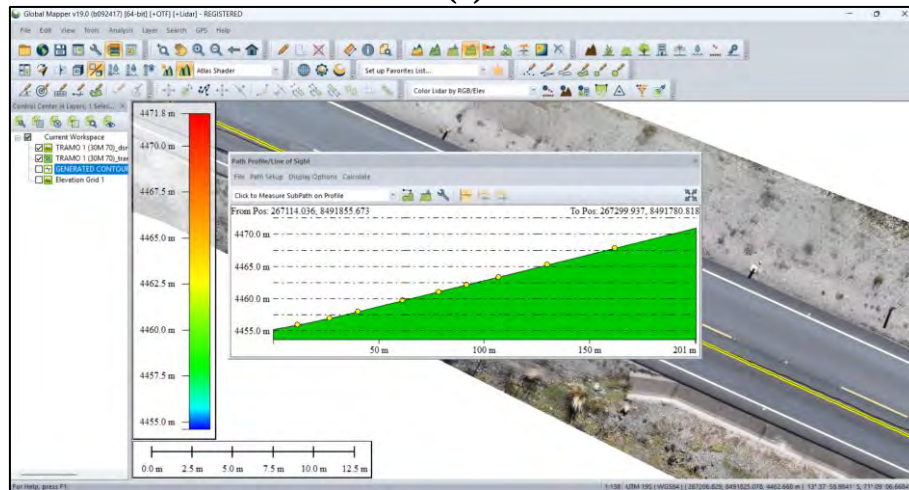
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 31

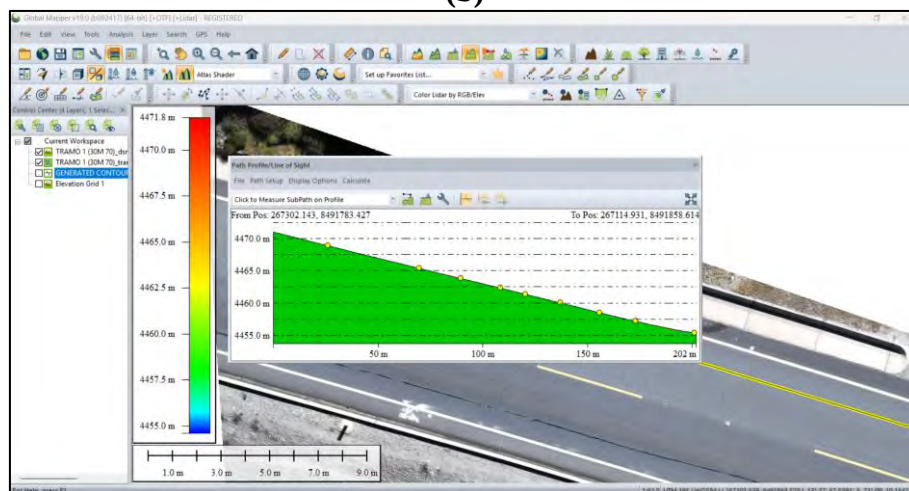
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



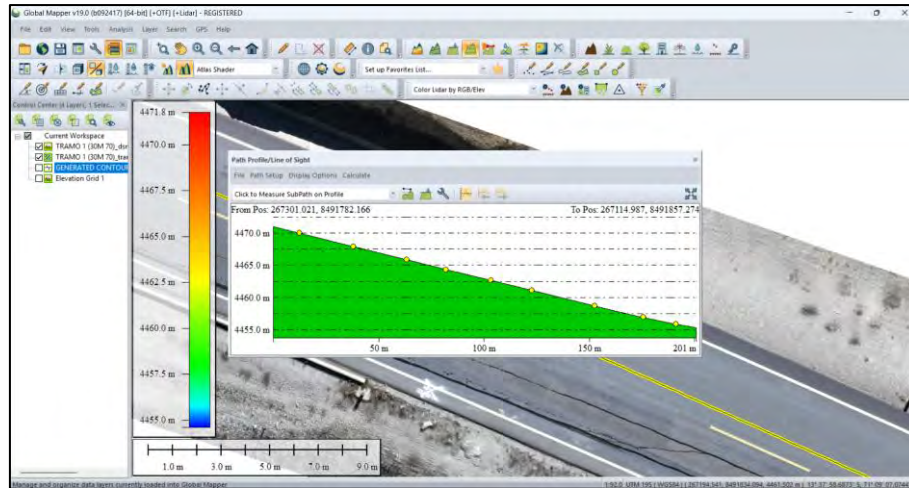
(a)



(b)



(c)

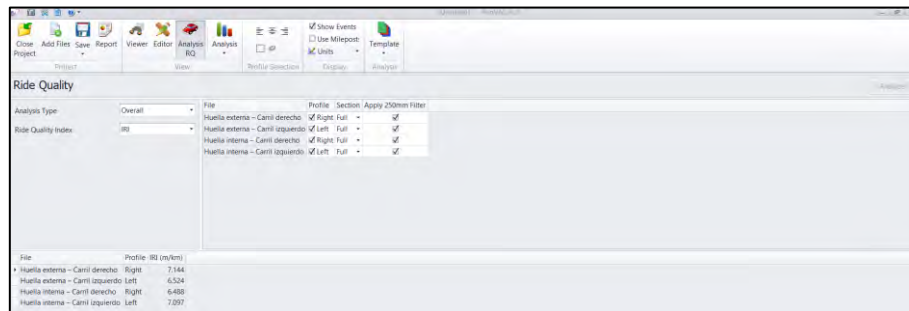


(d)

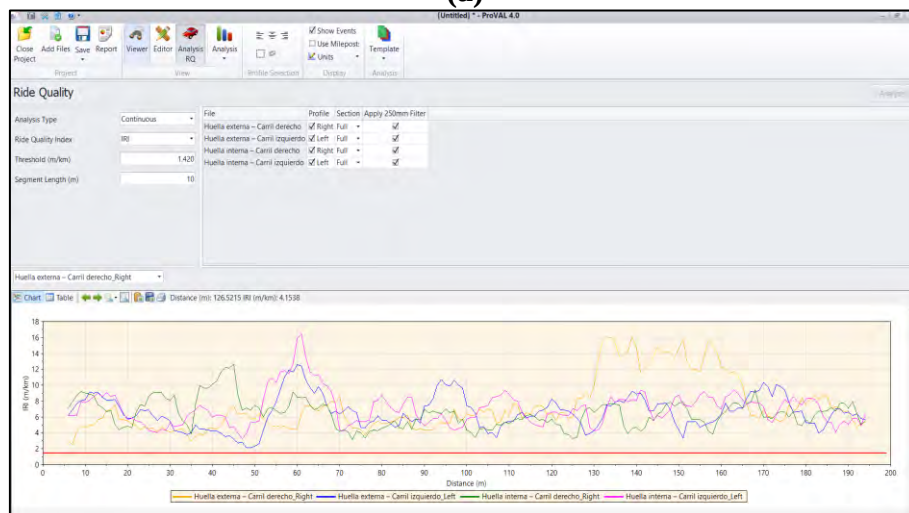
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 32

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 15

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	6.82	6.81	6.82

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.4. *Tramo 1 – Altura de vuelo: 30m (vuelo automático)*

Tabla 16

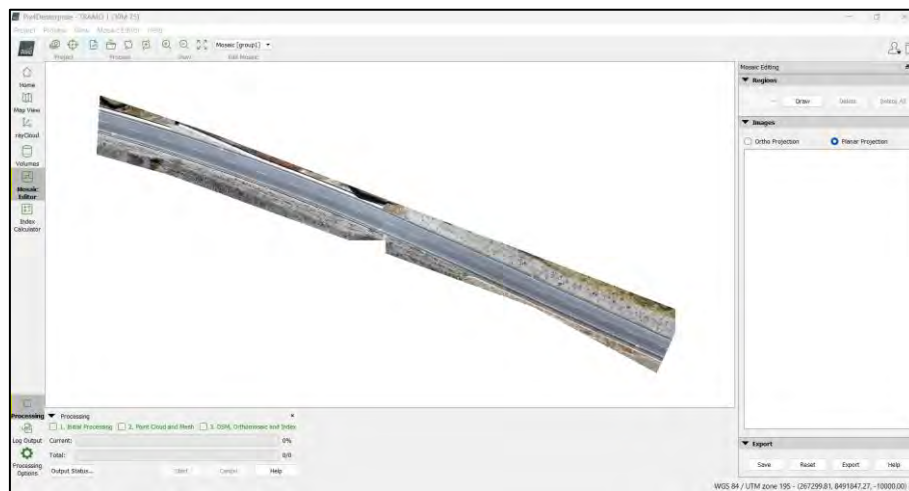
Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)

Altura de vuelo	30m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	75% - 75%
GSD	1.02 cm/px
Imágenes procesadas	275

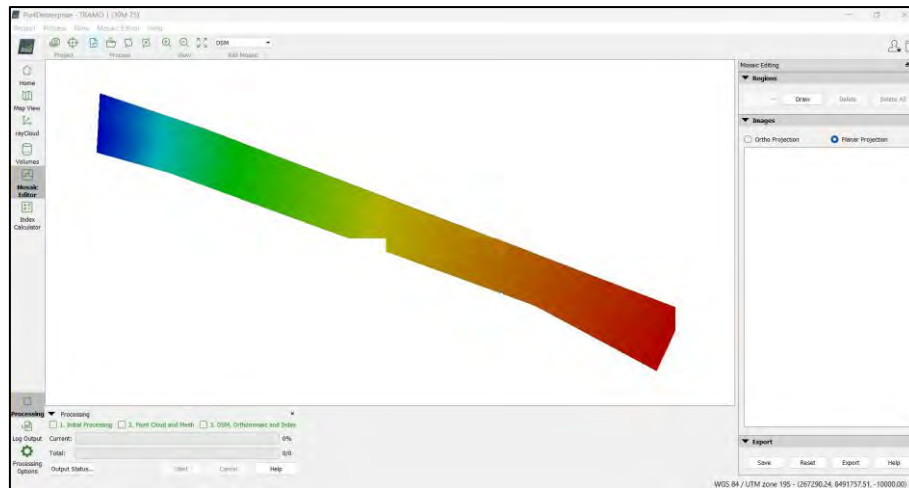
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 33

Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)



(a)

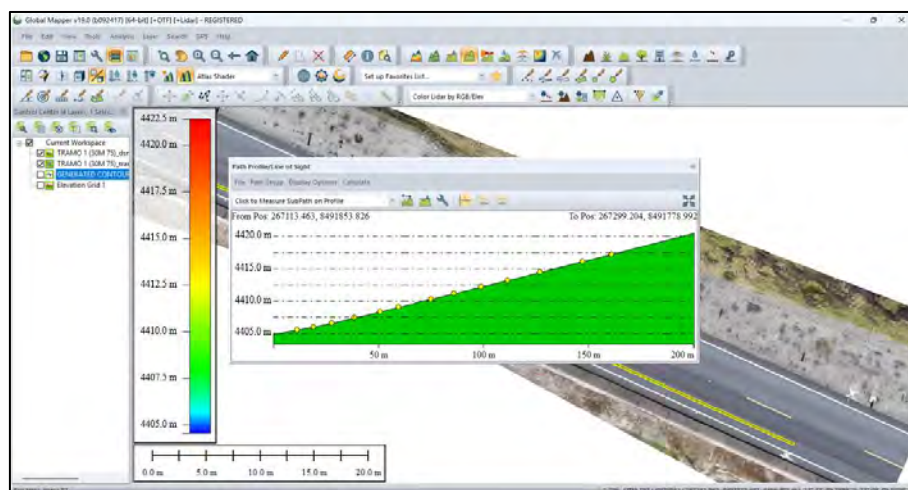


(b)

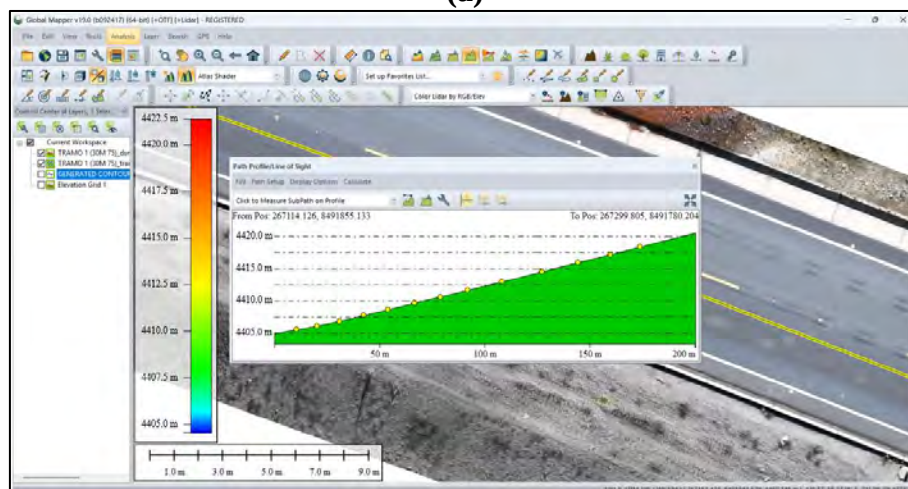
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 34

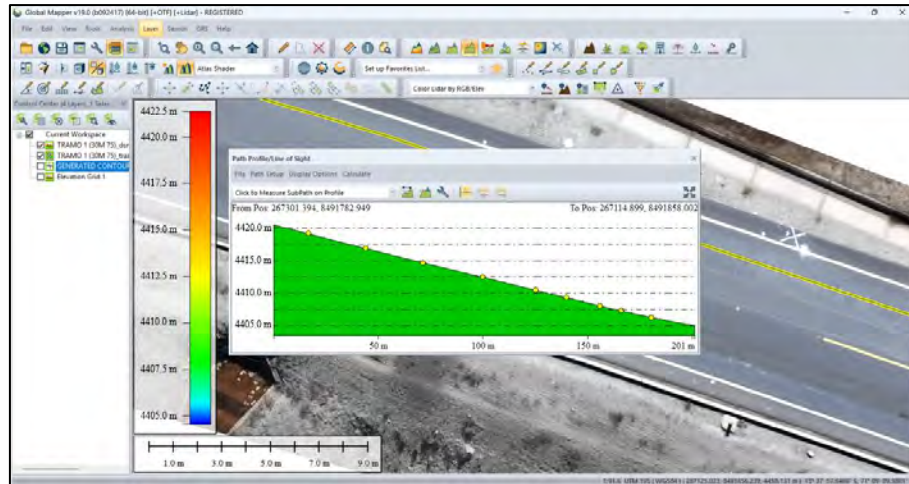
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



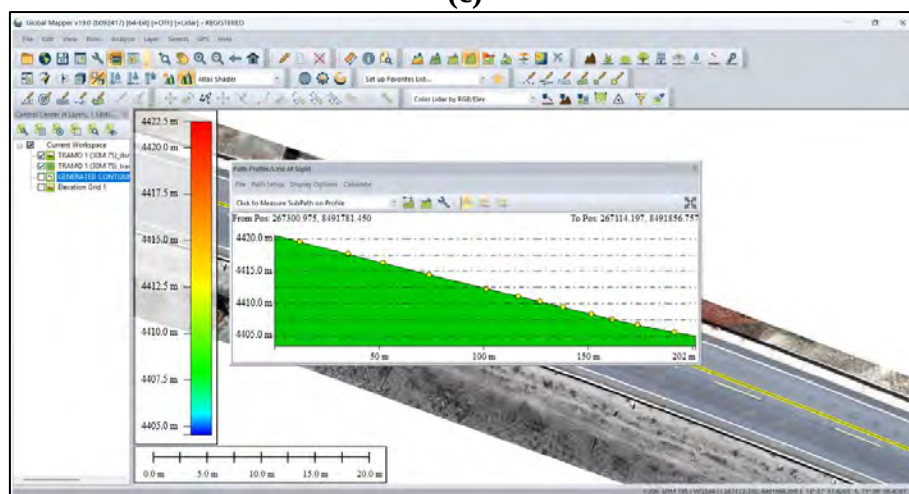
(a)



(b)



(c)

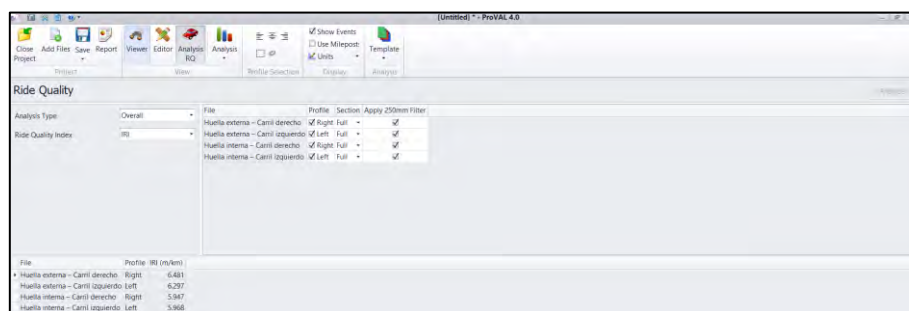


(d)

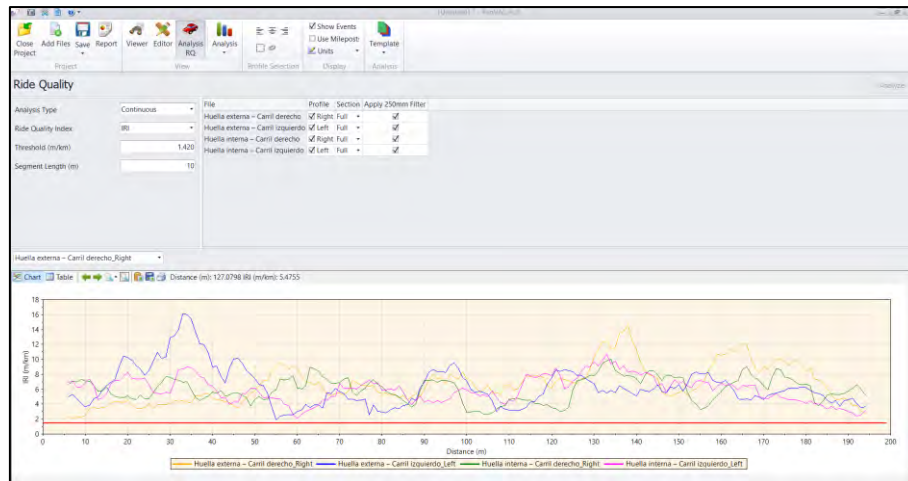
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 35

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 17

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	6.21	6.13	6.17

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.5. Tramo 1 – Altura de vuelo: 30m (vuelo automático)

Tabla 18

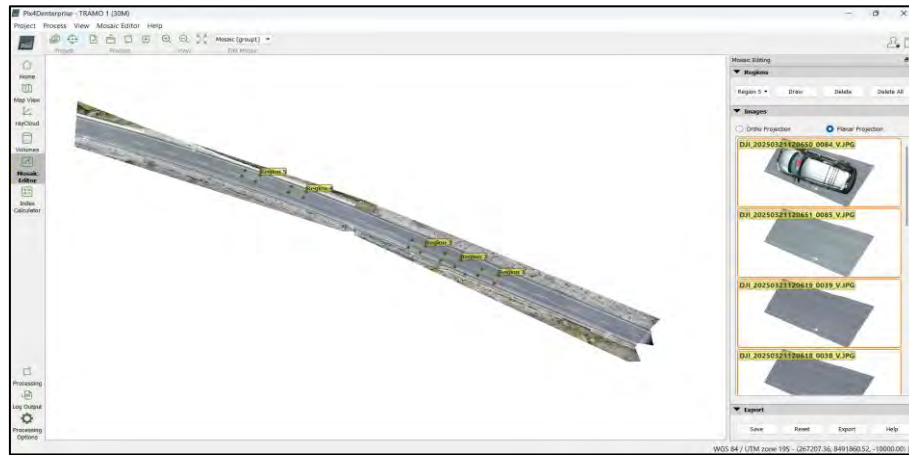
Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)

Altura de vuelo	30m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.99 cm/px
Imágenes procesadas	121

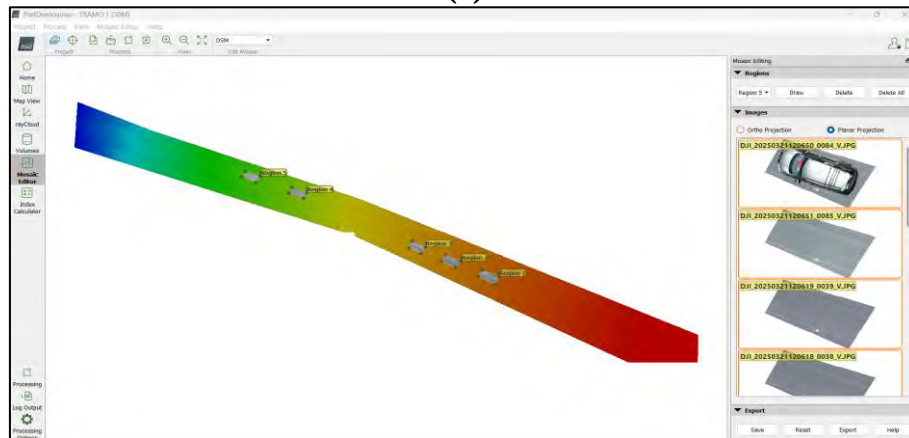
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 36

Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)



(a)

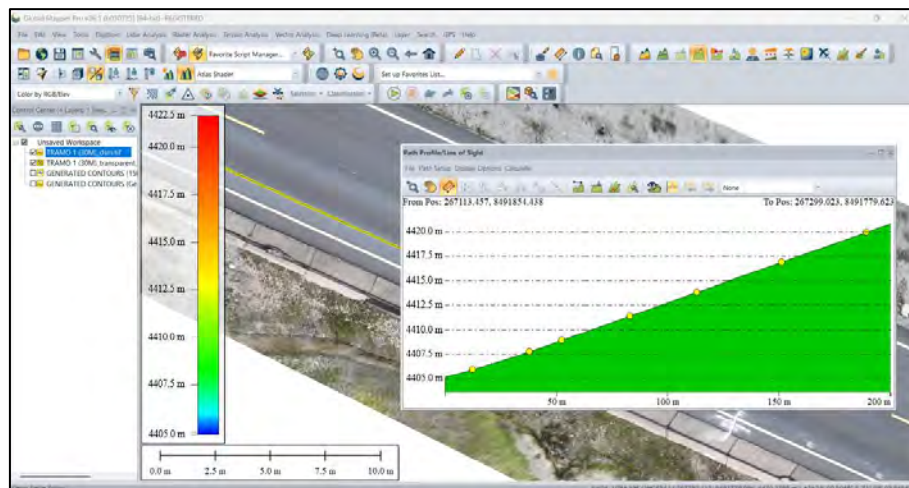


(b)

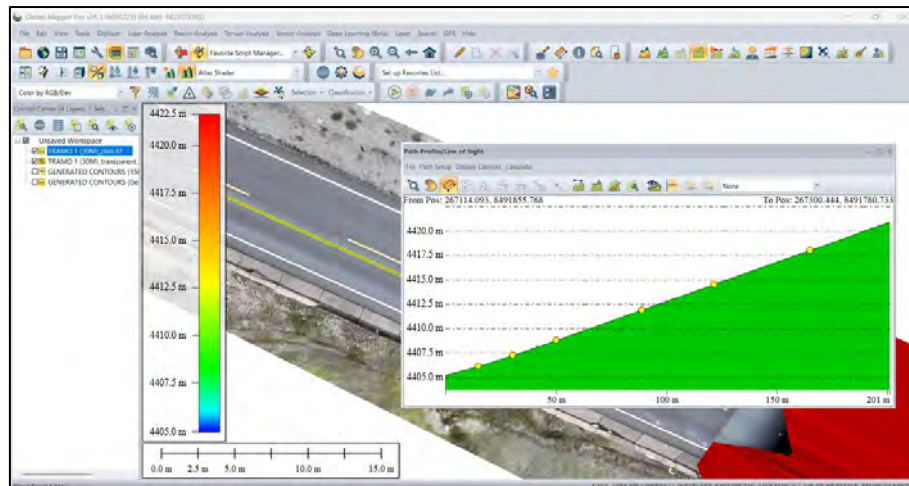
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 37

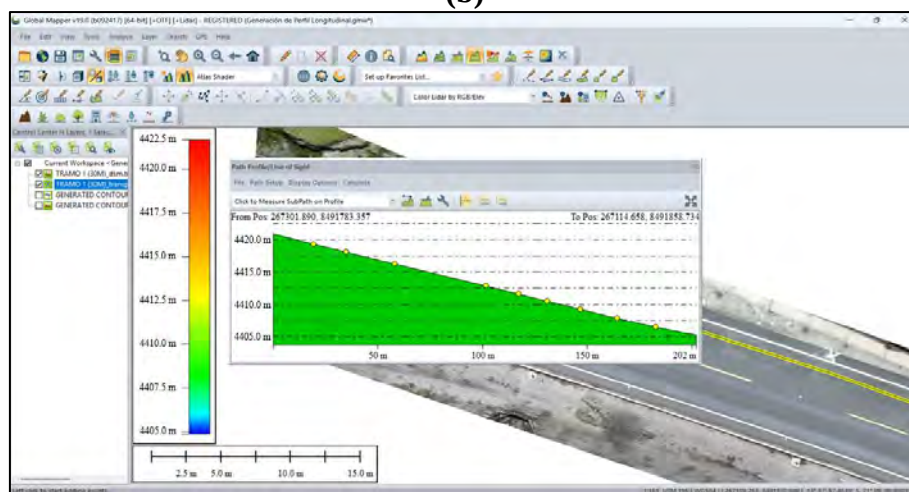
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



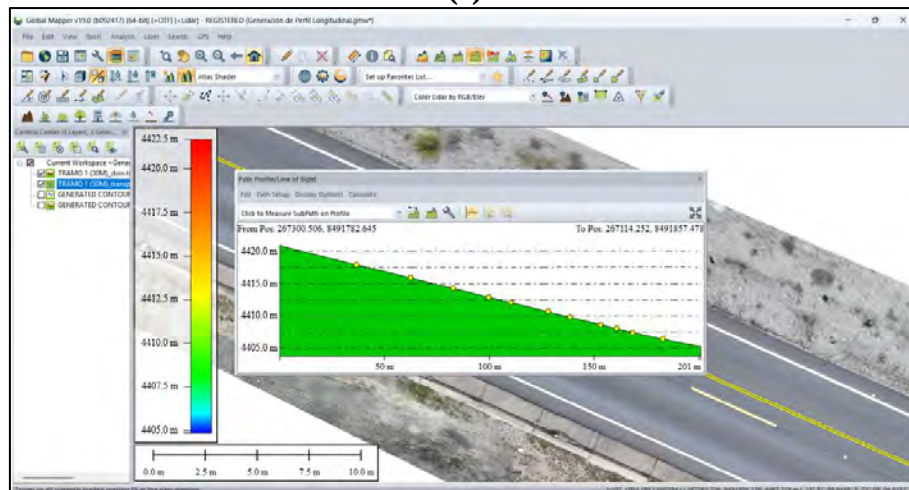
(a)



(b)



(c)

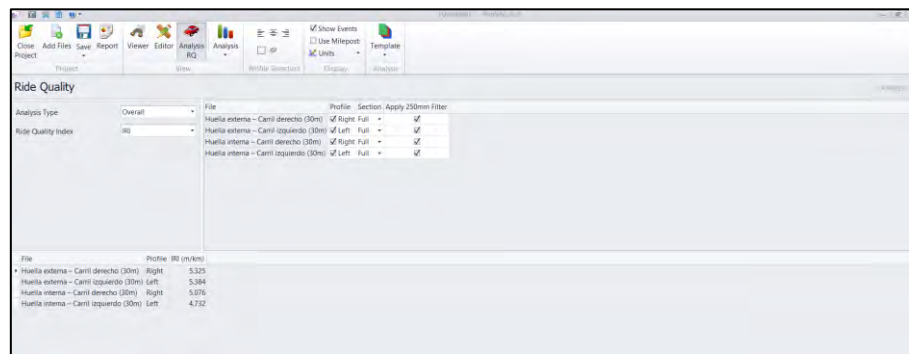


(d)

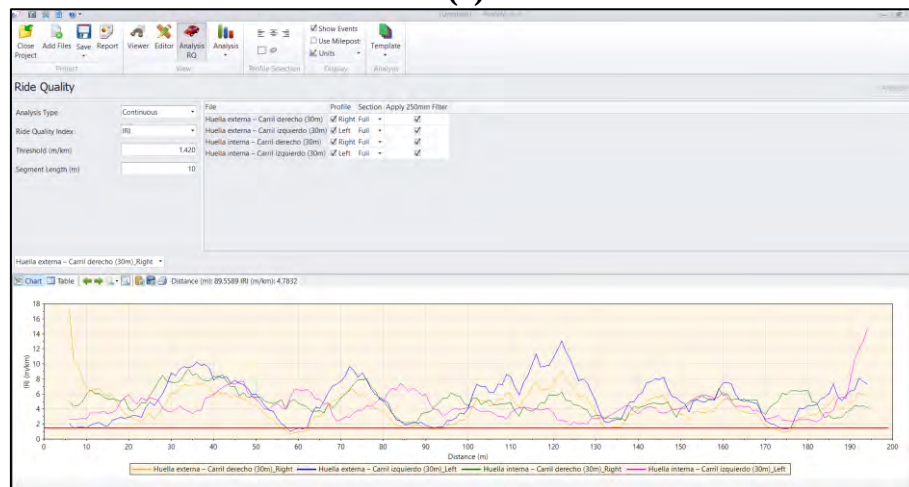
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 38

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 19

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	5.20	5.06	5.13

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.6. Tramo 1 – Altura de vuelo: 30m (vuelo automático)

Tabla 20

Parámetros de vuelo - Tramo 1 (30m)

Altura de vuelo	30m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	85% - 85%
GSD	0.99 cm/px
Imágenes procesadas	861

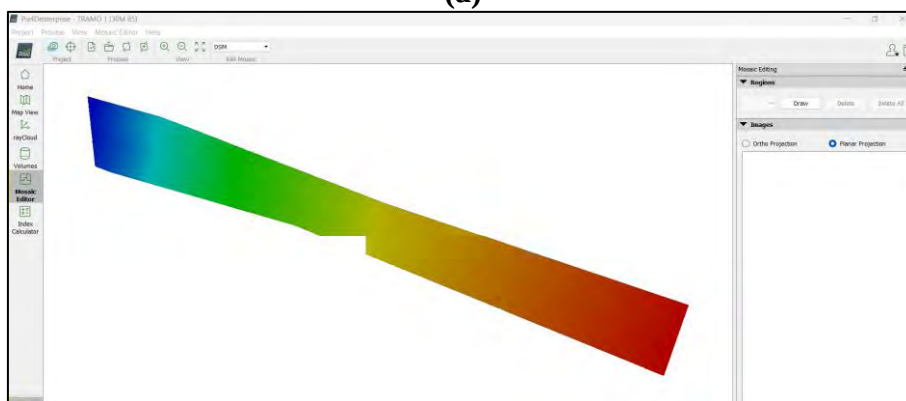
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 39

Ortofoto y MDS del tramo 1 (30 m)



(a)

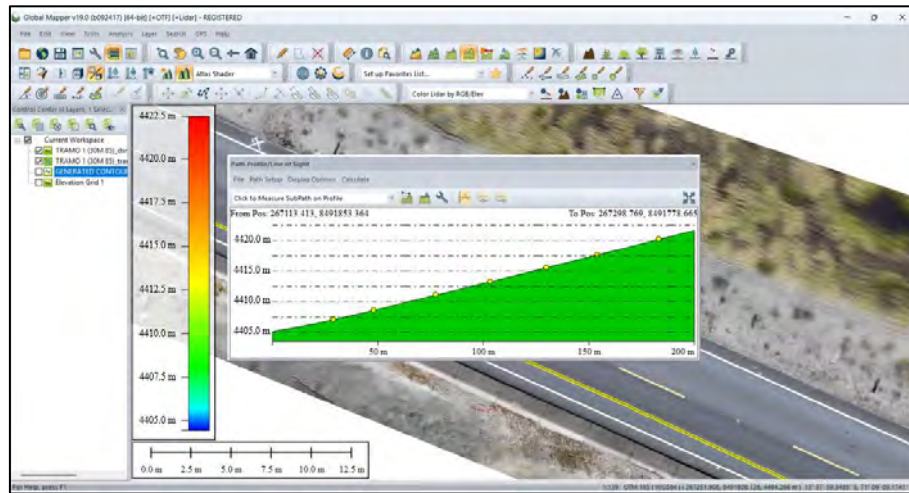


(b)

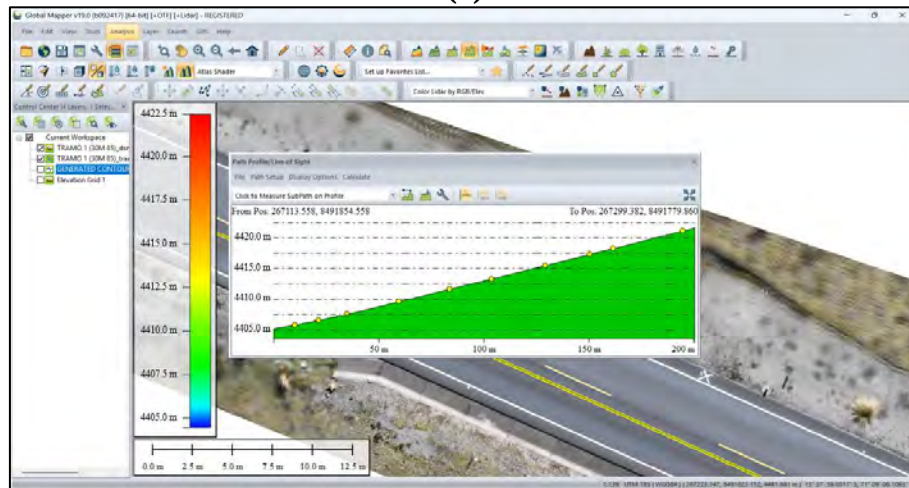
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 40

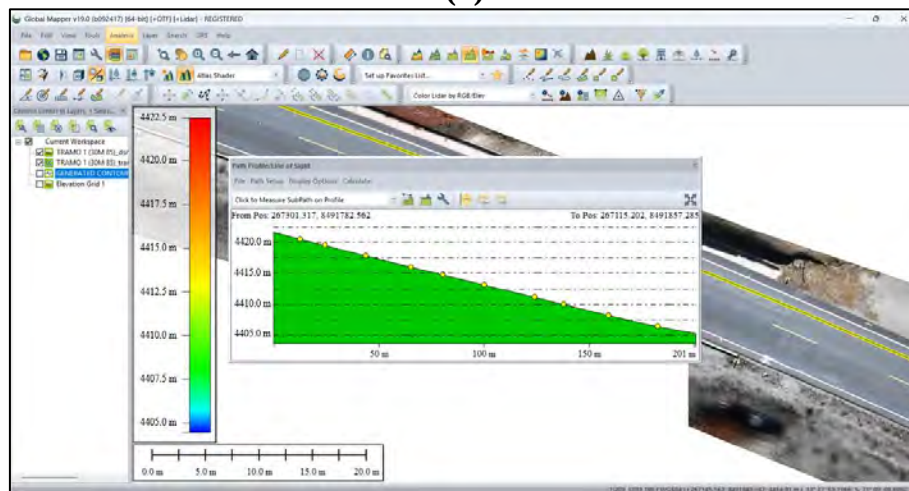
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



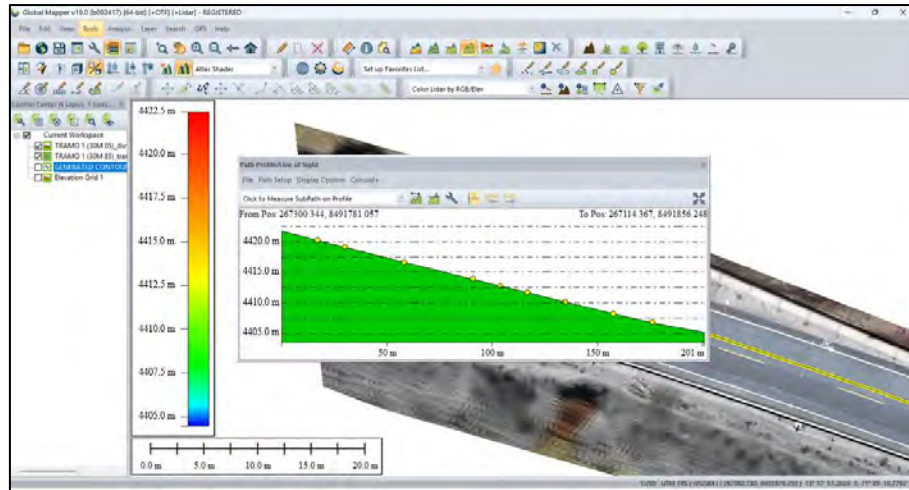
(a)



(b)



(c)

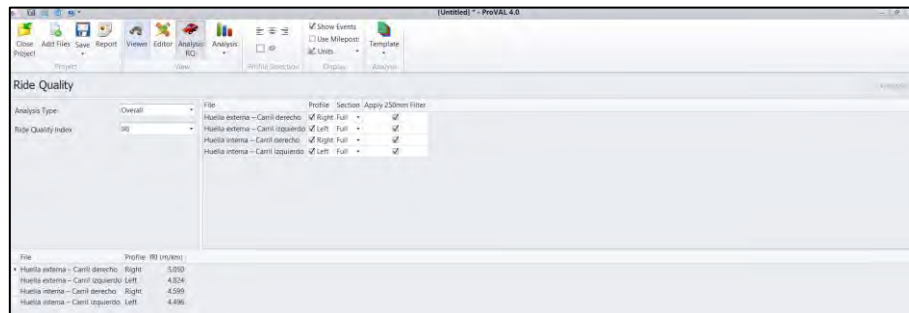


(d)

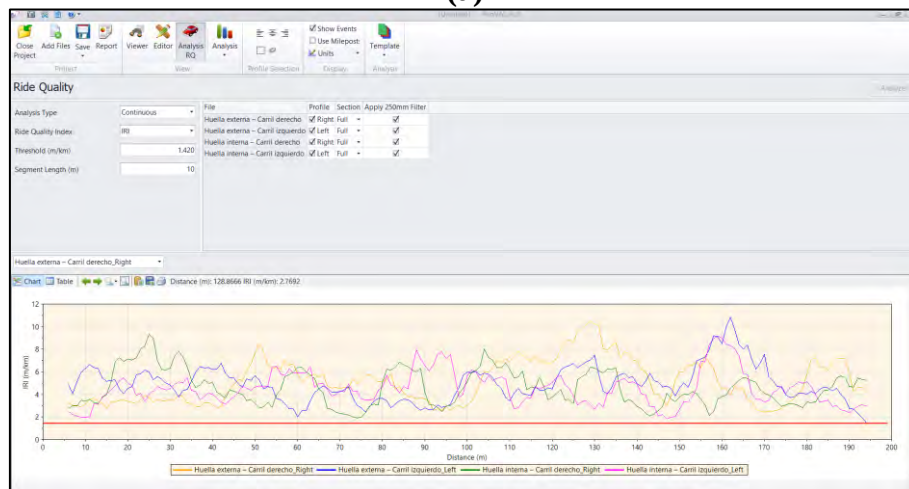
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 41

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 21

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (30m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	4.82	4.66	4.74

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.7. *Tramo 2 – Altura de vuelo: 30m (vuelo automático)*

Tabla 22

Parámetros de vuelo - Tramo 2 (30m)

Altura de vuelo	30m
Modo de operación	Automática
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	1.05 cm/px
Imágenes procesadas	111

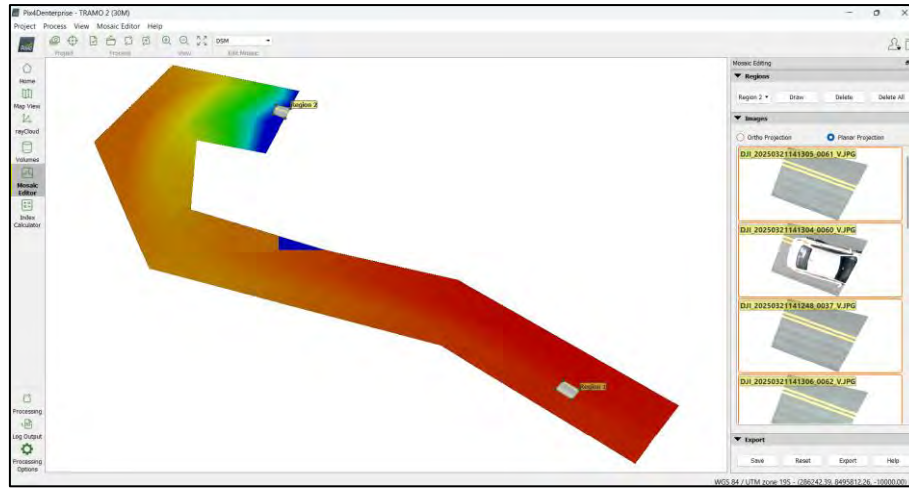
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 42

Ortofoto y MDS del tramo 2 (30 m)



(a)

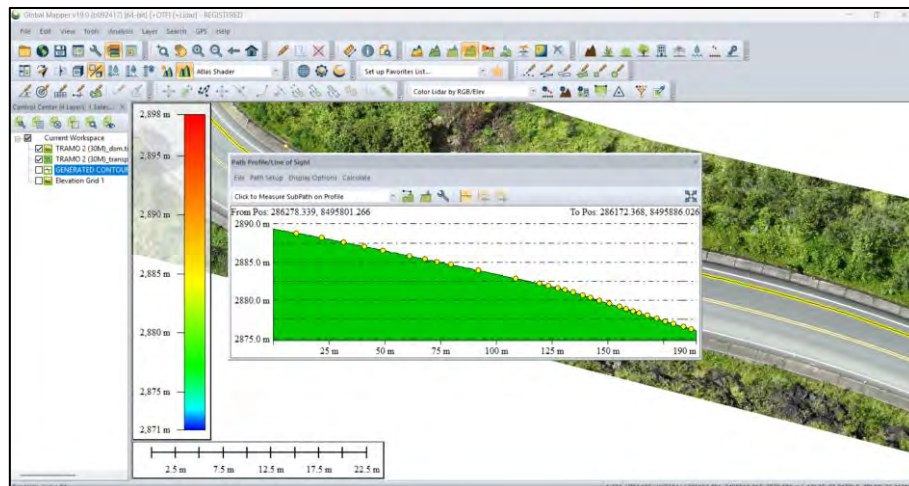


(b)

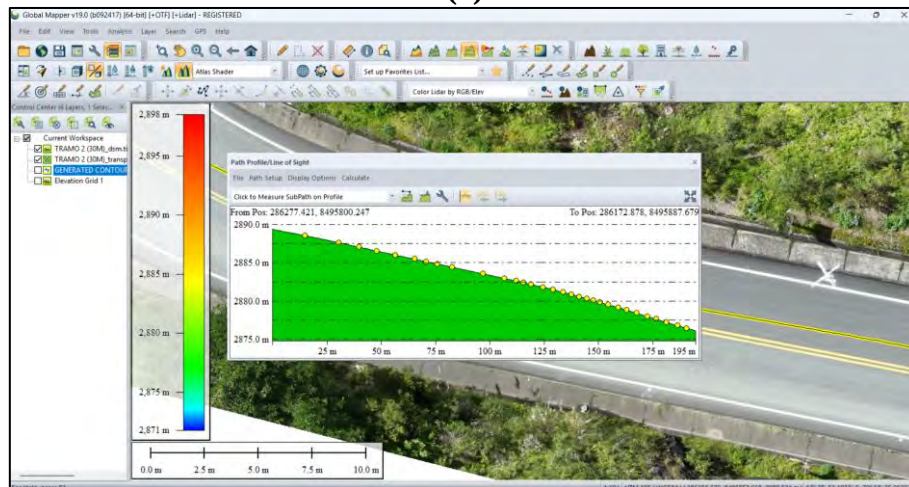
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 43

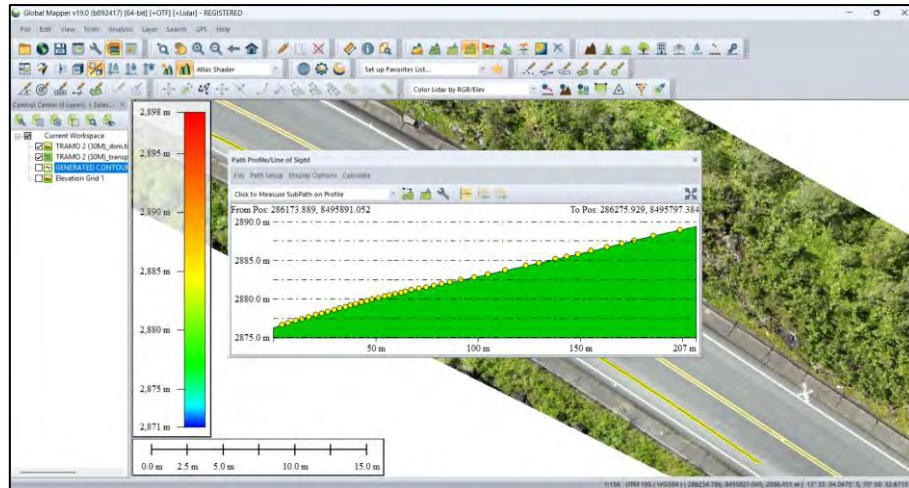
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



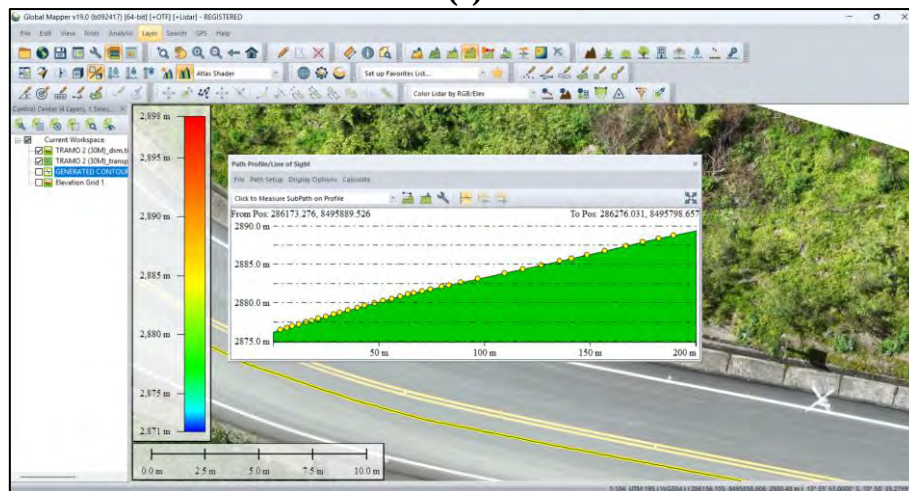
(a)



(b)



(c)

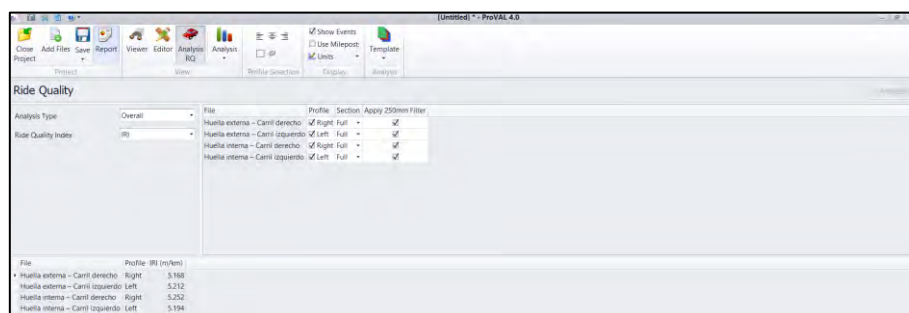


(d)

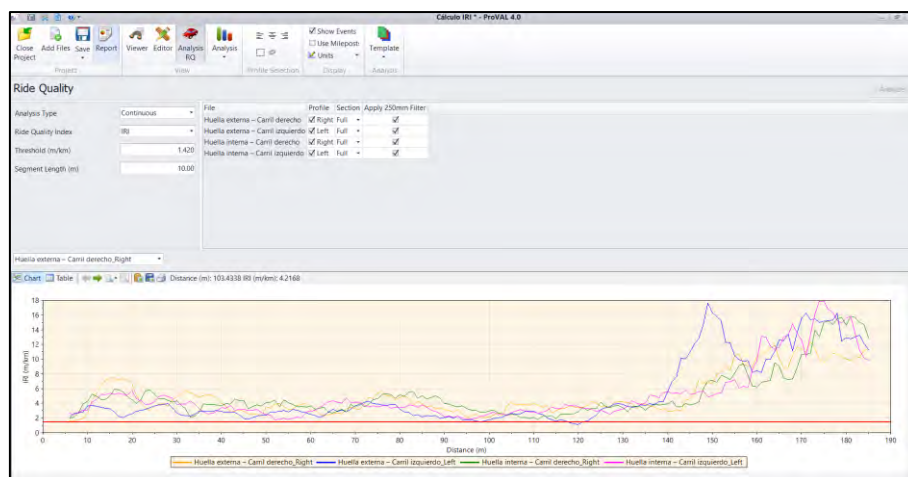
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 44

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 128+400



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 23

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 2 (30m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	5.21	5.20	5.21

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.8. Tramo 3 – Altura de vuelo: 24m (vuelo manual)

Tabla 24

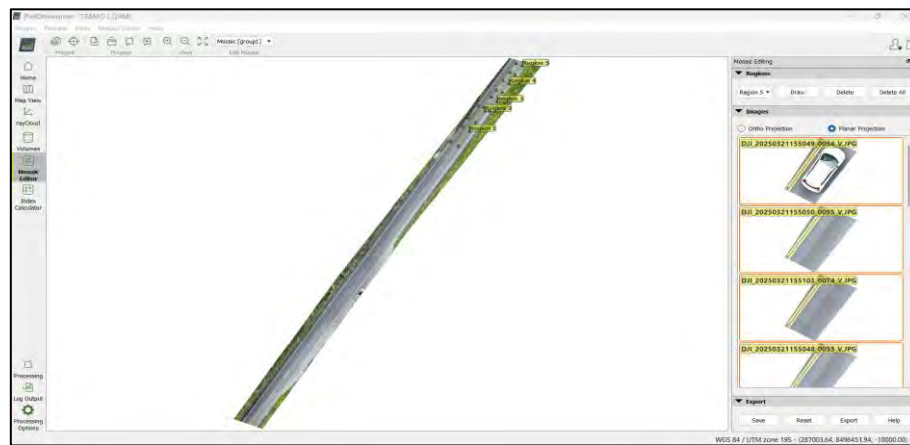
Parámetros de vuelo - Tramo 3 (24m)

Altura de vuelo	24m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.70 cm/px
Imágenes procesadas	128

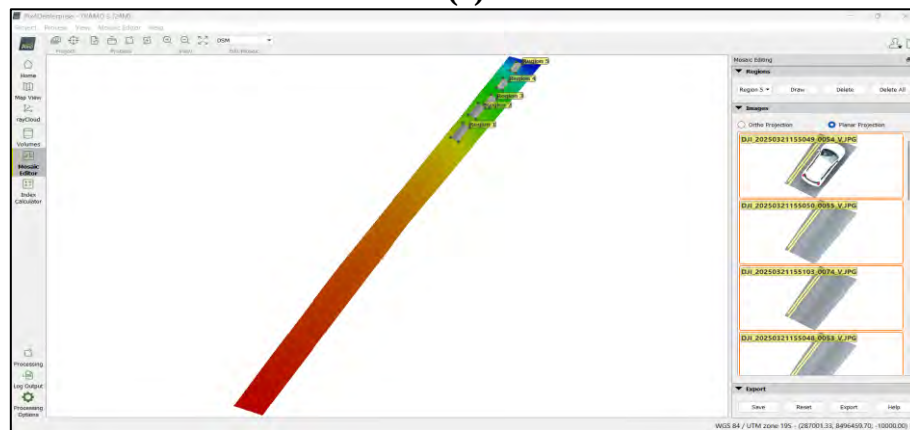
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 45

Ortofoto y MDS del tramo 3 (24 m)



(a)

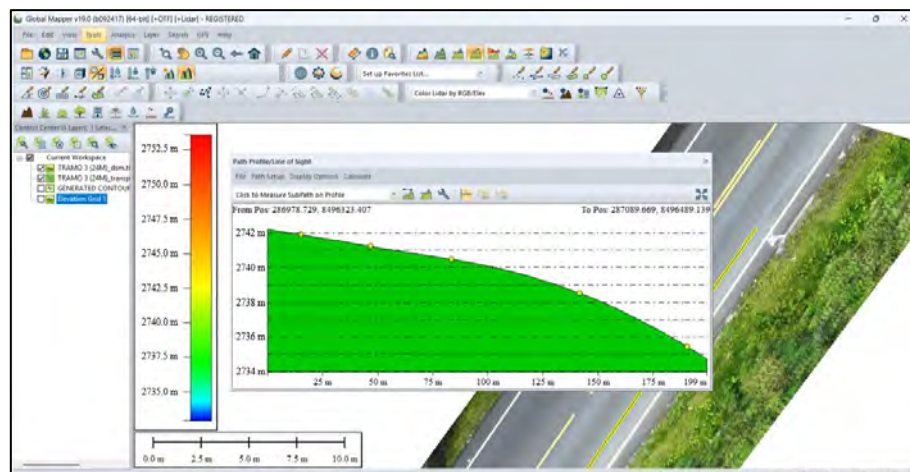


(b)

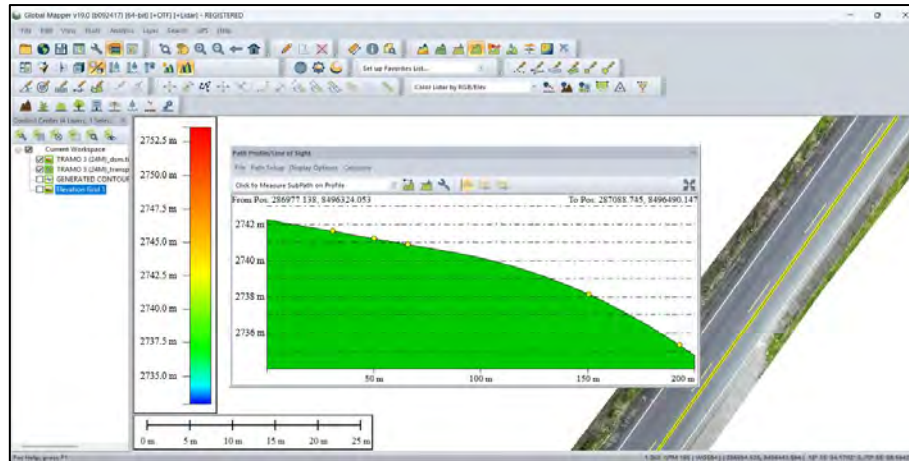
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 46

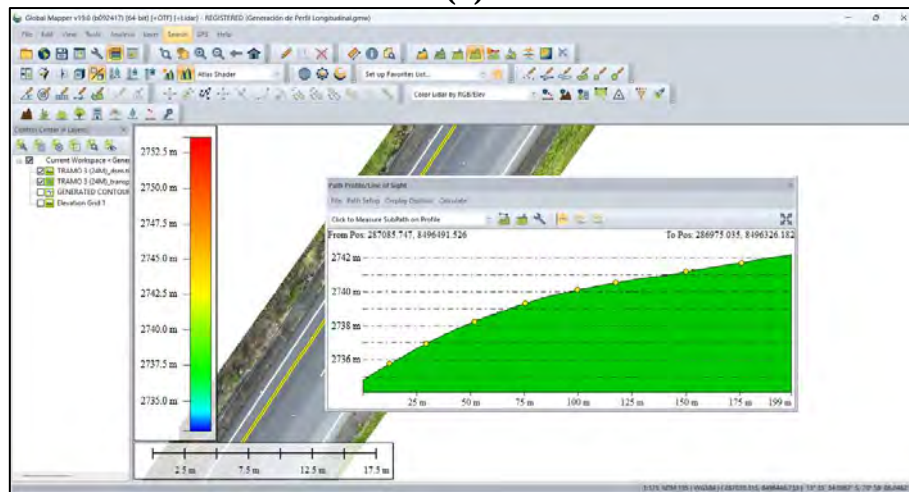
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



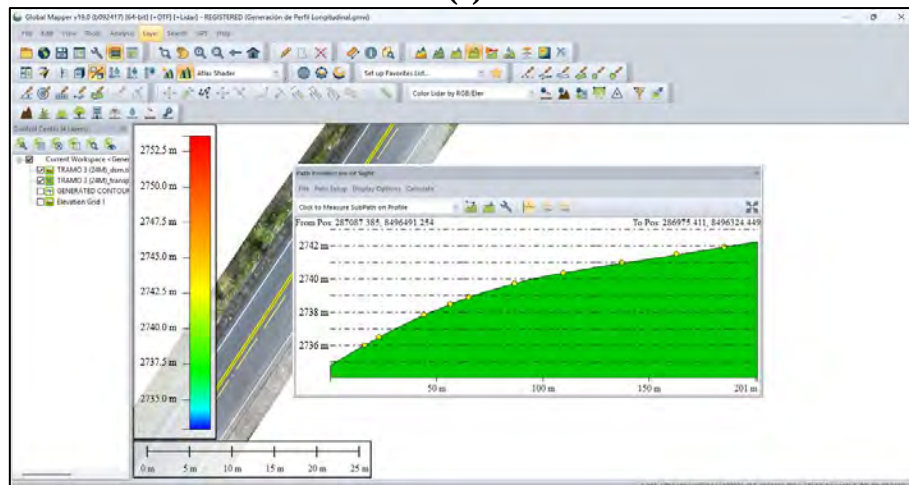
(a)



(b)



(c)

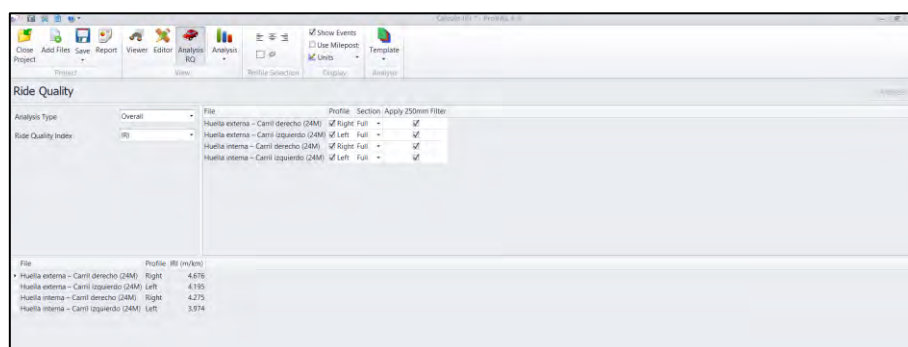


(d)

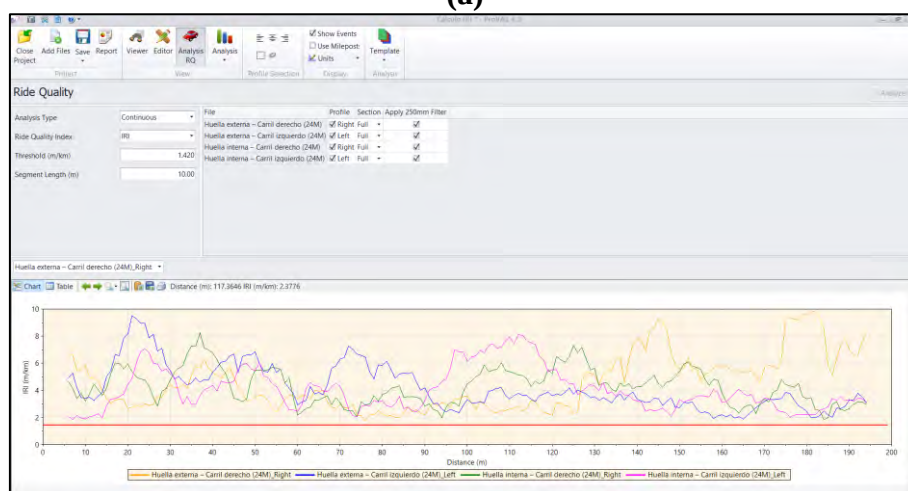
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 47

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 131+100



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 25

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 3 (24m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	4.44	4.12	4.28

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.9. Tramo 6 – Altura de vuelo: 24m (vuelo manual)

Tabla 26

Parámetros de vuelo - Tramo 6 (24m)

Altura de vuelo	24m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.75 cm/px
Imágenes procesadas	65

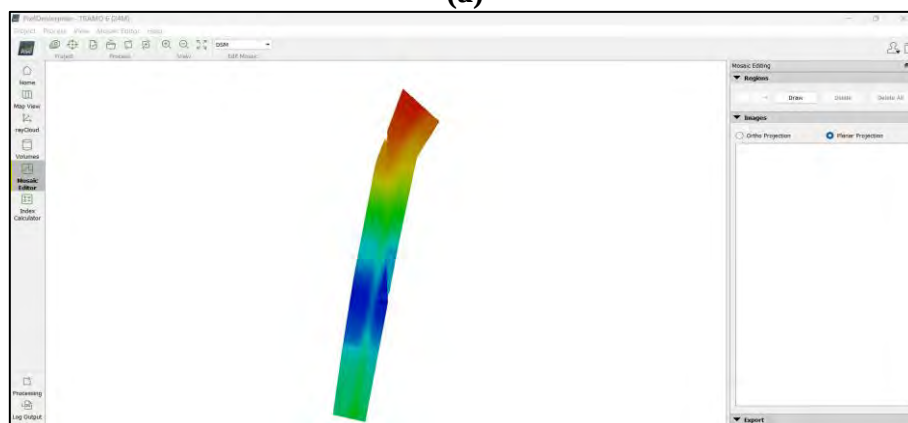
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 48

Ortofoto y MDS del tramo 6 (24 m)



(a)

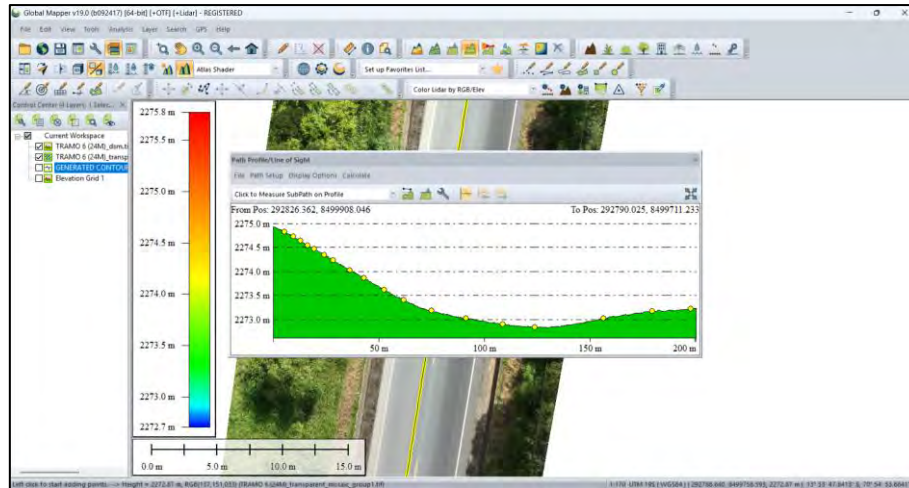


(b)

Nota. a) Ortofoto y b) MDS.

Perfil longitudinal extraído con Path Profile



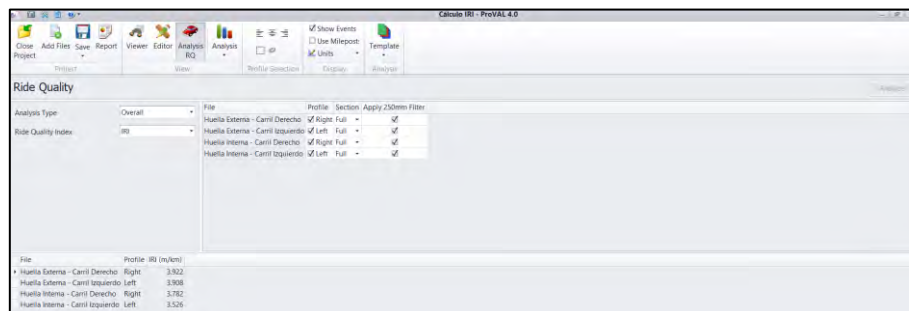


(d)

Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 50

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 139+600



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 27

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 6 (24m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	3.85	3.72	3.79

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.10. Tramo 4 – Altura de vuelo: 20m (vuelo manual)

Tabla 28

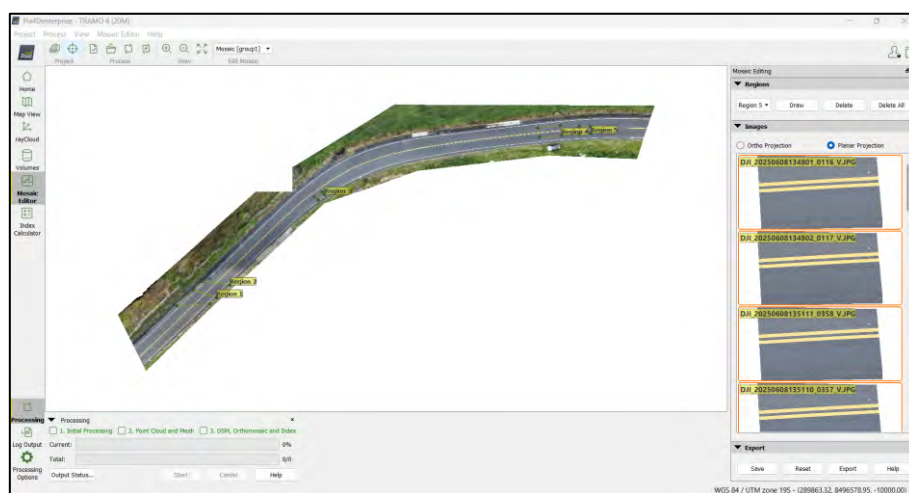
Parámetros de vuelo - Tramo 4 (20m)

Altura de vuelo	20m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.62 cm/px
Imágenes procesadas	499

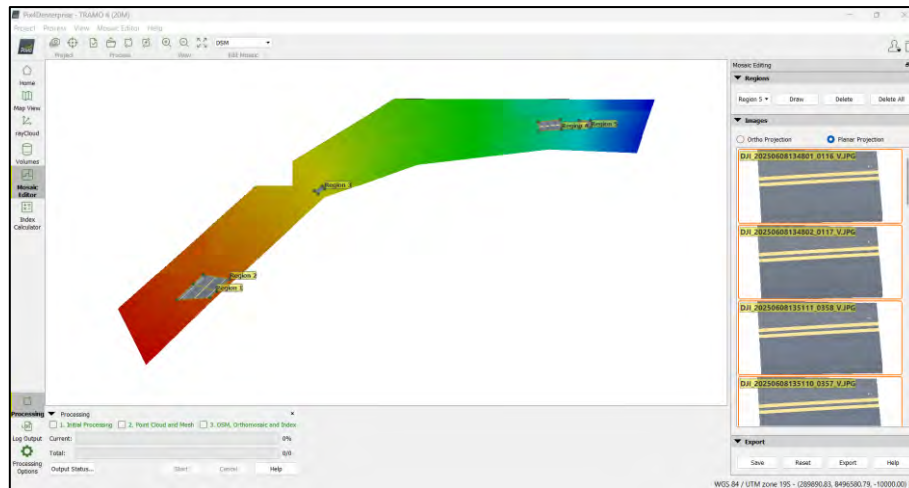
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 51

Ortofoto y MDS del tramo 4 (20 m)



(a)

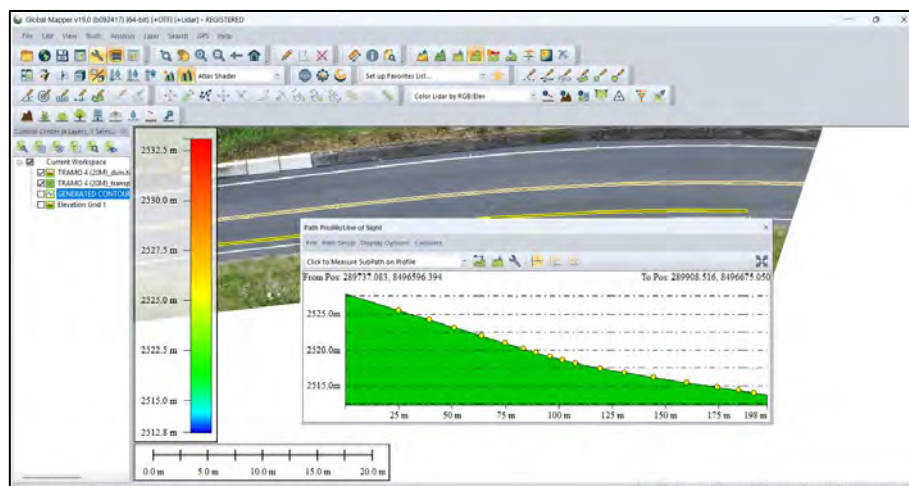


(b)

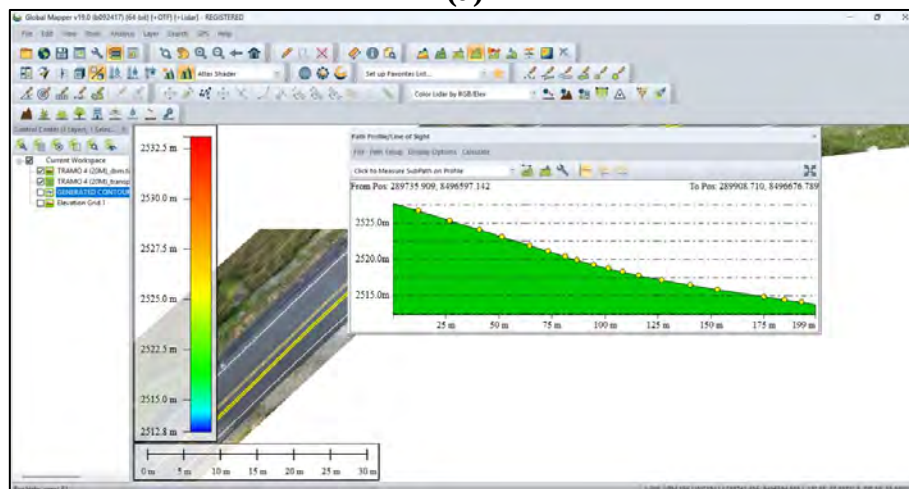
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 52

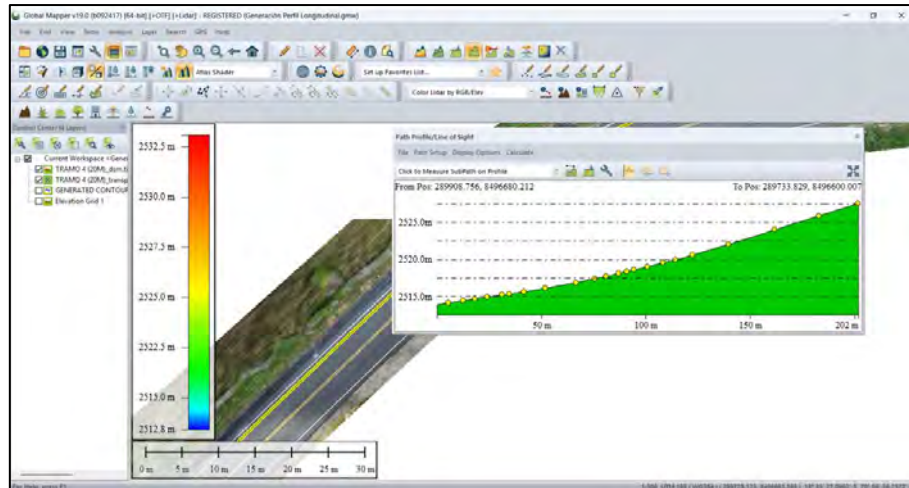
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



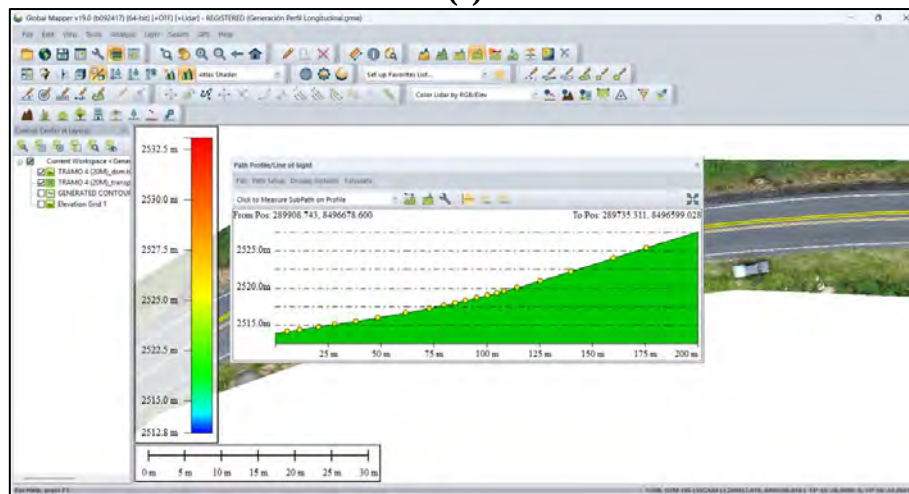
(a)



(b)



(c)

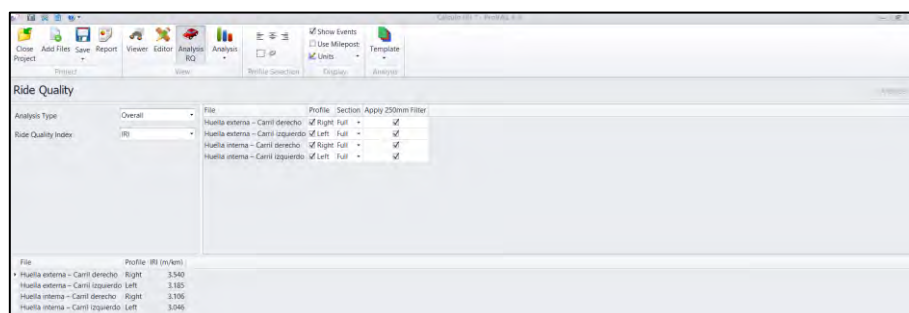


(d)

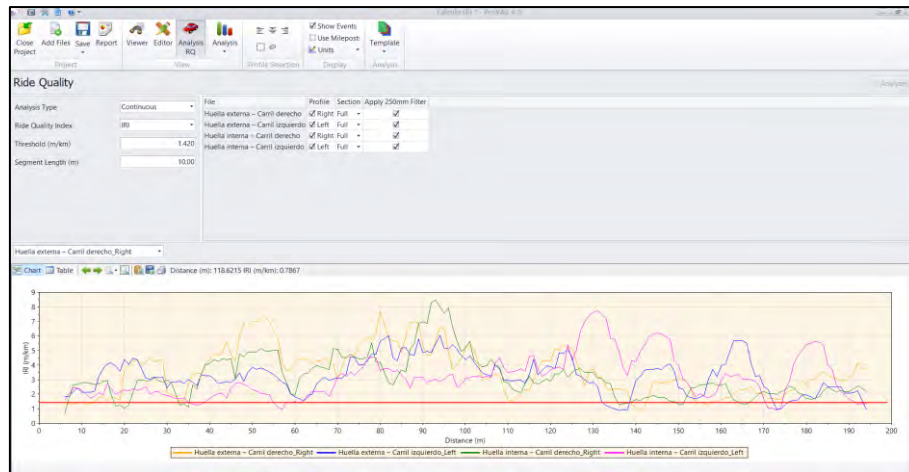
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 53

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 134+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 29

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 4 (20m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	3.32	3.12	3.22

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.11. Tramo 6 – Altura de vuelo: 20m (vuelo manual)

Tabla 30

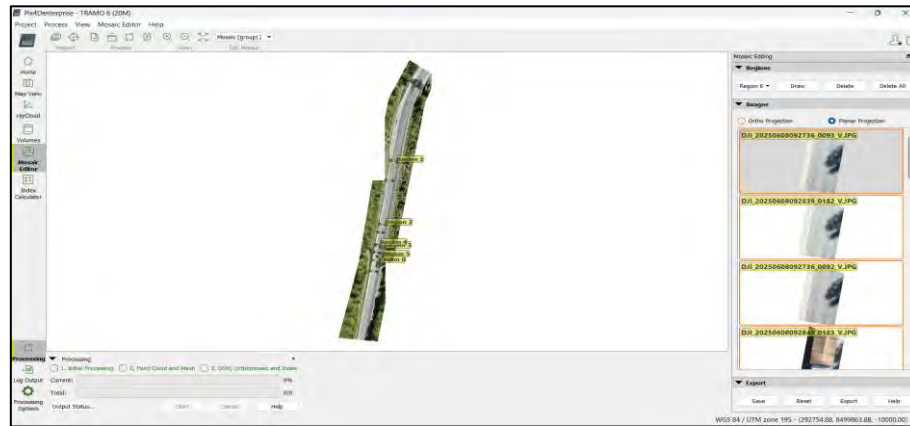
Parámetros de vuelo - Tramo 6 (20m)

Altura de vuelo	20m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.64 cm/px
Imágenes procesadas	256

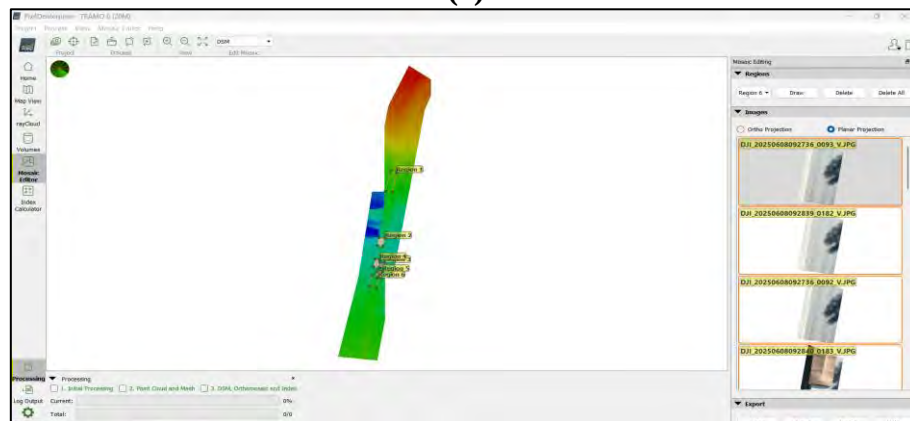
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 54

Ortofoto y MDS del tramo 6 (20 m)



(a)

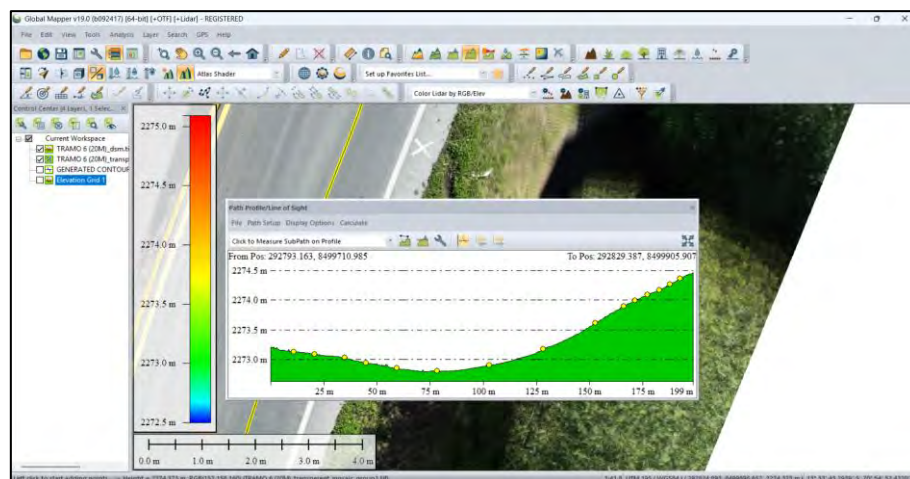


(b)

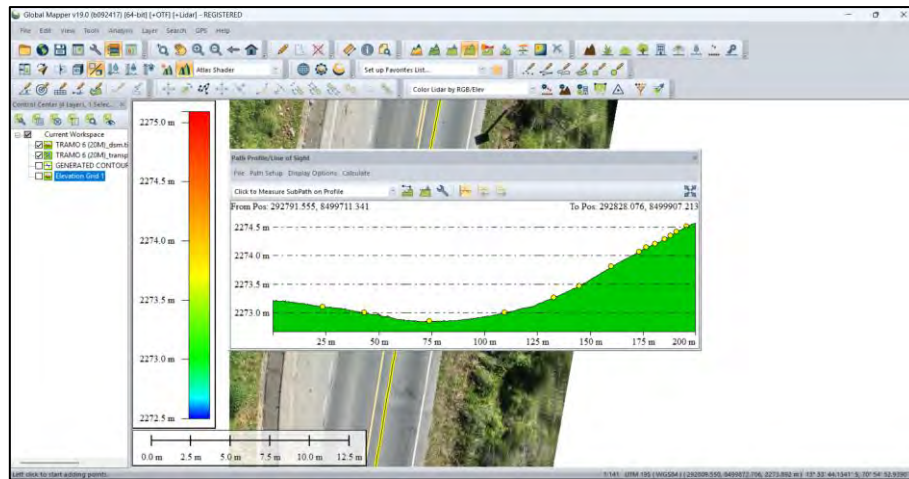
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 55

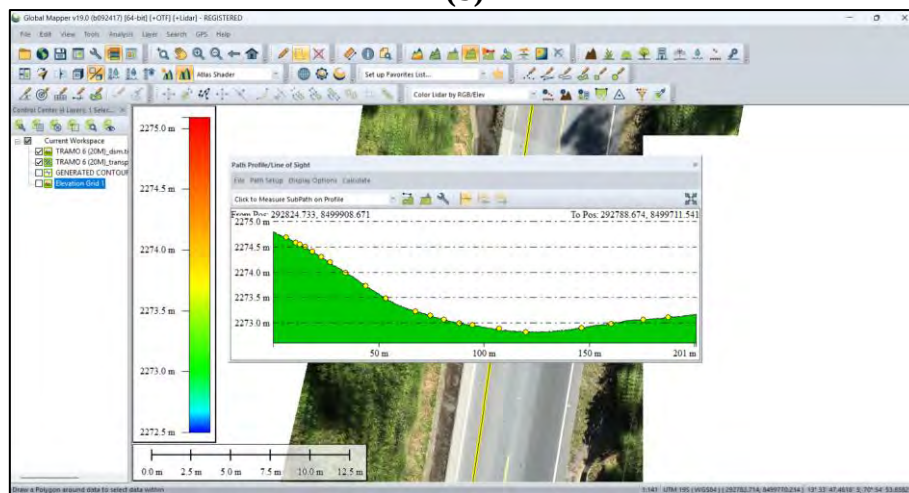
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



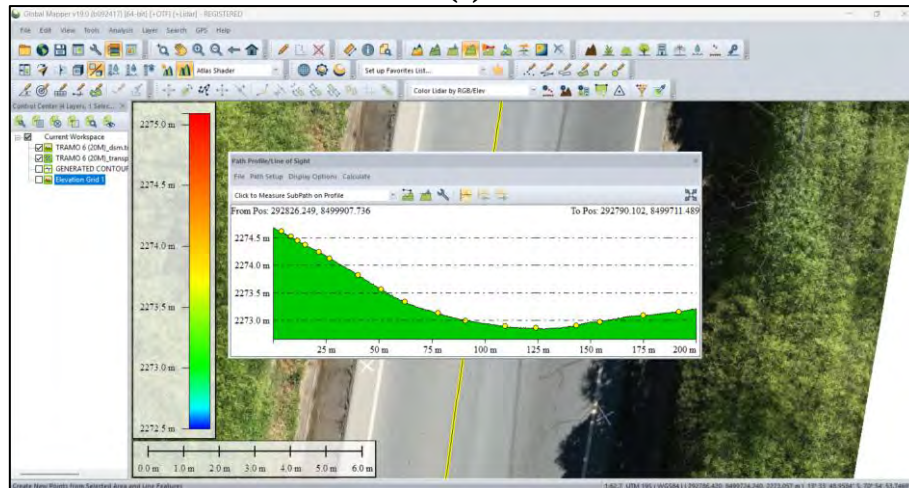
(a)



(b)



(c)

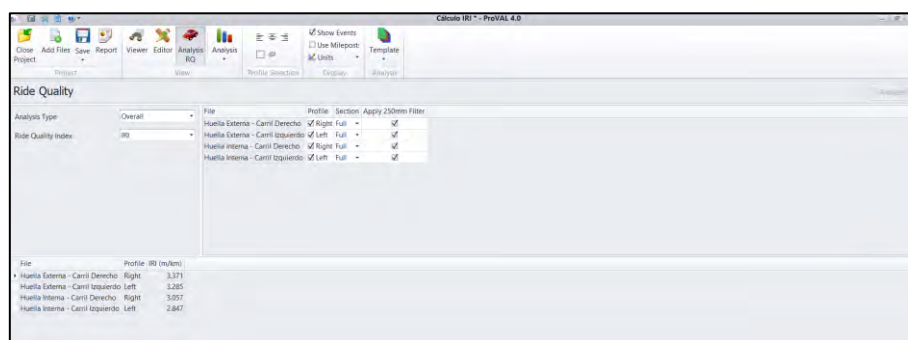


(d)

Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 56

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 139+600



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 31

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 6 (20m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	3.21	3.07	3.14

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.12. Tramo 2 – Altura de vuelo: 17m (vuelo manual)

Tabla 32

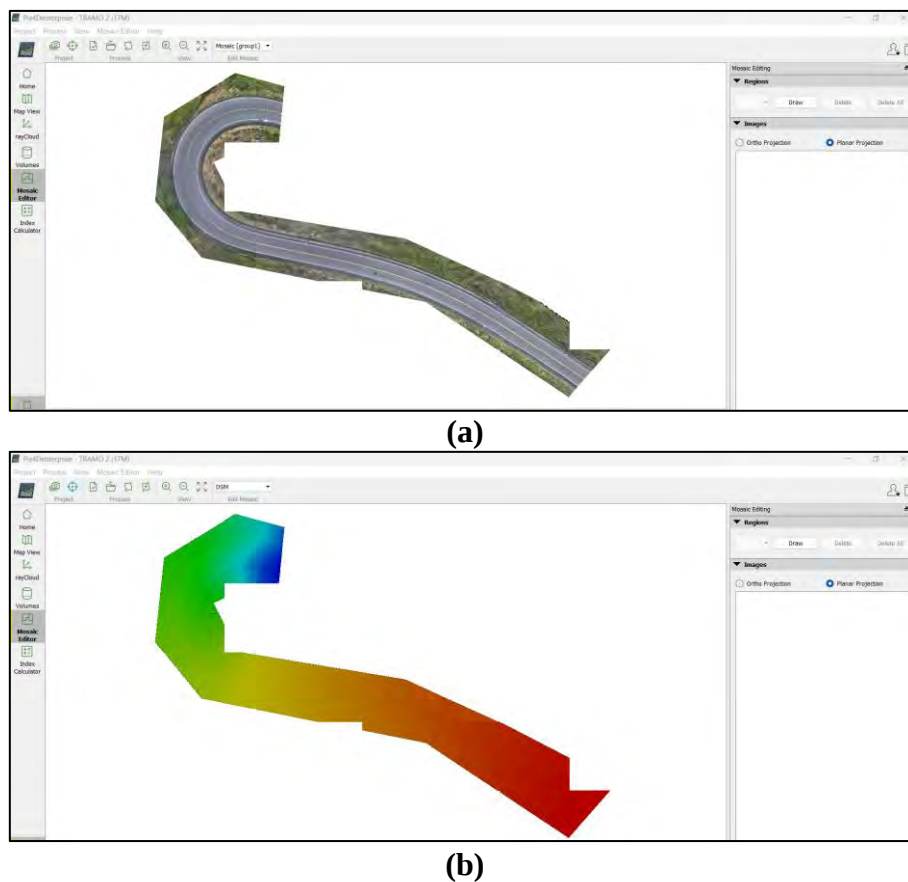
Parámetros de vuelo - Tramo 2 (17m)

Altura de vuelo	17m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.49 cm/px
Imágenes procesadas	617

Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 57

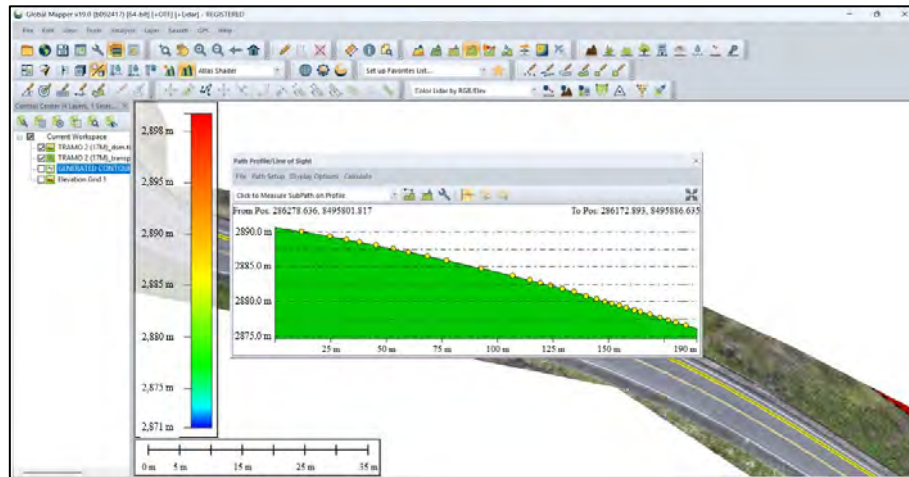
Ortofoto y MDS del tramo 2 (17 m)



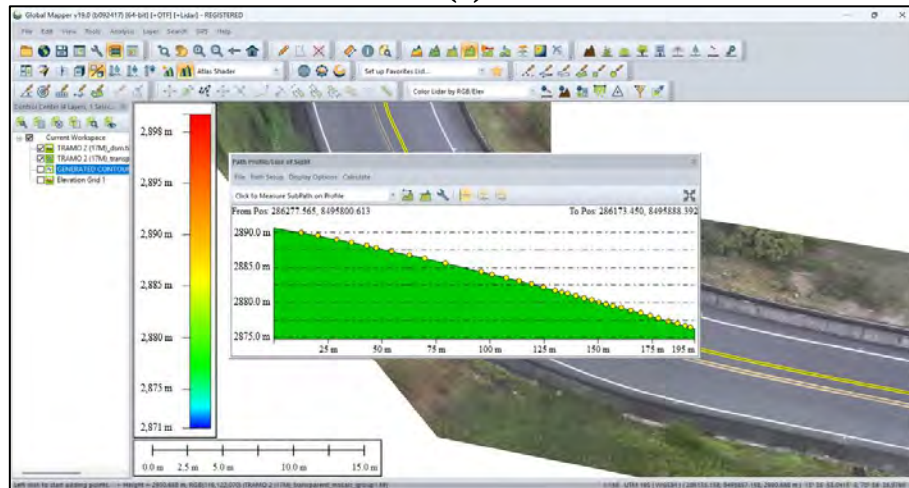
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 58

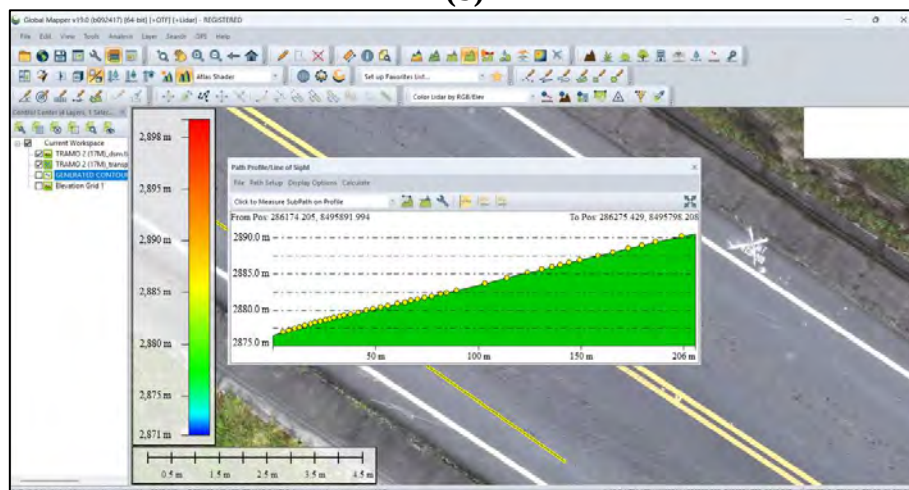
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



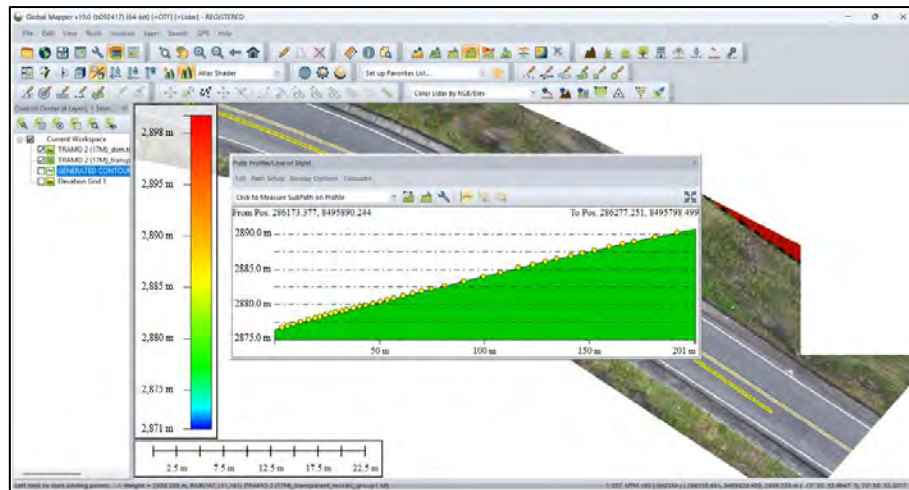
(a)



(b)



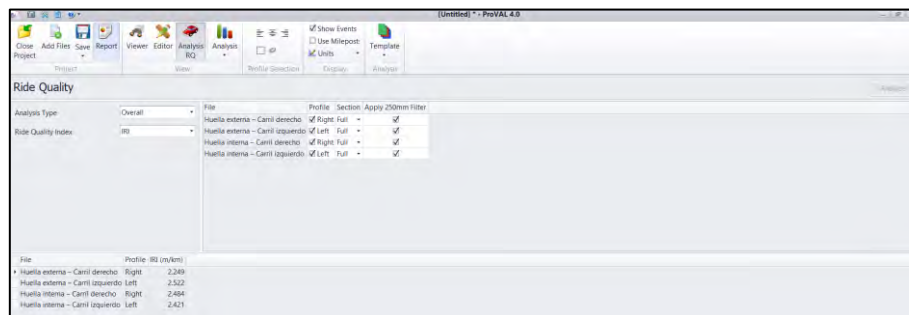
(c)



Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 59

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 128+400



Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 33

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 2 (17m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	2.37	2.47	2.42

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.13. Tramo 4 – Altura de vuelo: 17m (vuelo manual)

Tabla 34

Parámetros de vuelo - Tramo 4 (17m)

Altura de vuelo	17m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.52 cm/px
Imágenes procesadas	313

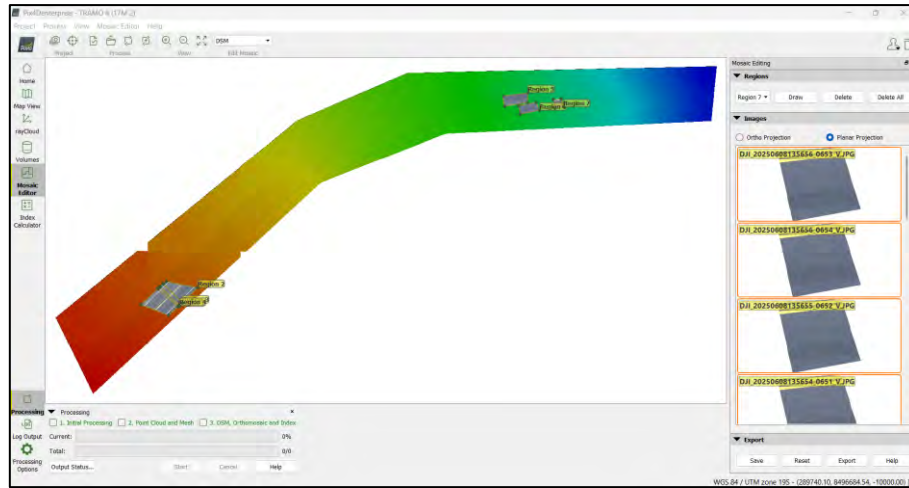
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 60

Ortofoto y MDS del tramo 4 (17 m)



(a)

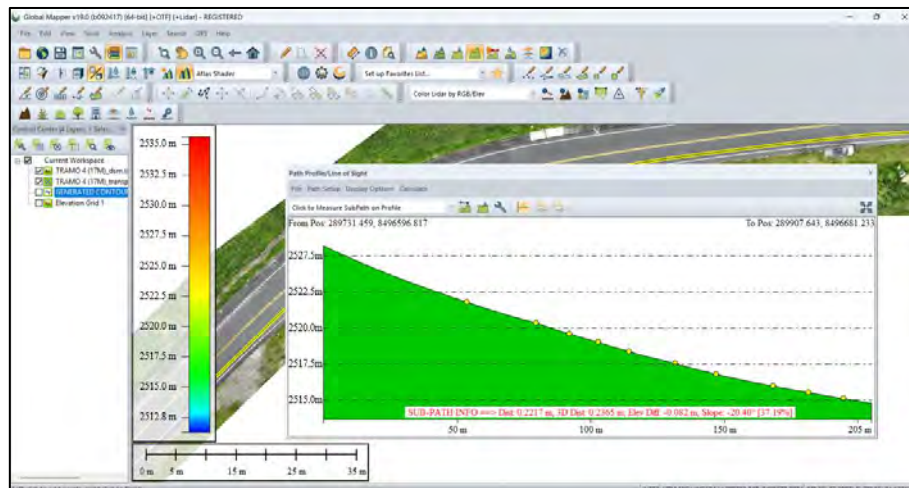


(b)

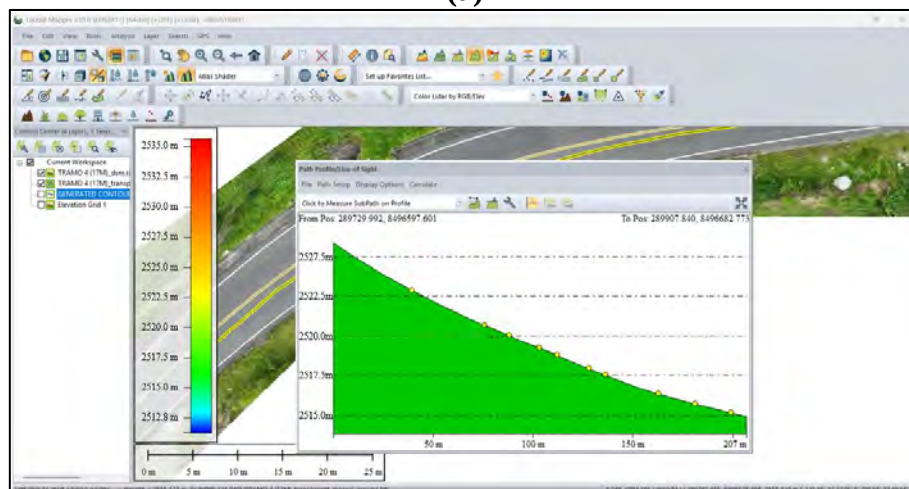
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 61

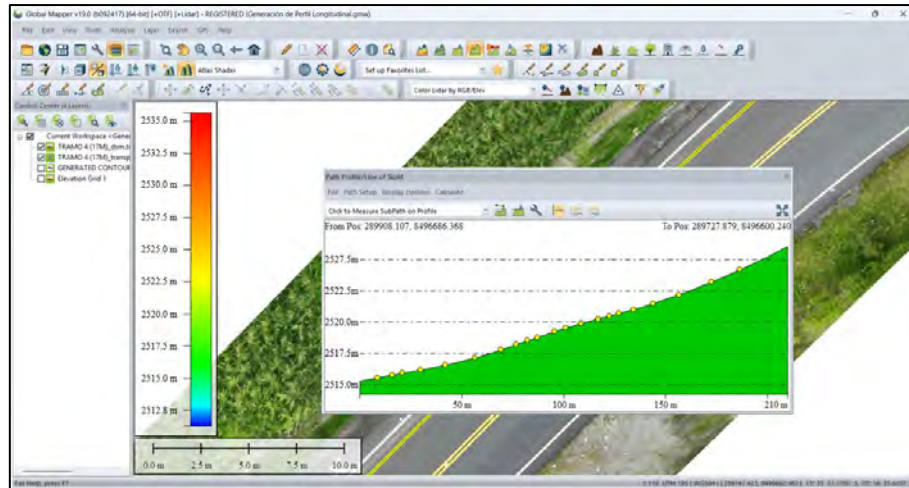
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



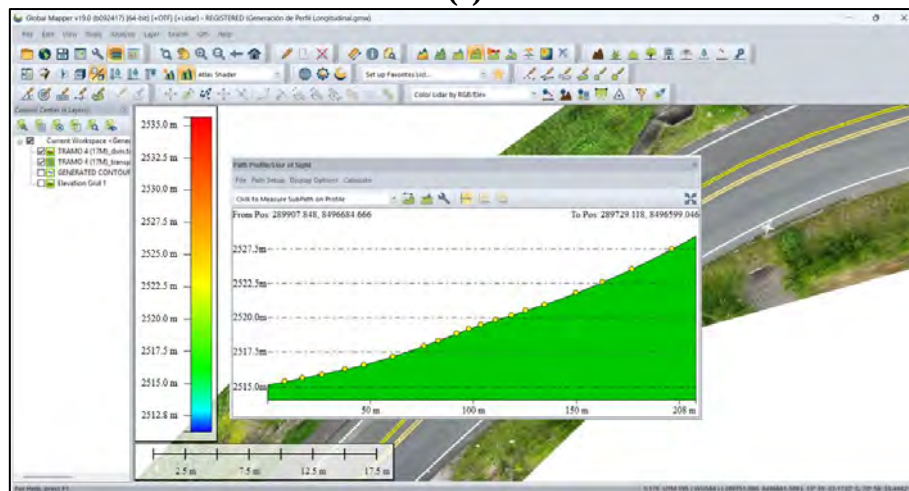
(a)



(b)



(c)

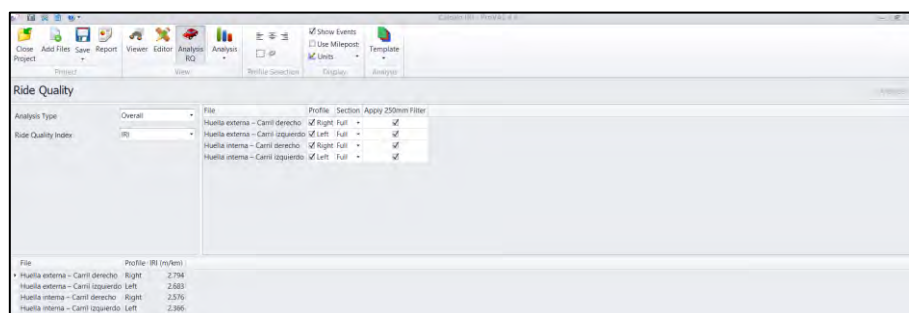


(d)

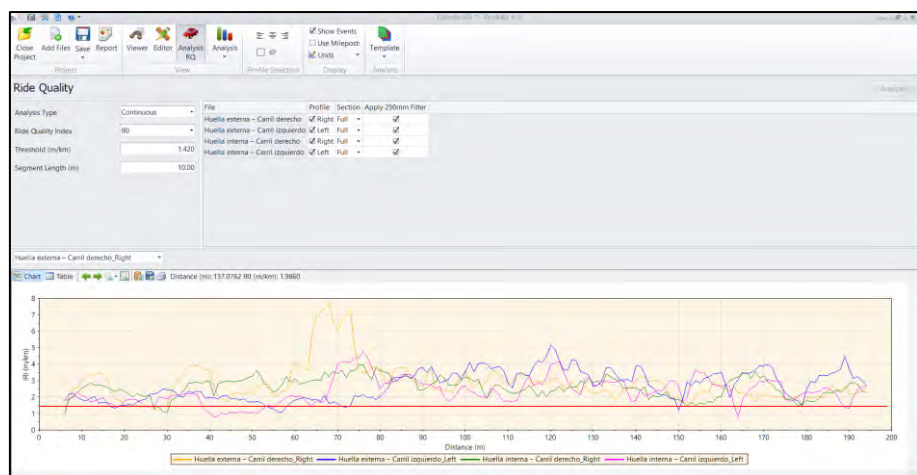
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 62

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 134+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 35

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 4 (17m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	2.69	2.52	2.61

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.14. Tramo 4 – Altura de vuelo: 15m (vuelo manual)

Tabla 36

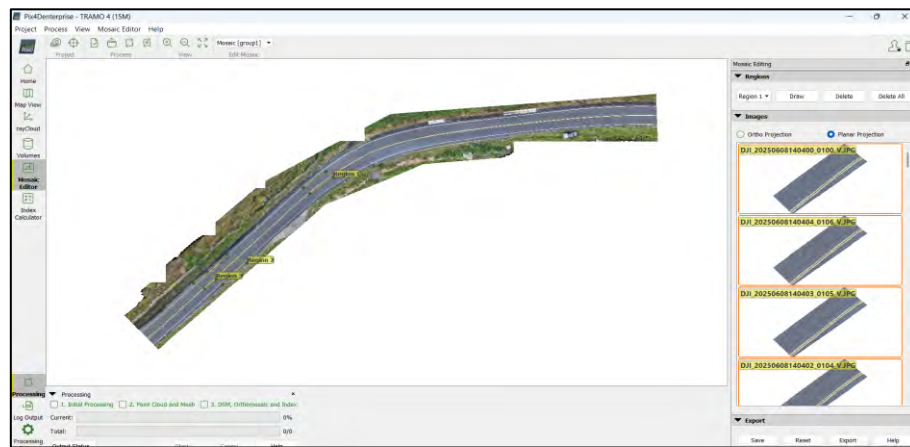
Parámetros de vuelo - Tramo 4 (15m)

Altura de vuelo	15m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.35 cm/px
Imágenes procesadas	698

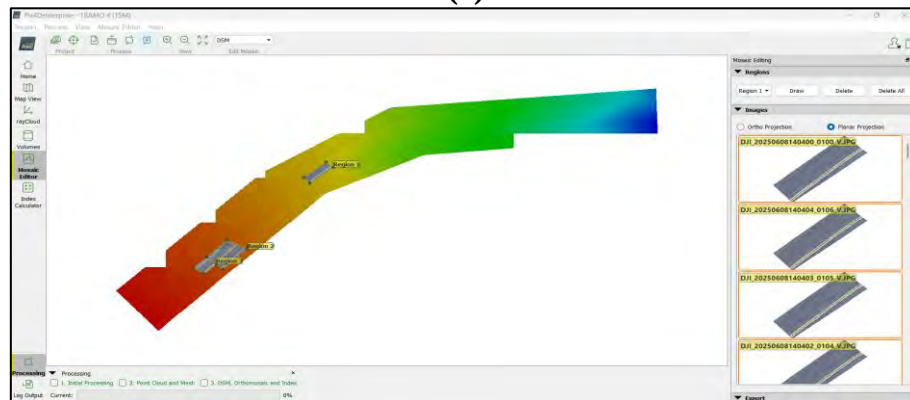
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 63

Ortofoto y MDS del tramo 4 (15 m)



(a)

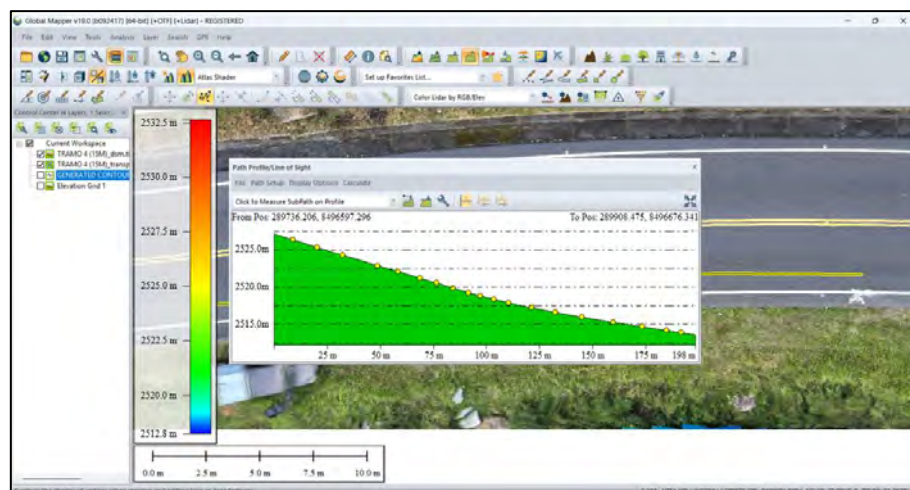


(b)

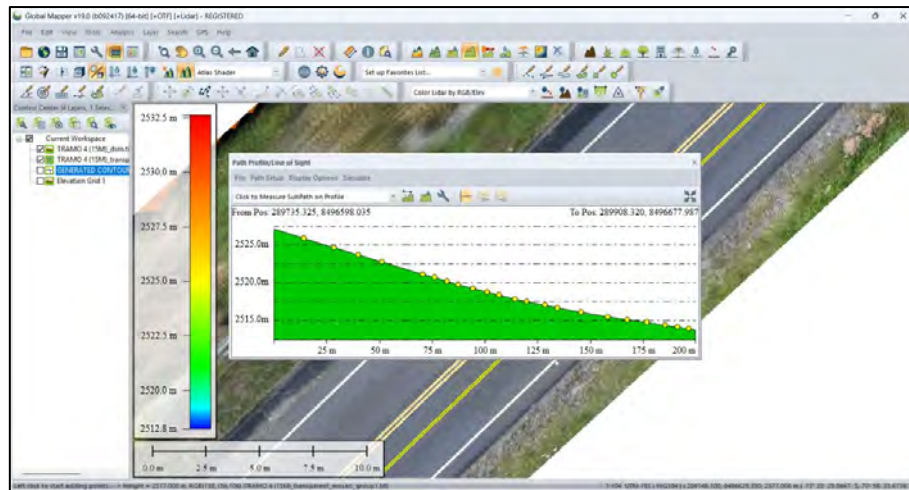
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 64

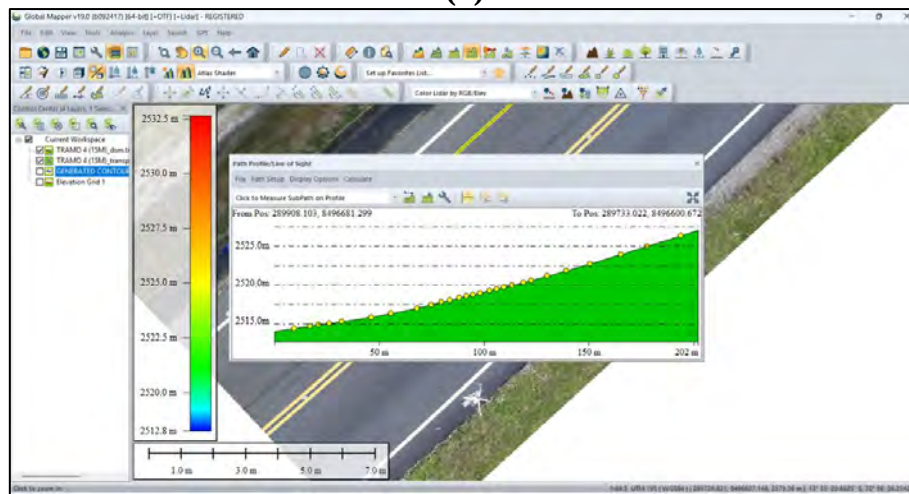
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



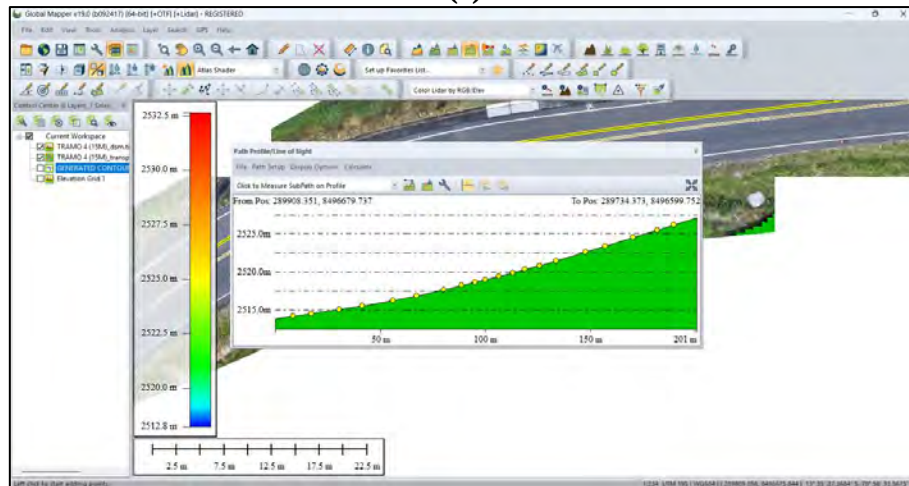
(a)



(b)



(c)

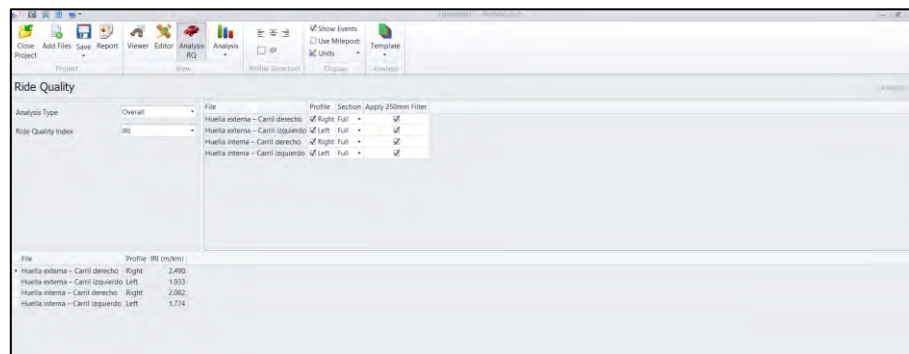


(d)

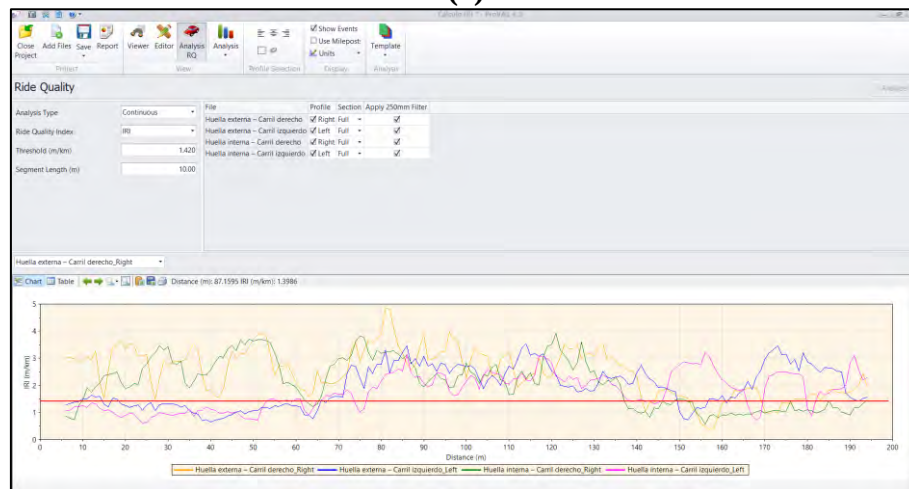
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 65

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 134+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 37

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 4 (15m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	2.29	1.85	2.07

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.15. Tramo 5 – Altura de vuelo: 15m (vuelo manual)

Tabla 38

Parámetros de vuelo - Tramo 5 (15m)

Altura de vuelo	15m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.38 cm/px
Imágenes procesadas	463

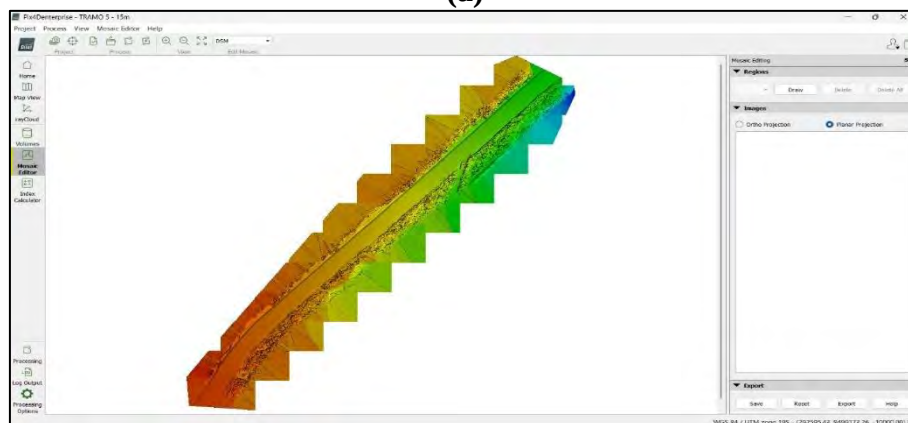
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 66

Ortofoto y MDS del tramo 5 (15 m)



(a)

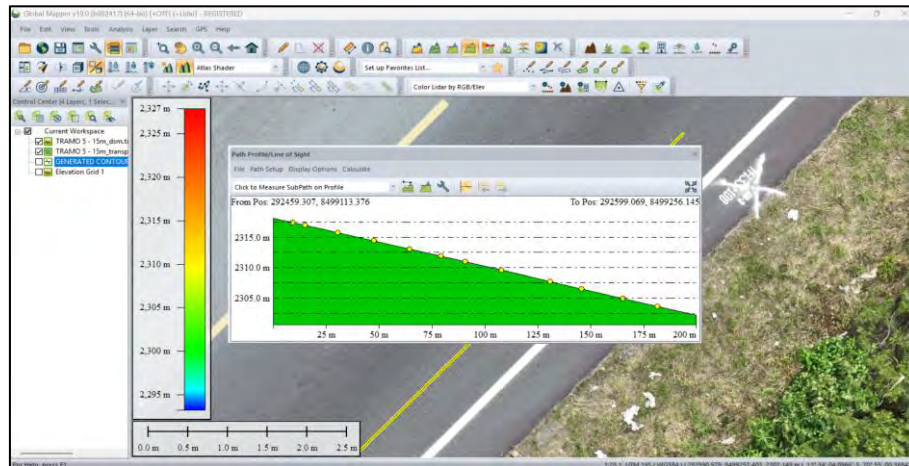


(b)

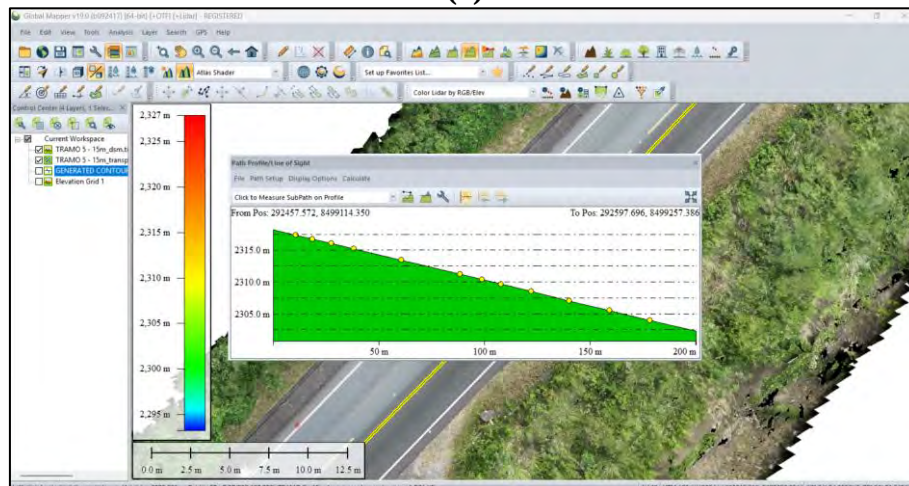
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 67

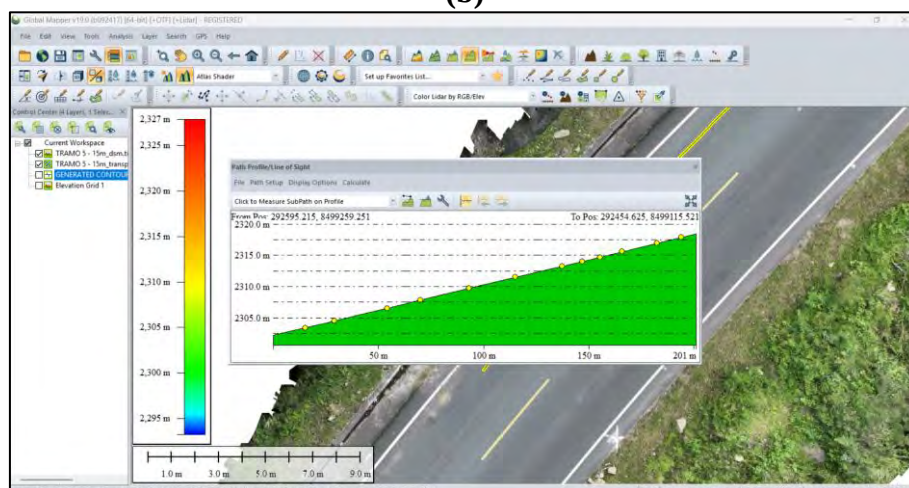
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



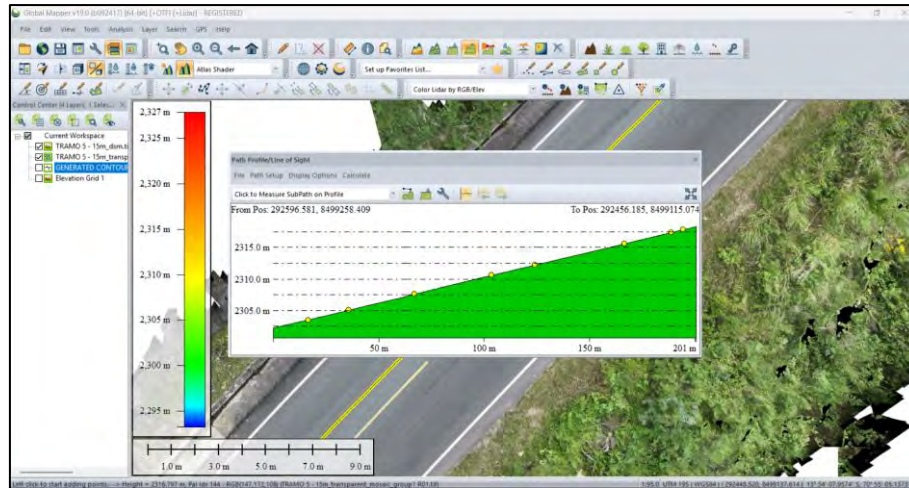
(a)



(b)



(c)

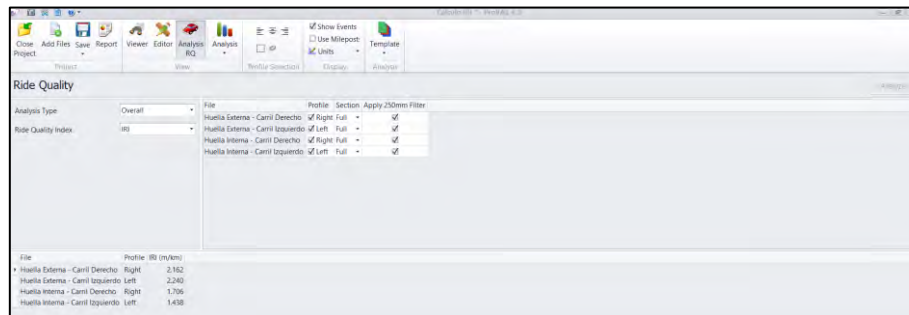


(d)

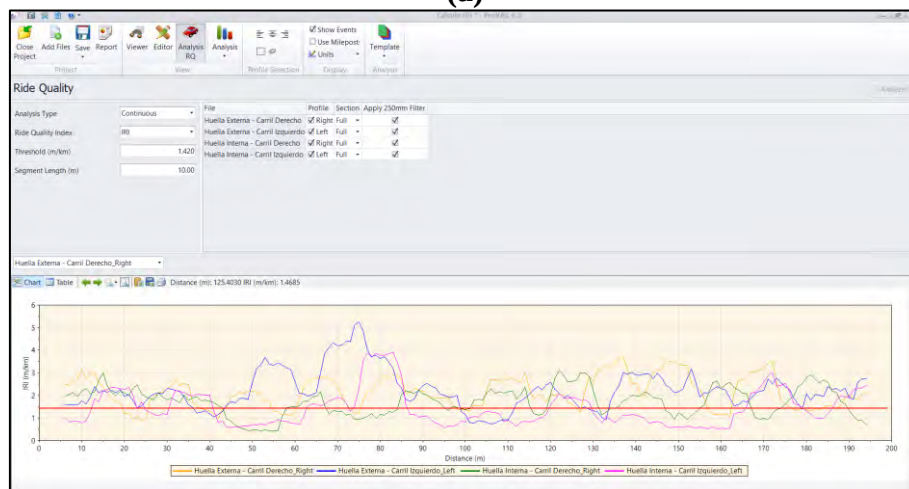
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 68

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 138+900



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 39

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 5 (15m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.93	1.84	1.89

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.16. Tramo 1 – Altura de vuelo: 12m (vuelo manual)

Tabla 40

Parámetros de vuelo - Tramo 1 (12m)

Altura de vuelo	12m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.39 cm/px
Imágenes procesadas	536

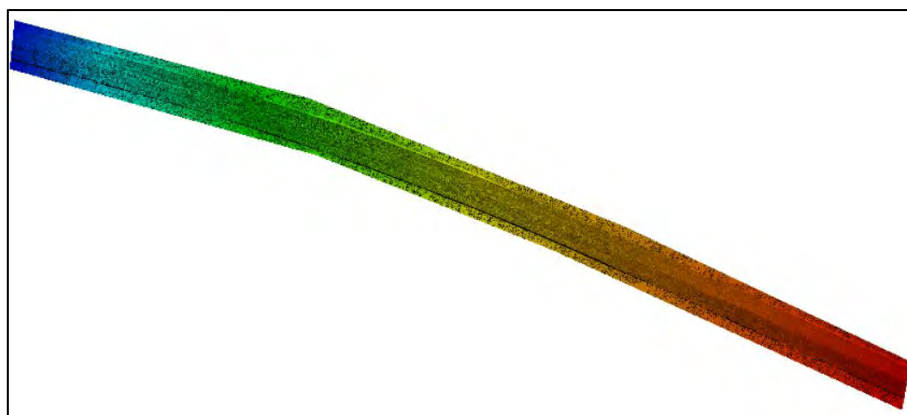
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 69

Ortofoto y MDS del tramo 1 (12 m)



(a)

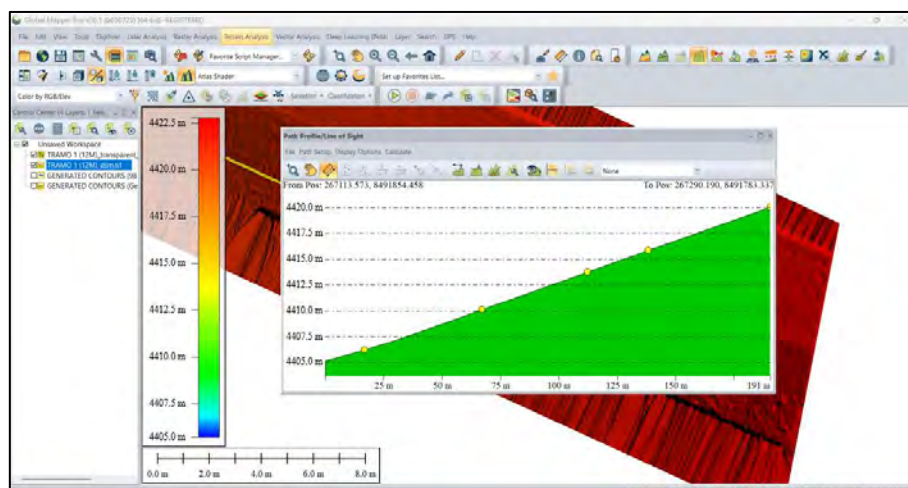


(b)

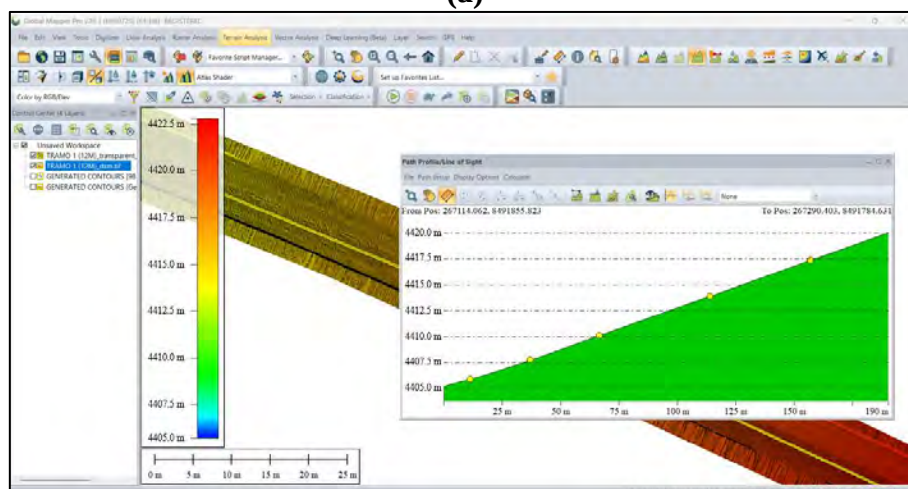
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 70

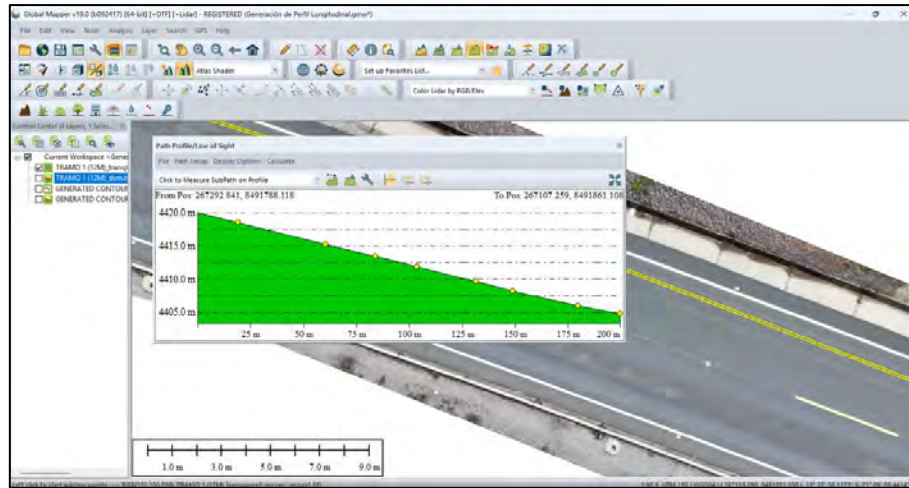
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



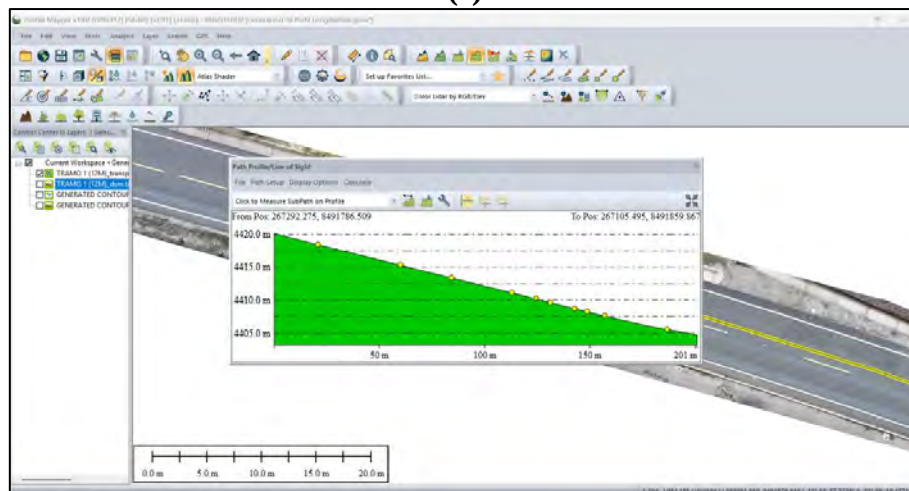
(a)



(b)



(c)

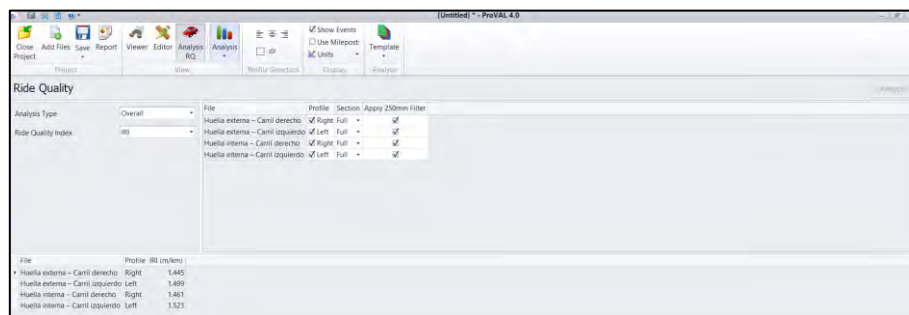


(d)

Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 71

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 88+800



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 41

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 1 (12m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.45	1.51	1.48

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.17. Tramo 2 – Altura de vuelo: 12m (vuelo manual)

Tabla 42

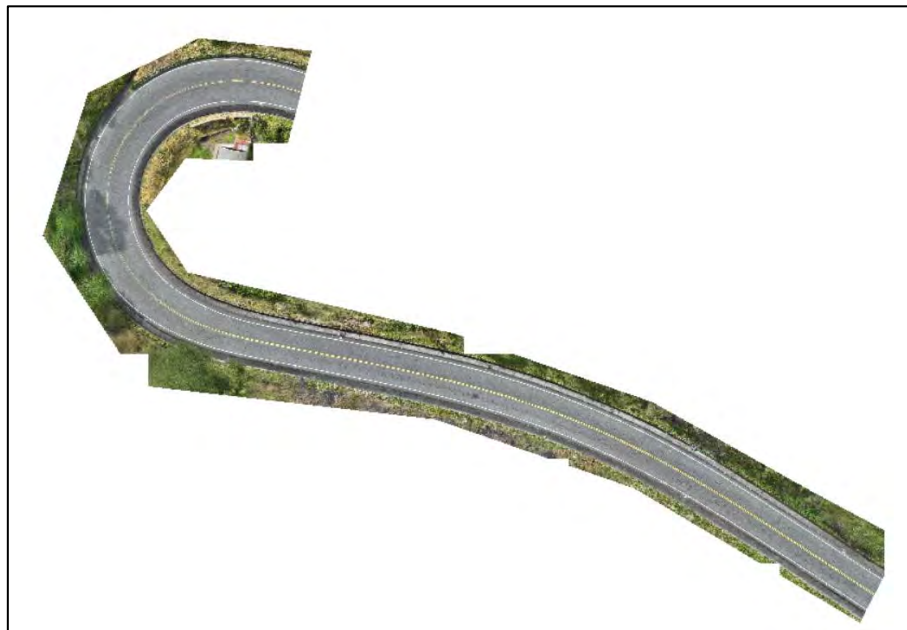
Parámetros de vuelo - Tramo 2 (12m)

Altura de vuelo	12m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.39 cm/px
Imágenes procesadas	1123

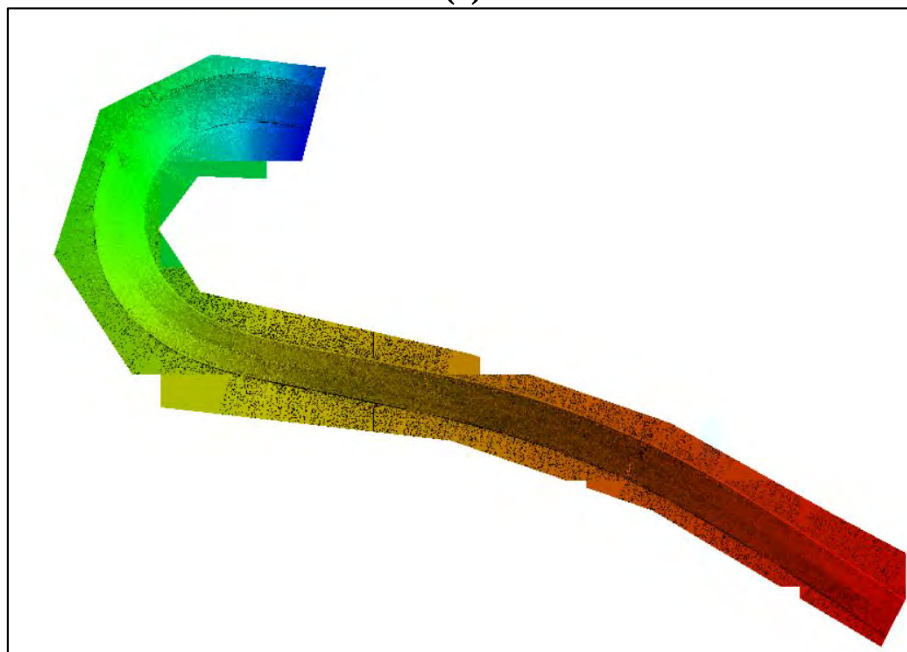
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 72

Ortofoto y MDS del tramo 2 (12 m)



(a)

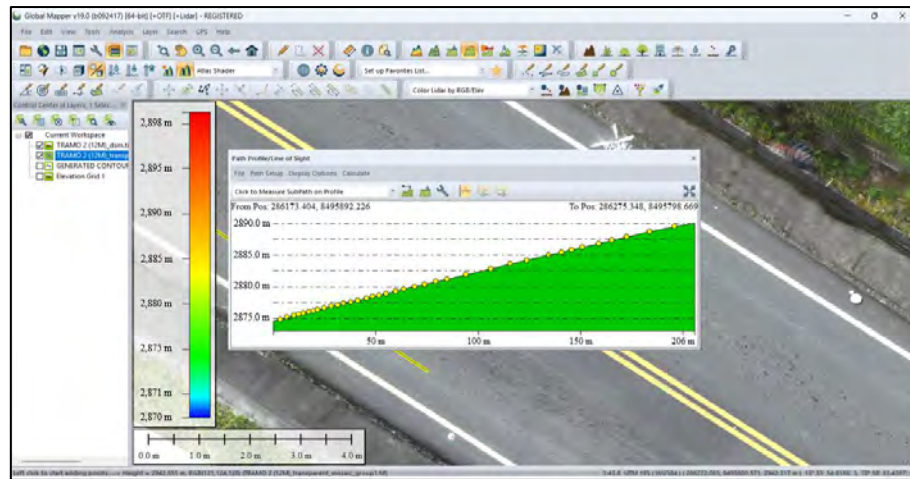


(b)

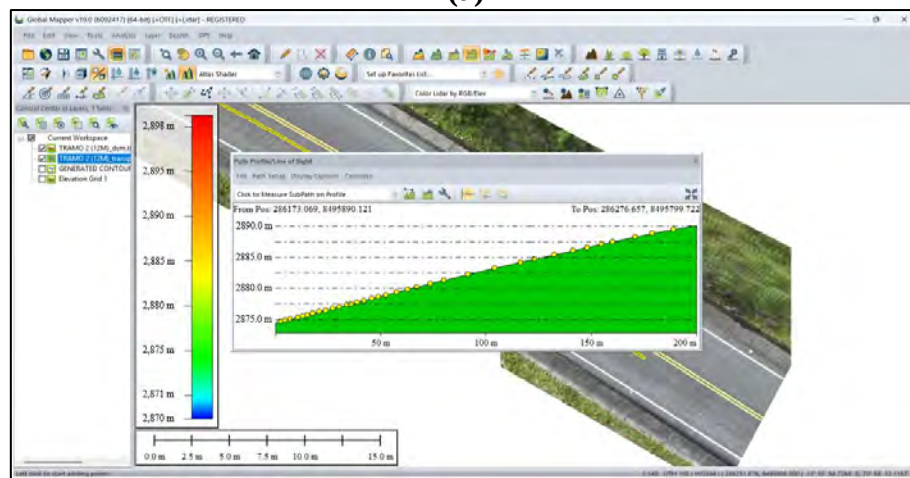
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 73

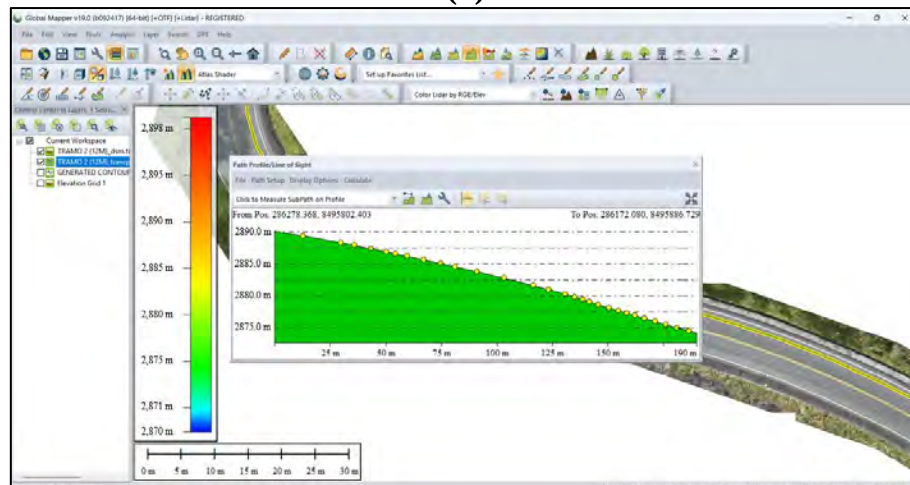
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



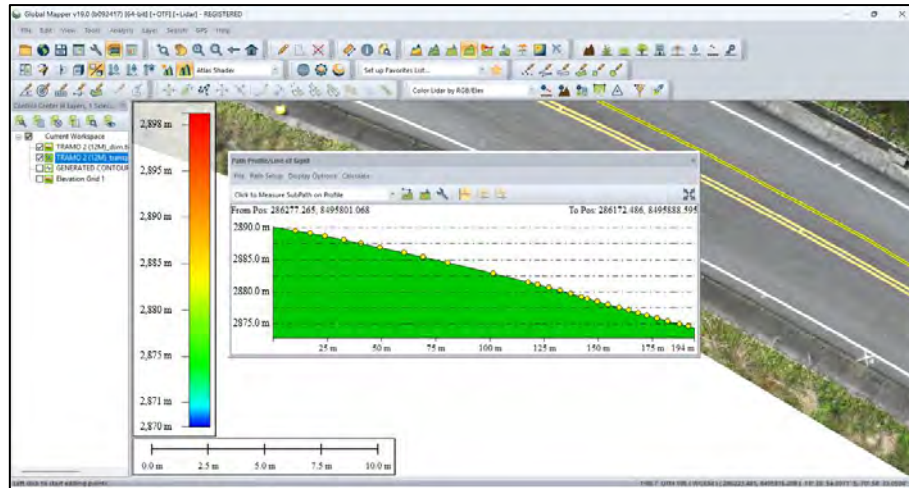
(a)



(b)



(c)

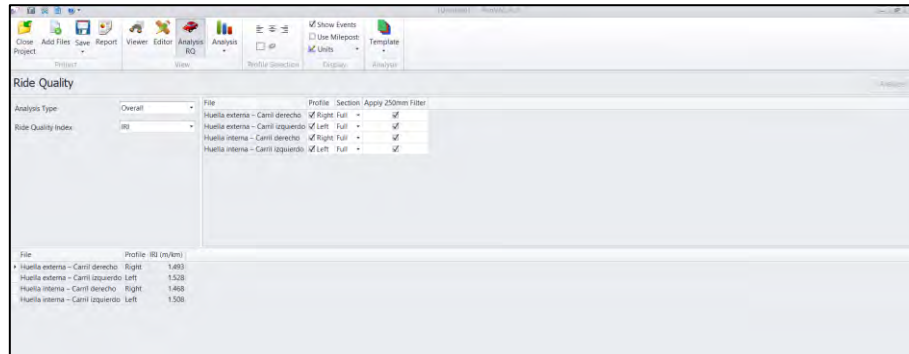


(d)

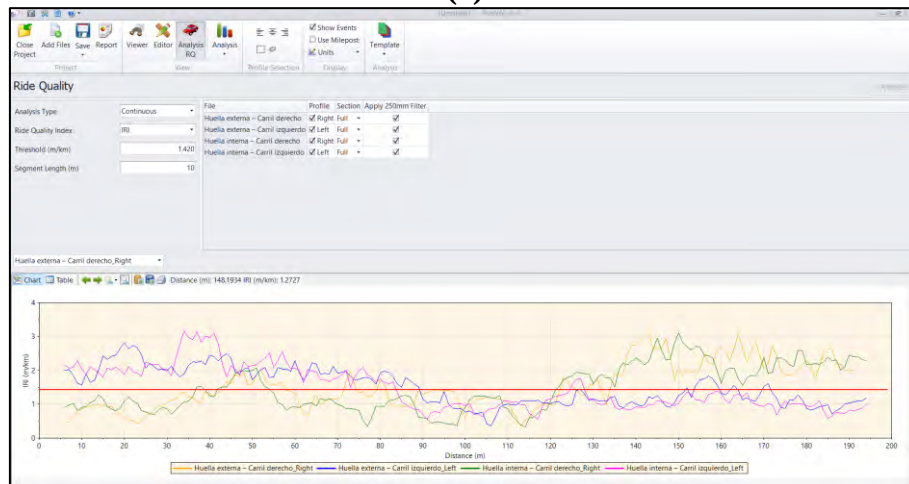
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 74

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 128+400



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 43

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 2 (12m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.51	1.49	1.50

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.18. Tramo 3 – Altura de vuelo: 12m (vuelo manual)

Tabla 44

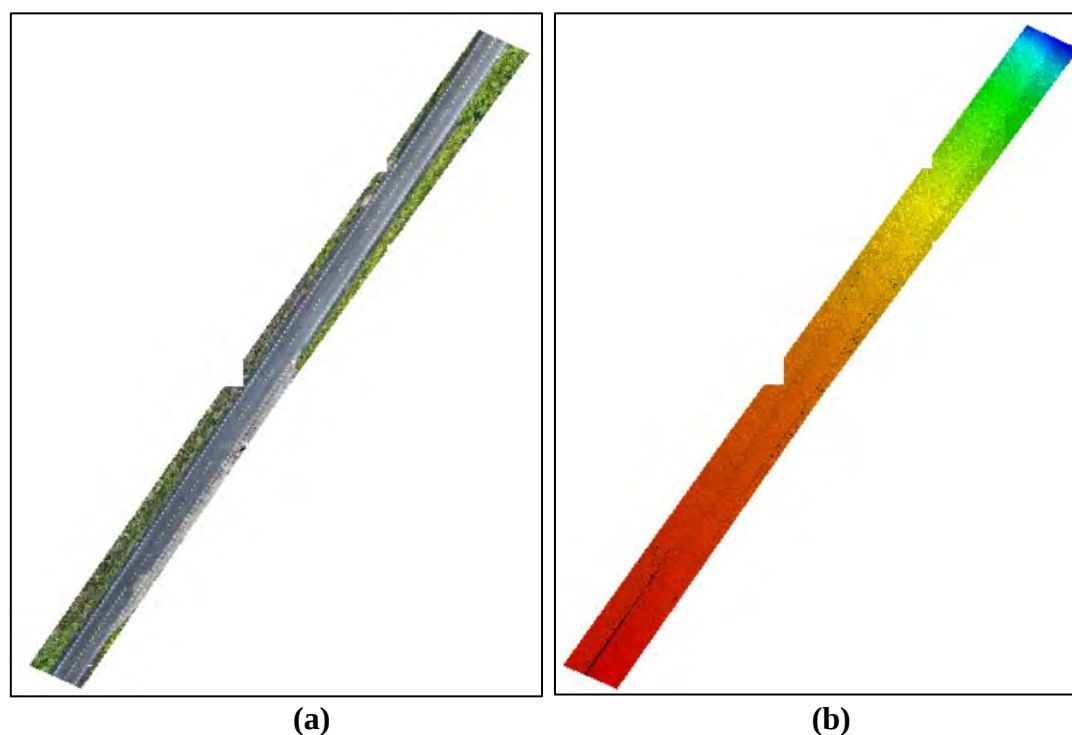
Parámetros de vuelo - Tramo 3 (12m)

Altura de vuelo	12m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.39 cm/px
Imágenes procesadas	464

Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 75

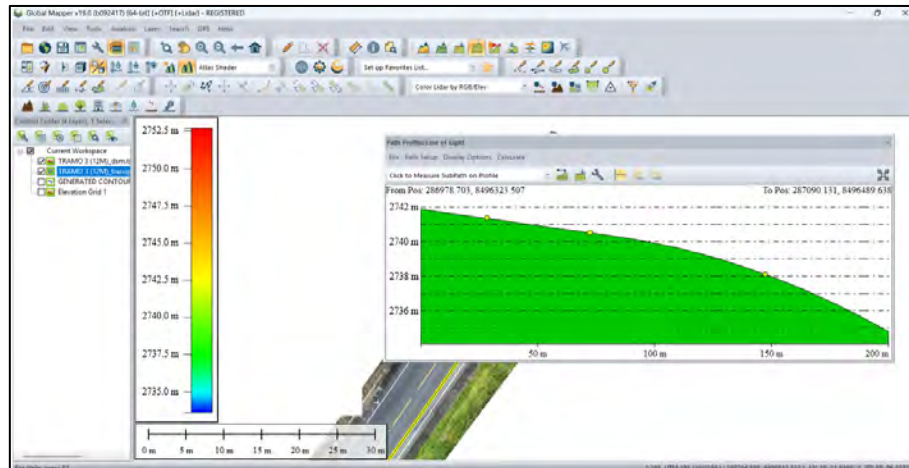
Ortofoto y MDS del tramo 3 (12 m)



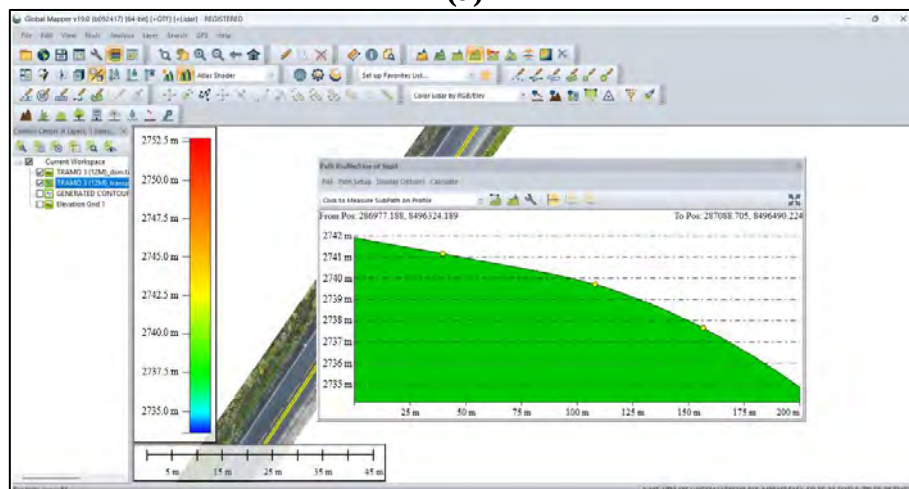
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 76

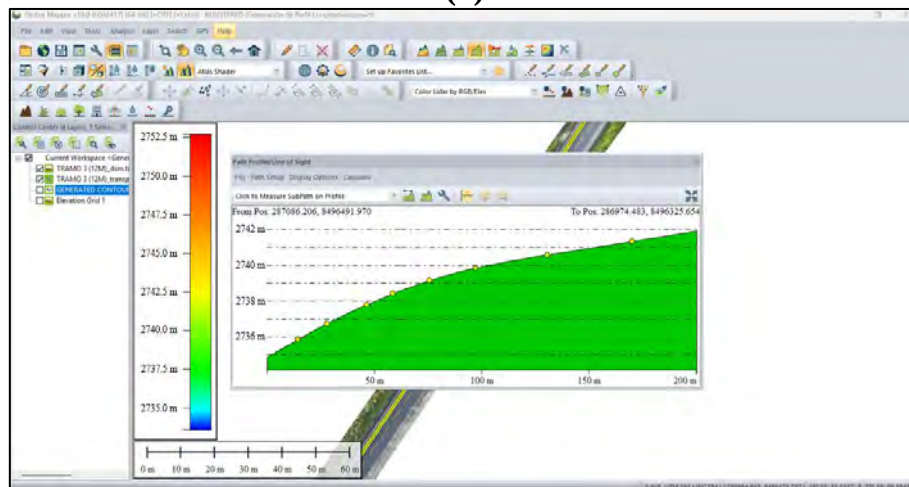
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



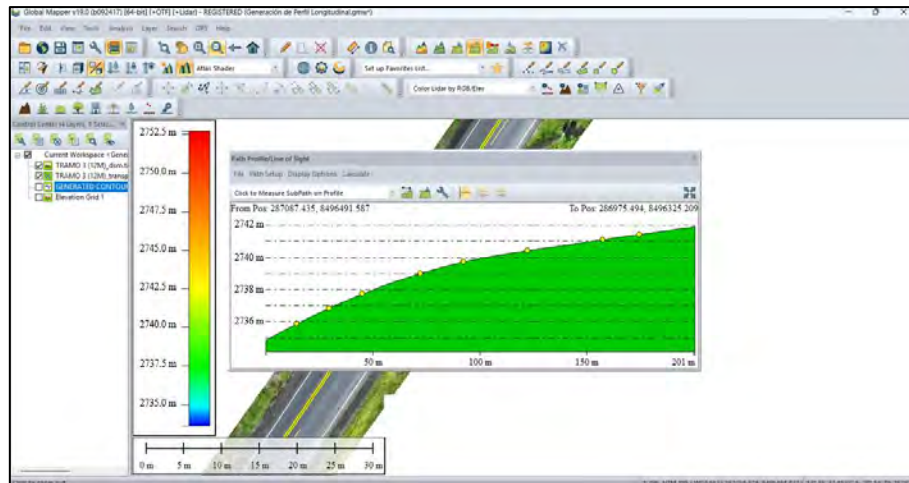
(a)



(b)



(c)

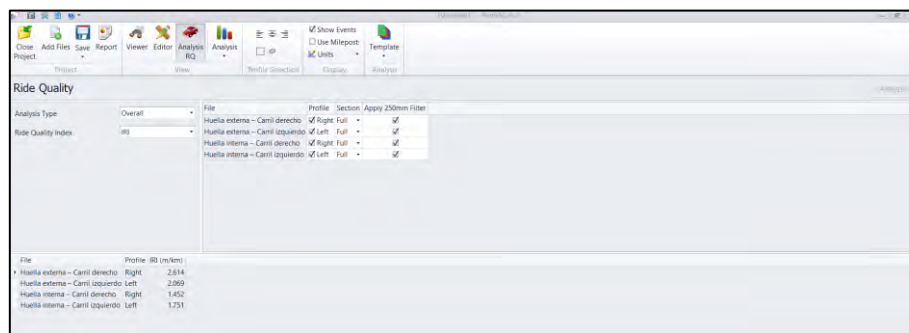


(d)

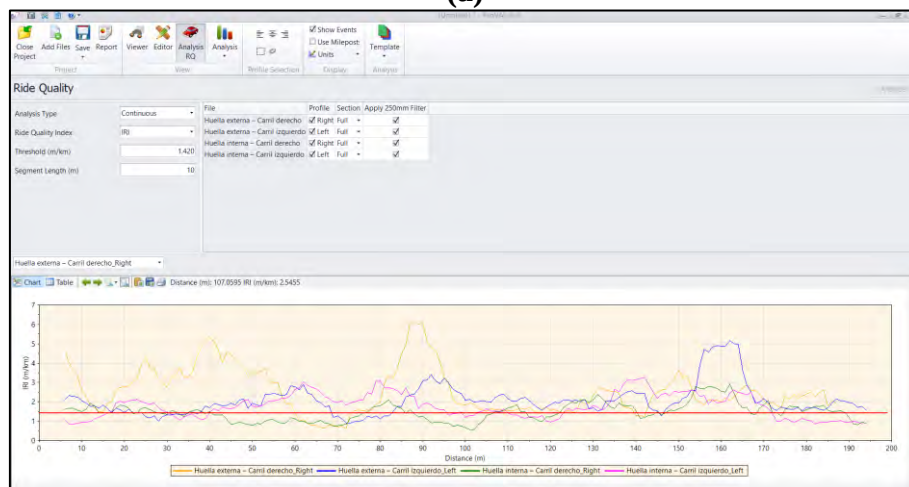
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 77

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 131+100



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 45

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 3 (12m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	2.03	1.92	1.98

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.19. Tramo 5 – Altura de vuelo: 12m (vuelo manual)

Tabla 46

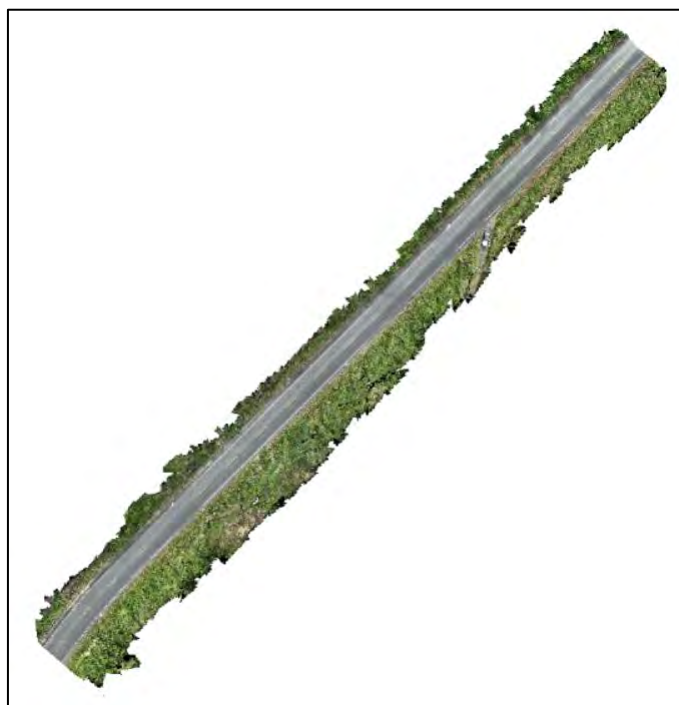
Parámetros de vuelo - Tramo 5 (12m)

Altura de vuelo	12m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.37 cm/px
Imágenes procesadas	312

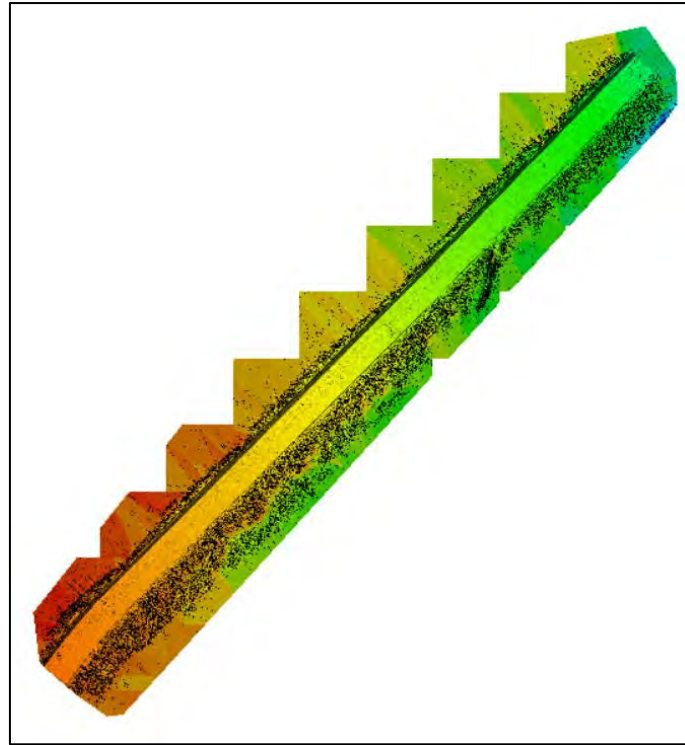
Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 78

Ortofoto y MDS del tramo 5 (12 m)



(a)

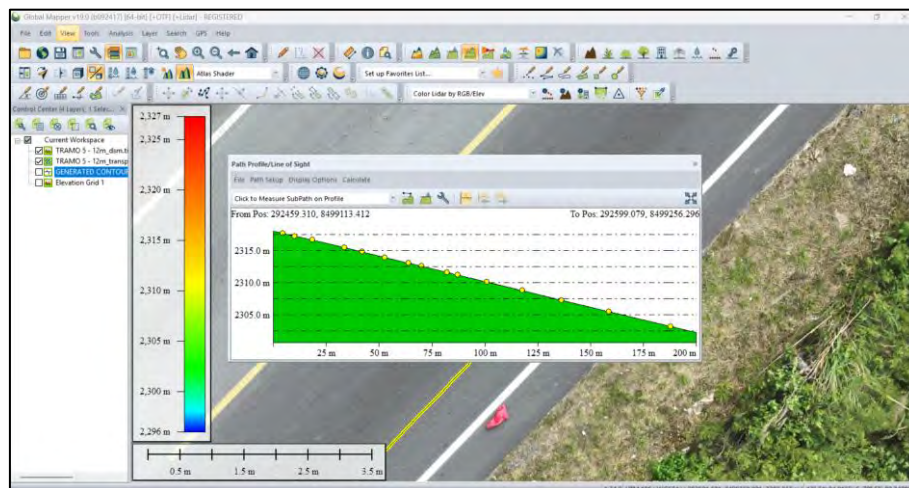


(b)

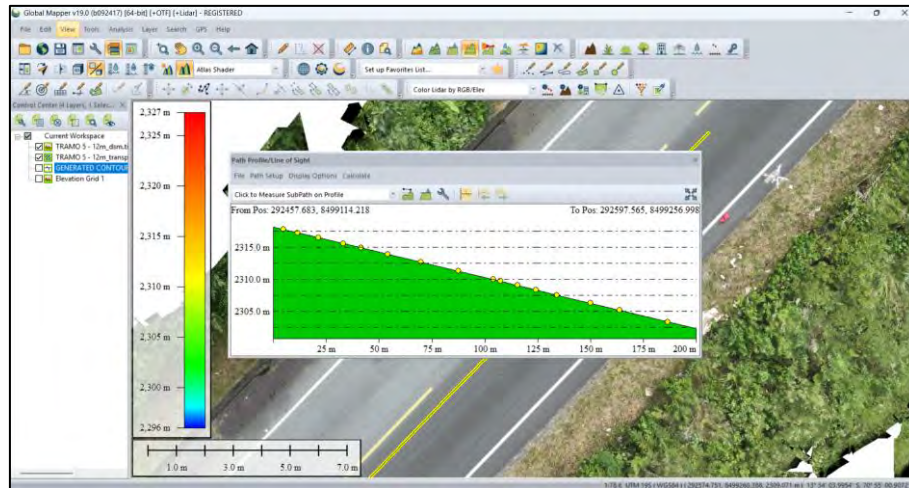
Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

Figura 79

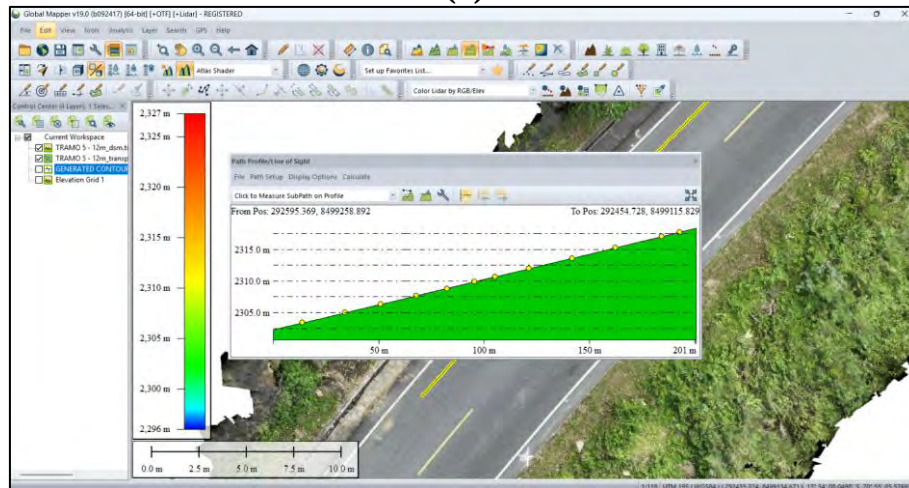
Perfil longitudinal extraído con Path Profile



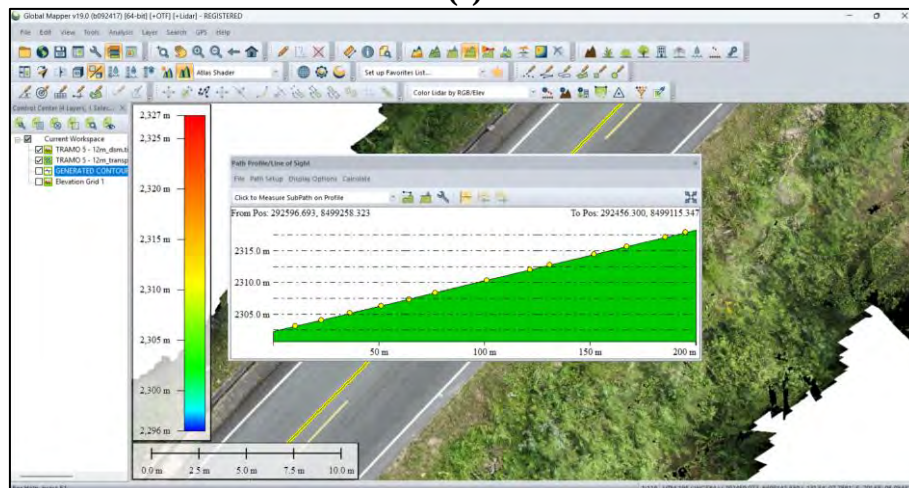
(a)



(b)



(c)

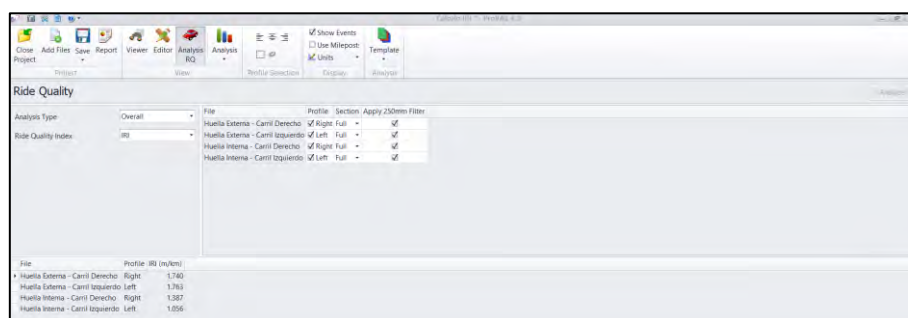


(d)

Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 80

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 138+900



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 47

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 5 (12m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.56	1.41	1.49

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

3.6.2.3.20. Tramo 6 – Altura de vuelo: 12m (vuelo manual)

Tabla 48

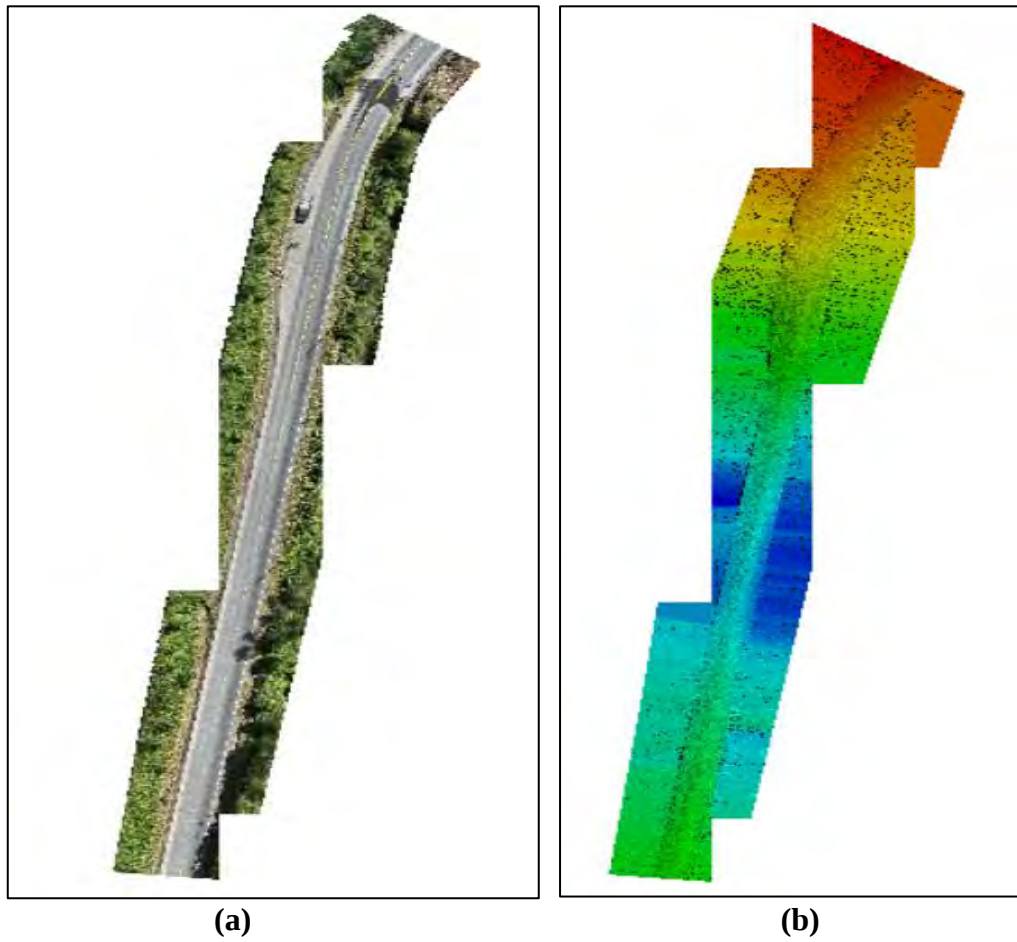
Parámetros de vuelo - Tramo 6 (12m)

Altura de vuelo	12m
Modo de operación	Manual
Traslape frontal/lateral	80% - 70%
GSD	0.39 cm/px
Imágenes procesadas	345

Nota. Datos correspondientes al plan de vuelo.

Figura 81

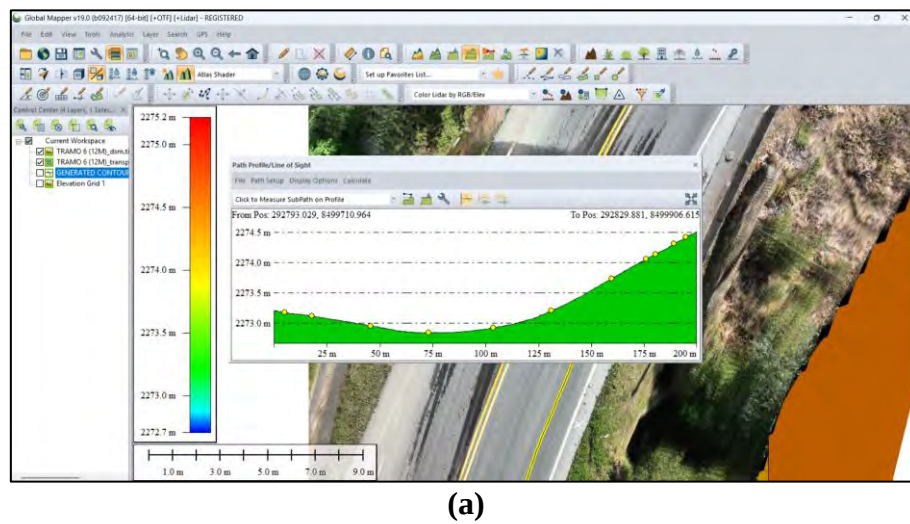
Ortofoto y MDS del tramo 6 (12 m)

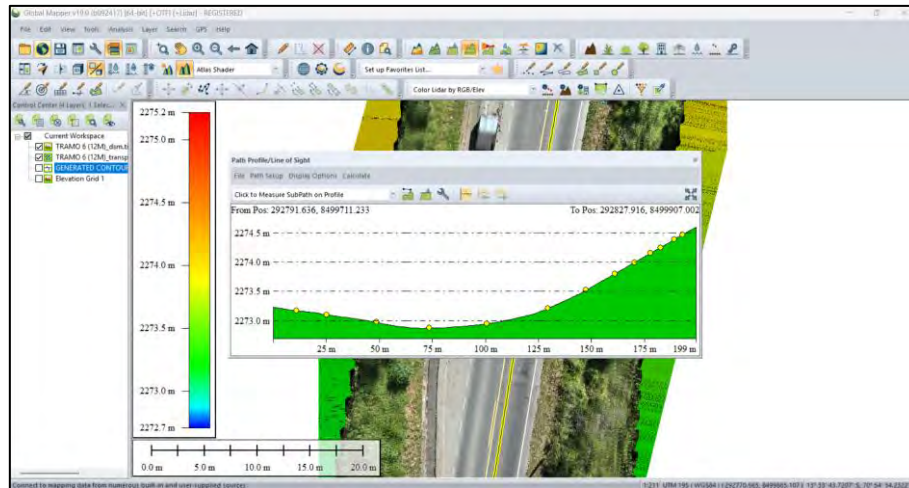


Nota. a) Ortofoto y b) Modelo digital de Superficie (MDS).

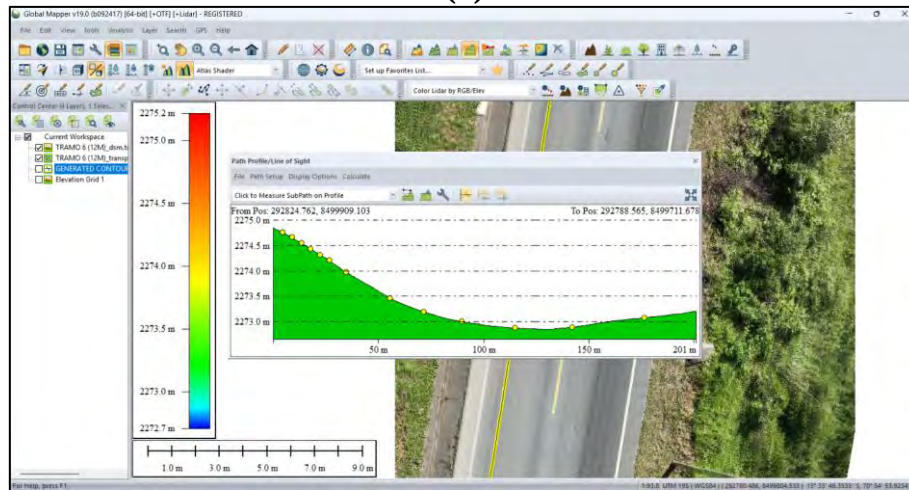
Figura 82

Perfil longitudinal extraído con Path Profile

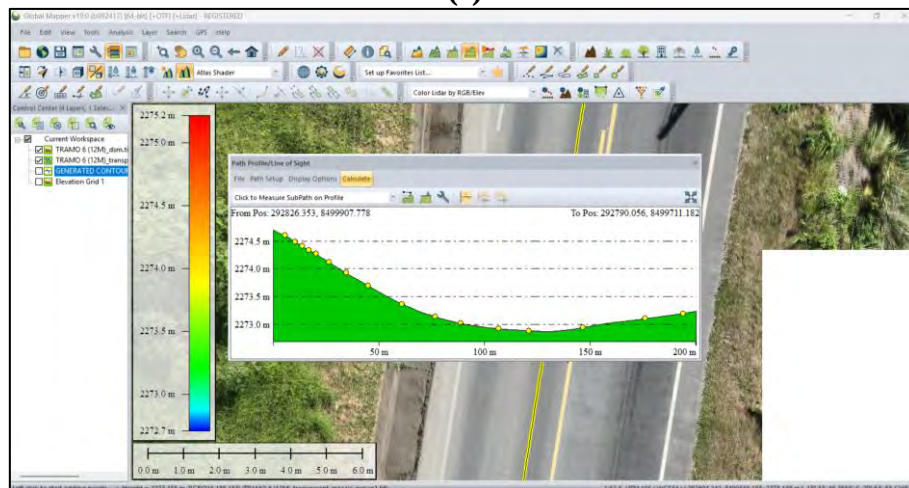




(b)



(c)

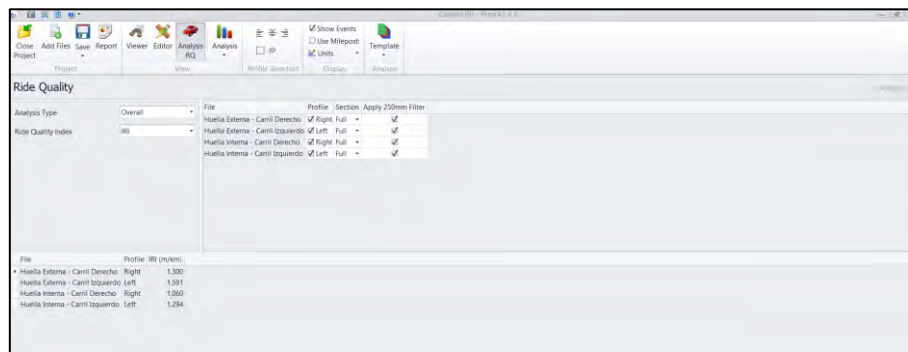


(d)

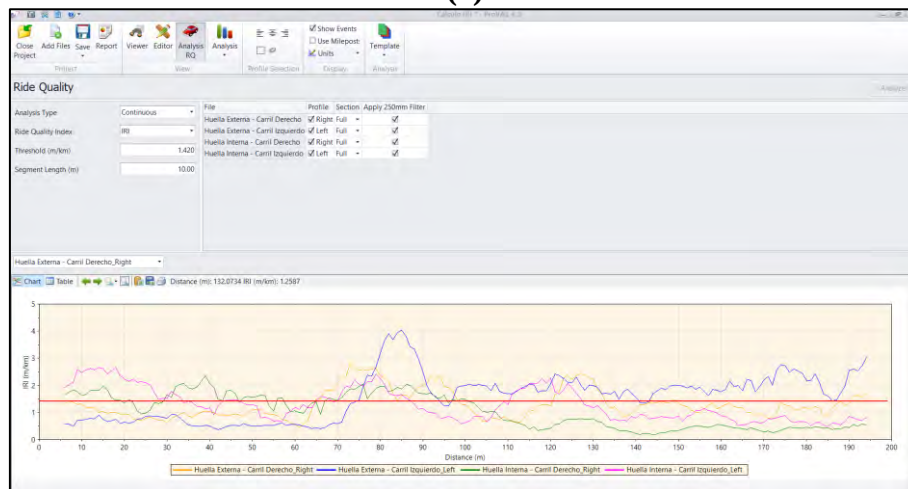
Nota. a) Huella externa – Carril derecho b) Huella interna – Carril derecho c) Huella externa – Carril izquierdo d) Huella interna – Carril izquierdo.

Figura 83

Cálculo de IRI en el Software PROVAL – Km 139+600



(a)



(b)

Nota. a) Análisis General b) Análisis Continuo.

Tabla 49

Registro del IRI por carril y calzada – Tramo 6 (12m)

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.18	1.44	1.31

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

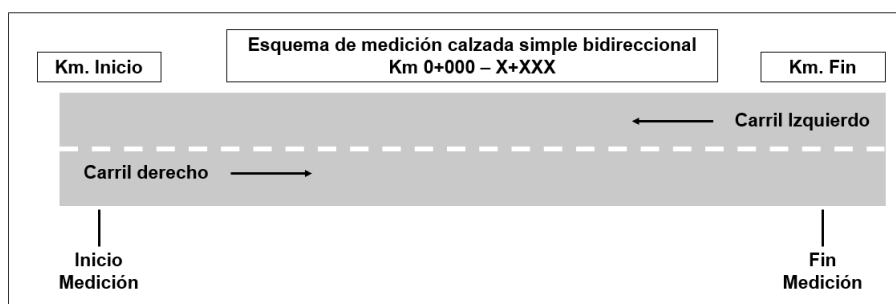
3.6.3. Medición con Perfilómetro Láser

Con el propósito de llevar a cabo un análisis comparativo, se empleó un Perfilómetro Láser de Clase 1, un instrumento de alta precisión que permite medir el perfil longitudinal de la calzada para obtener el Índice de Regularidad Superficial (IRI).

Las mediciones se realizaron en los mismos tramos de la medición con dron 1 al 6 descritos anteriormente. El registro de datos fue gestionado mediante el software especializado del fabricante, Dynatest, que permite la recolección continua del perfil longitudinal de la vía y el procesamiento automático del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Figura 84

Esquema de medición Perfilómetro Láser



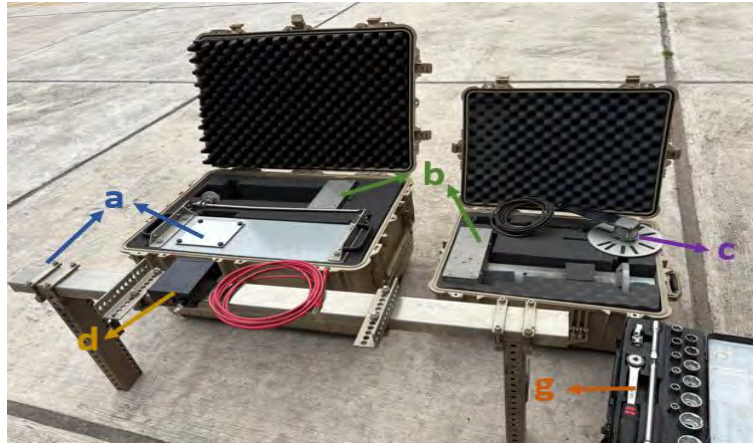
Nota. Esquema de medición calzada simple bidireccional.

Para la ejecución de las lecturas se inició con el armado del Perfilómetro láser marca Dynatest 5051, cuyos componentes se detallan a continuación:

- a) Soporte / Montaje vehicular
- b) Sensores láser
- c) Odómetro
- d) Caja conectora
- e) Computadora
- f) Software especializado
- g) Herramientas manuales

Figura 85

Perfilómetro láser Dynatest 5051



Nota. Componentes del perfilómetro láser.

Para el armado del equipo, se comenzó con la instalación del parachoques en la parte posterior de la camioneta, donde se colocó el módulo Portable RSP, utilizando un nivel de mano para asegurar su correcta alineación. Posteriormente, se procedió a instalar los sensores láser en ambos extremos del módulo, destinados a la lectura de la huella de rodadura derecha e izquierda. A continuación, se instaló el odómetro en una de las ruedas del vehículo, procurando ubicarlo lo más cercano posible al eje, a fin de garantizar una medición precisa de la distancia recorrida.

Finalmente, se procede a realizar el cableado del odómetro y de los sensores láser hacia la computadora portátil. Los sensores instalados son: un sensor fotográfico y un sensor de activación automática, que permite iniciar las lecturas mediante la detección de placas de aluminio colocadas en el suelo. Para facilitar la conexión entre el equipo y la laptop, se ubicó la caja conectora dentro de la cabina del vehículo, la cual actúa como interfaz central para la transmisión de datos y control del sistema.

Figura 86

Instalación de Sensores láser y Odómetro



Nota. Instalación de componentes y cableado del perfilómetro láser.

Figura 87

Recolección de datos con el perfilómetro láser



Nota. Lectura de datos en el software.

Una vez completada la instalación del equipo, se inicia el programa en la computadora portátil y se procede a la creación de una nueva carpeta para el almacenamiento de datos. En esta etapa, se ingresan parámetros esenciales como el kilómetro de inicio de la lectura y el sentido de circulación. Posteriormente, se da inicio al proceso de lectura, el cual se mantiene

activo durante el recorrido y finaliza mediante la acción “Parar”, que detiene la adquisición de datos.

Algunas consideraciones importantes respecto al uso del programa son las siguientes: el software cuenta con comandos específicos que permiten registrar los defectos observados en la vía durante la toma de datos, como se muestra en la Figura 88. Asimismo, la velocidad mínima de operación debe ser de 15 km/h, con un límite máximo de 80 km/h. Para el presente estudio, se mantuvo una velocidad constante de 50 km/h, a fin de asegurar la estabilidad de las mediciones. Los datos generados se exportaron en formato .txt, los cuales fueron posteriormente analizados mediante hojas de cálculo en Excel.

Figura 88

Configuración de eventos en la vía - Dynatest

Key	Event
1	Desvio
B	Baches
C	Cambio de Carril
D	Parada
F	Falla geologica
G	Inicio/Fin GVA
M	Pista Mojada
N	Inicio/Fin Baden
O	Inicio/Fin Obras
P	Inicio/Fin Puente
Q	Una capa Micro
S	Pista Sucia
SW1	Pendant Switch no 1
SW2	Pendant Switch no 2
SW3	Pendant Switch no 3
SW4	Pendant Switch no 4
T	Inicio/Fin slurry
U	Inicio/Fin Zonz Urbana
VH	Speed High
VL	Speed Low
VN	Speed Normal
X	Derrumbe
Z	Sin Micro
*	

Nota. Comandos para registrar los defectos observados en la vía. **Fuente:** Software Dynatest.

3.6.3.1. Cálculo y obtención del IRI

Se realizó la recolección continua de datos con el perfilómetro láser, abarcando la totalidad de cada tramo (200m). Con el software del equipo se registraron las irregularidades superficiales de ambas huellas (izquierda y derecha), obteniendo la media de Rutting (profundidad media de huella) a intervalos de 1 metro. Asimismo, se calcularon los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en intervalos de 10 metros, los cuales fueron exportados en archivos de salida en formato .txt. En base a los datos de salida, se calcularon los valores promedio del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para cada huella por separado, y posteriormente se determinó el IRI promedio correspondiente al tramo evaluado. A continuación, se presentan los resultados agrupados de la evaluación del IRI.

Tabla 50

Resultados IRI Tramo 1: Km 88+800 - 89+000

Progresiva		IRI (m/km)			
Inicial	Final	Carril derecho		Carril izquierdo	
		Huella izquierda	Huella derecha	Huella izquierda	Huella derecha
88+800	88+810	1.62	2.55	1.40	1.59
88+810	88+820	1.73	2.58	1.18	1.55
88+820	88+830	1.40	2.41	1.08	1.21
88+830	88+840	1.20	1.13	0.73	1.07
88+840	88+850	1.09	1.93	1.12	1.10
88+850	88+860	1.25	2.55	0.86	1.37
88+860	88+870	1.07	1.69	0.85	1.23
88+870	88+880	0.92	1.37	1.23	1.58
88+880	88+890	1.05	1.15	1.43	2.21
88+890	88+900	0.86	0.83	1.18	1.33
88+900	88+910	2.09	1.25	2.05	4.09
88+910	88+920	1.00	1.02	1.71	2.54
88+920	88+930	1.44	1.75	0.97	1.61
88+930	88+940	0.84	1.38	1.17	1.37
88+940	88+950	0.89	0.77	0.82	1.24
88+950	88+960	1.26	1.23	1.29	1.13
88+960	88+970	1.10	1.30	1.10	1.14
88+970	88+980	1.91	1.64	1.60	2.01
88+980	88+990	0.78	1.29	1.59	1.85
88+990	89+000	0.65	1.53	2.40	2.16
Promedio		1.21	1.57	1.29	1.67

Nota. Valores de IRI calculados en intervalos de 10m.

Tabla 51

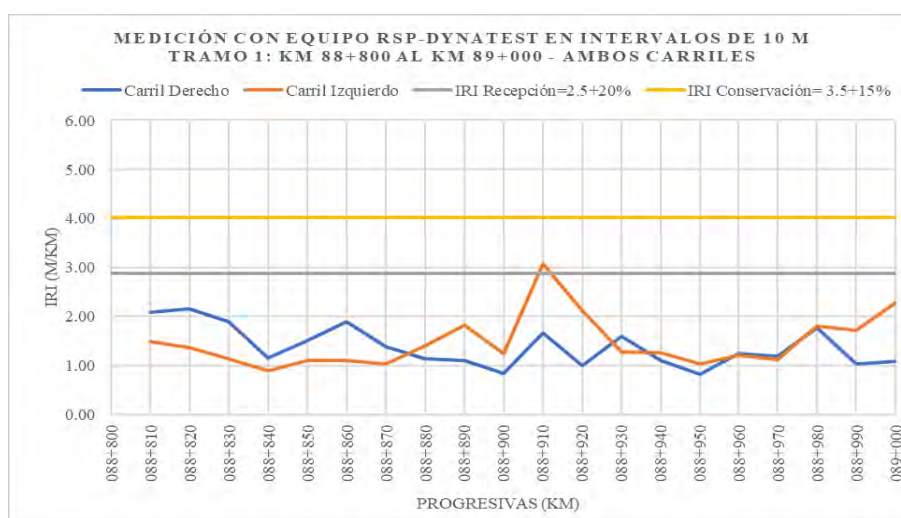
Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 1

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.39	1.48	1.43

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

Figura 89

Representación gráfica del IRI - Tramo 1



Nota. Se presentan gráficamente los valores obtenidos de IRI.

Tabla 52

Resultados IRI Tramo 2: Km 128+400 - 128+600

Progresiva		IRI (m/km)			
Inicial	Final	Carril derecho		Carril izquierdo	
		Huella izquierda	Huella derecha	Huella izquierda	Huella derecha
128+400	128+410	0.90	0.90	1.53	1.10
128+410	128+420	1.69	0.76	1.24	1.57
128+420	128+430	1.44	1.05	2.68	2.72
128+430	128+440	1.00	1.17	1.25	1.58
128+440	128+450	0.90	1.88	1.73	0.94
128+450	128+460	2.65	3.34	1.42	0.93
128+460	128+470	1.66	1.83	0.83	1.33
128+470	128+480	1.52	1.36	1.29	0.97
128+480	128+490	0.88	1.44	1.20	0.95
128+490	128+500	1.01	1.03	1.01	1.56
128+500	128+510	0.99	0.82	0.78	0.89
128+510	128+520	0.98	1.16	0.73	0.52
128+520	128+530	1.10	1.05	0.84	1.30
128+530	128+540	1.09	1.54	0.99	1.29
128+540	128+550	2.03	1.64	1.46	1.40
128+550	128+560	2.27	2.09	2.33	1.92
128+560	128+570	1.51	1.49	1.64	1.66
128+570	128+580	2.23	2.10	1.74	2.02
128+580	128+590	2.45	1.49	2.04	2.18
128+590	128+600	1.60	1.32	1.84	1.69
Promedio		1.50	1.47	1.43	1.43

Nota. Valores de IRI calculados en intervalos de 10m.

Tabla 53

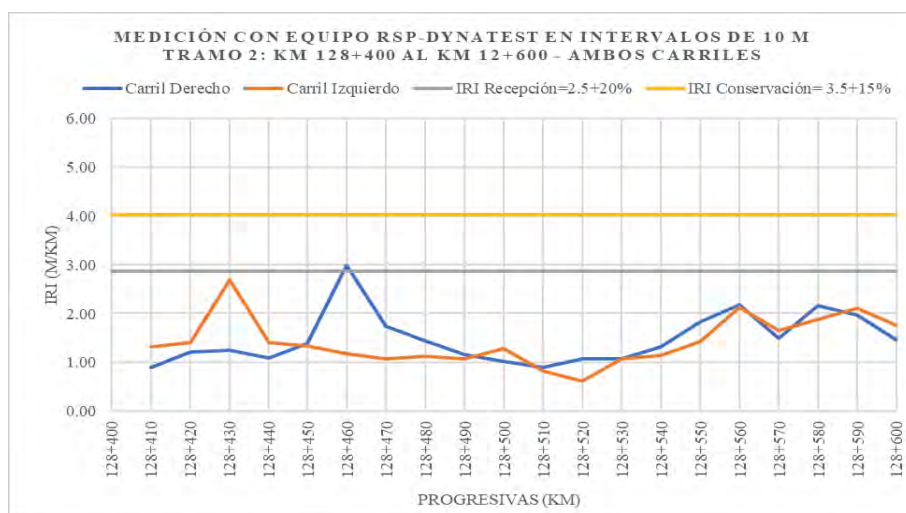
Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 2

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.48	1.43	1.46

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

Figura 90

Representación gráfica del IRI - Tramo 2



Nota. Se presentan gráficamente los valores obtenidos de IRI.

Tabla 54

Resultados IRI Tramo 3: Km 131+100 - 131+300

Progresiva		IRI (m/km)			
Inicial	Final	Carril derecho		Carril izquierdo	
		Huella izquierda	Huella derecha	Huella izquierda	Huella derecha
131+100	131+110	1.64	2.58	1.54	1.65
131+110	131+120	1.70	5.53	1.89	3.19
131+120	131+130	2.31	2.72	1.15	1.89
131+130	131+140	0.86	2.08	1.94	1.30
131+140	131+150	1.51	2.56	2.57	1.42
131+150	131+160	1.58	2.69	1.32	1.14
131+160	131+170	1.28	2.01	1.71	1.14
131+170	131+180	1.26	1.12	1.94	1.16
131+180	131+190	1.07	1.64	1.36	1.36
131+190	131+200	1.54	1.85	1.82	1.54
131+200	131+210	1.09	1.49	2.44	2.03
131+210	131+220	0.98	1.47	2.01	2.50
131+220	131+230	1.07	1.94	2.13	2.16
131+230	131+240	1.38	2.00	2.82	1.65
131+240	131+250	1.82	2.11	1.41	1.14
131+250	131+260	1.19	1.94	1.38	1.19
131+260	131+270	1.47	2.05	1.66	2.31
131+270	131+280	2.82	1.89	4.23	3.34
131+280	131+290	2.36	2.35	3.71	2.24
131+290	131+300	2.83	3.86	1.03	1.38
Promedio		1.59	2.29	2.00	1.79

Nota. Valores de IRI calculados en intervalos de 10m.

Tabla 55

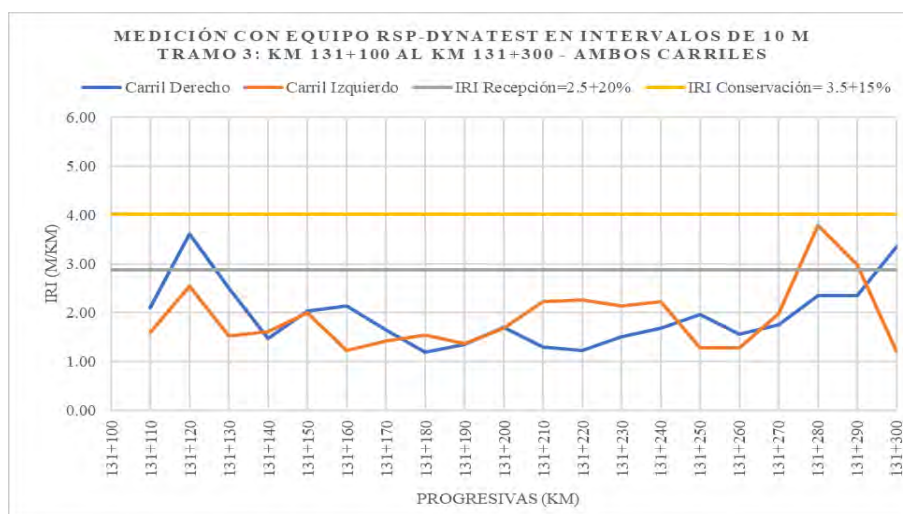
Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 3

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.94	1.89	1.92

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

Figura 91

Representación gráfica del IRI - Tramo 3



Nota. Se presentan gráficamente los valores obtenidos de IRI.

Tabla 56

Resultados IRI Tramo 4: Km 134+800 - 135+000

Progresiva		IRI (m/km)			
Inicial	Final	Carril derecho		Carril izquierdo	
		Huella izquierda	Huella derecha	Huella izquierda	Huella derecha
134+800	134+810	1.92	1.52	0.69	0.98
134+810	134+820	1.93	0.79	0.86	1.02
134+820	134+830	1.34	1.08	0.90	1.93
134+830	134+840	0.75	1.36	1.47	2.77
134+840	134+850	1.85	2.62	2.43	2.02
134+850	134+860	1.71	1.84	2.14	2.37
134+860	134+870	1.89	3.38	2.13	2.68
134+870	134+880	2.90	4.31	2.79	2.11
134+880	134+890	2.20	2.10	1.85	1.74
134+890	134+900	1.64	2.11	0.94	1.30
134+900	134+910	3.40	3.57	0.94	0.83
134+910	134+920	2.02	2.03	2.41	2.59
134+920	134+930	1.08	1.05	2.11	1.64
134+930	134+940	1.24	1.40	1.18	1.13
134+940	134+950	2.14	4.77	1.05	0.97
134+950	134+960	2.10	2.45	1.03	1.65
134+960	134+970	1.43	1.61	0.70	0.60
134+970	134+980	0.74	1.31	1.02	1.03
134+980	134+990	0.63	0.82	1.12	1.34
134+990	135+000	0.40	1.14	1.60	1.64
Promedio		1.67	2.06	1.47	1.62

Nota. Valores de IRI calculados en intervalos de 10m.

Tabla 57

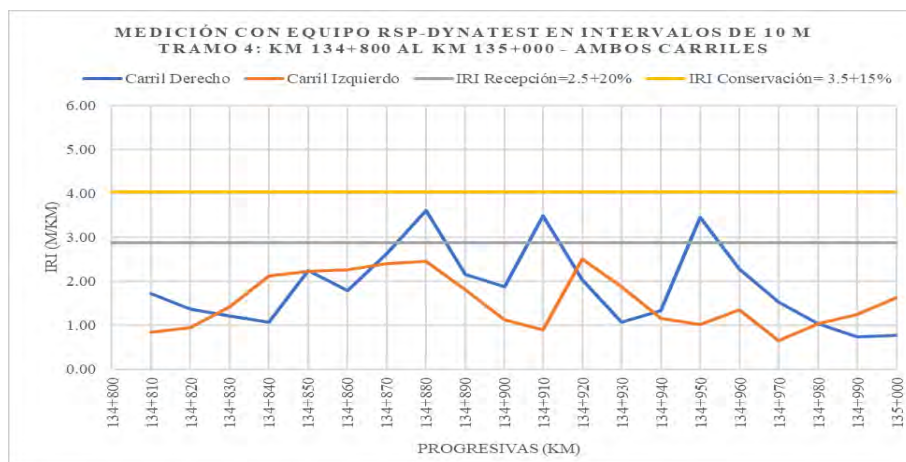
Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 4

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.86	1.54	1.70

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

Figura 92

Representación gráfica del IRI - Tramo 4



Nota. Se presentan gráficamente los valores obtenidos de IRI.

Tabla 58

Resultados IRI Tramo 5: Km 138+900 – 139+100

Progresiva		IRI (m/km)			
Inicial	Final	Carril derecho		Carril izquierdo	
		Huella izquierda	Huella derecha	Huella izquierda	Huella derecha
138+900	138+910	1.46	2.91	1.44	1.98
138+910	138+920	1.57	2.39	0.84	0.94
138+920	138+930	2.67	3.08	1.33	2.72
138+930	138+940	1.01	0.90	0.89	2.05
138+940	138+950	0.64	1.25	1.47	2.22
138+950	138+960	0.93	1.54	1.05	1.09
138+960	138+970	1.54	1.40	1.10	1.67
138+970	138+980	0.81	1.30	1.06	2.01
138+980	138+990	0.69	1.51	1.30	2.15
138+990	139+000	0.58	0.58	0.94	2.49
139+000	139+010	1.99	1.24	0.92	2.12
139+010	139+020	1.59	1.73	0.84	1.22
139+020	139+030	0.70	1.21	0.63	1.55
139+030	139+040	0.66	1.13	0.92	1.53
139+040	139+050	1.36	1.22	0.76	2.02
139+050	139+060	3.77	4.54	1.04	0.93
139+060	139+070	1.77	2.05	0.83	1.21
139+070	139+080	1.02	1.00	1.08	1.66
139+080	139+090	1.51	1.42	0.79	1.42
139+090	139+100	1.11	1.72	1.11	1.82
Promedio		1.37	1.71	1.02	1.74

Nota. Valores de IRI calculados en intervalos de 10m.

Tabla 59

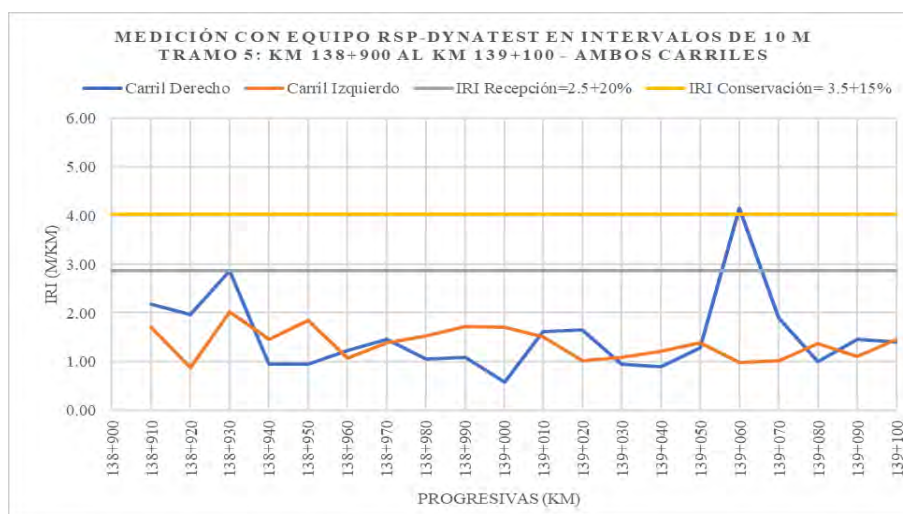
Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 5

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.54	1.38	1.46

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

Figura 93

Representación gráfica del IRI - Tramo 5



Nota. Se presentan gráficamente los valores obtenidos de IRI.

Tabla 60

Resultados IRI Tramo 6: Km 139+600 - 139+800

Progresiva		IRI (m/km)			
Inicial	Final	Carril derecho		Carril izquierdo	
		Huella izquierda	Huella derecha	Huella izquierda	Huella derecha
139+600	139+610	0.65	1.13	0.66	1.19
139+610	139+620	0.87	0.87	0.71	1.20
139+620	139+630	0.50	1.05	1.09	1.47
139+630	139+640	0.89	1.07	0.76	0.91
139+640	139+650	1.03	1.22	0.60	1.01
139+650	139+660	0.90	1.08	1.20	3.21
139+660	139+670	0.84	0.97	0.75	1.40
139+670	139+680	0.71	0.82	0.69	0.89
139+680	139+690	0.76	1.07	2.25	3.07
139+690	139+700	0.83	1.24	0.87	1.91
139+700	139+710	0.64	0.94	1.21	1.48
139+710	139+720	0.97	1.18	1.51	1.07
139+720	139+730	1.07	1.21	0.89	1.08
139+730	139+740	0.73	1.11	1.59	1.77
139+740	139+750	0.69	0.54	2.13	2.97
139+750	139+760	0.92	1.07	2.24	1.75
139+760	139+770	3.62	4.03	1.87	1.13
139+770	139+780	1.30	1.87	0.77	0.99
139+780	139+790	2.09	1.94	1.87	1.34
139+790	139+800	0.66	1.27	2.03	1.40
Promedio		1.03	1.28	1.28	1.56

Nota. Valores de IRI calculados en intervalos de 10m.

Tabla 61

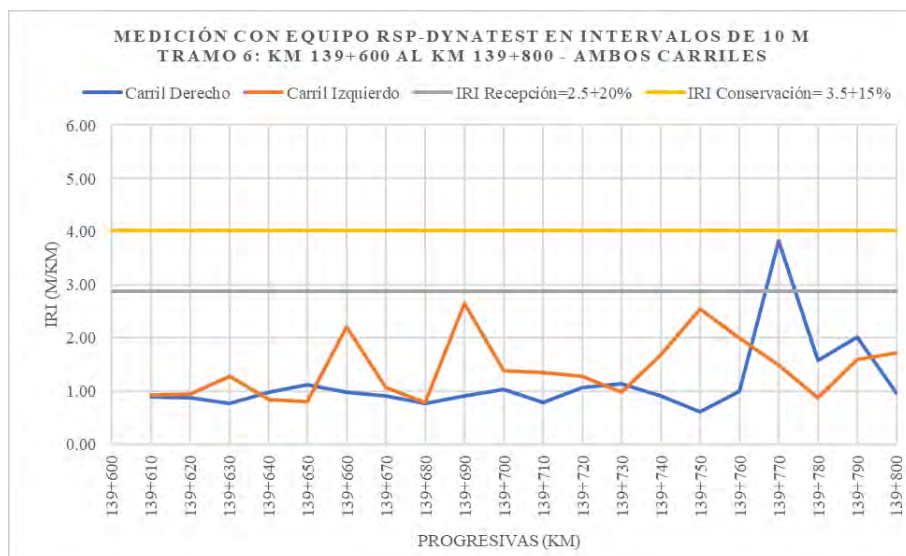
Registro del IRI por carril y calzada - Tramo 6

Elementos	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Calzada
IRI (m/km)	1.16	1.42	1.29

Nota. El IRI de la calzada corresponde al promedio de los dos carriles.

Figura 94

Representación gráfica del IRI - Tramo 6



Nota. Se presentan gráficamente los valores obtenidos de IRI.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo con los resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos mediante perfilómetro láser y fotografías aéreas obtenidas por un drone, organizados según tramo y carril. El registro de datos se llevó a cabo entre los meses de diciembre y abril, en los tramos 1 al 6 de la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos – Inambari, seleccionados a criterio del investigador. La vía presentó un Índice Medio Diario (IMD) de 918 vehículos, según información proporcionada por la Unidad Integrada de Peaje y Pesaje de Quincemil, la cual realiza el control de tránsito de forma continua durante las 24 horas del día.

Tabla 62

IRI medido con perfilómetro láser y fotografías aéreas

Tramo	Tipo	Longitud (m)	Carril	IRI - Perfilómetro (m/km)	IRI - Drone (m/km)	Promedio Perfilómetro	Promedio Drone	Diferencia Absoluta
T01	Pendiente	200.00	Izquierdo	1.48	1.51	1.43	1.48	0.05
			Derecho	1.39	1.45			
T02	Curvo	200.00	Izquierdo	1.43	1.49	1.46	1.50	0.04
			Derecho	1.48	1.51			
T03	Tangente	200.00	Izquierdo	1.89	1.92	1.92	1.98	0.06
			Derecho	1.94	2.03			
T05	Pendiente	200.00	Izquierdo	1.38	1.41	1.46	1.49	0.03
			Derecho	1.54	1.56			
T06	Tangente	200.00	Izquierdo	1.42	1.44	1.29	1.31	0.02
			Derecho	1.16	1.18			

Nota. Los valores de IRI del drone corresponden las fotografías aéreas obtenidas a una altura de 12 metros.

3.6.4. Registro de Condiciones Ambientales

Durante la ejecución de las mediciones para el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), se tomaron en cuenta las condiciones ambientales con el objetivo de evaluar su posible influencia en la calidad de los datos obtenidos. Las condiciones climáticas consideradas incluyeron temperatura, humedad y viento, evitando en todo momento la presencia de precipitaciones, ya que estas afectan directamente la calidad de los resultados. En el caso de las fotografías aéreas obtenidas por el drone, la vía húmeda genera ruido en el procesamiento de datos y, además, impide la ejecución de los vuelos. Por su parte, el perfilómetro láser también presenta distorsiones en las mediciones cuando la superficie se encuentra húmeda, debido a que la humedad altera la respuesta de los sensores del equipo.

Considerando lo anterior, las mediciones se realizaron bajo condiciones climáticas estables, es decir, en ausencia de lluvia y con buena visibilidad (evitando presencia de neblina). Para ello, se evaluaron variables como temperatura, humedad y velocidad del viento utilizando

el equipo Kestrel 3000, cuyo certificado de calibración se incluye en el Anexo B. Además, se generaron fichas de observación para documentar adecuadamente las condiciones observadas durante las mediciones, las que se presentan en el Anexo F. A continuación, se presenta un cuadro resumen con las condiciones ambientales registradas durante la ejecución de las mediciones en campo.

Tabla 63

Condiciones Climáticas por Tramo

Tramo	Tipo	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)	Clima	Observaciones
T01	Pendiente	9.5 - 14.8	65.1 - 27.4	6.6 - 4.8	Húmedo - Árido	Altas velocidades de viento
T02	Curvo	24.5 - 12.9	56.9 - 87.3	1.2	Semi árido - Muy húmedo	Presencia de neblina y precipitaciones
T03	Tangente	13.7 - 20.0	84.7 - 69.9	1.1	Muy húmedo - Húmedo	Presencia de precipitaciones
T04	Curvo	15.2 - 19.8	77.2 - 10.9	1.5	Húmedo	-
T05	Pendiente	18.9 - 19.9	71.5 - 72.4	2.4 - 5.5	Húmedo	Altas velocidades de viento
T06	Tangente	19.7 - 21.8	65.9 - 70.5	1.3 - 2.7	Húmedo	-

Nota. Datos obtenidos durante las campañas de medición.

El registro de las condiciones ambientales permitió contextualizar adecuadamente las mediciones del IRI, identificando factores que podrían afectar la calidad de los datos o impedir su recolección. En el caso de las fotografías aéreas obtenidas por el drone, se determinó que no es posible realizar vuelos con velocidades de viento superiores a 12 m/s. Por otra parte, la temperatura máxima registrada en campo fue de 22 °C, que no representa una afectación en los resultados obtenidos ni en la ejecución del vuelo. No obstante, en condiciones de clima muy húmedo se presentaron neblina y precipitaciones, lo que imposibilitó la ejecución de vuelos. En cuanto al perfilómetro láser, se evitó la presencia de neblina y precipitaciones durante las mediciones, ya que estas condiciones generan interferencias en la señal del láser, causando distorsiones en el perfil longitudinal y, por ende, en los valores de IRI registrados.

Capítulo IV

4. Resultados de la investigación

4.1. Análisis de datos

4.1.1. Análisis estadístico

En la presente investigación se realizaron vuelos a alturas de 36, 30, 24, 20, 17, 15 y 12 metros en los seis tramos seleccionados entre Ocongate y Marcapata. Con los datos obtenidos, se busca evaluar la precisión de las mediciones de las fotografías aéreas obtenidas por el dron en comparación con las realizadas mediante perfilómetro láser, en relación al Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Para realizar la comparación entre ambos métodos de medición del IRI (fotografías aéreas y perfilómetro láser), se empleó el método estadístico de Bland-Altman, el cual permite analizar el nivel de concordancia entre dos técnicas mediante la evaluación de la diferencia media de sus mediciones y la estimación de los límites de acuerdo ($\text{media} \pm 1.96$ desviaciones estándar). Esta metodología nos permite determinar si el uso de fotografías aéreas puede constituir una alternativa válida frente al método de referencia, que en este caso es el perfilómetro láser. Asimismo, facilita la identificación de posibles sesgos sistemáticos y la dispersión entre las mediciones, lo que contribuye a evaluar la precisión y confiabilidad del nuevo método propuesto.

4.1.1.1. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 36 m

Para realizar el análisis paramétrico a una altura de 36 m, se evaluó la concordancia entre los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos mediante las fotografías aéreas y el perfilómetro láser, empleando el método estadístico de Bland-Altman. Este análisis fue desarrollado utilizando el software IBM SPSS Statistics 27, empleando la base de datos que se presenta en el Anexo G.

Figura 95

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	80	-3,7830	1,85658	,20757

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 96

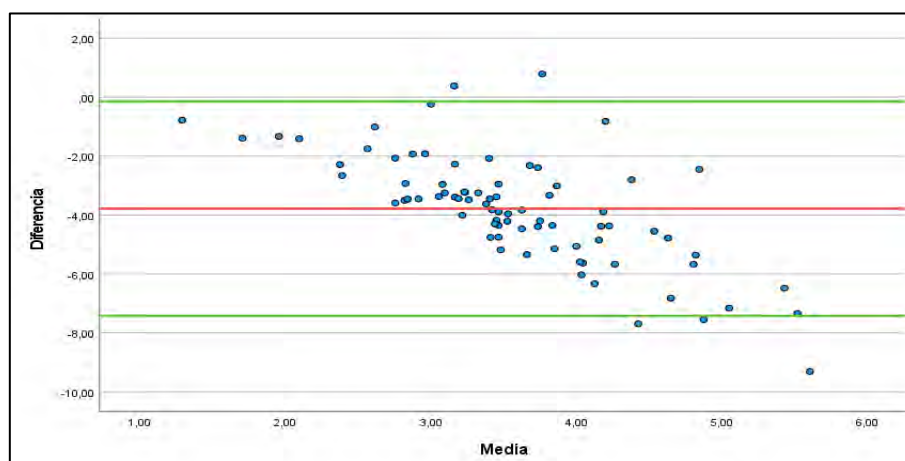
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra					
	Valor de prueba = 0				
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia
					Inferior Superior
Diferencia	-18,225	79	<.001	-3,78300	-4,1962 -3,3698

Nota. Evaluación de la diferencia promedio entre ambos métodos.

Figura 97

Gráfico de Bland-Altman - caso 36m



Nota. Se evidencia un sesgo sistemático negativo y baja concordancia entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman el IRI en 3.7830 m/km. La desviación estándar refleja la variabilidad de las diferencias, indicando que las diferencias individuales están dispersas. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es muy alto, lo que evidencia una diferencia considerable entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite concluir que dicha diferencia es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe evidencia de que ambos métodos difieren a los 36 m de altura, por lo que se descarta esta altura para continuar con la evaluación.

4.1.1.2. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 30 m

Figura 98

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	160	-4,4689	2,02894	,16040

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 99

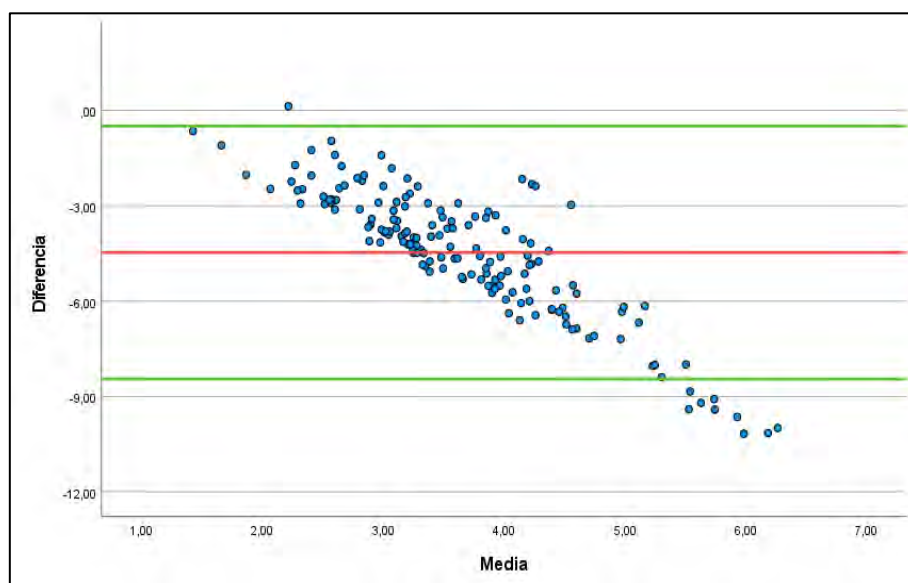
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Diferencia	-27,861	159	<.001	-4,46887	-4,7857	-4,1521

Nota. Evaluación de la diferencia promedio entre ambos métodos.

Figura 100

Gráfico de Bland-Altman - caso 30m



Nota. Se evidencia un sesgo sistemático negativo y baja concordancia entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman el IRI en 4.4689 m/km. La desviación estándar refleja la variabilidad de las diferencias, indicando que las diferencias individuales están dispersas. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es muy alto, lo que evidencia una diferencia considerable entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite concluir que dicha diferencia es estadísticamente significativa.

Por otro lado, el gráfico de Bland-Altman muestra que la variación en el traslape de las imágenes afecta la calidad de los datos, evidenciándose un aumento del error a medida que disminuye el traslape. Por lo tanto, existe evidencia de que ambos métodos difieren a los 30 m de altura, por lo que se descarta esta altura para continuar con la evaluación.

4.1.1.3. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 24 m

Figura 101

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	80	-2,4389	1,57616	,17622

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 102

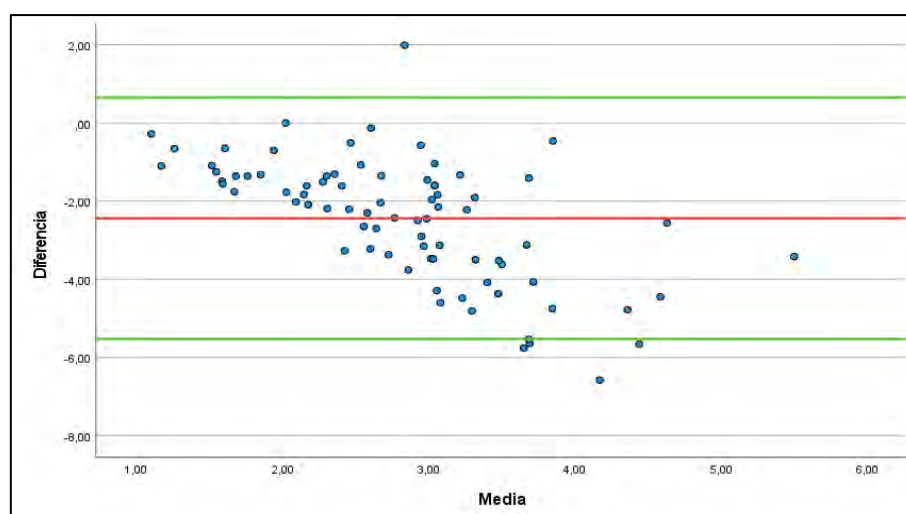
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra					
Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior
Diferencia	-13,840	79	<.001	-2,43888	-2,7896 -2,0881

Nota. Evaluación de la diferencia promedio.

Figura 103

Gráfico de Bland-Altman - caso 24m



Nota. Se evidencia un sesgo sistemático negativo y baja concordancia entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman el IRI en 2.4389 m/km. La desviación estándar refleja la variabilidad de las diferencias es moderada. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es alto, lo que evidencia una diferencia considerable entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite concluir que dicha diferencia es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe evidencia de que ambos métodos difieren a los 24 m de altura, por lo que se descarta esta altura para continuar con la evaluación.

4.1.1.4. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 20 m

Figura 104

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	80	-1,6779	1,55222	,17354

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 105

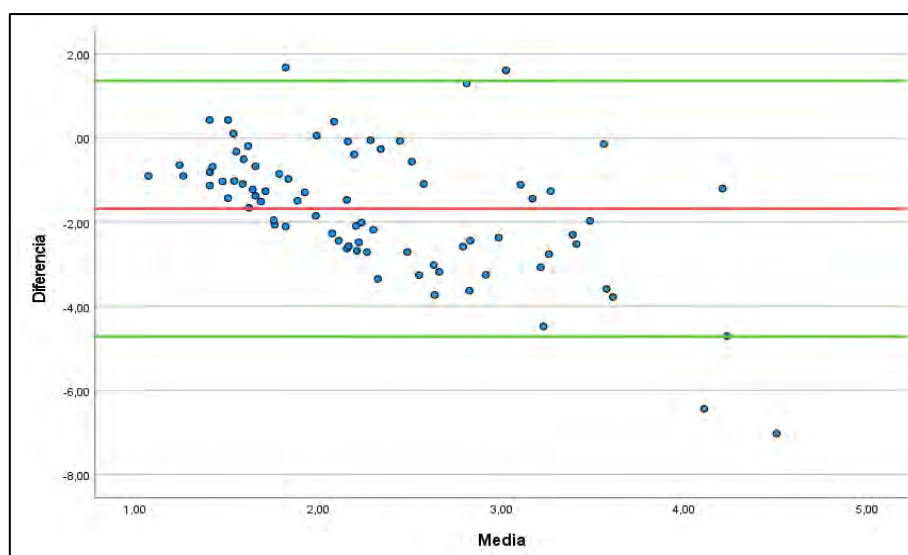
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Diferencia	-9,668	79	<.001	-1,67788	-2,0233	-1,3324

Nota. Evaluación de la diferencia promedio entre ambos métodos.

Figura 106

Gráfico de Bland-Altman - caso 20m



Nota. Se evidencia un sesgo sistemático negativo y baja concordancia entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman el IRI en 1.6779 m/km. La desviación estándar refleja la variabilidad de las diferencias es moderada. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es alto, lo que evidencia una diferencia considerable entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite concluir que dicha diferencia es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe evidencia de que ambos métodos difieren a los 20 m de altura, por lo que se descarta esta altura para continuar con la evaluación.

4.1.1.5. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 17 m

Figura 107

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	80	-,9305	,90422	,10109

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 108

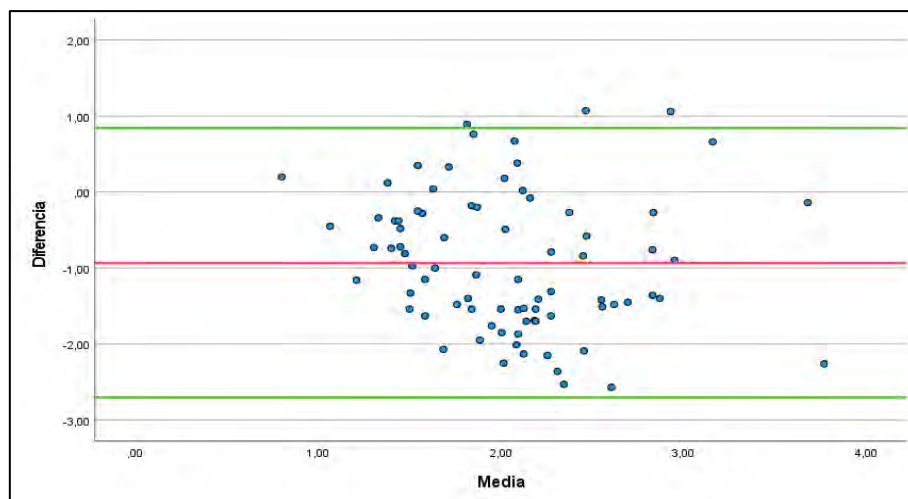
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra					
Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia
					Inferior Superior
Diferencia	-9,204	79	<.001	-,93050	-1,1317 -,7293

Nota. Evaluación de la diferencia promedio.

Figura 109

Gráfico de Bland-Altman - caso 17m



Nota. Se evidencia un sesgo sistemático negativo y concordancia moderada a baja entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman el IRI en 0.9305 m/km. La desviación estándar refleja la variabilidad de las diferencias es moderada. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es alto, lo que evidencia una diferencia considerable entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite concluir que dicha diferencia es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe evidencia de que ambos métodos difieren a los 17 m de altura, por lo que se descarta esta altura para continuar con la evaluación.

4.1.1.6. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 15 m

Figura 110

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	80	-,4021	,91015	,10176

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 111

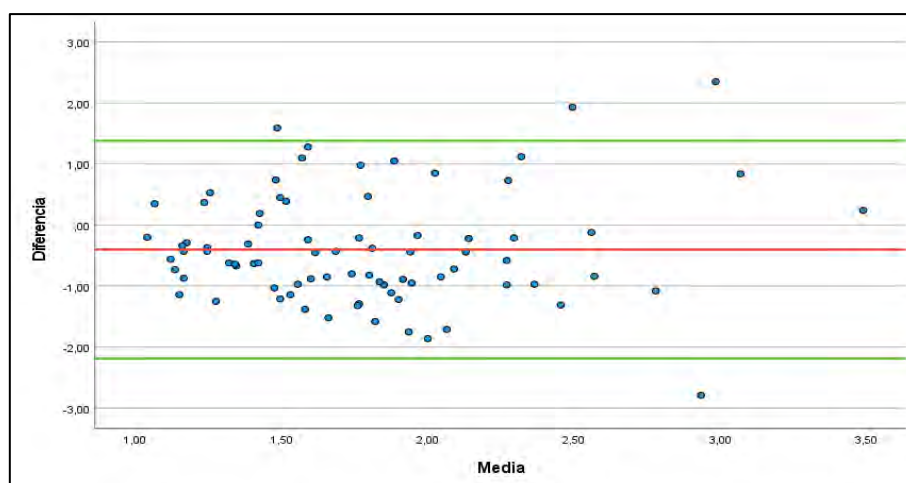
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Diferencia	-3,952	79	<.001	-,40212	-,6047	-,1996

Nota. Evaluación de la diferencia promedio entre ambos métodos.

Figura 112

Gráfico de Bland-Altman - caso 15m



Nota. Se evidencia un sesgo sistemático negativo leve y concordancia moderada a buena entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman el IRI en 0.4021 m/km. La desviación estándar refleja la variabilidad moderada en las diferencias entre ambos métodos. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es alto, lo que evidencia una diferencia significativa entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite concluir que dicha diferencia es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe una concordancia de moderada a buena a los 15 m de altura. No obstante, debido a que aún persiste un sesgo sistemático negativo, esta altura se descarta para continuar con la evaluación.

4.1.1.7. Análisis paramétrico por altura de vuelo: caso 12 m

Figura 113

Resumen estadístico de las diferencias

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Diferencia	200	-,0607	,42464	,03003

Nota. Estadísticos obtenidos a partir de la diferencia entre los valores de IRI registrados por fotografías aéreas y perfilómetro láser.

Figura 114

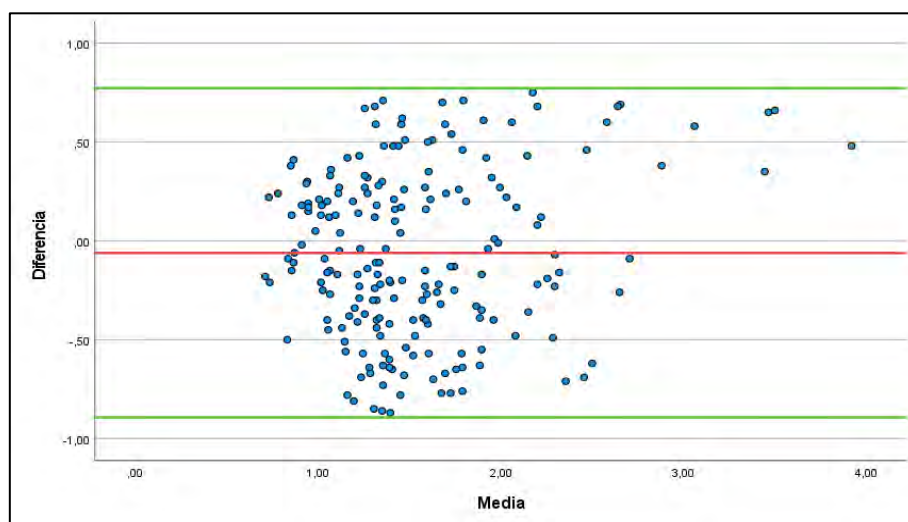
Prueba T de una muestra

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Diferencia	-2,022	199	,045	-,06070	-,1199	-,0015

Nota. Evaluación de la diferencia promedio.

Figura 115

Gráfico de Bland-Altman - caso 12m



Nota. Se evidencia un ligero sesgo sistemático negativo y buena concordancia entre ambos métodos a esta altura.

Del resumen estadístico de las diferencias se observa que, por el valor de la media, las fotografías aéreas sobrestiman ligeramente el IRI en 0.0607 m/km. La desviación estándar refleja una dispersión baja, lo que indica una buena precisión en las mediciones. Respecto a la prueba t de una muestra, el valor estadístico t calculado es relativamente bajo, lo que evidencia una diferencia significativa, aunque marginal, entre ambos métodos. El valor de significancia bilateral permite rechazar la hipótesis nula de que la diferencia media sea cero, concluyéndose que la diferencia observada es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe una diferencia pequeña y negativa entre ambos métodos, lo que sugiere un sesgo sistemático leve. Sin embargo, dada la baja magnitud de esta diferencia, se considera que existe una buena concordancia entre los métodos a esta altura.

Tabla 64

Análisis Estadístico por Altura (Método de Bland-Altman)

Altura (m)	Media (m/km)	Sesgo Sistemático	Concordancia	Descripción	Decisión
36	-3.783	Negativo (sobrestima)	Muy baja	Las fotografías aéreas sobrestiman considerablemente el IRI. Alta dispersión. Diferencia significativa.	Se rechaza
30	-4.469	Negativo (sobrestima)	Muy baja	Alta diferencia negativa. Se observó que el traslape afecta la calidad. Diferencia significativa y variable.	Se rechaza
24	-2.439	Negativo (sobrestima)	Muy baja	Diferencia negativa importante, con variabilidad. Sesgo evidente.	Se rechaza
20	-1.678	Negativo (sobrestima)	Baja	Sesgo sistemático negativo evidente. Diferencia significativa.	Se rechaza
17	-0.931	Negativo (sobrestima)	Media a baja	La diferencia aún es significativa, aunque más reducida. Mejor comportamiento general.	Se rechaza
15	-0.402	Negativo (sobrestima)	Moderada a buena	Diferencia estadísticamente significativa, pero baja. Buen nivel de precisión.	Se rechaza
12	-0.061	Negativo leve	Buena	Diferencia mínima y significativa. Concordancia alta entre ambos métodos.	Se acepta

Nota. Se resumen los valores obtenidos a partir del análisis de Bland-Altman para cada altura de vuelo del dron.

4.2. Discusión de resultados

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el grado de concordancia entre los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos mediante fotografías aéreas y los registrados por un perfilómetro láser. Para ello, se evaluaron los parámetros de vuelo como la resolución espacial (GSD), la altura y el solape, los cuales fueron sometidos a análisis estadístico con el propósito de determinar la precisión de las mediciones y, en consecuencia, validar el uso de las fotografías aéreas como una alternativa viable para el cálculo del IRI.

Los resultados evidencian que el IRI estimado a partir de fotografías aéreas presenta un alto grado de concordancia con el obtenido mediante el perfilómetro láser. Esto se observó a una altura de 12 m, con un GSD de 0.39 cm/px, un solape longitudinal del 80% y transversal del 70%, obteniéndose una media de diferencia de -0.061 m/km, lo que indica una buena

precisión en las mediciones. Estos resultados refuerzan la viabilidad técnica del uso de fotografías aéreas como método alternativo para la medición del IRI.

De forma consistente, la evidencia internacional respalda nuestros hallazgos, como lo demuestra el estudio de Angarita y Sánchez (2017), cuyo objetivo fue obtener el Índice de Regularidad Internacional (IRI) mediante técnicas fotogramétricas y métodos tradicionales de topografía. Para ello, utilizaron un drone DJI Phantom 4 y un nivel topográfico automático DSZ3-32x, capturando imágenes con un GSD entre 0.4 y 0.9 cm/px a alturas de 10 y 20 metros, respectivamente. El levantamiento incluyó un traslape frontal del 84% y lateral del 64%, logrando una diferencia media entre métodos que osciló entre 0.2 y 1 m/km, siendo el vuelo a 10 metros el que arrojó mejores resultados tras el procesamiento fotogramétrico.

Otra evidencia internacional se encuentra en el trabajo de Cruz (2022), cuyo objetivo general fue desarrollar una metodología para calcular el IRI en pavimentos mediante imágenes obtenidas con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT). Para ello, empleó como equipos de referencia un perfilómetro láser, un equipo Dipstick y un escáner LiDAR. Los VANT utilizados fueron: DJI Matrice 210 con cámara Zenmuse X5s y DJI Phantom 4 Pro v.2 a 50 m de altura (GSD de 1.4 y 1.1 cm/px, respectivamente); DJI Matrice 210 - Zenmuse X5s y DJI Phantom 4 Pro v.2 a 30 m (GSD de 0.82 y 0.7 cm/px); DJI Phantom 4 RTK a 25 m (GSD de 0.74 cm/px); DJI Mavic 2 Pro a 20 m (GSD de 0.47 cm/px); y DJI Mavic 2 Pro, DJI Matrice 210 - Zenmuse X5s, DJI Phantom 4 Pro v.2, y DJI Phantom 3 Profesional a 15 m, con GSDs de 0.35, 1.33, 0.41 y 0.66 cm/px, respectivamente. En todos los casos se aplicó un traslape longitudinal del 80% y traslape transversal del 70%, logrando una diferencia media entre métodos de 0.091 m/km con un GSD de 0.35 cm/px., lo cual permite concluir que el VANT presenta un mejor desempeño bajo estas condiciones.

En el contexto nacional, nuestros resultados fueron corroborados por la investigación de Cruz y Gutiérrez (2019), cuyo objetivo fue determinar el Índice de Condición del Pavimento

(PCI) y el Índice Internacional de Regularidad (IRI) utilizando imágenes de alta resolución obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Para ello, emplearon un nivel óptico y un drone DJI Phantom 4 Pro, volando a una altura de 20 metros, con un traslape longitudinal y transversal del 80%, lo que permitió alcanzar una resolución espacial (GSD) de 0.5 cm/píxel. Los resultados obtenidos mostraron una diferencia media en la estimación del IRI de entre 0.37 y 0.66 m/km, valor considerado aceptable para estudios a nivel de red vial urbana, aunque se reconoce que esta precisión es menor en comparación con la obtenida mediante métodos tradicionales.

En el contexto local, nuestros resultados fueron corroborados por la investigación de Rodas (2024), cuyo objetivo general fue evaluar el grado de confiabilidad en la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) a partir de imágenes georreferenciadas obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT). Para ello, se utilizó un nivel óptico como método de referencia y un drone Phantom 4 Pro V2.0, con el cual se alcanzó una resolución espacial (GSD) de 0.49 cm/píxel. Esta tesis se enfocó en evaluar los valores de IRI generados con dicho parámetro, además de analizar el efecto a distintos intervalos de procesamiento en el software PROVAL. Como resultado, se concluyó que, al aumentar el intervalo de procesamiento, se obtiene una mejor correspondencia entre los valores de IRI obtenidos mediante imágenes georreferenciadas y los valores de referencia, mejorando así la confiabilidad del método.

La variabilidad observada en los resultados se atribuye principalmente a las diferencias en los equipos utilizados para la medición, así como a los parámetros de vuelo empleados durante la captura de datos. No obstante, dicha variabilidad es leve tanto en el contexto internacional, nacional como local, lo que permite concluir que la metodología basada en el uso de fotografías aéreas es técnicamente viable para la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

OG: Se evaluó la variación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) utilizando tanto el perfilómetro láser como las fotografías aéreas, obteniéndose una diferencia media entre ambos métodos de -0.0607 m/km, con una desviación estándar de 0.42464 . Este bajo valor promedio sugiere una adecuada concordancia entre ambos métodos. En consecuencia, los resultados respaldan la viabilidad del uso de fotografías aéreas como método alternativo para la estimación del IRI, con un nivel aceptable de precisión y concordancia. Este método propuesto resulta especialmente útil para inspecciones preliminares, para lugares donde se requiera una evaluación rápida y menos invasiva de la superficie de rodadura, así como para zonas que no dispongan de equipos especializados para la medición del IRI.

OE 1: Se llevó a cabo el análisis del gradiente de temperatura durante la evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en el sector estudiado, que abarca los distritos de Ocongate y Marcapata. Se identificó que las variaciones térmicas están estrechamente relacionadas con factores atmosféricos como el viento y la humedad. En particular, los cambios de temperatura contribuyeron a la presencia de ráfagas de viento que alcanzaron velocidades de hasta 6.6 m/s, así como a condiciones de baja temperatura y alta humedad, las cuales favorecieron la formación de neblina. Ambos elementos afectaron negativamente la estabilidad del drone y la calidad de las imágenes capturadas, motivo por el cual se descartaron dichos vuelos debido al exceso de ruido generado en el procesamiento fotogramétrico. Por tal razón, la operación del drone se limitó a condiciones de viento clasificadas como brisa ligera, según la Escala de Beaufort, con el fin de garantizar la estabilidad y la calidad de los datos obtenidos.

OE 2: Se analizaron los parámetros de vuelo con el objetivo de asegurar la obtención de datos óptimos en los estudios realizados para el cálculo del Índice de Regularidad

Internacional (IRI). Para ello, se evaluaron la resolución espacial (GSD), la altura de vuelo y el solape, comenzando con la definición de un solape longitudinal del 80% y transversal del 70%. Estos valores fueron determinados a partir del análisis estadístico de Bland-Altman, mediante el cual se observó un incremento en el error a medida que el traslape disminuía, además de una afectación directa en la resolución espacial obtenida bajo esas condiciones.

Se evidenció que, con un solape longitudinal del 70% y 75%, se producían errores mayores; mientras que con un solape del 85% se obtenía la misma resolución espacial que con el 80%, sin una mejora significativa en el error. Sin embargo, el número de fotografías capturadas y el tiempo de procesamiento aumentaban considerablemente con el 85%. Por lo tanto, se determinó que un solape longitudinal del 80% y transversal del 70% representaba un equilibrio adecuado, al reducir tanto la cantidad de imágenes procesadas como el tiempo de procesamiento, sin comprometer la calidad de los datos obtenidos.

Posteriormente, se examinó la altura de vuelo, la cual está directamente relacionada con la resolución espacial. Se identificó que a mayores alturas (36 m y 30 m), las fotografías aéreas presentan una sobrestimación considerable del IRI, con diferencias promedio superiores a 3 m/km y una alta dispersión, lo que indica una baja concordancia con el método de referencia. A alturas intermedias (24 m, 20 m, 17 m y 15 m), también se observaron diferencias significativas y una dispersión moderada. No obstante, al realizar el vuelo a una altura de 12 m, la diferencia media se redujo a -0.0607 m/km, y se obtuvo una baja dispersión, lo que evidencia una buena concordancia y mayor precisión. Esta altura se asocia directamente con una resolución espacial de 0.39 cm/px.

En conclusión, el análisis sugiere que, para obtener mediciones confiables del IRI a partir de fotografías aéreas, es preferible operar a alturas bajas (como 12 m), lo cual corresponde a un GSD de 0.39 cm/px, y emplear un solape longitudinal del 80 % y transversal del 70 %. A mayores alturas, se genera un mayor sesgo y una variabilidad más alta, lo que

limita la validez de las fotografías aéreas como método alternativo en esas condiciones. Estos hallazgos destacan la importancia de optimizar la altura de vuelo y los parámetros asociados, con el fin de mejorar la calidad de los datos obtenidos mediante esta tecnología.

OE 3: El análisis realizado evidenció que el estado de la superficie de rodadura se encuentra en buenas condiciones, conforme a los criterios establecidos por Provías Nacional en el manual Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras. Este resultado se obtuvo mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), estimado tanto a partir de fotografías aéreas como con un perfilómetro láser, validando así el uso de las fotografías aéreas como una alternativa viable para el cálculo del IRI. Los valores obtenidos mediante las fotografías aéreas se encuentran dentro del intervalo de confianza del 95 %, según el análisis estadístico de Bland-Altman. Por otro lado, la prueba t de una muestra arrojó un valor p de 0.045 (< 0.05), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa, aunque marginal, entre ambos métodos de medición.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar una inspección previa de la vía antes de la ejecución del vuelo, con el fin de identificar y eliminar posibles partículas o elementos que puedan afectar la calidad de los resultados obtenidos. Asimismo, es fundamental verificar la presencia de vegetación, cables u otros obstáculos que puedan interferir con el vuelo del dron. Además, se debe evaluar la incidencia de sombras sobre la superficie vial, ya que estas generan ruido y distorsión durante el procesamiento de las imágenes, afectando la precisión del análisis.

Se sugiere explorar el uso de nuevos equipos y tecnologías embarcadas en drones, en particular aquellos que permitan ejecutar vuelos automáticos a bajas alturas (como 12 m). La incorporación de sistemas de navegación más precisos y automatizados podría mejorar la repetibilidad y estabilidad de los vuelos, reducir los errores asociados al control manual y garantizar una captura de imágenes más consistente. Asimismo, para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el análisis a distintos tipos de pavimento, condiciones de iluminación y niveles de deterioro, con el fin de validar la aplicabilidad del método en una gama más diversa de escenarios reales.

Finalmente, se recomienda aplicar la metodología en tramos más extensos y en contextos operativos más complejos, tales como zonas urbanas con obstáculos o caminos rurales con presencia de vegetación, con el fin de evaluar la robustez y adaptabilidad del sistema. Adicionalmente, es pertinente realizar una evaluación costo-beneficio en comparación con métodos tradicionales, considerando aspectos como el tiempo de levantamiento, los recursos técnicos y humanos requeridos, así como la escalabilidad del proceso.

Bibliografía

- Angarita, L. F., & Sánchez, J. C. (2017). *COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) A PARTIR DE INFORMACIÓN OBTENIDA POR MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS*. Bogotá.
- Badilla, G. A. (2008). DETERMINACIÓN DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL CÁLCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI): ASPECTOS CONSIDERACIONES IMPORTANTES. 4.
- Banco Mundial. (1993). *Road Deterioration in Developing Countries: Causes and Remedies*. The World Bank.
- Barrionuevo, F., & Barrionuevo, S. (2024). *RELACIÓN LINEAL PARA EL AJUSTE DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LOS VALORES MEDIDOS CON UN RUGOSÍMETRO ARRB 4 APLICANDO UN PERFILÓMETRO LASER EN LA VÍA CHUQUIBAMBILLA – MACARÍ – L.D. CUSCO*. Cusco.
- Chen, S. L. (2020). Research on the International Roughness index Threshold of Road Rehabilitation in Metropolitan Areas: A case study in Taipei City. *MDPI*.
- Chura, E., & Flores, F. (2022). Modelo matemático y medición para estimar el índice de regularidad (IRI) preciso en carreteras sinuosas Caso: Tramo Urcos - Ocongate de la red vial PE-30C Región Cusco, 2018. Cusco.
- Cruz, J. (2022). *CÁLCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) A TRAVÉS DE*. Costa Rica.
- Cruz, J. T., & Gutierrez, L. (2019). Determination of the Pavement Condition Index (PCI) and International Roughness Index (IRI) in Urban Roads Using Images Obtained by Unmanned Air Vehicle (UAV). Abu Dhabi, United Arab Emirates: 26th World Road Congress.
- Falcom, K., & Ramon, N. (2023). *APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA CON RPA, PARA ANALIZAR LA CALIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA LIMA-CANTA-HUALLAY, TRAMO LAGUNA 7 COLORES - FANTASMA CORDILLERA LA VIUDA - 2023*. Lima: Universidad Privada del Norte.

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: Mc Graw Hill Education.
- Huamán, D., & Yarasca, F. (2022). Índice de regularidad internacional de un pavimento hidráulico aplicando el equipo de merlín y el perfilómetro láser para encontrar su coeficiente de correlación. Lima, Perú.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design (2nd ed.)*. Pearson Prentice Hall.
- Instituto Geográfico Nacional. (2024). *Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global*. Lima: Instituto Geográfico Nacional.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2020, Julio 30). *Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en México*. From Gobierno de México: <https://fondby.com/rzi0>
- Michael W. Sayers, T. D. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. Washington, D.C, USA: The world Bank.
- Montejo, A. (2002). INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. In A. Montejo, *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS* (p. 1). Bogotá: Agora Editores.
- Moyano, M. P. (2020). *Procedimiento para determinar el Índice de Rugosidad*. Piura.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Mantenimiento Rutinario*. Lima.
- OSITRAN. (2018). *IIRSA Sur Tramo 2: Urcos-Inambari*. From OSITRAN: <http://surl.li/ecgbkc>
- Paliza, V. H., & Chuyacama, B. J. (2022). *“Evaluación del estado actual del pavimento flexible mediante la metodología*. Cusco.
- PIARC. (2014). *Importancia de la conservación de carreteras*. From PIARC: <http://surl.li/ecgbkc>
- Provías Nacional. (2005). *Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras* (Primera ed.). Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- Quispe, W. (2024). *Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en pavimentos flexible mediante el uso de dron a diferentes alturas de vuelo y el rugosímetro de merlín en la vía MO-590 - Moquegua*. Moquegua.

- Rodas, A. (2024). Grado de Confiabilidad en la determinación del IRI de pavimento urbano empleando VANT en la prolongación Avenida La Cultura Km 3+500 - Km 4+500 en la Ciudad del Cusco, 2022. Cusco.
- Rodríguez, E., Torres, L., & Villeda, M. (2019). *DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX), MEDIANTE EL USO DE UN RUGOSÍMETRO BASADO EN EL MERLIN (MACHINE EVALUATING ROUGHNESS USING LOW COST INSTRUMENTATION), PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS*. EL SALVADOR.
- Sánchez, L., & Del Muro, M. (2014). *Diseño de pavimentos*. Limusa.
- Sánchez, M. C. (2018). *MEDICIÓN DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS. SEGUNDA CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE MANAB*. Habana, Cuba.
- Tighe, S. (2013). *Pavement engineering: Principles and practice*. CRC Press.
- TORIBIO, J. O. (2022). *CÁLCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) A TRAVÉS DE IMÁGENES OBTENIDAS DE UN VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO*. Costa Rica .
- W. Sayers , M., & Karamihas, S. (1998). *The little Book of Profiling*. USA: University of Michigan.
- Zhang, C., & Elaksher, A. (2012). *An unmanned aerial vehicle-based imaging system for 3D measurement of unpaved road surface*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.

Anexos

Anexo A. Matriz de Consistencia

TÍTULO	Evaluación del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025					
NIVEL	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
GENERAL	¿Cuál es la variación del Índice de Regularidad Internacional empleando las Fotografías Aéreas con relación al Perfilómetro Láser en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?	Evaluar el Índice de Regularidad Internacional empleando las Fotografías Aéreas con relación al Perfilómetro Láser en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.	La diferencia media del Índice de Regularidad Internacional entre el Perfilómetro Láser y las Fotografías Aéreas es igual a cero en la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos – Inambari, Cusco, 2024–2025.	Variable Dependiente (Y): Índice de Regularidad Internacional Variable Independiente (X): Perfil longitudinal, Gradiente de temperatura, Parámetros de vuelo.	Enfoque: Cuantitativo Alcance: Descriptivo - Correlacional Diseño: No Experimental	Población: Carretera Interoceánica - Tramo 2 (Urcos - Inambari) Muestra: 6 sectores de 200m (Calibración y comprobación del modelo)
ESPECÍFICO 1	¿Cómo incide la gradiente de temperatura en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?	Definir la incidencia de la gradiente de temperatura en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.	La gradiente de temperatura incide directamente en el Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.		Población de Estudio: Carretera Interoceánica - Tramo 2 (Urcos - Inambari)	
ESPECÍFICO 2	¿De qué manera influyen los parámetros de vuelo en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?	Analizar la influencia de los parámetros de vuelo en la evaluación del Índice de Regularidad Internacional en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.	Los parámetros de vuelo afectan directamente la precisión en la obtención del Índice de Regularidad Internacional en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.		Muestra: Tipo No Probabilística	
ESPECÍFICO 3	¿Cuál es el estado de la superficie de rodadura a través de la medición del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025?	Evaluar el estado de la superficie de rodadura a través de la medición del Índice de Regularidad Internacional empleando el Perfilómetro Láser y Fotografías Aéreas en la Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025.	El estado de la superficie de rodadura obtenido mediante fotografías aéreas permite calcular el Índice de Regularidad Internacional clasificado como un método de medición en Clase 1 en la Carretera Interoceánica Sur, Tramo 2: Urcos – Inambari, Cusco, 2024–2025.		Técnicas: - Análisis Documental - Observación Instrumentos: - Ficha de análisis documental - Fichas de observación	

Anexo B. Certificado de Operatividad de los Equipos



BUILDRONS S.A.C.

CASA COMERCIALIZADORA DE EQUIPOS Y APARATOS DE TELECOMUNICACIONES N°11211

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD N°: 8437188

DATOS DEL EQUIPO

RECEPTOR : GNSS
MARCA : REACH
MODELO : RS2
SERIE : 8243EFAEC71026AB
FECHA DE VERIFICACION : 20/03/2024
FECHA DE VENCIMIENTO : 20/03/2025



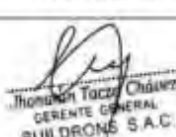
EL PRESENTE DOCUMENTO CONSTATA QUE EL EQUIPO EN MENCIÓN CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES INDICADAS POR EL FABRICANTE, LUEGO DE HABER REALIZADO SU INSPECCIÓN FÍSICA Y DE FUNCIONALIDAD, VERIFICANDO LA PRECISIÓN Y LA CALIDAD DE SEÑAL RECIBIDA DE LAS CONSTELACIONES GPS, GLONASS, GALILEO Y BEIDOU.

➤ POSICIONAMIENTO RELATIVO ESTÁTICO:

ESTÁTICO HORIZONTAL : $\pm 3 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$
ESTÁTICO VERTICAL : $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

➤ POSICIONAMIENTO RELATIVO – REAL TIME KINEMATIC (RTK)

CINEMÁTICO HORIZONTAL : $\pm 8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
CINEMÁTICO VERTICAL : $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

RESPONSABLE DE VERIFICACION:	PROPIETARIO:
BUILDRONS S.A.C	RUC: 10485514606 WILBER BÁRCENA HERENCIA
RUC : 20602734308	
 JHONATAN TORRES CHACON GERENTE GENERAL BUILDRONS S.A.C. 	

ESTE DOCUMENTO NO ACREDITA LA TITULARIDAD O PROPIEDAD DE EQUIPO EVALUADO, SOLO GARANTIZA LA OPERATIVIDAD Y FUNCIONAMIENTO.



8243EFAEC71026AB

8437188

Lima, Perú
915 170 565
buildronssac@gmail.com



CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

N.º: 2025-COP-0736-EML
Cliente: GRUPO BORDA TOPOGRAFIA & GEODESIA E.I.R.L.
RUC: 20610592083
Equipo: Receptor Multi-Frecuencia GNSS
Fabricante: EMLID
Modelo: Reach RS2
Número de serie: 8243BB3BF981F6932



Fecha de verificación: 01 - 07 - 2024

Fecha de vencimiento: 01 - 07 - 2025

Se realizaron las pruebas de campo con el equipo mencionado. Los resultados fueron:

- FIJO con línea de base superior a los 35 kilómetros.
- Rastreo superior a los 38 satélites durante las pruebas
- PDOP de 1.59
- El equipo se encuentra OPERATIVO

Las especificaciones técnicas de acuerdo con el fabricante para el receptor EMLID Reach RS2 son:

POSICIONAMIENTO

ESTÁTICO RAPIDO:	H: 2.5 mm + 0.5 ppm	/	V: 5.0 mm + 1.0 ppm
ESTÁTICO PROLONGADO:	H: 3.0 mm + 0.1 ppm	/	V: 3.5 mm + 0.4 ppm
RTK:	H: 8.0 mm + 1.0ppm	/	V: 15 mm + 1.0 ppm

Atentamente,

Fernando Miranda

Gerente Técnico

COTECMI SAC



Distribuidor autorizado de



Valida tu certificado con atención al cliente +51 922 150 430

Av. José Pardo N° 541 Oficina 106, Miraflores - Lima / Tlfs.: +(511) 447 3179 / 922 150 430
ventasperu@cotecmi.com / www.cotecmisac.com



AASHTO CERTIFIED COMPANY

CERTIFICADO

El siguiente equipo de propiedad de ODEBRECHT
PERU OPERACIONES Y SERVICIOS S.A.C

Equipo [Road Surface Profilometer \(RSP\) 5051](#)
Tipo [Mark IV](#)
Marca [Dynatest](#)
Número de Serie [331](#)

[RSP 5051 - 4 - 331](#)

Ha cumplido satisfactoriamente los procedimientos de calibración de distancia, verificación y calibración de los sensores láser y de los acelerómetros, realizados por el técnico especialista Sr. Marcelo Veas D.

14 de Junio de 2024
Puerto Maldonado, Perú
Valido hasta, 14 de Junio 2025

Certificado por:

Marcelo Veas D.
Technical Director

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

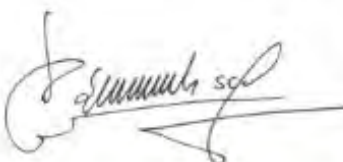
SMT - 050 - 2025

Página 1 de 3

Expediente	25-0018	Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto. Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento. SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
1. Solicitante	ODEBRECHT PERU OPERACIONES Y SERVICIOS S.A.C.	
2. Dirección	Av. Victor Andres Belaunde N° 280 Int. 502, San Isidro - Lima - LIMA	
3. Instrumento de medición	ANEMÓMETRO	
Alcance de Indicación	0 °C a 50 °C // 0,6 m/s a 40 m/s 5 %HR a 95 %HR	
Dív. de escala / Resolución	0,1 °C // 0,1 m, // 0,1 %HR	
Marca	KESTREL	
Modelo	3000	
Número de Serie	2996051	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	U.S.A.	
4. Fecha de Calibración	2025-04-16	
5. Fecha de Emisión	2025-04-30	

Sello

Jefe de Laboratorio

**ELEAZAR CESAR
CHAVEZ RARAZ**
2025.05.02 11:31:06
-05'00'

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SMT - 050 - 2025

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SNM/INDECOPI tomado como referencia el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" Segunda edición - diciembre 2012 de INDECOPI/SNM.

La calibración de humedad se efectuó por comparación directa con un termohigrómetro patrón calibrado.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
CAMPAMENTO LIMACPUNKO

8. Condiciones Ambientales

	Mínimo	Máximo
Temperatura	20,6 °C	20,8 °C
Humedad Relativa	54,8 %	54,8 %



9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
TERMÓMETROS DE INDICACIÓN DIGITAL LT-003-2024	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL	E1158-A1-1593A-2024-2
ANEMÓMETRO FLUKE DM-INACAL	ANEMÓMETRO DE ALAMBRE CALIENTE FLUKE	3000084321
TERMOHIGRÓMETRO LH-106-2023	TERMOHIGRÓMETRO PATRÓN CON INCERTIDUMBRE DE 2,6 %HR / 0,7 °C	SGTH-A-0077-2024

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 050 - 2025

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

TEMPERATURA

INDICACIÓN DEL EQUIPO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (K=2) (°C)
15,4	15,2	-0,2	0,04
20,4	20,1	-0,3	0,04
30,7	30,3	-0,4	0,04

TCV (Temperatura Convencionalmente Verdadera) = Indicación del equipo + Corrección

Nota :- Tiempo de estabilización no menor a 10 minutos.



VELOCIDAD DE AIRE

INDICACIÓN DEL EQUIPO (m/s)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (m/s)	CORRECCIÓN (m/s)	INCERTIDUMBRE (K=2) (m/s)
5,4	5,3	-0,1	0,03
8,4	8,2	-0,2	0,03
11,6	11,4	-0,2	0,04
15,6	15,3	-0,3	0,04

HUMEDAD RELATIVA

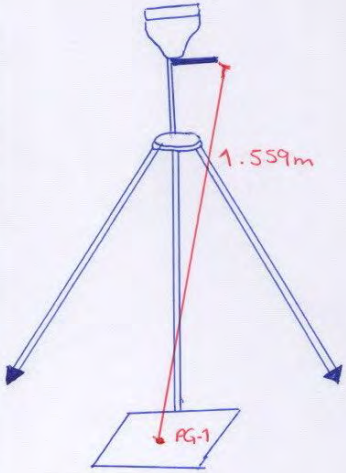
INDICACIÓN DEL EQUIPO (%HR)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (%HR)	CORRECCIÓN (%HR)	INCERTIDUMBRE (K=2) (%HR)
42,2	40,5	-1,7	2,9
57,4	55,4	-2,0	3,0
73,2	70,4	-2,8	3,2

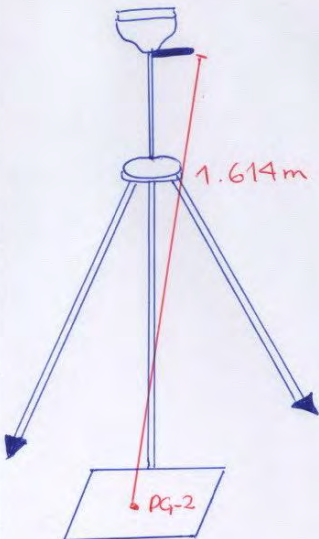
12. Incertidumbre

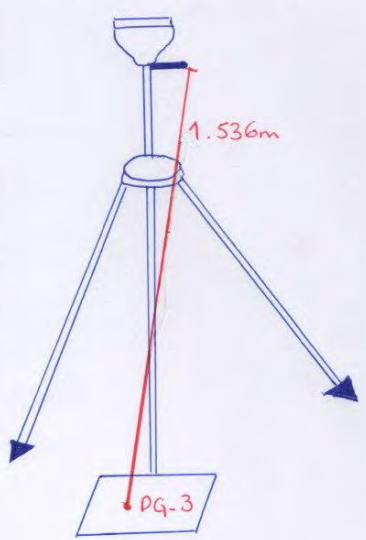
La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

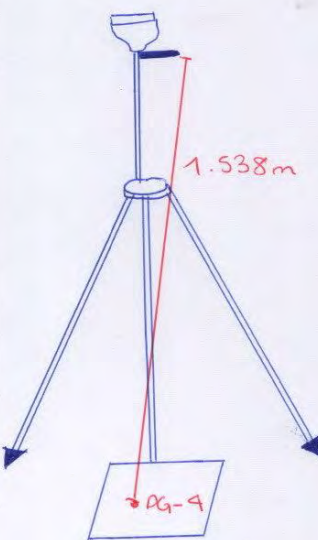
La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

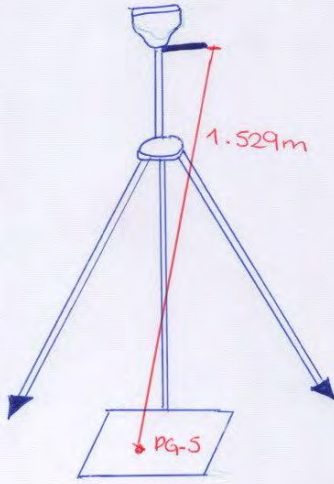
Anexo C. Fichas de observación GNSS

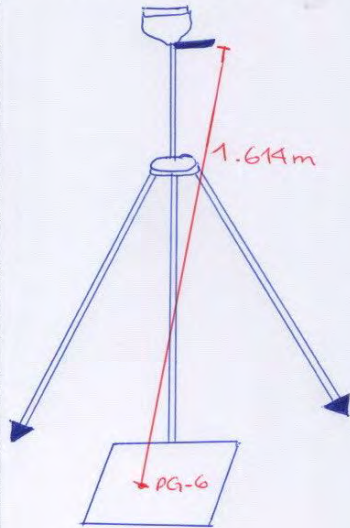
	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
	Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"	
	FICHA DE OBSERVACIÓN GNSS	
ESTACIÓN		
Ubicación: <u>Km 88+800</u>		Identificación: <u>Tramo en pendiente</u>
Inscripción en el punto: <u>PG-1</u>		Fecha: <u>10/01/2025</u>
COORDENADAS APROXIMADAS:		
Latitud: <u>13°37'57.51" S/-</u> Longitud: <u>71°9'11.81" W/-</u> Altura: <u>4474.2918m</u>		
Receptor/Antena <u>Emlid</u> Tipo: <u>Integrado</u> Modelo: <u>Reach R52</u> Nro. Serie: <u>8243EFAEC3102600</u>		
Receptor: <u>Emlid Reach R52</u>		
Antena: <u>Integrado</u>		
Software del Receptor (Versión): <u>Reach View 3.00</u>		
Longitud del Cable Antena - Receptor: <u>No tiene cable</u>		
Altura de la Antena Sobre el Punto de Referencia Punto de referencia: <u>Base del soporte de antena</u> Vertical ☐ o Inclínada ☒ Antes de las Observaciones: <u>1.559 m</u> Después de las Observaciones: <u>1.559 m</u> Durante la Observación: <u>1.559 m</u>	Croquis de las medidas de la Antena 	
Observación: Nro. De la sesión del mismo día: <u>Primera</u> Intervalo de Medición: <u>1 seg</u> Elevación mínima: <u>10°</u> Hora de Inicio: <u>10:51:02</u> Hora de Término: <u>12:19:05</u> Operador / Institución: <u>Marilyn T. / Katy A.</u> <u>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco</u>		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
	Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025"	
	FICHA DE OBSERVACIÓN GNSS	
ESTACIÓN		
Ubicación: <u>Km 128+400</u>		Identificación: <u>Tramo Curvo</u>
Inscripción en el punto: <u>PG-2</u>		Fecha: <u>10/01/2025</u>
COORDENADAS APROXIMADAS:		
Latitud: <u>13° 35' 52.12" S</u> - Longitud: <u>70° 58' 32.52" W</u> - Altura: <u>2996.6558 m</u>		
Receptor/Antena <u>Emid</u> Tipo: <u>Integrado</u> Modelo: <u>Reach RS2</u> Nro. Serie: <u>8243EPAEC1102603</u>		
Receptor: <u>Emid Reach RS2</u>		
Antena: <u>Integrada</u>		
Software del Receptor (Versión): <u>Reach View 3.00</u>		
Longitud del Cable Antena - Receptor: <u>No tiene cable</u>		
Altura de la Antena Sobre el Punto de Referencia Punto de referencia: <u>Base del soporte de antena</u> Vertical ☐ o Inclinado ☒ Antes de las Observaciones: <u>1.614 m</u> Después de las Observaciones: <u>1.614 m</u> Durante la Observación: <u>1.614 m</u>	Croquis de las medidas de la Antena 	
Observación: Nro. De la sesión del mismo día: <u>Segunda</u> Intervalo de Medición: <u>1 seg</u> Elevación mínima: <u>10°</u> Hora de Inicio: <u>13:04:01</u> Hora de Término: <u>15:15:29</u> Operador / Institución: <u>Marilyn T. / Katy A.</u> <u>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco</u>		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN GNSS	
ESTACIÓN		
Ubicación: <u>Km 131+100</u>		Identificación: <u>Tramo tangente</u>
Inscripción en el punto: <u>PG-3</u>		Fecha: <u>15/12/2024</u>
COORDENADAS APROXIMADAS:		
Latitud: <u>13° 35' 36.3" S</u>		Longitud: <u>70° 58' 6.42" W</u>
Altura: <u>2812.6932 m</u>		
Receptor/Antena <u>Emilid</u>	Tipo: <u>Integrado</u>	Modelo: <u>Reach RS2</u>
Nro. Serie: <u>8243EFAEC71026AB</u>		
Receptor: <u>Emilid Reach RS2</u>		
Antena: <u>Integrada</u>		
Software del Receptor (Versión): <u>Reach View 3.00</u>		
Longitud del Cable Antena - Receptor: <u>No tiene cable</u>		
Altura de la Antena Sobre el Punto de Referencia Punto de referencia: <u>Base del soporte de antena</u> Vertical ☐ o Inclinado ☒ Antes de las Observaciones: <u>1.536m</u> Después de las Observaciones: <u>1.536m</u> Durante la Observación: <u>1.536m</u>	Croquis de las medidas de la Antena 	
Observación: Nro. De la sesión del mismo día: <u>Segunda</u> Intervalo de Medición: <u>1 seg</u> Elevación mínima: <u>10°</u> Hora de Inicio: <u>15:23:41</u> Hora de Término: <u>17:42:13</u> Operador / Institución: <u>Marilyn T. / Katy A.</u> <u>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco</u>		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN GNSS	
ESTACIÓN		
Ubicación: <u>Km 134+800</u>		Identificación: <u>Tramo curvo</u>
Inscripción en el punto: <u>PG-4</u>		Fecha: <u>02/02/2025</u>
COORDENADAS APROXIMADAS:		
Latitud: <u>13° 35' 27.53" S</u>		Longitud: <u>70° 56' 31.97" W</u>
Altura: <u>2576.7253m</u>		
Receptor/Antena: <u>Emilid</u>	Tipo: <u>Integrado</u>	Modelo: <u>Reach RS2</u>
Nro. Serie: <u>8243EPMECT101643</u>		
Receptor: <u>Emilid Reach RS2</u>		
Antena: <u>Integrada</u>		
Software del Receptor (Versión): <u>Reach View 3.00</u>		
Longitud del Cable Antena - Receptor: <u>No tiene cable</u>		
Altura de la Antena Sobre el Punto de Referencia Punto de referencia: <u>Base del soporte de antena</u> Vertical ☐ o Inclínada ☒ Antes de las Observaciones: <u>1.538m</u> Después de las Observaciones: <u>1.538m</u> Durante la Observación: <u>1.538m</u>	Croquis de las medidas de la Antena 	
Observación: Nro. De la sesión del mismo día: <u>Segunda</u> Intervalo de Medición: <u>1 seg</u> Elevación mínima: <u>10°</u> Hora de Inicio: <u>12:59:55</u> Hora de Término: <u>15:10:32</u> Operador / Institución: <u>Marilyn T. / Katy A.</u> <u>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco</u>		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN GNSS	
ESTACIÓN		
Ubicación: <u>Km 138+900</u>		Identificación: <u>Tramo pendiente</u>
Inscripción en el punto: <u>PG-5</u>		Fecha: <u>15/12/2024</u>
COORDENADAS APROXIMADAS:		
Latitud: <u>13° 34' 5.41" S/-</u>		Longitud: <u>70° 55' 1.09" W/-</u> Altura: <u>2378.2853</u>
Receptor/Antena <u>Emid</u> Tipo: <u>Integrada</u> Modelo: <u>Reach R52</u> Nro. Serie: <u>8293EFAEC71026A8</u>		
Receptor: <u>Emid Reach R52</u>		
Antena: <u>Integrada</u>		
Software del Receptor (Versión): <u>Reach View 3.00</u>		
Longitud del Cable Antena - Receptor: <u>No tiene cable</u>		
Altura de la Antena Sobre el Punto de Referencia Punto de referencia: <u>Base del soporte de antena</u> Vertical ☐ o Inclínada ☒ Antes de las Observaciones: <u>1.529m</u> Después de las Observaciones: <u>1.529m</u> Durante la Observación: <u>1.529m</u>	Croquis de las medidas de la Antena 	
Observación: Nro. De la sesión del mismo día: <u>Primera</u> Intervalo de Medición: <u>1 seg</u> Elevación mínima: <u>10°</u> Hora de Inicio: <u>10:13:42</u> Hora de Término: <u>12:37:18</u> Operador / Institución: <u>Marilyn T. / Katy A.</u> <u>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco</u>		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos - Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN GNSS	
ESTACIÓN		
Ubicación: <u>Km 139+600</u>		Identificación: <u>Tramo tangente</u>
Inscripción en el punto: <u>PG-6</u>		Fecha: <u>02/02/2025</u>
COORDENADAS APROXIMADAS:		
Latitud: <u>13°33'44.51" S/-</u>		Longitud: <u>70°54'52.9" W/-</u>
Altura: <u>2336.8832 m</u>		
Receptor/Antena <u>Emid</u>	Tipo: <u>Integrado</u>	Modelo: <u>Reach RS2</u>
Nro. Serie: <u>8243EFAEC3102606</u>		
Receptor: <u>Emid Reach RS2</u>		
Antena: <u>Integrada</u>		
Software del Receptor (Versión): <u>Reach View 3.00</u>		
Longitud del Cable Antena - Receptor: <u>No tiene cable</u>		
Altura de la Antena Sobre el Punto de Referencia Punto de referencia: <u>Base del soporte de antena</u> Vertical ☐ o Inclinado ☒ Antes de las Observaciones: <u>1.614m</u> Después de las Observaciones: <u>1.614m</u> Durante la Observación: <u>1.614m</u>	Croquis de las medidas de la Antena 	
Observación: Nro. De la sesión del mismo día: <u>Primera</u> Intervalo de Medición: <u>1 seg</u> Elevación mínima: <u>10°</u> Hora de Inicio: <u>07:26:43</u> Hora de Término: <u>09:53:44</u> Operador / Institución: <u>Marilyn T. / Katy A.</u> <u>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco</u>		

Anexo D. Reporte del procesamiento – Software Leica Infinity

Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be **right**



GNSS Processing Report - Summary

Report created: 15/01/2025 12:39:49

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	PG1	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM WGS84 19S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	15/01/2025 12:16:18	Email:	-	Ellipsoid:	WGS84
Last Accessed:	15/01/2025 12:16:22	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.2.0	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-
Path:	E:\PG1\PG1.jpg				
Size:	62.4 MB				
Comments:	-				

Baseline CS01 - PG-1

Processing Parameters (10/01/2025 10:51:07 - 10/01/2025 12:19:05)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/L2	
Sampling Rate:	1.00 sec	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/Baidu	GPS/GLONASS	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	
Antenna Calibration Set:	NGS 14 Absolute	NGS 14 Absolute	
Processing Strategy			
Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed	
Solution Optimisation:	Automatic	Iono Minimised	
Frequency to use in Iono Minimised:	Automatic	L1/L2	
Tropospheric Model:	Automatic	VMF with GPT2 model	
Ionospheric Model:	Automatic	Computed	
Allow WideLane Fix:	Automatic	Automatic	
General Settings			
Min. Distance for Iono Minimised:	15 km		
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km		
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00		
Time Settings			
Time Format:	HH:mm:ss		
Time System:	Local Time		
Leap Seconds:	18		

Results Baseline: CS01 - PG-1

Acquisition

Start Time - End Time: 10/01/2025 10:51:07 - 10/01/2025 12:19:05
Duration: 01:27:58

Antennas

	Reference - CS01	Rover - Unknown Marker
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4905K34484	EMLID REACH RS2 / 8248FAEC71026AB
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 TZGD / 40929389	EML_REACH_RS2 / -
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.6938 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.6938 m

Phase Center Offset

GPS	Reference - TRM55971.00 TZGD		Rover - EML_REACH_RS2	
	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

GLONASS	L1		L2	
	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

Coordinates

	Reference - CS01	Rover - PG-1		Reference - CS01	Rover - PG-1
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	13° 31' 27.31818" S	13° 31' 57.46746" S	Easting:	179,291,7418 m	267,050,7589 m
WGS84 Longitude:	71° 57' 45.34124" W	71° 09' 11.84602" W	Northing:	8,502,947,4253 m	8,491,870,3207 m
WGS84 Ellip. Height:	3,410.0117 m	4,453.9547 m	Ortho. Height:	3,363.7971 m	4,401.3353 m
WGS84 Cartesian X:	1,921,528.2869 m	2,004,099.8932 m			
WGS84 Cartesian Y:	-5,900,745.4564 m	-5,871,310.7252 m			
WGS84 Cartesian Z:	-1,482,655.4285 m	-1,494,562.7105 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

ΔLatitude:	-0° 06' 30.14928"	SD ΔLatitude:	0.0004 m
ΔLongitude:	0° 48' 33.49522"	SD ΔLongitude:	0.0005 m
ΔHeight:	1,043.9430 m	SD ΔHeight:	0.0014 m
ΔX:	82,571.6063 m	SD ΔX:	0.0007 m
ΔY:	29,434.7312 m	SD ΔY:	0.0012 m
ΔZ:	-11,907.2910 m	SD ΔZ:	0.0006 m
Slope Dist:	88,466.1356 m	SD Slope Dist:	0.0005 m

M0:	1.1572 m	CQ ID:	0.0014 m
Q11:	0.00000034	CQ 2D:	0.0006 m
Q12:	-0.00000044	CQ 3D:	0.0015 m
Q22:	0.00000115		
Q13:	-0.00000018		
Q23:	0.00000041		
Q33:	0.00000030		

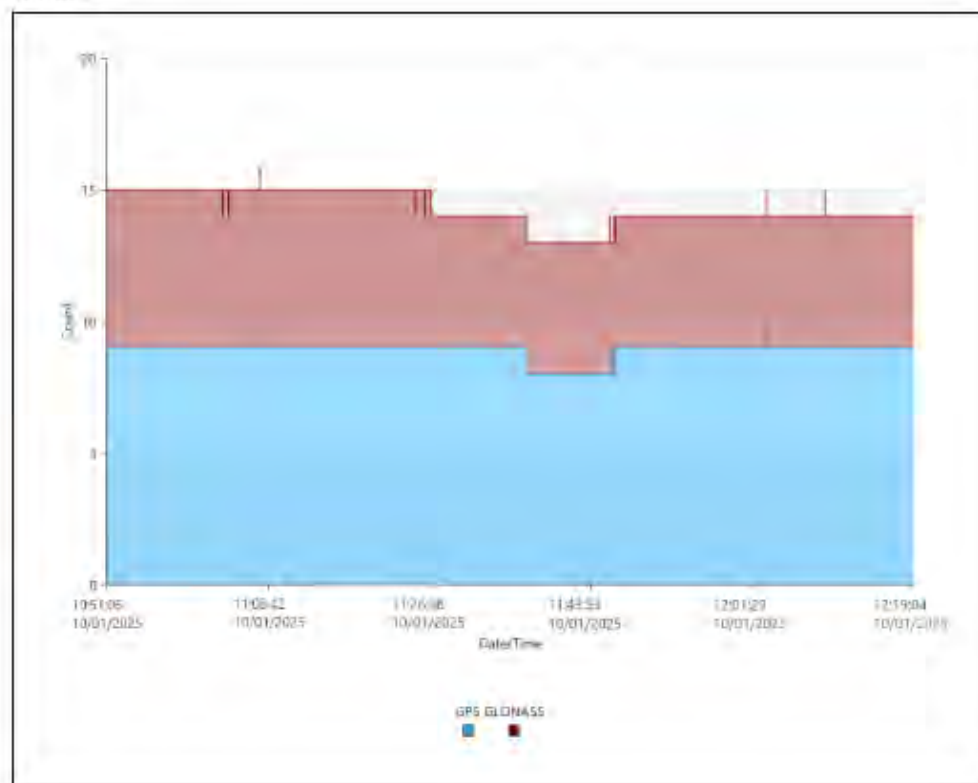
Frequency:	L1/L2	GDOP:	2.0 - 10.9	GPS SVs:	8/10
Solution Optimisation:	iono Minimised	PDOP:	1.5 - 7.8	GLONASS SVs:	6/6
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.6 - 2.0	Beidou SVs:	-
		VDOP:	1.4 - 7.3	Galileo SVs:	-
				QZSS SVs:	-

Ephemeris Type:					
GPS	Precise				
GLONASS	Precise				

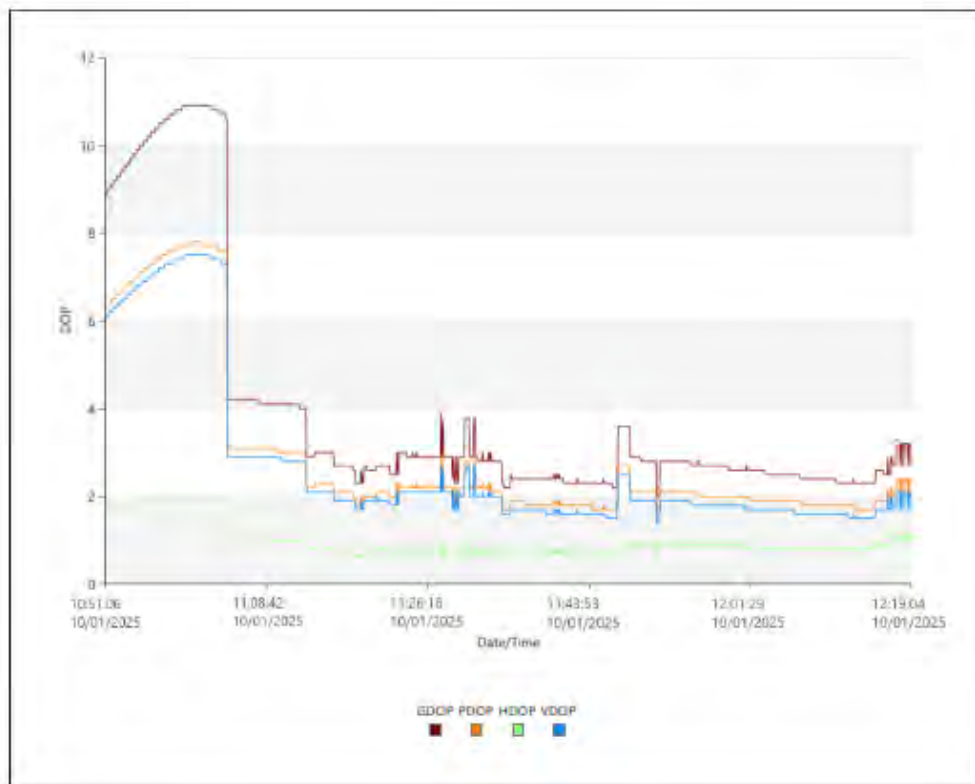
Processing Info (10/01/2025 10:51:07 - 10/01/2025 12:19:05)

Processed Date/Time: 15/01/2025 12:34:06

Sys Tracked



DOP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Galileo
Fixed	91	38	0
Total	267	52	0
Independently fixed	1,739	1,738	0
Possible independently fixed	2,566	2,566	2,566

Average time between independent fixes: 00:02:22

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	84.92	88.18	97.44	98.65
Not fixed	15.08	5.44	0.00	1.35
Not fixed - contradiction	0.00	6.38	2.56	0.00
Not fixed - missing phase	0.00	0.00	0.00	0.00

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Fixed	10/01/2025 10:51:07	10/01/2025 12:19:05	01:27:58

Leica Geosystems AG
Helmich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be right



GNSS Processing Report - Summary

Report created: 15/01/2025 12:52:41

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	Tramo 2 (PG-2)	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM WGS84 19S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	15/01/2025 12:48:32	Email:	-	Ellipsoid:	WGS84
Last Accessed:	15/01/2025 12:48:33	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.2.0	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-
Path:	E:\0. PROCESAMIENTO LEICA 2\Tramo 2 (PG-2)\Tramo 2 (PG-2).prj				
Size:	62.1 MB				
Comments:	-				

Baseline CS01 - PG-2

Processing Parameters (10/01/2025 13:04:01 - 10/01/2025 13:15:24)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/L2	
Sampling Rate:	1.00 sec	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou	GPS/GLONASS	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	
Antenna Calibration Set:	NGS 14 Absolute	NGS 14 Absolute	
Processing Strategy			
Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed	
Solution Optimisation:	Automatic	Iono Minimised	
Frequency to use in Iono Minimised:	Automatic	L1/L2	
Tropospheric Model:	Automatic	Computed	
Ionospheric Model:	Automatic	Computed	
Allow Wideplane Fix:	Automatic	Automatic	
General Settings			
Min. Distance for Iono Minimised:	15 km		
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km		
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00		
Time Settings			
Time Format:	HH:mm:ss		
Time System:	Local Time		
Leap Seconds:	18		

Results Baseline: CS01 - PG-2

Acquisition

Start Time - End Time: 10/01/2025 13:04:01 - 10/01/2025 15:15:24
Duration: 02:11:23

Antennas

	Reference - CS01	Rover - PG-2
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4906K34484	EMLID REACH RS2 / 8243EFAEC71026AB
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 TZGD / 40929389	EML_REACH_RS2 / -
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.6095 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.6095 m

Phase Center Offset

	Reference - TRM55971.00 TZGD		Rover - EML_REACH_RS2	
GPS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

GLONASS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

Coordinates

	Reference - CS01	Rover - PG-2		Reference - CS01	Rover - PG-2
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	13° 31' 27.31818" S	13° 35' 52.63020" S	Easting:	179,291.7418 m	286,210.1242 m
WGS84 Longitude:	71° 57' 45.34124" W	70° 58' 33.48009" W	Northing:	8,502,947.4253 m	8,495,870.1332 m
WGS84 Ellip. Height:	3,410.0117 m	2,924.0841 m	Ortho Height:	3,363.7371 m	2,872.9245 m
WGS84 Cartesian X:	1,921,528.2869 m	2,022,071.1661 m			
WGS84 Cartesian Y:	-5,900,745.4564 m	-5,864,528.7204 m			
WGS84 Cartesian Z:	-1,482,655.4285 m	-1,490,471.9773 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

ΔLatitude:	-0° 04' 25.32102"	SD ΔLatitude:	0.0003 m
ΔLongitude:	0° 59' 11.86115"	SD ΔLongitude:	0.0003 m
ΔHeight:	-485.9276 m	SD ΔHeight:	0.0027 m
ΔX:	100,542.8792 m	SD ΔX:	0.0008 m
ΔY:	36,216.7359 m	SD ΔY:	0.0025 m
ΔZ:	-7,816.5488 m	SD ΔZ:	0.0007 m
Slope Dist:	107,152.3259 m	SD Slope Dist:	0.0003 m

M0:	0.6229 m	CQ 1D:	0.0027 m
Q11:	0.00000182	CQ 2D:	0.0004 m
Q12:	-0.00000492	CQ 3D:	0.0027 m
Q22:	0.00001616		
Q13:	-0.00000133		
Q23:	0.00000432		
Q33:	0.00000135		

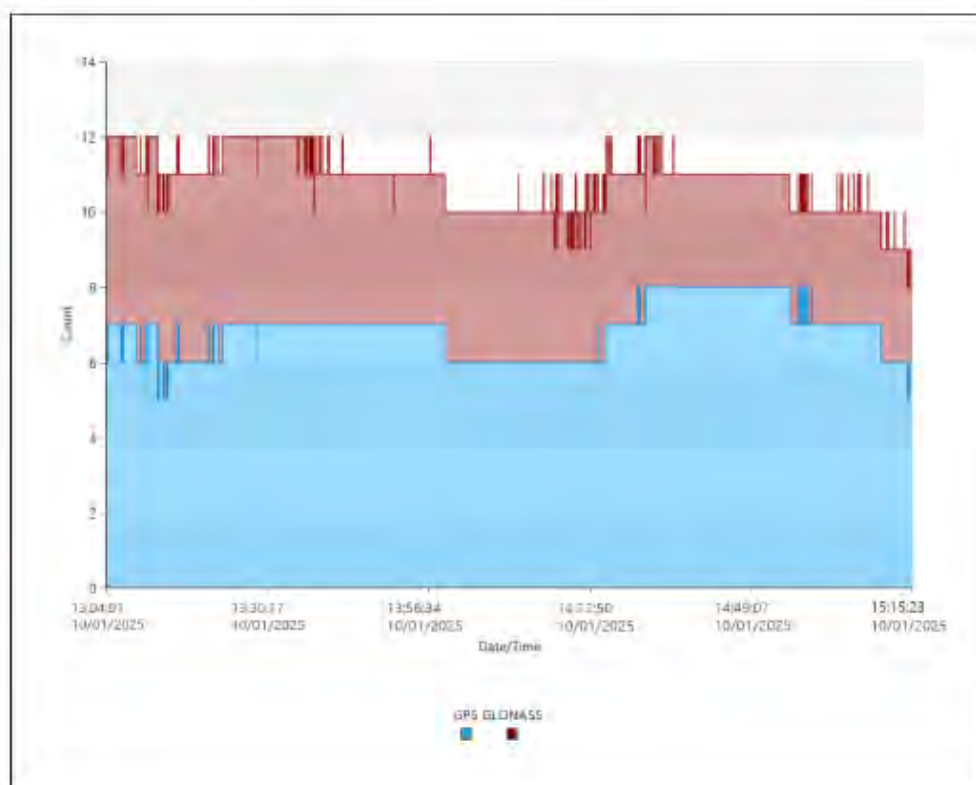
Frequency:	L1/L2	GDOP:	1.9 - 12.1	GPS SVs:	8/8
Solution Optimisation:	Ionosph Minimised	PDOP:	1.5 - 8.6	GLONASS SVs:	5/5
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.8 - 3.5	BeiDou SVs:	-
		VDOP:	1.2 - 7.9	Galileo SVs:	-
				QZSS SVs:	-

Ephemeric Type:	
GPS	Precise
GLONASS	Precise

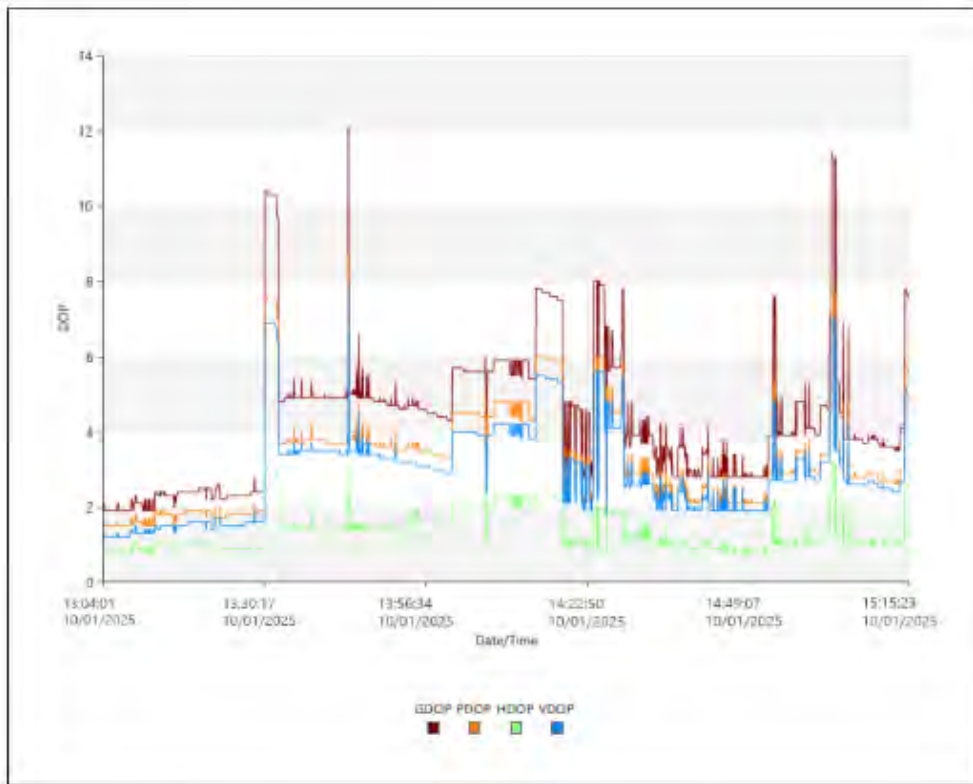
Processing Info (10/01/2025 13:04:01 - 10/01/2025 15:15:24)

Processed Date/Time: 15/01/2025 12:52:35

SVs Tracked



DGP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Fixed	109	58	0	0
Total	337	134	0	0
Independently fixed	1,676	1,675	0	0
Possible independently fixed	3,809	3,809	3,809	3,809

Average time between independent fixes: 00:01:30

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	85.80	85.40	89.01	78.40
Not fixed	6.68	4.10	0.07	3.02
Not fixed - contradiction	6.08	9.43	9.90	18.28
Not fixed - missing phase	1.23	0.89	0.11	0.21

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Not fixed	10/01/2025 13:04:01	10/01/2025 13:29:08	00:25:07
Fixed	10/01/2025 13:29:08	10/01/2025 13:29:10	00:00:02
Not fixed	10/01/2025 13:29:10	10/01/2025 13:29:12	00:00:02
Fixed	10/01/2025 13:29:12	10/01/2025 13:29:13	00:00:01
Not fixed	10/01/2025 13:29:13	10/01/2025 13:30:23	00:01:10
Fixed	10/01/2025 13:30:23	10/01/2025 13:43:56	00:13:33
Not fixed	10/01/2025 13:43:56	10/01/2025 13:44:00	00:00:04
Fixed	10/01/2025 13:44:00	10/01/2025 14:06:22	00:22:22
Not fixed	10/01/2025 14:06:22	10/01/2025 14:06:33	00:00:11
Fixed	10/01/2025 14:06:33	10/01/2025 14:14:29	00:07:56
Not fixed	10/01/2025 14:14:29	10/01/2025 14:14:30	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:14:30	10/01/2025 14:14:33	00:00:03
Not fixed	10/01/2025 14:14:33	10/01/2025 14:14:34	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:14:34	10/01/2025 14:14:35	00:00:01

Not fixed	10/01/2025 14:14:35	10/01/2025 14:14:36	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:14:36	10/01/2025 14:15:19	00:00:43
Not fixed	10/01/2025 14:15:19	10/01/2025 14:15:20	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:15:20	10/01/2025 14:16:27	00:01:07
Not fixed	10/01/2025 14:16:27	10/01/2025 14:16:28	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:16:28	10/01/2025 14:16:52	00:00:24
Not fixed	10/01/2025 14:16:52	10/01/2025 14:23:52	00:05:00
Fixed	10/01/2025 14:23:52	10/01/2025 14:23:57	00:00:05
Not fixed	10/01/2025 14:23:57	10/01/2025 14:23:58	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:23:58	10/01/2025 14:23:59	00:00:01
Not fixed	10/01/2025 14:23:59	10/01/2025 14:24:00	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:00	10/01/2025 14:24:03	00:00:03
Not fixed	10/01/2025 14:24:03	10/01/2025 14:24:04	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:04	10/01/2025 14:24:05	00:00:01
Not fixed	10/01/2025 14:24:05	10/01/2025 14:24:06	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:06	10/01/2025 14:24:07	00:00:01
Not fixed	10/01/2025 14:24:07	10/01/2025 14:24:08	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:08	10/01/2025 14:24:13	00:00:05
Not fixed	10/01/2025 14:24:13	10/01/2025 14:24:14	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:14	10/01/2025 14:24:15	00:00:01
Not fixed	10/01/2025 14:24:15	10/01/2025 14:24:16	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:16	10/01/2025 14:24:19	00:00:03
Not fixed	10/01/2025 14:24:19	10/01/2025 14:24:20	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:20	10/01/2025 14:24:23	00:00:03
Not fixed	10/01/2025 14:24:23	10/01/2025 14:24:24	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:24	10/01/2025 14:24:25	00:00:01
Not fixed	10/01/2025 14:24:25	10/01/2025 14:24:26	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:26	10/01/2025 14:24:31	00:00:05
Not fixed	10/01/2025 14:24:31	10/01/2025 14:24:32	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:32	10/01/2025 14:24:35	00:00:03
Not fixed	10/01/2025 14:24:35	10/01/2025 14:24:36	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:36	10/01/2025 14:24:41	00:00:05
Not fixed	10/01/2025 14:24:41	10/01/2025 14:24:42	00:00:01
Fixed	10/01/2025 14:24:42	10/01/2025 14:25:16	00:00:36
Not fixed	10/01/2025 14:25:16	10/01/2025 14:25:20	00:00:02
Fixed	10/01/2025 14:25:20	10/01/2025 14:25:59	00:00:39
Not fixed	10/01/2025 14:25:59	10/01/2025 14:26:02	00:00:03
Fixed	10/01/2025 14:26:02	10/01/2025 14:34:47	00:08:45
Not fixed	10/01/2025 14:34:47	10/01/2025 14:34:50	00:00:03
Fixed	10/01/2025 14:34:50	10/01/2025 15:15:34	00:40:54

Leica Geosystems AG
Helmich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be **right**



GNSS Processing Report - Summary

Report created: 20/12/2024 13:13:41

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	TRAMO 3 (PG-3)	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM WGS84 19S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	20/12/2024 13:09:40	Email:	-	Ellipsoid:	WGS84
Last Accessed:	20/12/2024 13:09:40	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.2.0	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-
Path:	E:\0. PROCESAMIENTO LEICA 2\TRAMO 3 (PG-3)\TRAMO 3 (PG-3).ipr				
Size:	61.2 MB				
Comments:	-				

Baseline CS01 - PG-3

Processing Parameters (13/12/2024 15:23:41 - 15/12/2024 17:42:13)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/L2	
Sampling Rate:	1.00 sec	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou	GPS/GLONASS	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	
Antenna Calibration Set:	NGS 14 Absolute	NGS 14 Absolute	
Processing Strategy			
Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed	
Solution Optimisation:	Automatic	None	
Frequency to use in Ionospheric Minimised:	Automatic	Automatic	
Tropospheric Model:	Automatic	Computed	
Ionospheric Model:	Automatic	Computed	
Allow Wideband Fix:	Automatic	Automatic	
General Settings			
Min. Distance for Ionospheric Minimised:	15 km		
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km		
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00		
Time Settings			
Time Format:	HH:mm:ss		
Time System:	Local Time		
Leap Seconds:	18		

Results Baseline: CS01 - PG-3

Acquisition

Start Time - End Time: 15/12/2024 15:23:41 - 15/12/2024 17:42:13
Duration: 02:18:32

Antennas

	Reference - CS01	Rover - PG-3
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4906K34484	EMLID REACH RS2 / 8243EFAEC71026AB
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 TZGD / 40929389	EML_REACH_RS2 / -
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.5313 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.5313 m

Phase Center Offset

	Reference - TRM55971.00 TZGD		Rover - EML_REACH_RS2	
GPS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

GLONASS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

Coordinates

	Reference - CS01	Rover - PG-3		Reference - CS01	Rover - PG-3
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	13° 31' 27.31818" S	13° 35' 36.24385" S	Easting:	179,291.7418 m	287,018.1215 m
WGS84 Longitude:	71° 57' 45.34124" W	70° 58' 06.46048" W	Northing:	8,502,947.4253 m	8,496,380.6364 m
WGS84 Ellip. Height:	3,410.0117 m	2,792.6726 m	Ortho Height:	3,363.7371 m	2,740.6932 m
WGS84 Cartesian X:	1,921,528.2869 m	2,022,836.1046 m			
WGS84 Cartesian Y:	-5,900,745.4564 m	-5,864,255.1492 m			
WGS84 Cartesian Z:	-1,482,655.4285 m	-1,489,951.1207 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

ΔLatitude:	-0° 04' 08.92567"	SD ΔLatitude:	0.0007 m
ΔLongitude:	0° 59' 38.87176"	SD ΔLongitude:	0.0005 m
ΔHeight:	-617.3391 m	SD ΔHeight:	0.0042 m
ΔX:	101,307.8177 m	SD ΔX:	0.0012 m
ΔY:	36,490.3072 m	SD ΔY:	0.0038 m
ΔZ:	-7,295.6922 m	SD ΔZ:	0.0015 m
Slope Dist:	107,926.1024 m	SD Slope Dist:	0.0005 m

M0:	2.5926 m	CQ 1D:	0.0042 m
Q11:	0.00000020	CQ 2D:	0.0009 m
Q12:	-0.00000061	CQ 3D:	0.0042 m
Q22:	0.00000216		
Q13:	-0.00000021		
Q23:	0.00000076		
Q33:	0.00000032		

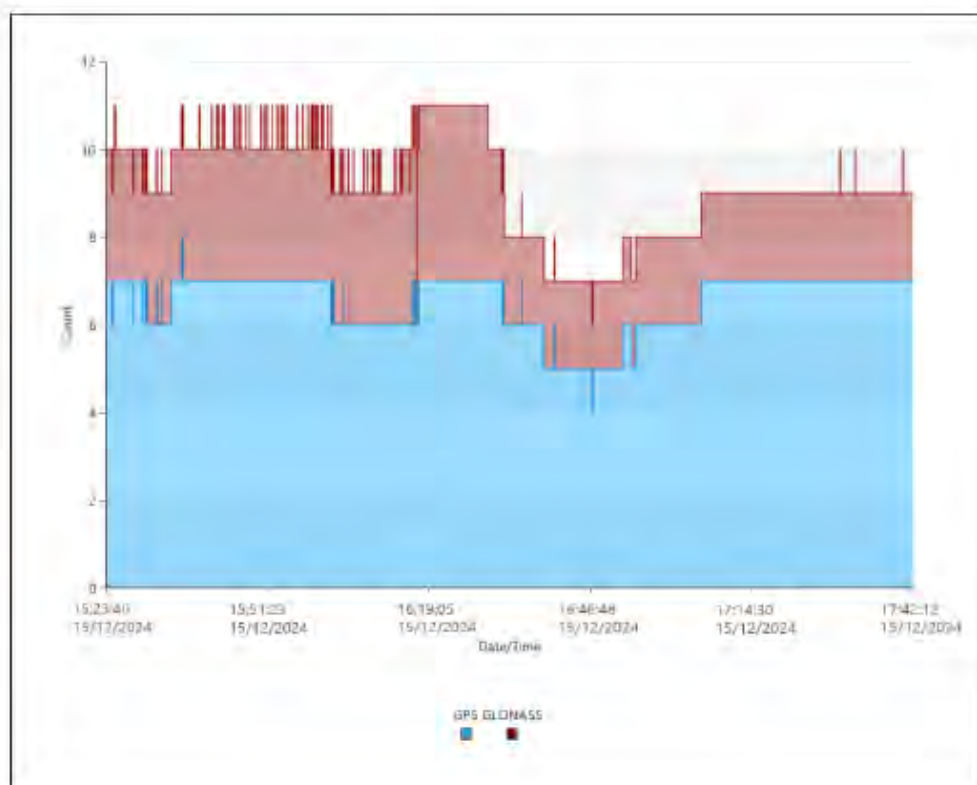
Frequency:	L1/L2	GDOP:	2.3 - 13.2	GPS SVs:	7/7
Solution Optimisation:	Noise	PDOP:	1.8 - 9.3	GLONASS SVs:	4/5
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.9 - 3.9	BeiDou SVs:	-
		VDOP:	1.5 - 9.1	Galileo SVs:	-
				QZSS SVs:	-

Ephemeris Type:	
GPS	Precise
GLONASS	Precise

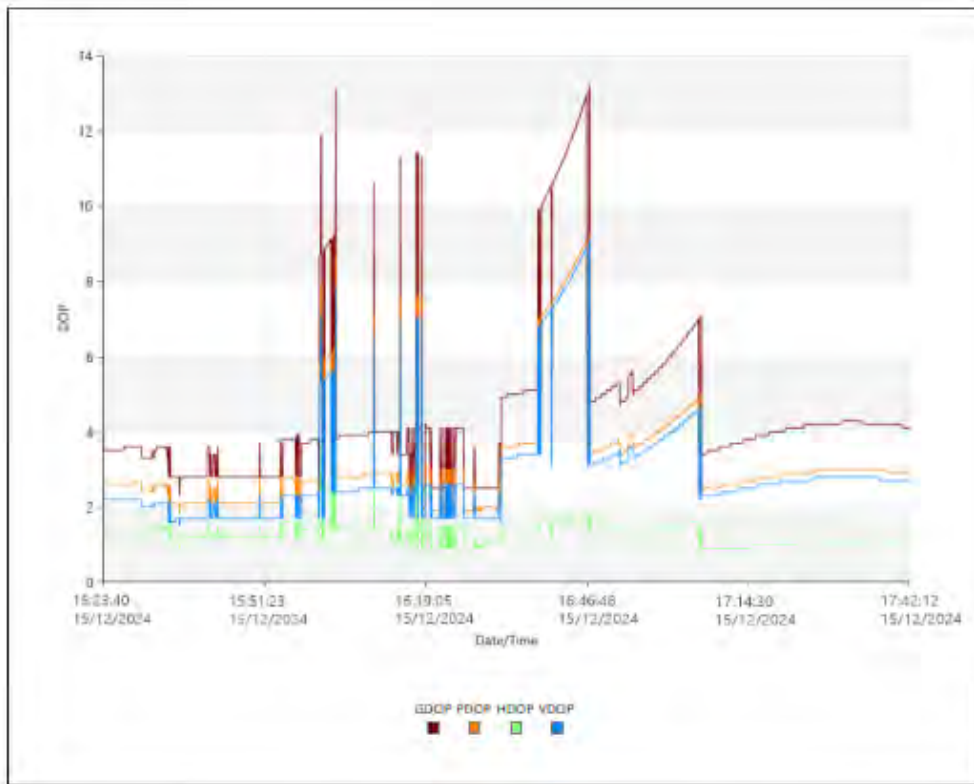
Processing Info (15/12/2024 15:23:41 - 15/12/2024 17:42:13)

Processed Date/Time: 20/12/2024 13:15:35

SVs Tracked



DGP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Fixed	168	42	0	0
Total	651	79	0	0
Independently fixed	1,467	1,461	0	0
Possible independently fixed	3,662	3,662	3,662	3,662

Average time between independent fixes: 00:00:30

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	86.03	77.41	94.66	88.55
Not fixed	3.79	6.33	4.68	10.93
Not fixed - contradiction	9.19	5.12	0.09	0.00
Not fixed - missing phase	0.98	9.13	0.67	0.52

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Not fixed	15/12/2024 15:23:41	15/12/2024 15:23:46	00:00:05
Fixed	15/12/2024 15:23:46	15/12/2024 15:25:18	00:01:32
Not fixed	15/12/2024 15:25:18	15/12/2024 15:25:19	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:25:19	15/12/2024 15:34:22	00:09:03
Not fixed	15/12/2024 15:34:22	15/12/2024 15:34:24	00:00:02
Fixed	15/12/2024 15:34:24	15/12/2024 15:34:30	00:00:06
Not fixed	15/12/2024 15:34:30	15/12/2024 15:34:31	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:34:31	15/12/2024 15:34:36	00:00:07
Not fixed	15/12/2024 15:34:36	15/12/2024 15:34:40	00:00:04
Fixed	15/12/2024 15:34:40	15/12/2024 15:34:42	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 15:34:42	15/12/2024 15:34:44	00:00:02
Fixed	15/12/2024 15:34:44	15/12/2024 15:34:45	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:34:45	15/12/2024 15:34:51	00:00:06
Fixed	15/12/2024 15:34:51	15/12/2024 15:34:52	00:00:01

Not fixed	15/12/2024 15:34:52	15/12/2024 15:34:53	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:34:53	15/12/2024 15:34:54	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:34:54	15/12/2024 15:35:00	00:00:12
Fixed	15/12/2024 15:35:00	15/12/2024 15:35:11	00:00:05
Not fixed	15/12/2024 15:34:11	15/12/2024 15:34:14	00:00:03
Fixed	15/12/2024 15:35:14	15/12/2024 15:35:17	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 15:35:17	15/12/2024 15:35:18	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:35:18	15/12/2024 15:35:19	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:35:19	15/12/2024 15:41:32	00:00:13
Fixed	15/12/2024 15:41:32	15/12/2024 15:41:36	00:00:04
Not fixed	15/12/2024 15:41:36	15/12/2024 15:41:41	00:00:05
Fixed	15/12/2024 15:41:41	15/12/2024 15:42:05	00:00:24
Not fixed	15/12/2024 15:42:05	15/12/2024 15:42:09	00:00:04
Fixed	15/12/2024 15:42:09	15/12/2024 15:42:12	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 15:42:12	15/12/2024 15:42:16	00:00:04
Fixed	15/12/2024 15:42:16	15/12/2024 15:42:17	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:42:17	15/12/2024 15:42:23	00:00:06
Fixed	15/12/2024 15:42:23	15/12/2024 15:42:25	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 15:42:25	15/12/2024 15:42:27	00:00:02
Fixed	15/12/2024 15:42:27	15/12/2024 15:42:28	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:42:28	15/12/2024 15:42:29	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:42:29	15/12/2024 15:42:29	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 15:42:31	15/12/2024 15:42:33	00:00:02
Fixed	15/12/2024 15:42:33	15/12/2024 15:42:34	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:42:34	15/12/2024 15:42:37	00:00:03
Fixed	15/12/2024 15:42:37	15/12/2024 15:42:45	00:00:08
Not fixed	15/12/2024 15:42:45	15/12/2024 15:42:46	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:42:46	15/12/2024 15:42:49	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 15:42:49	15/12/2024 15:42:50	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:42:50	15/12/2024 15:42:53	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 15:42:53	15/12/2024 15:42:54	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:42:54	15/12/2024 15:42:55	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:42:55	15/12/2024 15:42:56	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:42:56	15/12/2024 15:42:58	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 15:42:58	15/12/2024 15:43:00	00:00:08
Fixed	15/12/2024 15:43:00	15/12/2024 15:43:11	00:00:05
Not fixed	15/12/2024 15:43:11	15/12/2024 15:43:26	00:00:15
Fixed	15/12/2024 15:43:26	15/12/2024 15:43:27	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:43:27	15/12/2024 15:44:08	00:00:41
Fixed	15/12/2024 15:44:08	15/12/2024 15:44:09	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:44:09	15/12/2024 15:50:41	00:06:32
Fixed	15/12/2024 15:50:41	15/12/2024 15:50:46	00:00:05
Not fixed	15/12/2024 15:50:46	15/12/2024 15:54:16	00:03:30
Fixed	15/12/2024 15:54:16	15/12/2024 15:54:17	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:54:17	15/12/2024 15:54:18	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:54:18	15/12/2024 15:54:20	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 15:54:20	15/12/2024 15:54:23	00:00:03
Fixed	15/12/2024 15:54:23	15/12/2024 15:54:24	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:54:24	15/12/2024 15:54:28	00:00:04
Fixed	15/12/2024 15:54:28	15/12/2024 15:54:31	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 15:54:31	15/12/2024 15:54:34	00:00:03
Fixed	15/12/2024 15:54:34	15/12/2024 15:54:35	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:54:35	15/12/2024 15:54:39	00:00:04
Fixed	15/12/2024 15:54:39	15/12/2024 15:56:51	00:02:12
Not fixed	15/12/2024 15:56:51	15/12/2024 15:56:54	00:00:03
Fixed	15/12/2024 15:56:54	15/12/2024 15:56:55	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:56:55	15/12/2024 15:56:59	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 15:56:59	15/12/2024 15:57:00	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:57:00	15/12/2024 15:57:01	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:57:01	15/12/2024 15:57:02	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:57:02	15/12/2024 15:57:03	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 15:57:03	15/12/2024 15:57:04	00:00:01
Fixed	15/12/2024 15:57:04	15/12/2024 15:57:10	00:00:06
Not fixed	15/12/2024 15:57:10	15/12/2024 15:57:12	00:00:02
Fixed	15/12/2024 15:57:12	15/12/2024 15:57:28	00:00:16
Not fixed	15/12/2024 15:57:28	15/12/2024 15:57:48	00:00:20
Fixed	15/12/2024 15:57:48	15/12/2024 16:00:46	00:02:58
Not fixed	15/12/2024 16:00:46	15/12/2024 16:00:47	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:00:47	15/12/2024 16:00:50	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 16:00:50	15/12/2024 16:00:54	00:00:04
Fixed	15/12/2024 16:00:54	15/12/2024 16:01:18	00:00:24

Not fixed	15/12/2024 16:01:18	15/12/2024 16:01:28	00:00:10
Fixed	15/12/2024 16:01:28	15/12/2024 16:01:28	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:29	15/12/2024 16:01:32	00:00:03
Fixed	15/12/2024 16:01:32	15/12/2024 16:01:33	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:33	15/12/2024 16:01:34	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:01:34	15/12/2024 16:01:35	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:38	15/12/2024 16:01:41	00:00:03
Fixed	15/12/2024 16:01:41	15/12/2024 16:01:42	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:42	15/12/2024 16:01:43	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:01:43	15/12/2024 16:01:44	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:44	15/12/2024 16:01:45	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:01:45	15/12/2024 16:01:46	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:46	15/12/2024 16:01:47	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:01:47	15/12/2024 16:01:48	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:01:48	15/12/2024 16:01:49	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:01:49	15/12/2024 16:02:50	00:01:07
Not fixed	15/12/2024 16:02:50	15/12/2024 16:02:57	00:00:07
Fixed	15/12/2024 16:02:57	15/12/2024 16:02:58	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:02:58	15/12/2024 16:03:04	00:00:06
Fixed	15/12/2024 16:03:04	15/12/2024 16:03:07	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 16:03:07	15/12/2024 16:03:16	00:00:09
Fixed	15/12/2024 16:03:16	15/12/2024 16:03:17	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:03:17	15/12/2024 16:03:18	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:03:18	15/12/2024 16:03:19	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:03:19	15/12/2024 16:03:29	00:00:10
Fixed	15/12/2024 16:03:29	15/12/2024 16:03:30	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:03:30	15/12/2024 16:03:31	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:03:31	15/12/2024 16:03:35	00:00:04
Not fixed	15/12/2024 16:03:35	15/12/2024 16:03:40	00:00:05
Fixed	15/12/2024 16:03:40	15/12/2024 16:03:42	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:03:42	15/12/2024 16:10:10	00:06:28
Fixed	15/12/2024 16:10:10	15/12/2024 16:10:16	00:00:06
Not fixed	15/12/2024 16:10:16	15/12/2024 16:14:33	00:04:17
Fixed	15/12/2024 16:14:33	15/12/2024 16:14:34	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:14:34	15/12/2024 16:14:46	00:00:12
Fixed	15/12/2024 16:14:46	15/12/2024 16:14:47	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:14:47	15/12/2024 16:14:49	00:00:02
Fixed	15/12/2024 16:14:49	15/12/2024 16:14:50	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:14:50	15/12/2024 16:16:02	00:01:12
Fixed	15/12/2024 16:16:02	15/12/2024 16:16:04	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:16:04	15/12/2024 16:17:24	00:01:20
Fixed	15/12/2024 16:17:24	15/12/2024 16:17:33	00:00:09
Not fixed	15/12/2024 16:17:33	15/12/2024 16:17:34	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:17:34	15/12/2024 16:17:45	00:00:11
Not fixed	15/12/2024 16:17:45	15/12/2024 16:17:47	00:00:02
Fixed	15/12/2024 16:17:47	15/12/2024 16:18:19	00:00:32
Not fixed	15/12/2024 16:18:19	15/12/2024 16:18:21	00:00:02
Fixed	15/12/2024 16:18:21	15/12/2024 16:18:22	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:18:22	15/12/2024 16:18:28	00:00:06
Fixed	15/12/2024 16:18:28	15/12/2024 16:18:36	00:00:08
Not fixed	15/12/2024 16:18:36	15/12/2024 16:19:04	00:00:28
Fixed	15/12/2024 16:19:04	15/12/2024 16:19:37	00:00:33
Not fixed	15/12/2024 16:19:37	15/12/2024 16:19:39	00:00:02
Fixed	15/12/2024 16:19:39	15/12/2024 16:19:44	00:00:05
Not fixed	15/12/2024 16:19:44	15/12/2024 16:19:45	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:19:45	15/12/2024 16:19:47	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:19:47	15/12/2024 16:19:48	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:19:48	15/12/2024 16:19:50	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:19:50	15/12/2024 16:19:51	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:19:51	15/12/2024 16:19:53	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:19:53	15/12/2024 16:19:58	00:00:05
Fixed	15/12/2024 16:19:58	15/12/2024 16:19:59	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:19:59	15/12/2024 16:20:00	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:20:00	15/12/2024 16:20:02	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:20:02	15/12/2024 16:20:15	00:00:13
Fixed	15/12/2024 16:20:15	15/12/2024 16:20:16	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:20:16	15/12/2024 16:21:34	00:01:18
Fixed	15/12/2024 16:21:34	15/12/2024 16:21:35	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:21:35	15/12/2024 16:21:36	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:21:36	15/12/2024 16:21:38	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:21:38	15/12/2024 16:21:42	00:00:04
Fixed	15/12/2024 16:21:42	15/12/2024 16:21:44	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:21:44	15/12/2024 16:21:47	00:00:03

Fixed	15/12/2024 16:21:47	15/12/2024 16:21:48	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:21:48	15/12/2024 16:21:54	00:00:06
Fixed	15/12/2024 16:21:54	15/12/2024 16:21:55	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:21:55	15/12/2024 16:21:56	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:21:56	15/12/2024 16:21:56	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:21:58	15/12/2024 16:22:31	00:00:33
Fixed	15/12/2024 16:22:31	15/12/2024 16:22:32	00:00:01
Not fixed	15/12/2024 16:22:32	15/12/2024 16:22:33	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:22:33	15/12/2024 16:22:35	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:22:35	15/12/2024 16:22:37	00:00:02
Fixed	15/12/2024 16:22:37	15/12/2024 16:22:41	00:00:04
Not fixed	15/12/2024 16:22:41	15/12/2024 16:22:46	00:00:05
Fixed	15/12/2024 16:22:46	15/12/2024 16:22:49	00:00:03
Not fixed	15/12/2024 16:22:49	15/12/2024 16:22:52	00:00:03
Fixed	15/12/2024 16:22:52	15/12/2024 16:22:59	00:00:07
Not fixed	15/12/2024 16:22:59	15/12/2024 16:23:00	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:23:00	15/12/2024 16:23:06	00:00:06
Not fixed	15/12/2024 16:23:06	15/12/2024 16:23:07	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:23:07	15/12/2024 16:23:09	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:23:09	15/12/2024 16:23:10	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:23:10	15/12/2024 16:23:19	00:00:09
Not fixed	15/12/2024 16:23:19	15/12/2024 16:23:32	00:00:13
Fixed	15/12/2024 16:23:32	15/12/2024 16:23:46	00:00:06
Not fixed	15/12/2024 16:23:40	15/12/2024 16:24:04	00:00:24
Fixed	15/12/2024 16:24:04	15/12/2024 16:24:11	00:00:07
Not fixed	15/12/2024 16:24:11	15/12/2024 16:24:12	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:24:12	15/12/2024 16:24:14	00:00:02
Not fixed	15/12/2024 16:24:14	15/12/2024 16:24:15	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:24:15	15/12/2024 16:24:24	00:00:09
Not fixed	15/12/2024 16:24:24	15/12/2024 16:24:25	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:24:25	15/12/2024 16:24:37	00:00:12
Not fixed	15/12/2024 16:24:37	15/12/2024 16:24:38	00:00:01
Fixed	15/12/2024 16:24:38	15/12/2024 16:25:32	00:00:54
Not fixed	15/12/2024 16:25:32	15/12/2024 16:25:34	00:00:02
Fixed	15/12/2024 16:25:34	15/12/2024 16:25:40	00:00:06
Not fixed	15/12/2024 16:25:40	15/12/2024 17:42:13	01:16:33

Leica Geosystems AG
Helmich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be right



GNSS Processing Report - Summary

Report created: 10/02/2025 13:46:31

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	TRAMO 4 (PG-4)	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM WGS84 19S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	10/02/2025 13:27:55	Email:	-	Ellipsoid:	WGS84
Last Accessed:	10/02/2025 13:45:26	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.2.0	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-
Path:	E:\0. PROCESAMIENTO LEICA 2\TRAMO 4 (PG-4)\TRAMO 4 (PG-4).prj				
Size:	50.5 MB				
Comments:	-				

Baseline CS01 - PG-4

Processing Parameters (02/02/2025 12:59:55 - 02/02/2025 15:10:32)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/E1/L2	
Sampling Rate:	1.00 sec	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLO/NASS/Galileo/BeiDou	GPS/GLO/NASS/Galileo	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	
Antenna Calibration Set:	NGS 14 Absolute	NGS 14 Absolute	
Processing Strategy			
Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed	
Solution Optimisation:	Automatic	None	
Frequency to use in Ionosphere Minimised:	Automatic	L1/E1/L2	
Tropospheric Model:	Automatic	Computed	
Ionospheric Model:	Automatic	Computed	
Allow Wideplane Fix:	Automatic	Automatic	
General Settings			
Min. Distance for Ionosphere Minimised:	15 km		
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km		
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00		
Time Settings			
Time Format:	HH:mm:ss		
Time System:	Local Time		
Leap Seconds:	18		

Results Baseline: CS01 - PG-4

Acquisition

Start Time - End Time: 02/02/2025 12:59:55 - 02/02/2025 15:10:32
Duration: 02:10:37

Antennas

	Reference - CS01	Rover - PG-4
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4906K34484	EMLID REACH RS2 / 8243EFAEC71026AB
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 TZGD / 40929389	EML_REACH_RS2 / -
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.5333 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.5333 m

Phase Center Offset

GPS	Reference - TRM55971.00 TZGD		Rover - EML_REACH_RS2	
	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

GLONASS	L1		L2	
	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

Coordinates

	Reference - CS01	Rover - PG-4		Reference - CS01	Rover - PG-4
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	13° 31' 27.31818" S	13° 35' 27.46156" S	Easting:	179,291.7418 m	289,873.4726 m
WGS84 Longitude:	71° 57' 45.34124" W	70° 56' 31.42967" W	Northing:	8,502,947.4253 m	8,496,673.4935 m
WGS84 Ellip. Height:	3,410.0117 m	2,566.8249 m	Ortho. Height:	3,363.7371 m	2,515.2852 m
WGS84 Cartesian X:	1,921,528.2869 m	2,025,487.0934 m			
WGS84 Cartesian Y:	-5,900,745.4564 m	-5,863,174.9206 m			
WGS84 Cartesian Z:	-1,482,655.4285 m	-1,489,635.5942 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

ΔLatitude:	-0° 04' 00.14338"	SD ΔLatitude:	0.0134 m
ΔLongitude:	1° 01' 13.91557"	SD ΔLongitude:	0.0132 m
ΔHeight:	-843.1868 m	SD ΔHeight:	0.0342 m
ΔX:	103,958.8065 m	SD ΔX:	0.0164 m
ΔY:	37,570.5357 m	SD ΔY:	0.0316 m
ΔZ:	-6,980.1657 m	SD ΔZ:	0.0160 m
Slope Dist:	110,759.6556 m	SD Slope Dist:	0.0135 m

M0:	0.1894 m	CQ 1D:	0.0342 m
Q11:	0.00747018	CQ 2D:	0.0189 m
Q12:	-0.00772488	CQ 3D:	0.0390 m
Q22:	0.02789968		
Q13:	-0.00379132		
Q23:	0.00645511		
Q33:	0.00710026		

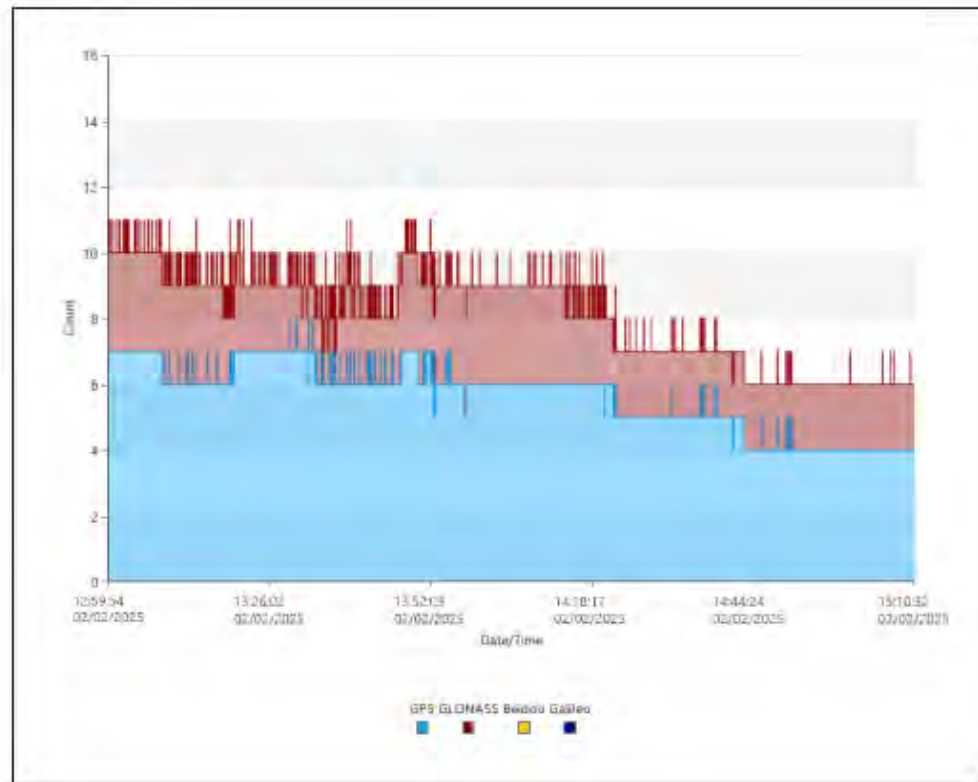
Frequency:	L1/E1/L2	GDOP:	2.1 - 11.8	GPS SVs:	7/8
Solution Optimisation:	None	PDOP:	1.7 - 10.0	GLONASS SVs:	3/5
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.9 - 6.3	BeiDou SVs:	0/3
		VDOP:	1.4 - 7.8	Galileo SVs:	5/5
				QZSS SVs:	-

Ephemeres Type:
GPS: Precise
GLONASS: Precise
BeiDou:
Galileo:

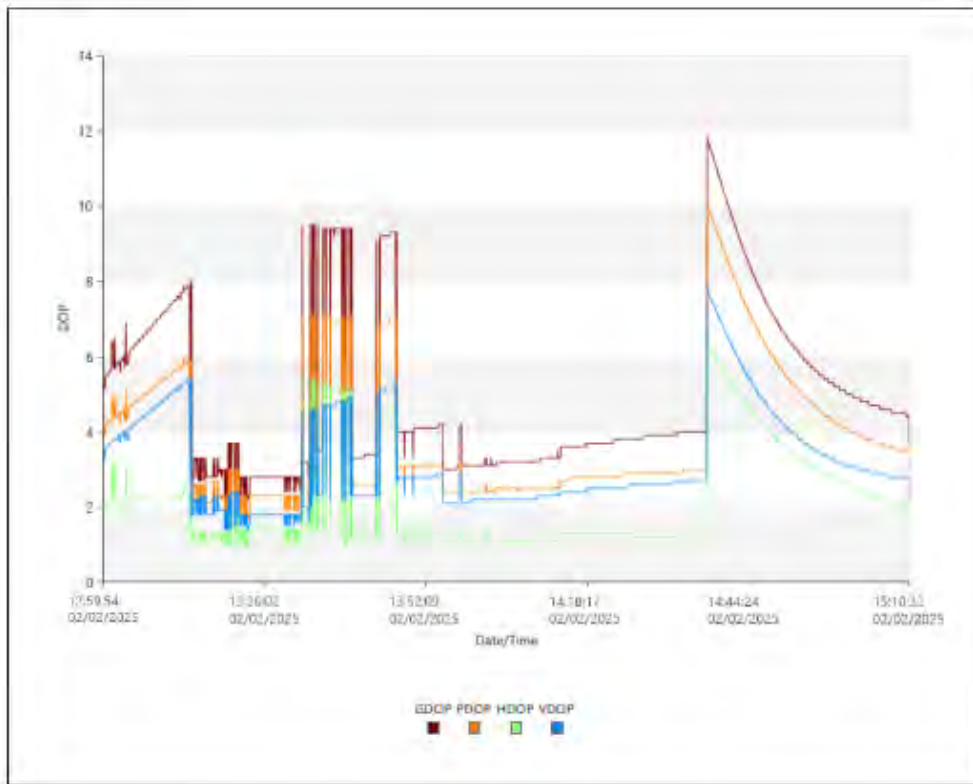
Processing Info (02/02/2025 12:59:55 - 02/02/2025 15:10:32)

Processed Date/Time: 10/02/2025 13:46:27

SVs Tracked



DOP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Fixed	39	18	0	0
Total	452	112	0	0
Independently fixed	1,535	1,534	0	0
Possible independently fixed	3,371	3,371	3,371	3,371

Average time between independent fixes: 00:00:18

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	78.00	59.06	28.77	30.86
Not fixed	11.23	7.25	1.07	6.17
Not fixed - contradiction	10.31	0.00	0.00	0.00
Not fixed - missing phase	0.46	0.70	1.16	0.78

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Not fixed	02/02/2025 12:59:55	02/02/2025 13:04:56	00:05:01
Fixed	02/02/2025 13:04:56	02/02/2025 13:50:16	00:45:20
Not fixed	02/02/2025 13:50:16	02/02/2025 13:51:26	00:01:10
Fixed	02/02/2025 13:51:26	02/02/2025 14:05:19	00:13:53
Not fixed	02/02/2025 14:05:19	02/02/2025 14:05:21	00:00:02
Fixed	02/02/2025 14:05:21	02/02/2025 14:09:20	00:03:59
Not fixed	02/02/2025 14:09:20	02/02/2025 14:09:21	00:00:01
Fixed	02/02/2025 14:09:21	02/02/2025 14:17:09	00:07:48
Not fixed	02/02/2025 14:17:09	02/02/2025 14:21:52	00:04:43
Fixed	02/02/2025 14:21:52	02/02/2025 14:49:47	00:27:55
Not fixed	02/02/2025 14:49:47	02/02/2025 14:57:13	00:07:26
Fixed	02/02/2025 14:57:13	02/02/2025 15:02:14	00:05:01
Not fixed	02/02/2025 15:02:14	02/02/2025 15:10:20	00:08:06
Fixed	02/02/2025 15:10:20	02/02/2025 15:10:32	00:00:12

Leica Geosystems AG
Helmich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be **right**



GNSS Processing Report - Summary

Report created: 20/12/2024 13:40:00

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	TRAMO 5 (PG-5)	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM WGS84 19S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	20/12/2024 13:33:38	Email:	-	Ellipsoid:	WGS84
Last Accessed:	20/12/2024 13:33:38	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.2.0	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-
Path:	E:\0. PROCESAMIENTO LEICA 2\TRAMO 5 (PG-5)\TRAMO 5 (PG-5).prj				
Size:	60.3 MB				
Comments:	-				

Baseline CS01 - PG-5

Processing Parameters (15/12/2024 10:13:42 - 15/12/2024 12:37:18)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/L2	
Sampling Rate:	1.00 sec	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou	GPS/GLONASS	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	
Antenna Calibration Set:	NGS 14 Absolute	NGS 14 Absolute	
Processing Strategy			
Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed	
Solution Optimisation:	Automatic	None	
Frequency to use in Ionospheric Minimised:	Automatic	Automatic	
Tropospheric Model:	Automatic	Computed	
Ionospheric Model:	Automatic	Computed	
Allow Wideplane Fix:	Automatic	Automatic	
General Settings			
Min. Distance for Ionospheric Minimised:	15 km		
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km		
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00		
Time Settings			
Time Format:	HH:mm:ss		
Time System:	Local Time		
Leap Seconds:	18		

Results Baseline: CS01 - PG-5

Acquisition

Start Time - End Time: 15/12/2024 10:13:42 - 15/12/2024 12:37:18
Duration: 02:23:36

Antennas

	Reference - CS01	Rover - PG-5
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4906K34484	EMLID REACH RS2 / 8243EFAEC71026AB
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 T ZGD / 40929389	EML_REACH_RS2 / -
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.5243 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.5243 m

Phase Center Offset

	Reference - TRM55971.00 T ZGD		Rover - EML_REACH_RS2	
GPS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

GLONASS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

Coordinates

	Reference - CS01	Rover - PG-5		Reference - CS01	Rover - PG-5
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	13° 31' 27.31818" S	13° 34' 05.26103" S	Easting:	179,291.7418 m	292,566.6052 m
WGS84 Longitude:	71° 57' 45.34124" W	70° 55' 01.18828" W	Northing:	8,502,947.4253 m	8,499,221.4214 m
WGS84 Ellip. Height:	3,410.0117 m	2,356.8825 m	Ortho Height:	3,363.7371 m	2,305.1302 m
WGS84 Cartesian X:	1,921,528.2869 m	2,028,179.2152 m			
WGS84 Cartesian Y:	-5,900,745.4564 m	-5,862,656.1444 m			
WGS84 Cartesian Z:	-1,482,655.4285 m	-1,467,129.7731 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

ΔLatitude:	-0° 02' 37.94285"	SD ΔLatitude:	0.0008 m
ΔLongitude:	1° 02' 44.15296"	SD ΔLongitude:	0.0018 m
ΔHeight:	-1,053.1292 m	SD ΔHeight:	0.0011 m
ΔX:	106,650.9284 m	SD ΔX:	0.0018 m
ΔY:	38,089.3119 m	SD ΔY:	0.0012 m
ΔZ:	-4,474.3446 m	SD ΔZ:	0.0009 m
Slope Dist:	113,336.8253 m	SD Slope Dist:	0.0018 m

M0:	0.2337 m	CQ 1D:	0.0011 m
Q11:	0.00005754	CQ 2D:	0.0020 m
Q12:	0.00001086	CQ 3D:	0.0023 m
Q22:	0.00002481		
Q13:	0.00001128		
Q23:	0.00001045		
Q33:	0.00001338		

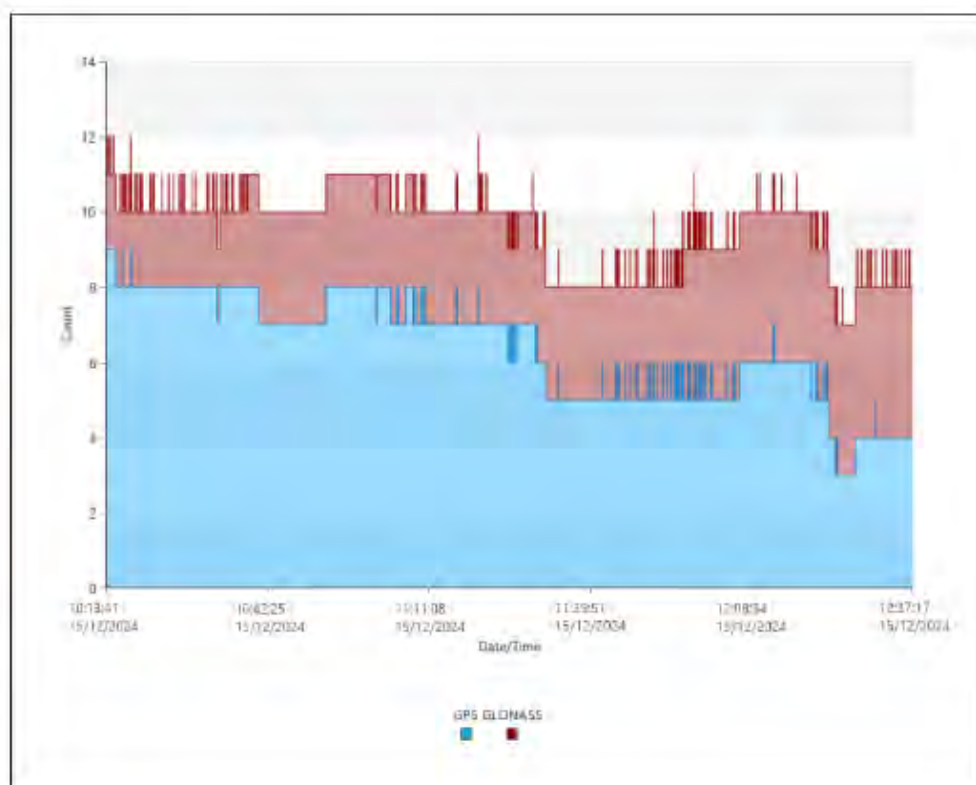
Frequency:	L1/L2	GDOP:	2.2 - 12.0	GPS SVs:	9/9
Solution Optimisation:	Noise	PDOP:	1.6 - 7.8	GLONASS SVs:	4/5
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.8 - 3.4	BeiDou SVs:	-
		VDOP:	1.3 - 7.0	Gallileo SVs:	-
				QZSS SVs:	-

Ephemeris Type:	
GPS	Precise
GLONASS	Precise

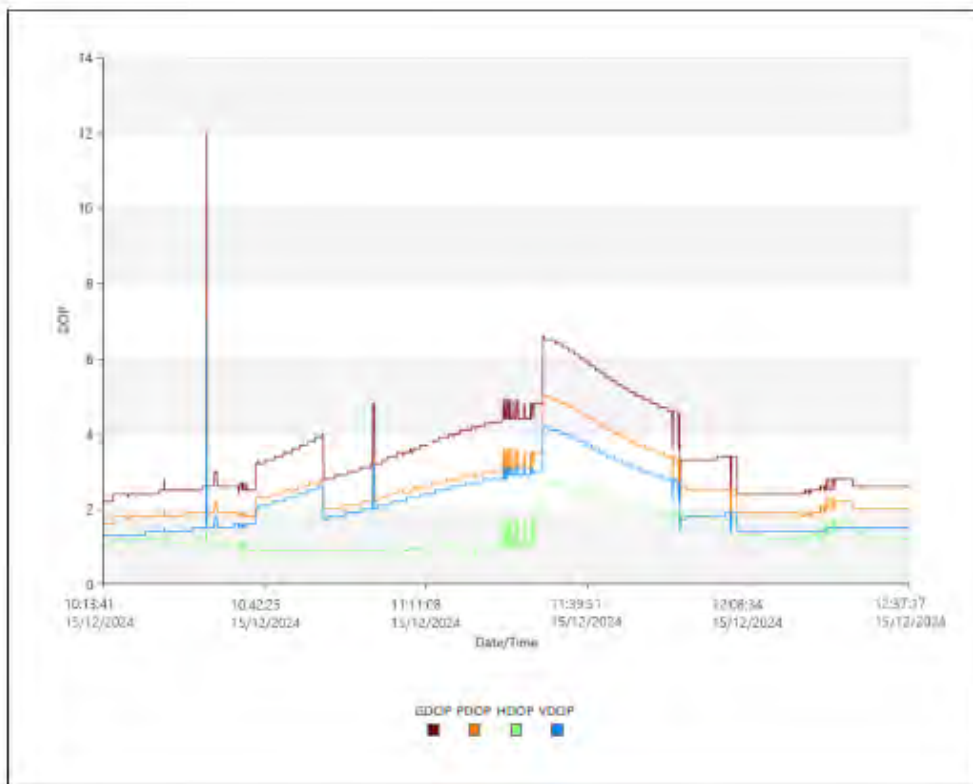
Processing Info (15/12/2024 10:13:42 - 15/12/2024 12:37:18)

Processed Date/Time: 20/12/2024 13:39:55

SVs Tracked



DGP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Fixed	82	28	0	0
Total	313	39	0	0
Independently fixed	2,857	2,856	0	0
Possible independently fixed	4,058	4,058	4,058	4,058

Average time between independent fixes: 00:01:10

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	70.09	71.62	97.98	91.24
Not fixed	13.75	5.71	2.00	3.69
Not fixed - contradiction	16.07	2.91	0.00	0.00
Not fixed - missing phase	0.08	0.57	0.02	0.07

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Not fixed	15/12/2024 10:13:42	15/12/2024 10:37:18	00:23:36
Fixed	15/12/2024 10:37:18	15/12/2024 10:39:36	00:02:20
Not fixed	15/12/2024 10:39:38	15/12/2024 10:40:48	00:01:10
Fixed	15/12/2024 10:40:48	15/12/2024 10:44:41	00:13:53
Not fixed	15/12/2024 10:54:41	15/12/2024 10:54:43	00:00:02
Fixed	15/12/2024 10:54:43	15/12/2024 11:18:42	00:23:59
Not fixed	15/12/2024 11:18:42	15/12/2024 11:18:43	00:00:01
Fixed	15/12/2024 11:18:43	15/12/2024 11:26:31	00:07:48
Not fixed	15/12/2024 11:26:31	15/12/2024 11:26:37	00:00:06
Fixed	15/12/2024 11:26:37	15/12/2024 11:59:52	00:33:15
Not fixed	15/12/2024 11:59:52	15/12/2024 12:17:18	00:17:26
Fixed	15/12/2024 12:17:18	15/12/2024 12:23:30	00:06:12
Not fixed	15/12/2024 12:23:30	15/12/2024 12:31:36	00:08:06
Fixed	15/12/2024 12:31:36	15/12/2024 12:37:16	00:05:42

Leica Geosystems AG
Helmich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be **right**



GNSS Processing Report - Summary

Report created: 10/02/2025 13:44:38

Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	TRAMO 6 (PG-6)	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	UTM WGS84 19S
Owner:	-	Contact Person:	-	Transformation Type:	-
Lead Surveyor:	-	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	10/02/2025 13:40:57	Email:	-	Ellipsoid:	WGS84
Last Accessed:	10/02/2025 13:40:57	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 4.2.0	Website:	-	Geoid Model:	Peru_EGM08
				CSCS Model:	-
Path:	E:\0. PROCESAMIENTO LEICA 2\TRAMO 6 (PG-6)\TRAMO 6 (PG-6).prj				
Size:	60.3 MB				
Comments:	-				

Baseline CS01 - PG-6

Processing Parameters (02/02/2025 07:26:43 - 02/02/2025 09:53:44)

Data	Selected	Used	Comments
Cut-Off Angle:	10°	10°	
Frequency:	Automatic	L1/L2	
Sampling Rate:	1.00 sec	1.00 sec	
Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou	GPS/GLONASS	
Ephemeris Type:	Precise	Precise	
Antenna Calibration Set:	NGS 14 Absolute	NGS 14 Absolute	
Processing Strategy			
Solution Type:	Phase Fixed	Phase Fixed	
Solution Optimisation:	Automatic	None	
Frequency to use in Ionospheric Minimised:	Automatic	Automatic	
Tropospheric Model:	Automatic	Computed	
Ionospheric Model:	Automatic	Computed	
Allow Wideplane Fix:	Automatic	Automatic	
General Settings			
Min. Distance for Ionospheric Minimised:	15 km		
Possible Ambiguities Fix up to:	300 km		
Min. Duration for Float Solution (static):	00:05:00		
Time Settings			
Time Format:	HH:mm:ss		
Time System:	Local Time		
Leap Seconds:	18		

Results Baseline: CS01 - PG-6

Acquisition

Start Time - End Time: 02/02/2025 07:26:43 - 02/02/2025 09:53:44
Duration: 02:27:01

Antennas

	Reference - CS01	Rover - PG-6
Receiver Name / SN:	TRIMBLE NETR8 / 4906K34484	EMLID REACH RS2 / 8243EFAEC71026AB
Antenna Name / SN:	TRM55971.00 TZGD / 40929389	EML_REACH_RS2 / -
Carrier Offset:	-	0.0000 m
Height Reading:	0.0750 m	1.6095 m
Antenna Height:	0.0750 m	1.6095 m

Phase Center Offset

	Reference - TRM55971.00 TZGD		Rover - EML_REACH_RS2	
GPS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

GLONASS	L1	L2	L1	L2
East	-0.0002 m	0.0008 m	0.0019 m	-0.0001 m
North	0.0011 m	0.0002 m	-0.0010 m	-0.0004 m
Up	0.0650 m	0.0574 m	0.1349 m	0.1371 m

Coordinates

	Reference - CS01	Rover - PG-6		Reference - CS01	Rover - PG-6
Point Role:	Control	Fixed PP			
WGS84 Latitude:	13° 31' 27.31818" S	13° 33' 44.47492" S	Easting:	179,291.7418 m	292,809.3008 m
WGS84 Longitude:	71° 57' 45.34124" W	70° 54' 52.94703" W	Northing:	8,502,947.4253 m	8,499,862.2298 m
WGS84 Ellip. Height:	3,410.0117 m	2,324.5280 m	Ortho. Height:	3,363.7371 m	2,274.9110 m
WGS84 Cartesian X:	1,921,528.2869 m	2,028,452.1797 m			
WGS84 Cartesian Y:	-5,900,745.4564 m	-5,862,687.0298 m			
WGS84 Cartesian Z:	-1,482,655.4285 m	-1,486,500.9756 m			

Baseline Vector and Quality - WGS84

ΔLatitude:	-0° 02' 17.15674"	SD ΔLatitude:	0.0004 m
ΔLongitude:	1° 02' 52.39421"	SD ΔLongitude:	0.0007 m
ΔHeight:	-1,085.4837 m	SD ΔHeight:	0.0034 m
ΔX:	106,923.8928 m	SD ΔX:	0.0013 m
ΔY:	38,058.4265 m	SD ΔY:	0.0032 m
ΔZ:	-3,845.5471 m	SD ΔZ:	0.0009 m
Slope Dist:	113,560.3404 m	SD Slope Dist:	0.0007 m

M0:	2.1641 m	CQ 1D:	0.0034 m
Q11:	0.00000035	CQ 2D:	0.0008 m
Q12:	-0.00000072	CQ 3D:	0.0035 m
Q22:	0.00000214		
Q13:	-0.00000021		
Q23:	0.00000053		
Q33:	0.00000017		

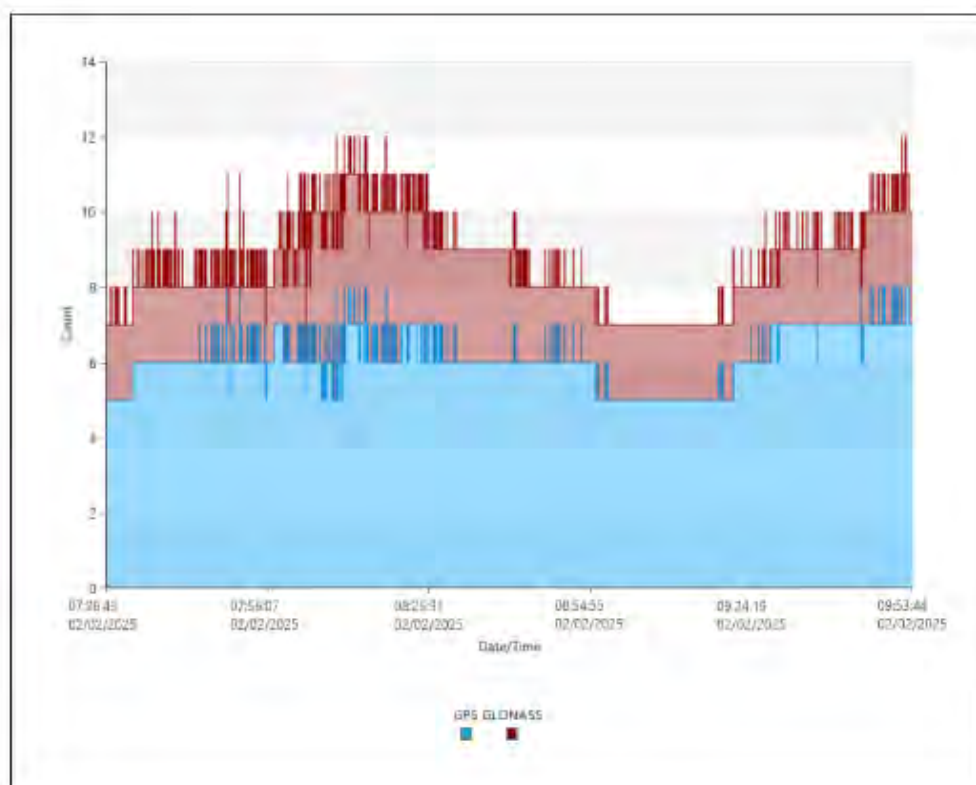
Frequency:	L1/L2	GDOP:	2.1 - 9.8	GPS SVs:	8/8
Solution Optimisation:	Noise	PDOP:	1.6 - 6.6	GLONASS SVs:	4/5
Solution Type:	Phase Fixed	HDOP:	0.8 - 3.3	BeiDou SVs:	-
		VDOP:	1.2 - 6.0	Galileo SVs:	-
				QZSS SVs:	-

Ephemeric Type:	
GPS	Precise
GLONASS	Precise

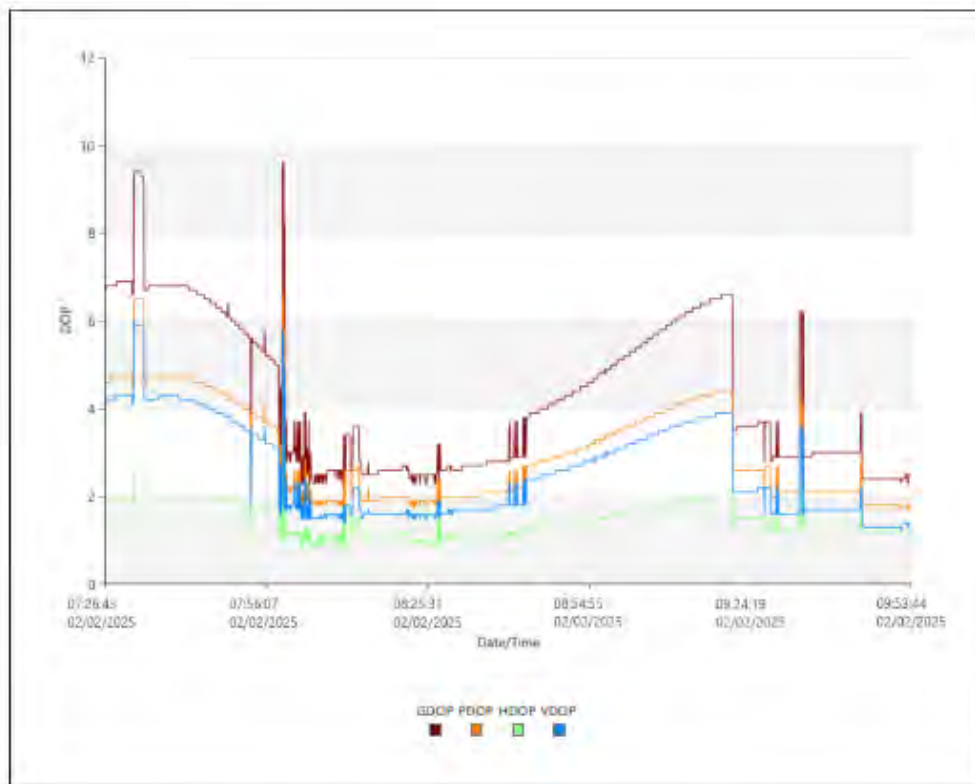
Processing Info (02/02/2025 07:26:43 - 02/02/2025 09:53:44)

Processed Date/Time: 10/02/2025 13:44:16

SVs Tracked



DOP



Ambiguity Statistics

Number of Ambiguities	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Fixed	60	23	0	0
Total	326	89	0	0
Independently fixed	1,224	1,223	0	0
Possible independently fixed	3,941	3,941	3,941	3,941

Average time between independent fixes: 00:00:36

% of Epochs	GPS		GLONASS	
	L1 [%]	L2 [%]	L1 [%]	L2 [%]
Fixed	83.52	60.17	98.42	96.87
Not fixed	9.99	10.40	1.00	0.02
Not fixed - contradiction	5.21	25.56	0.00	0.00
Not fixed - missing phase	1.48	3.87	0.58	2.21

Status	From Epoch	To Epoch	Duration
Not fixed	02/02/2025 07:26:43	02/02/2025 07:32:02	00:05:19
Fixed	02/02/2025 07:32:02	02/02/2025 07:33:44	00:01:42
Not fixed	02/02/2025 07:33:44	02/02/2025 07:33:45	00:00:01
Fixed	02/02/2025 07:33:45	02/02/2025 07:33:50	00:00:05
Not fixed	02/02/2025 07:33:50	02/02/2025 07:33:52	00:00:02
Fixed	02/02/2025 07:33:52	02/02/2025 07:33:54	00:00:02
Not fixed	02/02/2025 07:33:54	02/02/2025 07:33:55	00:00:01
Fixed	02/02/2025 07:33:55	02/02/2025 07:33:58	00:00:03
Not fixed	02/02/2025 07:33:58	02/02/2025 07:33:59	00:00:01
Fixed	02/02/2025 07:33:59	02/02/2025 07:34:02	00:00:03
Not fixed	02/02/2025 07:34:02	02/02/2025 07:34:04	00:00:02
Fixed	02/02/2025 07:34:04	02/02/2025 07:34:05	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 07:34:05	02/02/2025 07:42:22	00:08:17
Fixed	02/02/2025 07:42:22	02/02/2025 07:42:23	00:00:01

Not fixed	02/02/2025 07:42:23	02/02/2025 07:42:24	00:00:01
Fixed	02/02/2025 07:42:24	02/02/2025 07:42:27	00:00:03
Not fixed	02/02/2025 07:42:27	02/02/2025 08:10:14	00:27:47
Fixed	02/02/2025 08:10:14	02/02/2025 08:10:27	00:00:13
Not fixed	02/02/2025 08:10:27	02/02/2025 08:10:38	00:00:11
Fixed	02/02/2025 08:10:38	02/02/2025 08:10:39	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:10:39	02/02/2025 08:10:40	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:10:40	02/02/2025 08:11:29	00:00:49
Not fixed	02/02/2025 08:11:29	02/02/2025 08:11:55	00:00:26
Fixed	02/02/2025 08:11:55	02/02/2025 08:21:43	00:09:48
Not fixed	02/02/2025 08:21:43	02/02/2025 08:21:44	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:21:44	02/02/2025 08:21:50	00:00:14
Not fixed	02/02/2025 08:21:50	02/02/2025 08:22:01	00:00:03
Fixed	02/02/2025 08:22:01	02/02/2025 08:22:03	00:00:02
Not fixed	02/02/2025 08:22:03	02/02/2025 08:22:04	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:22:04	02/02/2025 08:22:05	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:22:05	02/02/2025 08:22:06	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:22:06	02/02/2025 08:22:07	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:22:07	02/02/2025 08:22:10	00:00:03
Fixed	02/02/2025 08:22:10	02/02/2025 08:22:11	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:22:11	02/02/2025 08:27:11	00:05:00
Fixed	02/02/2025 08:27:11	02/02/2025 08:27:13	00:00:02
Not fixed	02/02/2025 08:27:13	02/02/2025 08:27:20	00:00:07
Fixed	02/02/2025 08:27:20	02/02/2025 08:27:20	00:00:00
Not fixed	02/02/2025 08:27:20	02/02/2025 08:27:29	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:27:29	02/02/2025 08:27:31	00:00:06
Not fixed	02/02/2025 08:27:31	02/02/2025 08:27:42	00:00:07
Fixed	02/02/2025 08:27:42	02/02/2025 08:27:43	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:27:43	02/02/2025 08:27:46	00:00:03
Fixed	02/02/2025 08:27:46	02/02/2025 08:27:49	00:00:03
Not fixed	02/02/2025 08:27:49	02/02/2025 08:27:54	00:00:05
Fixed	02/02/2025 08:27:54	02/02/2025 08:28:59	00:01:05
Not fixed	02/02/2025 08:28:59	02/02/2025 08:29:00	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:29:00	02/02/2025 08:29:03	00:00:03
Not fixed	02/02/2025 08:29:03	02/02/2025 08:29:04	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:29:04	02/02/2025 08:29:10	00:00:12
Not fixed	02/02/2025 08:29:10	02/02/2025 08:29:17	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:29:17	02/02/2025 08:29:32	00:00:15
Not fixed	02/02/2025 08:29:32	02/02/2025 08:29:33	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:29:33	02/02/2025 08:29:34	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:29:34	02/02/2025 08:29:36	00:00:02
Fixed	02/02/2025 08:29:36	02/02/2025 08:29:39	00:00:03
Not fixed	02/02/2025 08:29:39	02/02/2025 08:29:48	00:00:09
Fixed	02/02/2025 08:29:48	02/02/2025 08:29:49	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:29:49	02/02/2025 08:34:39	00:04:50
Fixed	02/02/2025 08:34:39	02/02/2025 08:34:40	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:34:40	02/02/2025 08:34:49	00:00:09
Fixed	02/02/2025 08:34:49	02/02/2025 08:34:50	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:34:50	02/02/2025 08:35:15	00:00:25
Fixed	02/02/2025 08:35:15	02/02/2025 08:35:35	00:00:20
Not fixed	02/02/2025 08:35:35	02/02/2025 08:35:36	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:35:36	02/02/2025 08:35:43	00:00:07
Not fixed	02/02/2025 08:35:43	02/02/2025 08:35:44	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:35:44	02/02/2025 08:36:49	00:00:05
Not fixed	02/02/2025 08:36:49	02/02/2025 08:36:50	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:36:50	02/02/2025 08:36:00	00:00:10
Not fixed	02/02/2025 08:36:00	02/02/2025 08:36:10	00:00:10
Fixed	02/02/2025 08:36:10	02/02/2025 08:36:11	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:36:11	02/02/2025 08:36:12	00:00:01
Fixed	02/02/2025 08:36:12	02/02/2025 08:36:13	00:00:01
Not fixed	02/02/2025 08:36:13	02/02/2025 08:36:15	00:00:02
Fixed	02/02/2025 08:36:15	02/02/2025 08:36:17	00:00:02
Not fixed	02/02/2025 08:36:17	02/02/2025 08:36:44	00:19:27

Anexo E. Descripción Monográfica de los puntos

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Temas: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcoos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA		
NOMBRE:	LOCALIDAD:	UBICACIÓN:	
PG-1	Oconigale	Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 - Km 55+500	
Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)	ZONA UTM
8 491 870.3207	267 050.7589	4 401.3353	19 SUR
ORDEN DEL PUNTO GEODÉSICO		REFERENCIA	
C		CS01 - Estación de Rastreo Permanente - IGN	
Puntos de Control (GCP)			
Nombre:	Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)
BM-1	8491652.9120	267112.9785	4405.1634
BM-2	8491619.1540	267207.0063	4412.7537
BM-3	8491778.2790	267296.0590	4420.7466
BM-4	8491648.0660	267150.9973	4407.9064
BM-5	8491602.4260	267261.0796	4417.2637
CROQUIS TOPOGRÁFICO		IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA	
 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Tests: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA		
NOMBRE:	LOCALIDAD:	UBICACIÓN:	
PG-2	Marcapata	Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 - Km 126+400	
Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)	ZONA UTM
6 495 870.1332	266 210.1242	2 872.9245	19 SUR
ORDEN DEL PUNTO GEODÉSICO		REFERENCIA	
C		CS01 - Estación de Rastreo Permanente - IGN	
Puntos de Control (GCP)			
Nombre:	Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)
BM-1	6495602.2090	266279.1913	2859.3167
BM-2	6495641.7460	266166.6399	2853.4032
BM-3	6495654.6250	266172.1319	2876.0235
BM-4	6495812.4150	266250.1502	2857.5683
BM-5	6495645.2940	266150.9889	2851.3477
CROQUIS TOPOGRÁFICO		IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA	
 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA		
NOMBRE:	LOCALIDAD:	UBICACIÓN:	
PG-3	Marcapata	Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 - Km 131+100	
Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)	ZONA UTM
6 496 380.6364	267 018.1215	2 740.6932	19 SUR
ORDEN DEL PUNTO GEODÉSICO		REFERENCIA	
C		CS01 - Estación de Rastreo Permanente - IGN	
Puntos de Control (GCP)			
Nombre:	Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)
BM-1	6496322.7720	266979.7405	2742.2463
BM-2	6496405.9440	267035.1773	2740.2993
BM-3	6496468.9970	267090.9323	2735.2246
BM-4	6496376.4190	267007.3466	2741.1027
BM-5	6496459.2250	267062.8799	2737.6672
CRÓQUIS TOPOGRÁFICO		IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA	
			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Temas: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA		
NOMBRE:	LOCALIDAD:	UBICACIÓN:	
PG-4	Marcapata	Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 - Km 134+800	
Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)	ZONA UTM
8 496 673.4935	269 673.4726	2 515.2652	19 SUR
ORDEN DEL PUNTO GEODÉSICO		REFERENCIA	
C		CS01 - Estación de Rastreo Permanente - IGN	
Puntos de Control (GCP)			
Nombre:	Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)
BM-1	8496597.0580	269735.8535	2527.8352
BM-2	8496661.0620	269610.6686	2519.2361
BM-3	8496674.5010	269907.1146	2514.1214
BM-4	8496676.3190	269640.0619	2517.5439
BM-5	8496637.6540	269766.2730	2523.3312
CROQUIS TOPOGRÁFICO		IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA	
			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA		
NOMBRE:	LOCALIDAD:	UBICACIÓN:	
PG-5	Marcapata	Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 - Km 136+900	
Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)	ZONA UTM
8 499 221.5214	292 566.6052	2 305.1302	19 SUR
ORDEN DEL PUNTO GEODÉSICO		REFERENCIA	
C		CS01 - Estación de Rastreo Permanente - IGN	
Puntos de Control (GCP)			
Nombre:	Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)
BM-1	8499112.6320	292460.3029	2318.0656
BM-2	8499103.6540	292530.0076	2310.1365
BM-3	8499255.4220	292599.9679	2302.1357
BM-4	8499144.0320	292480.6162	2315.2503
BM-5	8499223.3660	292559.1126	2306.2751
CROQUIS TOPOGRÁFICO		IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA	
 			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA		
NOMBRE:	LOCALIDAD:	UBICACIÓN:	
PG-6	Marcapata	Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 - Km 139+600	
Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)	ZONA UTM
6 499 662.2296	292 609.3906	2 274.911	19 SUR
ORDEN DEL PUNTO GEODÉSICO		REFERENCIA	
C		CS01 - Estación de Rastreo Permanente - IGN	
Puntos de Control (GCP)			
Nombre:	Norte (N) WGS-84	Este (E) WGS-84	Elevación (EGM2008)
BM-1	6499710.6460	292794.3232	2273.1640
BM-2	6499609.3640	292610.3590	2272.6603
BM-3	6499605.5970	292630.7656	2274.4161
BM-4	6499754.1730	292794.2046	2272.9557
BM-5	6499642.0370	292607.7966	2273.1790
CROQUIS TOPOGRÁFICO		IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA	
 			

Anexo F. Ficha de observación – Condiciones Climáticas

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025"		
	FICHA DE OBSERVACIÓN		
UBICACIÓN			
Tramo: <u>Tramo 1 / Km 88+800 - 89+000</u>			
Distrito: <u>Ocungate</u>			
Provincia: <u>Quispicanchi</u>			
ELEMENTOS FÍSICOS:			
Clima: <u>Árido - Húmedo</u>			
Temperatura: <u>9.5°C - 14.8°C</u>			
Velocidad del viento: <u>4.3 - 3.4 m/s</u>		Velocidad Máxima: <u>6.6 - 4.8 m/s</u>	
Humedad Relativa: <u>65.1 - 27.4%</u>			
TIPOS DE CLIMA		PRECIPITACIONES	TEMPERATURA
Árido: HR<40%	X	No	Cálido: T>22°C
Semi árido: 41%<HR<60%			Templado: 13°C<T<21°C
Húmedo: 61%<HR<80%	X	No	Frío: T<12°C
Muy húmedo: HR>81%			
Marca con una X			
OBSERVACIONES: <u>Se observan climas entre húmedos y áridos,</u>			
<u>debiendo tener consideración cuando se presente el clima árido;</u>			
<u>ya que, existen mayores velocidades de viento.</u>			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN		
UBICACIÓN			
Tramo: <u>Tramo 2 / Km 128+400 - 128+600</u> Distrito: <u>Marcapata</u> Provincia: <u>Quispicanchi</u>			
ELEMENTOS FÍSICOS:			
Clima: <u>Semi árido - Muy húmedo</u> Temperatura: <u>24.5°C - 12.9°C</u> Velocidad del viento: <u>0.6 m/s</u> Velocidad Máxima: <u>1.2 m/s</u> Humedad Relativa: <u>56.9 - 87.3%</u>			
TIPOS DE CLIMA		PRECIPITACIONES	TEMPERATURA
Árido: HR<40%			Cálido: T°>22°C <u>X</u>
Semi árido: 41%<HR<60%	<u>X</u>	<u>No</u>	Templado: 13°C<T°<21°C <u>X</u>
Húmedo: 61%<HR<80%			Frío: T°<12°C
Muy húmedo: HR>81%	<u>X</u>	<u>No</u>	
Marca con una X			
OBSERVACIONES:			
<u>Se observan climas entre semi áridos y muy húmedos,</u> <u>se debe tener consideración cuando se presente el clima muy húmedo,</u> <u>ya que, existe presencia de neblina, lo que genera ruido en las imágenes</u> <u>e impide la ejecución del vuelo.</u>			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN		
UBICACIÓN			
Tramo: <u>Tramo 3 / Km 131+100 - 131+300</u> Distrito: <u>Marcapata</u> Provincia: <u>Quispicanchi</u>			
ELEMENTOS FÍSICOS:			
Clima: <u>Húmedo - Muy húmedo</u> Temperatura: <u>13.7°C - 20.0°C</u> Velocidad del viento: <u>0.8 m/s</u> Velocidad Máxima: <u>1.1 m/s</u> Humedad Relativa: <u>84.7 - 69.9%</u>			
TIPOS DE CLIMA		PRECIPITACIONES	TEMPERATURA
Árido: HR<40%			Cálido: T>22°C
Semi árido: 41%<HR<60%			Templado: 13°C<T<21°C
Húmedo: 61%<HR<80%	X	No	Frío: T<12°C
Muy húmedo: HR>81%	X	No	
Marca con una X			
OBSERVACIONES:			
<u>Se observan climas entre húmedos y muy húmedos,</u> <u>se debe tener consideración en cuanto a las precipitaciones; ya que</u> <u>evita la ejecución del vuelo.</u>			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN	
UBICACIÓN		
Tramo: <u>Tramo 4 / Km 134+800- 135+000</u> Distrito: <u>Marcapata</u> Provincia: <u>Quispicanchi</u>		
ELEMENTOS FÍSICOS:		
Clima: <u>Húmedo</u> Temperatura: <u>15.2°C - 19.8°C</u> Velocidad del viento: <u>0.8 m/s</u> Velocidad Máxima: <u>1.5 m/s</u> Humedad Relativa: <u>77.2 - 70.9%</u>		
TIPOS DE CLIMA		PRECIPITACIONES
Árido: HR<40%		
Semi árido: 41%<HR<60%		
Húmedo: 61%<HR<80%	X	No
Muy húmedo: HR>81%		
Marca con una X		
OBSERVACIONES:		
Se observa un clima húmedo; sin embargo, este no interfiere con la ejecución del vuelo. Se observa presencia de cables, teniendo que tener en consideración este detalle en cuanto a la altura del vuelo.		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN	
UBICACIÓN		
Tramo: <u>Tramo 5 / Km 138+900-139+100</u> Distrito: <u>Marcapata</u> Provincia: <u>Quispicanchi</u>		
ELEMENTOS FÍSICOS:		
Clima: <u>Húmedo</u> Temperatura: <u>18.9°C - 19.9°C</u> Velocidad del viento: <u>1.6 - 3 m/s</u> Velocidad Máxima: <u>2.4 - 5.5 m/s</u> Humedad Relativa: <u>71.5 - 72.4%</u>		
TIPOS DE CLIMA		PRECIPITACIONES
Árido: HR<40%		
Semi árido: 41%<HR<60%		
Húmedo: 61%<HR<80%	X	No
Muy húmedo: HR>81%		
Marca con una X		
OBSERVACIONES:		
Se observa un clima húmedo; sin embargo, se logró hacer la ejecución del vuelo. En esta zona se debe tener consideración la velocidad del viento; ya que, no se pudo ejecutar el vuelo cuando las velocidades superaban los 12 m/s.		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Tesis: "Evaluación Del Índice De Regularidad Internacional Empleando El Perfilómetro Láser Y Fotografías Aéreas En La Carretera Interoceánica Sur Tramo 2 Urcos – Inambari Cusco, 2024-2025" FICHA DE OBSERVACIÓN	
UBICACIÓN		
Tramo: <u>Tramo 6/ Km 139+600-139+800</u> Distrito: <u>Marcapata</u> Provincia: <u>Quispicanchi</u>		
ELEMENTOS FÍSICOS:		
Clima: <u>Húmedo</u> Temperatura: <u>19.7°C - 21.8°C</u> Velocidad del viento: <u>0.7 - 2.0 m/s</u> Velocidad Máxima: <u>1.3 - 2.7 m/s</u> Humedad Relativa: <u>65.9 - 70.5%</u>		
TIPOS DE CLIMA	PRECIPITACIONES	TEMPERATURA
Árido: HR<40%		Cálido: T>22°C
Semi árido: 41%<HR<60%		Templado: 13°C<T<21°C
Húmedo: 61%<HR<80%	X	Frío: T<12°C
Muy húmedo: HR>81%		
No		
Marca con una X		
OBSERVACIONES:		
Se observa un clima húmedo, logrando ejecutar el vuelo con normalidad. Se debe considerar la presencia de vegetación, la cual genera ruido en el procesamiento de imágenes.		

Anexo G. Base de datos para el procesamiento en IBM SPSS Statistics 27

Datos procesados - caso 36m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	2,11	3,12	-1,01	2,62
2	3,62	6,07	-2,45	4,85
3	2,52	4,84	-2,32	3,68
4	1,47	6,53	-5,06	4,00
5	2,04	6,41	-4,37	4,23
6	2,14	7,50	-5,36	4,82
7	1,65	5,85	-4,20	3,75
8	1,19	4,64	-3,45	2,92
9	1,36	5,54	-4,18	3,45
10	1,70	4,95	-3,25	3,33
11	1,29	5,64	-4,35	3,47
12	1,23	6,86	-5,63	4,05
13	1,51	5,33	-3,82	3,42
14	1,69	3,44	-1,75	2,57
15	1,97	7,64	-5,67	4,81
16	1,57	5,19	-3,62	3,38
17	1,76	5,14	-3,38	3,45
18	2,36	5,37	-3,01	3,87
19	2,36	4,44	-2,08	3,40
20	3,35	2,97	,38	3,16
21	1,60	4,56	-2,96	3,08
22	2,54	4,93	-2,39	3,74
23	1,52	5,00	-3,48	3,26
24	1,62	4,85	-3,23	3,24
25	2,00	3,92	-1,92	2,96
26	1,23	6,82	-5,59	4,03
27	1,43	7,10	-5,67	4,27
28	1,55	5,51	-3,96	3,53
29	1,36	4,29	-2,93	2,83
30	1,68	5,13	-3,45	3,41
31	2,24	6,13	-3,89	4,19
32	2,26	6,81	-4,55	4,54
33	2,15	5,48	-3,33	3,82
34	2,24	7,02	-4,78	4,63
35	1,28	6,42	-5,14	3,85
36	1,29	5,59	-4,30	3,44
37	1,99	4,94	-2,95	3,47
38	3,79	4,61	-,82	4,20

28/08/25 2:29

1/3

Datos procesados - caso 36m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	2,98	5,78	-2,80	4,38
40	1,21	5,22	-4,01	3,22
41	2,19	8,67	-6,48	5,43
42	1,98	6,36	-4,38	4,17
43	2,88	3,12	-,24	3,00
44	,96	7,29	-6,33	4,13
45	,95	10,26	-9,31	5,60
46	1,24	8,06	-6,82	4,65
47	1,47	4,72	-3,25	3,09
48	1,06	3,72	-2,66	2,39
49	1,10	8,65	-7,55	4,88
50	,58	8,27	-7,69	4,43
51	1,62	4,84	-3,22	3,23
52	1,66	6,01	-4,35	3,84
53	,96	4,55	-3,59	2,76
54	,90	1,68	-,78	1,29
55	1,29	2,62	-1,33	1,96
56	4,16	3,37	,79	3,77
57	1,91	3,84	-1,93	2,88
58	1,01	2,40	-1,39	1,71
59	1,47	4,86	-3,39	3,17
60	1,42	5,63	-4,21	3,53
61	1,71	5,54	-3,83	3,63
62	,89	6,07	-5,18	3,48
63	2,03	4,30	-2,27	3,17
64	1,47	8,63	-7,16	5,05
65	1,85	9,19	-7,34	5,52
66	1,07	4,57	-3,50	2,82
67	1,39	2,80	-1,41	2,09
68	1,54	5,93	-4,39	3,74
69	1,73	6,58	-4,85	4,16
70	1,72	3,79	-2,07	2,76
71	1,52	5,41	-3,89	3,47
72	1,03	5,79	-4,76	3,41
73	1,09	5,84	-4,75	3,47
74	1,23	3,52	-2,29	2,38
75	1,39	5,86	-4,47	3,63
76	,99	6,33	-5,34	3,66

28/08/25 2:29

2/3

Datos procesados - caso 36m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	1,02	7,05	-6,03	4,04
78	1,37	4,74	-3,37	3,06
79	1,11	4,57	-3,46	2,84
80	1,47	4,91	-3,44	3,19

Datos procesados - caso 30m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	2,09	8,24	-6,15	5,17
2	2,16	5,54	-3,38	3,85
3	1,91	4,83	-2,92	3,37
4	1,17	8,03	-6,86	4,60
5	1,51	6,09	-4,58	3,80
6	1,90	3,30	-1,40	2,60
7	1,38	3,43	-2,05	2,41
8	1,15	6,47	-5,32	3,81
9	1,10	1,75	-,65	1,43
10	,85	3,78	-2,93	2,32
11	1,67	4,55	-2,88	3,11
12	1,01	5,49	-4,48	3,25
13	1,60	5,21	-3,61	3,41
14	1,11	2,21	-1,10	1,66
15	,83	4,94	-4,11	2,89
16	1,25	4,36	-3,11	2,81
17	1,20	4,02	-2,82	2,61
18	1,78	3,53	-1,75	2,66
19	1,04	4,16	-3,12	2,60
20	1,09	5,00	-3,91	3,05
21	1,50	5,43	-3,93	3,47
22	1,37	6,58	-5,21	3,98
23	1,15	6,66	-5,51	3,91
24	,90	5,79	-4,89	3,35
25	1,11	9,50	-8,39	5,31
26	1,12	5,51	-4,39	3,32
27	1,04	6,99	-5,95	4,02
28	1,41	3,86	-2,45	2,64
29	1,82	5,31	-3,49	3,57
30	1,26	5,92	-4,66	3,59
31	3,07	5,39	-2,32	4,23
32	2,13	6,31	-4,18	4,22
33	1,29	5,94	-4,65	3,62
34	1,27	11,26	-9,99	6,27
35	1,03	10,23	-9,20	5,63
36	1,21	9,25	-8,04	5,23
37	1,12	8,29	-7,17	4,71
38	1,81	6,64	-4,83	4,23

28/08/25 0:13

1/5

Datos procesados - caso 30m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	1,72	7,48	-5,76	4,60
40	2,28	5,58	-3,30	3,93
41	2,09	5,43	-3,34	3,76
42	2,16	6,58	-4,42	4,37
43	1,91	6,66	-4,75	4,29
44	1,17	5,79	-4,62	3,48
45	1,51	9,50	-7,99	5,51
46	1,90	5,51	-3,61	3,71
47	1,38	6,99	-5,61	4,19
48	1,15	3,86	-2,71	2,51
49	1,10	5,31	-4,21	3,21
50	,85	5,92	-5,07	3,39
51	1,67	5,39	-3,72	3,53
52	1,01	6,31	-5,30	3,66
53	1,60	5,94	-4,34	3,77
54	1,11	11,26	-10,15	6,19
55	,83	10,23	-9,40	5,53
56	1,25	9,25	-8,00	5,25
57	1,20	8,29	-7,09	4,74
58	1,78	6,64	-4,86	4,21
59	1,04	7,48	-6,44	4,26
60	1,09	5,58	-4,49	3,34
61	1,50	6,56	-5,06	4,03
62	1,37	8,56	-7,19	4,97
63	1,15	5,40	-4,25	3,28
64	,90	5,75	-4,85	3,33
65	1,11	4,02	-2,91	2,57
66	1,12	9,96	-8,84	5,54
67	1,04	10,45	-9,41	5,74
68	1,41	5,38	-3,97	3,40
69	1,82	7,32	-5,50	4,57
70	1,26	7,53	-6,27	4,40
71	3,07	6,04	-2,97	4,56
72	2,13	5,90	-3,77	4,02
73	1,29	6,42	-5,13	3,86
74	1,27	7,75	-6,48	4,51
75	1,03	6,77	-5,74	3,90
76	1,21	6,93	-5,72	4,07

28/08/25 0:13

2/5

Datos procesados - caso 30m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	1,12	8,01	-6,89	4,56
78	1,81	8,14	-6,33	4,98
79	1,72	5,43	-3,71	3,57
80	2,28	5,46	-3,18	3,87
81	2,09	4,48	-2,39	3,29
82	2,16	5,08	-2,92	3,62
83	1,91	4,53	-2,62	3,22
84	1,17	5,13	-3,96	3,15
85	1,51	4,66	-3,15	3,09
86	1,90	8,08	-6,18	4,99
87	1,38	7,59	-6,21	4,48
88	1,15	6,31	-5,16	3,73
89	1,10	4,69	-3,59	2,90
90	,85	7,23	-6,38	4,04
91	1,67	4,69	-3,02	3,18
92	1,01	5,98	-4,97	3,50
93	1,60	6,74	-5,14	4,17
94	1,11	10,75	-9,64	5,93
95	,83	7,43	-6,60	4,13
96	1,25	5,25	-4,00	3,25
97	1,20	10,28	-9,08	5,74
98	1,78	8,45	-6,67	5,11
99	1,04	5,45	-4,41	3,25
100	1,09	3,57	-2,48	2,33
101	1,50	6,27	-4,77	3,89
102	1,37	6,33	-4,96	3,85
103	1,15	7,88	-6,73	4,52
104	,90	11,07	-10,17	5,99
105	1,11	6,63	-5,52	3,87
106	1,12	3,36	-2,24	2,24
107	1,04	3,99	-2,95	2,52
108	1,41	5,70	-4,29	3,56
109	1,82	4,55	-2,73	3,19
110	1,26	6,59	-5,33	3,93
111	3,07	5,45	-2,38	4,26
112	2,13	6,18	-4,05	4,15
113	1,29	7,62	-6,33	4,46
114	1,27	7,52	-6,25	4,40

28/08/25 0:13

3/5

Datos procesados - caso 30m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
115	1,03	6,27	-5,24	3,65
116	1,21	7,21	-6,00	4,21
117	1,12	5,33	-4,21	3,23
118	1,81	5,17	-3,36	3,49
119	1,72	3,93	-2,21	2,83
120	2,28	3,69	-1,41	2,99
121	2,09	3,05	-,96	2,57
122	2,16	3,98	-1,82	3,07
123	1,91	6,48	-4,57	4,20
124	1,17	3,97	-2,80	2,57
125	1,51	4,41	-2,90	2,96
126	1,90	5,05	-3,15	3,47
127	1,38	4,85	-3,47	3,11
128	1,15	3,96	-2,81	2,55
129	1,10	5,23	-4,13	3,17
130	,85	2,88	-2,03	1,87
131	1,67	6,27	-4,60	3,97
132	1,01	5,76	-4,75	3,39
133	1,60	7,26	-5,66	4,43
134	1,11	7,17	-6,06	4,14
135	,83	3,30	-2,47	2,07
136	1,25	5,11	-3,86	3,18
137	1,20	4,61	-3,41	2,91
138	1,78	3,03	-1,25	2,41
139	1,04	5,52	-4,48	3,28
140	1,09	4,93	-3,84	3,01
141	1,50	3,86	-2,36	2,68
142	1,37	4,80	-3,43	3,09
143	1,15	4,96	-3,81	3,05
144	,90	5,05	-4,15	2,98
145	1,11	4,86	-3,75	2,99
146	1,12	4,92	-3,80	3,02
147	1,04	4,71	-3,67	2,88
148	1,41	3,13	-1,72	2,27
149	1,82	3,86	-2,04	2,84
150	1,26	4,96	-3,70	3,11
151	3,07	5,23	-2,16	4,15
152	2,13	4,27	-2,14	3,20

28/08/25 0:13

4/5

Datos procesados - caso 30m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
153	1,29	5,10	-3,81	3,20
154	1,27	5,28	-4,01	3,28
155	1,03	3,55	-2,52	2,29
156	1,21	6,72	-5,51	3,97
157	1,12	6,73	-5,61	3,93
158	1,81	4,19	-2,38	3,00
159	1,72	3,85	-2,13	2,79
160	2,28	2,15	,13	2,22

Datos procesados - caso 24m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	2,11	5,23	-3,12	3,67
2	3,62	4,08	-,46	3,85
3	2,52	3,56	-1,04	3,04
4	1,47	6,22	-4,75	3,84
5	2,04	4,00	-1,96	3,02
6	2,14	3,98	-1,84	3,06
7	1,65	3,69	-2,04	2,67
8	1,19	2,51	-1,32	1,85
9	1,36	2,97	-1,61	2,17
10	1,70	3,01	-1,31	2,36
11	1,29	3,99	-2,70	2,64
12	1,23	3,88	-2,65	2,55
13	1,51	4,64	-3,13	3,07
14	1,69	5,31	-3,62	3,50
15	1,97	6,75	-4,78	4,36
16	1,57	5,07	-3,50	3,32
17	1,76	4,21	-2,45	2,99
18	2,36	6,81	-4,45	4,59
19	2,36	4,27	-1,91	3,31
20	3,35	5,91	-2,56	4,63
21	1,60	3,21	-1,61	2,41
22	2,54	2,67	-,13	2,61
23	1,52	3,03	-1,51	2,28
24	1,62	2,98	-1,36	2,30
25	2,00	3,07	-1,07	2,54
26	1,23	3,06	-1,83	2,15
27	1,43	3,73	-2,30	2,58
28	1,55	3,98	-2,43	2,77
29	1,36	5,44	-4,08	3,40
30	1,68	5,75	-4,07	3,72
31	2,24	3,84	-1,60	3,04
32	2,26	3,72	-1,46	2,99
33	2,15	4,37	-2,22	3,26
34	2,24	3,84	-1,60	3,04
35	1,28	4,75	-3,47	3,02
36	1,29	5,66	-4,37	3,48
37	1,99	4,14	-2,15	3,07
38	3,79	7,21	-3,42	5,50

28/08/25 0:35

1/3

Datos procesados - caso 24m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	2,98	4,39	-1,41	3,68
40	1,21	3,40	-2,19	2,30
41	,89	5,70	-4,81	3,30
42	,87	6,51	-5,64	3,69
43	,78	5,38	-4,60	3,08
44	,98	4,74	-3,76	2,86
45	1,13	3,22	-2,09	2,18
46	,99	4,21	-3,22	2,60
47	,91	5,20	-4,29	3,06
48	,77	6,53	-5,76	3,65
49	,92	6,45	-5,53	3,69
50	1,04	4,41	-3,37	2,73
51	,79	4,06	-3,27	2,43
52	1,08	3,10	-2,02	2,09
53	1,14	2,91	-1,77	2,03
54	,92	2,17	-1,25	1,55
55	,62	1,72	-1,10	1,17
56	1,00	2,36	-1,36	1,68
57	3,83	1,84	1,99	2,84
58	1,59	2,29	-,70	1,94
59	2,02	2,02	,00	2,02
60	,97	2,06	-1,09	1,52
61	,93	1,59	-,66	1,26
62	,96	1,24	-,28	1,10
63	1,28	1,93	-,65	1,61
64	,84	2,33	-1,49	1,59
65	,81	2,37	-1,56	1,59
66	2,21	2,72	-,51	2,47
67	1,08	2,44	-1,36	1,76
68	,79	2,55	-1,76	1,67
69	2,66	3,23	-,57	2,95
70	1,39	4,54	-3,15	2,97
71	1,35	3,56	-2,21	2,46
72	1,29	4,77	-3,48	3,03
73	,99	5,47	-4,48	3,23
74	1,68	4,17	-2,49	2,93
75	2,55	3,88	-1,33	3,22
76	2,00	3,35	-1,35	2,68

28/08/25 0:35

2/3

Datos procesados - caso 24m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	1,50	4,40	-2,90	2,95
78	,88	7,46	-6,58	4,17
79	1,61	7,27	-5,66	4,44
80	1,72	5,24	-3,52	3,48

Datos procesados - caso 20m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	1,72	1,29	,43	1,51
2	1,36	2,21	-,85	1,79
3	1,21	3,39	-2,18	2,30
4	1,06	2,91	-1,85	1,99
5	2,24	4,54	-2,30	3,39
6	1,78	5,37	-3,59	3,58
7	2,64	3,90	-1,26	3,27
8	3,61	4,81	-1,20	4,21
9	2,15	4,67	-2,52	3,41
10	1,88	6,59	-4,71	4,23
11	3,49	3,63	-,14	3,56
12	2,03	3,12	-1,09	2,58
13	1,07	4,25	-3,18	2,66
14	1,32	1,99	-,67	1,66
15	3,46	2,16	1,30	2,81
16	2,28	1,89	,39	2,09
17	1,52	1,71	-,19	1,62
18	1,03	2,25	-1,22	1,64
19	,73	2,79	-2,06	1,76
20	,77	2,87	-2,10	1,82
21	,84	1,97	-1,13	1,41
22	,94	3,21	-2,27	2,08
23	1,42	2,89	-1,47	2,16
24	2,12	2,20	-,08	2,16
25	2,23	2,79	-,56	2,51
26	2,26	2,31	-,05	2,29
27	2,41	2,48	-,07	2,45
28	2,45	3,89	-1,44	3,17
29	1,80	4,17	-2,37	2,99
30	1,12	4,14	-3,02	2,63
31	,89	3,33	-2,44	2,11
32	2,50	4,47	-1,97	3,49
33	1,88	4,64	-2,76	3,26
34	1,16	3,25	-2,09	2,21
35	1,01	4,64	-3,63	2,82
36	1,34	1,84	-,50	1,59
37	,65	4,00	-3,35	2,33
38	1,03	2,05	-1,02	1,54

28/08/25 0:53

1/3

Datos procesados - caso 20m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	1,23	3,24	-2,01	2,24
40	1,62	1,19	,43	1,41
41	,89	7,33	-6,44	4,11
42	,87	3,55	-2,68	2,21
43	,78	2,73	-1,95	1,76
44	,98	3,46	-2,48	2,22
45	1,13	3,84	-2,71	2,49
46	,99	8,02	-7,03	4,51
47	,91	3,62	-2,71	2,27
48	,77	4,50	-3,73	2,64
49	,92	4,18	-3,26	2,55
50	1,04	2,13	-1,09	1,59
51	,79	2,45	-1,66	1,62
52	1,08	2,34	-1,26	1,71
53	1,14	2,63	-1,49	1,88
54	,92	1,56	-,64	1,24
55	,62	1,52	-,90	1,07
56	1,00	1,81	-,81	1,41
57	3,83	2,22	1,61	3,03
58	1,59	1,48	,11	1,54
59	2,02	1,96	,06	1,99
60	,97	2,34	-1,37	1,65
61	,93	2,44	-1,51	1,69
62	,96	1,99	-1,03	1,48
63	1,28	2,57	-1,29	1,92
64	,84	3,47	-2,63	2,16
65	,81	1,71	-,90	1,26
66	2,21	2,47	-,26	2,34
67	1,08	1,76	-,68	1,42
68	,79	2,22	-1,43	1,51
69	2,66	,98	1,68	1,82
70	1,39	1,71	-,32	1,55
71	1,35	2,32	-,97	1,84
72	1,29	4,54	-3,25	2,92
73	,99	5,47	-4,48	3,23
74	1,68	4,75	-3,07	3,22
75	2,55	3,66	-1,11	3,11
76	2,00	2,39	-,39	2,20

28/08/25 0:53

2/3

Datos procesados - caso 20m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	1,50	4,08	-2,58	2,79
78	,88	3,45	-2,57	2,17
79	1,61	4,05	-2,44	2,83
80	1,72	5,50	-3,78	3,61

Datos procesados - caso 17m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	,90	,70	,20	,80
2	1,23	1,61	-,38	1,42
3	1,25	1,63	-,38	1,44
4	1,09	1,81	-,72	1,45
5	1,39	1,99	-,60	1,69
6	3,00	1,93	1,07	2,47
7	1,75	1,93	-,18	1,84
8	1,44	1,32	,12	1,38
9	1,16	1,50	-,34	1,33
10	1,02	2,50	-1,48	1,76
11	,91	2,86	-1,95	1,89
12	1,07	2,83	-1,76	1,95
13	1,08	3,09	-2,01	2,09
14	1,32	2,87	-1,55	2,10
15	1,84	3,26	-1,42	2,55
16	2,18	2,76	-,58	2,47
17	1,50	2,91	-1,41	2,21
18	2,17	3,57	-1,40	2,87
19	1,97	3,42	-1,45	2,70
20	1,46	3,09	-1,63	2,28
21	1,32	3,89	-2,57	2,61
22	1,41	3,50	-2,09	2,46
23	2,70	2,97	-,27	2,84
24	1,42	2,96	-1,54	2,19
25	1,34	3,03	-1,69	2,19
26	1,18	3,33	-2,15	2,26
27	1,08	3,61	-2,53	2,34
28	1,13	3,49	-2,36	2,31
29	1,08	2,93	-1,85	2,01
30	1,29	2,99	-1,70	2,14
31	,84	1,29	-,45	1,07
32	,63	1,79	-1,16	1,21
33	1,07	1,88	-,81	1,48
34	1,14	2,14	-1,00	1,64
35	1,43	1,71	-,28	1,57
36	2,13	2,11	,02	2,12
37	1,65	1,61	,04	1,63
38	1,88	1,55	,33	1,71

28/08/25 1:06

1/3

Datos procesados - caso 17m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	2,11	1,93	,18	2,02
40	1,77	1,97	-,20	1,87
41	1,72	1,37	,35	1,55
42	1,36	2,89	-1,53	2,13
43	1,21	1,69	-,48	1,45
44	1,06	3,19	-2,13	2,13
45	2,24	2,51	-,27	2,38
46	1,78	2,27	-,49	2,03
47	2,64	4,90	-2,26	3,77
48	3,61	3,75	-,14	3,68
49	2,15	3,51	-1,36	2,83
50	1,88	2,67	-,79	2,28
51	3,49	2,83	,66	3,16
52	2,03	2,87	-,84	2,45
53	1,07	2,61	-1,54	1,84
54	1,32	2,41	-1,09	1,87
55	3,46	2,40	1,06	2,93
56	2,28	1,90	,38	2,09
57	1,52	2,67	-1,15	2,09
58	1,03	1,77	-,74	1,40
59	,73	2,27	-1,54	1,50
60	,77	2,40	-1,63	1,59
61	,84	2,17	-1,33	1,51
62	,94	1,67	-,73	1,31
63	1,42	1,67	-,25	1,55
64	2,12	2,20	-,08	2,16
65	2,23	1,47	,76	1,85
66	2,26	1,37	,89	1,82
67	2,41	1,74	,67	2,08
68	2,45	3,21	-,76	2,83
69	1,80	3,31	-1,51	2,56
70	1,12	2,52	-1,40	1,82
71	,89	3,14	-2,25	2,02
72	2,50	3,40	-,90	2,95
73	1,88	3,36	-1,48	2,62
74	1,16	3,03	-1,87	2,09
75	1,01	2,16	-1,15	1,59
76	1,34	3,04	-1,70	2,19

28/08/25 1:06

2/3

Datos procesados - caso 17m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	.65	2,72	-2,07	1,69
78	1,03	2,00	-,97	1,52
79	1,23	2,77	-1,54	2,00
80	1,62	2,93	-1,31	2,28

Datos procesados - caso 15m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	1,72	2,16	-,44	1,94
2	1,36	2,34	-,98	1,85
3	1,21	2,92	-1,71	2,07
4	1,06	2,81	-1,75	1,94
5	2,24	3,32	-1,08	2,78
6	1,78	2,76	-,98	2,27
7	2,64	1,91	,73	2,28
8	3,61	3,37	,24	3,49
9	2,15	2,99	-,84	2,57
10	1,88	2,85	-,97	2,37
11	3,49	2,65	,84	3,07
12	2,03	2,25	-,22	2,14
13	1,07	2,93	-1,86	2,00
14	1,32	2,43	-1,11	1,88
15	3,46	1,53	1,93	2,50
16	2,28	,69	1,59	1,48
17	1,52	1,33	,19	1,43
18	1,03	1,32	-,29	1,18
19	,73	1,60	-,87	1,17
20	,77	1,50	-,73	1,14
21	,84	1,40	-,56	1,12
22	,94	1,14	-,20	1,04
23	1,42	1,05	,37	1,23
24	2,12	1,02	1,10	1,57
25	2,23	,95	1,28	1,59
26	2,26	1,28	,98	1,77
27	2,41	1,36	1,05	1,89
28	2,45	1,60	,85	2,03
29	1,80	3,11	-1,31	2,46
30	1,12	2,41	-1,29	1,77
31	,89	2,27	-1,38	1,58
32	2,50	2,62	-,12	2,56
33	1,88	2,05	-,17	1,96
34	1,16	2,04	-,88	1,60
35	1,01	1,63	-,62	1,32
36	1,34	2,14	-,80	1,74
37	,65	1,90	-1,25	1,28
38	1,03	2,61	-1,58	1,82

28/08/25 1:31

1/3

Datos procesados - caso 15m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	1,23	2,08	-,85	1,66
40	1,62	2,00	-,38	1,81
41	2,19	2,40	-,21	2,30
42	1,98	2,56	-,58	2,27
43	2,88	1,76	1,12	2,32
44	,96	2,10	-1,14	1,53
45	,95	1,38	-,43	1,17
46	1,24	,89	,35	1,07
47	1,47	2,36	-,89	1,92
48	1,06	1,43	-,37	1,25
49	1,10	2,42	-1,32	1,76
50	,58	1,72	-1,14	1,15
51	1,62	2,47	-,85	2,05
52	1,66	1,87	-,21	1,77
53	,96	1,99	-1,03	1,48
54	,90	2,42	-1,52	1,66
55	1,29	2,51	-1,22	1,90
56	4,16	1,81	2,35	2,99
57	1,91	2,35	-,44	2,13
58	1,01	1,68	-,67	1,35
59	1,47	1,90	-,43	1,69
60	1,42	1,42	,00	1,42
61	1,71	1,32	,39	1,52
62	,89	2,10	-1,21	1,50
63	2,03	1,56	,47	1,80
64	1,47	1,71	-,24	1,59
65	1,85	1,11	,74	1,48
66	1,07	2,04	-,97	1,56
67	1,39	2,21	-,82	1,80
68	1,54	4,33	-2,79	2,94
69	1,73	2,45	-,72	2,09
70	1,72	1,27	,45	1,50
71	1,52	,99	,53	1,26
72	1,03	1,46	-,43	1,25
73	1,09	1,72	-,63	1,41
74	1,23	1,54	-,31	1,39
75	1,39	1,84	-,45	1,62
76	,99	1,33	-,34	1,16

28/08/25 1:31

2/3

Datos procesados - caso 15m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	1,02	1,66	-,64	1,34
78	1,37	2,30	-,93	1,84
79	1,11	1,73	-,62	1,42
80	1,47	2,42	-,95	1,94

Datos procesados - caso 12m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
1	2,09	2,31	-,22	2,20
2	2,16	2,35	-,19	2,26
3	1,91	1,95	-,04	1,93
4	1,17	1,47	-,30	1,32
5	1,51	1,83	-,32	1,67
6	1,90	1,64	,26	1,77
7	1,38	1,77	-,39	1,58
8	1,15	1,45	-,30	1,30
9	1,10	1,58	-,48	1,34
10	,85	1,25	-,40	1,05
11	1,67	1,51	,16	1,59
12	1,01	1,42	-,41	1,21
13	1,60	1,34	,26	1,47
14	1,11	,93	,18	1,02
15	,83	1,28	-,45	1,06
16	1,25	,98	,27	1,12
17	1,20	1,34	-,14	1,27
18	1,78	1,43	,35	1,61
19	1,04	,66	,38	,85
20	1,09	,79	,30	,94
21	1,50	1,20	,30	1,35
22	1,37	1,25	,12	1,31
23	1,15	,95	,20	1,05
24	,90	,92	-,02	,91
25	1,11	,90	,21	1,01
26	1,12	1,00	,12	1,06
27	1,04	,85	,19	,95
28	1,41	1,23	,18	1,32
29	1,82	1,58	,24	1,70
30	1,26	1,37	-,11	1,32
31	3,07	2,69	,38	2,88
32	2,13	1,86	,27	2,00
33	1,29	1,50	-,21	1,40
34	1,27	1,56	-,29	1,42
35	1,03	1,37	-,34	1,20
36	1,21	1,25	-,04	1,23
37	1,12	1,52	-,40	1,32
38	1,81	1,98	-,17	1,90

28/08/25 2:03

1/6

Datos procesados - caso 12m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
39	1,72	1,45	,27	1,59
40	2,28	2,16	,12	2,22
41	,90	,66	,24	,78
42	1,23	,99	,24	1,11
43	1,25	,89	,36	1,07
44	1,09	1,14	-,05	1,12
45	1,39	1,81	-,42	1,60
46	3,00	2,31	,69	2,66
47	1,75	1,16	,59	1,46
48	1,44	1,01	,43	1,23
49	1,16	1,03	,13	1,10
50	1,02	,87	,15	,95
51	,91	1,12	-,21	1,02
52	1,07	,66	,41	,87
53	1,08	1,65	-,57	1,37
54	1,32	1,89	-,57	1,61
55	1,84	2,32	-,48	2,08
56	2,18	2,41	-,23	2,30
57	1,50	2,07	-,57	1,79
58	2,17	2,00	,17	2,09
59	1,97	2,33	-,36	2,15
60	1,46	1,73	-,27	1,60
61	1,32	1,72	-,40	1,52
62	1,41	2,17	-,76	1,79
63	2,70	2,24	,46	2,47
64	1,42	1,72	-,30	1,57
65	1,34	2,11	-,77	1,73
66	1,18	1,60	-,42	1,39
67	1,08	1,73	-,65	1,41
68	1,13	1,81	-,68	1,47
69	1,08	1,37	-,29	1,23
70	1,29	1,09	,20	1,19
71	,84	,62	,22	,73
72	,63	,84	-,21	,74
73	1,07	1,44	-,37	1,26
74	1,14	1,10	,04	1,12
75	1,43	1,11	,32	1,27
76	2,13	1,71	,42	1,92

28/08/25 2:03

2/6

Datos procesados - caso 12m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
77	1,65	1,17	,48	1,41
78	1,88	1,37	,51	1,63
79	2,11	1,79	,32	1,95
80	1,77	1,15	,62	1,46
81	2,11	2,80	-,69	2,46
82	3,62	3,27	,35	3,45
83	2,52	2,78	-,26	2,65
84	1,47	2,11	-,64	1,79
85	2,04	2,53	-,49	2,29
86	2,14	1,92	,22	2,03
87	1,65	,97	,68	1,31
88	1,19	1,43	-,24	1,31
89	1,36	2,03	-,67	1,69
90	1,70	2,03	-,33	1,86
91	1,29	1,49	-,20	1,39
92	1,23	1,45	-,22	1,34
93	1,51	1,66	-,15	1,59
94	1,69	2,08	-,39	1,89
95	1,97	1,96	,01	1,96
96	1,57	2,20	-,63	1,89
97	1,76	2,16	-,40	1,96
98	2,36	1,93	,43	2,15
99	2,36	1,76	,60	2,06
100	3,35	2,77	,58	3,06
101	1,60	1,12	,48	1,36
102	2,54	1,86	,68	2,20
103	1,52	1,31	,21	1,42
104	1,62	2,17	-,55	1,90
105	2,00	2,71	-,71	2,36
106	1,23	1,81	-,58	1,52
107	1,43	2,08	-,65	1,76
108	1,55	1,77	-,22	1,66
109	1,36	1,56	-,20	1,46
110	1,68	1,81	-,13	1,75
111	2,24	2,40	-,16	2,32
112	2,26	2,33	-,07	2,30
113	2,15	1,44	,71	1,80
114	2,24	2,16	,08	2,20

28/08/25 2:03

3/6

Datos procesados - caso 12m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
115	1,28	1,98	-,70	1,63
116	1,29	1,77	-,48	1,53
117	1,99	1,40	,59	1,69
118	3,79	3,14	,65	3,47
119	2,98	2,30	,68	2,64
120	1,21	1,75	-,54	1,48
121	2,19	2,81	-,62	2,50
122	1,98	1,99	-,01	1,98
123	2,88	2,28	,60	2,58
124	,96	1,83	-,87	1,40
125	,95	1,62	-,67	1,29
126	1,24	1,41	-,17	1,33
127	1,47	1,43	,04	1,45
128	1,06	1,84	-,78	1,45
129	1,10	1,54	-,44	1,32
130	,58	1,08	-,50	,83
131	1,62	1,87	-,25	1,75
132	1,66	1,79	-,13	1,73
133	,96	1,53	-,57	1,25
134	,90	1,15	-,25	1,03
135	1,29	1,15	,14	1,22
136	4,16	3,68	,48	3,92
137	1,91	1,71	,20	1,81
138	1,01	,96	,05	,99
139	1,47	1,19	,28	1,33
140	1,42	1,09	,33	1,26
141	1,71	1,00	,71	1,36
142	,89	1,58	-,69	1,24
143	2,03	1,33	,70	1,68
144	1,47	1,37	,10	1,42
145	1,85	1,35	,50	1,60
146	1,07	1,71	-,64	1,39
147	1,39	1,79	-,40	1,59
148	1,54	1,37	,17	1,46
149	1,73	1,22	,51	1,48
150	1,72	1,51	,21	1,62
151	1,52	1,78	-,26	1,65
152	1,03	,86	,17	,95

28/08/25 2:03

4/6

Datos procesados - caso 12m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
153	1,09	1,69	-,60	1,39
154	1,23	,90	,33	1,07
155	1,39	1,15	,24	1,27
156	,99	1,08	-,09	1,04
157	1,02	1,19	-,17	1,11
158	1,37	,95	,42	1,16
159	1,11	1,34	-,23	1,23
160	1,47	1,70	-,23	1,59
161	,89	1,40	-,51	1,15
162	,87	1,43	-,56	1,15
163	,78	,93	-,15	,86
164	,98	1,36	-,38	1,17
165	1,13	1,30	-,17	1,21
166	,99	1,14	-,15	1,07
167	,91	1,35	-,44	1,13
168	,77	1,55	-,78	1,16
169	,92	1,78	-,86	1,35
170	1,04	1,67	-,63	1,36
171	,79	,88	-,09	,84
172	1,08	,79	,29	,94
173	1,14	1,53	-,39	1,34
174	,92	,79	,13	,86
175	,62	,80	-,18	,71
176	1,00	,82	,18	,91
177	3,83	3,17	,66	3,50
178	1,59	,92	,67	1,26
179	2,02	1,56	,46	1,79
180	,97	1,13	-,16	1,05
181	,93	1,20	-,27	1,07
182	,96	1,60	-,64	1,28
183	1,28	1,39	-,11	1,34
184	,84	,90	-,06	,87
185	,81	,92	-,11	,87
186	2,21	1,60	,61	1,91
187	1,08	,95	,13	1,02
188	,79	1,60	-,81	1,20
189	2,66	2,75	-,09	2,71
190	1,39	1,12	,27	1,26

Datos procesados - caso 12m.sav

	Perfilómetro	Dron	Diferencia	Media
191	1,35	1,39	-,04	1,37
192	1,29	2,06	-,77	1,68
193	,99	1,72	-,73	1,36
194	1,68	1,20	,48	1,44
195	2,55	1,80	,75	2,18
196	2,00	1,46	,54	1,73
197	1,50	1,34	,16	1,42
198	,88	1,73	-,85	1,31
199	1,61	1,02	,59	1,32
200	1,72	2,07	-,35	1,90

Anexo H. Imágenes de la condición de la vía – Tramo 1

Uniformidad Superficial del Pavimento





Colocación de puntos de control





Medición de condiciones ambientales



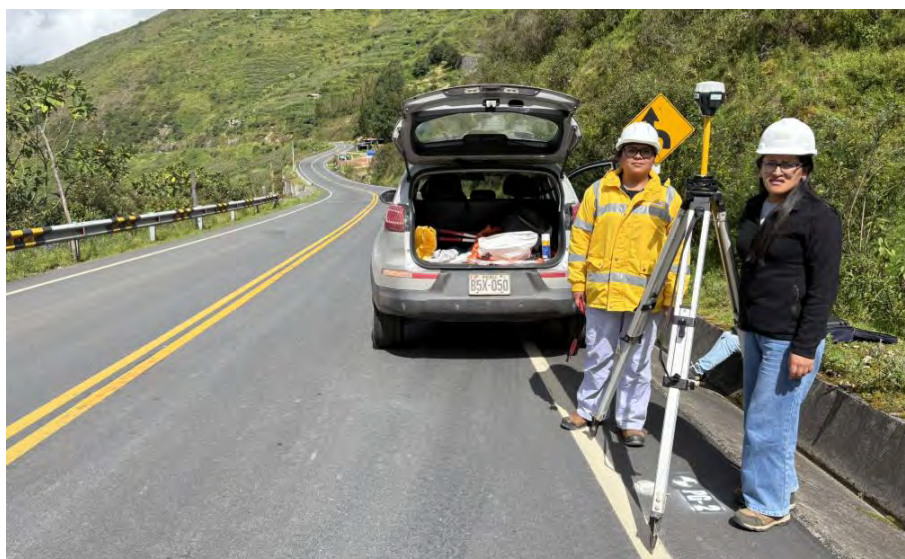
Anexo G. Imágenes de la condición de la vía – Tramo 2

Uniformidad Superficial del Pavimento





Colocación de puntos de control



Medición de condiciones ambientales



Anexo H. Imágenes de la condición de la vía – Tramo 3

Uniformidad Superficial del Pavimento



Medición de condiciones ambientales

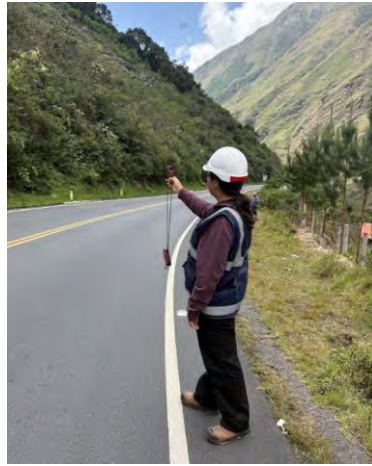


Anexo I. Imágenes de la condición de la vía – Tramo 4

Uniformidad Superficial del Pavimento



Medición de condiciones ambientales



Anexo J. Imágenes de la condición de la vía – Tramo 5

Uniformidad Superficial del Pavimento



Medición de condiciones ambientales



Anexo K. Imágenes de la condición de la vía – Tramo 6

Uniformidad Superficial del Pavimento



Medición de condiciones ambientales

