DIGITALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MEDIANTE TECNOLOGÍAS LIDAR Y MODELADO TRIDIMENSIONAL APLICADO A UN CORREDOR VIAL EN ITALIA



Autor

Fernando Fajardo Anacona

Director

Elkin Darío Cañón Buitrago

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Topográfica

Bogotá, Colombia

noviembre de 2025

Contenido

1. Introducción 3
2. Objetivos....4
   2.1. Objetivo General 4
   2.2. Objetivos Específicos 4
3. PLAN DE TRABAJO....5
4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS 15
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 22
6. Referencias 23
7. ANEXOs 26

1. INTRODUCCIÓN

La gestión y el mantenimiento proactivo de la infraestructura vial moderna dependen críticamente de la disponibilidad de información precisa, actualizada y digitalmente accesible. Tecnologías de vanguardia como el LIDAR (Light Detection and Ranging) han revolucionado este campo, permitiendo la captura masiva de datos de la realidad con una precisión milimétrica y la generación de modelos digitales en 3D que sirven como gemelos digitales de los activos físicos. Este informe presenta los resultados de la pasantía realizada en GRS Colombia, filial del grupo italiano GRS GROUP, una empresa líder especializada en ingeniería topográfica y en la aplicación de tecnologías de escaneo láser estático, móvil y aéreo.

El proyecto se centró en resolver la problemática de la carencia de un modelo digital integral para un tramo de 4.5 km de la autopista DT3 (A14) y el puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti en Italia, los cuales carecían de una documentación detallada que incluyera una nube de puntos clasificada y georreferenciada, el inventario de señales de tránsito y el estado real de la infraestructura. Esta falta de información dificultaba la identificación de deterioros, la planificación eficiente del mantenimiento y la generación de análisis técnicos precisos, necesarios para garantizar la seguridad y operatividad de estos corredores viales.

El objetivo general de esta pasantía fue documentar y adoptar metodologías estandarizadas para la clasificación de nubes de puntos LIDAR, con el fin de realizar un inventario vial completo que facilitara la evaluación, gestión y futuras intervenciones sobre la infraestructura. Para ello, se ejecutó una metodología estructurada en fases que incluyó la planificación, el procesamiento y clasificación de la nube de puntos con software Bentley, la generación de modelos 3D y planos 2D, y una rigurosa validación contra normas internacionales de calidad de datos geoespaciales

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Documentar y adoptar metodologías para el inventario vial de un tramo de 4.5 km de la autopista DT3, denominada A14, y el puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti, en Italia mediante proceso estandarizado para la clasificación de nubes de puntos, que permitan documentar y evaluar el estado actual de la infraestructura vial, facilitando su gestión, mantenimiento y futuras intervenciones

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Digitalizar mediante el uso de nube de puntos LIDAR, elementos existentes de la infraestructura o de la autopista compuesta por un tramo de 4.5 km de la autopista DT3, denominada A14, y del puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellott.
- Clasificar la nube de puntos obtenida mediante tecnología LIDAR aerotransportada y móvil, utilizando metodologías supervisadas, para organizar los datos en categorías como vegetación, pavimento, infraestructura vial y otros elementos relevantes del entorno.
- Identificar y extraer elementos clave del entorno vial, como señales de tránsito, marcas viales y otros componentes, con el fin de integrarlos de manera eficiente en sistemas de gestión y planificación de infraestructura vial.
- Generar secciones transversales con el fin de establecer cortes perpendiculares a lo largo del eje de la vía que permitan analizar su estructura y estado actual.
- Generar entregables técnicos clave, como la nube de puntos clasificada, planos detallados de la autopista.

3. PLAN DE TRABAJO

3.1 Revisión de documentos.

Al inicio de la pasantía, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la documentación técnica y las guías metodológicas internas con las que cuenta GRS Colombia. El objetivo principal de esta actividad fue establecer el marco de referencia y los parámetros de calidad que regirían el desarrollo del proyecto, asegurando que los procedimientos y entregables estuvieran alineados con los estándares de la empresa y los requisitos del cliente internacional de tal modo que se revisó:

• Guías metodológicas internas : Se estudiaron los protocolos establecidos por GRS Colombia para el procesamiento de nubes de puntos LIDAR, la clasificación de elementos y la generación de modelos 3D. Esto permitió comprender los flujos de trabajo estandarizados, los criterios de clasificación (para categorías como pavimento, vegetación, señales de tránsito y estructuras) y los formatos de entrega requeridos.

• Estudios planos y documentación previa : Se examinó la información base disponible del proyecto, como planos arquitectónicos previos y reportes técnicos del estado de la autopista A14 y el puente, lo que proporcionó un contexto valioso sobre la infraestructura a digitalizar.

Esta fase de revisión documental permitió consolidar una base sólida de conocimiento sobre los procedimientos de la empresa y los estándares de calidad aplicables. Como resultado, se pudo definir un plan de trabajo detallado y técnicamente fundamentado, sentando las bases metodológicas para las fases sucesivas de procesamiento y análisis de datos. Esta preparación fue fundamental para optimizar el tiempo y asegurar la calidad técnica de los entregables desde el inicio del proyecto.

3.2 Recolección de datos.

La fase de recolección de datos fue ejecutada por el equipo de GRS Italia, quienes realizaron el levantamiento mediante escáner láser tanto del puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti como del tramo correspondiente de la autopista A14. Este proceso incluyó la captura de datos LIDAR mediante tecnologías de escaneo móvil y/o aerotransportado, asegurando una cobertura completa de la infraestructura vial.

Posteriormente, el equipo italiano llevó a cabo el posprocesamiento inicial de la nube de puntos, que consistió en la limpieza, registro y georreferenciación de los datos crudos. Como producto de esta etapa, GRS Italia entregó a GRS Colombia la nube de puntos procesada, la cual serviría como insumo principal para las siguientes etapas de clasificación semiautomática, digitalización 3D y generación de planos 2D.

3.3 Entrevista y encuestas

Se realizó un proceso de consulta directa a los ingenieros y técnicos especializados de GRS Colombia con el objetivo de recopilar y validar las metodologías, guías internas y criterios técnicos necesarios para cumplir con los parámetros establecidos en la fase de planificación del proyecto. Esta actividad permitió asegurar que los procedimientos de clasificación y modelado se alinearan con los estándares de calidad de la empresa y las expectativas del cliente.

Se consultó a ingenieros senior y técnicos con experiencia en procesamiento LiDAR sobre los flujos de trabajo establecidos, los criterios de clasificación específicos para elementos viales y las mejores prácticas en el uso del software Bentley. De igual modo a través de estas consultas, se confirmaron y ajustaron los parámetros de calidad, las tolerancias permitidas y los formatos de entrega requeridos para los productos finales (nube de puntos clasificada, modelos 3D y planos 2D).

Como resultado de este proceso de consulta, se consolidó un marco metodológico robusto y adaptado a los requerimientos específicos del proyecto, integrando el conocimiento experto del equipo técnico de GRS Colombia. Esta información fue fundamental para estandarizar los procedimientos y garantizar la calidad técnica de los entregables finales.

3.4 Clasificación de Nube de puntos.

Para la ejecución de la clasificación de la nube de puntos se implementó una metodología basada en el análisis de los procedimientos establecidos por la empresa. Mediante este diagnóstico se identificó que el proceso se realizaba mediante clasificación manual utilizando las herramientas de TerraScan implementadas en la plataforma MicroStation.

En el caso específico del puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti, se recibió una nube de puntos con atributos RGB (color) pero sin clasificación, lo que requirió buscar una nueva metodología, de esta forma se utilizó la herramienta denominada macro que se encuentra en el programa .

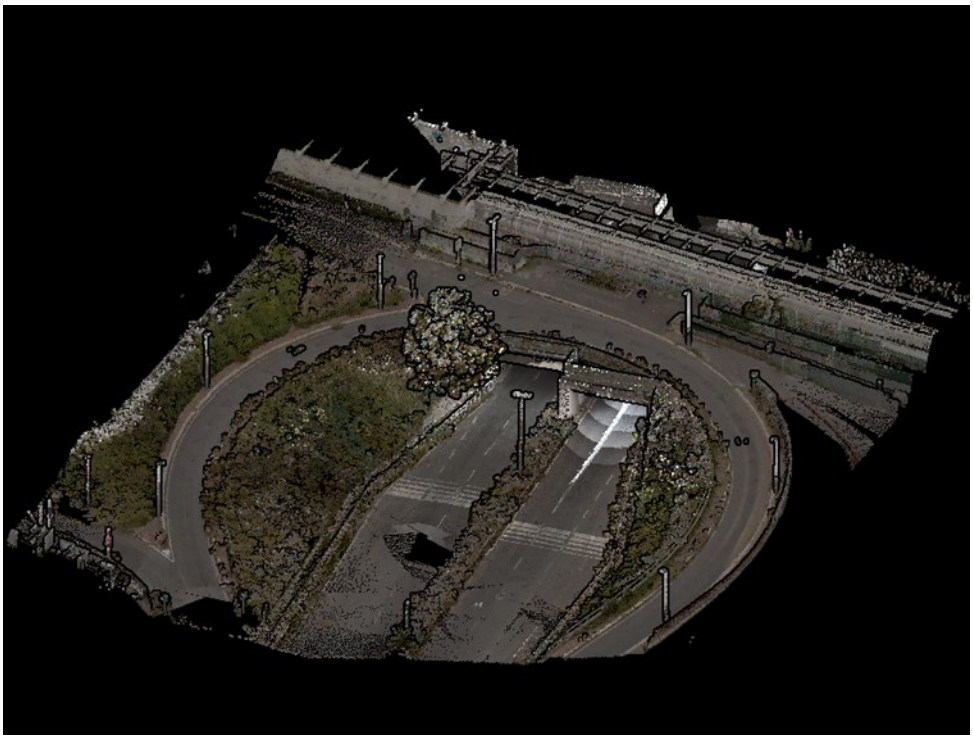


Ilustración 1Nube de puntos Puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti

Para optimizar el proceso de clasificación de nubes de puntos, se implementó una herramienta especializada dentro del módulo TerraScan que permite la clasificación automatizada mediante macros. Cabe destacar que esta macro específica requiere el cumplimiento de ciertas condiciones previas en la nube de puntos para garantizar su correcto funcionamiento.

Como primer paso fundamental en el proceso, se realizó la clasificación manual de todo el ruido y puntos flotantes presentes en la nube de puntos. Esta etapa preliminar es crucial para asegurar que la macro pueda interpretar correctamente la estructura y características de los datos, evitando así la generación de errores durante el proceso de clasificación automatizada.

Para el desarrollo de ambos proyectos, se ejecutó el proceso de limpieza de las nubes de puntos correspondientes, eliminando el ruido y los artefactos que pudieran afectar la calidad de los resultados. Este procedimiento inicial fue fundamental para garantizar la precisión en las etapas subsiguientes de clasificación y modelado.

El procedimiento detallado paso a paso para la metodología de clasificación de nubes de puntos se encuentra documentado en el Anexo 1: Metodología para Clasificación de Nubes de Puntos, el cual especifica los protocolos técnicos establecidos para este proceso.

La **Ilustración 2** se evidencia la presencia de ruido y artefactos en la nube de puntos, distribuidos a lo largo del área de estudio. El objetivo del proceso de limpieza consiste en eliminar estas imperfecciones para permitir la posterior aplicación de la macro de clasificación semi-automática, optimizando así la precisión y eficiencia del proceso de categorización de los datos LIDAR.

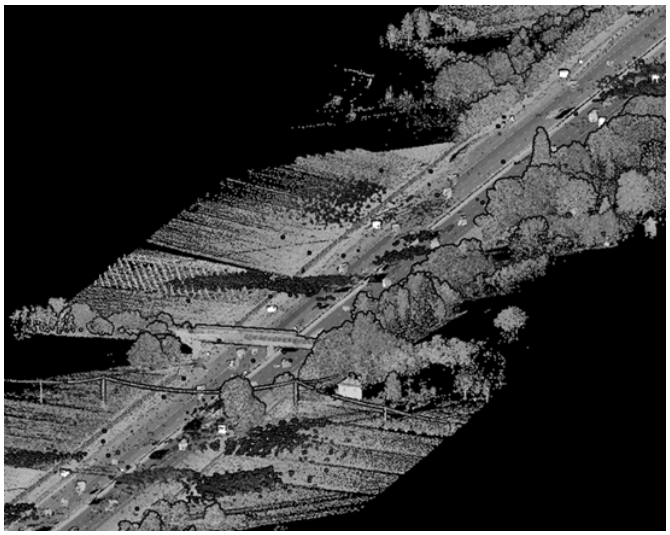


Ilustración 2 Nube de Puntos DT3-A14

Metodología empleada.

- Procesamiento y limpieza : Se realizó una inspección visual de las nubes de puntos para identificar y eliminar manualmente ruido, artefactos y puntos atípicos utilizando las herramientas de selección y filtrado de TerraScan.
- Configuración de la macro de clasificación Semi- automática: Se implementó una macro especializada dentro de TerraScan que permite la clasificación acelerada de puntos mediante algoritmos de segmentación basados en criterios de elevación, intensidad y características geométricas, además, la macro requiere que la nube de puntos cumpla con condiciones específicas de uniformidad para garantizar su efectividad.
- Proceso de clasificación de nube de puntos por categoría : La macro clasifica la nube de puntos en suelo, vegetación alta y construcciones.

3.5 Digitalización 3D.

Para la generación de los modelos tridimensionales, se implementó una metodología de digitalización basada en la nube de puntos LIDAR previamente clasificada. El proceso se llevó a cabo en la plataforma MicroStation, utilizando un flujo de trabajo estructurado que combinó visualización avanzada y herramientas de modelado precisas.

Metodología Empleada.

- Configuración de sistema de referencia de coordenadas : La nube de puntos Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti se encuentra georreferenciado en el sistema de coordenadas UTM ZONE 33N (WGS84), por otro lado, la nube de puntos de la autopista A14 (DT3) utilizo el sistema UTM ZONA 32 N (WGS84) , se mantuvo la configuración de coordenadas originales de cada dataset, garantizando la consistencia posicional del proyecto .
- Carga y Configuración de las Nubes de Puntos: Para realizar la digitalización se importaron las nubes de puntos LIDAR al MicroStation, luego de esto se configuró la visualización, por intensidad o color, todo con el fin de discriminar los elementos de infraestructura importantes.

- Modelado asistido por herramientas especializadas: Para el proceso de vectorización se emplearon diferentes métodos y herramientas de digitalización que permitieron garantizar la precisión geométrica de los elementos modelados. Entre estas se incluyeron: la extracción de información a partir de secciones transversales, utilizada para obtener perfiles detallados de la infraestructura; la herramienta "Mouse Point Adjustment", que facilitó la corrección y ajuste fino de los vértices sobre la nube de puntos; y la función "Drape Linear Element", aplicada para proyectar elementos lineales sobre la superficie generada a partir de los datos LIDAR, asegurando una adecuada correspondencia entre la geometría digital y la topografía real del terreno.

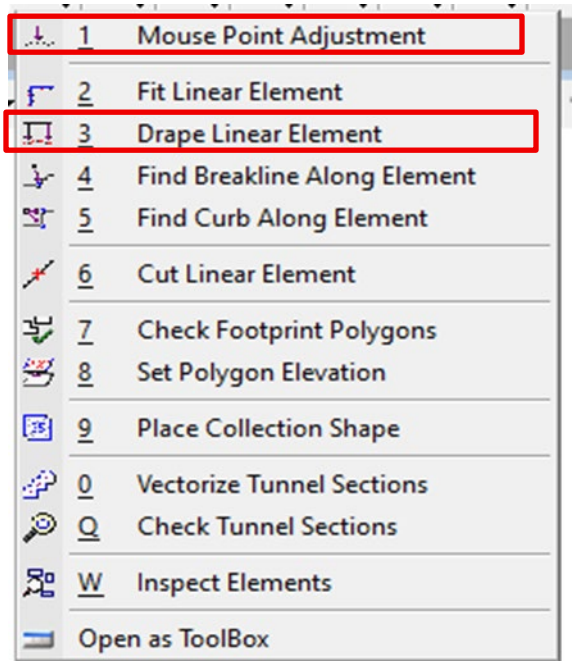


Ilustración 3 Herramienta MicroStation

La digitalización de la infraestructura del puente puede realizarse mediante el método de secciones. Este proceso consiste en dibujar primero un perfil de la estructura, seguido de un segundo perfil. Posteriormente, se procede a unir ambas secciones para obtener, de este modo, un modelo digital completo de la infraestructura.

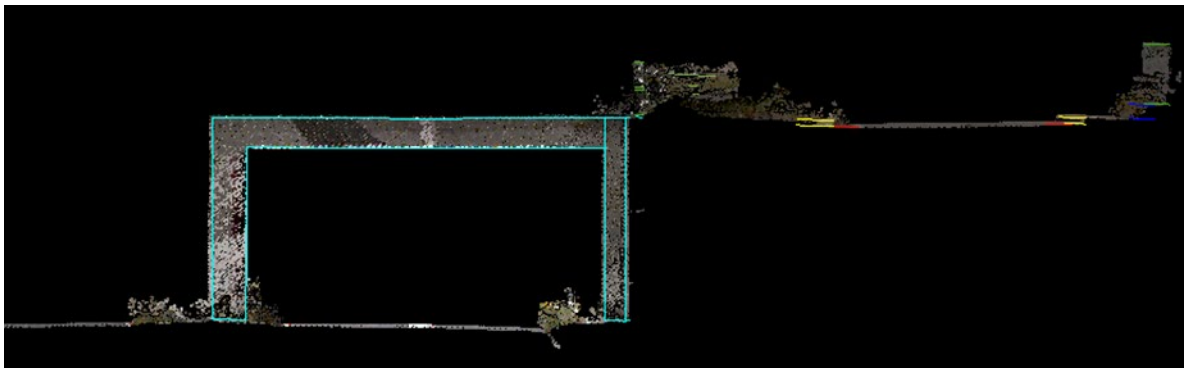


Ilustración 4 Seccion microStation

De esta manera, se garantiza la obtención del resultado esperado. Es crucial realizar el trazado de las secciones con máxima precisión, ya que la ubicación de las mismas determina directamente la geometría de las líneas que conformarán el modelo. En caso de que una sección presente deficiencias, esta puede ser corregida mediante su reposicionamiento o, si es necesario, volviendo a generarla desde el inicio para asegurar la fidelidad del conjunto.

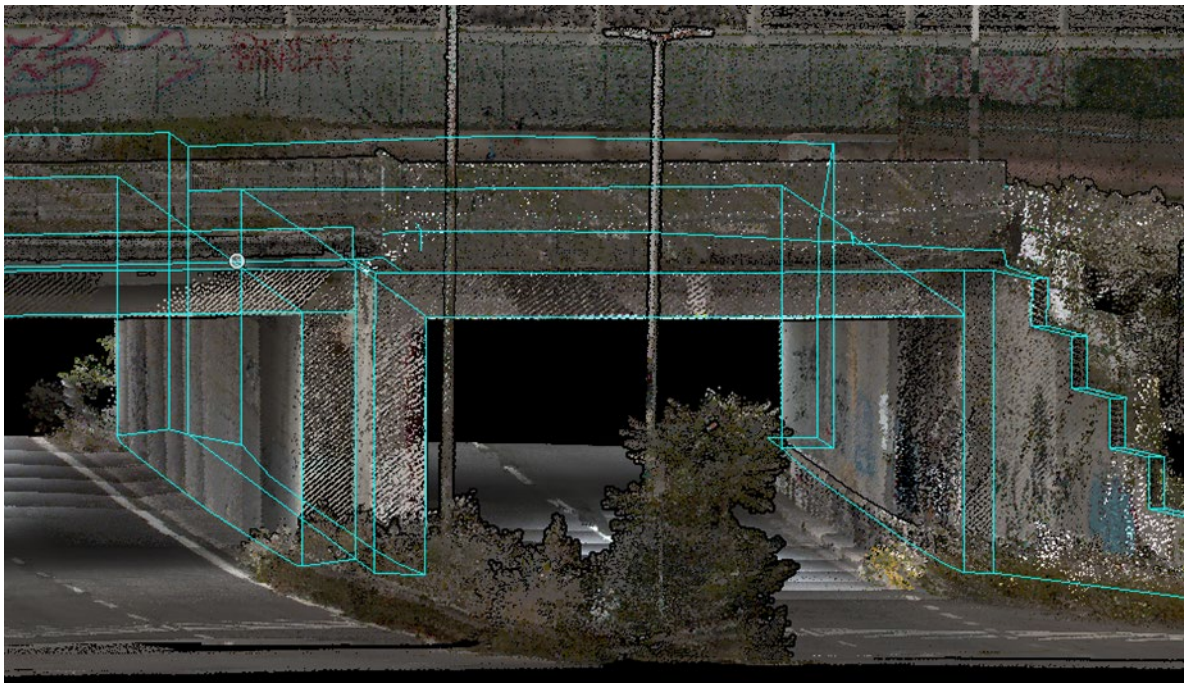


Ilustración 5 MicroStation

Como método alternativo, un muro puede digitalizarse trazando una línea sobre su cara superior. Esta línea sirve como base para definir una sección, sobre la cual se procede a añadir o eliminar vértices con el fin de alinearlos con precisión a los puntos físicos del muro.

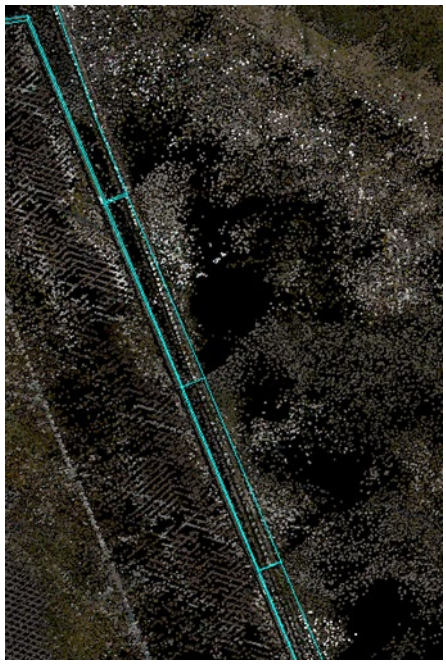


Ilustración 6 Digitalización MicroStation

Una vez definida la sección, es posible ajustar con precisión la línea que representa el muro. Para garantizar la correcta alineación de los nuevos vértices, es fundamental activar la herramienta de ortogonal, la cual asegura que todos los puntos añadidos se dispongan en ángulos rectos, manteniendo así la geometría rectilínea del elemento.

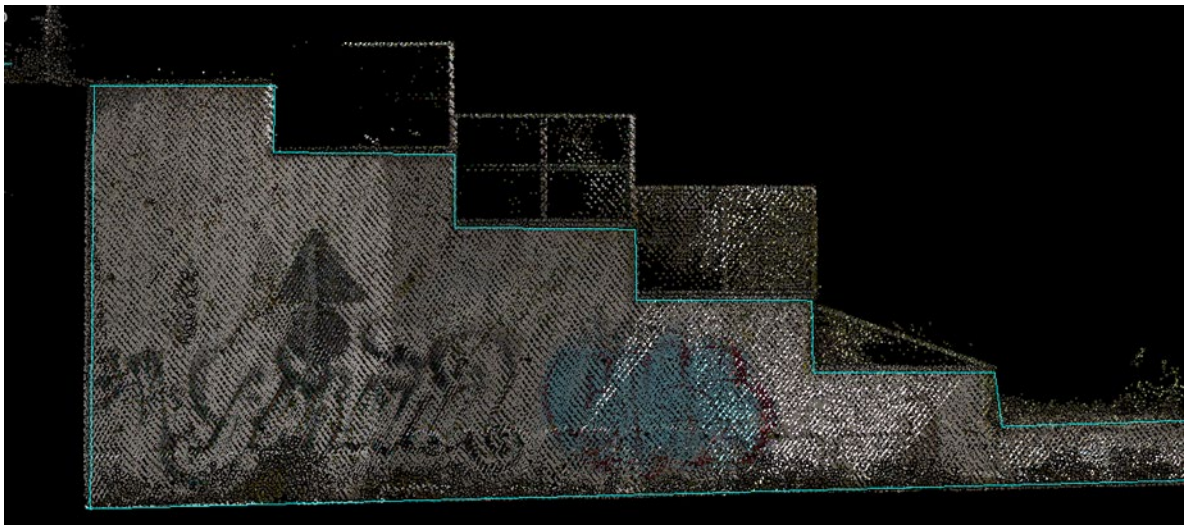


Ilustración 7 Digitalizacion MicroStation

Por último, se realizó un control de calidad realizando verificaciones continuas mediante la superposición de los modelos 3D generados con las nubes de puntos LIDAR originales, para tener como resultado modelos 3D integrados que serán exportados a formato .DWG en su respectivo sistema de coordenadas.

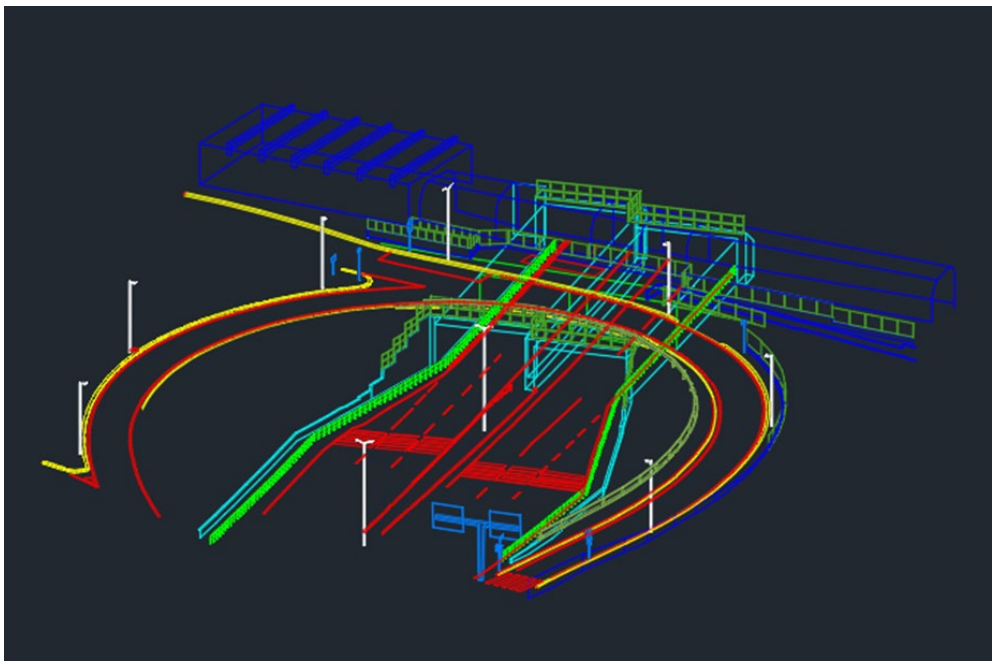


Ilustración 8 Modelado 3D CIVIL 3D

3.6 Generación de Guía.

Durante el desarrollo de la pasantía, se llevó a cabo la sistematización de los procedimientos de clasificación de nubes de puntos mediante la elaboración de guías metodológicas estandarizadas. Esta actividad se realizó con el objetivo de documentar y optimizar los flujos de trabajo para el procesamiento de datos LIDAR en proyectos de infraestructura vial.

Inicialmente, se ejecutó un proceso de limpieza y depuración de las nubes de puntos, eliminando ruido, artefactos y puntos atípicos que pudieran comprometer la calidad de los resultados. Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo de las herramientas disponibles en el módulo TerraScan de Bentley MicroStation, evaluando sus funcionalidades, parámetros configurables y aplicabilidad en diferentes contextos de clasificación.

Con base en este análisis, se desarrollaron macros de clasificación semiautomática adaptadas a las características específicas de cada proyecto. Se estableció que la configuración de estas macros requiere ajustes particulares según el tipo de terreno, las condiciones de captura de datos y los elementos de infraestructura presentes, implementando para cada caso criterios específicos de elevación, intensidad y características geométricas.

Como resultado de esta actividad, se generó una guía metodológica comprehensiva que documenta paso a paso los procedimientos de clasificación, incluyendo protocolos de control de calidad, criterios de validación y parámetros optimizados para diferentes escenarios. Esta guía constituye un instrumento técnico de gran valor para la estandarización de procesos en futuros proyectos de digitalización de infraestructura vial.

Para complementar la descripción detallada de las actividades realizadas durante la pasantía, se presenta el Diagrama de Gantt Ilustración 9 que estipula la planificación temporal y secuencial de todas las fases del proyecto. Este instrumento de gestión permitió visualizar la distribución de actividades, los hitos principales y las dependencias entre tareas, garantizando el cumplimiento de los plazos establecidos.



Cronograma														
Actividades	Mes													
	Mayo				Junio				Julio				Agosto	
	Semanas													
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Revision Documental														
Recoleccion de Datos														
Entrevista y encustas														
Clasificacion nube de puntos														
Digitalizacion 3D														
Generacion Guias														
Revision de los entregables														
Elaboracion de Informe														
Socialziacion de Informe														

Ilustración 9 Diagrama de Gantt Fuente propia

4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo de la pasantía, se identificaron diversas oportunidades de mejora en los procesos técnicos empleados por la empresa para la digitalización de infraestructura vial, específicamente en los proyectos del tramo de 4.5 km de la autopista A14 (DT3) y el puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti en Italia.

El análisis de los flujos de trabajo existentes permitió detectar falencias críticas que afectaban la calidad de los entregables, entre las que se destacaban: la presencia de nubes de puntos duplicadas, discontinuidades entre escenas capturadas, áreas con cobertura insuficiente (sombras), pérdida de detalle en elementos estructurales y tiempos de producción elevados.

Como resultado de esta evaluación, se formularon recomendaciones técnicas específicas para las fases de oficina. En la fase de oficina, se diseñaron flujos de procesamiento estandarizados que incluyen la implementación de macros de clasificación semiautomática en TerraScan y procedimientos de control de calidad para la validación de nubes de puntos.

La implementación de estas mejoras metodológicas permitió minimizar significativamente los errores por duplicidad de datos, reducir las discontinuidades entre escenas, optimizar la cobertura en áreas críticas, preservar el nivel de detalle en elementos estructurales y

disminuir los tiempos totales de producción en aproximadamente un 30% para proyectos de similar envergadura

Modelado Tridimensional de Infraestructura Vial mediante Tecnologías LIDAR

El objetivo central del proyecto de pasantía consistió en la documentación precisa y generación de modelos digitales tridimensionales de dos activos viales estratégicos localizados en Italia: el puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti y un segmento de 4.5 kilómetros de la autopista A14 (DT3). La estrategia de captura de información combinó tecnologías de escaneo láser móvil para la cobertura longitudinal de las vías, con escáneres terrestres estáticos para el registro de detalles estructurales específicos, asegurando así la integridad de los datos en todos los componentes de la infraestructura.

El procesamiento inicial de los datos LIDAR, incluyendo el registro y georreferenciación de las nubes de puntos, fue ejecutado por el equipo especializado de GRS Italia. Este proceso incorporó técnicas de ajuste basadas en puntos de control distribuidos estratégicamente en el terreno, los cuales fueron medidos mediante metodologías de posicionamiento de alta precisión para garantizar la exactitud posicional de los datos capturados.

Posteriormente, las nubes de puntos procesadas fueron transferidas al equipo de GRS Colombia para la ejecución de las etapas de clasificación y modelado. Se implementó una metodología de procesamiento que incluyó la aplicación de algoritmos de clasificación semiautomática mediante el uso de macros especializadas en la plataforma TerraScan de Bentley, permitiendo la categorización eficiente de los puntos en clases como superficie de rodadura, señalización, estructuras y elementos del entorno.

La fase de digitalización tridimensional se desarrolló en el entorno MicroStation, aprovechando sus capacidades para la gestión de grandes volúmenes de datos LIDAR y sus herramientas avanzadas de modelado. La implementación de técnicas como el ajuste preciso de vértices sobre la nube de puntos y la proyección de elementos lineales sobre superficies irregulares permitió generar modelos vectoriales tridimensionales de alta fidelidad geométrica.

Los resultados obtenidos demostraron que la metodología implementada, centrada en la optimización de flujos de trabajo mediante procesos semiautomáticos, permitió reducir significativamente los tiempos de ejecución mientras se mantenía un nivel de detalle adecuado para la documentación técnica de infraestructura vial, representando un avance en los procedimientos establecidos previamente por la organización.

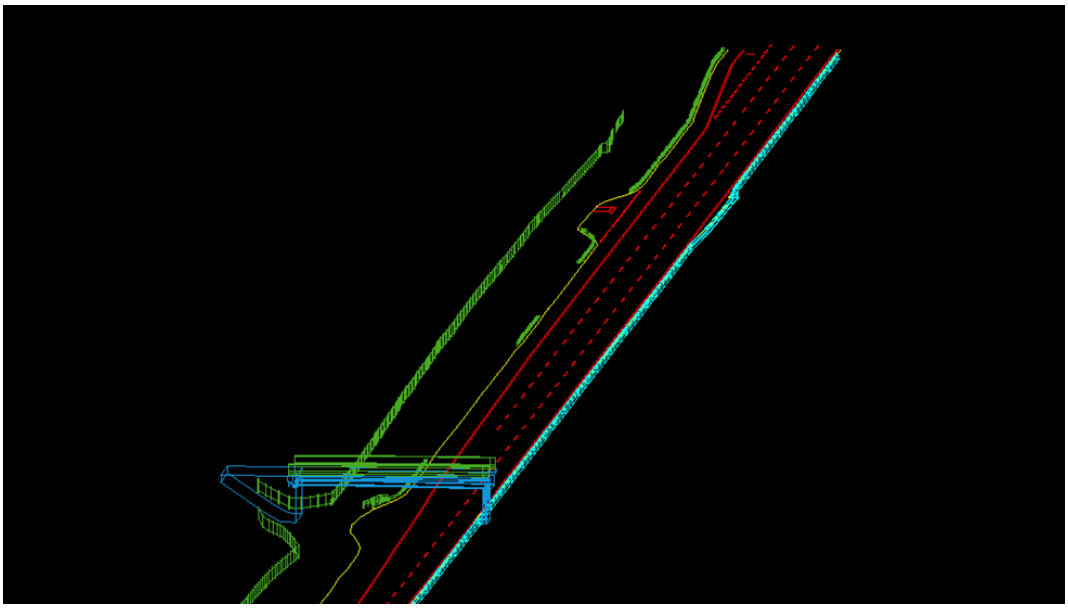


Ilustración 10 Modelado 3D DT3-A14

La digitalización de las secciones transversales en el proyecto de la autopista DT3-A14 se ejecutó sobre una de sus calzadas. Esta decisión metodológica se adoptó para satisfacer los requerimientos del estudio, los cuales exigían un modelo geométrico preciso de la mitad de la infraestructura que permitiera realizar una comparativa detallada con su estado previo o con la planificación futura.



Ilustración 11 Sección Transversal

Gracias a la implementación de la clasificación semiautomática de nubes de puntos mediante macros especializadas en TerraScan, se logró obtener datasets significativamente más limpios y organizados, lo cual constituyó un requisito fundamental para ejecutar procesos de digitalización tridimensional eficientes y precisos. Esta etapa de procesamiento permitió eliminar artefactos, ruido y puntos atípicos que afectaban la calidad geométrica de los modelos finales, el método utilizado para clasificar la nube de puntos se encuentra en el Anexo 1 Guía Metodología Clasificar Nubes de puntos

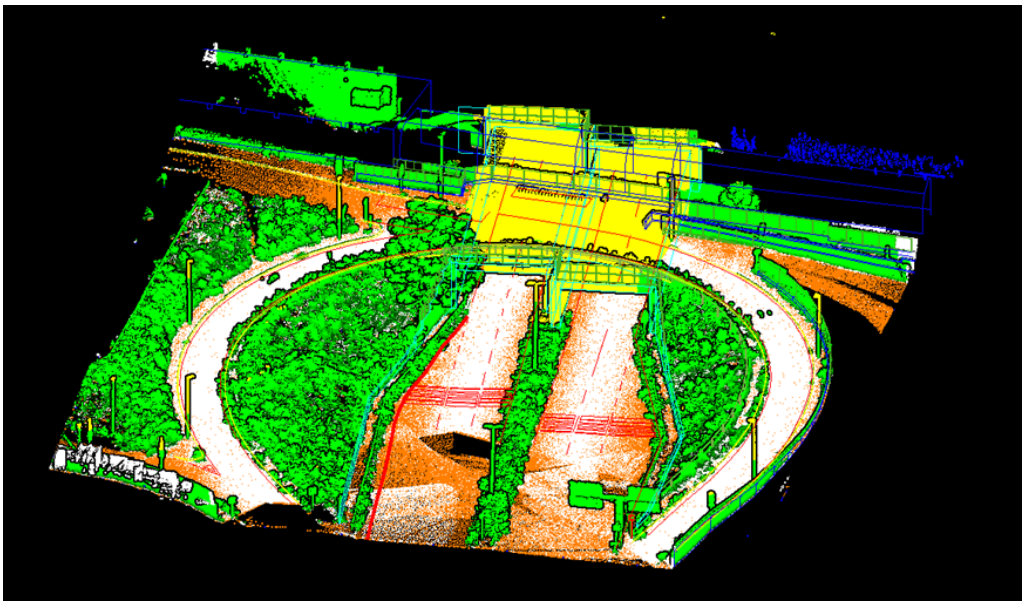


Ilustración 12Nube de puntos clasificada

Como se evidencia en la Ilustración 12, la nube de puntos clasificada del puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti muestra una distribución organizada por categorías, donde se distinguen claramente los elementos estructurales principales, la superficie de rodadura y los componentes accesorios. Esta organización sistemática facilitó notablemente el proceso de vectorización en MicroStation, permitiendo a los modeladores concentrarse en la geometría específica de cada elemento sin interferencias de datos superfluos.

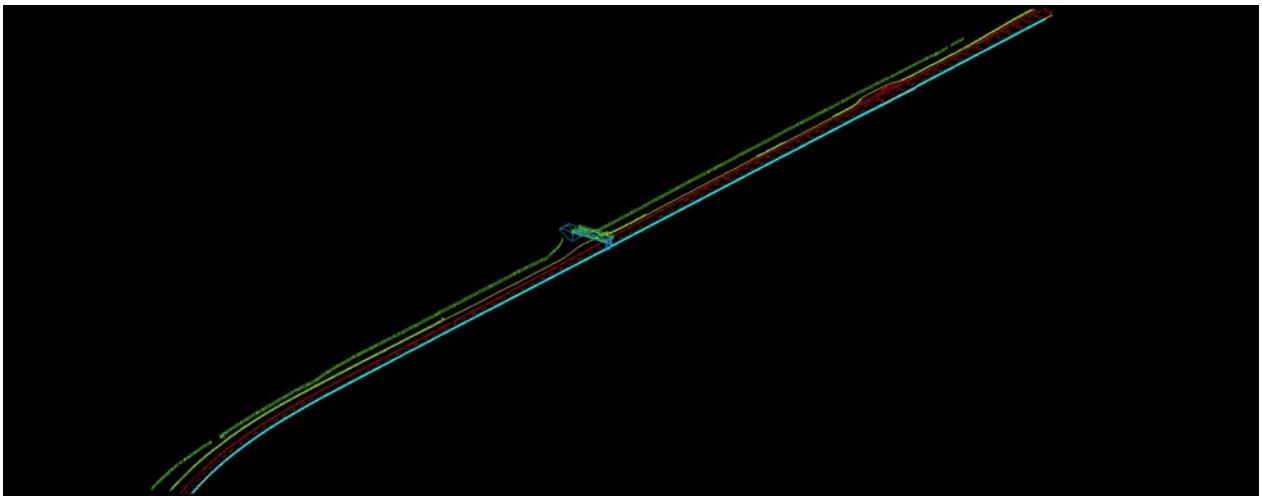


Ilustración 13 Vectorizacion 3D Autopísta DT3-A14

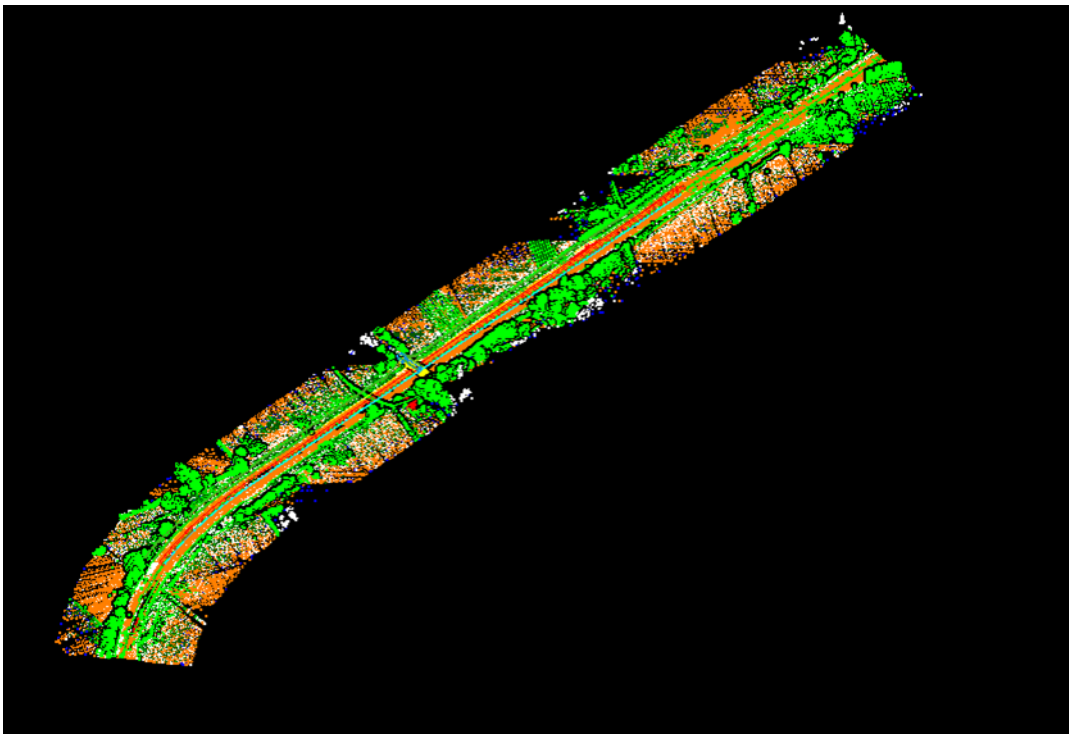


Ilustración 14 Nube de puntos clasificación DT3-A14

En la Ilustración 14 correspondiente al tramo de la autopista A14 (DT3), se observa el resultado del proceso de limpieza y clasificación, donde las diferentes categorías de puntos

(pavimento, señales viales, vegetación y estructuras) aparecen claramente diferenciadas. Esta segmentación permitió generar secciones transversales precisas y modelos 3D con un nivel de detalle adecuado para los análisis de ingeniería requeridos.



Ilustración 15 Sección Transversal Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti

De manera paralela, se ejecutó la generación de secciones transversales para el puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti. Este proceso permitió documentar con precisión la geometría y las características estructurales del viaducto, complementando así el análisis integral de la infraestructura vial en estudio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró la digitalización completa y precisa de los 4.5 km de la autopista A14 (DT3) y del puente Rampa Sovrappassante Viale Duilio Cambellotti. El proceso confirmó que la nube de puntos LIDAR es un insumo fundamental para generar representaciones tridimensionales fieles de la infraestructura, permitiendo capturar la geometría real de los activos con un nivel de detalle adecuado para su documentación y análisis técnico.
- La implementación de metodologías semiautomáticas, mediante macros especializadas en TerraScan, permitió organizar eficientemente los datos LIDAR en categorías específicas (suelo, vegetación, pavimento, infraestructura). Sin embargo, se concluyó que la efectividad de estos procesos automatizados depende críticamente de una fase previa de limpieza y preprocesamiento para eliminar ruido y artefactos, especialmente en datasets complejos como el de la autopista A14.
- Se consiguió identificar y extraer componentes esenciales de la infraestructura vial, como señales de tránsito y mobiliario urbano, a partir de la nube de puntos clasificada. Este proceso demostró ser vital para la generación de inventarios digitales precisos que pueden integrarse directamente en sistemas de gestión y planificación de infraestructura.
- La generación de secciones transversales a lo largo del eje de ambas infraestructuras permitió documentar y analizar con precisión su geometría y estado actual. Esta técnica resultó fundamental para obtener cortes perpendiculares detallados que facilitan el análisis estructural y la identificación de posibles patologías en la infraestructura vial.
- Se cumplió exitosamente con la producción de todos los entregables técnicos definidos, incluyendo nubes de puntos clasificadas, modelos tridimensionales georreferenciados y planos detallados en 2D. Estos productos no solo suplen la necesidad inicial de documentación precisa, sino que establecen un estándar de calidad replicable para futuros proyectos de digitalización en la empresa

6. REFERENCIAS

Asprilla, J. (2024). *Empleo de la metodología LiDAR para el monitoreo de desplazamientos en el kilómetro 6 de la vía Medellín-Bogotá* [Trabajo de grado de pregrado, Escuela de Ingeniería de Antioquia.* Medellin: Repositorio Institucional.

Wehr, A., & Lohr. (1999). *Airborne laser scanning—An introduction and overview.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.

Baltsavias, E. P. (1999). Airborne laser scanning: Basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 199-214.

Bentley Systems. (2023). TerraScan User Guide - Processing Lidar Data.

Codazzi, I. G. (2022). *Especificaciones técnicas para modelado digital tridimensional.* Bogotá: IGAC.

Corredor, J. D. (2018). *Implementacion de datos lidar para reccion de cambios en el proceso de actualizacion catastral caso de estudio zona piloto municipio de Chia.* Bogota: Universidad Distrital Francisco Jóse de Caldas.

Wang, C., Yang, X., Xi, N., & Nie, D. (2024). *Introduction to LiDAR remote sensing*. Routledge.*

ESRI. (s.f.). *ArcGIS Pro*. Obtenido de Técnicas de clasificación basadas en reglas: https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.3/help/data/las-dataset/rule-based-classification-techniques.htm

ESRI. (s.f.). *ArGis Pro*. Obtenido de ArGis Pro: https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/comparing-interpolation-methods.htm

Geoengineer.org. (2024). *Unveiling ancient settlements in Colombia with advanced remote sensing*. Geoengineer.*

Infante, C. (2010). *Guía para la presentación de proyectos de investigación.* Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Instituto Nacional de Vías. (2020). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.* Bogotá: INVIAS.

Kujawa, P., Nowak, A., & Wójcik-Długoborska, K. (2025). *A review of image- and LiDAR-based mapping of shallow water.*

Lin, Y.-C., Zhou, T., & Rupnik, E. (2019). *Evaluation of UAV LiDAR for mapping coastal environments. *Remote Sensing.*

Ministerio de Transporte de Colombia. (2021). *Lineamientos técnicos para la digitalización de infraestructura vial.* Bogotá: Imprenta Nacional.

Pérez, L. M. (2022). *Evaluación de software para procesamiento de nubes de puntos LIDAR en proyectos viales colombianos.* Bogotá: Revista Colombiana de Geomática.

Planeación, e. N. (2021). *Política Nacional de Gestión de Infraestructura Física.* Bogotá: CONPES 4020.

Rodríguez, C. A. (2023). *Implementación de tecnologías de digitalización 3D en la inspección de infraestructura vial colombiana.* Revista de Ingeniería Universidad de los Andes.

7. ANEXOS

Bogotá D.C. noviembre 2025

Señores

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Programa de Ingeniería Topográfica

Bogotá, D.C.

Respetados Señores:

Por medio de la presente, me dirijo a ustedes para informar formalmente que el (la) estudiante Fernando Fajardo Anacona, con número de identificación 1001272348 y código 20191032053, del programa académico de Ingeniería Topográfica, ha culminado satisfactoriamente su proceso de pasantía en GRS COLOMBIA, en el periodo comprendido entre (17/07/2025) y (17/10/2025).

Durante este tiempo, el señor Fajardo Anacona se desempeñó en el proyecto "Digitalización de Infraestructura Vial mediante Tecnologías LIDAR y Modelado Tridimensional aplicado a un Corredor Vial en Italia", cumpliendo a cabalidad con los objetivos planteados y las responsabilidades asignadas, demostrando un alto sentido de compromiso, responsabilidad y competencia en las actividades desarrolladas.

Es grato para nosotros confirmar que el estudiante ha completado las 385 horas requeridas por la Universidad para este requisito académico, habiendo aportado significativamente a los proyectos de la empresa y aplicado sus conocimientos académicos en un entorno profesional real.

No tenemos más que expresar nuestra total satisfacción con su desempeño y recomendarlo para cualquier proyecto futuro.

Agradecemos a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por la confianza depositada en nuestra empresa para la formación práctica de sus estudiantes.

Sin otro particular, quedo atento a cualquier requerimiento.

Cordialmente,

Cristian Camilo García Vivas

Jefe de Producción

GRS COLOMBIA

Firma pasante

Firma director pasantía

Jefe de producción

_



Firma y Datos del Docente que avaló propuesta

Nombre: ELKIN DARÍO CAÑÓN BUITRAGO

Correo institucional: edcanonb@udistrital.edu.co