



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DIAGNÓSTICO MULTIVARIABLE PARA LA DETERMINACIÓN DEL
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD EN LA AUTOPISTA E40 DESDE EL
KILÓMETRO 12 HASTA EL 16, GUAYAQUIL - ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil

AUTOR: FRANK DIEGO LAUFER NÚÑEZ

AUTOR: KLEBER JOEL SERRANO CHÁVEZ

TUTOR: Ing. CARLOS LUIS VALERO FAJARDO, MSc.

Guayaquil-Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Frank Diego Laufer Núñez con documento de identificación N° 0604092668 y Kleber Joel Serrano Chávez con documento de identificación N° 0931015309; manifestamos que:

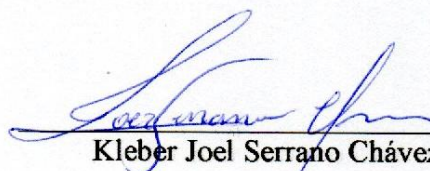
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de enero del año 2026 Atentamente,



Frank Diego Laufer Núñez

0604092668



Kleber Joel Serrano Chávez

0931015309

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Frank Diego Laufer Núñez con documento de identificación No. 0604092668 y Kleber Joel Serrano Chávez con documento de identificación No. 0931015309 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “DIAGNÓSTICO MULTIVARIABLE PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD EN LA AUTOPISTA E40 DESDE EL KILÓMETRO 12 HASTA EL 16, GUAYAQUIL – ECUADOR”.

el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

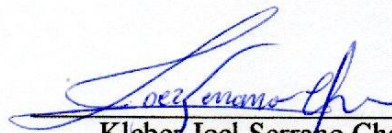
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2026

Atentamente,



Frank Diego Laufer Núñez.
0604092668



Kleber Joel Serrano Chávez.
0931015309

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Luis Valero Fajardo con documento de identificación N° 0925766461, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DIAGNÓSTICO MULTIVARIABLE PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD EN LA AUTOPISTA E40 DESDE EL KILÓMETRO 12 HASTA EL 16, GUAYAQUIL – ECUADOR”, realizado por Frank Diego Laufer Núñez con documento de identificación N° 0604092668 y por Kleber Joel Serrano Chávez con documento de identificación N° 0931015309, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2026

Atentamente,



Ing. Carlos Luis Valero Fajardo, MSc
0925766461

DEDICATORIA

Hoy, al culminar este logro académico de titulación, elevo mi primera y más profunda gratitud a Dios, por guiar mis pasos, darme fortaleza en los momentos difíciles y recordarme que, con fe, todo esfuerzo encuentra su propósito.

A mi compañera de vida, Geovanna, gracias por caminar a mi lado con amor, paciencia y apoyo incondicional; por creer en mí incluso cuando el cansancio pesaba, y por ser ese abrazo que me devolvía calma y claridad para seguir adelante.

A mi hijo Kyle, mi mayor inspiración, tu sonrisa y tu existencia le dan sentido a cada meta. Este triunfo también es tuyo, porque eres la razón más pura por la que nunca me rendí y por la que siempre busco ser mejor.

A mi padre, Kemil, gracias por ser ejemplo a seguir, por enseñarme con tu vida el valor de la disciplina, el trabajo y la palabra firme. Tu ejemplo ha sido una brújula en mi camino.

A mi madre, Pilar, mi pilar emocional, gracias por tu amor constante, tus consejos, tus oraciones y por sostenerme con tu fuerza cuando yo sentía que me faltaba la mía. Tu apoyo ha sido un refugio en todo este proceso.

A mis hermanos, gracias por ser la motivación que me impulsa a ser un ejemplo, por su compañía, por cada palabra de ánimo y por recordarme que siempre hay una razón para levantarse y continuar.

Y, en general, a toda mi familia, gracias por ser parte de este proceso, por su cariño, su confianza y por estar presentes, de una u otra forma, en cada etapa. Este logro no es solo un título, es el reflejo del amor, la unión y el esfuerzo compartido.

Con el corazón lleno de gratitud, dedico este logro a ustedes.

Kleber Serrano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar esta meta y por acompañarme en cada etapa del camino, brindándome fortaleza, serenidad y perseverancia para concluir el presente proceso de titulación.

A mi familia, expreso mi más sincero agradecimiento por el apoyo constante y por ser el sustento que me impulsó a continuar. A mi compañera de vida, Geovanna, por su respaldo incondicional, comprensión y compañía en todo momento. A mi hijo Kyle, por ser mi mayor motivación y el motor que da sentido a cada esfuerzo. A mi padre, Kemil, por ser ejemplo a seguir; a mi madre, Pilar, por su apoyo y por ser mi pilar emocional; a mis hermanos, por su aliento permanente; y, en general, a toda mi familia, por formar parte de este logro y acompañarme durante todo el proceso.

De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Carlos Valero, por su guía académica, seguimiento oportuno y aportes técnicos, fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo.

A mi compañero de tesis, Frank, por el compromiso, la responsabilidad y el esfuerzo compartido; por el trabajo en equipo y la perseverancia para sacar adelante este proyecto, consolidando juntos este logro.

De igual forma, agradezco al Ing. David Conforme por su motivación y respaldo como amigo a lo largo de este proceso, brindándome confianza y ánimo constante para seguir adelante hasta culminar esta etapa de titulación.

Asimismo, expreso un reconocimiento especial al director de Carrera, Ing. Fausto Cabrera, por la confianza, cercanía y apertura brindadas; por su disposición para orientar y apoyar con criterio, generando un entorno de acompañamiento que facilitó nuestro proceso. De igual manera, al Ing. Luis Moya, por su exigencia formativa y por corregir con firmeza y sentido

humano; y, además, por la confianza demostrada al asumir un rol de mediador y mostrarse permisible dentro de lo académico cuando fue necesario.

Finalmente, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a la institución en general, por acogerme y formarme como profesional, brindándome conocimientos, valores y herramientas que fortalecen mi desempeño y mi proyección profesional.

Kleber Serrano.

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por ser la fuerza que me ha guiado en cada paso.

A mi esposa María Rosa, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi compañera inquebrantable. A mis hijas Martina y Salma, por su alegría y su ternura, que llenan cada día de esperanza.

A mis padres, Helmut (+) y Greys, por su sabiduría y por ser el pilar fundamental de mi vida, llevando su memoria en el corazón en cada logro.

A mi hermano Danny, por su apoyo incondicional y su compañía, a mis tres cuñados, Feryala, Armando y Gianella por ser verdaderos hermanos, siempre presentes con su aliento y su apoyo.

Finalmente, a toda mi familia, por su cariño, su comprensión y por ser la inspiración que me impulsa a seguir adelante.

Frank Laufer.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis tutores, el Ingeniero Fausto Cabrera y el Ingeniero Carlos Valero, por compartir generosamente sus conocimientos y experiencia, lo que ha sido fundamental para darle rigor y calidad a esta tesis.

También agradezco profundamente a todos mis profesores, en especial al ing. Eduardo Moya y Kevin Proaño quienes nos han acompañado a lo largo de este tiempo, aportando sus conocimientos y formando no solo a profesionales competentes, sino también a mejores personas. Gracias a su guía, estamos preparados para enfrentar cualquier adversidad en el campo profesional.

Agradezco sinceramente a mi compañero de tesis por su compromiso y amistad desde que iniciamos este reto. Lo que comenzó como una coincidencia académica se convirtió en una alianza basada en el respeto y la perseverancia. Juntos superamos obstáculos y largas jornadas de trabajo, transformando los desafíos en un logro profesional integral y fortaleciendo un vínculo de confianza que fue clave para culminar esta etapa con éxito.

Frank Laufer.

Resumen

El presente trabajo desarrolla un diagnóstico multivariable para determinar y explicar la variación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) en la autopista E40 (Vía a la Costa), entre los km 12+000 y 16+000, integrando variables funcionales del pavimento, tránsito y condicionantes del entorno. El tramo evaluado de 4 km se subdividió en subtramos de 200 m, considerando dos sentidos y tres carriles, totalizando 120 registros para el análisis. Metodológicamente, se levantó información mediante fotogrametría UAV RTK generando un ortomosaico y MDE, procesamiento en Metashape/Civil 3D y mediciones de rugosidad con RoadLab Pro, además, se integró un componente multitemporal de expansión urbana usando Google Earth Pro como contexto de presión de demanda. En resultados, el tramo presenta PSI promedio de 2.73, un mínimo de 1.98 y un registro máximo de 3.16, con predominio ACEPTABLE en un 70%, aunque con presencia relevante de condición REGULAR en un 19.2% y un punto MALO con 0.8%. La relación estadística muestra que la caída del PSI está dominada por variables funcionales: PSI – IRI: ($r \approx -0.996$) y PSI – RD: ($r \approx -0.996$) mientras que C + P: ($r \approx -0.258$) y SV: ($r \approx -0.079$) tienen incidencia menor en la muestra. El corredor evidencia alta demanda vehicular con un TPDA total 23.805 veh/día con un componente de pesados 4.911 veh/día representando el 20.6%, cuya influencia es desproporcionada sobre el deterioro. Complementariamente, el análisis hidrológico identifica planitud longitudinal y zonas con baja capacidad de evacuación, asociando los puntos con $PSI < 2$ a escorrentía lateral y deficiencias de drenaje. En síntesis, el estudio entrega evidencia cuantitativa para priorizar intervenciones en subtramos críticos, articulando tránsito, drenaje y desempeño funcional del pavimento.

Palabras clave: PSI; IRI; TPDA; tránsito pesado; ahuellamiento (RD); deterioro superficial (C+P); drenaje y escorrentía; expansión urbana (densidad poblacional).

Abstract

This study develops a multivariable diagnostic to determine and explain the behavior of the Present Serviceability Index (PSI) along Ecuador's E40 highway (Vía a la Costa) between km 12+000 and km 16+000, integrating pavement functional indicators, traffic demand, and environmental drivers. The 4-km corridor was divided into 200-m sub-segments, considering two travel directions and three lanes, resulting in 120 records for analysis. Methodologically, data were collected using RTK-UAV photogrammetry (orthomosaic and DEM), processed in Metashape/Civil 3D, and longitudinal roughness was measured with RoadLab Pro; a multi-temporal urban expansion component (Google Earth Pro) was added as a contextual pressure factor on mobility demand. Results show an overall PSI mean of 2.73 (minimum 1.98; maximum 3.16), with most observations classified as acceptable (70%), yet a meaningful share already in regular condition (19.2%) and one poor point (0.8%). Correlation analysis indicates that PSI reduction is driven mainly by functional variables: PSI – IRI: ($r \approx -0.996$) and PSI – RD: ($r \approx -0.996$), while C + P: ($r \approx -0.258$) and SV: ($r \approx -0.079$) play a weaker role in the sample. Traffic results confirm high demand: total AADT (TPDA) = 23,805 veh/day, with heavy vehicles = 4,911 veh/day (20.6%), which can disproportionately accelerate deterioration. In addition, the surface hydrology assessment identifies dominant longitudinal flatness and low evacuation capacity, linking $PSI < 2$ points to lateral runoff and drainage deficiencies. Overall, the study provides quantitative evidence to prioritize maintenance actions in critical sub-segments by combining traffic, drainage, and pavement functional performance.

Key words: PSI; IRI; AADT (TPDA); heavy traffic; rut depth (RD); surface distress (C+P); drainage and runoff; urban expansion (population density).

ÍNDICE

1. CAPITULO 1.....	1
1.1. Problema general de la investigación.	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Justificación.	2
1.3.1. Justificación técnica.	2
1.3.2. Justificación social.	3
1.3.3. Justificación económica.	3
1.3.4. Justificación ambiental.....	3
1.3.5. Justificación científica.	4
1.4. Alcance de la investigación.	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.	5
1.6. Hipótesis.	6
2. Capítulo 2: Fundamentación teórica.....	7
2.1. Estructura vial y pavimentos flexibles.....	7
2.2. Serviciabilidad de pavimentos.	8
2.3. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).....	8
2.4. Rugosidad longitudinal e Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	10
2.5. Ahuellamiento y deterioros superficiales del pavimento (RD).....	11

2.6.	Gestión de pavimentos y etapa de diagnóstico	12
2.7.	Fotogrametría con UAV/drones en la evaluación de pavimentos	13
2.8.	Condiciones climáticas, ENSO y su impacto en los pavimentos de la Costa Ecuatoriana.	14
2.9.	Noticias y contexto reciente (2020–2025) sobre la red vial ecuatoriana y la Vía a la Costa	15
2.10.	Síntesis de la fundamentación teórica.....	16
2.11.	GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS	17
3.	Capítulo 3: Marco metodológico.	19
3.1.	Ámbito del estudio.....	19
3.2.	Tipo y diseño de investigación.....	19
3.3.	Ámbito espacial, unidad de análisis y periodo.....	20
3.4.	Variables operacionales.....	20
3.5.	Procedimiento para llegar al PSI.....	21
3.5.1.	Fase 1. Planificación y levantamiento (UAV RTK).....	21
3.5.2.	Fase 2. Procesamiento fotogramétrico	21
3.5.3.	Fase 3. Extracción de indicadores de condición superficial.	24
3.5.4.	Fase 4. Calculo e integración del PSI.	41
3.5.5.	Fase 5. Validación (MTOPI/NEVI-12).	43
3.5.6.	Tabla de resultados y criterios de intervención.....	48
3.6.	Integración del análisis multitemporal de expansión urbana, (Google Earth Pro) Tramo Km 12+000 al Km 16+000.....	50

3.6.1.	Insumos, fechas e interpretación.....	50
3.6.2.	Ajuste a área neta residencial: Descuento por vías/áreas verdes/equipamientos.....	51
3.7.	INTEGRACIÓN TPDA - PSI, VÍA A LA COSTA E40 (Km 12 – Km 16).....	52
3.7.1.	Datos, supuestos y definiciones	53
3.7.2.	Metodología de integración	53
3.7.3.	Resultados de serviciabilidad (PSI) y pérdida asociada	54
3.7.4.	TPDA - PSI: subtramos con PSI bajo y efecto del tránsito pesado	55
3.7.5.	Discusión técnica	56
3.7.6.	Análisis general PSI vs TPDA.....	56
3.8.	Integración de análisis hidrológico superficial y su relación con la serviciabilidad del pavimento (PSI) Vía E40 – km 12+000 al km 16+000.....	56
3.8.1.	Análisis hidrológico superficial	56
3.8.2.	Obtención de la información topográfica	57
3.8.3.	Preparación y validación del Modelo Digital de Elevación.....	57
3.8.4.	Análisis de pendientes del terreno	57
3.8.5.	Evaluación de la escorrentía superficial	58
3.8.6.	Alcances y limitaciones del análisis	60
3.8.7.	Observaciones	61
4.	Análisis de resultados.	61
4.1.	Análisis global de resultados del PSI con enfoque multivariable y multitemporal	

4.1.1.	Resultado global del PSI (estado del tramo).....	62
4.1.2.	Comparación por sentido (asimetría direccional)	63
4.1.3.	Integración multivariable: qué variables explican la caída del PSI	63
4.1.4.	Localización de tramos críticos (subtramos de 200 m)	67
4.1.5.	Punto crítico (condición “MALO”)	67
4.1.6.	Integración con la variable multitemporal: crecimiento por área urbanizada ajustada.	68
4.2.	Mapa cognitivo difuso	69
4.3.	Diagnóstico multivariable	71
4.4.	Conclusiones.	72
4.5.	Recomendaciones	73
4.6.	Instrumentos, software y datos complementarios	73
4.7.	Consideraciones operativas, éticas y de seguridad	74
4.8.	Limitaciones del estudio	74
4.9.	Productos y entregables	74
4.10.	Cronograma de realización del proyecto.	74
4.11.	Presupuesto referencial (costos personales del investigador).....	74
5.	Referencias bibliográficas.....	76
6.	Anexos.	80
6.1.	Inventario de fallas.....	80
6.2.	Informe de calidad Agisoft MetaShape.....	95
6.2.1.	Datos del levantamiento	95

6.2.2.	Calibración de cámara	96
6.2.3.	Posiciones de cámaras	97
6.2.4.	Modelo digital de elevaciones.	98
6.2.5.	Parámetros de procesamiento	99
6.3.	Fotografías de vuelo (drone).....	104
6.4.	Planos.....	105

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Estructura de pavimentos flexibles.	7
Ilustración 2: Tabla de Índices de Serviciabilidad.....	9
Ilustración 3: Ecuaciones de PSI en función del IRI.....	11
Ilustración 4: Tabla de variables dependientes e independientes	20
Ilustración 5: Parámetros de vuelo	21
Ilustración 6: Generación de ortomosaico.....	22
Ilustración 7: Modelo digital de elevaciones del terreno.	22
Ilustración 8: Depuración de nube de puntos 1	23
Ilustración 9: Depuración de nube de puntos 2 (arboles de canal central).....	23
Ilustración 10: Generación de superficie en Civil 3D y creación de perfiles longitudinales (GYE-CHONGON, CHONGON-GYE).....	23
Ilustración 11: Delimitaciones de fallas sobre ortomosaico para registro de áreas.....	24
Ilustración 12: Extracto de hoja de cálculo obtenida del informe en Civil 3D y cálculo de SV mediante la función VAR.S.....	25
Ilustración 13: Extracto del perfil longitudinal procesado en Excel	26
Ilustración 14: Extracto de Excel del cálculo de SV para los subtramos de 200m	26
Ilustración 15: ROADLAB PRO PASO 1	27
Ilustración 16: ROADLAB PRO PASO 2.....	27
Ilustración 17: ROADLAB PRO PASO 3.....	28
Ilustración 18: ROADLAB PRO PASO 4.....	28
Ilustración 19: ROADLAB PRO PASO 5.....	29
Ilustración 20: ROADLAB PRO PASO 6.....	29
Ilustración 21: ROADLAB PRO PASO 7.....	29
Ilustración 22: ROADLAB PRO PASO 8.....	29

Ilustración 23: ROADLAB PRO PASO 9.....	30
Ilustración 24: ROADLAB PRO PASO 10.....	30
Ilustración 25: Extracto de mediciones de IRI cada 100m que proporciona ROADLAB PRO	31
Ilustración 26: IRI, KM 12+000 - KM 13+000.....	31
Ilustración 27: IRI, KM 13+000 - KM 14+000.....	32
Ilustración 28: IRI, KM 14+000- -KM 15+000	32
Ilustración 29: IRI, KM 15+000 - KM 16+000.....	33
Ilustración 30:Extracto del ortomosaico en Civil 3D para la delimitación de fallas.	33
Ilustración 31:Extracto del inventario de fallas desarrollado en Excel.....	34
Ilustración 32: Extracto del Civil 3D en la medición de área de carriles.....	34
Ilustración 33: C+P, KM 12+000 - KM 13+000	35
Ilustración 34: C+P, KM 13+000 - 14+000.....	35
Ilustración 35: C+P, KM 14+000 - KM 15+000	36
Ilustración 36: C+P, KM 15+000 - KM 16+000	36
Ilustración 37: Ecuaciones de PSI en función de IRI.....	37
Ilustración 38: RD, KM 12+000 - KM 13+000	38
Ilustración 39: RD, KM 13+000 - KM 14+000	39
Ilustración 40: RD, KM 14+000 - KM 15+000	40
Ilustración 41: RD, KM 15+000 - KM 16+000	40
Ilustración 42: PSI, KM 12+000 - KM 13+000	41
Ilustración 43: PSI, KM 13+000 - KM 14+000	42
Ilustración 44: PSI, KM 14+000 - KM 15+000	42
Ilustración 45: PSI, KM 15+000 - KM 16+000.....	43
Ilustración 46: VALIDACION, KM 12+000 - KM 13+000	44

Ilustración 47: VALIDACION, KM 13+000 - KM 14+000	45
Ilustración 48: VALIDACION, KM 14+000 - KM 15+000	46
Ilustración 49: VALIDACION, KM 15+000 - KM 16+000.	47
Ilustración 50:Tabla de priorización, Km 12+000 - Km 14+000.....	48
Ilustración 51: Tabla de priorización, Km 14+000 - Km 16+000.....	49
Ilustración 52:TPDS, %TPDS Y TPDA por clase vehicular.....	54
Ilustración 53:TPDA por clase vehicular y sentido.....	54
Ilustración 54:Distribución porcentual de categorías PSI.....	55
Ilustración 55:Perfil de PSI VS Abscisado.....	55
Ilustración 56:Subtramos con PSI < 2,5.....	55
Ilustración 57:Matriz PSI vs intensidad de tráfico	56
Ilustración 58: Grafica PSI vs IRI, Chongón – Gye.....	63
Ilustración 59:Grafica PSI vs IRI, Gye - Chongón.	64
Ilustración 60: Grafica PSI vs RD, Chongón – Gye	64
Ilustración 61: Grafica PSI vs RD, Gye – Chongón	65
Ilustración 62: Grafica PSI vs C+P, Chongón – Gye	65
Ilustración 63: Grafica PSI vs C+P, Gye – Chongón	65
Ilustración 64: Grafica PSI vs SV, Chongón – Gye	66
Ilustración 65: Grafica PSI vs SV, Gye – Chongón	66
Ilustración 66: INVENTARIO DE FALLAS 1	80
Ilustración 67: INVENTARIO DE FALLAS 2	81
Ilustración 68: INVENTARIO DE FALLAS 3	82
Ilustración 69: INVENTARIO DE FALLAS 4	83
Ilustración 70: INVENTARIO DE FALLAS 5	84
Ilustración 71: INVENTARIO DE FALLAS 6	85

Ilustración 72: INVENTARIO DE FALLAS 7	86
Ilustración 73: INVENTARIO DE FALLAS 8	87
Ilustración 74: INVENTARIO DE FALLAS 9	88
Ilustración 75: INVENTARIO DE FALLAS 10	89
Ilustración 76: INVENTARIO DE FALLAS 11	90
Ilustración 77: INVENTARIO DE FALLAS 12	91
Ilustración 78: INVENTARIO DE FALLAS 13	92
Ilustración 79: INVENTARIO DE FALLAS 14	93
Ilustración 80: INVENTARIO DE FALLAS 15	94

1. CAPITULO 1

1.1. Problema general de la investigación.

Disminución del índice de serviciabilidad presente (PSI) en la autopista E40 en el tramo comprendido desde el Km 12 hasta el Km 16 del corredor vial Guayaquil – Chongón, que se evidencia por el aumento de fallas superficiales y funcionales del pavimento.

1.2. Planteamiento del problema.

El tramo Guayaquil – Chongón, perteneciente a la autopista Guayaquil – Santa Elena, constituye uno de los ejes estratégicos de conexión de la zona urbana de Guayaquil con los sectores residenciales y turísticos de vía a la costa.

En los últimos años este sector ha experimentado un crecimiento poblacional acelerado, acompañado de un crecimiento constante del tránsito vehicular, especialmente de vehículos livianos y pesados tanto del servicio público como el privado. Esta expansión urbana y el aumento del flujo vehicular han generado un progresivo deterioro del pavimento, afectando directamente la serviciabilidad y el nivel de confort de los usuarios.

A pesar del que el tramo se encuentra bajo concesión y cuenta con mantenimiento rutinario se observan fallas frecuentes como baches, fisuras longitudinales, ahuellamientos y desprendimiento de agregados, especialmente después de la temporada invernal. Estos deterioros no solo reducen la calidad funcional del pavimento, sino que también incrementan los riesgos de accidentes y los costos de operación vehicular. Además, las condiciones de la vía varían significativamente entre las épocas de invierno y verano.

Durante el invierno, las intensas lluvias provocan saturación del suelo, fallas de drenaje y pérdidas de capacidad portante de la subrasante, acelerando el deterioro. Por el contrario,

durante el verano, las altas temperaturas generan la oxidación del ligante asfáltico, endureciendo la carpeta y por consecuencia la aparición de fisuraciones térmicas.

Esta variación estacional dicta que la serviciabilidad del pavimento no es constante, sino que depende de múltiples factores como el clima, la edad de la vía, el tipo de estructura, el tránsito y las condiciones de drenaje. A esto se suma la inestabilidad climática asociada al fenómeno ENSO (El Niño - La Niña) que altera significativamente los estándares de precipitación en la región litoral.

En años lluviosos como los ocurridos entre 2023 y 2024, se han documentado inundaciones e interrupciones en el flujo vehicular en varios tramos de Vía a la Costa, evidenciando la vulnerabilidad del pavimento ante eventos climáticos extremos.

En este contexto, el análisis multivariable para determinar el índice de serviciabilidad mediante una etapa de diagnóstico permitirá cuantificar y modelar los factores que inciden en la pérdida de calidad funcional del pavimento, incorporando mediciones hechas en campo (rugosidad, IRI, fallas estructurales) con ayuda de equipamiento automatizado como vehículos aéreos no tripulados (UAV/drones) para la generación de ortomosaicos y productos derivados, optimizando los tiempos y costos de levantamiento. Esta integración de técnicas constituye una herramienta moderna y sostenible para el diagnóstico integral de la red vial, permitiendo anticipar fallas optimizar la gestión del mantenimiento.

1.3. Justificación.

Este proyecto se justifica por razones técnicas, económicas y ambientales, detalladas a continuación.

1.3.1. Justificación técnica.

El uso combinado de indicadores tradicionales de serviciabilidad (PSI, IRI) con variables obtenidas a partir de productos fotogramétricos generados mediante vehículos aéreos no

tripulados (UAV/drones) permite desarrollar un modelo predictivo más robusto y objetivo sobre el comportamiento del pavimento. Este enfoque multivariable representa un avance metodológico frente a los métodos convencionales, que analizan de forma aislada parámetros estructurales o funcionales. Además, la incorporación de vuelos con dron para la captura de imágenes de alta resolución y la generación de ortomosaicos y modelos superficiales detallados facilita el levantamiento sistemático de la condición superficial del pavimento, reduce tiempos y costos de exploración en campo y mejora la frecuencia y trazabilidad del monitoreo.

1.3.2. Justificación social.

La vía a la costa es una de las autopistas más transitadas y con mayor crecimiento residencial de Guayaquil. La mejora de serviciabilidad del tramo Guayaquil – Chongón contribuirá directamente a la seguridad vial y al confort de los usuarios, reduciendo los tiempos de viajes y el riesgo de siniestros asociados a baches y deformaciones. Un diagnóstico confiable, permite a las autoridades priorizar las intervenciones en los puntos más críticos, optimizando los recursos públicos y privados destinados a mantenimientos.

1.3.3. Justificación económica.

Los deterioros no atendidos oportunamente generan un incremento exponencial en los costos de mantenimiento y rehabilitación, además de mayores gastos de operación vehicular. Un modelo predictivo basado en un análisis multivariable permitirá anticipar el deterioro funcional, favoreciendo la planificación preventiva en lugar de correctiva, lo cual reduce los costos totales del ciclo de vida del pavimento.

1.3.4. Justificación ambiental.

La determinación del índice de serviciabilidad presente (PSI) en una etapa de diagnóstico contribuye a una gestión más eficiente y sostenible de la infraestructura vial, al permitir priorizar intervenciones de conservación y rehabilitación en función de la condición real del pavimento y evitar sobreintervenciones innecesarias. De esta manera, se optimiza el uso de

materiales, energía y recursos, reduciendo el impacto ambiental asociado a obras de mantenimiento no justificadas técnicamente.

En este contexto, la incorporación de vehículos aéreos no tripulados (UAV/drones) y procesamiento digital de imágenes de alta resolución actúa como una herramienta de apoyo para la obtención de información detallada de la superficie del pavimento, reduciendo la necesidad de campañas extensas de medición en campo. Esto disminuye los desplazamientos de personal y equipos, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono del proceso de evaluación. En conjunto, la evaluación del PSI en etapa de diagnóstico, apoyada en técnicas modernas de levantamiento, favorece el diseño y gestión de redes viales más resilientes y ambientalmente sostenibles frente a las exigencias del cambio climático.

1.3.5. Justificación científica.

En el Ecuador, los estudios que integran análisis multivariable, evaluación de la serviciabilidad y técnicas modernas de levantamiento con vehículos aéreos no tripulados (UAV/drones) son escasos, especialmente en la región costera. Por tanto, este trabajo busca llenar un vacío de investigación, aportando una metodología de determinación del PSI en etapa de diagnóstico que sea replicable para otros tramos urbanos y rurales. Los resultados podrán ser utilizados por instituciones como el MTOP, la ATM y los GAD municipales para fortalecer sus sistemas de gestión vial basados en evidencia, incorporando de manera complementaria la información obtenida mediante vuelos con dron para mejorar la precisión y oportunidad de la evaluación.

1.4. Alcance de la investigación.

El estudio se circunscribe a la etapa de diagnóstico del corredor Guayaquil - Chongón (vía E40) con el fin de proveer información técnica confiable que permita priorizar mantenimientos y apoyar la planificación de eventuales rediseños. Se realizará un análisis multivariable orientado a determinar el PSI a partir de las variables requeridas por sus ecuaciones. El

levantamiento de datos se efectuará en 2025 mediante fotogrametría con dron (Matrice 4E) e inspección superficial.

Como producto se obtendrá el diagnóstico multivariable, la clasificación del PSI por tramo y por carril (tres carriles por sentido) y una metodología aplicada y documentada para su uso, optimizando tiempo y costo en futuras evaluaciones.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

Analizar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) en etapa de diagnóstico de la vía E40, en el tramo comprendido entre el Km 12 y el Km 16 del corredor Guayaquil - Chongón, mediante el uso de fotogrametría con dron, con el propósito de generar información técnica que sirva como insumo para la priorización de mantenimientos y la planificación vial.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Recopilar las variables requeridas para el cálculo del PSI mediante fotogrametría con dron (Matrice 4E) e inspección superficial, para conformar una base de datos georreferenciada por tramo y por carril.
- Procesar la información levantada generando ortomosaicos y modelo digital de elevación, extrayendo indicadores y aplicando las ecuaciones del PSI en un enfoque multivariable, para estimar y clasificar el PSI por tramo y por carril e identificar sectores críticos.
- Documentar el modelo metodológico utilizado en esta investigación, sistematizando procedimientos de levantamiento, procesamiento y criterios de clasificación del PSI, para su uso en priorización de mantenimientos y planificación vial.

1.6. Hipótesis.

El incremento de la densidad poblacional en el entorno a la vía, junto a otros factores como, los cambios climáticos, edad, problemas estructurales, diseño, y la ausencia de planes de contingencia frente a inundaciones. Incide en el aumento del porcentaje de fallas del pavimento, lo que a su vez repercute en una disminución significativa del PSI.

2. Capítulo 2: Fundamentación teórica.

2.1. Estructura vial y pavimentos flexibles.

La red vial es un componente esencial del desarrollo económico y social porque soporta el transporte de personas, bienes y servicios. En Ecuador la mayor parte de la red estatal y cantonal está constituida por pavimentos flexibles, que representa alrededor del 80% de las vías, diseñadas para vías útiles del orden de 10 a 15 años, pero que requieren mantenimiento desde los primeros años para evitar deterioros prematuros (Ramírez, 2025).

Un pavimento flexible está compuesto por subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica y su desempeño depende de:

- Nivel y tipo de tránsito
- Las condiciones climáticas
- La calidad de los materiales y la construcción
- Drenaje
- Las estrategias de conservación

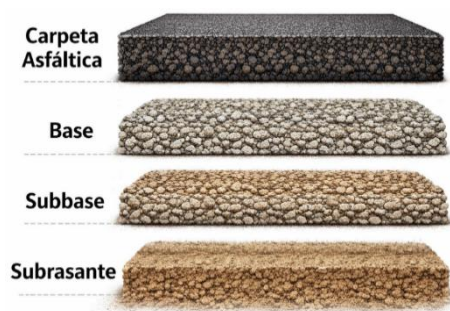


Ilustración 1: Estructura de pavimentos flexibles.

Cuando estos factores son deficientes, se acelera la aparición de baches, fisuras, ahuellamiento y pérdida de agregados, afectando el confort de marcha y seguridad vial (Bustan, 2025).

En el corredor Guayaquil–Chongón (vía E40 - Vía a la Costa) convergen:

- Tránsito elevado (decenas de miles de vehículos al día),
- Crecimiento urbano-residencial,
- Condiciones climáticas intensas en época lluviosa,

lo que incrementa la presión sobre la estructura del pavimento y hace necesaria una evaluación rigurosa de su serviciabilidad presente.

2.2. Serviciabilidad de pavimentos.

El concepto de serviciabilidad se refiere a la capacidad del pavimento para proporcionar al usuario un nivel adecuado de comodidad, seguridad y eficiencia durante la circulación (Texas Department of Transportation [TxDOT], 2023).

A partir del AASHO Road Test se desarrolló el concepto de serviceability asociado a la percepción de un panel de usuarios. Para evitar depender de juicios subjetivos, se construyó un índice que relaciona esa percepción con medidas físicas de la superficie, dando origen al Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) (Pavement Interactive, 2024; Isradi, 2023).

Este enfoque permitió:

- Cuantificar el desempeño funcional de pavimentos.
- Definir umbrales de intervención.
- Vincular comportamientos del usuario con parámetros como rugosidad, deformaciones y deterioros superficiales.

2.3. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Present Serviceability Index (PSI) es un indicador adimensional entre 0 y 5, donde 5 indica una superficie en excelente condición, y 0 corresponde a un pavimento prácticamente intransitable (Pavement Interactive, 2024; TxDOT, 2023).

PSI (MTOPI/NEVI-12)	
5 - 4	EXELENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO

Ilustración 2: Tabla de Índices de Serviciabilidad

El PSI se calcula a partir de variables como:

- rugosidad longitudinal, relacionada con el Índice de Rugosidad Internacional, IRI.
- Profundidad de ahuellamiento.
- Porcentaje y severidad de deterioros superficiales (fisuras, baches, parches desprendimiento de agregados).
- Ecuación original del AASHTO:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + SV) - 1.38(RD)^2 - 0.01\sqrt{(C + P)}$$

Ecuación 1: Ecuación del PSI (Sistema Imperial)

SV = Slope variance (varianza de pendiente del perfil longitudinal, asociada a la rugosidad).

RD = Profundidad media de ahuellamiento (en pulgadas).

(C+P) = Área de grietas + bacheo por unidad de área de referencia (históricamente “por 1000 ft²”; se maneja como razón de áreas).

Estudios recientes en Latinoamérica y la región andina han resaltado la utilidad del PSI como herramienta de clasificación funcional y como puente entre la medición objetiva de la superficie y la percepción del usuario.

Por ejemplo:

- Aguilar (2025) propone un modelo de comportamiento del pavimento flexible que relaciona rangos de IRI con valores equivalentes de PSI para clasificar el estado funcional (muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo).
- Moreno-Ponce (2024) aplica el IRI y deriva PSI en un corredor de Manabí, encontrando rangos de PSI entre aproximadamente 2,4 y 3,5, asociados a condiciones entre regulares y buenas desde el punto de vista funcional.

En esta investigación, el PSI se emplea en etapa de diagnóstico para describir la condición funcional actual del tramo Km 12 - Km 16 de la autopista E40 por tramo y por carril, y como base para la priorización de mantenimiento.

2.4. Rugosidad longitudinal e Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

La rugosidad longitudinal es la variación del perfil de la superficie de rodadura en el sentido del tránsito y se relaciona con el confort, las vibraciones y las acciones dinámicas que se transmiten al vehículo y a la estructura del pavimento (Departamento de Transporte de Missouri, 2024).

El International Roughness Index (IRI) es hoy el estándar más utilizado para caracterizar la rugosidad. Se define como una propiedad matemática del perfil longitudinal, calculada mediante un modelo de cuarto de vehículo (el “golden car”) que simula la respuesta de un vehículo circulando a velocidad estándar (World Bank, 1986; Sayers, 1989).

Valores bajos de IRI (por ejemplo, < 2 m/km) se asocian con superficies lisas y confortables.

Valores altos (por ejemplo, > 5 m/km) indican superficies ásperas y deterioradas.

Manuales de gestión de pavimentos establecen rangos de IRI vinculados a categorías de condición y a niveles aceptables de servicio para autopistas (Aguilar, 2025; Pavement Interactive, 2024).

En Ecuador, varios trabajos académicos han empleado el IRI como indicador base para evaluar seguridad vial y confort (Moreno-Ponce, 2024), relacionándolo con PSI mediante correlaciones empíricas (Lema & Unapucha, 2024; Zambrano, 2025).

Estos antecedentes respaldan el uso del IRI como variable independiente clave en el análisis multivariable del PSI en la autopista E40.

Modelo / Autor	Ecuación en SI (IRI en m/km)	¿En qué unidades aparece en la fuente?	Referencia
HDM-III (Paterson / relación SI-IRI del HDM)	$PSI = 5 * e^{-\frac{IRI}{5.5}}$	La relación base se presenta como IRI = 5.5 · ln(5.0/SI) con IRI en m/km; al despejar se obtiene $PSI = 5 \cdot \exp(-IRI/5.5)$. (Validez indicada en la fuente: IRI < 12 aprox.)	Paterson, W. D. O. (1986). <i>International Roughness Index: Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality</i> . Transportation Research Record , 1084.
Al-Omari y Darter (1994)	$PSI \approx PSR = 5 * e^{-0.26 \cdot IRI}$	La ecuación recomendada se publica como PSR = 5 · e^{-(0.26·IRI)} con IRI en mm/m (equivalente numérico a m/km).	Al-Omari, B., & Darter, M. I. (1994). <i>Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating</i> . Transportation Research Record , 1435.
Dujisin y Arroyo (correlación usada en práctica, reportada en literatura técnica)	$PSI = 5.85 - 1.68 * \sqrt{IRI}$	Reportado con IRI en m/km.	Townsend Pinto, E., & Veliz Varas, C. E. (s. f.). <i>Determinación de umbrales de rugosidad (IRI) obtenido de base de datos de caminos con controles receptivos</i> . Dirección de Vialidad (Chile).

Ilustración 3: Ecuaciones de PSI en función del IRI

2.5. Ahuellamiento y deterioros superficiales del pavimento (RD)

El ahuellamiento (rutting) es una deformación permanente que se manifiesta como una depresión longitudinal en la huella de rodadura, producto de cargas repetidas y, en ocasiones, de problemas de drenaje o capacidad estructural de las capas inferiores.

Sus principales efectos son:

- acumulación de agua en las huellas.
- Aumento del riesgo de hidropilano.
- Incomodidad de marcha.

- Aceleración de otros deterioros.

Entre los deterioros superficiales más frecuentes en pavimentos flexibles se encuentran:

- Fisuras longitudinales y transversales.
- Fisuración por fatiga o piel de cocodrilo.
- Baches.
- Desprendimiento de agregados.
- Parches mal ejecutados.

La combinación de ahuellamiento significativo, alto porcentaje de fisuras y presencia de baches reduce directamente la serviciabilidad e incrementa los riesgos de siniestros de tránsito (Moreno-Ponce, 2024; Bustán, 2025).

2.6. Gestión de pavimentos y etapa de diagnóstico

Los Sistemas de Gestión de Pavimentos (SGP) integran información de condición, tránsito, costos y niveles de servicio para priorizar intervenciones de conservación y rehabilitación.

Dentro de estos sistemas, la etapa de diagnóstico es crítica, porque:

- Caracteriza la condición actual de los tramos.
- Alimenta modelos de deterioro.
- Sirve de base para la programación de mantenimiento.

La etapa de diagnóstico combina:

- Indicadores funcionales (IRI, PSI).
- Indicadores estructurales (deflexiones, módulos).
- Indicadores superficiales (deterioros).

En condiciones de recursos limitados, disponer de un único índice sintético como el PSI facilita la comparación entre tramos y la definición de puntos críticos que requieren atención prioritaria (Isradi, 2023; Aguilar, 2025).

En el contexto ecuatoriano, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE) ha reconocido que solo alrededor del 10 % de la red estatal se encuentra en “muy buen estado”, lo que refuerza la necesidad de sistemas de gestión de pavimentos más efectivos para enfrentar el deterioro generalizado (Bustán, 2025).

2.7. Fotogrametría con UAV/drones en la evaluación de pavimentos

En la última década, los vehículos aéreos no tripulados (UAV/drones) se han consolidado como una herramienta eficiente para la inspección de infraestructura vial.

La fotogrametría con UAV permite obtener:

- Imágenes de alta resolución.
- Ortomosaicos georreferenciados.
- Modelos digitales de superficie 3D.

A partir de los cuales es posible identificar y medir defectos de la superficie de rodadura.

Estudios recientes muestran que:

la precisión en la medición de profundidades de ahuellamiento y áreas de baches puede estar en el orden de milímetros o pocos centímetros (Małek, 2023; Aburqaq et al., 2025),

y que es posible detectar fisuras muy finas ($\approx 1-4$ mm) dependiendo de la altura de vuelo y del sensor empleado (Małek, 2023).

Además, se ha demostrado que el uso de UAV:

- Reduce tiempos y costos de levantamiento.
- Disminuye la exposición del personal al tránsito.
- Contribuye a una gestión de pavimentos más sostenible al reducir el consumo de combustible y las emisiones asociadas a campañas extensas en campo (Aburqaq et al., 2025).

En Ecuador, aunque todavía son escasos los trabajos que integran UAV con análisis multivariable de serviciabilidad, existe una creciente adopción de estas tecnologías en proyectos de ingeniería vial y en estudios académicos de la región costa (Repositorio UPS).

2.8. Condiciones climáticas, ENSO y su impacto en los pavimentos de la Costa Ecuatoriana.

La Costa ecuatoriana es altamente vulnerable a la variabilidad climática asociada al fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). Informes recientes de la Secretaría de Gestión de Riesgos y de entidades técnicas prevén que episodios de El Niño moderado a fuerte generan:

- Lluvias intensas y prolongadas.
- Inundaciones.
- Deslizamientos.
- Daños en infraestructuras estratégicas, incluidas carreteras.

Durante 2023–2024, por ejemplo, se reportaron miles de eventos peligrosos relacionados con lluvias en varias provincias, perjudicando la red vial. (SNGIR: Sistema Nacional de Gestión Integral de Riesgos).

En Guayaquil, un temporal asociado a El Niño dejó 47 sectores anegados, con vías inundadas y caos vehicular, evidenciando la vulnerabilidad de la infraestructura urbana ante lluvias extremas (Primicias, 2024).

Para los pavimentos flexibles, estos fenómenos se traducen en:

- Saturación de la subrasante y subbase, con pérdida de capacidad portante.
- Ingreso de agua por fisuras y juntas, acelerando la desintegración y la formación de baches.
- Ciclos de humedad–secado que deterioran el ligante asfáltico.

En época seca, la combinación de altas temperaturas y radiación solar acentúa la oxidación del ligante, endureciéndolo y favoreciendo la aparición de fisuras térmicas, tal como se describe en el planteamiento del problema.

En el caso específico de la Vía a la Costa, se han registrado eventos de inundación por desbordamiento de cauces cercanos, como el río La Camarona, que han afectado la calzada y el tránsito en determinados tramos (Ecuador221, 2023).

Este contexto justifica considerar el clima y la exposición a eventos extremos como factores de fondo que condicionan la evolución del PSI en el tramo Km 12–Km 16.

2.9. Noticias y contexto reciente (2020–2025) sobre la red vial ecuatoriana y la Vía a la Costa

En los últimos cinco años se han difundido varias noticias y reportes que evidencian problemas de deterioro vial, efectos del clima y acciones de mantenimiento:

- La Alcaldía de Guayaquil informó en abril de 2025 que la Dirección de Obras Públicas ejecuta trabajos de bacheo y reposición de base estructural en la Vía a la Costa, indicando que por esta arteria circulan diariamente alrededor de 60 000 vehículos y que se intervienen puntos críticos según su grado de deterioro (De la Puente, 2025).
- Medios locales reportaron en 2022 y 2023 inspecciones conjuntas de la ATM y el Municipio de Guayaquil para rehabilitar el pavimento en tramos de la Vía a la Costa, luego de que se transfiriera la competencia de ciertos kilómetros a la gestión municipal (Ecuador221, 2022, 2023; ATM, 2023).

- La Agencia de Tránsito y Movilidad (ATM), en sus informes de rendición de cuentas, ha señalado que desde 2022 asumió la competencia de tránsito en nuevos tramos de la Vía a la Costa, registrando miles de siniestros de tránsito anuales en el cantón Guayaquil y resaltando la necesidad de mejorar la seguridad vial (ATM, 2022, 2023).
- A nivel nacional, artículos de divulgación técnica han advertido que las lluvias fuertes y la falta de mantenimiento se traducen en baches, hundimientos y grietas en carreteras que conectan Costa, Sierra y Amazonía, subrayando que el mal estado de las vías afecta la seguridad, la economía y el turismo (Ramírez, 2025; Bustán, 2025).

Este contexto reciente refuerza la importancia de contar con metodologías objetivas y replicables, como la evaluación del PSI en etapa de diagnóstico mediante análisis multivariable y uso de fotogrametría con dron, para sustentar decisiones de mantenimiento en corredores estratégicos como la Vía a la Costa.

2.10. Síntesis de la fundamentación teórica

A partir de la revisión teórica, de los antecedentes de investigación y del contexto noticioso reciente, se concluye que:

- El PSI es un indicador adecuado para describir la serviciabilidad presente de pavimentos flexibles y para apoyar la priorización de intervenciones.
- El IRI, la profundidad de ahuellamiento y los deterioros superficiales constituyen variables explicativas fundamentales del PSI, ampliamente respaldadas por la literatura reciente.
- La fotogrametría con UAV ofrece una alternativa moderna, precisa y sostenible para obtener la información necesaria en la etapa de diagnóstico, especialmente en corredores de alta demanda y exposición a riesgos climáticos.

- Las condiciones de lluvias intensas asociadas a ENSO, junto con la expansión urbana y el aumento del tránsito, hacen especialmente relevante aplicar este enfoque en la autopista E40 (Vía a la Costa).

2.11. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS

- **PSI:** Índice de Serviciabilidad Presente (Present Serviceability Index).
- **IRI:** Índice de Rugosidad Internacional (International Roughness Index).
- **ENSO:** El Niño–Oscilación del Sur.
- **UAV:** Vehículo aéreo no tripulado (drone).
- **RTK:** Real Time Kinematic, técnica de posicionamiento GNSS de alta precisión.
- **MTOP:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.
- **ATM:** Autoridad/Agencia de Tránsito y Movilidad de Guayaquil.
- **MDS:** Modelo Digital de Superficie.
- **E40:** Denominación oficial de la autopista Guayaquil–Santa Elena (Vía a la Costa).
- **Serviciabilidad:** Capacidad de un pavimento para proporcionar condiciones aceptables de comodidad, seguridad y eficiencia al tránsito en un momento dado de su vida útil (TxDOT, 2023).
- **Índice de Serviciabilidad Presente (PSI):** Indicador numérico entre 0 y 5 que resume la condición funcional de un pavimento flexible a partir de la rugosidad, deformaciones en la huella de rodadura y deterioros superficiales (Pavement Interactive, 2024; Isradi, 2023).
- **Rugosidad longitudinal:** Irregularidad del perfil de la superficie de rodadura en el sentido del tránsito, que influye en las vibraciones y el confort de viaje (Sayers, 1989).
- **Índice de Rugosidad Internacional (IRI):** Medida estandarizada de la rugosidad, definida como una propiedad matemática del perfil longitudinal y calculada mediante el modelo de cuarto de vehículo; se expresa en unidades de pendiente (p. ej., m/km).

- **Ahuellamiento:** Deformación permanente en la huella de rodadura del pavimento, que se manifiesta como un surco longitudinal causado por el tránsito repetitivo y, a menudo, por problemas estructurales o de drenaje (Aguilar, 2025).
- **Bache:** Pérdida localizada de material en la carpeta asfáltica que genera cavidades abruptas en la superficie, frecuentemente asociadas a la presencia de agua y a cargas repetidas.
- **Fisuración en piel de cocodrilo:** Patrón de fisuras interconectadas tipo malla, típico de la fatiga del pavimento flexible.
- **Ortomosaico:** Imagen aérea corregida geoméricamente que integra múltiples fotografías y genera una representación continua y georreferenciada de la superficie del pavimento (Aburqaq et al., 2025).
- **Modelo Digital de Superficie (MDS):** Representación tridimensional de la superficie, derivada de técnicas de fotogrametría o escaneo láser, utilizada para analizar alturas, deformaciones y perfiles.
- **Fotogrametría con UAV:** Técnica que emplea imágenes captadas con drones para reconstruir ortomosaicos, modelos 3D y otros productos geospaciales orientados al análisis de infraestructura (Małek, 2023; Aburqaq et al., 2025).
- **Etapa de diagnóstico:** Fase de la gestión de pavimentos dedicada al levantamiento y análisis de la condición actual del pavimento, como base para la planificación de la conservación.
- **Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP):** Conjunto de procedimientos y herramientas que permiten evaluar, programar y priorizar intervenciones en la red vial considerando condición, costos y niveles de servicio esperados.

3. Capítulo 3: Marco metodológico.

Este capítulo describe el marco metodológico para evaluar la serviciabilidad presente (PSI) del corredor Vía a la Costa (E40), específicamente en el tramo comprendido entre Km12 y Km16.

La estrategia adopta un enfoque inductivo, es decir que a partir de observaciones empíricas rugosidad (IRI), ahuellamiento (RD) y deterioros superficiales (C+P) obtenidas mediante ortomosaico UAV con posicionamiento RTK y mediciones instrumentales, se infieren relaciones y modelos que explican el comportamiento del PSI en función de la condición superficial y del contexto territorial (AASHTO, 1993; ASTM International, 2020; Carey & Irick, 1960; MTOP, 2013/2018; TRB, 1962).

3.1. Ámbito del estudio.

Corredor Vía a la Costa (E40), tramo entre Km 12+000 y el Km 16+000 (Guayaquil–Chongón).

3.2. Tipo y diseño de investigación.

El estudio es cuantitativo - correlacional, con diseño no experimental y corte transversal. Se concentra en medir y relacionar variables físicas del pavimento y del entorno (IRI, RD, C+P, PCI, IMD, % de pesados, accesos/km) con el PSI. El enfoque inductivo se despliega en tres etapas:

- Observación y registro empírico.
- Procesamiento y modelado.
- Generalización de patrones y correlaciones (AASHTO, 1993; FHWA, 1996; MTOP, 2018).

3.3. **Ámbito espacial, unidad de análisis y periodo.**

Ámbito espacial: tramo E40 desde el Km 12+000 al Km 16+000

Unidad de análisis: subtramos homogéneos por carril de 100–200 m, definidos por cambios de alineamiento, acceso o condición superficial.

Periodo de evaluación: campaña 2025 (temporada seca), con georreferenciación RTK y control de calidad (GCPs).

3.4. **Variables operacionales**

- **Variable dependiente:** PSI (Present Serviceability Index, 0–5). Índice funcional que representa el nivel de serviciabilidad percibido por el usuario; deriva del AASHO Road Test y combina rugosidad del perfil (SV o IRI), ahuellamiento (RD) y deterioros superficiales (C+P).
- **Variables independientes:** IRI (m/km) conforme a ASTM E950/E950M y E1926; RD (mm) según ASTM E1703/E1703M; C+P (%) según ASTM D6433.

Variable	Símbolo / Unidad	Definición operativa	Método / Norma	Fuente / Instrumento
Índice de Serviciabilidad Presente	PSI (0–5)	Índice funcional: rugosidad, ahuellamiento y deterioros superficiales	Carey & Irick (1960); AASHTO (1993)	Cálculo integrado
Rugosidad longitudinal	IRI (m/km)	Irregularidad del perfil longitudinal	ASTM E950 / E1926	RoadLab Pro
Ahuellamiento	RD (mm)	Deformación permanente en huella de rodada	ASTM E1703	Perfil transversal / Relevamiento in situ
Deterioros (fisuras + parches)	C+P (%)	Superficie agrietada y parcheada	ASTM D6433	Metashape / Recap / Civil3D
Densidad poblacional	hab/ha	Habitantes/ha en buffers 500–1000 m	VISUAL/CUANTITATIVO	Tabulados Google Earth Pro
Intensidad media diaria	veh/día	Flujo vehicular promedio	MTOP (2018)	Aforos
% de pesados	%	Porcentaje de camiones/buses	NEVI-12	Aforos / MTOP

Ilustración 4: Tabla de variables dependientes e independientes

3.5. Procedimiento para llegar al PSI

3.5.1. Fase 1. Planificación y levantamiento (UAV RTK)

- Planeación de vuelos con solape $\geq 80/80$ y altura para $GSD \leq 5$ cm/píxel.
- GNSS RTK DJI en campo y verificación de precisión.
- Captura con dron DJI Matrice 4E RTK bajo iluminación homogénea.

Parámetro	Descripción	Valor/Especificación	Referencia técnica
Tipo de UAV	Multirrotor con RTK	DJI Matrice 4E RTK	DJI Pilot 2
Altura de vuelo (AGL)	Controla GSD	200 m	DJI Pilot 2
GSD	Resolución terreno	≤ 5 cm/píxel	DJI Pilot 2
Solape long./lat.	Cobertura para 3D	80% / 80%	DJI Pilot 2
Punto de control (GCPs)	Estatico	RTK ± 5 cm	GNSS multiconstelación y multifrecuencia
Velocidad de vuelo	Evitar distorsiones	20 m/s	DJI Pilot 2
Intervalo de disparo	Frecuencia fotogramas	Automático según GSD	DJI Pilot 2
Formato de imagen	Georreferenciado	JPEG/RAW con EXIF	DJI Pilot 2
Condiciones ambientales	Luz estable / viento ≤ 15 km/h; sin lluvia	—	DJI Pilot 2

Ilustración 5: Parámetros de vuelo

3.5.2. Fase 2. Procesamiento fotogramétrico

- **Metashape Agisoft:**

El flujo de trabajo fotogramétrico se desarrolló en Agisoft Metashape, iniciando con la importación del set de fotografías. Posteriormente, se ejecutó la alineación de imágenes para estimar la orientación de cámara y generar la geometría inicial del proyecto. Con base en este resultado, se construyó la nube de puntos y, a partir de ella, se generó la malla (mesh) y su respectiva texturización, con el fin de obtener un modelo superficial continuo y visualmente coherente. Finalmente, se elaboró el Modelo Digital de Elevación (MDE) y se produjo el ortomosaico, consolidando los productos cartográficos requeridos para el análisis.

- **Control de calidad:**

Para evaluar la consistencia geométrica del modelo y su ajuste, se revisaron los principales indicadores de control de calidad. Se obtuvo un RMSE asociado a los puntos de control y

verificación (GCP/CP) y se registró la utilización de 290.239 puntos de paso de un total de 311.605. La nube de puntos se generó con atribución radiométrica de 3 bandas, en formato uint8. El error RMS de reproyección fue de 0,336916 (equivalente a 0,875769 pix), mientras que el error máximo de reproyección alcanzó 1,01348 (hasta 49,6818 pix). Adicionalmente, el tamaño promedio de los puntos característicos fue de 2,42949 pix, parámetro que aporta a la interpretación de la estabilidad del emparejamiento y la calidad del seguimiento de características durante el proceso de alineación.



Ilustración 6: Generación de ortomosaico

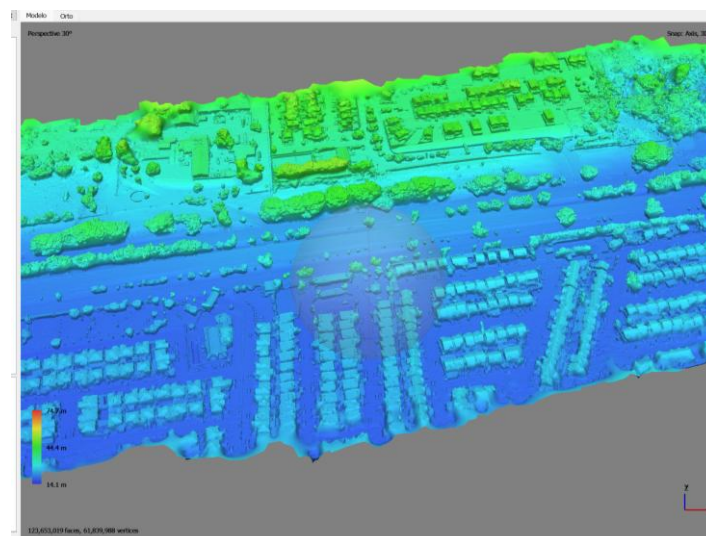


Ilustración 7: Modelo digital de elevaciones del terreno.

- **Autodesk ReCap:** importación de nube de puntos, clasificación y depuración de nube de puntos; vegetación, vehículos, estructuras existentes.

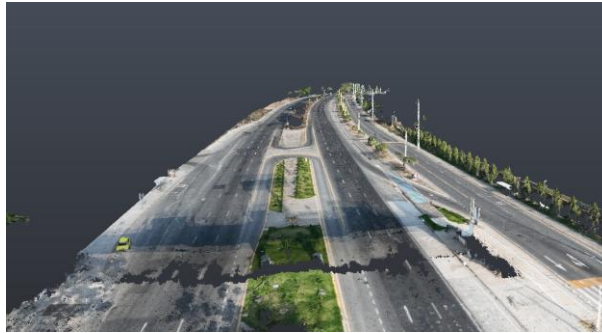


Ilustración 8: Depuración de nube de puntos 1

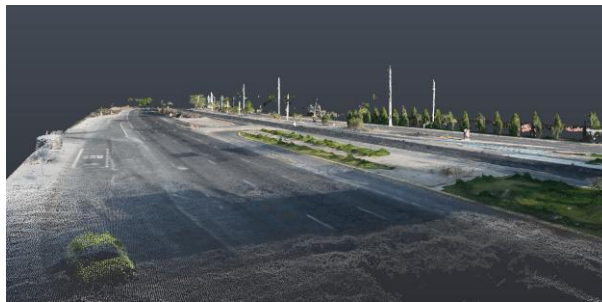


Ilustración 9: Depuración de nube de puntos 2 (árboles de canal central).

- **Autodesk Civil 3D:** Importación de nube de puntos y ortomosaico, marcación y registro por capas de baches, ahuellamientos, fisuras y parches, generación de superficie, generación de alineamientos y abscisado, generación de perfiles longitudinales y transversales.

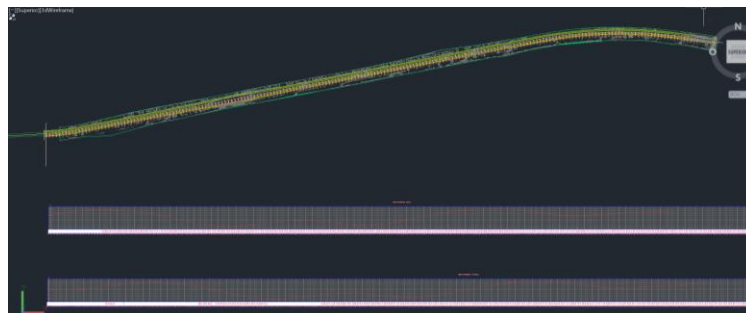


Ilustración 10: Generación de superficie en Civil 3D y creación de perfiles longitudinales (GYE-CHONGON, CHONGON-GYE).



Ilustración 11: Delimitaciones de fallas sobre ortomosaico para registro de áreas.

3.5.3. Fase 3. Extracción de indicadores de condición superficial.

3.5.3.1. SV: La varianza de pendiente.

La varianza de pendiente (SV) se obtuvo a partir del perfil longitudinal de la superficie generada en Civil 3D dentro del proceso de procesamientos de datos.

- En primer lugar, se exportó desde Civil 3D el informe de cotas del perfil, el cual entrega pares de datos abscisa-cota a intervalos regulares o estaciones (1m en caso de este proyecto).
- Con esta tabla se trabajó en Microsoft Excel, donde se calculó la pendiente entre puntos consecutivos mediante la razón incremental $g_i = \frac{\Delta z_i}{\Delta x_i}$ (equivalente a porcentaje si se multiplica por 100), usando las fórmulas y funciones disponibles en la hoja de cálculo.
- Posteriormente con la serie de pendientes (g_i), se determinó el promedio de pendientes.
- Finalmente, la varianza de pendiente (SV) como la dispersión de dichas pendientes con respecto a su media, aplicando:

$$SV = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2$$

En Excel se usó la función **VAR.S**, de esta manera, aunque Civil 3D entrega únicamente el reporte de cotas por abscisa, la SV se calculó de forma consistente en Excel a partir de las pendientes derivadas del perfil longitudinal.

SUMA \times \checkmark f_x =VAR.S(\$D\$18:\$D\$218)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Informe de varianza de pendiente longitudinal "SV"							
2								18.000
3	Cliente:	Preparado por:						16.000
4	Client	Preparer						14.000
5	Client Company	Your Company Name						12.000
6	Address 1	123 Main Street						10.000
7	Fecha:	11/1/2026 10:51:45						8.000
8								6.000
9								4.000
10	Alineación vertical:	PerfilPro						2.000
11	Perfil existente:	Fotogrametría						
12	Descripción:	Tramo_16+000-12+000_Playas-Guayaquil						
13	Intervalo de P.K.:	Inicio: 16+000, Fin: 12+000						
14								
15								
16								
17	Número	P.K.	Elevación existente	Pendiente Longitudinal	Tramo 200 m	SV (200 m)		
18	0	16+000	14.024	0.000	1	0.01710665		
19	1	15+999	13.963	-6.1%	1	=VAR.S(\$D\$18:\$D\$218)		
20	2	15+998	13.975	1.2%	1	VAR.S(número1; [número2]; ...)		
21	3	15+997	13.974	-0.1%	1	0.01710665		
22	4	15+996	13.993	1.9%	1	0.01710665		
23	5	15+995	14.012	1.9%	1	0.01710665		

Ilustración 12: Extracto de hoja de cálculo obtenida del informe en Civil 3D y cálculo de SV mediante la función VAR.S

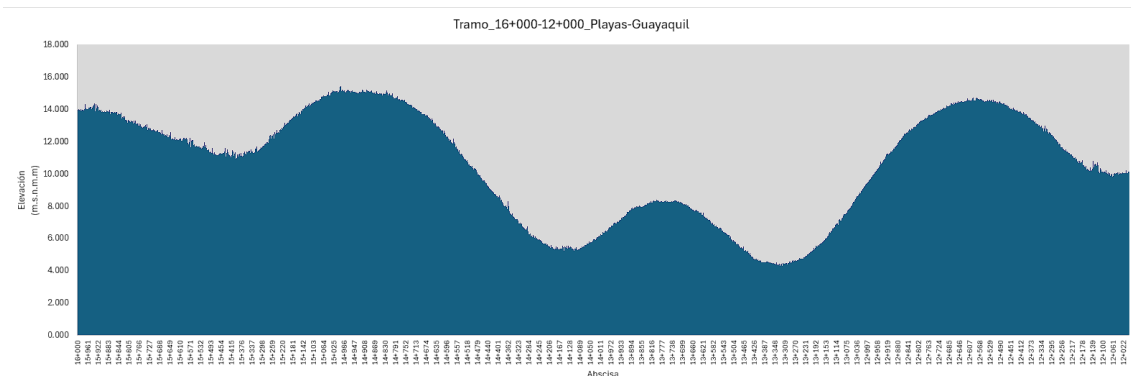


Ilustración 13 Extracto del perfil longitudinal procesado en Excel

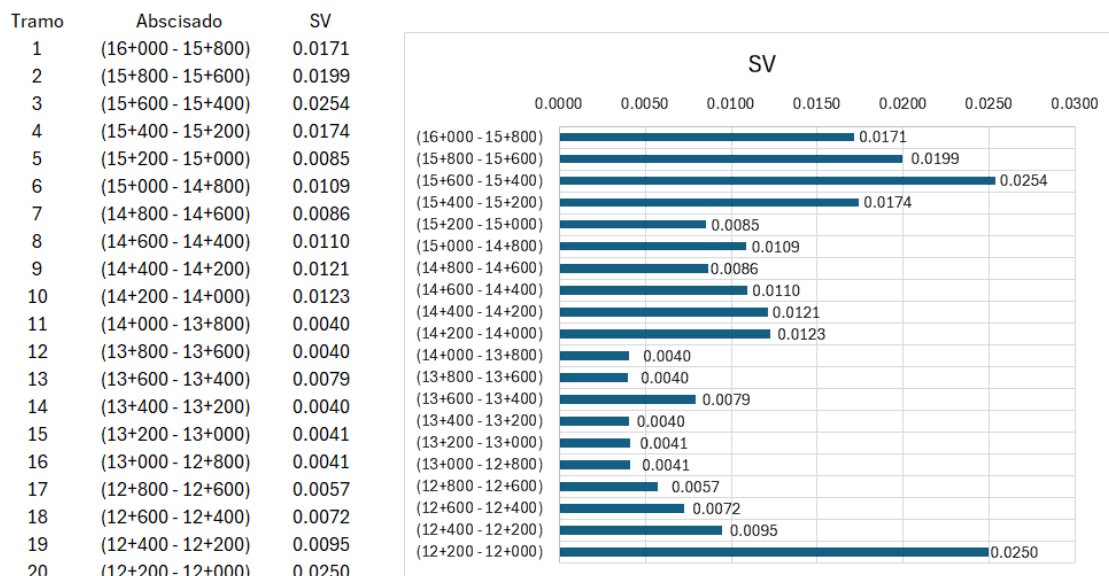


Ilustración 14: Extracto de Excel del cálculo de SV para los subtramos de 200m

3.5.3.2. IRI: Aplicación móvil RoadLab Pro.

RoadLab Pro es una aplicación creada por el Banco Mundial, en conjunto con el Centro Beldor, Softteco y Progress Analytics LLC, concebida como una herramienta de levantamiento de información para ingenieros. A través de los acelerómetros integrados en los teléfonos inteligentes, la aplicación permite evaluar el estado de las vías, elaborar mapas de la red vial, identificar irregularidades significativas en la superficie de rodadura y reportar posibles riesgos para la seguridad vial.

Requisitos previos:

- Antes de iniciar el levantamiento de información, se deberá contar con:
- Dispositivo móvil compatible con RoadLab Pro.
- Aplicación RoadLab Pro instalada y actualizada.
- Vehículo en condiciones mecánicas adecuadas.
- Conocimiento previo del tramo y carril a evaluar.

Metodología de uso de RoadLab Pro:

- **Paso 1. Apertura de la aplicación:** Abrir la aplicación RoadLab Pro desde dispositivo móvil.
- **Paso 2. Acceso a configuración:** Seleccionar la opción Settings (configuración) para ajustar los parámetros iniciales de la aplicación.
- **Paso 3. Definición del tipo de suspensión del vehículo:** Configurar el tipo de suspensión del vehículo utilizado para medición, de acuerdo con las características reales del automotor, ya que este parámetro influye directamente en la lectura de la rugosidad.
- **Paso 4. Aceptación de parámetros:** Verificar y aceptar los parámetros predeterminados de la aplicación, asegurando que correspondan a las condiciones de levantamiento.

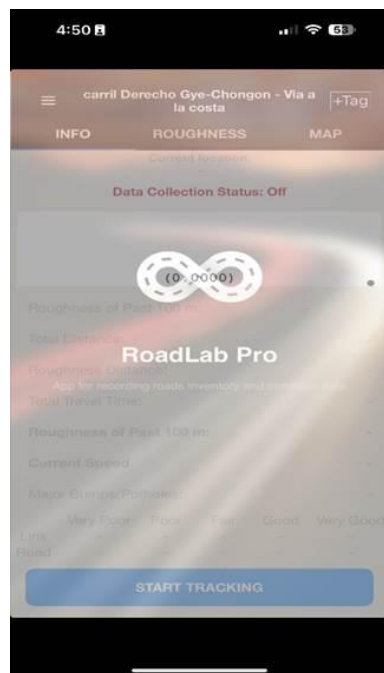


Ilustración 15: ROADLAB PRO PASO 1

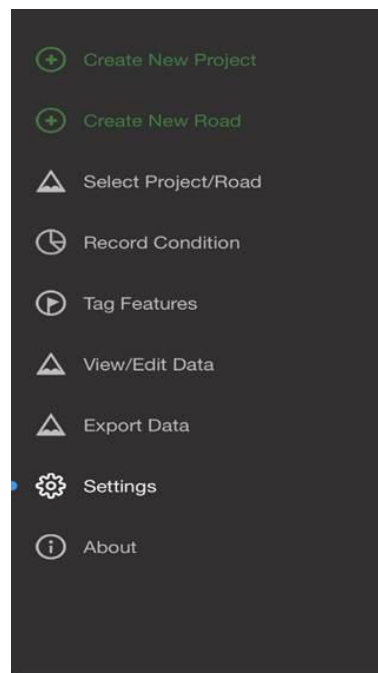


Ilustración 16: ROADLAB PRO PASO 2

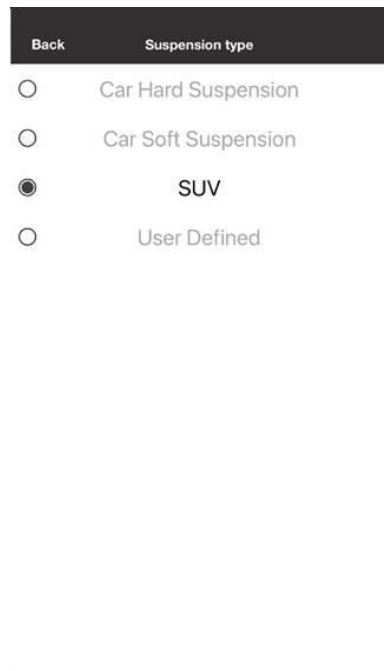


Ilustración 17: ROADLAB PRO PASO 3



Ilustración 18: ROADLAB PRO PASO 4

- **Paso 5. Creación de un nuevo proyecto:** Seleccionar la opción de un nuevo proyecto, lo cual permite organizar adecuadamente la información levantada.
- **Paso 6. Asignación de nombre del proyecto:** definir un nombre identificable para el proyecto, recomendándose incluir, nombre de la vía, tramo evaluado y fecha de levantamiento.
- **Paso 7. Definición de carril a analizar:** Configurar el carril específico que será evaluado (derecho, izquierdo o central), manteniendo coherencia con la metodología del estudio.
- **Paso 8. Selección de carril creado:** Elegir el carril previamente definido dentro del proyecto.

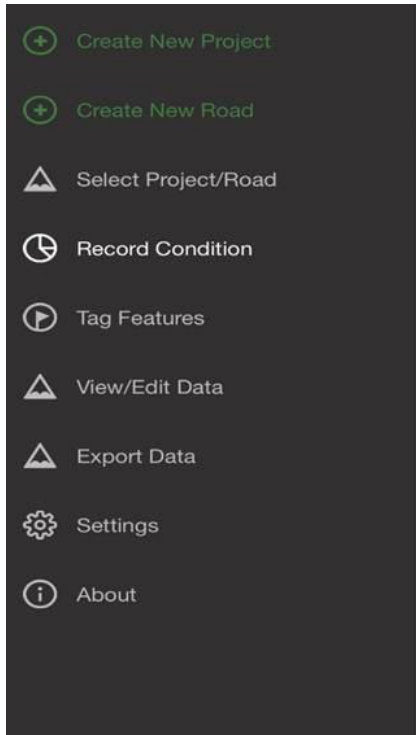


Ilustración 19: ROADLAB PRO PASO 5

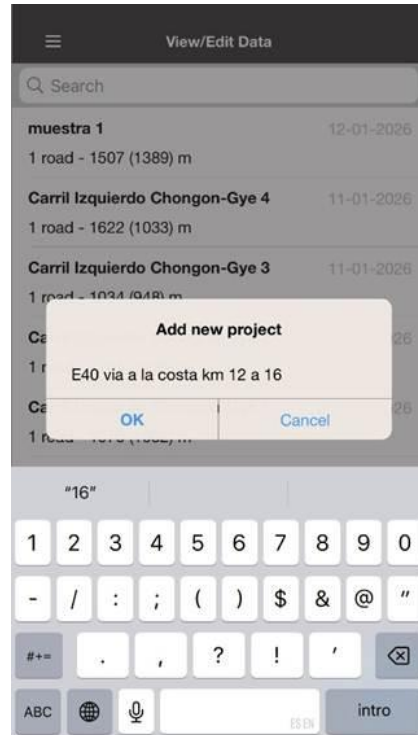


Ilustración 20: ROADLAB PRO PASO 6

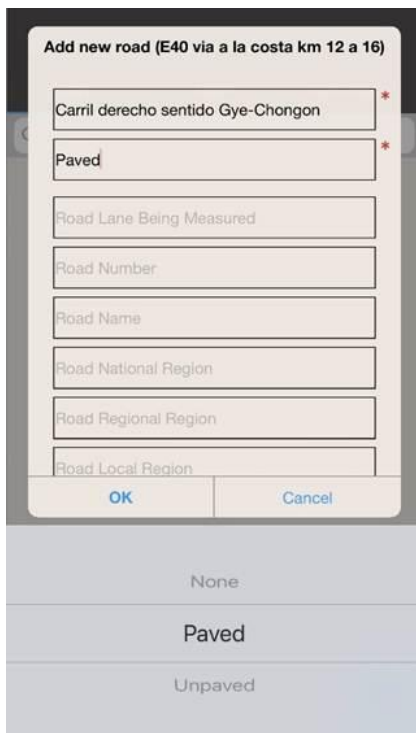


Ilustración 21: ROADLAB PRO PASO 7



Ilustración 22: ROADLAB PRO PASO 8

- **Paso 9. Inicio del levantamiento de métricas:** Presionar el botón Start para iniciar la toma de datos de rugosidad durante el recorrido del tramo seleccionado.
- **Paso 10. Resumen de resultados:** Como resultado del procedimiento se obtendrá, registro continuo del IRI del carril evaluado y los datos exportables para el análisis posterior.

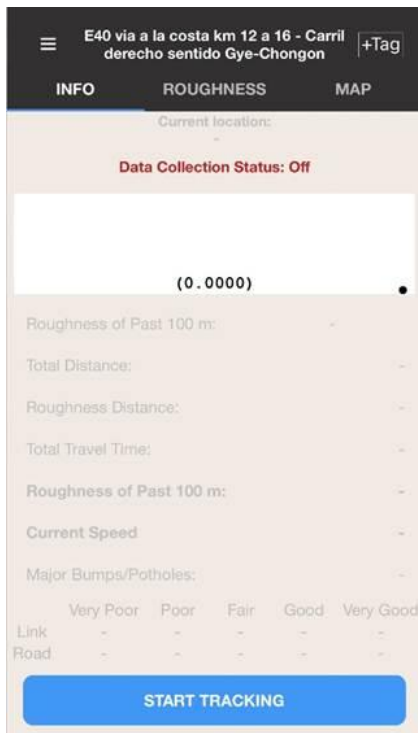


Ilustración 23: ROADLAB PRO PASO 9

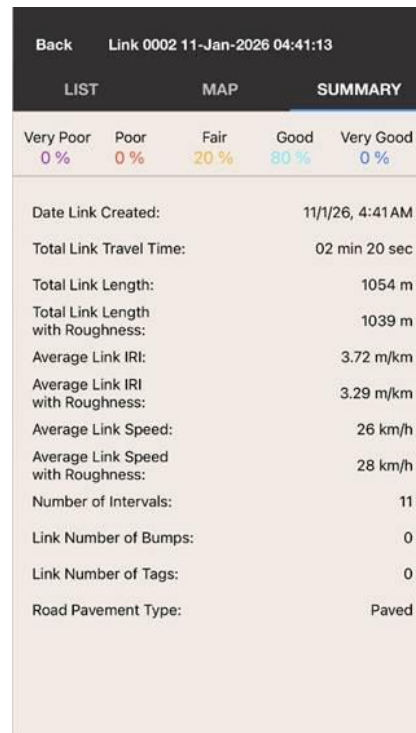


Ilustración 24: ROADLAB PRO PASO 10

Consideraciones técnicas

El vehículo debe mantener una velocidad constante durante el levantamiento.

Se recomienda realizar el recorrido sin maniobras bruscas.

Las mediciones deben efectuarse en condiciones normales de tráfico y clima.

Observaciones:

Como la aplicación registra el IRI cada 100m se deberá usar la media de estos dos valores para obtener uno que represente el tramo de 200m a analizar.

Back		Link 0001 11-Jan-2026 03:40:21	
LIST	MAP	SUMMARY	
A	id: 228 11-Jan-2026 03:40:37	105 m - 22 km/h	IRI: 2.98
A	id: 229 11-Jan-2026 03:40:53	104 m - 23 km/h	IRI: 3.35
A	id: 230 11-Jan-2026 03:41:09	103 m - 23 km/h	IRI: 3.08
A	id: 231 11-Jan-2026 03:41:24	103 m - 24 km/h	IRI: 3.79
A	id: 232 11-Jan-2026 03:41:39	106 m - 25 km/h	IRI: 3.66
A	id: 233 11-Jan-2026 03:41:51	100 m - 29 km/h	IRI: 3.07
A	id: 234 11-Jan-2026 03:42:05	100 m - 25 km/h	IRI: 2.89
A	id: 235 11-Jan-2026 03:42:17	108 m - 31 km/h	IRI: 2.78
A	id: 236 11-Jan-2026 03:42:27	102 m - 36 km/h	IRI: 2.88

Ilustración 25: Extracto de mediciones de IRI cada 100m que proporciona ROADLAB PRO

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	IRI c/100m	IRI c/100m	PROM (IRI)
KM 12 - KM 13	KM 12+000	GYE - CHONGON	I	3.94	3.26	3.60
		GYE - CHONGON	C	3.53	3.16	3.35
	KM 12+200	GYE - CHONGON	D	2.98	3.35	3.17
		CHONGON - GYE	I	2.57	3.14	2.86
	KM 12+200	CHONGON - GYE	C	2.97	3.00	2.99
		CHONGON - GYE	D	2.41	2.62	2.52
	KM 12+400	GYE - CHONGON	I	2.8	4.21	3.51
		GYE - CHONGON	C	4.14	3.22	3.68
	KM 12+400	GYE - CHONGON	D	3.08	3.79	3.44
		CHONGON - GYE	I	2.66	2.57	2.62
	KM 12+600	CHONGON - GYE	C	2.62	2.70	2.66
		CHONGON - GYE	D	3.19	2.63	2.91
	KM 12+600	GYE - CHONGON	I	3.24	2.56	2.90
		GYE - CHONGON	C	3.39	2.78	3.09
	KM 12+800	GYE - CHONGON	D	3.66	3.07	3.37
		CHONGON - GYE	I	2.44	2.62	2.53
	KM 12+800	CHONGON - GYE	C	2.66	2.40	2.53
		CHONGON - GYE	D	3.44	3.10	3.27
	KM 12+800	GYE - CHONGON	I	2.51	2.72	2.62
		GYE - CHONGON	C	4.08	2.71	3.40
	KM 13+000	GYE - CHONGON	D	2.89	2.78	2.84
		CHONGON - GYE	I	2.68	2.58	2.63
	KM 13+000	CHONGON - GYE	C	2.69	2.58	2.64
		CHONGON - GYE	D	2.64	2.66	2.65
KM 13+000	GYE - CHONGON	I	2.71	2.52	2.62	
	GYE - CHONGON	C	3.04	2.86	2.95	
KM 13+000	GYE - CHONGON	D	2.88	2.81	2.85	
	CHONGON - GYE	I	2.54	2.74	2.64	
KM 13+000	CHONGON - GYE	C	2.35	2.68	2.52	
	CHONGON - GYE	D	2.39	2.70	2.55	

Ilustración 26: IRI, KM 12+000 - KM 13+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	IRI c/100m	IRI c/100m	PROM (IRI)
KM 13 - KM 14	KM 13+000 KM 13+200	GYE - CHONGON	I	2.16	2.47	2.32
		GYE - CHONGON	C	2.61	2.43	2.52
		GYE - CHONGON	D	4.22	3.49	3.86
		CHONGON - GYE	I	2.61	2.50	2.56
		CHONGON - GYE	C	2.43	3.00	2.72
		CHONGON - GYE	D	2.86	2.94	2.90
	KM 13+200 KM 13+400	GYE - CHONGON	I	2.81	2.73	2.77
		GYE - CHONGON	C	2.66	2.69	2.68
		GYE - CHONGON	D	2.97	2.65	2.81
		CHONGON - GYE	I	2.41	2.36	2.39
		CHONGON - GYE	C	2.4	3.18	2.79
		CHONGON - GYE	D	3.01	2.78	2.90
	KM 13+400 KM 13+600	GYE - CHONGON	I	2.61	2.92	2.77
		GYE - CHONGON	C	2.59	2.71	2.65
		GYE - CHONGON	D	2.82	3.00	2.91
		CHONGON - GYE	I	2.53	2.75	2.64
		CHONGON - GYE	C	2.38	2.27	2.33
		CHONGON - GYE	D	3.64	3.17	3.41
	KM 13+600 KM 13+800	GYE - CHONGON	I	2.77	2.59	2.68
		GYE - CHONGON	C	2.56	2.67	2.62
		GYE - CHONGON	D	3.54	3.16	3.35
		CHONGON - GYE	I	2.66	2.48	2.57
		CHONGON - GYE	C	2.42	2.52	2.47
		CHONGON - GYE	D	3.7	3.61	3.66
KM 13+800 KM 14+000	GYE - CHONGON	I	2.29	2.31	2.30	
	GYE - CHONGON	C	2.75	2.78	2.77	
	GYE - CHONGON	D	3.28	3.12	3.20	
	CHONGON - GYE	I	2.69	2.38	2.54	
	CHONGON - GYE	C	2.48	2.31	2.40	
	CHONGON - GYE	D	2.54	3.45	3.00	

Ilustración 27: IRI, KM 13+000 - KM 14+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	IRI c/100m	IRI c/100m	PROM (IRI)
KM 14 - KM 15	KM 14+000 KM 14+200	GYE - CHONGON	I	2.91	4.18	3.55
		GYE - CHONGON	C	2.71	3.16	2.94
		GYE - CHONGON	D	3.33	3.05	3.19
		CHONGON - GYE	I	2.35	2.61	2.48
		CHONGON - GYE	C	2.32	2.51	2.42
		CHONGON - GYE	D	3.02	3.04	3.03
	KM 14+200 KM 14+400	GYE - CHONGON	I	3.5	3.28	3.39
		GYE - CHONGON	C	4.17	3.77	3.97
		GYE - CHONGON	D	2.81	3.18	3.00
		CHONGON - GYE	I	2.49	2.58	2.54
		CHONGON - GYE	C	2.47	2.34	2.41
		CHONGON - GYE	D	2.39	2.32	2.36
	KM 14+400 KM 14+600	GYE - CHONGON	I	2.73	2.28	2.51
		GYE - CHONGON	C	3.37	2.69	3.03
		GYE - CHONGON	D	2.36	2.45	2.41
		CHONGON - GYE	I	2.62	2.44	2.53
		CHONGON - GYE	C	2.53	2.61	2.57
		CHONGON - GYE	D	2.97	2.96	2.97
	KM 14+600 KM 14+800	GYE - CHONGON	I	2.36	2.43	2.40
		GYE - CHONGON	C	3.38	3.27	3.33
		GYE - CHONGON	D	3.15	3.12	3.14
		CHONGON - GYE	I	2.19	2.32	2.26
		CHONGON - GYE	C	2.26	2.32	2.29
		CHONGON - GYE	D	2.58	2.63	2.61
KM 14+800 KM 15+000	GYE - CHONGON	I	2.32	2.36	2.34	
	GYE - CHONGON	C	3.71	3.59	3.65	
	GYE - CHONGON	D	3.55	3.84	3.70	
	CHONGON - GYE	I	2.04	2.26	2.15	
	CHONGON - GYE	C	2.37	2.53	2.45	
	CHONGON - GYE	D	2.71	2.83	2.77	

Ilustración 28: IRI, KM 14+000- -KM 15+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	IRI c/100m	IRI c/100m	PROM (IRI)
KM 15 - KM 16	KM 15+000 KM 15+200	GYE - CHONGON	I	2.56	3.05	2.81
		GYE - CHONGON	C	2.75	3.20	2.98
		GYE - CHONGON	D	2.63	2.09	2.36
		CHONGON - GYE	I	2.54	2.42	2.48
		CHONGON - GYE	C	2.65	2.62	2.64
		CHONGON - GYE	D	2.61	2.55	2.58
	KM 15+200 KM 15+400	GYE - CHONGON	I	2.43	2.28	2.36
		GYE - CHONGON	C	2.74	3.03	2.89
		GYE - CHONGON	D	3.26	3.52	3.39
		CHONGON - GYE	I	2.28	2.31	2.30
		CHONGON - GYE	C	3.09	2.39	2.74
		CHONGON - GYE	D	2.97	3.17	3.07
	KM 15+400 KM 15+600	GYE - CHONGON	I	2.28	2.33	2.31
		GYE - CHONGON	C	3.24	2.91	3.08
		GYE - CHONGON	D	3.48	3.48	3.48
		CHONGON - GYE	I	2.32	2.57	2.45
		CHONGON - GYE	C	3.82	2.75	3.29
		CHONGON - GYE	D	3.29	3.06	3.18
	KM 15+600 KM 15+800	GYE - CHONGON	I	2.4	2.56	2.48
		GYE - CHONGON	C	2.52	2.75	2.64
		GYE - CHONGON	D	4.05	3.61	3.83
		CHONGON - GYE	I	2.66	2.58	2.62
		CHONGON - GYE	C	3.63	3.48	3.56
		CHONGON - GYE	D	3.1	3.03	3.07
KM 15+800 KM 16+000	GYE - CHONGON	I	2.54	2.69	2.62	
	GYE - CHONGON	C	3.02	3.48	3.25	
	GYE - CHONGON	D	4.35	4.35	4.35	
	CHONGON - GYE	I	3.05	2.36	2.71	
	CHONGON - GYE	C	2.69	2.94	2.82	
	CHONGON - GYE	D	3.19	3.54	3.37	

Ilustración 29: IRI, KM 15+000 - KM 16+000.

3.5.3.3. (C+P): Polígonos de daño (ASTM D6433).

Es el porcentaje de área de fallas acumulada en el área del tramo a evaluar. Esta variable se obtiene mediante la medición de los polígonos que delimitan las áreas de las fallas observadas en el ortomosaico.

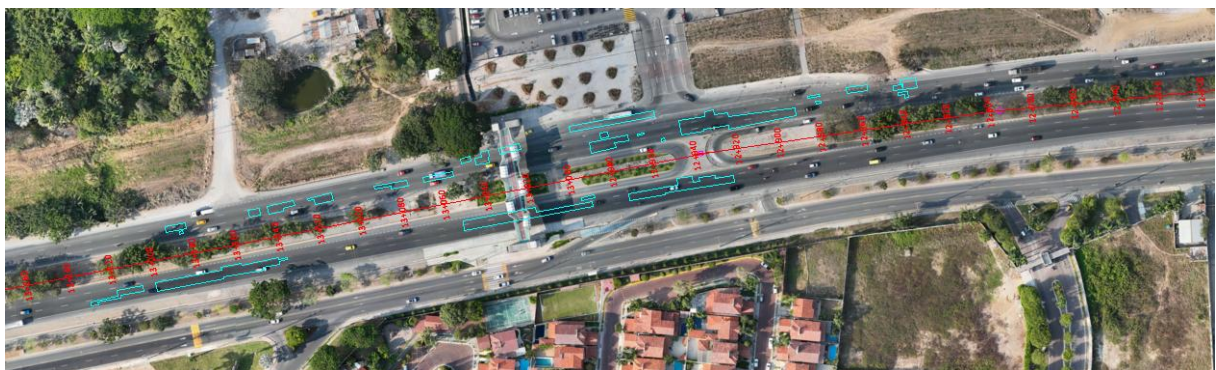


Ilustración 30: Extracto del ortomosaico en Civil 3D para la delimitación de fallas.

Una vez medidas las áreas de cada falla se procede a registrarlas en un inventario de acuerdo a su abscisa, sentido y carril.


REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 13 + 450	GYE - CHONGON	C	PARCHE	1,203
	KM 13 + 450	GYE - CHONGON	C	PARCHE	9,4771
	KM 13 + 470	GYE - CHONGON	C	PARCHE	10,7
	KM 13 + 470	GYE - CHONGON	D	PARCHE	36,288
	KM 13 + 490	GYE - CHONGON	C	PARCHE	30,021
	KM 13 + 490	GYE - CHONGON	D	PARCHE	43,306

Ilustración 31: Extracto del inventario de fallas desarrollado en Excel.

Cálculo del porcentaje de fallas en los subtramos a evaluar cada 200m.

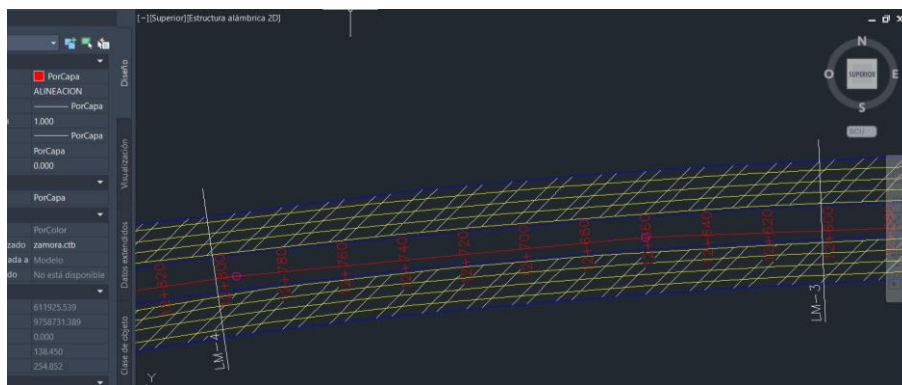


Ilustración 32: Extracto del Civil 3D en la medición de área de carriles.

$$(C + P) = \frac{A_f}{A_c} \times 100$$

Donde:

A_c = Área de carril a analizar.

A_f = Área acumulada de todos los tipos de fallas identificadas.

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	AREA DE CARRIL	AREA FALLAS	C+P
KM 12 - KM 13	KM 12+000 KM 12+200	GYE - CHONGON	I	725.102		0
		GYE - CHONGON	C	699.805		0
		GYE - CHONGON	D	1375.905		0
		CHONGON - GYE	I	1216.477		0
		CHONGON - GYE	C	733.329	15.265	2.08
		CHONGON - GYE	D	721.643	50.457	6.99
	KM 12+200 KM 12+400	GYE - CHONGON	I	709.717		0
		GYE - CHONGON	C	690.09		0
		GYE - CHONGON	D	1335.127		0
		CHONGON - GYE	I	716.55		0
		CHONGON - GYE	C	735.026		0
		CHONGON - GYE	D	1267.515		0
	KM 12+400 KM 12+600	GYE - CHONGON	I	706.408		0
		GYE - CHONGON	C	720.756		0
		GYE - CHONGON	D	1450.636	31.291	2.16
		CHONGON - GYE	I	697.599		0
		CHONGON - GYE	C	735.099		0
		CHONGON - GYE	D	1283.624		0
	KM 12+600 KM 12+800	GYE - CHONGON	I	717.831		0
		GYE - CHONGON	C	700.268		0
		GYE - CHONGON	D	1348.894		0
		CHONGON - GYE	I	695.586		0
		CHONGON - GYE	C	728.665		0
		CHONGON - GYE	D	1314.826		0
KM 12+800 KM 13+000	GYE - CHONGON	I	678.006	0.779	0.11	
	GYE - CHONGON	C	669.345	7.543	1.13	
	GYE - CHONGON	D	1821.023	42.484	2.33	
	CHONGON - GYE	I	638.212		0	
	CHONGON - GYE	C	652.699		0	
	CHONGON - GYE	D	1250.702		0	

Ilustración 33: C+P, KM 12+000 - KM 13+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	FALLA	AREA FALLAS	C+P
KM 13 - KM 14	KM 13+000 KM 13+200	GYE - CHONGON	I	752.867	17.981	2.39
		GYE - CHONGON	C	761.437	175.889	23.1
		GYE - CHONGON	D	1432.97	59.818	4.17
		CHONGON - GYE	I	655.7	5.269	0.8
		CHONGON - GYE	C	644.084	330.148	51.26
		CHONGON - GYE	D	948.906	135.843	14.32
	KM 13+200 KM 13+400	GYE - CHONGON	I	703.41		0
		GYE - CHONGON	C	731.213		0
		GYE - CHONGON	D	1443.776		0
		CHONGON - GYE	I	714.285		0
		CHONGON - GYE	C	721.581	150.066	20.8
		CHONGON - GYE	D	1142.084	154.617	13.54
	KM 13+400 KM 13+600	GYE - CHONGON	I	733.344		0
		GYE - CHONGON	C	720.892	167.1891	23.19
		GYE - CHONGON	D	1382.155	137.213	9.93
		CHONGON - GYE	I	718.331		0
		CHONGON - GYE	C	738.061		0
		CHONGON - GYE	D	1280.382	39.705	3.1
	KM 13+600 KM 13+800	GYE - CHONGON	I	725.282		0
		GYE - CHONGON	C	736.713	69.433	9.42
		GYE - CHONGON	D	1454.542	60.387	4.15
		CHONGON - GYE	I	717.562		0
		CHONGON - GYE	C	737.179		0
		CHONGON - GYE	D	1341.154		0
	KM 13+800 KM 14+000	GYE - CHONGON	I	707.076	5.53	0.78
		GYE - CHONGON	C	737.85	161.403	21.87
		GYE - CHONGON	D	1328.899	193.094	14.53
		CHONGON - GYE	I	728.884		0
		CHONGON - GYE	C	723.635	76.431	10.56
		CHONGON - GYE	D	1287.525	43.367	3.37

Ilustración 34: C+P, KM 13+000 - 14+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	AREA DE CARRIL	AREA FALLAS	C+P
KM 14 - KM 15	KM 14+000 KM 14+200	GYE - CHONGON	I	726.412		0
		GYE - CHONGON	C	729.967	96.141	13.17
		GYE - CHONGON	D	1248.498	74.599	5.98
		CHONGON - GYE	I	739.864		0
		CHONGON - GYE	C	745.247		0
		CHONGON - GYE	D	1649.1		0
	KM 14+200 KM 14+400	GYE - CHONGON	I	728.083	33.451	4.59
		GYE - CHONGON	C	730.849	182.653	24.99
		GYE - CHONGON	D	1235.751	49.253	3.99
		CHONGON - GYE	I	741.536		0
		CHONGON - GYE	C	752.624		0
		CHONGON - GYE	D	1279.246		0
	KM 14+400 KM 14+600	GYE - CHONGON	I	727.762		0
		GYE - CHONGON	C	732.583		0
		GYE - CHONGON	D	1125.303	65.622	5.83
		CHONGON - GYE	I	743.371		0
		CHONGON - GYE	C	749.815		0
		CHONGON - GYE	D	1267.347	188.47	14.87
	KM 14+600 KM 14+800	GYE - CHONGON	I	1759.764	20.787	1.18
		GYE - CHONGON	C	715.77	108.572	15.17
		GYE - CHONGON	D	1040.43	89.114	8.57
		CHONGON - GYE	I	1605.924		0
		CHONGON - GYE	C	751.171	51.106	6.8
		CHONGON - GYE	D	1183.295	146.148	12.35
KM 14+800 KM 15+000	GYE - CHONGON	I	714.115		0	
	GYE - CHONGON	C	657.283	345.23	52.52	
	GYE - CHONGON	D	1075.871	286.823	26.66	
	CHONGON - GYE	I	705.447		0	
	CHONGON - GYE	C	723.235	43.149	5.97	
	CHONGON - GYE	D	1028.804	140.483	13.65	

Ilustración 35: C+P, KM 14+000 - KM 15+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	AREA DE CARRIL	AREA FALLAS	C+P
KM 15 - KM 16	KM 15+000 KM 15+200	GYE - CHONGON	I	1214.722		0
		GYE - CHONGON	C	743.523		0
		GYE - CHONGON	D	1134.388	96.303	8.49
		CHONGON - GYE	I	1262.242		0
		CHONGON - GYE	C	698.54		0
		CHONGON - GYE	D	1341.948		0
	KM 15+200 KM 15+400	GYE - CHONGON	I	696.942		0
		GYE - CHONGON	C	738.25		0
		GYE - CHONGON	D	1163.526	50.547	4.34
		CHONGON - GYE	I	734.858		0
		CHONGON - GYE	C	729.421		0
		CHONGON - GYE	D	1207.727		0
	KM 15+400 KM 15+600	GYE - CHONGON	I	720.871		0
		GYE - CHONGON	C	729.63		0
		GYE - CHONGON	D	1207.999	60.925	5.04
		CHONGON - GYE	I	709.949		0
		CHONGON - GYE	C	739.294		0
		CHONGON - GYE	D	1241.171		0
	KM 15+600 KM 15+800	GYE - CHONGON	I	700.952		0
		GYE - CHONGON	C	732.425		0
		GYE - CHONGON	D	1235.567	29.846	2.42
		CHONGON - GYE	I	717.005		0
		CHONGON - GYE	C	727.64		0
		CHONGON - GYE	D	1216.797		0
KM 15+800 KM 16+000	GYE - CHONGON	I	719.447		0	
	GYE - CHONGON	C	737.137		0	
	GYE - CHONGON	D	1181.979	119.18	10.08	
	CHONGON - GYE	I	898.975		0	
	CHONGON - GYE	C	751.557		0	
	CHONGON - GYE	D	1286.864		0	

Ilustración 36: C+P, KM 15+000 - KM 16+000

3.5.3.4. RD: Método de aproximación algebraica.

Para encontrar RD se usarán los modelos de ecuaciones $PSI = f(IRI)$ planteados anteriormente y los valores de IRI ya calculados.

Modelos $PSI = f(IRI)$ (IRI en m/km)

HDM-III / Paterson

$$PSI_{HDM} = 5 e^{-IRI/5.5}$$

Al-Omari & Darter

$$PSI_{AOD} = 5 e^{-0.26 IRI}$$

NCHRP

$$PSI_{NCHRP} = 5 e^{-0.24 IRI}$$

Dujisin y Arroyo (Flexible / Asfalto)

$$PSI_{DA} = 5.85 - 1.68 \sqrt{IRI}$$

Ilustración 37: Ecuaciones de PSI en función de IRI

- Se optará por realizar un sistema de ecuaciones igualando los valores del $PSI = f(IRI)$ con la ecuación propuesta por la AASHTO en su versión del sistema internacional.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + SV) - 0.002139(RD)^2 - 0.01\sqrt{C + P}$$

- Se calculará una constante como termino auxiliar ya que esta no cambia.

$$A = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + SV) - 0.01\sqrt{C + P}$$

- Al igualar $PSI(IRI) = PSI(SV, C + P, RD)$, reemplazando el termino auxiliar A y despejando RD se obtiene.

$$RD = \sqrt{\frac{A - PSI}{0.002139}}$$

- Se reemplazan los valores de PSI de acuerdo a los modelos propuestos.

$$RD_{HDM} = \sqrt{\frac{A - PSI_{HDM}}{0.002139}} \quad RD_{AOD} = \sqrt{\frac{A - PSI_{AOD}}{0.002139}}$$

$$RD_{NCHRP} = \sqrt{\frac{A - PSI_{NCHRP}}{0.002139}} \quad RD_{DA} = \sqrt{\frac{A - PSI_{DA}}{0.002139}}$$

- RD_{HDM} : profundidad de rodera obtenida usando PSI_{HDM} (modelo HDM-III/Paterson).
- RD_{AOD} : RD obtenida usando PSI_{AOD} (Al-Omari & Darter).
- RD_{NCHRP} : RD obtenida usando PSI_{NCHRP} (modelo del NCHRP).
- RD_{DA} : RD obtenida usando PSI_{DA} (Dujisin & Arroyo, flexible).

Lo que se espera es encontrar los valores de RD para cada modelo y calcular el promedio. Ese valor calculado es la variable que se evaluara en la ecuación del PSI (AASHTO) S.I.

SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	$RD_{AOD} = \sqrt{\frac{A - PSI_{AOD}}{0.002139}}$	$RD_{HDM} = \sqrt{\frac{A - PSI_{HDM}}{0.002139}}$	$RD_{NCHRP} = \sqrt{\frac{A - PSI_{NCHRP}}{0.002139}}$	$RD_{DA} = \sqrt{\frac{A - PSI_{DA}}{0.002139}}$	RD
KM 12+000	GYE - CHONGON	I	37.81	33.64	36.89	33.19	35.38
	GYE - CHONGON	C	36.97	32.77	36.04	32.37	34.54
	GYE - CHONGON	D	36.33	32.12	35.39	31.76	33.90
KM 12+200	CHONGON - GYE	I	35.12	30.91	34.18	30.63	32.71
	CHONGON - GYE	C	35.64	31.43	34.70	31.12	33.22
	CHONGON - GYE	D	33.62	29.44	32.68	29.27	31.25
KM 12+200	GYE - CHONGON	I	37.50	33.32	36.58	32.89	35.07
	GYE - CHONGON	C	38.06	33.90	37.14	33.43	35.63
	GYE - CHONGON	D	37.27	33.08	36.35	32.66	34.84
KM 12+400	CHONGON - GYE	I	34.08	29.89	33.14	29.69	31.70
	CHONGON - GYE	C	34.29	30.08	33.34	29.87	31.89
	CHONGON - GYE	D	35.34	31.13	34.40	30.84	32.93
KM 12+400	GYE - CHONGON	I	35.30	31.09	34.36	30.80	32.89
	GYE - CHONGON	C	36.03	31.81	35.09	31.48	33.60
	GYE - CHONGON	D	37.04	32.84	36.11	32.43	34.60
KM 12+600	CHONGON - GYE	I	33.69	29.50	32.75	29.33	31.32
	CHONGON - GYE	C	33.69	29.50	32.75	29.33	31.32
	CHONGON - GYE	D	36.70	32.50	35.77	32.12	34.27
KM 12+600	GYE - CHONGON	I	34.08	29.89	33.14	29.69	31.70
	GYE - CHONGON	C	37.14	32.94	36.21	32.53	34.71
	GYE - CHONGON	D	35.04	30.82	34.09	30.56	32.63
KM 12+800	CHONGON - GYE	I	34.15	29.95	33.21	29.75	31.76
	CHONGON - GYE	C	34.17	29.97	33.23	29.77	31.79
	CHONGON - GYE	D	34.24	30.04	33.30	29.83	31.85
KM 12+800	GYE - CHONGON	I	34.08	29.89	33.14	29.69	31.70
	GYE - CHONGON	C	35.50	31.29	34.56	30.99	33.09
	GYE - CHONGON	D	35.08	30.86	34.14	30.59	32.67
KM 13+000	CHONGON - GYE	I	34.20	30.00	33.25	29.79	31.81
	CHONGON - GYE	C	33.62	29.44	32.68	29.27	31.25
	CHONGON - GYE	D	33.76	29.57	32.82	29.40	31.39

Ilustración 38: RD, KM 12+000 - KM 13+000

SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	$RD_{AOD} = \sqrt{\frac{A - PSI_{AOD}}{0.002139}}$	$RD_{HDM} = \sqrt{\frac{A - PSI_{HDM}}{0.002139}}$	$RD_{NCHRP} = \sqrt{\frac{A - PSI_{NCHRP}}{0.002139}}$	$RD_{DA} = \sqrt{\frac{A - PSI_{DA}}{0.002139}}$	RD (PROM)
KM 13+000	GYE - CHONGON	I	32.65	28.49	31.70	28.39	30.31
	GYE - CHONGON	C	33.65	29.46	32.70	29.29	31.27
	GYE - CHONGON	D	38.58	34.44	37.68	33.96	36.16
KM 13+200	CHONGON - GYE	I	33.81	29.62	32.86	29.44	31.43
	CHONGON - GYE	C	34.53	30.32	33.58	30.09	32.13
	CHONGON - GYE	D	35.30	31.09	34.36	30.80	32.89
KM 13+200	GYE - CHONGON	I	34.76	30.55	33.82	30.31	32.36
	GYE - CHONGON	C	34.35	30.15	33.41	29.93	31.96
	GYE - CHONGON	D	34.93	30.72	33.99	30.46	32.53
KM 13+400	CHONGON - GYE	I	33.00	28.83	32.05	28.71	30.65
	CHONGON - GYE	C	34.85	30.64	33.90	30.38	32.44
	CHONGON - GYE	D	35.28	31.07	34.34	30.78	32.87
KM 13+400	GYE - CHONGON	I	34.74	30.53	33.80	30.29	32.34
	GYE - CHONGON	C	34.24	30.04	33.30	29.83	31.85
	GYE - CHONGON	D	35.34	31.13	34.40	30.84	32.93
KM 13+600	CHONGON - GYE	I	34.20	30.00	33.25	29.79	31.81
	CHONGON - GYE	C	32.70	28.54	31.75	28.44	30.36
	CHONGON - GYE	D	37.17	32.98	36.25	32.57	34.74
KM 13+600	GYE - CHONGON	I	34.37	30.17	33.43	29.95	31.98
	GYE - CHONGON	C	34.08	29.89	33.14	29.69	31.70
	GYE - CHONGON	D	36.98	32.79	36.06	32.38	34.55
KM 13+800	CHONGON - GYE	I	33.88	29.68	32.93	29.50	31.50
	CHONGON - GYE	C	33.41	29.23	32.47	29.08	31.05
	CHONGON - GYE	D	37.98	33.82	37.07	33.36	35.55
KM 13+800	GYE - CHONGON	I	32.57	28.42	31.63	28.33	30.23
	GYE - CHONGON	C	34.74	30.53	33.80	30.29	32.34
	GYE - CHONGON	D	36.45	32.24	35.52	31.88	34.02
KM 14+000	CHONGON - GYE	I	33.72	29.53	32.77	29.36	31.34
	CHONGON - GYE	C	33.05	28.88	32.10	28.75	30.69
	CHONGON - GYE	D	35.68	31.47	34.74	31.15	33.26

Ilustración 39: RD, KM 13+000 - KM 14+000

$$RD_{A10} = \sqrt{\frac{A - PSI_{A10}}{0.002139}}$$

$$RD_{HDM} = \sqrt{\frac{A - PSI_{HDM}}{0.002139}}$$

$$RD_{VCHUP} = \sqrt{\frac{A - PSI_{VCHUP}}{0.002139}}$$

$$RD_{D1} = \sqrt{\frac{A - PSI_{D1}}{0.002139}}$$

SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL					RD (PROM)
KM 14+000	GYE - CHONGON	I	37.63	33.45	36.71	33.02	35.20
	GYE - CHONGON	C	35.44	31.23	34.50	30.93	33.03
	GYE - CHONGON	D	36.42	32.21	35.48	31.84	33.99
	CHONGON - GYE	I	33.46	29.27	32.51	29.12	31.09
	CHONGON - GYE	C	33.14	28.97	32.20	28.84	30.79
	CHONGON - GYE	D	35.82	31.60	34.88	31.28	33.39
KM 14+200	GYE - CHONGON	I	37.12	32.93	36.19	32.52	34.69
	GYE - CHONGON	C	38.90	34.79	38.01	34.29	36.50
	GYE - CHONGON	D	35.68	31.47	34.74	31.15	33.26
	CHONGON - GYE	I	33.72	29.53	32.77	29.36	31.34
	CHONGON - GYE	C	33.10	28.92	32.15	28.80	30.74
	CHONGON - GYE	D	32.85	28.68	31.90	28.57	30.50
KM 14+400	GYE - CHONGON	I	33.58	29.39	32.63	29.23	31.21
	GYE - CHONGON	C	35.82	31.60	34.88	31.28	33.39
	GYE - CHONGON	D	33.10	28.92	32.15	28.80	30.74
	CHONGON - GYE	I	33.69	29.50	32.75	29.33	31.32
	CHONGON - GYE	C	33.88	29.68	32.93	29.50	31.50
	CHONGON - GYE	D	35.56	31.35	34.62	31.04	33.14
KM 14+600	GYE - CHONGON	I	33.05	28.88	32.10	28.75	30.69
	GYE - CHONGON	C	36.90	32.70	35.97	32.30	34.47
	GYE - CHONGON	D	36.22	32.00	35.28	31.65	33.79
	CHONGON - GYE	I	32.34	28.19	31.39	28.12	30.01
	CHONGON - GYE	C	32.52	28.37	31.57	28.28	30.18
	CHONGON - GYE	D	34.04	29.84	33.09	29.65	31.65
KM 14+800	GYE - CHONGON	I	32.77	28.61	31.83	28.51	30.43
	GYE - CHONGON	C	37.96	33.80	37.05	33.34	35.54
	GYE - CHONGON	D	38.10	33.94	37.19	33.48	35.68
	CHONGON - GYE	I	31.77	27.66	30.84	27.62	29.47
	CHONGON - GYE	C	33.31	29.14	32.37	28.99	30.95
	CHONGON - GYE	D	34.76	30.55	33.82	30.31	32.36

Ilustración 40: RD, KM 14+000 - KM 15+000

$$RD_{A10} = \sqrt{\frac{A - PSI_{A10}}{0.002139}}$$

$$RD_{HDM} = \sqrt{\frac{A - PSI_{HDM}}{0.002139}}$$

$$RD_{VCHUP} = \sqrt{\frac{A - PSI_{VCHUP}}{0.002139}}$$

$$RD_{D1} = \sqrt{\frac{A - PSI_{D1}}{0.002139}}$$

SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL					RD (PROM)
KM 15+000	GYE - CHONGON	I	34.91	30.70	33.97	30.44	32.51
	GYE - CHONGON	C	35.60	31.39	34.66	31.08	33.18
	GYE - CHONGON	D	32.87	28.71	31.93	28.60	30.53
	CHONGON - GYE	I	33.46	29.27	32.51	29.12	31.09
	CHONGON - GYE	C	34.17	29.97	33.23	29.77	31.79
	CHONGON - GYE	D	33.93	29.73	32.98	29.54	31.54
KM 15+200	GYE - CHONGON	I	32.85	28.68	31.90	28.57	30.50
	GYE - CHONGON	C	35.24	31.03	34.30	30.75	32.83
	GYE - CHONGON	D	37.12	32.93	36.19	32.52	34.69
	CHONGON - GYE	I	32.54	28.39	31.60	28.30	30.21
	CHONGON - GYE	C	34.64	30.43	33.69	30.19	32.24
	CHONGON - GYE	D	35.97	31.76	35.03	31.42	33.55
KM 15+400	GYE - CHONGON	I	32.59	28.44	31.65	28.35	30.26
	GYE - CHONGON	C	35.99	31.78	35.05	31.44	33.56
	GYE - CHONGON	D	37.42	33.24	36.50	32.81	34.99
	CHONGON - GYE	I	33.29	29.11	32.35	28.97	30.93
	CHONGON - GYE	C	36.76	32.55	35.83	32.17	34.33
	CHONGON - GYE	D	36.36	32.15	35.43	31.79	33.93
KM 15+600	GYE - CHONGON	I	33.46	29.27	32.51	29.12	31.09
	GYE - CHONGON	C	34.17	29.97	33.23	29.77	31.79
	GYE - CHONGON	D	38.50	34.37	37.60	33.89	36.09
	CHONGON - GYE	I	34.11	29.91	33.16	29.71	31.72
	CHONGON - GYE	C	37.66	33.49	36.75	33.05	35.24
	CHONGON - GYE	D	35.95	31.74	35.01	31.40	33.53
KM 15+800	GYE - CHONGON	I	34.08	29.89	33.14	29.69	31.70
	GYE - CHONGON	C	36.63	32.43	35.70	32.05	34.20
	GYE - CHONGON	D	39.90	35.86	39.03	35.35	37.53
	CHONGON - GYE	I	34.48	30.28	33.54	30.05	32.09
	CHONGON - GYE	C	34.95	30.74	34.01	30.48	32.55
	CHONGON - GYE	D	37.04	32.84	36.11	32.43	34.60

Ilustración 41: RD, KM 15+000 - KM 16+000

3.5.4. Fase 4. Cálculo e integración del PSI.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + SV) - 0.002139(RD)^2 - 0.01\sqrt{C + P}$$

- Reporte por huella y subtramo (Carey & Irick, 1960; FHWA, 1996; AASHTO, 1993).

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI
KM 12 - KM 13	KM 12+000	GYE - CHONGON	I	2.33
		GYE - CHONGON	C	2.46
		GYE - CHONGON	D	2.55
	KM 12+200	CHONGON - GYE	I	2.72
		CHONGON - GYE	C	2.63
		CHONGON - GYE	D	2.89
	KM 12+200	GYE - CHONGON	I	2.39
		GYE - CHONGON	C	2.31
		GYE - CHONGON	D	2.43
	KM 12+400	CHONGON - GYE	I	2.87
		CHONGON - GYE	C	2.85
		CHONGON - GYE	D	2.70
	KM 12+400	GYE - CHONGON	I	2.71
		GYE - CHONGON	C	2.61
		GYE - CHONGON	D	2.45
	KM 12+600	CHONGON - GYE	I	2.93
		CHONGON - GYE	C	2.93
		CHONGON - GYE	D	2.51
	KM 12+600	GYE - CHONGON	I	2.88
		GYE - CHONGON	C	2.45
		GYE - CHONGON	D	2.75
	KM 12+800	CHONGON - GYE	I	2.87
		CHONGON - GYE	C	2.86
		CHONGON - GYE	D	2.86
KM 12+800	GYE - CHONGON	I	2.87	
	GYE - CHONGON	C	2.67	
	GYE - CHONGON	D	2.73	
KM 13+000	CHONGON - GYE	I	2.86	
	CHONGON - GYE	C	2.94	
	CHONGON - GYE	D	2.92	

Ilustración 42: PSI, KM 12+000 - KM 13+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI
KM 13 - KM 14	KM 13+000 KM 13+200	GYE - CHONGON	I	3.05
		GYE - CHONGON	C	2.89
		GYE - CHONGON	D	2.21
		CHONGON - GYE	I	2.90
		CHONGON - GYE	C	2.75
		CHONGON - GYE	D	2.68
	KM 13+200 KM 13+400	GYE - CHONGON	I	2.78
		GYE - CHONGON	C	2.84
		GYE - CHONGON	D	2.76
		CHONGON - GYE	I	3.02
		CHONGON - GYE	C	2.73
		CHONGON - GYE	D	2.68
	KM 13+400 KM 13+600	GYE - CHONGON	I	2.78
		GYE - CHONGON	C	2.80
		GYE - CHONGON	D	2.67
		CHONGON - GYE	I	2.80
		CHONGON - GYE	C	3.00
		CHONGON - GYE	D	2.37
	KM 13+600 KM 13+800	GYE - CHONGON	I	2.84
		GYE - CHONGON	C	2.85
		GYE - CHONGON	D	2.45
		CHONGON - GYE	I	2.90
		CHONGON - GYE	C	2.97
		CHONGON - GYE	D	2.32
KM 13+800 KM 14+000	GYE - CHONGON	I	3.06	
	GYE - CHONGON	C	2.74	
	GYE - CHONGON	D	2.51	
	CHONGON - GYE	I	2.93	
	CHONGON - GYE	C	2.98	
	CHONGON - GYE	D	2.64	

Ilustración 43: PSI, KM 13+000 - KM 14+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI
KM 14 - KM 15	KM 14+000 KM 14+200	GYE - CHONGON	I	2.37
		GYE - CHONGON	C	2.65
		GYE - CHONGON	D	2.52
		CHONGON - GYE	I	2.95
		CHONGON - GYE	C	2.99
		CHONGON - GYE	D	2.63
	KM 14+200 KM 14+400	GYE - CHONGON	I	2.43
		GYE - CHONGON	C	2.12
		GYE - CHONGON	D	2.63
		CHONGON - GYE	I	2.92
		CHONGON - GYE	C	3.00
		CHONGON - GYE	D	3.03
	KM 14+400 KM 14+600	GYE - CHONGON	I	2.94
		GYE - CHONGON	C	2.64
		GYE - CHONGON	D	2.98
		CHONGON - GYE	I	2.92
		CHONGON - GYE	C	2.90
		CHONGON - GYE	D	2.63
	KM 14+600 KM 14+800	GYE - CHONGON	I	3.00
		GYE - CHONGON	C	2.44
		GYE - CHONGON	D	2.55
		CHONGON - GYE	I	3.10
		CHONGON - GYE	C	3.05
		CHONGON - GYE	D	2.84
KM 14+800 KM 15+000	GYE - CHONGON	I	3.05	
	GYE - CHONGON	C	2.25	
	GYE - CHONGON	D	2.25	
	CHONGON - GYE	I	3.16	
	CHONGON - GYE	C	2.95	
	CHONGON - GYE	D	2.74	

Ilustración 44: PSI, KM 14+000 - KM 15+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI
KM 15 - KM 16	KM 15+000	GYE - CHONGON	I	2.77
		GYE - CHONGON	C	2.67
		GYE - CHONGON	D	3.00
		CHONGON - GYE	I	2.96
		CHONGON - GYE	C	2.86
		CHONGON - GYE	D	2.89
	KM 15+200	GYE - CHONGON	I	3.03
		GYE - CHONGON	C	2.72
		GYE - CHONGON	D	2.43
		CHONGON - GYE	I	3.06
		CHONGON - GYE	C	2.79
		CHONGON - GYE	D	2.61
	KM 15+400	GYE - CHONGON	I	3.06
		GYE - CHONGON	C	2.61
		GYE - CHONGON	D	2.38
		CHONGON - GYE	I	2.96
		CHONGON - GYE	C	2.49
		CHONGON - GYE	D	2.55
	KM 15+600	GYE - CHONGON	I	2.96
		GYE - CHONGON	C	2.86
		GYE - CHONGON	D	2.22
		CHONGON - GYE	I	2.87
		CHONGON - GYE	C	2.37
		CHONGON - GYE	D	2.61
KM 15+800	GYE - CHONGON	I	2.87	
	GYE - CHONGON	C	2.52	
	GYE - CHONGON	D	1.98	
	CHONGON - GYE	I	2.81	
	CHONGON - GYE	C	2.75	
	CHONGON - GYE	D	2.45	

Ilustración 45: PSI, KM 15+000 - KM 16+000.

3.5.5. Fase 5. Validación (MTOPI/NEVI-12).

PSI (MTOPI/NEVI-12)	
5 - 4	EXELENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)
KM 12 - KM 13	KM 12+000	GYE - CHONGON	I	2.33	REGULAR
		GYE - CHONGON	C	2.46	REGULAR
		GYE - CHONGON	D	2.55	ACEPTABLE
	KM 12+200	CHONGON - GYE	I	2.72	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.63	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.89	ACEPTABLE
	KM 12+200	GYE - CHONGON	I	2.39	REGULAR
		GYE - CHONGON	C	2.31	REGULAR
		GYE - CHONGON	D	2.43	REGULAR
	KM 12+400	CHONGON - GYE	I	2.87	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.85	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.70	ACEPTABLE
	KM 12+400	GYE - CHONGON	I	2.71	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.61	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.45	REGULAR
	KM 12+600	CHONGON - GYE	I	2.93	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.93	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.51	ACEPTABLE
	KM 12+600	GYE - CHONGON	I	2.88	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.45	REGULAR
		GYE - CHONGON	D	2.75	ACEPTABLE
	KM 12+800	CHONGON - GYE	I	2.87	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.86	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.86	ACEPTABLE
KM 12+800	GYE - CHONGON	I	2.87	ACEPTABLE	
	GYE - CHONGON	C	2.67	ACEPTABLE	
	GYE - CHONGON	D	2.73	ACEPTABLE	
KM 13+000	CHONGON - GYE	I	2.86	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	C	2.94	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	D	2.92	ACEPTABLE	

Ilustración 46: VALIDACION, KM 12+000 - KM 13+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)
KM 13 - KM 14	KM 13+000	GYE - CHONGON	I	3.05	BUENO
		GYE - CHONGON	C	2.89	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.21	REGULAR
	KM 13+200	CHONGON - GYE	I	2.90	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.75	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.68	ACEPTABLE
	KM 13+200	GYE - CHONGON	I	2.78	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.84	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.76	ACEPTABLE
	KM 13+400	CHONGON - GYE	I	3.02	BUENO
		CHONGON - GYE	C	2.73	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.68	ACEPTABLE
	KM 13+400	GYE - CHONGON	I	2.78	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.80	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.67	ACEPTABLE
	KM 13+600	CHONGON - GYE	I	2.80	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	3.00	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.37	REGULAR
	KM 13+600	GYE - CHONGON	I	2.84	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.85	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.45	REGULAR
	KM 13+800	CHONGON - GYE	I	2.90	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.97	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.32	REGULAR
KM 13+800	GYE - CHONGON	I	3.06	BUENO	
	GYE - CHONGON	C	2.74	ACEPTABLE	
	GYE - CHONGON	D	2.51	ACEPTABLE	
KM 14+000	CHONGON - GYE	I	2.93	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	C	2.98	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	D	2.64	ACEPTABLE	

Ilustración 47: VALIDACION, KM 13+000 - KM 14+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTO/NEVI-12)
KM 14 - KM 15	KM 14+000	GYE - CHONGON	I	2.37	REGULAR
		GYE - CHONGON	C	2.65	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.52	ACEPTABLE
	KM 14+200	CHONGON - GYE	I	2.95	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.99	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.63	ACEPTABLE
	KM 14+200	GYE - CHONGON	I	2.43	REGULAR
		GYE - CHONGON	C	2.12	REGULAR
		GYE - CHONGON	D	2.63	ACEPTABLE
	KM 14+400	CHONGON - GYE	I	2.92	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	3.00	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	3.03	BUENO
	KM 14+400	GYE - CHONGON	I	2.94	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.64	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.98	ACEPTABLE
	KM 14+600	CHONGON - GYE	I	2.92	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.90	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.63	ACEPTABLE
	KM 14+600	GYE - CHONGON	I	3.00	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.44	REGULAR
		GYE - CHONGON	D	2.55	ACEPTABLE
	KM 14+800	CHONGON - GYE	I	3.10	BUENO
		CHONGON - GYE	C	3.05	BUENO
		CHONGON - GYE	D	2.84	ACEPTABLE
KM 14+800	GYE - CHONGON	I	3.05	BUENO	
	GYE - CHONGON	C	2.25	REGULAR	
	GYE - CHONGON	D	2.25	REGULAR	
KM 15+000	CHONGON - GYE	I	3.16	BUENO	
	CHONGON - GYE	C	2.95	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	D	2.74	ACEPTABLE	

Ilustración 48: VALIDACION, KM 14+000 - KM 15+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)
KM 15 - KM 16	KM 15+000	GYE - CHONGON	I	2.77	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.67	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	3.00	BUENO
	KM 15+200	CHONGON - GYE	I	2.96	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.86	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.89	ACEPTABLE
	KM 15+200	GYE - CHONGON	I	3.03	BUENO
		GYE - CHONGON	C	2.72	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.43	REGULAR
	KM 15+400	CHONGON - GYE	I	3.06	BUENO
		CHONGON - GYE	C	2.79	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	D	2.61	ACEPTABLE
	KM 15+400	GYE - CHONGON	I	3.06	BUENO
		GYE - CHONGON	C	2.61	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.38	REGULAR
	KM 15+600	CHONGON - GYE	I	2.96	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.49	REGULAR
		CHONGON - GYE	D	2.55	ACEPTABLE
	KM 15+600	GYE - CHONGON	I	2.96	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	C	2.86	ACEPTABLE
		GYE - CHONGON	D	2.22	REGULAR
	KM 15+800	CHONGON - GYE	I	2.87	ACEPTABLE
		CHONGON - GYE	C	2.37	REGULAR
		CHONGON - GYE	D	2.61	ACEPTABLE
KM 15+800	GYE - CHONGON	I	2.87	ACEPTABLE	
	GYE - CHONGON	C	2.52	ACEPTABLE	
	GYE - CHONGON	D	1.98	MALO	
KM 16+000	CHONGON - GYE	I	2.81	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	C	2.75	ACEPTABLE	
	CHONGON - GYE	D	2.45	REGULAR	

Ilustración 49: VALIDACION, KM 15+000 - KM 16+000.

3.5.6. Tabla de resultados y criterios de intervención.

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTOPI/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 12 - KM 13	KM 12+000 KM 12+200	GYE - CHONGON	I	2.33	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	C	2.46	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	D	2.55	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	2.72	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.89	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 12+200 KM 12+400	GYE - CHONGON	I	2.39	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	C	2.31	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	D	2.43	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	2.87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.85	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.70	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 12+400 KM 12+600	GYE - CHONGON	I	2.71	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.45	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	2.93	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.93	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.51	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 12+600 KM 12+800	GYE - CHONGON	I	2.88	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.45	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	D	2.75	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	2.87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 12+800 KM 13+000	GYE - CHONGON	I	2.87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	GYE - CHONGON	C	2.67	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	GYE - CHONGON	D	2.73	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	I	2.86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	C	2.94	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	D	2.92	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
KM 13 - KM 14	KM 13+000 KM 13+200	GYE - CHONGON	I	3.05	BUENO	Mantenimiento rutinario
		GYE - CHONGON	C	2.89	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.21	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	2.90	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.75	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.68	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 13+200 KM 13+400	GYE - CHONGON	I	2.78	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.84	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.76	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	3.02	BUENO	Mantenimiento rutinario
		CHONGON - GYE	C	2.73	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.68	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 13+400 KM 13+600	GYE - CHONGON	I	2.78	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.80	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.67	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	2.80	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	3.00	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.37	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	KM 13+600 KM 13+800	GYE - CHONGON	I	2.84	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.85	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.45	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	2.90	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.97	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.32	REGULAR	Mantenimiento correctivo
KM 13+800 KM 14+000	GYE - CHONGON	I	3.06	BUENO	Mantenimiento rutinario	
	GYE - CHONGON	C	2.74	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	GYE - CHONGON	D	2.51	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	I	2.93	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	C	2.98	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	D	2.64	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	

Ilustración 50: Tabla de priorización, Km 12+000 - Km 14+000

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTOPI/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 14 - KM 15	KM 14+000 KM 14+200	GYE - CHONGON	I	2.37	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	C	2.65	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.52	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	2.95	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.99	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 14+200 KM 14+400	GYE - CHONGON	I	2.43	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	C	2.12	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	D	2.63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	2.92	ACEPTABLE	Mantenimiento rutinario
		CHONGON - GYE	C	3.00	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	3.03	BUENO	Mantenimiento rutinario
	KM 14+400 KM 14+600	GYE - CHONGON	I	2.94	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.64	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.98	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	2.92	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.90	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 14+600 KM 14+800	GYE - CHONGON	I	3.00	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.44	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		GYE - CHONGON	D	2.55	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	I	3.10	BUENO	Mantenimiento rutinario
		CHONGON - GYE	C	3.05	BUENO	Mantenimiento rutinario
		CHONGON - GYE	D	2.84	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+800 KM 15+000	GYE - CHONGON	I	3.05	BUENO	Mantenimiento rutinario	
	GYE - CHONGON	C	2.25	REGULAR	Mantenimiento correctivo	
	GYE - CHONGON	D	2.25	REGULAR	Mantenimiento correctivo	
	CHONGON - GYE	I	3.16	BUENO	Mantenimiento rutinario	
	CHONGON - GYE	C	2.95	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	D	2.74	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
KM 15 - KM 16	KM 15+000 KM 15+200	GYE - CHONGON	I	2.77	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.67	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	3.00	BUENO	Mantenimiento rutinario
		CHONGON - GYE	I	2.96	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.89	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 15+200 KM 15+400	GYE - CHONGON	I	3.03	BUENO	Mantenimiento rutinario
		GYE - CHONGON	C	2.72	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.43	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	3.06	BUENO	Mantenimiento rutinario
		CHONGON - GYE	C	2.79	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	D	2.61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 15+400 KM 15+600	GYE - CHONGON	I	3.06	BUENO	Mantenimiento rutinario
		GYE - CHONGON	C	2.61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.38	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	2.96	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.49	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	D	2.55	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	KM 15+600 KM 15+800	GYE - CHONGON	I	2.96	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	C	2.86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		GYE - CHONGON	D	2.22	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	I	2.87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
		CHONGON - GYE	C	2.37	REGULAR	Mantenimiento correctivo
		CHONGON - GYE	D	2.61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+800 KM 16+000	GYE - CHONGON	I	2.87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	GYE - CHONGON	C	2.52	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	GYE - CHONGON	D	1.98	MALO	Rehabilitación	
	CHONGON - GYE	I	2.81	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	C	2.75	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo	
	CHONGON - GYE	D	2.45	REGULAR	Mantenimiento correctivo	

Ilustración 51: Tabla de priorización, Km 14+000 - Km 16+000.

3.6. Integración del análisis multitemporal de expansión urbana, (Google Earth Pro) Tramo Km 12+000 al Km 16+000.

Es necesario cuantificar el crecimiento del área urbanizada en el entorno del tramo de estudio mediante un análisis multitemporal visual, para incorporarlo como factor complementario en la justificación de la pérdida de serviciabilidad observada en el corredor.

3.6.1. Insumos, fechas e interpretación.

Se analizaron cuatro escenas históricas (Google Earth Pro) y se digitalizó la mancha urbanizada mediante polígonos, dentro del área de influencia definida para el tramo.

Fechas y área urbanizada (bruta).

- **Sep-2004: 47.56 ha**



Fuente: Google Earth Pro (2004)

- **Oct-2010: 181.33 ha**



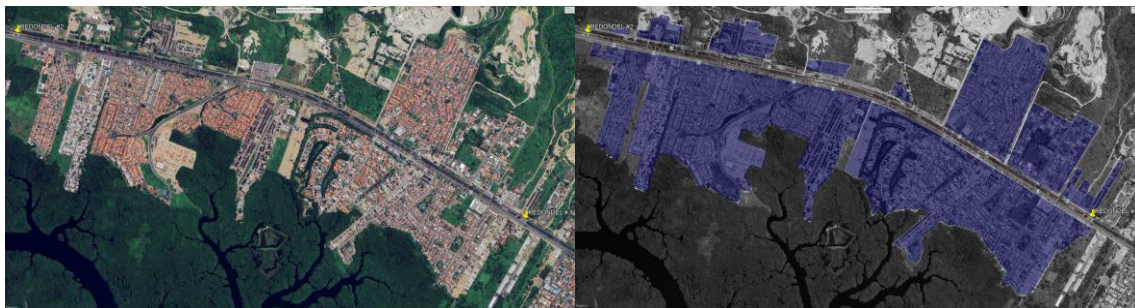
Fuente: Google Earth Pro (2010)

- Ago-2017: 280.80 ha



Fuente: Google Earth Pro (2017)

- Ene-2025: 348.63 ha



Fuente: Google Earth Pro (2025)

3.6.2. Ajuste a área neta residencial: Descuento por vías/áreas verdes/equipamientos

Dado que el polígono urbanizado incluye componentes no residenciales como vías, áreas verdes, equipamientos y otros, y al no contarse con su medición independiente, se aplicó un valor de ajuste normativo para estimar un área neta asociada principalmente la vivienda.

En la LOOTUGS (publicada en Suplemento del Registro Oficial No. 790, 05-jul-2016) se sustituyó el art. 424 del COOTAD y se establece que, en urbanizaciones, las áreas verdes/comunitarias/vías se entregan como cesión gratuita y obligatoria, y que “no excederá del 35%” del área útil urbanizable.

$$A_n = A_u(1 - p)$$

Donde:

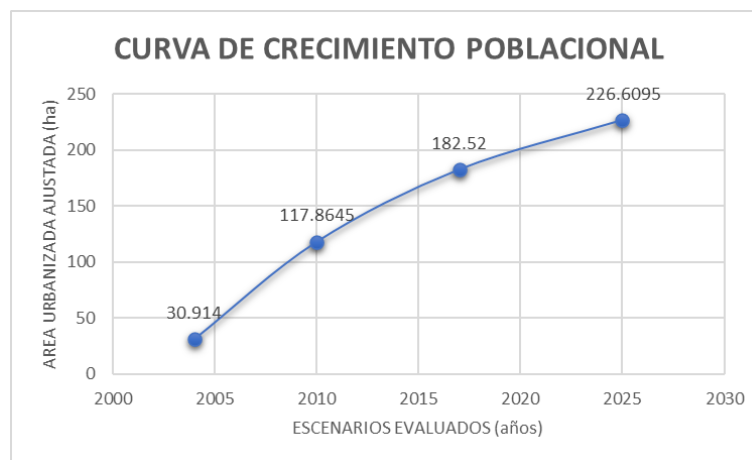
- A_u : área urbanizada bruta (ha) digitalizada en Google Earth Pro
- A_n : área urbanizada neta (ha) para aproximación residencial
- p : porcentaje de descuentos por cesiones/elementos no residenciales

- Se adopta $p = 0.35$ (35%) como escenario conservador (vías + áreas verdes + equipamiento).

$$A_n = 0,65 (A_u)$$

Resultado del ajuste (65%)

- Sep. - 2004: $A_n = 30.91$ ha
- Oct. - 2010: $A_n = 117.86$ ha
- Ago. - 2017: $A_n = 182.52$ ha
- Ene. - 2025: $A_n = 226.61$ ha



El crecimiento multitemporal del área urbanizada neta en el entorno del tramo Km12+000 – Km16+000 evidencia un incremento sostenido de la ocupación del suelo, lo cual se asocia a un aumento de la demanda de movilidad, mayor interacción urbana – vial como accesos, maniobras, interferencias y mayor solicitud funcional sobre el pavimento. Por lo tanto, este resultado se incorpora como un insumo complementario para sustentar la tendencia de pérdida de serviciabilidad (PSI) en el tramo de estudio.

3.7. INTEGRACIÓN TPDA - PSI, VÍA A LA COSTA E40 (Km 12 – Km 16)

El corredor Vía a la Costa (E40) presenta una dinámica de crecimiento urbano acelerado en su entorno inmediato, caracterizada por urbanizaciones, unidades educativas y actividad comercial. Esta condición incrementa la demanda vehicular diaria y genera flujos mixtos (livianos y pesados) con maniobras de aceleración/frenado asociadas a accesos, retornos y cruces. En pavimentos flexibles, la repetición de cargas, especialmente por transporte pesado,

acelera la pérdida de condición funcional y reduce el confort de rodadura, anticipando necesidades de conservación o rehabilitación.

Este informe integra el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) generado para el tramo km 12 - 16 con el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI), con el fin de evidenciar cómo el nivel de demanda y la participación de pesados se asocian a subtramos con pérdida de serviciabilidad.

Lo que se busca es correlacionar el TPDA por clase y sentido con el PSI por subtramo e identificar subtramos con pérdida de serviciabilidad relevante bajo condiciones de alta demanda vehicular.

Alcance espacial: tramo km 12 al km 16, ambos sentidos (GYE→CHONGÓN y CHONGÓN→GYE).

Unidad de análisis: subtramos de 200 m; PSI promediado entre carriles disponibles.

3.7.1. Datos, supuestos y definiciones

- TPDA: derivado de conteo manual para reflejar mayor demanda local del sector km 12–16; reportado por clase y por sentido.
- PSI: se integra como PSI promedio por subtramo y sentido.
- Tránsito pesado: Bus + Camiones livianos (2 ejes) + Camiones pesados (3+ ejes).
- Pérdida de serviciabilidad (%): $(p_i - \text{PSI}) / p_i$, con $p_i = 4,2$ (pavimento flexible).
- Umbral funcional de referencia: $\text{PSI} < 2,5$ (condición deficiente/terminal para vías con demanda significativa).
- Indicador de priorización: Exposición pesada = TPDA (pesados) × Pérdida de serviciabilidad (%).

3.7.2. Metodología de integración

Paso 1: consolidación del TPDA final por clase vehicular y por sentido.

Paso 2: cálculo del PSI promedio por subtramo y sentido (promedio de carriles).

Paso 3: integración TPDA - PSI por sentido y cálculo de exposición a pesados para priorización de subtramos con PSI bajo.

Paso 4: construcción de tablas de porcentajes y matriz PSI vs intensidad de tráfico para análisis multivariable.

5. Resultados de tránsito (TPDA)

El TPDA final del tramo km 12–16 evidencia una demanda elevada con participación significativa de transporte pesado. Esta mezcla es crítica porque, a igualdad de volumen total, el componente pesado incrementa la sollicitación y acelera el deterioro.

Tabla 1. TPDS, %TPDS y TPDA total por clase vehicular (km 12–16)

Vehículo	TPDS (veh/día)	TPDA (veh/día)	%TPDS
Motos	1,402.40	1,332.28	5.60
Automóvil	12,315.67	11,699.89	49.15
Camioneta	5,848.36	5,555.94	23.34
Microbús	322.26	306.15	1.29
Bus	492.51	467.89	1.97
Camiones livianos (2 ejes)	2,492.48	2,367.86	9.95
Camiones pesados (3+ ejes)	2,184.44	2,075.22	8.72
TOTAL	25,058.13	23,805.22	100.00

Ilustración 52: TPDS, %TPDS Y TPDA por clase vehicular

Tabla 2. TPDA por clase vehicular y sentido (km 12–16)

Vehículo	CHONGON - GYE	GYE - CHONGON
Motos	686.71	645.57
Automóvil	5,971.05	5,728.84
Camioneta	2,815.90	2,740.04
Microbús	155.85	150.30
Bus	239.40	228.49
Camiones livianos (2 ejes)	1,235.15	1,132.70
Camiones pesados (3+ ejes)	1,056.34	1,018.88
TOTAL	12,160.41	11,644.81

Ilustración 53: TPDA por clase vehicular y sentido

En términos agregados, el TPDA total estimado es 23,805 veh/día. El componente de pesados (bus + camiones) suma 4,911 veh/día (20.6% del total). Debido al comportamiento no lineal del daño por carga (peso por eje), este porcentaje de pesados tiene una influencia desproporcionada sobre la pérdida de condición del pavimento.

3.7.3. Resultados de serviciabilidad (PSI) y pérdida asociada

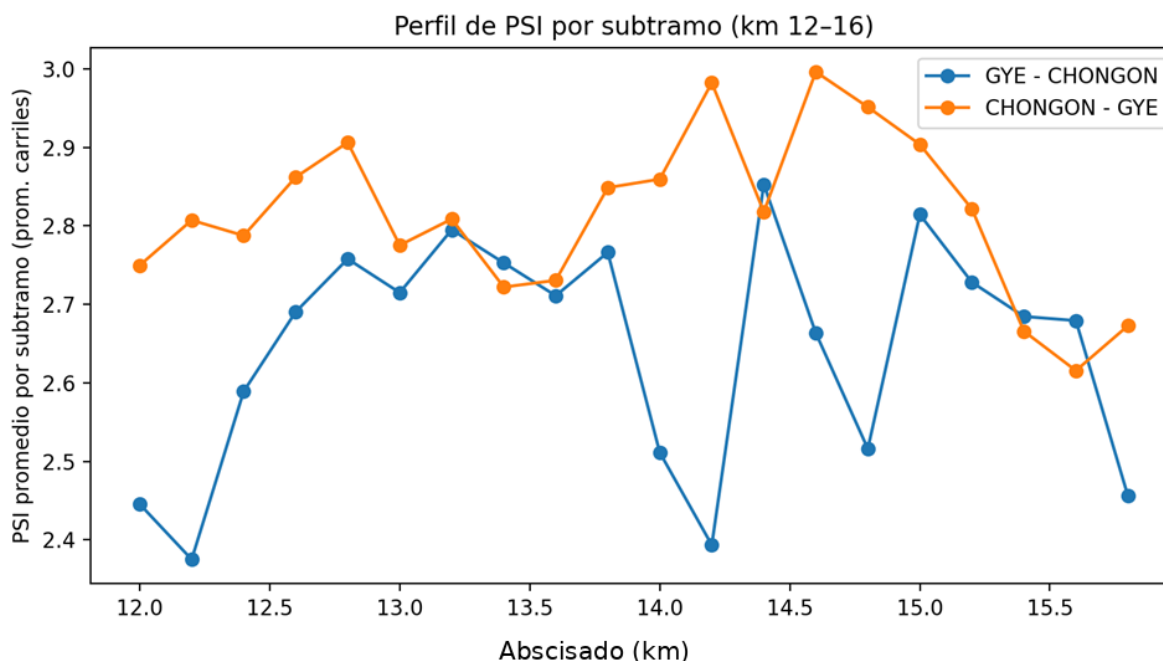
El PSI representa el desempeño funcional percibido (calidad de rodadura). Su disminución indica pérdida de confort y aumento de irregularidades. Para la tesis, la pérdida de serviciabilidad se utiliza como métrica comparable entre subtramos.

Tabla 3. Distribución porcentual de categorías PSI por sentido

SENTIDO	Crítico (<2.0)	Deficiente (2.0–2.49)	Regular (2.5–2.99)	Bueno (3.0–3.49)	Muy bueno (>=3.5)
CHONGON - GYE	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
GYE - CHONGON	0.00	20.00	80.00	0.00	0.00

Ilustración 54: Distribución porcentual de categorías PSI

Figura 1. Perfil de PSI por subtramo (km 12–16)

*Ilustración 55: Perfil de PSI VS Abscisado*

3.7.4. TPDA - PSI: subtramos con PSI bajo y efecto del tránsito pesado

Se priorizan subtramos con PSI promedio < 2,5, cuantificando su pérdida de serviciabilidad y la exposición al tránsito pesado. Esto permite sostener, con evidencia numérica, que los puntos de baja condición funcional bajo alta demanda y alta fracción de pesados son candidatos directos para intervención.

Tabla 4. Subtramos con PSI < 2,5 (top 12 por exposición a pesados)

TRAMO	SUBTRAMO	SENTIDO	PSI_prom	PSI_min	Perdida_serv_%	TPDA_total	TPDA_pesados	%Pesados	Exposicion_pesada	Categoria_PSI
KM 12 - KM 13	KM 12+200 KM 12+400	GYE - CHONGON	2.38	2.31	43.45	11,644.81	2,380.07	20.44	1,034.13	Deficiente (2.0–2.49)
KM 14 - KM 15	KM 14+200 KM 14+400	GYE - CHONGON	2.39	2.12	43.01	11,644.81	2,380.07	20.44	1,023.74	Deficiente (2.0–2.49)
KM 12 - KM 13	KM 12+000 KM 12+200	GYE - CHONGON	2.45	2.33	41.77	11,644.81	2,380.07	20.44	994.14	Deficiente (2.0–2.49)
KM 15 - KM 16	KM 15+800 KM 16+000	GYE - CHONGON	2.46	1.98	41.52	11,644.81	2,380.07	20.44	988.16	Deficiente (2.0–2.49)

Ilustración 56: Subtramos con PSI < 2,5

La matriz siguiente cruza intensidad de tráfico total y de pesados con condición PSI. Se expresa en porcentaje para facilitar lectura durante la exposición.

Tabla 5. Matriz PSI vs intensidad de tráfico (porcentaje de subtramos)

Clase_TPDA	Clase_Pesados	Crítico (<2.0)	Deficiente (2.0–2.49)	Regular (2.5–2.99)	Bueno (3.0–3.49)	Muy bueno (>=3.5)
Alto (11.000–11.999)	Alto (2.300–2.499)	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Alto (11.000–11.999)	Medio (2.000–2.299)	0.00	20.00	80.00	0.00	0.00

Ilustración 57: Matriz PSI vs intensidad de tráfico

3.7.5. Discusión técnica

- A mayor tránsito pesado, mayor acumulación de daño por fatiga y deformación permanente (ahuellamiento), lo que tiende a reflejarse en PSI menores.
- En entornos urbanos, el efecto se intensifica por frenado/aceleración, giros y cambios de carril.
- El TPDA explica parte del deterioro, las sobrecargas y mantenimiento previo.

3.7.6. Análisis general PSI vs TPDA.

- El tramo km 12–16 presenta alta demanda vehicular, con fracción de pesados relevante que incrementa significativamente la demanda estructural del pavimento.
- Los subtramos con PSI < 2,5 muestran pérdidas de serviciabilidad importantes; al integrarlos con el TPDA de pesados, se identifican puntos de mayor exposición que deben priorizarse.
- La combinación 'alto pesado + PSI bajo' respalda la hipótesis central: el transporte pesado acelera el deterioro y reduce la condición funcional observada por el usuario.

3.8. Integración de análisis hidrológico superficial y su relación con la serviciabilidad del pavimento (PSI) Vía E40 – km 12+000 al km 16+000

3.8.1. Análisis hidrológico superficial

Este apartado integra la topografía longitudinal del corredor y el índice de serviciabilidad (PSI) con el fin de identificar zonas con probabilidad de acumulación de agua pluvial y sectores susceptibles a afectación por escorrentía proveniente de laderas, y explicar su relación con el deterioro funcional del pavimento.

3.8.2. Obtención de la información topográfica

La información topográfica proviene de perfiles longitudinales del eje vial (Civil 3D) para ambos sentidos de circulación (GYE–CHONGÓN y CHONGÓN–GYE), con abscisado continuo entre km 12+000 y km 16+000. Las variables consideradas fueron: elevación existente, pendiente longitudinal (%) y el indicador SV (ventana 200 m), como medida de variabilidad de la pendiente.

Tabla 1. Resumen topográfico longitudinal km 12+000–16+000

Sentido	Cota min (m)	Cota max (m)	Pend. min (%)	Pend. max (%)	pendl mediana (%)	pendl promedio (%)	% pendl <0,15%	Sag P95 (m)	Sag max (m)	SV P95	SV max
GYE–CHONGÓN	4041	15095	-0.547	0.626	0.048	0.067	90.10	0.254	0.665	0.016	0.027
CHONGÓN–GYE	4196	15461	-0.578	0.853	0.052	0.072	88.65	0.248	0.811	0.025	0.025

3.8.3. Preparación y validación del Modelo Digital de Elevación

Para efectos del presente análisis (drenaje superficial y su vínculo con PSI), se empleó un modelo longitudinal de elevación a partir del perfil existente (MDE-1D), suficiente para detectar sags (zonas bajas) y tramos con pendientes longitudinales muy reducidas. Como validación espacial complementaria, se incorporó un ortomosaico georreferenciado en UTM (WGS84 / Zona 17S), del cual se identificaron puntos de interacción ladera–vía (descargas, trazas de escorrentía y cruces transversales).

3.8.4. Análisis de pendientes del terreno

El corredor presenta una geometría longitudinal predominantemente plana. La alta proporción de puntos con $|pendiente| < 0,15\%$ implica baja capacidad de evacuación superficial por pendiente longitudinal, lo que incrementa la probabilidad de lámina de agua en presencia de microdepresiones (sags), especialmente si existen deficiencias en cunetas, bermas, alcantarillas o pendientes transversales.

Tabla 2. Resumen del PSI por kilómetro (subtramos de 200 m)

Sentido	Km	PSI mínimo	PSI P25	PSI mediana	PSI P75	% pend <0,15 %	Sag máx (m)
CHONGÓN-GYE	12	2.511	2.634	2.703	2.855	0.965	0.665
CHONGÓN-GYE	13	2.323	2.368	2.642	2.675	0.970	0.441
CHONGÓN-GYE	14	2.633	2.634	2.744	2.844	0.960	0.529
CHONGÓN-GYE	15	2.367	2.455	2.489	2.609	0.940	0.426
GYE-CHONGÓN	12	2.307	2.330	2.448	2.448	0.965	0.665
GYE-CHONGÓN	13	2.210	2.451	2.506	2.671	0.970	0.441
GYE-CHONGÓN	14	2.121	2.251	2.366	2.443	0.960	0.529
GYE-CHONGÓN	15	1.977	2.221	2.380	2.430	0.940	0.426

3.8.5. Evaluación de la escorrentía superficial

Se evaluó la relación entre desempeño funcional (PSI) y condiciones propicias a acumulación/escorrentía, considerando:

- Planitud longitudinal.
- Presencia de sags.
- Evidencia espacial en ortomosaico (trazas de escorrentía, cruces y descargas). Bajo el criterio adoptado en el estudio, los puntos con $PSI < 2$ se atribuyen principalmente a escorrentía proveniente de los cerros adyacentes, por aporte concentrado y arrastre de finos que afecta el borde y el carril derecho.

Tabla 3. Subtramos críticos por PSI mínimo (prioridad de inspección y drenaje)

Sentido	Subtramo	PSI mín	Carril	pend media	% plano	Sag máx (m)	Causa hidráulica dominante
GYE-CHONGÓN	KM 15+800 – 16+000	1.977	D	0.070	0.93	0.301	Escorrentía desde cerros
GYE-CHONGÓN	KM 14+200 – 14+400	2.121	C	0.083	0.95	0.459	Estanqueidad (planitud + depresión geométrica)
GYE-CHONGÓN	KM 13+000 – 13+200	2.210	D	0.043	1.00	0.279	Estanqueidad (planitud + depresión geométrica)
GYE-CHONGÓN	KM 15+600 – 15+800	2.221	D	0.068	0.94	0.330	Estanqueidad / afectación mixta (verificar cunetas y descargas)
CHONGÓN-GYE	KM 13+600 – 13+800	2.323	D	0.057	0.99	0.196	Afectación mixta (verificar cruces y colmatación)

Tabla 4. Desempeño por carril (PSI) – patrón de vulnerabilidad

Sentido	Carril	n	PSI mín	PSI prom	PSI P10	PSI med	PSI P90
CHONGÓN-GYE	I	20	2.721	2.926	2.813	2921	3067
CHONGÓN-GYE	C	20	2.367	2.838	2.620	2881	2996
CHONGÓN-GYE	D	20	2.323	2.678	2.446	2659	2897
GYE-CHONGÓN	I	20	2.330	2.808	2.389	2873	3048
GYE-CHONGÓN	C	20	2.121	2.605	2.302	2643	2847
GYE-CHONGÓN	D	20	1977	2522	2220	2514	2783

Tabla 5. Distribución de calificación del PSI por sentido

Sentido	Calificación PSI	N	%
CHONGÓN-GYE	BUENO	6	10.0
CHONGÓN-GYE	ACEPTABLE	49	81.7
CHONGÓN-GYE	REGULAR	5	8.3
GYE-CHONGÓN	BUENO	6	10.0
GYE-CHONGÓN	ACEPTABLE	35	58.3
GYE-CHONGÓN	REGULAR	18	30.0
GYE-CHONGÓN	MALO	1	1.7

Integración con ortomosaico: se identificaron puntos con evidencia de aporte lateral o cruces que pueden concentrar escorrentía hacia la franja vial. Estos puntos se reportan en coordenadas UTM para facilitar su verificación en campo y su cruce con el alineamiento georreferenciado del proyecto.

Figura 1. Ortomosaico de franja vial con puntos de interacción ladera-vía (P1-P4)



Figura 2. Ejemplo de traza de escorrentía de ladera hacia la vía (detalle)

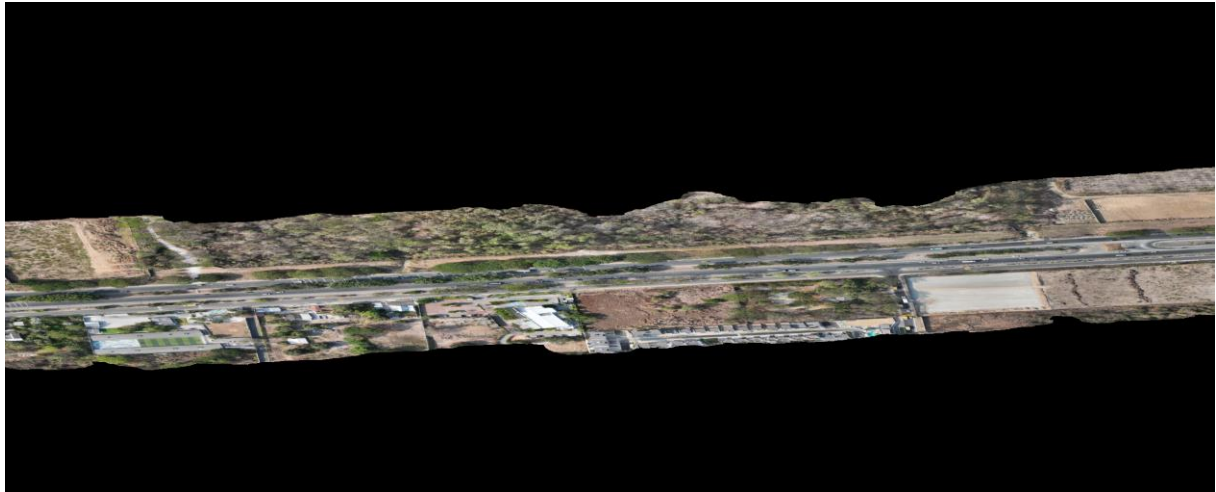


Figura 3. Intersección y aporte superficial hacia la franja vial (detalle)



Tabla 6. Puntos de interacción ladera-vía identificados en ortomosaico (UTM WGS84 / Zona 17S)

Punto	Este (m)	Norte (m)	Observación en ortomosaico
P1	609213.4	9758631.4	Quebrada/zanjon de ladera con traza de escorrentía concentrada hacia la franja vial
P2	608513.4	9758306.4	Cruce por vía secundaria/servidumbre con probable obra de drenaje transversal
P3	607713.4	9757968.9	Zona de intercambio y terraplenes: concentración y redirección de escorrentía superficial
P4	612659.7	9758700.4	Intersección vial: aporte superficial desde área vegetada superior hacia cunetas/berma

3.8.6. Alcances y limitaciones del análisis

Alcances:

- Identificación de tramos geoméricamente planos y sags con potencial de acumulación.
- Priorización de subtramos críticos por PSI.

- Validación espacial mediante ortomosaico, con localización UTM de puntos de interacción ladera-vía.

Limitaciones:

- No se incorporó pendiente transversal (bombeo), ni inventario detallado del sistema de drenaje (cunetas, sumideros, alcantarillas) ni su condición (colmatación). La atribución de escorrentía de ladera se aplica como criterio del estudio para $PSI < 2$ y requiere verificación en campo.

3.8.7. Observaciones

- El tramo km 12+000–16+000 presenta planitud longitudinal dominante, condición que incrementa la probabilidad de lámina de agua y estanqueidad en presencia de microdepresiones.
- Los menores valores de PSI se concentran en el sentido GYE–CHONGÓN y, de forma consistente, afectan con mayor severidad al carril derecho, coherente con la recepción de escurrimiento superficial y aportes desde bermas/cunetas.
- El subtramo con $PSI < 2$ (KM 15+800–16+000, carril D) se interpreta, conforme al criterio adoptado, como afectación por escorrentía proveniente de laderas, reforzada por evidencia espacial de trazas y puntos de aporte identificables en el ortomosaico.
- La intervención prioritaria debe enfocarse en: continuidad hidráulica (limpieza y adecuación de cunetas/alcantarillas), control de descargas laterales (encauzamiento y disipación), y corrección de puntos bajos (sags) donde se favorece la acumulación.

4. Análisis de resultados.

4.1. Análisis global de resultados del PSI con enfoque multivariable y multitemporal

El diagnóstico se desarrolló sobre un tramo de 4 km (Km 12–Km 16), subdividido en subtramos de 200 m (20 subtramos por sentido). La base contiene dos sentidos (GYE–CHONGÓN y CHONGÓN–GYE) y tres carriles por sentido (I, C, D), totalizando 120 registros (40 subtramos \times 3 carriles). El análisis integra variables funcionales y de deterioro: PSI (serviciabilidad), IRI (Índice Internacional de Rugosidad), RD (parámetro de deformación/ahuellamiento), C+P (fisuración + parchado/bacheo medido por área) y SV

(Varianza de Pendientes). Conceptualmente, el PSI es un indicador de serviciabilidad derivado de los desarrollos del AASHO Road Test, donde se relaciona con componentes de irregularidad/regularidad, deformaciones y deterioros superficiales (Highway Research Board, 1965). Asimismo, el IRI es un indicador estandarizado de rugosidad basado en el perfil longitudinal y un modelo “quarter-car”, ampliamente usado para evaluar y gestionar redes viales (World Bank, 1986).

4.1.1. Resultado global del PSI (estado del tramo)

En el conjunto de 120 registros, el tramo presenta un PSI promedio = 2.73, con PSI mínimo = 1.98 y PSI máximo = 3.16. Bajo la clasificación incorporada en tu propia base (“PSI (MTOPI/NEVI-12)”), la distribución queda así:

- **ACEPTABLE:** 84 registros (**70.0%**)
- **REGULAR:** 23 registros (**19.2%**)
- **BUENO:** 12 registros (**10.0%**)
- **MALO:** 1 registro (**0.8%**)

Y esto se traduce en las acciones recomendadas ya consignadas en la hoja PSI:

- **Mantenimiento preventivo:** 84 (**70.0%**)
- **Mantenimiento correctivo:** 23 (**19.2%**)
- **Mantenimiento rutinario:** 12 (**10.0%**)
- **Rehabilitación:** 1 (**0.8%**)

En términos de lectura global, el tramo se ubica mayoritariamente en condición ACEPTABLE, pero con una fracción significativa que ya cae en REGULAR (casi 1 de cada 5 registros). Esto implica que, aunque el desempeño promedio no es crítico, existe una pérdida de uniformidad en la serviciabilidad: el usuario percibe cambios de comodidad y calidad de

rodadura al transitar por sectores puntuales, lo que es típico cuando el deterioro funcional se concentra en “bolsones” a lo largo del corredor.

4.1.2. Comparación por sentido (asimetría direccional)

El análisis por sentido muestra una diferencia sistemática:

- CHONGÓN–GYE: PSI medio 2.81
- GYE–CHONGÓN: PSI medio 2.64

Además, el mínimo absoluto del estudio (PSI = 1.98, MALO) se ubica en el sentido GYE–CHONGÓN, lo que confirma que este sentido concentra la condición más desfavorable. Esta asimetría direccional es un hallazgo relevante en un diagnóstico multivariable, porque sugiere que la vía no se comporta igual en ambos sentidos pese a compartir estructura general: en la práctica, diferencias de demanda, maniobras (frenado/arranque), interacción con accesos, operación y carga pueden generar un patrón de deterioro funcional más severo en un sentido.

4.1.3. Integración multivariable: qué variables explican la caída del PSI

Con tus datos, el PSI se asocia principalmente con variables funcionales (IRI y RD). En términos estadísticos (correlación lineal en la muestra):

- PSI vs IRI_prom: $r \approx -0.996$

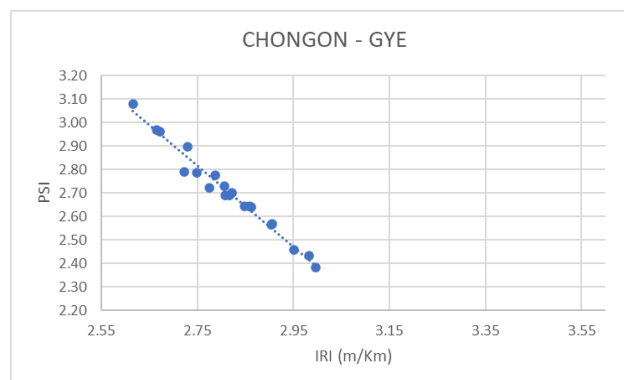


Ilustración 58: Gráfica PSI vs IRI, Chongón – Gye

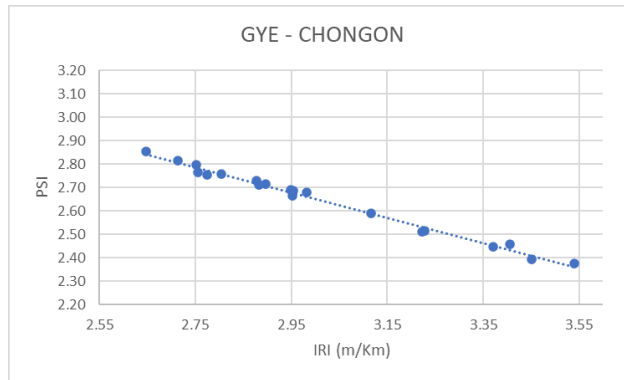


Ilustración 59: Grafica PSI vs IRI, Gye - Chongón.

- PSI vs RD: $r \approx -0.997$

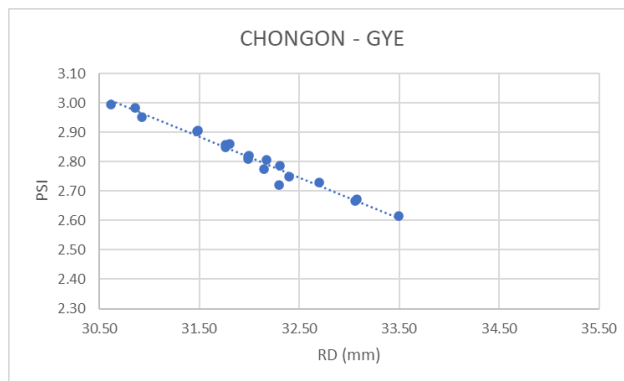


Ilustración 60: Grafica PSI vs RD, Chongón - Gye

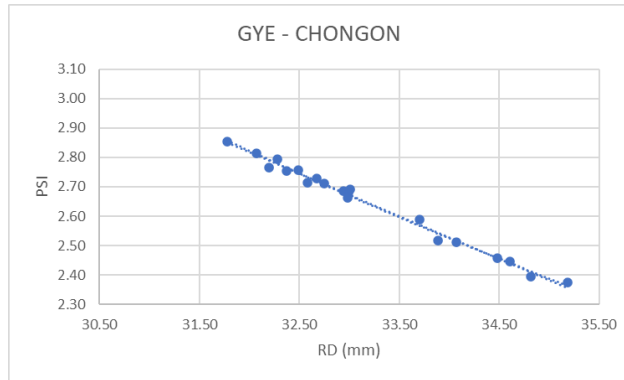


Ilustración 61: Grafica PSI vs RD, Gye – Chongón

- PSI vs C+P: $r \approx -0.258$ (relación débil)

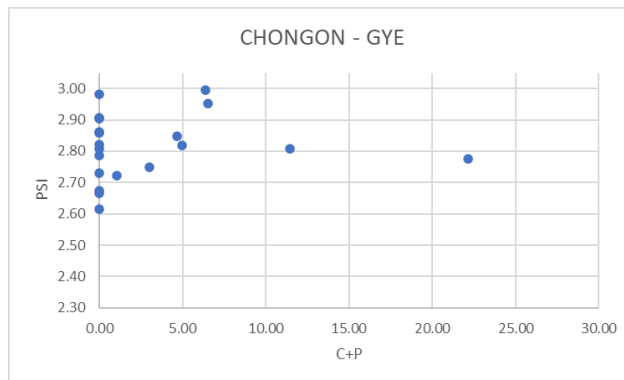


Ilustración 62: Grafica PSI vs C+P, Chongón – Gye

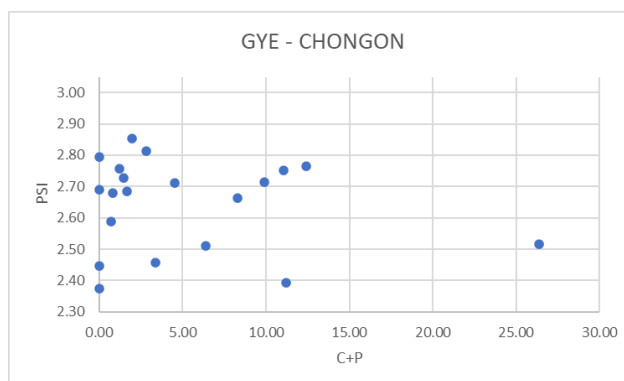


Ilustración 63: Grafica PSI vs C+P, Gye – Chongón

- PSI vs SV: $r \approx -0.079$ (muy débil)

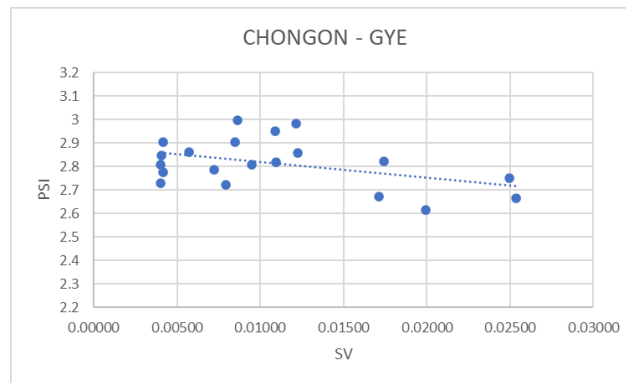


Ilustración 64: Grafica PSI vs SV, Chongón – Gye

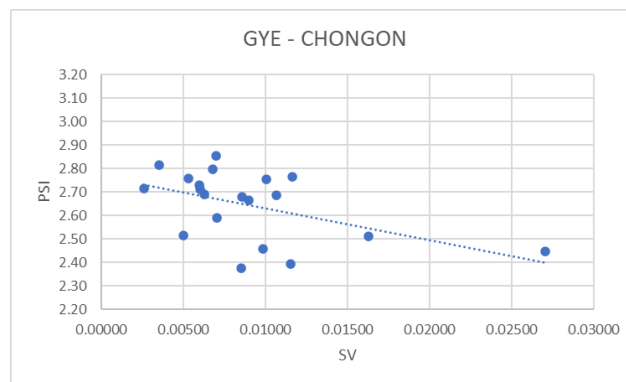


Ilustración 65: Grafica PSI vs SV, Gye – Chongón

Esto significa que, en tu tramo, la pérdida de serviciabilidad (PSI ↓) está controlada casi totalmente por el comportamiento de regularidad/rodadura (IRI ↑) y por el componente RD de tu base. En cambio, C+P (medido como área de fallas) tiene un rol secundario: puede contribuir localmente, pero no es el determinante principal del PSI en los resultados observados. Esta conclusión es consistente con la interpretación funcional del PSI como indicador de “calidad de servicio al usuario”, que responde con gran sensibilidad a la irregularidad del perfil (Highway Research Board, 1965; World Bank, 1986).

4.1.4. Localización de tramos críticos (subtramos de 200 m)

Al promediar por subtramo de 200 m dentro de cada sentido (promedio de carriles I, C y D), se evidencian zonas donde el PSI desciende y coincide con aumentos de IRI y RD. Los subtramos con peor desempeño (PSI medio más bajo) por sentido son:

GYE – CHONGÓN (más desfavorable):

- KM 12+200–12+400: PSI≈2.38, IRI≈3.54, RD≈35.18, C+P≈0.00
- KM 14+200–14+400: PSI≈2.39, IRI≈3.45, RD≈34.82, C+P≈11.19
- KM 12+000–12+200: PSI≈2.45, IRI≈3.37, RD≈34.60, C+P≈0.00
- KM 15+800–16+000: PSI≈2.46, IRI≈3.41, RD≈34.48, C+P≈3.36
- KM 14+000–14+200: PSI≈2.51, IRI≈3.22, RD≈34.07, C+P≈6.38

CHONGÓN – GYE (menos desfavorable):

- KM 15+600–15+800: PSI≈2.62, IRI≈3.08, RD≈33.49, C+P≈0.00
- KM 15+400–15+600: PSI≈2.67, IRI≈2.97, RD≈33.06, C+P≈0.00
- KM 15+800–16+000: PSI≈2.67, IRI≈2.96, RD≈33.08, C+P≈0.00

Dos lecturas multivariadas aparecen aquí y son muy útiles.

- Existen subtramos con PSI bajo aun con C+P≈0, lo que refuerza que el problema dominante es funcional (IRI/RD).
- En otros subtramos, el PSI bajo se acompaña de C+P apreciable, indicando que allí la pérdida de serviciabilidad no solo es por regularidad, sino también por deterioro superficial medido.

4.1.5. Punto crítico (condición “MALO”)

El registro más crítico del tramo es:

- Sentido: GYE–CHONGÓN

- Subtramo: KM 15+800–16+000
- Carril: D
- PSI = 1.98 (MALO)
- IRI_{prom} = 4.35, RD = 37.53, C+P ≈ 10.08

Aquí convergen simultáneamente un IRI elevado y un RD elevado (deterioro funcional) con C+P no despreciable, lo que respalda que la condición “MALO” no es un caso aislado sin soporte, sino un punto donde varias variables se alinean en sentido desfavorable. Por lo mismo, la decisión de Rehabilitación consignada se sustenta técnicamente con el comportamiento conjunto de los indicadores.

4.1.6. Integración con la variable multitemporal: crecimiento por área urbanizada ajustada.

La variable multitemporal de área urbanizada ajustada evidencia un incremento sostenido en el entorno de influencia del corredor. En términos cuantitativos, el área urbanizada ajustada pasa de 30.914 ha (2004) a 117.8645 ha (2010), luego a 182.52 ha (2017) y finalmente a 226.6095 ha (2025). Esto representa un crecimiento total de 195.6955 ha entre 2004 y 2025, equivalente a un aumento aproximado de 633.2% (es decir, el área urbanizada ajustada se multiplica por ≈7.33 veces en el periodo analizado).

Al analizar los incrementos entre escenarios consecutivos, se observa una tendencia de desaceleración del crecimiento (mayor incremento al inicio y menor incremento en periodos posteriores):

2004–2010: +86.9505 ha (≈ +281.2% respecto a 2004)

2010–2017: +64.6555 ha (≈ +54.9% respecto a 2010)

2017–2025: +44.0895 ha (≈ +24.2% respecto a 2017)

En el marco del diagnóstico multivariable, esta evolución multitemporal no reemplaza a los indicadores funcionales (IRI, RD) ni al deterioro superficial (C+P), pero aporta el contexto causal: el incremento de la urbanización ajustada suele asociarse con mayor generación de viajes, aumento de accesos y fricción operacional (giros, frenado/arranque), y presión acumulada sobre el desempeño funcional del pavimento. Por tanto, aunque el PSI promedio del tramo sea ACEPTABLE, la existencia de sectores REGULAR y un punto MALO es coherente con un corredor que opera bajo presión creciente, reforzando que el mantenimiento debe enfocarse en la variación espacial del PSI y su relación con IRI/RD, que en tu base son los determinantes principales.

4.2. Mapa cognitivo difuso

Estructura del MCD (capas):

- Drivers (contexto/causa): densidad poblacional (proxy: expansión urbana), TPDA (en especial pesados), hidrología y drenajes.
- Mediadores (estado físico/funcional): IRI, RD, C+P, SV.
- Variable dependiente: PSI.

Relaciones principales (signo y fuerza cualitativa):

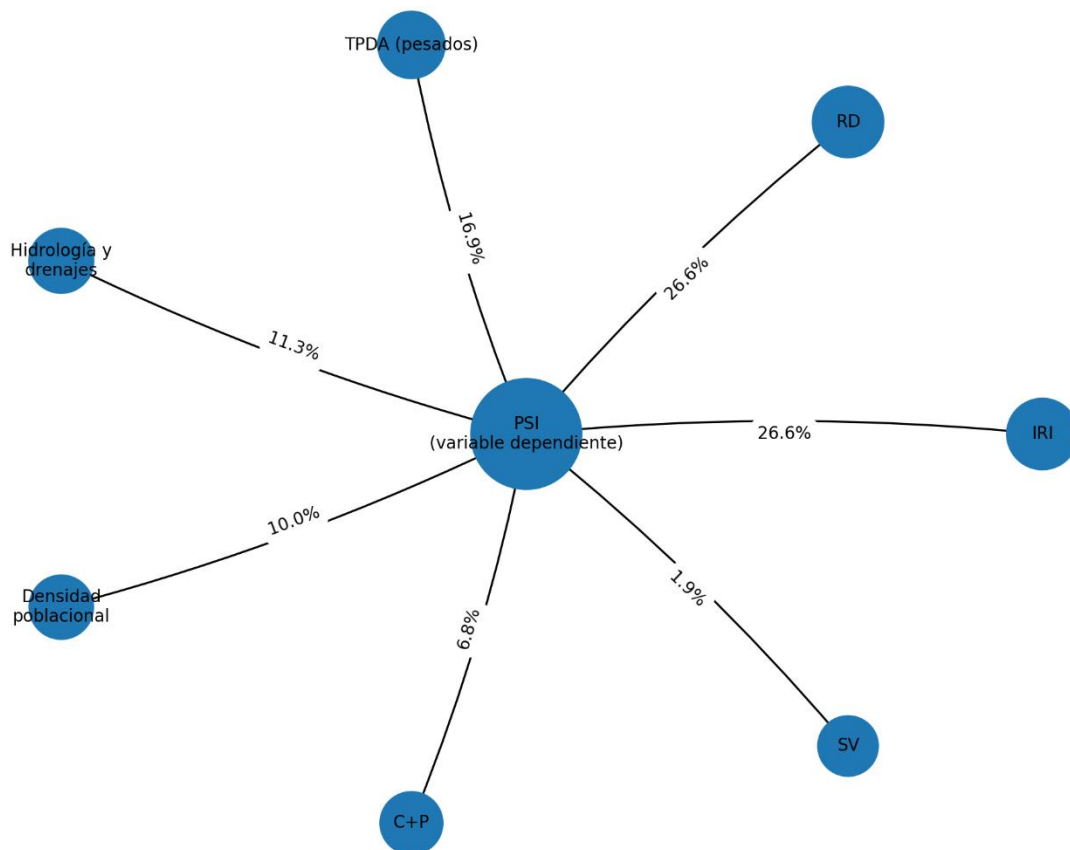
- IRI aumenta, PSI disminuye (relación dominante).
- RD aumenta, PSI disminuye (relación dominante).
- C+P aumenta, PSI disminuye (secundaria).
- SV aumenta, PSI disminuye (muy débil).
- TPDA (pesados) aumenta, RD/IRI/C+P aumentan, PSI disminuye (vía deterioro acelerado).
- Hidrología/drenajes deficientes aumentan, C+P/RD aumentan, PSI disminuye.

- Expansión urbana (densidad) aumenta, TPDA aumenta y fricción operacional aumenta, IRI/RD aumentan, PSI disminuye.

Porcentaje de incidencia en PSI (incidencia total: directa + indirecta vía mediadores; suma = 100%):

Variable (independiente)	Incidencia en PSI
IRI	26,6%
RD	26,6%
TPDA (componente pesado / % pesados)	16,9%
Hidrología y drenajes (escorrentía/sags/planitud)	11,3%
Densidad poblacional (proxy: expansión urbana)	10,0%
C+P	6,8%
SV	1,9%

Lectura ejecutiva: el PSI está gobernado por IRI y RD, pero la presión de tránsito pesado y las condiciones de drenaje/escorrentía explican por qué esos mediadores se agravan espacialmente.



4.3. Diagnóstico multivariable

- Estado funcional global y dispersión espacial: el tramo es globalmente aceptable ($PSI \approx 2,73$), pero con deterioro no uniforme, presencia de segmentos regulares y un punto malo; esto implica pérdida de continuidad del servicio y bolsos de mala rodadura.
- Mecanismo dominante (núcleo técnico): IRI y RD controlan el PSI; donde suben IRI y RD, el PSI cae casi de forma directa, por lo que el control de serviciabilidad debe enfocarse en reducir rugosidad y deformaciones.
- Presión de demanda: TPDA alto y pesados relevantes (20,6%); el daño acumulado por carga acelera el ahuellamiento y la degradación de rodadura, especialmente en zonas con frenado/arranque y cambios de carril.

- Factor hidráulico crítico: planitud longitudinal y condiciones que favorecen acumulación de agua; los puntos con $PSI < 2$ se asocian a escorrentía de laderas y deficiencias de drenaje, con mayor afectación del carril derecho.
- Densidad poblacional como causa de segundo orden: la expansión urbana refuerza la presión sobre la demanda y la fricción operacional; no reemplaza a IRI/RD, pero explica la tendencia.

Diagnóstico final: el deterioro funcional del tramo km 12-16 se explica por un sistema causal donde la demanda (pesados) y el drenaje impulsan el incremento de RD e IRI, que son los determinantes directos del PSI.

4.4. Conclusiones.

- El tramo km 12-16 presenta condición global aceptable ($PSI \approx 2,73$), pero con deterioro concentrado (segmentos regulares y un punto malo), lo que evidencia pérdida de uniformidad del servicio.
- El PSI está dominado por IRI y RD; C+P y SV resultan secundarios en la muestra, por lo que el control de serviciabilidad debe priorizar variables funcionales.
- La vía opera con TPDA alto y fracción relevante de pesados (20,6%), condición que incrementa de manera desproporcionada el daño y acelera la pérdida de serviciabilidad.
- Hidrológicamente, la planitud longitudinal y la susceptibilidad a acumulación/escorrentía explican parte de los puntos críticos; el patrón de mayor afectación del carril derecho es coherente con aportes laterales y deficiencias de drenaje.
- El crecimiento multitemporal del entorno refuerza el contexto de presión de demanda y la necesidad de intervención preventiva para evitar que el deterioro se generalice.

4.5. Recomendaciones

- Gestión por criticidad: priorizar subtramos con PSI bajo y alta exposición a pesados, usando matrices PSI-tráfico y criterios de intervención para optimizar presupuesto.
- Paquete hidráulico inmediato: asegurar continuidad hidráulica (limpieza/adecuación de cunetas y alcantarillas), control de descargas laterales y corrección de sags donde se acumula agua.
- Control funcional (IRI/RD): implementar mantenimiento que reduzca rugosidad y deformación (no solo bacheo aislado), con seguimiento postintervención para verificar recuperación del PSI.
- Mejoras metodológicas de levantamiento: ajustar la operación UAV y reforzar control altimétrico (GCPs) para mejorar confiabilidad del MDE.
- Cierre de brechas de información: incorporar pendiente transversal (bombeo) e inventario/estado del drenaje (colmatación) para robustecer la atribución causal y su verificación en campo.

4.6. Instrumentos, software y datos complementarios

- UAV Matrice 4E RTK.
- GNSS RTK.
- APP RoadLab Pro.
- Metashape Agisoft.
- Autodesk Recap.
- Autodesk Civil 3D.
- LENOVO LEGION Intel(R) Core (TM) i9-14900HX
- ASUS ROG Strix G513QY_G513QY

4.7. Consideraciones operativas, éticas y de seguridad

Operación UAV conforme normativa aeronáutica; mitigación de riesgos a usuarios y terceros; uso responsable de datos georreferenciados.

4.8. Limitaciones del estudio

Dependencia de condiciones atmosféricas; sensibilidad del IRI a velocidad/filtrado; el PSI refleja condición funcional, no estructural.

4.9. Productos y entregables

Ortomosaico georreferenciado; nubes de puntos (Agisoft Metashape/Recap); mapas de PSI; perfiles longitudinales; tabla de priorización; diagrama geométrico 3D del tramo E40 (Km 12+000 – Km 16+000).

4.10. Cronograma de realización del proyecto.

Inicio operativo: Semana del 17/11/2025; ejecución base 10–11 semanas; procesamiento y análisis se solapan. Fechas ajustables por permisos, clima y coordinación.

N°	Actividad	Inicio	Final														
				17-Nov-21-Nov	22-Nov-23-Nov	24-Nov-27-Nov	28-Nov-29-Nov	01-Dec-10-Dec	8-Dec-15-Dec	12-Dec-19-Dec	20-Dec-11-Jan	12-Jan-24-Jan					
1	Planificación y gestión; plan de vuelo UAV RTK.	17-nov	21-nov	■													
2	Reconocimiento y marcación (GCPs)	22-nov	23-nov		■												
3	Fase 1: Campaña de vuelo (Matrice 4E RTK)	24-nov	27-nov			■											
4	Fase 2: Respaldo y organización de datos	28-nov	29-nov				■										
5	Fase 3: Procesamiento fotogramétrico	01-dic	10-dic					■									
6	Fase 4: Inventario y clasificación de deterioros (C+P, PCI)	08-dic	15-dic						■								
7	Fase 5: Extracción de métricas IRI/RD	12-dic	19-dic							■							
8	Fase 6: Cálculo e integración del PSI por subtramo y carril	20-dic	11-ene								■						
9	Redacción y análisis de resultados	12-ene	24-ene														■
10	Revisión y Tutorías	17-nov	24-ene	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

4.11. Presupuesto referencial (costos personales del investigador)

Supuestos clave: la institución provee dron Matrice 4E RTK, baterías y cargador (sin costo). El investigador opera el dron (sin honorarios). Software con licencia educativa/campus (Agisoft Metashape/Recap/RoadLab Pro): costo 0. Se valorizan gastos directos de campo,

insumos y salidas físicas. Incluye contingencia del 10%. Vehículo propio (combustible/peajes/estacionamiento a cargo del investigador).

Ítem	Detalle	Unidad	Cantidad	V. Unit (USD)	Subtotal (USD)
Movilidad	Vehículo propio	Día	20	\$ 20.00	\$ 400.00
Alimentación	2 personas	Día	30	\$ 12.00	\$ 360.00
EPP y señalización	Chaleco y conos	Global	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Equipos informaticos	Laptop	U	2	\$ 1500.00	\$ 3000.00
Impresiones/encuadernado	1 informe + anexos (1 juego)	Global	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Equipo UAZ	Matrice 4E RTK	U	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Hitos permanentes y provisionales	Placa hormigón	U	6	\$ 25.00	\$ 150.00
				Subtotal:	\$ 4610.00
				Imprevistos (8%):	\$ 368.80
				TOTAL:	\$ 4978.80

5. Referencias bibliográficas.

1. AASHTO. (1993). Guide for design of pavement structures. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. Carey, W. N., Jr., & Irick, P. E. (1960). The pavement serviceability-performance concept (HRB Special Report 60). Washington, DC: Highway Research Board.
3. Huang, Y. H. (2004). Pavement analysis and design (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.
4. INEC. (2022). Censo de Población y Vivienda 2022: Resultados generales y densidades por división territorial. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
5. MTOP. (2012). Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12): Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
6. MTOP. (2018). Lineamientos para la gestión y conservación de la red vial estatal (manuales y TDR de evaluación). Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
7. Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Queiroz, C. (1986). The International Road Roughness Experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements (World Bank Technical Paper 45). Washington, DC: World Bank.
8. TRB. (2000). Highway capacity and quality of service: Concepts and applications (varios informes y circulares). Washington, DC: Transportation Research Board.
9. Google. (2025). Google Earth Pro (versión de escritorio). Mountain View, CA: Google LLC. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>
10. Banco Mundial. (1997). Roads and the economy: Maintenance, vehicle operating costs and serviceability (Policy Research Working Papers). Washington, DC: World Bank.

11. American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington, DC: Author.
12. ASTM International. ([año]). *ASTM E950/E950M – Standard test method for measuring the longitudinal profile of traveled surfaces using an inertial profiler*. West Conshohocken, PA: Author. https://www.astm.org/e0950_e0950m
13. ASTM International. ([año]). *ASTM E1926 – Standard practice for computing international roughness index of roads from longitudinal profile measurements*. West Conshohocken, PA: Author. <https://www.astm.org/e1926>
14. ASTM International. ([año]). *ASTM E1703/E1703M – Standard test method for measurement of rut-depth of pavement surfaces using a straightedge*. West Conshohocken, PA: Author. <https://www.astm.org/e1703>
15. Carey, W. N., & Irick, P. E. ([año]). *[Título exacto del informe del AASHO Road Test]*. *[Serie/boletín]*, [número], [páginas]. [https://doi.org/\[completar\]](https://doi.org/[completar])
16. Federal Highway Administration. (1996). *[Documento con relación IRI–PSI]* (FHWA-RD-96-198). Washington, DC: U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov>
17. Hall, K. D., & Correa, C. E. (1999). *[Título exacto]*. *Transportation Research Record, 1655*, [páginas]. [https://doi.org/\[completar\]](https://doi.org/[completar])
18. Transportation Research Board. (1994). *[Documento sobre la relación PSR–IRI]*. Washington, DC: National Academies Press.
19. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). *Normas Ecuatorianas de Vialidad (NEVI-12), Volumen 2A: [título]*. Quito, Ecuador: MTOP.
20. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). *NEVI-12, Volumen 6: [título]*. Quito, Ecuador: MTOP.

21. ASTM International. (2018). ASTM E1703/E1703M – Standard test method for measurement of rut-depth of pavement surfaces using a straightedge. <https://www.astm.org/e1703>
22. ASTM International. (2018). ASTM E1926 – Standard practice for computing international roughness index of roads from longitudinal profile measurements. <https://www.astm.org/e1926>
23. ASTM International. (2020). ASTM E950/E950M – Standard test method for measuring the longitudinal profile of traveled surfaces using an inertial profiler. <https://www.astm.org/e0950>
24. ASTM International. (2020). ASTM D6433 – Standard practice for roads and parking lots pavement condition index (PCI) surveys. <https://www.astm.org/d6433-20>
25. American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for design of pavement structures. AASHTO.
26. Carey, W. N., & Irick, P. E. (1960). The pavement serviceability–performance concept. Highway Research Board Bulletin, 250, 40–58. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbulletin/250/250-003.pdf>
27. Transportation Research Board. (1962). The AASHO Road Test: Report 5 — Pavement research (Special Report 61). TRB. <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr61f.pdf>
28. Federal Highway Administration. (2003). Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (FHWA-RD-03-031). FHWA. <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/28612>
29. Hall, K. D., & Correa, C. E. (1999). Estimation of present serviceability index from international roughness index. Transportation Research Record, 1655, 93-99. <https://doi.org/10.3141/1655-13>

30. Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE). (2013). Normas Ecuatorianas de Vialidad (NEVI-12), Volumen 2A: Normas para estudios viales. MTOPE. https://www.mit.gov.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
31. AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.
32. Consejo Técnico de Uso y Gestión de Suelo. (2019). Norma técnica para los contenidos mínimos del PDOT y PUGS (Res. 003-CTUGS-2019). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
33. Ecuador, Asamblea Nacional. (2010, act.). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). Registro Oficial.
34. Ecuador, Asamblea Nacional. (2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo (LOOTUGS). Registro Oficial.
35. INEC. (2023). Censo de Población y Vivienda 2022: Tabulados y densidad poblacional (entrega 1). Instituto Nacional de Estadística y Censos.
36. INEC. (2024). Censo de Población y Vivienda 2022: Presentación nacional (segunda entrega). Instituto Nacional de Estadística y Censos.
37. INEC. (2025). Proyecciones poblacionales 2001–2035 (nacional, provincial y cantonal). Instituto Nacional de Estadística y Censos.
38. MIDUVI. (2020). Normas técnicas para PUGS/PDOT (Res. 005 y 010). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
39. MTOPE. (2018). Lineamientos para la gestión y conservación de la Red Vial Estatal. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.
40. Secretaría Nacional de Planificación. (2023). Guía para la formulación/actualización de los PDOT 2023–2027. Secretaría Nacional de Planificación.

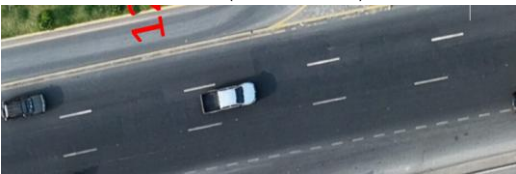
6. Anexos.

6.1. Inventario de fallas.

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 060	CHONGON - GYE	D	PARCHE	50.457
	KM 12 + 060	CHONGON - GYE	C	PARCHE	15.265
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 400	GYE - CHONGON	D	PARCHE	25.422
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 470	GYE - CHONGON	D	PARCHE	1.059
	KM 12 + 470	GYE - CHONGON	D	PARCHE	1.043
	KM 12 + 480	GYE - CHONGON	D	PARCHE	1.107
	KM 12 + 480	GYE - CHONGON	D	PARCHE	1.059
	KM 12 + 480	GYE - CHONGON	D	PARCHE	1.601
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 840	GYE - CHONGON	D	PARCHE	9.42
	KM 12 + 840	GYE - CHONGON	D	PARCHE	33.064
	KM 12 + 840	GYE - CHONGON	C	PARCHE	7.543
	KM 12 + 840	GYE - CHONGON	I	PARCHE	0.779
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 860	GYE - CHONGON	D	PARCHE	26.009
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 880	GYE - CHONGON	D	PARCHE	4.725
	KM 12 + 880	GYE - CHONGON	C	PARCHE	2.807
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 12 + 920	GYE - CHONGON	D	PARCHE	38.378
	KM 12 + 920	GYE - CHONGON	C	PARCHE	151.927
	KM 12 + 920	GYE - CHONGON	I	PARCHE	110.304


Ilustración 66: INVENTARIO DE FALLAS 1

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 12 + 940	CHONGON - GYE	D	PARCHE	26.137	
KM 12 + 940	CHONGON - GYE	C	PARCHE	142.993	
KM 12 + 940	CHONGON - GYE	I	PARCHE	12.702	

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



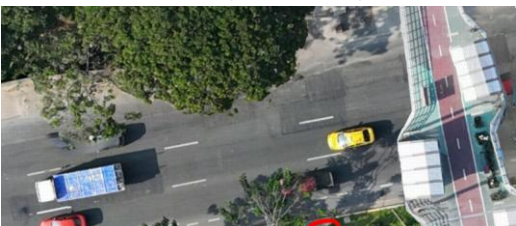
ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 12 + 960	GYE - CHONGON	I	PARCHE	2.406	
KM 12 + 960	GYE - CHONGON	C	PARCHE	2.928	
KM 12 + 980	GYE - CHONGON	D	PARCHE	113.583	
KM 12 + 980	GYE - CHONGON	D	PARCHE	9.532	
KM 12 + 980	GYE - CHONGON	C	PARCHE	45.422	
KM 12 + 980	GYE - CHONGON	I	PARCHE	27.659	

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)




ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 12 + 990	CHONGON - GYE	I	PARCHE	9.244	
KM 13 + 020	CHONGON - GYE	C	PARCHE	171.314	
KM 13 + 040	CHONGON - GYE	D	PARCHE	52.726	

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)




ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 13 + 020	GYE - CHONGON	D	PARCHE	27.758	
KM 13 + 040	GYE - CHONGON	D	PARCHE	21.406	
KM 13 + 040	GYE - CHONGON	D	PARCHE	10.654	
KM 13 + 040	GYE - CHONGON	C	PARCHE	7.482	
KM 13 + 060	GYE - CHONGON	C	PARCHE	24.019	
KM 13 + 060	GYE - CHONGON	I	PARCHE	9.58	

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)




ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 13 + 080	GYE - CHONGON	C	PARCHE	25.918	
KM 13 + 080	GYE - CHONGON	I	PARCHE	6.004	

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 13 + 120	GYE - CHONGON	C	PARCHE	33.605	

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
KM 13 + 140	GYE - CHONGON	C	PARCHE	39.874	
KM 13 + 140	GYE - CHONGON	C	PARCHE	17.126	

Ilustración 67: INVENTARIO DE FALLAS 2

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM 13 + 160	CHONGON - GYE	I	PARCHE	5.269	
	KM 13 + 180	CHONGON - GYE	C	PARCHE	158.834	
	KM 13 + 180	CHONGON - GYE	D	PARCHE	83.117	
	KM 13 + 180	GYE - CHONGON	C	PARCHE	27.865	
	KM 13 + 180	GYE - CHONGON	I	PARCHE	2.397	
	KM 13 + 220	CHONGON - GYE	C	PARCHE	25.072	
	KM 13 + 220	CHONGON - GYE	D	PARCHE	27.597	
	KM 13 + 340	CHONGON - GYE	C	PARCHE	124.994	
	KM 13 + 360	CHONGON - GYE	D	PARCHE	127.02	
	KM 13 + 410	CHONGON - GYE	D	PARCHE	39.705	
	KM 13 + 450	GYE - CHONGON	C	PARCHE	1.203	
	KM 13 + 450	GYE - CHONGON	C	PARCHE	9.4771	
	KM 13 + 470	GYE - CHONGON	C	PARCHE	10.7	
	KM 13 + 470	GYE - CHONGON	D	PARCHE	36.288	
	KM 13 + 490	GYE - CHONGON	C	PARCHE	30.021	
	KM 13 + 490	GYE - CHONGON	D	PARCHE	43.306	

Ilustración 68: INVENTARIO DE FALLAS 3

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM 13 + 520	GYE - CHONGON	C	PARCHE	21.531	
	KM 13 + 530	GYE - CHONGON	C	PARCHE	2.322	
	KM 13 + 540	GYE - CHONGON	C	PARCHE	36.332	
	KM 13 + 580	GYE - CHONGON	D	PARCHE	57.619	
	KM 13 + 600	GYE - CHONGON	C	PARCHE	55.603	
	KM 13 + 602	GYE - CHONGON	D	PARCHE	3.676	
	KM 13 + 700	GYE - CHONGON	D	PARCHE	23.073	
	KM 13 + 740	GYE - CHONGON	D	PARCHE	21.085	
	KM 13 + 780	GYE - CHONGON	C	PARCHE	48.772	
	KM 13 + 800	GYE - CHONGON	D	PARCHE	12.553	
	KM 13 + 800	GYE - CHONGON	C	PARCHE	20.661	

Ilustración 69: INVENTARIO DE FALLAS 4

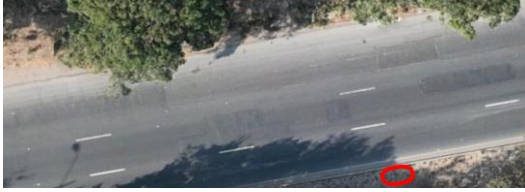





REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM13+810	GYE - CHONGON	C	PARCHE	15.302	
	KM13+820	GYE - CHONGON	D	PARCHE	13.334	
	KM13+820	GYE - CHONGON	C	PARCHE	4.796	
	KM13+830	GYE - CHONGON	C	PARCHE	28.827	
	KM13+840	GYE - CHONGON	D	PARCHE	41.486	
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM13+870	GYE - CHONGON	D	PARCHE	16.747	
	KM13+880	GYE - CHONGON	D	PARCHE	24.241	
	KM13+880	GYE - CHONGON	C	PARCHE	53.543	
	KM13+900	GYE - CHONGON	D	PARCHE	4.537	
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM13+920	GYE - CHONGON	D	PARCHE	16.668	
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM13+940	CHONGON - GYE	D	PARCHE	35.997	
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM13+960	GYE - CHONGON	D	PARCHE	34.91	
	KM13+960	GYE - CHONGON	C	PARCHE	58.935	
	KM13+960	GYE - CHONGON	I	PARCHE	5.53	
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA	(m ²)
	KM13+980	GYE - CHONGON	D	PARCHE	41.171	

Ilustración 70: INVENTARIO DE FALLAS 5

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 13 + 980	CHONGON - GYE	D	PARCHE	7.37
	KM 13 + 980	CHONGON - GYE	C	PARCHE	76.431
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 000	GYE - CHONGON	D	PARCHE	29.46
	KM 14 + 000	GYE - CHONGON	D	PARCHE	12.132
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 120	GYE - CHONGON	C	PARCHE	40.449
	KM 14 + 140	GYE - CHONGON	D	PARCHE	33.007
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 190	GYE - CHONGON	C	PARCHE	55.692
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 230	GYE - CHONGON	C	PARCHE	22.758

Ilustración 71: INVENTARIO DE FALLAS 6

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 240	GYE - CHONGON	I	PARCHE	30.859
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 280	GYE - CHONGON	D	PARCHE	32.297
	KM 14 + 280	GYE - CHONGON	C	PARCHE	55.242
	KM 14 + 281	GYE - CHONGON	I	PARCHE	2.592
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 300	GYE - CHONGON	D	PARCHE	16.956
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 340	GYE - CHONGON	C	PARCHE	46.006
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 380	GYE - CHONGON	C	PARCHE	58.647
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 460	CHONGON - GYE	D	PARCHE	33.885

Ilustración 72: INVENTARIO DE FALLAS 7

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
KM 14 + 500	CHONGON - GYE	D	PARCHE	53.016

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
KM 14 + 530	GYE - CHONGON	D	DEFORMACION	20.945

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
KM 14 + 540	GYE - CHONGON	D	DEFORMACION	25.829
KM 14 + 560	GYE - CHONGON	D	PARCHE	18.848

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
KM 14 + 540	CHONGON - GYE	D	PARCHE	12.481

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
KM 14 + 580	CHONGON - GYE	D	PARCHE	54.616

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)



ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
KM 14 + 600	CHONGON - GYE	D	PARCHE	12.290
KM 14 + 600	CHONGON - GYE	D	PARCHE	22.182

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 620	GYE - CHONGON	C	PARCHE	33.465
	KM 14 + 640	CHONGON - GYE	C	PARCHE	51.106
	KM 14 + 720	CHONGON - GYE	D	PARCHE	14.824
	KM 14 + 720	CHONGON - GYE	D	PARCHE	30.912
	KM 14 + 760	GYE - CHONGON	D	PARCHE	89.114
	KM 14 + 760	GYE - CHONGON	C	PARCHE	75.107
	KM 14 + 760	GYE - CHONGON	I	PARCHE	20.787
	KM 14 + 760	CHONGON - GYE	D	DEFORMACION	45.479
	KM 14 + 780	CHONGON - GYE	D	DEFORMACION	54.933

Ilustración 74: INVENTARIO DE FALLAS 9

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 820	GYE - CHONGON	C	PARCHE	60.238
	KM 14 + 820	CHONGON - GYE	D	DEFORMACION	38.701
	KM 14 + 840	GYE - CHONGON	D	PARCHE	91.544
	KM 14 + 840	CHONGON - GYE	C	PARCHE	43.149
	KM 14 + 860	GYE - CHONGON	D	PARCHE	19.199
	KM 14 + 860	GYE - CHONGON	C	PARCHE	69.517
	KM 14 + 860	CHONGON - GYE	D	AHUELLAMIENTO	7.468
	KM 14 + 860	CHONGON - GYE	C	AHUELLAMIENTO	18.685

Ilustración 75: INVENTARIO DE FALLAS 10

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 880	GYE - CHONGON	D	PARCHE	54.791
	KM 14 + 880	GYE - CHONGON	C	PARCHE	60.699
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 900	GYE - CHONGON	C	PARCHE	68.346
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 900	CHONGON - GYE	D	AHUELLAMIENTO	7.468
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 920	GYE - CHONGON	D	PARCHE	39.067
	KM 14 + 920	GYE - CHONGON	C	PARCHE	4.287
	KM 14 + 920	GYE - CHONGON	I	PARCHE	13.448
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 920	CHONGON - GYE	D	PARCHE	43.282
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 940	GYE - CHONGON	D	PARCHE	34.400
	KM 14 + 940	GYE - CHONGON	C	PARCHE	29.622
	KM 14 + 940	GYE - CHONGON	C	PARCHE	6.855
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 940	CHONGON - GYE	D	AHUELLAMIENTO	1.389
	KM 14 + 940	CHONGON - GYE	D	AHUELLAMIENTO	34.071

Ilustración 76: INVENTARIO DE FALLAS 11







REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 960	GYE - CHONGON	D	AHUELLAMIENTO	40.410
	KM 14 + 960	GYE - CHONGON	C	PARCHE	6.949
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 960	CHONGON - GYE	D	PARCHE	89.733
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 14 + 980	GYE - CHONGON	D	PARCHE	17.367
	KM 14 + 980	GYE - CHONGON	D	PARCHE	11.070
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 000	GYE - CHONGON	D	PARCHE	30.455
	KM 15 + 000	GYE - CHONGON	C	PARCHE	45.572
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 000	GYE - CHONGON	D	PARCHE	45.985
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 120	GYE - CHONGON	D	PARCHE	59.277

Ilustración 77: INVENTARIO DE FALLAS 12

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 140	GYE - CHONGON	D	PARCHE	11.806
	KM 15 + 160	GYE - CHONGON	D	PARCHE	25.220
	KM 15 + 280	GYE - CHONGON	D	PARCHE	7.614
	KM 15 + 320	GYE - CHONGON	D	PARCHE	23.116
	KM 15 + 340	GYE - CHONGON	D	PARCHE	0.915

Ilustración 78: INVENTARIO DE FALLAS 13


REGISTRO (FOTOGAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 380	GYE - CHONGON	D	PARCHE	18.902
	KM 15 + 420	GYE - CHONGON	D	PARCHE	20.912
	KM 15 + 480	GYE - CHONGON	D	PARCHE	11.742
	KM 15 + 520	GYE - CHONGON	D	PARCHE	3.249
	KM 15 + 560	GYE - CHONGON	D	PARCHE	12.592
	KM 15 + 600	GYE - CHONGON	D	PARCHE	12.430
	KM 15 + 720	GYE - CHONGON	D	PARCHE	14.923

Ilustración 79: INVENTARIO DE FALLAS 14

REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 760	GYE - CHONGON	D	PARCHE	14.923
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 810	GYE - CHONGON	D	PARCHE	17.300
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 910	GYE - CHONGON	D	PARCHE	15.503
	KM 15 + 910	GYE - CHONGON	D	PARCHE	2.854
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 15 + 960	GYE - CHONGON	D	PARCHE	58.228
REGISTRO (FOTOGRAMETRIA)	ABSISA	SENTIDO	CARRIL	TIPO DE FALLA	AREA (m ²)
	KM 16 + 000	GYE - CHONGON	D	PARCHE	25.295

Ilustración 80: INVENTARIO DE FALLAS 15

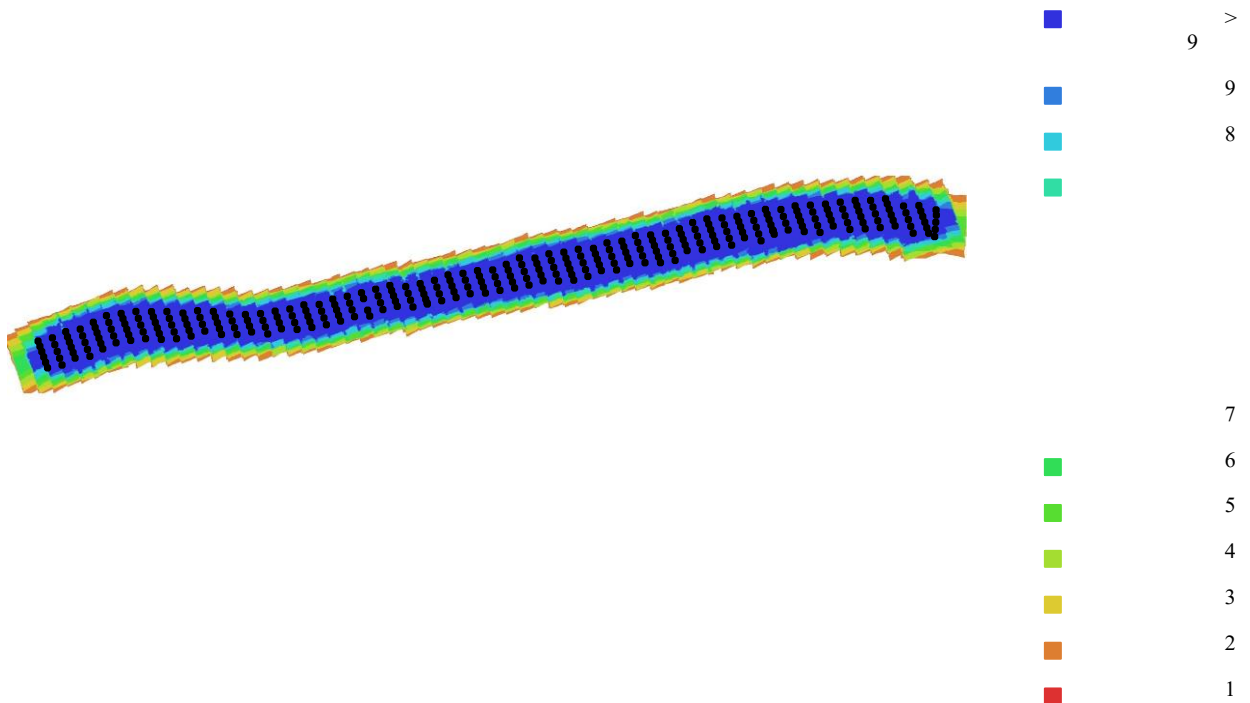
6.2. Informe de calidad Agisoft MetaShape.

E40 KILOMETRO 12 AL 16

Informe de procesamiento 12 January 2026



6.2.1. Datos del levantamiento



1.00 km




Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 311	Imágenes alineadas: 311
Altitud media de vuelo: 235 m	Puntos de paso: 290,239
Resolución en terreno: 6.03 cm/pix	Proyecciones: 1,204,884
Área cubierta: 2.31 km ²	Error de reproyección: 0.876 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M4E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

6.2.2. Calibración de cámara

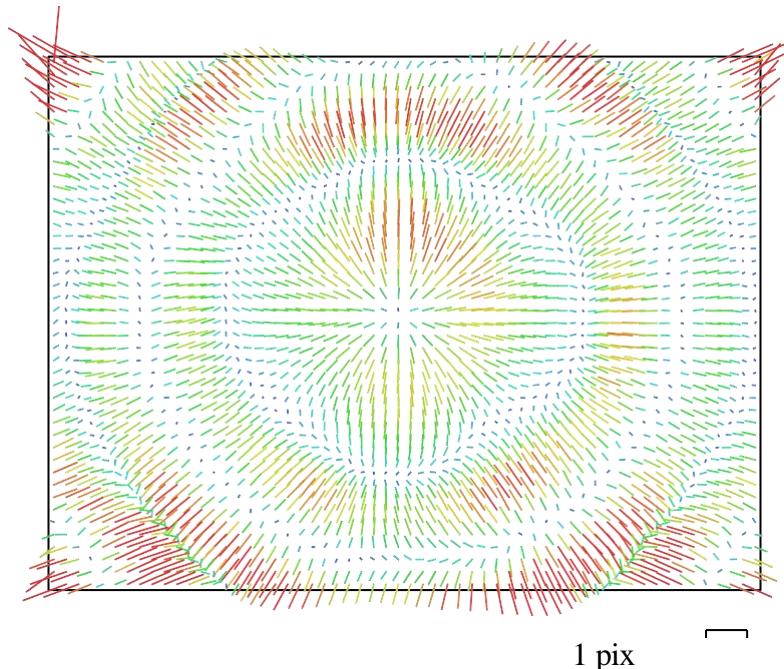


Fig. 2. Gráfico de residuales para M4E (12.29mm).

M4E (12.29mm)

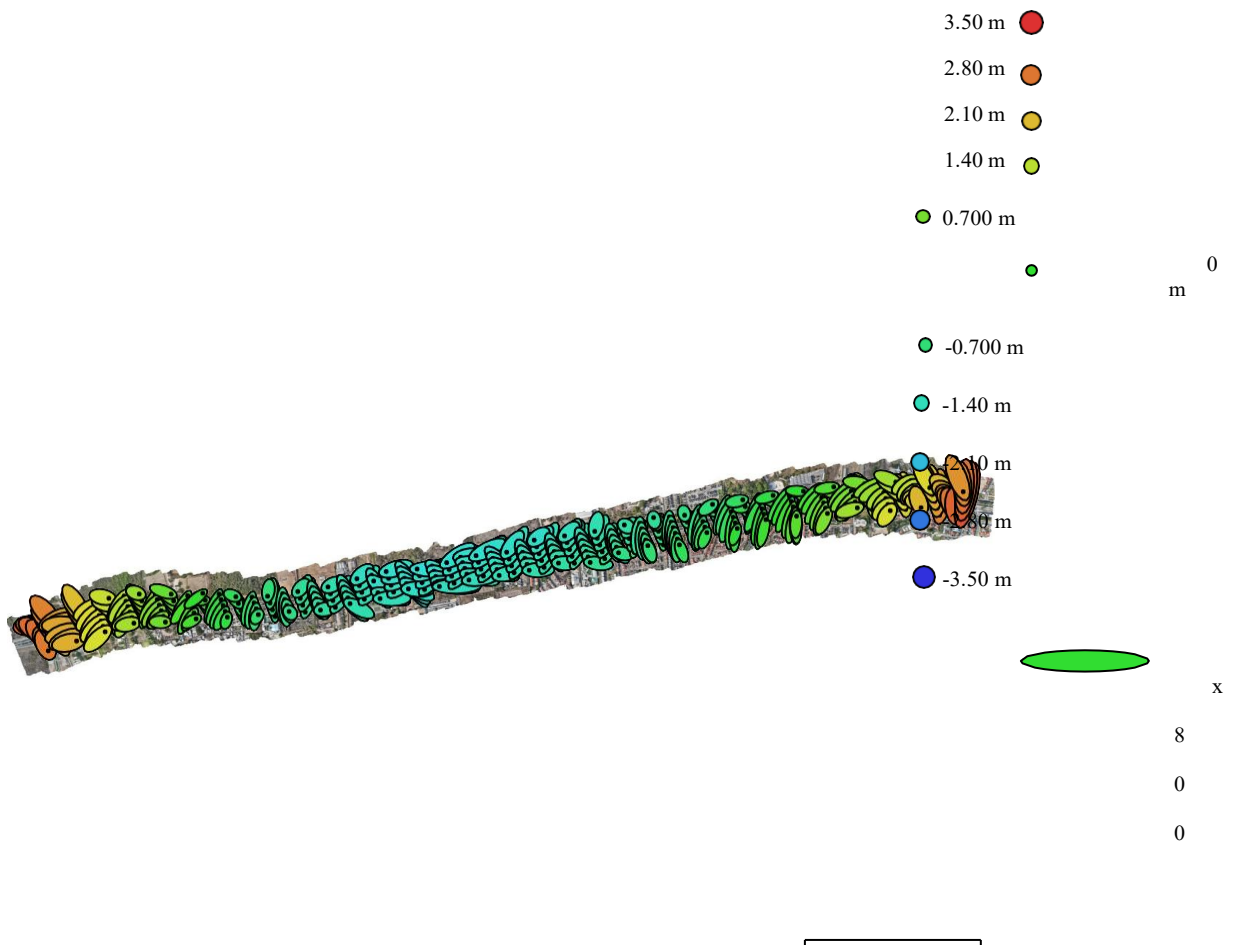
311 imágenes, precalibrada

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3745.56	11	1.00	0.85	0.77	-1.00	-0.41	-0.99	-0.90	-0.89
Cx	19.8309	0.1		1.00	0.67	-0.85	-0.35	-0.84	-0.94	-0.76
Cy	-18.9562	0.066			1.00	-0.77	-0.30	-0.77	-0.71	-0.91
K1	-0.108979	0.00062				1.00	0.38	0.99	0.90	0.88
K2	-0.00199812	5.2e-05					1.00	0.29	0.37	0.36
K3	-0.016153	0.00028						1.00	0.89	0.88
P1	-0.000304005	4.4e-06							1.00	0.81
P2	-0.000380071	3.2e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

6.2.3. Posiciones de cámaras



1.00 km

Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
0.0893466	0.121931	1.35265	0.151162	1.36107

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

6.2.4. Modelo digital de elevaciones.

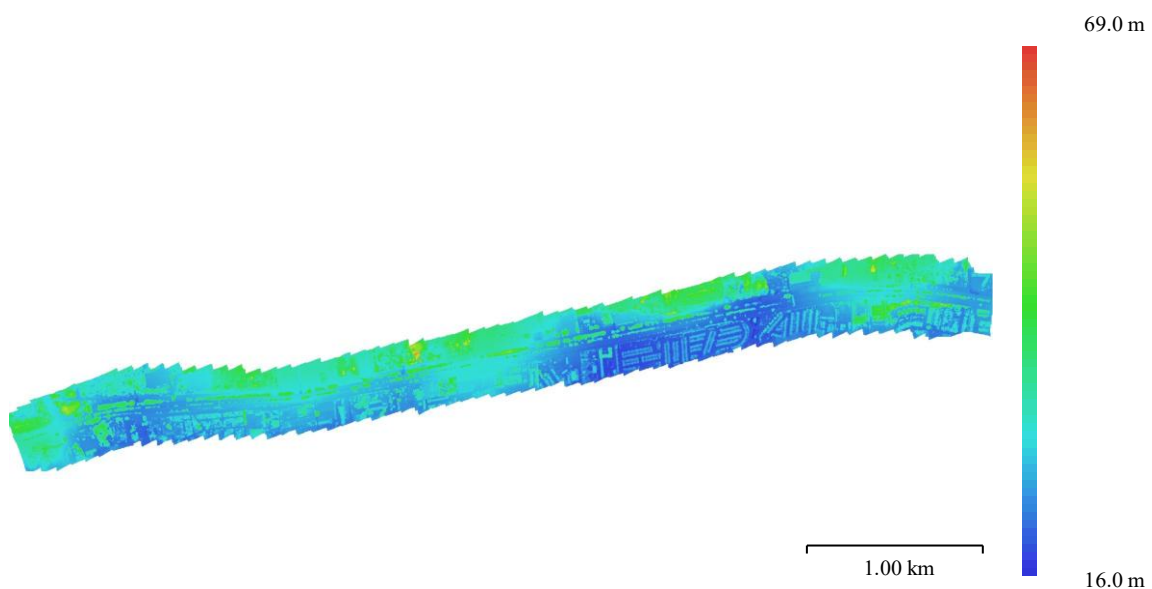


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:

6.03 cm/pix Densidad de
puntos:

275 puntos/m²

6.2.5. Parámetros de procesamiento

Generales

Imágenes	311
Imágenes alineadas	311
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Formas

Cadena poligonal	558525
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)

Puntos de paso

Puntos	290,239 de 311,605
Colores de puntos	3 bandas, uint8
RMS error de reproyección	0.336916 (0.875769 pix)
Error de reproyección máximo	1.01348 (49.6818 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.42949 pix
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	4.24187

Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	40,000
Límite de puntos clave por megapixel	1,000

Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	2 minutos 33 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	4
97.82 MB	
Tiempo de orientación	1 minuto 1 segundo
Uso de memoria durante el alineamiento	628.46 MB
Fecha de creación	2025:12:26 19:53:12
Versión del programa	2.2.2.21287
Tamaño de archivo	27.74 MB

Mapas de profundidad

Número	311
--------	-----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Extra alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	47 minutos 56 segundos
Uso de memoria	11.51 GB
Fecha de creación	2025:12:26 20:44:06
Versión del programa	2.2.2.21287
Tamaño de archivo	7.90 GB

Nube de puntos

Puntos	748,110,738
Precisión de las coordenadas	1.51 cm

Atributos de los puntos

Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	1 – 23

Clases de puntos

Creado (nunca clasificado)	748,110,738
----------------------------	-------------

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Extra alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	47 minutos 56 segundos
Uso de memoria	11.51 GB

Parámetros de generación de la nube de puntos

Origen de datos	Mapas de profundidad
Tiempo de procesamiento	1 hora 13 minutos
Uso de memoria	14.22 GB

Parámetros de clasificación de puntos de terreno

Ángulo máximo (deg)	10
Ángulo máximo de pendiente del terreno (deg)	10
Distancia máxima (m)	1
Tamaño de célula (m)	50
Tiempo de clasificación	30 minutos 44 segundos
Uso de memoria durante la clasificación	8.09 GB
Fecha de creación	2025:12:27 02:42:17
Versión del programa	2.2.2.21287
Tamaño de archivo	10.54 GB

Modelo

Caras	123,653,019
Vértices	61,839,988
Colores de vértices	Ninguno
Textura	8,192 x 8,192 x 33, 3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Extra alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	47 minutos 56 segundos
Uso de memoria	11.51 GB

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	57 minutos 5 segundos
Uso de memoria	16.12 GB

Parámetros de texturizado

Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	8,192
Tamaño de píxel (m)	0.05
Habilitar el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí
Tiempo de mapeado en UV	4 minutos 7 segundos
uso de memoria para mapa UV	15.67 GB
Tiempo de mezcla	57 minutos 27 segundos
Uso de memoria durante la mezcla	38.81 GB
Fecha de creación	2025:12:26 21:39:44
Versión del programa	2.2.2.21287
Tamaño de archivo	8.30 GB

MDE

Tamaño	92,994 x 20,450
Resolución	6.03 cm/pix
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)

Parámetros de reconstrucción

Origen de datos	Nube de puntos
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	3 minutos 23 segundos
Uso de memoria	320.58 MB
Fecha de creación	2025:12:27 07:46:15
Versión del programa	2.2.2.21287
Tamaño de archivo	2.76 GB

Ortomosaico

Tamaño	112,188 x 24,642
Resolución	5.00 cm/pix
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Colores	3 bandas, uint8
Ortofotos individuales	3.77 GB

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	23 minutos 40 segundos
Uso de memoria	6.34 GB
Fecha de creación	2025:12:26 22:07:56
Versión del programa	2.2.2.21287
Tamaño de archivo	4.79 GB

Sistema

Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.2.2 build 21287
OS	Windows 64 bit
RAM	63.71 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i9-14900HX
GPU(s)	Intel(R) RaptorLake-S Mobile
Graphics Controller	

6.3. Fotografías de vuelo (drone).



6.4. Planos.



PROYECTO: Guano - Vía 140 Km 12+000 al Km 16+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PAVIMENTACIÓN DE
 SECCIONES DE 12+000 A 16+000

CONTENIDO

Planta.
 Esquema de curvas de nivel.
 Perfil Longitudinal.

PROYECTO

Universidad Politécnica
 Salesiana

Puntos de Control		
No. Punto	Elev.	Nota
CP1	26.827.00	779845.172
CP2	26.821.10	778335.500
CP3	26.829.20	779841.881

Área neta de estudio	
Área	11724.087 m ² (1,17 ha)

Tutor: Ing. Carlos Luis Valero Fajardo

RESPONSABILIDAD

Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 1991015309

Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 1860492668

ESCALA

1:1000

FECHA

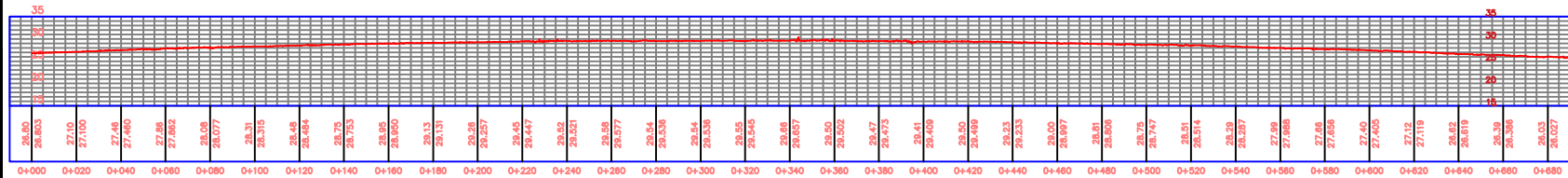
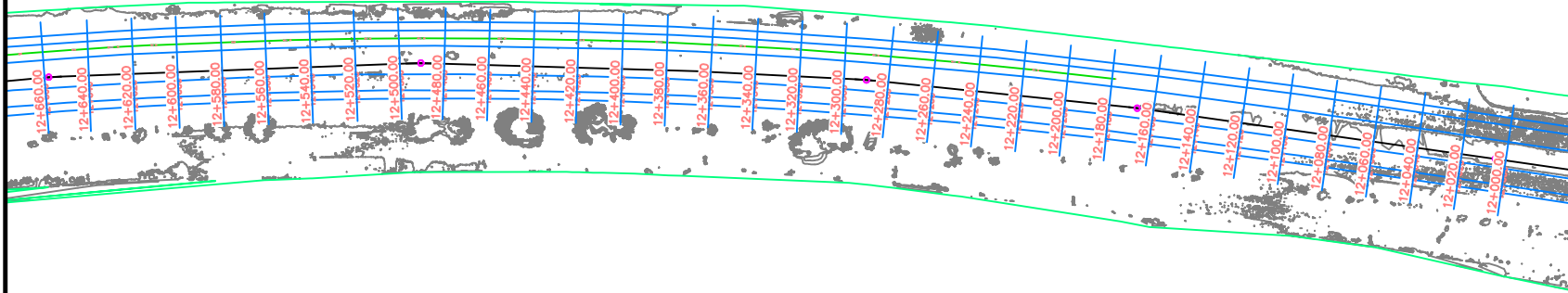
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO

LÁMINA

1/6



26.830	26.803	27.10	27.100	27.46	27.660	27.86	27.862	28.08	28.077	28.31	28.315	28.48	28.484	28.75	28.753	28.95	28.950	29.13	29.131	29.28	29.287	29.45	29.447	29.52	29.521	29.58	29.577	29.54	29.54	29.54	29.54	29.55	29.545	29.68	29.687	29.50	29.502	29.47	29.473	29.41	29.409	29.50	29.499	29.23	29.233	29.00	29.997	29.81	29.808	29.75	29.747	29.51	29.514	29.39	29.387	27.99	27.989	27.68	27.656	27.40	27.405	27.12	27.119	26.62	26.619	26.39	26.386	26.03	26.027
0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000																			



PROVINCIA: Guayas - Via E40 Km 12+000 al Km 16+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA MECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE
 ALIMENTACIÓN DE AGUA POTABLE - ESCOBAR

CONTENIDO
 Planta.
 Esquema de curvas de nivel.
 Perfil Longitudinal.

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Elev.	Nota
CP1	611427.200	779840.773
CP2	626221.418	779835.350
CP3	600879.306	779841.881

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (1,17 ha)

Tutor: Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo

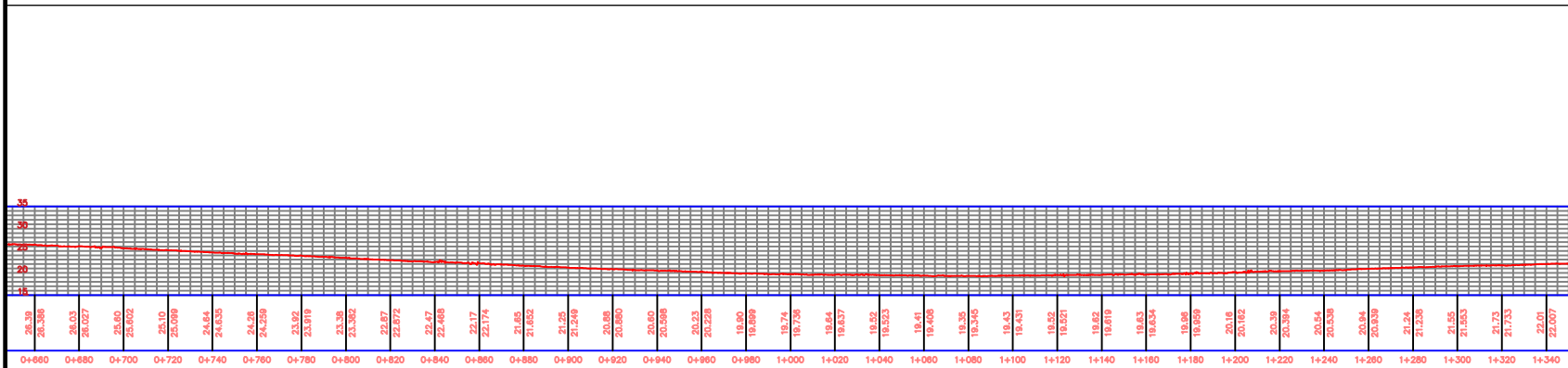
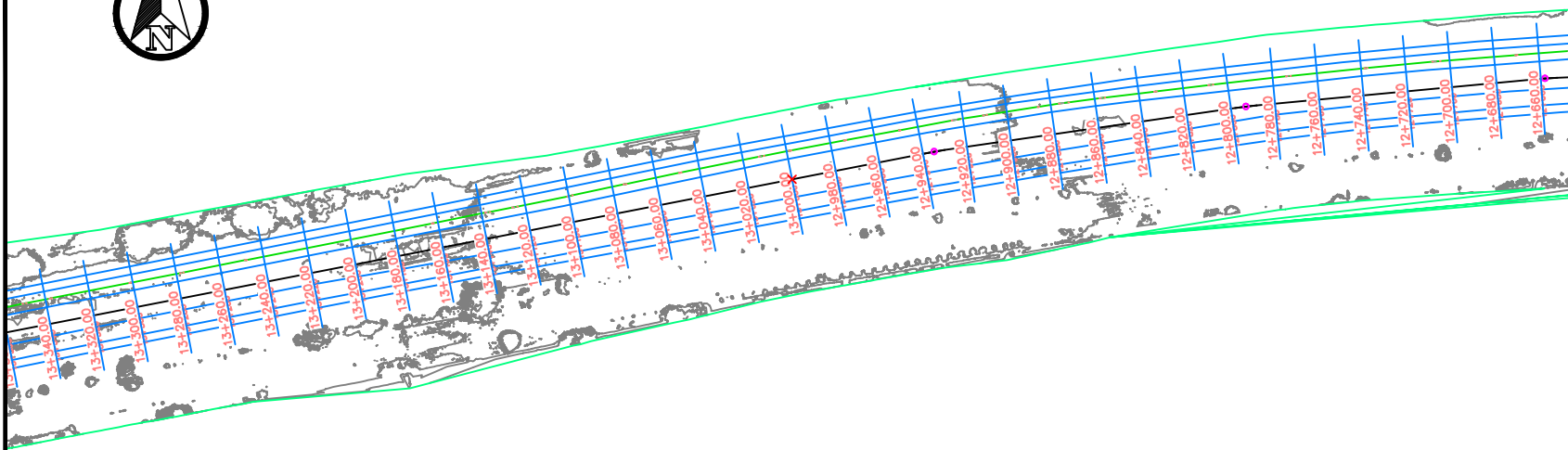
RESPONSABILIDAD
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 09310115309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0064092668

ESCALA
1:1000

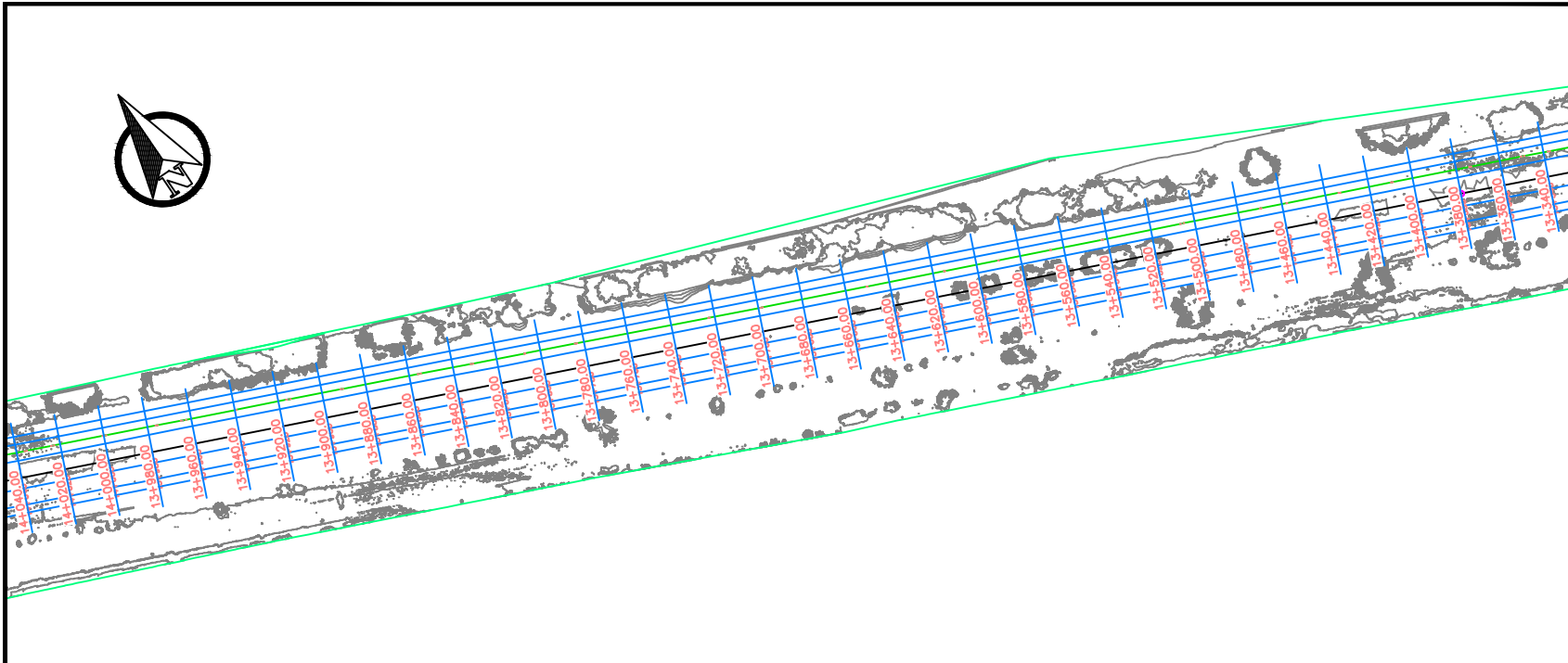
FECHA
Enero/26

DWG - FILE

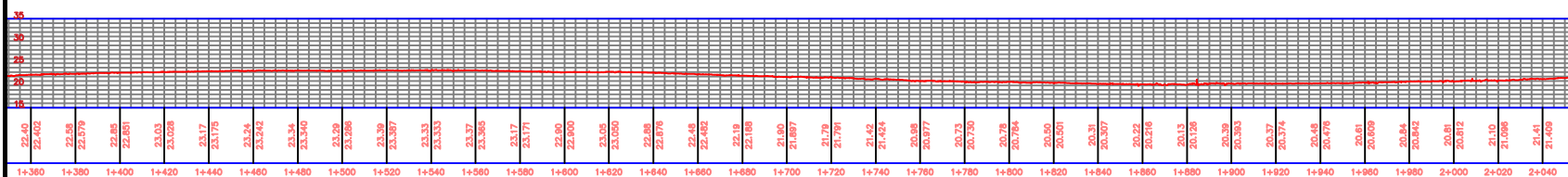
CODIGO
 LAUNA
2/6



26.39	26.38	26.03	26.027	25.60	25.602	25.10	25.098	24.64	24.638	24.28	24.258	23.92	23.919	23.39	23.382	22.87	22.872	22.47	22.468	22.17	22.174	21.85	21.852	21.25	21.248	20.88	20.880	20.60	20.60	20.23	20.228	19.80	19.809	19.74	19.738	19.64	19.637	19.52	19.52	19.41	19.408	19.30	19.30	19.346	19.43	19.431	19.52	19.521	19.62	19.619	19.63	19.634	19.68	19.689	20.18	20.182	20.39	20.394	20.64	20.638	20.84	21.24	21.238	21.85	21.853	21.73	21.733	22.01	22.007
0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000	1+020	1+040	1+060	1+080	1+100	1+120	1+140	1+160	1+180	1+200	1+220	1+240	1+260	1+280	1+300	1+320	1+340																																			



PERFILCHONGONGYE PROFILE



PROYECTO: Caminos - Vía 140 Km 17-000 al Km 18-000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 DISEÑO DE OBRAS DE OBRAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LA OBRERA EN OBRAS DE
 DISEÑO Y HASTA EL 10. CONTIENE: - ESCRIBO

CONTENIDO
 Planta.
 Esquema de curvas de nivel.
 Perfil Longitudinal.

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Elev.	Nota
OP1	21.427.00	770840.171
OP2	20.821.418	770835.358
OP3	20.879.200	770841.881

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (1117 ha)

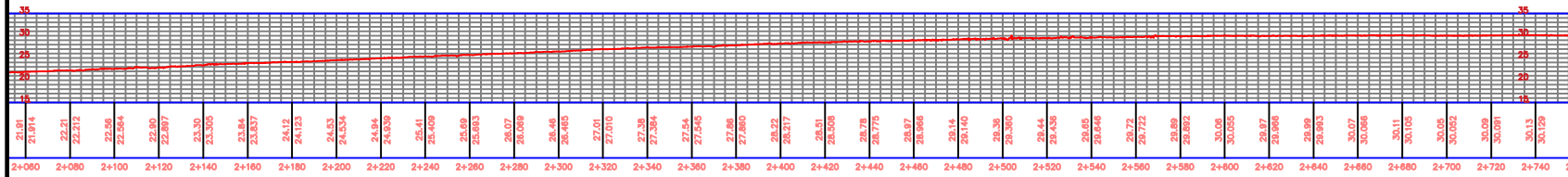
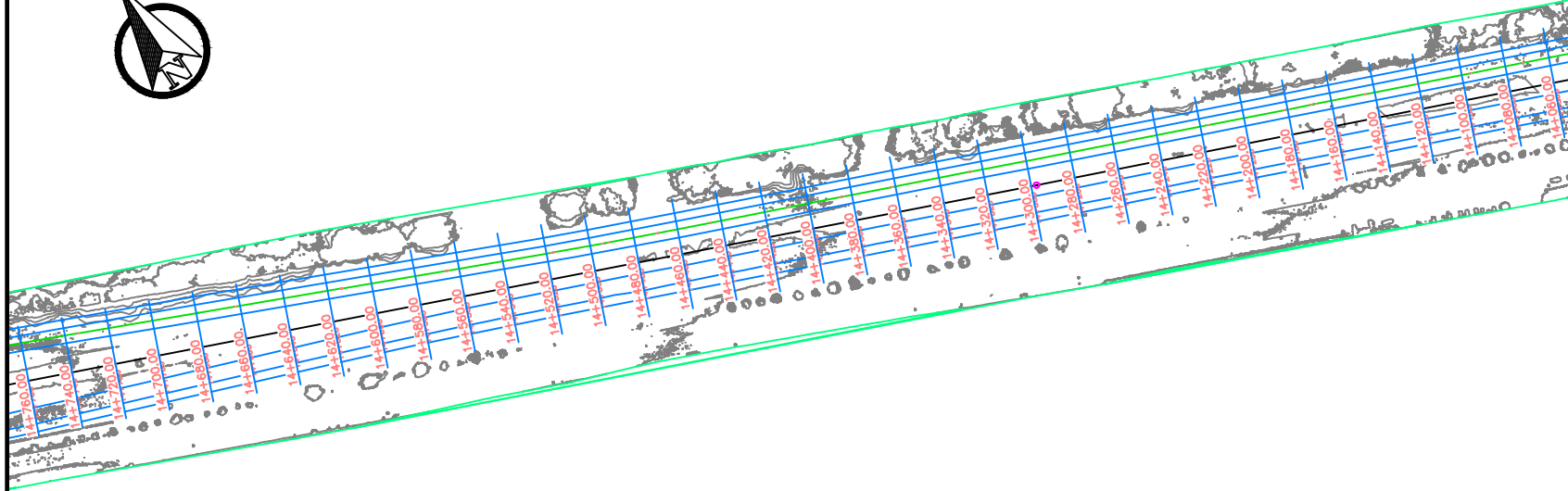
Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

RESPONSABILIDAD	
_____	Kleber Joel Serrano Chávez C.I. 0931015309
_____	Frank Diego Laufer Núñez C.I. 0064092568

ESCALA 1:1000	FECHA Enero/26
-------------------------	--------------------------

DWG - FILE

CODIGO	LÁMINA 3/6
--------	----------------------



2+080	21.814	22.21	22.512	22.864	23.09	23.30	23.505	23.84	24.12	24.125	24.53	24.834	24.94	24.839	25.41	25.409	25.89	25.893	26.07	26.059	26.46	26.465	27.01	27.01	27.38	27.384	27.54	27.545	27.68	27.860	28.22	28.217	28.51	28.508	28.778	28.97	28.966	29.14	29.140	29.36	29.360	29.44	29.438	29.65	29.646	29.72	29.722	29.89	29.892	30.06	30.055	29.97	29.968	29.99	29.993	30.07	30.066	30.11	30.105	30.05	30.052	30.09	30.081	30.13	30.129
-------	--------	-------	--------	--------	-------	-------	--------	-------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	-------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------



PROVINCIA: Guayas - Vía I-40 Km 12-610 al Km 10-000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
SUBSECTOR VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LA AVENIDA EN SECCION DE
KILOMETRO 12 HASTA EL 10, GUAYAS - ECUADOR

CONTENIDO
Planta.
Esquema de curvas de nivel.
Perfil Longitudinal.

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Elev.	Nota
CP1	21.817 (20)	170940.172
CP2	22.821 (19)	171833.358
CP3	26.879 (20)	173961.881

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (1.17 ha)

Tutor: Ing. Carlos Luis
Valero Fajardo

RESPONSABILIDAD
Kleber Joel Serrano Chávez
C.I. 0951015309
Frank Diego Laufer Núñez
C.I. 0864092568

ESCALA
1:1000
FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
LAMINA
4/6



PROVINCIA: Guayas - Vía I-40 Km 12+000 al Km 15+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA MECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LA AVENIDA EN DIRECCIÓN
 NOROCCIDENTAL HASTA EL 16. CONTIENE: - ESCOBAS

CONTENIDO
 Planta.
 Esquema de curvas de nivel.
 Perfil Longitudinal.

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Elev.	Nota
CP1	151127.200	779884.173
CP2	628621.419	778334.346
CP3	608879.206	678941.881

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (11.17 ha)

Tutor: Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo

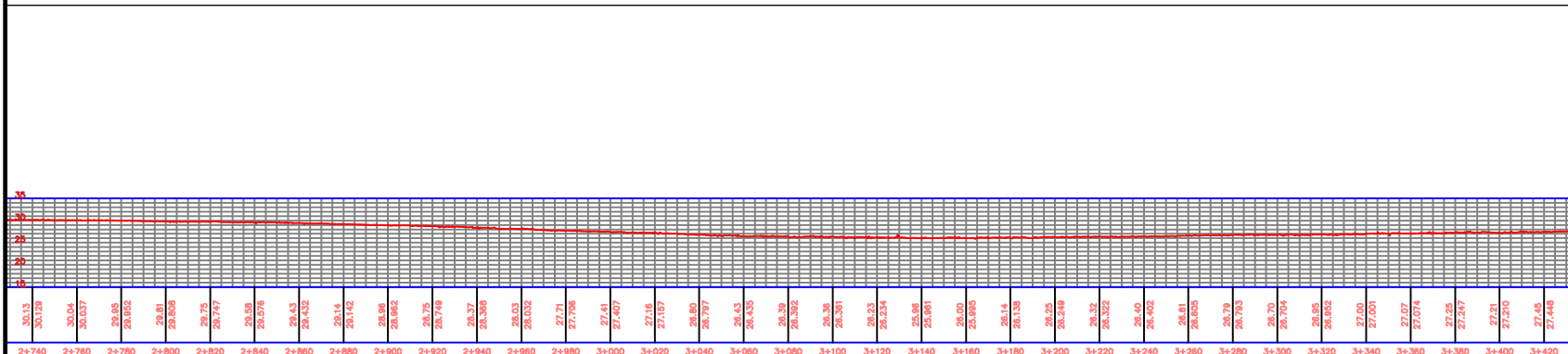
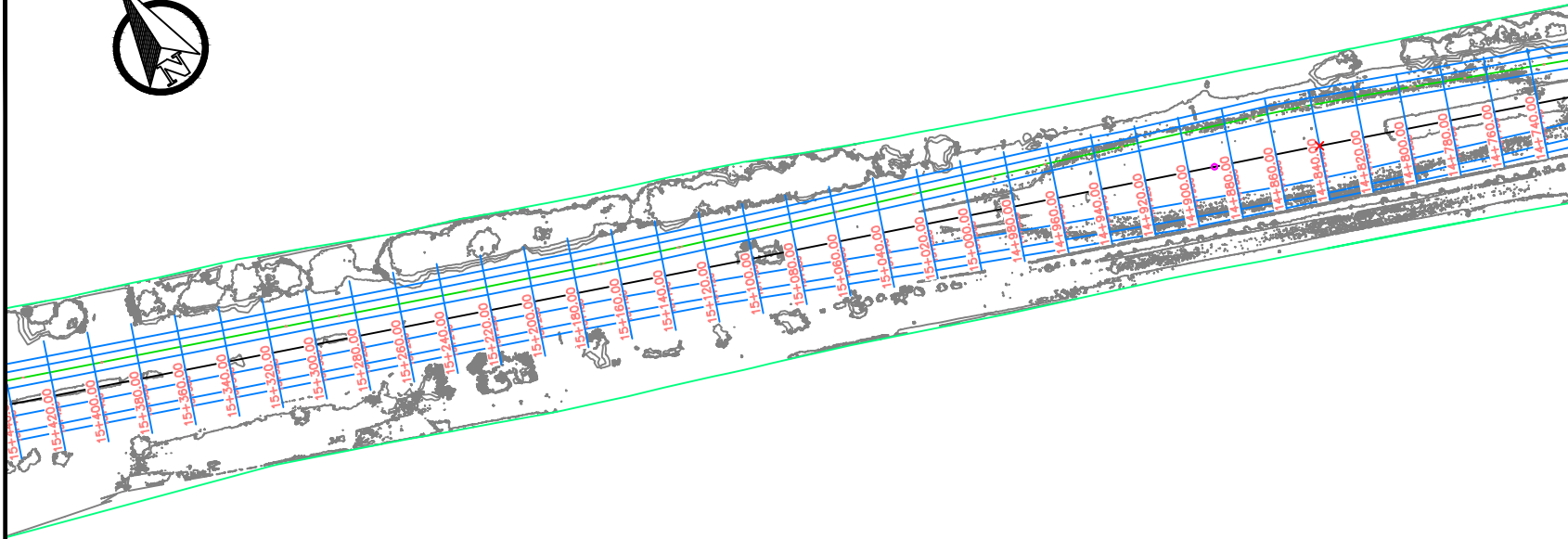
RESPONSABILIDAD
 Kieker Joel Serrano Chávez
 C.I. 9931015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 9864092668

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAJUNA
5/6



30.13	30.128	30.04	30.037	29.952	29.861	29.808	29.747	29.688	29.578	29.432	29.432	29.14	29.142	28.982	28.982	28.75	28.749	28.57	28.388	28.03	28.032	27.71	27.708	27.41	27.407	27.16	27.157	26.80	26.797	26.43	26.435	26.39	26.382	26.38	26.381	26.23	26.224	25.96	25.961	26.00	25.995	26.14	26.138	26.25	26.249	26.32	26.322	26.40	26.402	26.61	26.605	26.79	26.793	26.70	26.704	26.85	26.852	27.00	27.001	27.07	27.074	27.25	27.247	27.51	27.510	27.45	27.448
2+740	2+760	2+780	2+800	2+820	2+840	2+860	2+880	2+900	2+920	2+940	2+960	2+980	3+000	3+020	3+040	3+060	3+080	3+100	3+120	3+140	3+160	3+180	3+200	3+220	3+240	3+260	3+280	3+300	3+320	3+340	3+360	3+380	3+400	3+420																																	



PROVINCIA: Cayapas - Vía E60 Km 12+000 al Km 15+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 SUBSISTEMAS METEOROLÓGICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN DEL AMBIENTE EN EL SECTOR DE
 BILIMBERTA HASTA EL 16 CONTADOR - ECORON

CONTENIDO
 Planta.
 Esquema de curvas de nivel.
 Perfil Longitudinal.

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Cota	Nota
QP1	611627.200	979804.173
QP2	620621.410	978333.330
QP3	600879.200	979841.881

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (11,17 ha)

Tutor: Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo

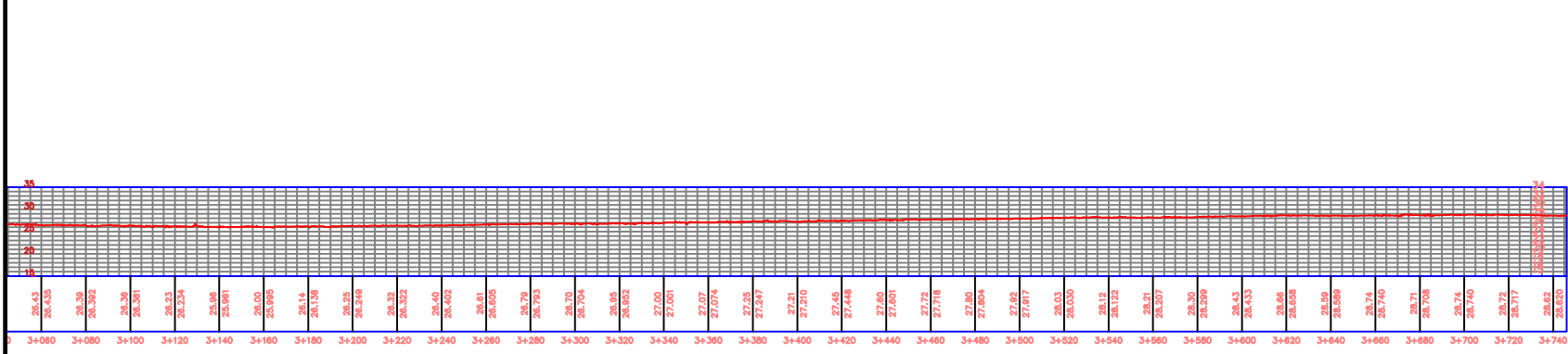
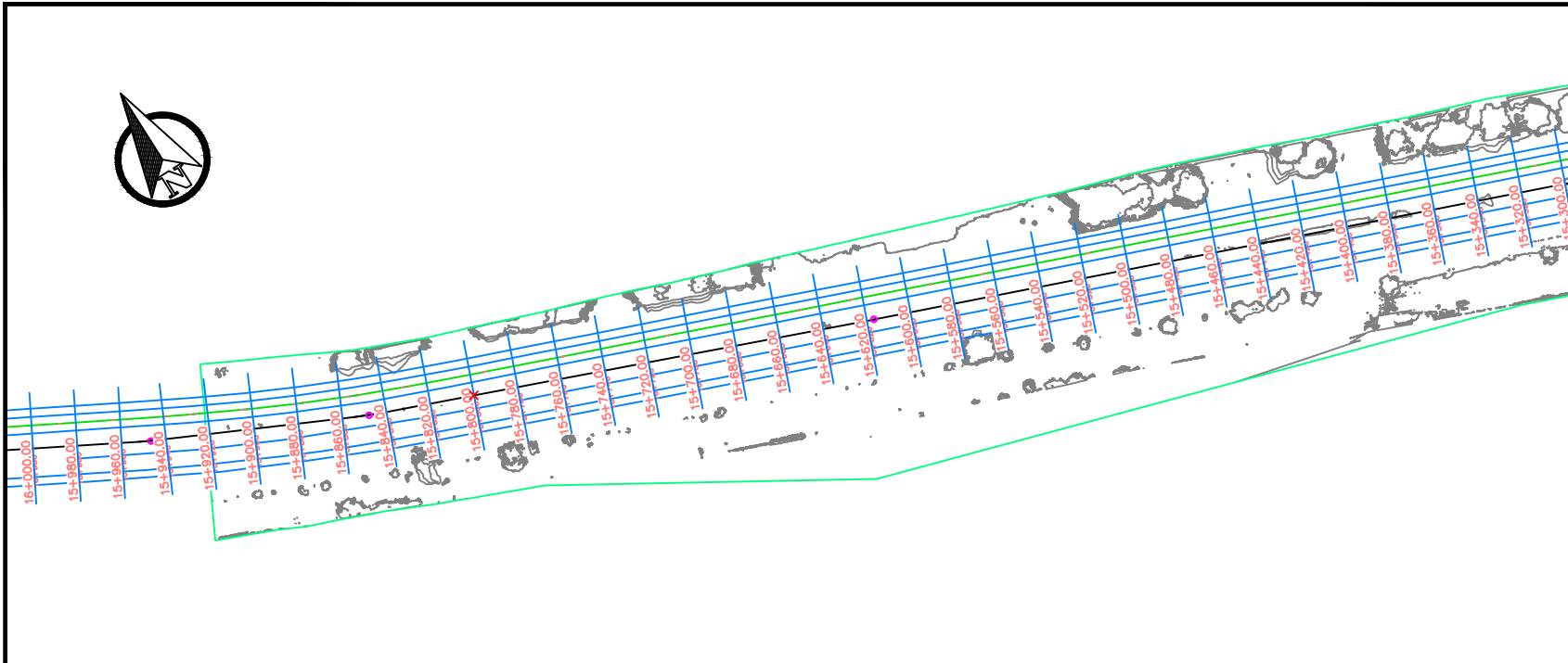
RESPONSABILIDAD
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 0931015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0604092568

ESCALA
1:1000

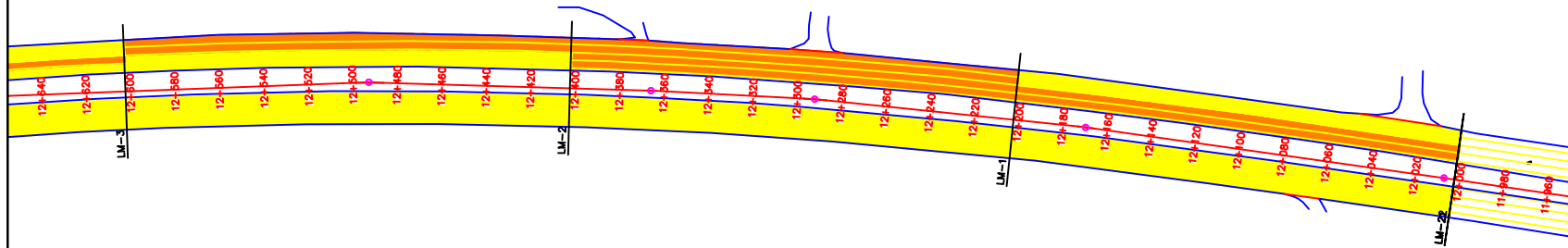
FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAUNA
6/6



28.43	28.439	28.39	28.382	28.36	28.381	28.23	28.234	28.304	28.301	28.00	28.14	28.1138	28.25	28.3249	28.30	28.322	28.445	28.402	28.61	28.609	28.70	28.743	28.70	28.744	28.68	28.682	27.60	27.601	27.67	27.674	27.58	27.582	27.51	27.510	27.45	27.448	27.60	27.601	27.72	27.718	27.80	27.804	27.82	27.817	28.03	28.030	28.12	28.123	28.21	28.207	28.30	28.299	28.43	28.433	28.66	28.659	28.50	28.509	28.74	28.740	28.71	28.708	28.74	28.740	28.72	28.717	28.82	28.820
3+080	3+080	3+100	3+120	3+140	3+160	3+180	3+200	3+220	3+240	3+260	3+280	3+300	3+320	3+340	3+360	3+380	3+400	3+420	3+440	3+460	3+480	3+500	3+520	3+540	3+560	3+580	3+600	3+620	3+640	3+660	3+680	3+700	3+720	3+740																																		



PROVINCIA: Guayas - Vía 140 Km 12+000 al Km 11+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA MECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 NIVEL DE ESTABILIDAD DE LA ROTURA EN LOS
 ELEMENTOS DE HASTA EL 10. CANTON: LAGUNA

CONTENIDO
 Planta
 Mapa de Indicadores PSI
 KM 12+000 - Km 12+600

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control			
No. Punto	Calle	Merlo	
OP1	01027.000	070804.372	
OP2	02021.010	070804.380	
OP3	03029.300	070804.401	

Área neta de estudio	
Área	11978,887 m ² (11,17 ha)

Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

RESPONSABILIDAD
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 0931015309
 Frank Diego Laufer Nález
 C.I. 0604922608

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAMINA
1/7

SUBTRAMO	SENTIDO	CAÑIL	PSI	CAURCACION PSI (MTOPI/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 12+000	GYE - CHONGON	I	2,33	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	C	2,46	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	D	2,55	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,72	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	C	2,63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,89	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 12+200	GYE - CHONGON	I	2,39	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	C	2,31	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	D	2,43	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	2,87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	C	2,85	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,70	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 12+400	GYE - CHONGON	I	2,71	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,45	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	2,93	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	C	2,93	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,51	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo

PSI (MTOPI/NEVI-12)	
5 - 4	EXLENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO



PROYECTO: Guayas - Vía E40 Km 12+000 al Km 13+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 NIVEL DE CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL
 DEL SECTOR 2 HASTA EL 16. CONVIVIR - ESCOBAR

CONTENIDO
 Planta
 Mapa de Indicadores PSI
 KM 13+200 - Km 13+800

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Eje	Nota
OP1	611427.206	679960.172
OP2	628621.419	678335.309
OP3	608879.206	679964.881

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (1,17 ha)

Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

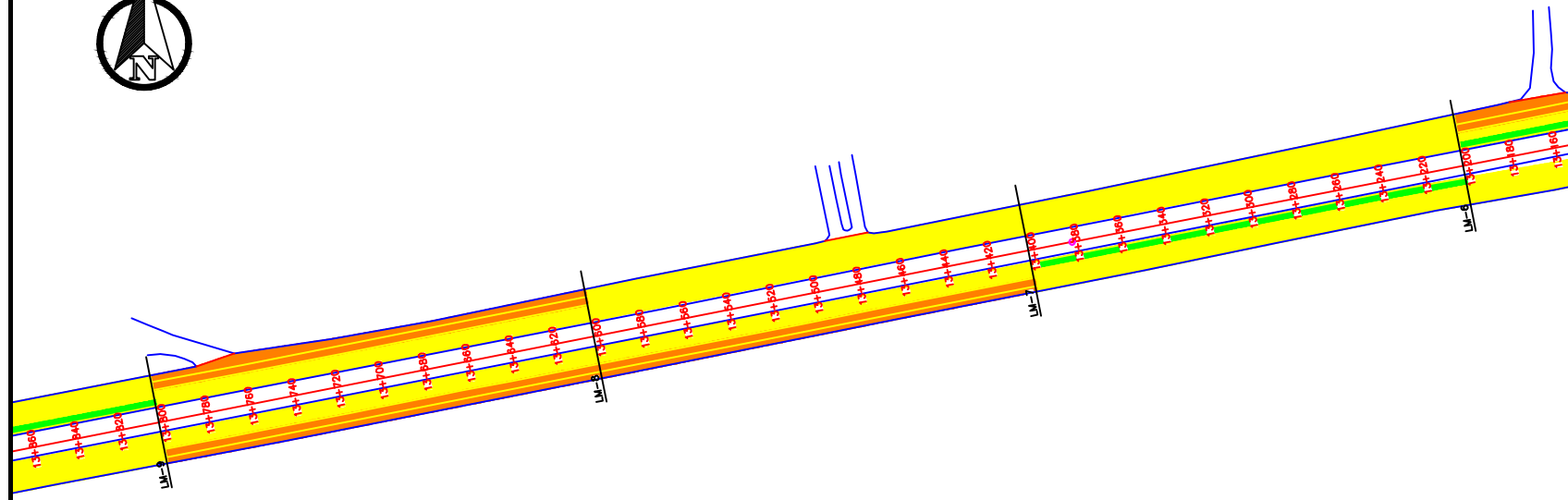
RESPONSABILIDAD
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 09511015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0864092668

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAMINA
3/7



SUBTRAYO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTOP/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 13+200	GYE - CHONGON	I	2,78	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,84	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,76	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+400	CHONGON - GYE	I	3,02	BUENO	Mantenimiento rutinario
	CHONGON - GYE	C	2,73	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,68	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	I	2,78	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+400	GYE - CHONGON	C	2,80	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,67	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+600	CHONGON - GYE	I	2,80	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	C	3,00	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,37	REGULAR	Mantenimiento correctivo
KM 13+600	GYE - CHONGON	I	2,84	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,85	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+800	GYE - CHONGON	D	2,45	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	2,90	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	C	2,97	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,32	REGULAR	Mantenimiento correctivo

PSI (MTOP/NEVI-12)	
5 - 4	EXELENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO



PROVINCIA: Guayas - Vía E40 Km 12+000 al Km 13+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
INGENIERÍA VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
NIVEL DE CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL
DE LA CARRETERA E40 ENTRE EL KM 12+000 Y EL KM 13+000

CONTENIDO
Planta
Mapa de indicadores PSI
KM 12+000 - Km 13+200

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Eje	Nota
CP1	611477.200	979804.172
CP2	628621.410	978333.500
CP3	608879.200	979804.181

Área neta de estudio	
Área	111724.087 m ² (11,17 ha)

Tutor: **Ing. Carlos Luis
Valero Fajardo**

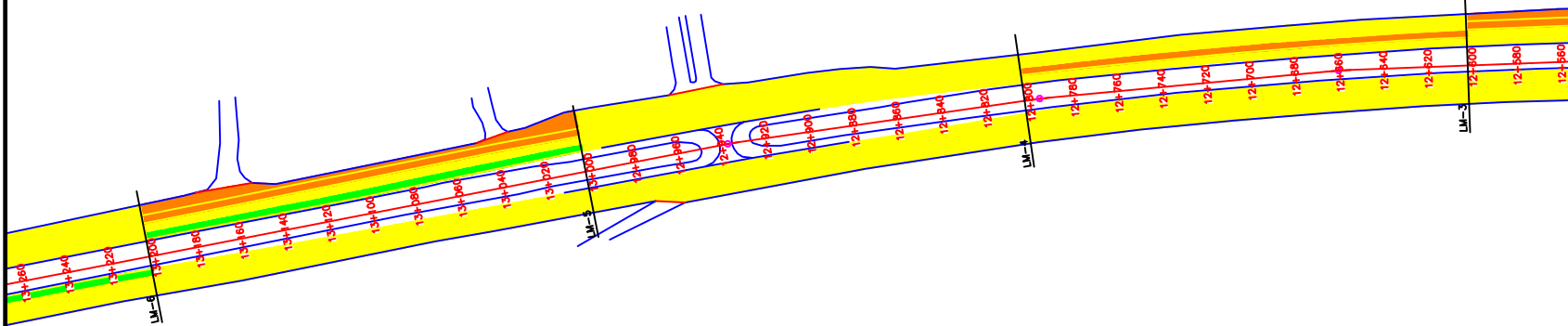
RESPONSABLE
Kleber Joel Serrano Chávez
C.I. 0931015309
Frank Diego Laufer Núñez
C.I. 0604092668

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
LÁMINA
2/1



SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTOPI/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 12+600	GYE - CHONGON	I	2,88	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,45	REGULAR	Mantenimiento correctivo
KM 12+800	GYE - CHONGON	D	2,75	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 12+800	CHONGON - GYE	C	2,86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+000	GYE - CHONGON	I	2,87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,67	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+000	GYE - CHONGON	D	2,73	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+000	CHONGON - GYE	C	2,94	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,92	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+000	GYE - CHONGON	I	3,05	BUENO	Mantenimiento rutinario
	GYE - CHONGON	C	2,89	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+200	GYE - CHONGON	D	2,21	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	2,90	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 13+200	CHONGON - GYE	C	2,75	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,68	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo

PSI (MTOPI/NEVI-12)	
5 - 4	EXELENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO



PROVINCIA: Guayas - Vía E40 Km 12+800 al Km 14+800

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 NIVEL DE CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL
 DEL SECTOR 02 HASTA EL 16, GUAYAS - ECUADOR

CONTENIDO
 Planta
 Mapa de Indicadores PSI
 KM 13+800 - Km 14+800.

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Este	Norte
OP1	611427.266	979860.173
OP2	628621.419	973835.549
OP3	608879.306	979841.881

Área neta de estudio	
Área	11724,087 m ² (1,17 ha)

Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

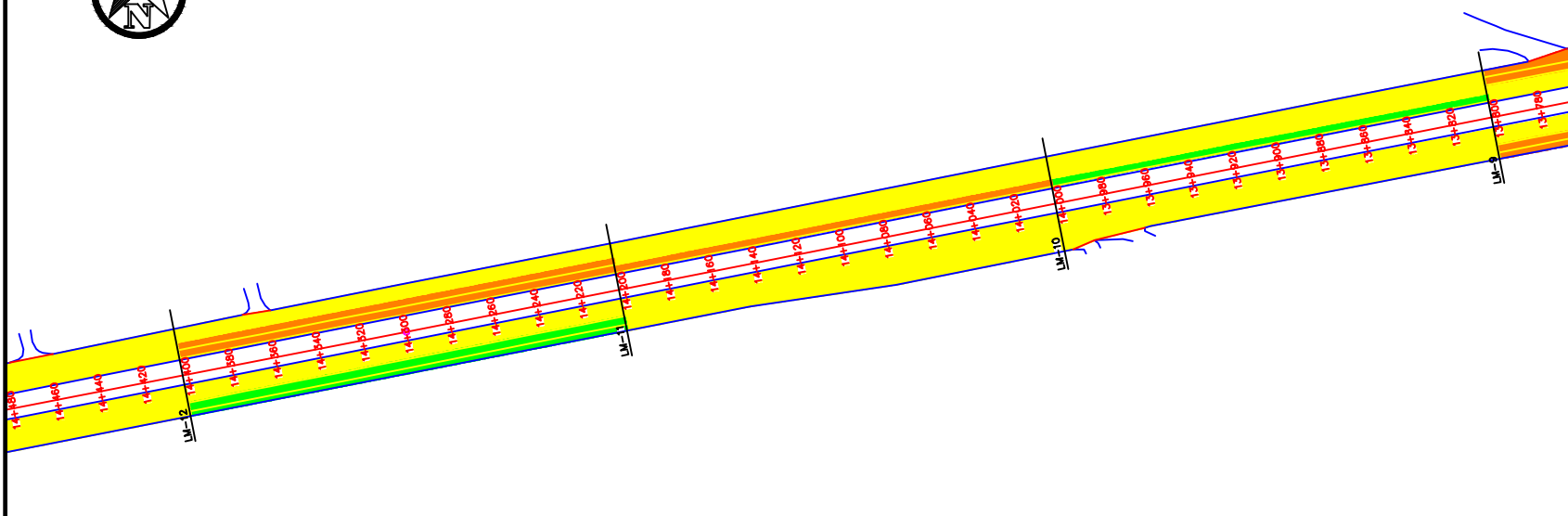
RESPONSABLE
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 0931015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0864092668

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LÁMINA
4/7



SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 13+800	GYE - CHONGON	I	3,06	BUENO	Mantenimiento rutinario
	GYE - CHONGON	C	2,74	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,51	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,93	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+000	CHONGON - GYE	C	2,98	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,64	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+200	GYE - CHONGON	I	2,37	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	C	2,65	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,52	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,95	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+400	CHONGON - GYE	C	2,99	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+800	GYE - CHONGON	I	2,43	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	C	2,12	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	D	2,63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,92	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+800	CHONGON - GYE	C	3,00	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	3,03	BUENO	Mantenimiento rutinario

PSI (MTP/NEVI-12)	
5 - 4	EXLENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO



PROVINCIA: Guayas - Vía E40 Km 12+000 al Km 15+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 NIVEL DE CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL
 DEL KILÓMETRO 12 HASTA EL 15, CONVINO - ESCOBAR

CONTENIDO
 Planta
 Mapa de indicadores PSI
 KM 14+400 - Km 15+000

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Eje	Nota
OP1	011427.200	079801.173
OP2	020621.410	079833.340
OP3	000879.300	079841.801

Área neta de estudio	
Área	111724,087 m ² (11,17 ha)

Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

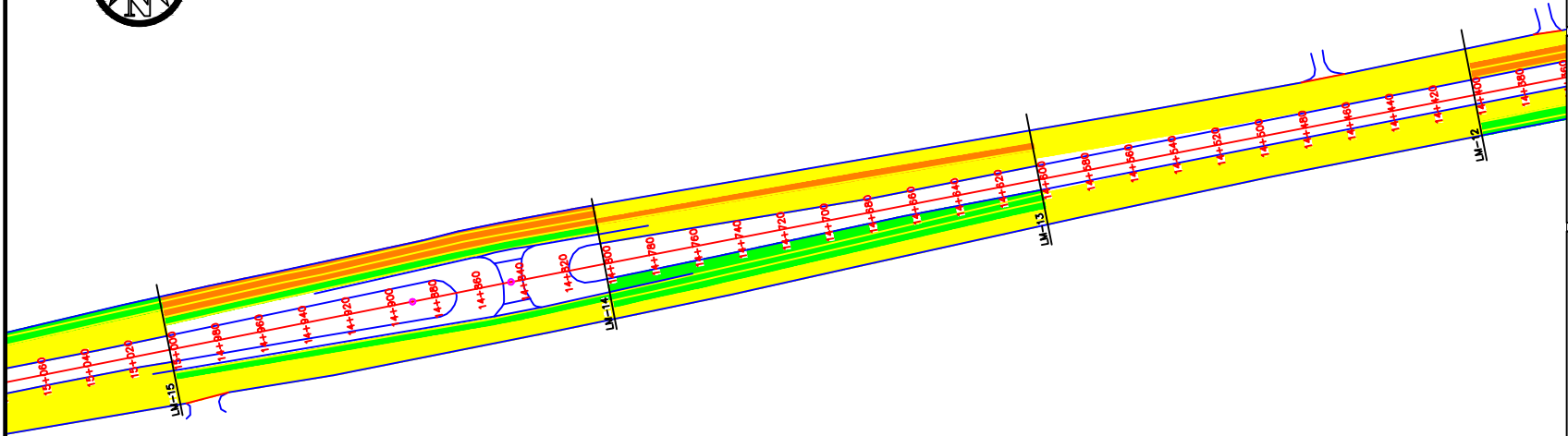
RESPONSABLE
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 0931015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0064092668

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAMINA
5/7



SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 14+400	GYE - CHONGON	I	2,94	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,64	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,98	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	2,92	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+600	CHONGON - GYE	C	2,90	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,63	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	I	3,00	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,44	REGULAR	Mantenimiento correctivo
KM 14+800	GYE - CHONGON	D	2,55	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	I	3,10	BUENO	Mantenimiento rutinario
	CHONGON - GYE	C	3,05	BUENO	Mantenimiento rutinario
	CHONGON - GYE	D	2,84	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 14+800	GYE - CHONGON	I	3,05	BUENO	Mantenimiento rutinario
	GYE - CHONGON	C	2,25	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	GYE - CHONGON	D	2,25	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	3,16	BUENO	Mantenimiento rutinario
KM 15+000	CHONGON - GYE	C	2,95	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,74	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo

PSI (MTP/NEVI-12)	
5 - 4	EXLENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO



PROVINCIA: Guayas - Vía E40 Km 12+000 al Km 15+000

PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 INGENIERÍA VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 NIVEL DE CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL
 DEL KILÓMETRO 12+000 AL 15+000 - ESCOBAR

CONTENIDO
 Planta
 Mapa de Indicadores PSI
 KM 15+000 - Km 15+500

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Cota	Nota
OP1	014107,200	070800,172
OP2	020621,410	070830,500
OP3	000879,300	070841,001

Área neta de estudio	
Área	111724,007 m ² (1,17 ha)

Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

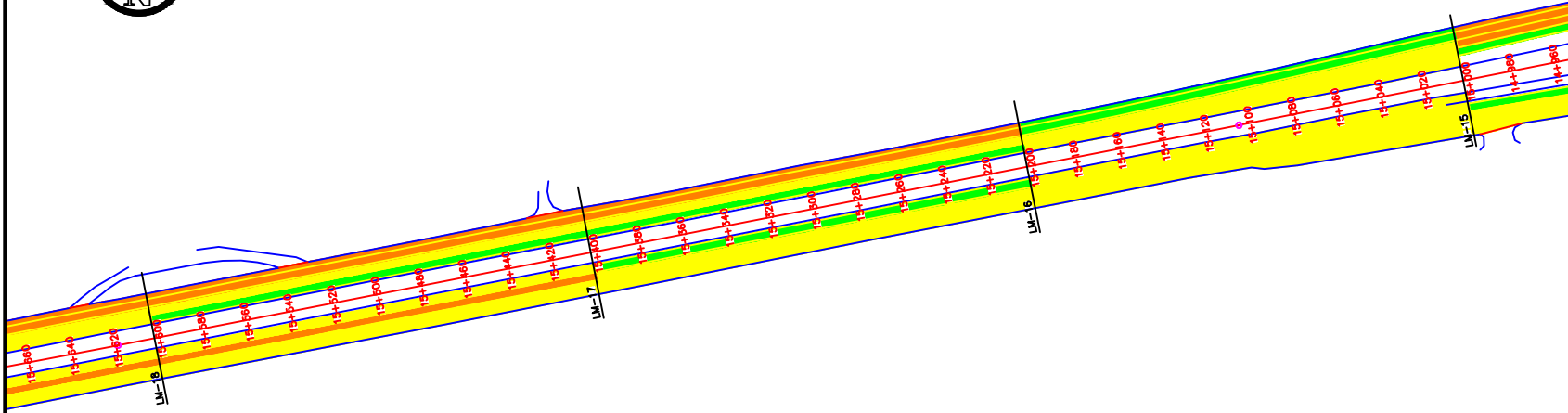
RESPONSABILIDAD
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 09511015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0064092568

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAJUNA
6/7



SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 15+000	GYE - CHONGON	I	2,77	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,67	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	3,00	BUENO	Mantenimiento rutinario
	CHONGON - GYE	I	2,96	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+200	CHONGON - GYE	C	2,86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,89	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	I	3,03	BUENO	Mantenimiento rutinario
	GYE - CHONGON	C	2,72	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+400	GYE - CHONGON	D	2,43	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	3,06	BUENO	Mantenimiento rutinario
	CHONGON - GYE	C	2,79	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+600	GYE - CHONGON	I	3,06	BUENO	Mantenimiento rutinario
	GYE - CHONGON	C	2,61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,38	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	2,96	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+500	CHONGON - GYE	C	2,49	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	D	2,55	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo

PSI (MTP/NEVI-12)	
5 - 4	EXELENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO



PROVINCIA: Guayas - Vía E40 Km 12-000 al Km 16-000

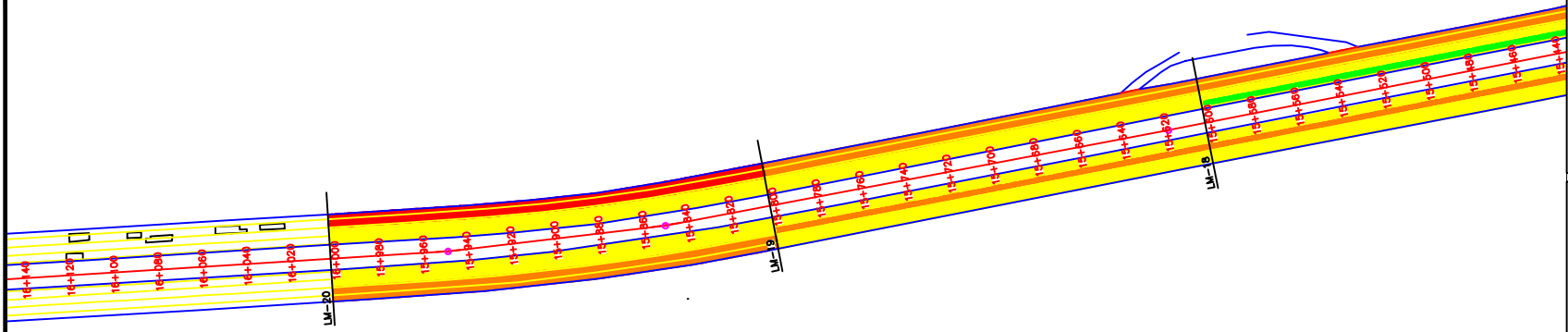
PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN
 SUBSECTOR VIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL
 NIVEL DE CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL
 DEL SECTOR 2 HASTA EL 16. CANTÓN: - ESCOBAR

CONTENIDO
 Planta
 Mapa de Indicadores PSI
 KM 15-000 - Km 16-000

PROPIETARIO
**Universidad Politécnica
 Salesiana**

Puntos de Control		
No. Punto	Este	Norte
CP1	61427.266	979660.173
CP2	62862.419	978335.349
CP3	60879.306	979641.881

Área neta de estudio	
Área	111724,087 m ² (1,117 ha)



SUBTRAMO	SENTIDO	CARRIL	PSI	CALIFICACION PSI (MTP/NEVI-12)	ACCION RECOMENDADA
KM 15+600	GYE - CHONGON	I	2,96	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	C	2,86	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	2,22	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	I	2,87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+800	CHONGON - GYE	C	2,37	REGULAR	Mantenimiento correctivo
	CHONGON - GYE	D	2,61	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	I	2,87	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
KM 15+800	GYE - CHONGON	C	2,52	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	GYE - CHONGON	D	1,98	MALO	Rehabilitación
KM 16+000	CHONGON - GYE	I	2,81	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	C	2,75	ACEPTABLE	Mantenimiento preventivo
	CHONGON - GYE	D	2,45	REGULAR	Mantenimiento correctivo

PSI (MTP/NEVI-12)	
5 - 4	EXLENTE
3,99 - 3	BUENO
2,99 - 2,5	ACEPTABLE
2,4 - 2	REGULAR
1,99 - 1,5	MALO
1,4 - 0	MUY MALO

Tutor: **Ing. Carlos Luis
 Valero Fajardo**

RESPONSABLE
 Kleber Joel Serrano Chávez
 C.I. 0931015309
 Frank Diego Laufer Núñez
 C.I. 0664092568

ESCALA
1:1000

FECHA
Enero/26

DWG - FILE

CODIGO
 LAMINA
7/7