

**RECOPIACIÓN Y GENERACIÓN DE DOCUMENTACIÓN BIM A PARTIR DE LEVANTAMIENTO DE
INFORMACIÓN CON LIDAR TERRESTRE.**

Alvaro González Puentes



Programa de ingeniería civil, Facultad de Ingenierías.

Universidad la gran Colombia

Bogotá

2024

Recopilación y generación de documentación BIM a partir de levantamiento de información con LiDAR terrestre.

Alvaro González Puentes

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero civil.

Diana María Jurado Gordo (directora).



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de ingeniería civil, Facultad de Ingenierías.

Universidad la gran Colombia

Bogotá

2024

Agradecimientos

El autor expresa su profundo agradecimiento a todas las personas, docentes y entidades que, con su apoyo y la información suministrada, hicieron posible la realización de esta investigación.

Este trabajo de grado no hubiera sido posible sin la colaboración que prestaron, de una u otra manera, Yolanda González, Mónica Puentes, Segundo Solano, Jairo González, Milena González, Adriana Solano, Juan González, Gustavo Solano, Juliana Algecira.

A ellos el autor dedicó el resultado de este trabajo, pues con su compañía y palabras de aliento motivaron al autor a querer ser una mejor persona y un ingeniero integral, así como ellos le enseñaron con su apoyo el busca brindarle una ayuda a quien lo necesite. Finalmente, a Dios pues con su gracia y su bendición esto fue posible.

Tabla de contenido

RESUMEN 8

ABSTRACT 8

1. INTRODUCCIÓN..... 9

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA9

2. JUSTIFICACIÓN 10

3. OBJETIVOS 11

3.1 OBJETIVO GENERAL11

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS11

 3.2.111

 3.3.211

4. MARCO TEÓRICO 11

5. MARCO CONCEPTUAL 13

6. MARCO NORMATIVO 23

7. MARCO GEOGRÁFICO 25

8. METODOLOGÍA 26

8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....26

8.2 CATEGORÍAS27

 8.2.1 Categoría Dependiente: Modelo en Revit28

 8.2.2 Categorías Independientes: Levantamiento y Aplicaciones28

8.3 FASES.....28

 8.3.1 Fase 1:.....28

 8.3.2 Fase 2:.....29

 8.3.3 Fase 3:.....29

9. EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA 31

9.1 RECOPIACIÓN32

9.2 PROCESAMIENTO33

 9.2.1 Georreferenciación Global Mapper.34

 9.2.2 Georreferenciación GCP en modelamiento.35

9.3 MODELAMIENTO35

9.4 INTEROPERABILIDAD44

RECOPIACIÓN Y GENERACIÓN DE DOCUMENTACIÓN BIM A PARTIR DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CON LIDAR TERRESTRE.	5
9.4.1 Fotogrametría.....	45
9.4.2 Generación cartografía.....	46
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
12. REFERENCIAS.....	59
12.1 ARTÍCULOS DE REVISTAS:	59
12.2 LIBROS:	60
12.3 SITIOS WEB:	60
12.4 NORMATIVA COLOMBIANA:	60
12.5 ANEXOS.....	61

Lista de Figuras

Figura 1 Dron moderno usado en ingeniería.....	13
Figura 2. Ortomosaico resultado de proceso fotogramétrico en PIX4D CLOUD.....	14
Figura 3 <i>Exportación nube de puntos levantada en Global Mapper.</i>	16
Figura 4 Diagrama de flujo con modelación interdisciplinar mediante tecnología BIM.	17
Figura 5 <i>Modelo paramétrico de estructuras hidráulica.</i>	18
Figura 6 <i>Interoperabilidad Pix4D / Revit</i>	21
Figura 7 <i>LOD (Level of Development) en Box Culvert modelado en el Proyecto. (anexo 6).</i>	22
Figura 8 Referencia espacial usada en cartografía de estructuras levantadas.....	25
Figura 9 Fases del proyecto.	31
Figura 10 <i>Diligenciamiento aplicación en campo</i>	32
Figura 11 Vista de datos levantados desde data base.....	33
Figura 12 Ortofoto, alineamiento, curvas de nivel y demás layers en proyecto DWG.	34
Figura 13 <i>Coordenadas levantamiento topográfico.</i>	35
Figura 14 <i>Vinculación Modelos de Revit.</i>	35
Figura 15 <i>Nubes de puntos con georreferenciación en Revit.</i>	36
Figura 16 Fotografía estructura / modelo Revit.	37
Figura 17 Procesamiento de imágenes generando curvas de nivel y microcuencas.	45
Figura 18 Ortofoto .TIFF correspondiente a vía vectorizado en Civil3D.....	45
Figura 19 <i>Nube de puntos que representa el MDS del terreno levantado en Microstation.</i>	46
Figura 20 <i>Interoperabilidad Civil 3D con Revit.</i>	47
Figura 21 <i>Georreferenciación compartida Civil 3D con Revit.</i>	47
Figura 22 Proyecto Civil 3D vinculado en proyecto Revit.	48
Figura 23 <i>Opciones de visualización elementos vinculados en Revit.</i>	49
Figura 24 Visualización modelo 3D Infra Works vinculados en Revit.....	49

Figura 25 <i>Modelo 3D Infra Works vinculado en Revit</i>	50
Figura 26 <i>Cartografía ID9 (anexo 4) / Cartografía levantada con RTK</i>	51
Figura 27 <i>Comparación RTK / LiDAR Fase de planeación (anexo 7)</i>	52
Figura 28 <i>Comparación RTK / LiDAR Fase levantamiento de información (anexo 7)</i>	53
Figura 29 <i>Comparación RTK / LiDAR Fase de procesamiento de información (anexo 7)</i>	53
Figura 30 <i>Comparación RTK / LiDAR Fase modelamiento y generación de cartografía</i>	54
Figura 31 <i>Puntos de vértices cargados en Civil3D, levantamiento con RTK / Modelo final</i>	54
Figura 32 <i>Diagrama de Procesos proyecto AG</i>	56

Resumen

El presente trabajo de grado tiene como objetivo la generación de documentación del modelado de información de construcción (BIM) de activos viales en la ciudad de Bogotá, se usa la aplicación móvil PIX4D catch (Captura) desde un IPAD pro de tercera generación para la obtención de una nube de puntos y así generar un modelo tridimensional exacto en conjunto con un trabajo de levantamiento de información fotogramétrico externo.

Posteriormente se deben ajustar los formatos de las nubes de puntos en Global Mapper, crear información en Civil3D y Navisworks para generar una interoperabilidad entre varios softwares de ingeniería y así aprovecharlos para hacer la documentación BIM en Revit, además el proyecto busca evaluar la eficiencia y precisión de un levantamiento de información terrestre con tecnología Light Detection and Ranging (LiDAR) con respecto a un levantamiento de información con un bastón de tecnología de posicionamiento cinemático en tiempo real (RTK) funcional con el sistema global de navegación por satélite (GNSS)

Palabras clave: Levantamiento fotogramétrico, tecnología RTK, Modelado en Revit, Documentación BIM, Nubes de puntos, Activos viales hidráulicos.

Abstract

The objective of this degree work is the generation of building information modeling (BIM) documentation of road assets in the city of Bogotá, the PIX4D catch mobile application is used from a second generation iPad to obtain a point cloud and thus generate an exact three-dimensional model in conjunction with an external photogrammetric information survey work.

Subsequently, the formats of the point clouds in Global Mapper must be adjusted, information must be created in Civil3D and Navisworks to generate interoperability between various engineering softwares and thus take advantage of them to make BIM documentation in Revit, in addition the project seeks to evaluate the efficiency and accuracy of a terrestrial information survey with this Light Detection and Ranging (LiDAR) technology with respect to an information survey with a cane of kinematic positioning technology real-time (RTK) functional with the Global Navigation Satellite System (GNSS).

Keywords: Photogrammetric survey, RTK technology, Revit modeling, BIM documentation, Point clouds, Hydraulic Road assets.

1. Introducción

El presente trabajo de grado busca identificar una alternativa al método de levantamiento de información geoespacial empleado en el proyecto *Elaboración de estudios y diseños definitivos, gestión ambiental, predial, social, construcción, rehabilitación, mejoramiento, operación y mantenimiento del corredor proyecto Cartagena-Barranquilla y circunvalar de la prosperidad*, realizado durante mi práctica universitaria en la empresa XENITAL.

En dicho proyecto, se recopiló y generó información de activos viales hidráulicos en un corredor vial de 32 km. También se llevó a cabo fotogrametría, levantamiento de información geoespacial con una antena RTK GNSS para el modelado 3D de obras hidráulicas, 2D de activos viales y generación de cartografía, así como los procesos necesarios para cumplir con la normativa vigente en el país.

Este trabajo de grado propone el uso de un dispositivo móvil con sensor LiDAR para el levantamiento de información de estructuras hidráulicas, con el fin de modelarlas y generar la cartografía necesaria para una correcta gestión BIM, cumpliendo con la Normativa Colombiana.

La monografía describirá la metodología a utilizar y buscará resolver los problemas detectados en el área técnica de la empresa que generó este trabajo fotogramétrico y topografía de alta precisión.

1. **Planteamiento del problema**

A continuación, se describen los problemas e inconvenientes identificados, finalmente se plantea la pregunta de investigación:

1. Lentitud del equipo y software: El uso de Civil3D para la modelación de estructuras presenta un rendimiento lento, lo que afecta el tiempo de trabajo. Además, el método actual para cargar la información levantada en campo y la interacción documental entre modeladores desde la parte técnica son ineficientes, aumentando aún más el tiempo dedicado a estas tareas.

2. Una consecuencia del constante desplazamiento por la vía y los alejados GNSS de recepción de la antena RTK fue la generación de las siguientes desventajas en la predicción por alejamiento del receptor en un levantamiento con RTK:

2.1 Disminución de la precisión: La precisión de la predicción se reduce a medida que aumenta la distancia entre el receptor y la estación base. Esto puede ser un problema en áreas extensas o con obstáculos que interfieren la señal.

2.2 Inestabilidad de la señal: La calidad de la señal RTK puede verse afectada por factores ambientales como la presencia de edificios, árboles o interferencias electromagnéticas. Esto puede afectar la precisión de la predicción.

2.3 Limitaciones en áreas sin cobertura: La predicción por alejamiento no es posible en áreas sin cobertura de la red RTK depende del modelo y marca del equipo.

De acuerdo con esto, la pregunta de investigación es: ***¿Cómo se puede optimizar el proceso de modelado de estructuras y levantamiento de información geoespacial en proyectos de infraestructura vial, considerando las limitaciones de tiempo, precisión y cobertura de la tecnología RTK actual?***

2. Justificación

Se realizará un análisis costo Vs precisión con el fin de establecer la viabilidad de la tecnología LiDAR en un trabajo fotogramétrico, conocer sus ventajas económicas, optimización de tiempo para ejecutar procesos técnicos en XENITAL sobre un uso de tecnología RTK con GNSS, siempre cumpliendo con estándares del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Realizar un escaneo desde un Ipad pro con LiDAR puede ser cuestión de un par de minutos siempre y cuando la estructura hidráulica sea visible, generando una mayor rapidez y por consiguiente eficiencia en el levantamiento y gestión de información. También se debe tener en cuenta que un dispositivo como el Ipad escanea fácilmente hasta una profundidad de 5 metros, lo que genera una gran precisión en zonas inaccesibles, además brinda información 3D precisa.

Este escaneo no genera grandes limitaciones pues es de bajo costo el sensor LiDAR utilizado, el uso está al alcance del personal de la empresa, cumple la precisión mínima de la norma colombiana y su procesamiento en oficina puede ser más rápido.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Sintetizar una ruta de trabajo que contribuya a la optimización y sustentabilidad de procesos empresariales para la generación y uso de cartografía usando algunas herramientas de la metodología BIM.

3.2 Objetivos Específicos

- 3.2.1 Sustituir el levantamiento de información con un bastón GNSS RTK por el escaneo con la tecnología LiDAR de un Ipad pro para crear nubes de puntos precisas y en menor tiempo.
- 3.2.2 Diseñar mediante Appsheet un aplicativo que integre la información necesaria para el levantamiento, corrección y el resultado final (cartografía).
- 3.2.3 Generar una interoperabilidad entre distintos softwares para obtener documentación BIM eficientemente y una metodología trabajo colaborativo.

4. Marco teórico

Según (Akinci Burcu, 2010) los escáneres láser están ganando aceptación y uso en la industria Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) para crear BIM as-built (tal y como se construyó) porque pueden medir de forma rápida y precisa la forma 3D del entorno. El proceso de creación de un modelo de información de construcción utilizando escáneres láser se puede dividir en tres pasos principales:

- 1) Recopilación de datos, en la que se recopilan mediciones puntuales densas de la instalación mediante escaneos láser tomados de ubicaciones clave en toda la instalación.
- 2) Preprocesamiento de datos, en el que los conjuntos de mediciones de puntos (conocidos como nubes de puntos) de los escaneos recopilados se filtran para eliminar artefactos y se combinan en una sola nube de puntos o representación de superficie en un sistema de coordenadas común.

- 3) Modelar el BIM, en el que la nube de puntos de bajo nivel o la representación de la superficie se transforma en un BIM semánticamente rico.

La tecnología de escaneo láser ha hecho que la creación de BIM as-built sea manejable. Otros métodos, como el uso de una estación total, cintas métricas o incluso cámaras ordinarias, consumen demasiado tiempo o son inexactos para ser prácticos a gran escala.

BIM se puede utilizar en el monitoreo en tiempo real de los proyectos para encontrar fallas estructurales, de desempeño en construcción o en funcionamiento o dar muestra del riesgo y la desfavorable respuesta de un activo frente a un evento catastrófico natural como incendios, sismos e inundaciones. Una inspección insuficiente y una detección tardía del problema pueden conducir a resultados desastrosos en los proyectos. (ISARC, 2020).

Según (Electrotechnical certification schene [ECS], 2021) la construcción sostenible se caracteriza por la sustentabilidad en las diferentes fases del proyecto sin embargo con la práctica de esta monografía se está reduciendo el costo del equipo de levantamiento (LiDAR en vez de RTK) y el equipo que debe operar la tecnología generando una mayor eficiencia económica y de recursos de operación.

Aunque las ventajas ambientales están más ligadas al BIM en fases de diseño y construcción a partir de esta información BIM ast build se generan alternativas, ajustes al diseño o construcciones nuevas para el aprovechamiento del recurso hídrico, recolectándolo, almacenándolo o tratando el agua desde un activo vial o optimizar los planes de disposiciones finales responsable de estructuras en búsqueda de reutilización o reciclaje de acuerdo con normas y regulaciones ambientales.

5. Marco Conceptual

Parte de la información levantada en el trabajo en campo debe ser a partir de un dron el cual es un vehículo aéreo no tripulado (UAV) que puede ser controlado de forma remota (Valavanis, K. P., y Vachtsevanos, G. J., 2015). Pueden ser de ala fija o ala rotatoria. Los drones de ala fija son más eficientes para cubrir grandes áreas, mientras que los drones de ala rotatoria son más maniobrables y pueden volar en espacios reducidos. Los drones se pueden equipar con una variedad de sensores, como cámaras, radares, LiDAR y multiespectrales.

Figura 1 Dron moderno usado en ingeniería.



Nota. La figura representa el dron usado en ingeniería. Tomado de: [DJI Mavic 3 Pro: First Look \(lensvid.com\)](https://lensvid.com).

Este se usa para la realización de fotogrametría la cual es una técnica que utiliza fotografías para obtener información métrica y geométrica de objetos y del terreno. (Schenk, T. (2005). *Tratado de fotogrametría y teledetección.*)

La fotogrametría se basa en la correspondencia entre puntos homólogos en diferentes fotografías para determinar la posición y forma de objetos en el espacio 3D. Se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como topografía, cartografía, arquitectura, ingeniería, arqueología, geología y glaciología.

Las técnicas fotogramétricas se pueden dividir en dos categorías principales: fotogrametría aérea y fotogrametría terrestre:

- La fotogrametría aérea se realiza utilizando cámaras aéreas montadas en aviones o drones.
- La fotogrametría terrestre se realiza utilizando cámaras terrestres que se pueden colocar en trípodes, torres u otros soportes.

Figura 2. Ortomosaico resultado de proceso fotogramétrico en PIX4D CLOUD.



Nota. Comparación de procesamiento de imágenes en diferente época. Elaboración propia

Como se puede apreciar en la imagen anterior un ortomosaico es una imagen compuesta a partir de fotografías aéreas que ha sido corregida geoméricamente para eliminar la distorsión y representar el terreno con precisión. (James, M. R., Robson, S., & Lucieer, A. (2017). *Structure from motion photogrammetry in geoscience: Applications and challenges.*)

Un ortomosaico es una imagen georreferenciada que se puede utilizar para crear mapas, modelos 3D y otras aplicaciones. Se crea a partir de un conjunto de fotografías aéreas que se han superpuesto y corregido geoméricamente. Las técnicas de orto rectificación pueden ser manuales o automáticas. Los ortomosaicos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como planificación urbana, agricultura, gestión de recursos naturales y monitoreo ambiental.

La georreferenciación es el proceso de asignar coordenadas geográficas a un conjunto de datos, como imágenes o modelos 3D a partir de un Ground Control Point (GCP). En el caso de los trabajos fotogramétricos, la georreferenciación es esencial para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados. La otra parte del levantamiento de información propuesto en esta monografía es mediante un escáner LiDAR el cual es un dispositivo que utiliza un láser que:

“mide la distancia desde el sensor hasta las superficies cercanas con una precisión milimétrica a centímetro a velocidades de miles a cientos de miles de mediciones puntuales por segundo. Un solo escaneo puede contener varios millones de puntos 3D”. (Shan, J., y Toth, C. K., 2018).

Dado que ninguna ubicación de escaneo puede visualizar todas las superficies dentro de una instalación, los escaneos deben obtenerse de varias ubicaciones para su eficiente levantamiento de información.

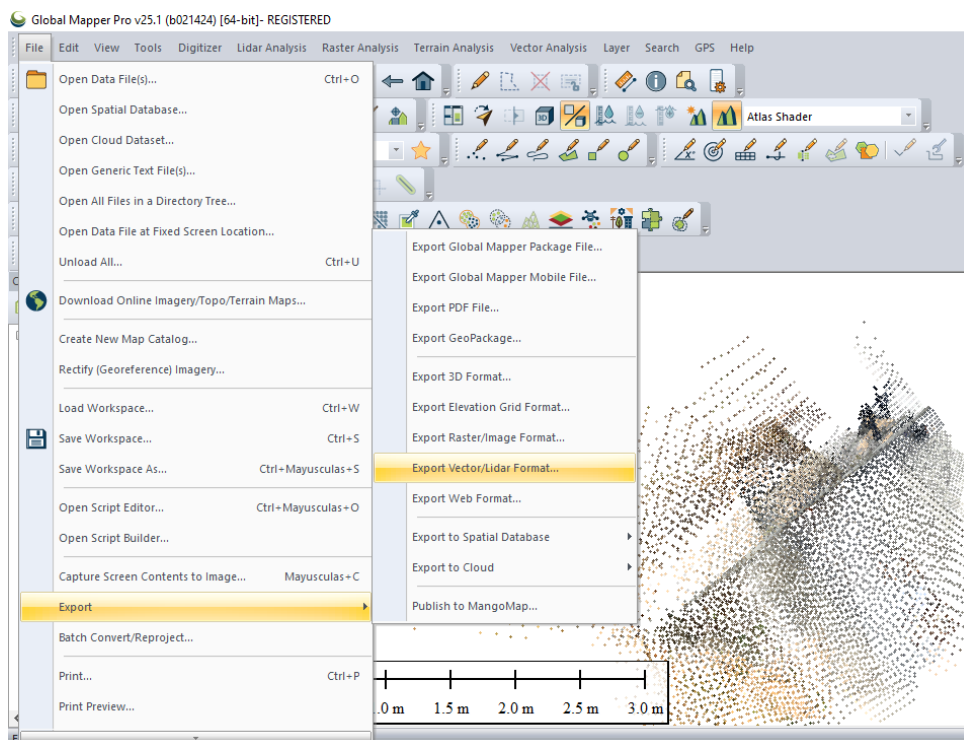
Los escáneres LiDAR se pueden utilizar desde drones para crear modelos digitales de terreno (DTM) y modelos digitales de superficie (DSM). Los datos LiDAR se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones, como topografía, cartografía, ingeniería, arqueología, geología y glaciología.

-Los DTM representan la elevación del terreno sin vegetación ni edificios.

- Los DSM representan la elevación de la superficie, incluyendo la vegetación y los edificios.

Se propone un escaneo aéreo y terrestre, cada uno genera una nube de puntos la cual es un conjunto de puntos que representan la superficie de un objeto o del terreno y se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones, como visualización, diseño, análisis y simulación. (Vosselman, G., & Maas, H. G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning.*).

Figura 3 Exportación nube de puntos levantada en Global Mapper.



Nota. Cambio de formato en software Global Mapper. Elaboración Propia.

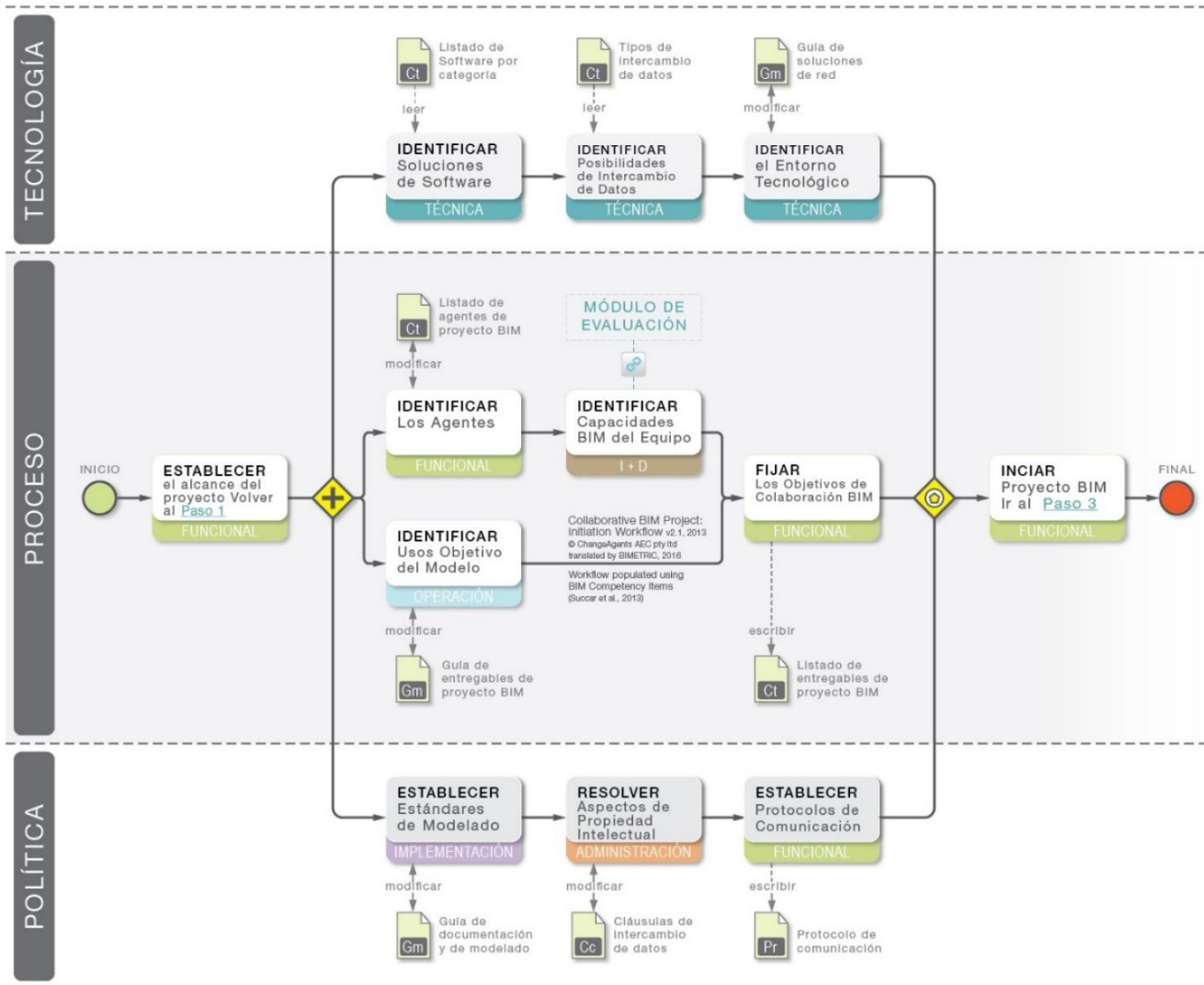
En la imagen anterior observamos una nube de puntos del proyecto en su fase de post procesamiento a la información levantada pues se debe ajustar el formato del archivo Polygon file format (.PLY) a Recap Scan (.RCS) para trabajarlo en Revit.

Building Information Modeling (BIM), según Autodesk (2014) “es un proceso inteligente basado en modelos 3D que permite una planificación, diseño, construcción y gestión eficaces de proyectos de edificación e infraestructura”. Esta definición, sin embargo, no abarca la totalidad del concepto. BIM se compone de dos fases interdependientes:

1. Proceso BIM: Se relaciona directamente con la fase de construcción del proyecto, integrando información y procesos para optimizar la ejecución.
2. Modelo BIM: Se enfoca en el diseño del modelo paramétrico de la estructura a construir, como se ilustra en la Figura 4 (Mojica & Valencia, 2012).

A continuación, una Figura que explica la optimización de recursos interdisciplinarios al usar esta metodología:

Figura 4 Diagrama de flujo con modelación interdisciplinar mediante tecnología BIM.



Nota. Diagrama de flujo BIM, obtenido de: [Espacio LEAN BIM](#).

Este enfoque BIM ofrece las siguientes ventajas, según Eastman et al. (2008):

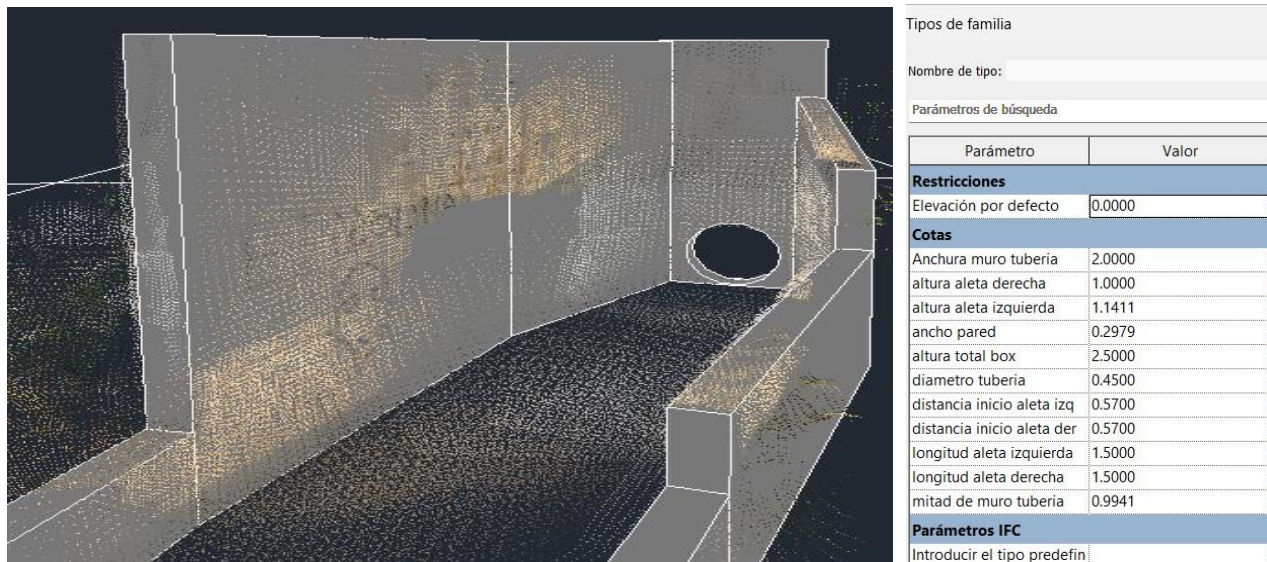
1. Coordinación: Facilita la participación de los miembros del proyecto en visitas virtuales, permitiendo una toma de decisiones más rápida.
2. Aplicabilidad: Puede utilizarse en todas las fases de un proyecto de ingeniería civil.

3. Visualización: Permite una visualización más clara de la información, reduciendo el tiempo dedicado a reprocesos.

4. Control: Ofrece un control sobre la información con límites preestablecidos antes, durante y después de la construcción del proyecto.

En la Figura 4 se observa la ruta para una correcta comunicación interdisciplinar y finalmente implementar un modelado paramétrico el cual se define como la representación digital de un conjunto de parámetros dentro de un proyecto extenso, con el objetivo de estructurarlo correctamente como se muestra en (Figura 5).

Figura 5 Modelo paramétrico de estructuras hidráulica.



Nota. Modelamiento a partir de nube de puntos levantado. Elaboración Propia.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizarán softwares de ingeniería como PIX4D, el cual es un software de fotogrametría para la creación de modelos 3D a partir de imágenes aéreas o terrestres. Se basa en algoritmos de visión artificial y aprendizaje automático para procesar grandes conjuntos de datos de forma rápida y precisa.

Revit también será usado y es un software de modelado de información de edificios o proyectos (BIM) para la creación de diseños arquitectónicos y de ingeniería. Permite a los usuarios trabajar en un entorno 3D paramétrico y interdisciplinariamente, lo que facilita la realización de cambios.

Civil3D también será usado y es un software de diseño civil para la creación de proyectos de infraestructura como carreteras, puentes y redes de agua potable y alcantarillado. Permite a los usuarios trabajar en un entorno 3D con herramientas específicas para el diseño y análisis de infraestructuras.

Navisworks y Infra Works también son usados para incorporar al modelo en Revit un modelo 3D de su topografía y tener un nivel de detalle mayor en el modelo generado.

AppSheet también será usado y es una plataforma de no-code/low-code que permite a los usuarios crear aplicaciones móviles y web sin necesidad de escribir código. Se basa en una interfaz gráfica de usuario intuitiva que facilita el diseño y desarrollo de aplicaciones.

Los softwares mencionados anteriormente se han convertido en herramientas fundamentales para la ingeniería civil, permitiendo a los profesionales trabajar de manera más eficiente y precisa en una amplia variedad de proyectos, y lo más importante el implemento de la metodología BIM desde fases de planeación bien gestionado tiene impactos positivos en la sustentabilidad del proyecto, pues en casos de éxito la empresas colombianas como(C&G Ingeniería o ACIS) realizan las siguientes aplicaciones con cada software:

PIX4Dcapture:

- Topografía y fotogrametría: creación de modelos 3D a partir de imágenes aéreas o terrestres para la planificación de proyectos, análisis de terrenos, etc.
- Inspección de infraestructuras: detección de daños y deformaciones en puentes, edificios, carreteras, etc.
- Arqueología: excavaciones virtuales y modelado de sitios arqueológicos.

Revit:

- Diseño arquitectónico: creación de modelos 3D de edificios, estructuras, etc.
- Ingeniería estructural: análisis y diseño de estructuras de hormigón, acero, etc.

- MEP (mecánica, eléctrica y fontanería): diseño de sistemas de HVAC, electricidad, fontanería, etc.

Civil3D:

- Diseño de carreteras: creación de modelos 3D de carreteras, terraplenes, etc.
- Diseño de puentes: análisis y diseño de puentes de hormigón, acero, etc.
- Diseño de redes de agua potable y alcantarillado: diseño de sistemas de tuberías, pozos, etc.

AppSheet:

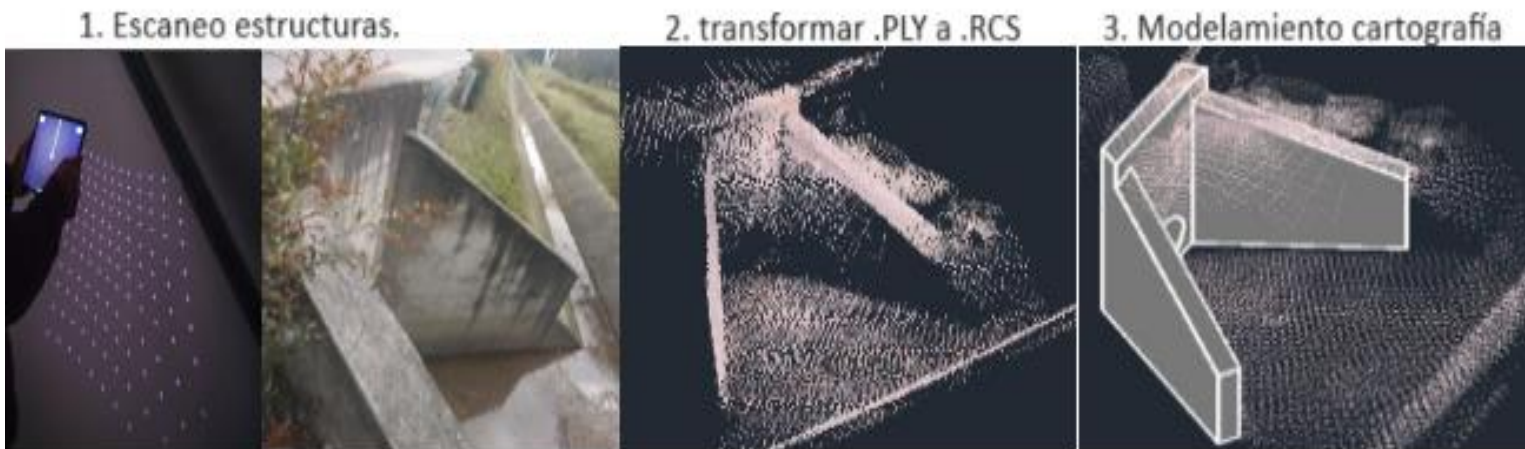
- Gestión de proyectos: seguimiento del progreso del proyecto, gestión de tareas, etc.
- Inspecciones de campo: recolección de datos en campo, generación de informes, etc.
- Permisos y licencias: solicitud y seguimiento de permisos, etc.
- Mantenimiento de activos: seguimiento del estado de activos, programación de mantenimiento, etc.
- Aplicaciones de gestión de negocios: CRM, ERP, gestión de proyectos, etc.
- Aplicaciones de productividad: Formularios, listas de tareas, seguimiento de tiempo, etc.
- Aplicaciones de campo: Inspecciones, recolección de datos, etc.

La interoperabilidad se perfila como una estrategia fundamental para el intercambio de información entre diversas herramientas digitales de diseño. Su objetivo principal reside en la optimización de los parámetros de calidad y la facilitación del análisis de las estructuras a desarrollar.

En este contexto, la interoperabilidad se traduce en la integración digital de plataformas como Global Mapper, Civil 3D y Revit como se muestra en la (Figura 6). Esta convergencia da lugar a un

entorno colaborativo compatible con herramientas BIM, potenciando el modelado preciso de estructuras. (Mojica, A., & Valencia, A. (2012).

Figura 6 Interoperabilidad Pix4D / Revit



Nota. Flujo de tratamiento de nube de puntos. Elaboración Propia.

El Nivel de Desarrollo (LOD), por sus siglas en inglés, es un concepto fundamental en la metodología BIM que se refiere a la categorización de elementos según la cantidad de detalles e información que contienen. Esta categorización permite una mejor comprensión y comunicación del estado de desarrollo del modelo BIM en diferentes etapas del proyecto.

Las categorías de LOD son esenciales en la metodología BIM por las siguientes razones:

- Comunican el nivel de detalle y precisión de la información contenida en los modelos.
- Permiten una mejor colaboración entre los diferentes equipos que trabajan en el proyecto.
- Facilitan la toma de decisiones durante las diferentes etapas del proyecto.
- Ayudan a optimizar el uso de recursos y a evitar errores y omisiones.

LOD 100: Se centra en el aspecto físico y la propuesta visual, siendo ideal para la fase de diseño conceptual. Representa aproximadamente el 20% de la información total posible. (BIMnD, 2017).

LOD 200: Se considera un nivel básico o esquematizado, incluyendo información dimensional parametrizada. Es útil para la fase de diseño esquemático y representa alrededor del 40% de la información total posible. (BIMnD, 2017).

LOD 300: En este nivel, los elementos no solo tienen sus dimensiones geométricas, sino que también incluyen funciones específicas. Se utiliza principalmente en la fase de diseño desarrollado y corresponde al 60% de la información total posible. (BIMnD, 2017).

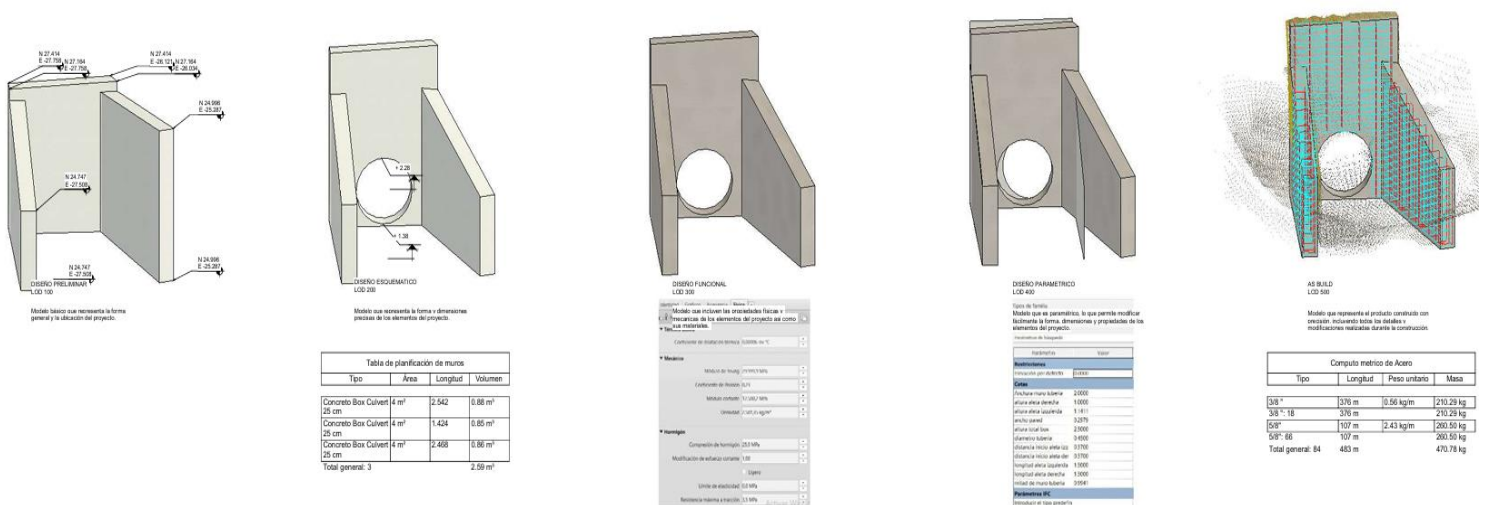
LOD 400: Abarca la información de un LOD 300, pero además incorpora detalles concretos como fabricante, costos, etc. Es ideal para las fases de proyecto de contratación o construcción y representa cerca del 80% de la información total posible. (BIMnD, 2017).

LOD 500: Representa un nivel de detalle muy alto, con información completa y precisa para la construcción.

LOD 600: Se utiliza para la operación y mantenimiento del edificio, incluyendo información sobre el ciclo de vida de los elementos y su rendimiento.

A continuación, una representación del nivel de detalle trabajado en el proyecto (LOD 500) :

Figura 7 LOD (Level of Development) en Box Culvert modelado en el Proyecto. (anexo 6).



Nota. Ficha técnica en función al LOD de un activo vial. Elaboración Propia.

6. Marco Normativo

La Resolución 715 de 2018, expedida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se definió y adoptó como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, también denominado: MAGNA-SIRGAS, sistema de referencia presente en las nuevas especificaciones técnicas para los productos de cartografía básica oficial.

La Aeronáutica Civil de Colombia establece reglas para el uso de drones en actividades fotogramétricas, con el objetivo de regular su operación en el espacio aéreo nacional desde 2018, haciendo cumplir el Reglamento Aeronáutico de Colombia (**RAC 100**). Esta legislación clasifica los drones por peso y uso dentro del territorio nacional, e impone sanciones a quienes la incumplan, establece condiciones importantes para el uso de drones como peso máximo de 25 Kg, prohíbe volar sobre áreas congestionadas, edificios o aglomeraciones de personas, establece la altura mínima de vuelo de 152 metros sobre el terreno, prohíbe volar en zonas restringidas o prohibidas como instalaciones militares, policiales o centros carcelarios.

La resolución No. 471 de 2020 Establece las especificaciones técnicas mínimas para los productos de la cartografía básica oficial de Colombia, como ortoimágenes, modelos digitales del terreno y bases de datos cartográficas (vectoriales). Su objetivo es garantizar que los productos finales cumplan con los estándares de calidad establecidos.

En las pruebas propuestas en esta monografía, se debe verificar que los productos cartográficos cumplan con las siguientes especificaciones:

1. Cobertura: los ortomosaicos deben cubrir el área de interés en su totalidad y con una resolución espacial mínima de 0,5 metros.

2. Precisión: el error máximo permitido en la geometría de los ortomosaicos es de 0,5 metros. (depende nivel de detalle solicitado).

3. Calidad radiométrica: El índice de contraste de los ortomosaicos debe ser superior a 0,2. (si el nivel de detalle del proyecto lo requiere).

4. GSD, o Ground Sample Distance: es la distancia entre los centros de dos píxeles adyacentes medidos sobre el terreno. Se expresa en unidades de longitud, como centímetros o metros y debe cumplir los parámetros de acuerdo con el producto entregado.

5. Puntos de chequeo: son puntos de referencia con coordenadas conocidas que se utilizan para verificar la precisión de los datos cartográficos. Estos puntos pueden ser puntos de control terrestre, puntos de control aéreo o puntos de control derivados de imágenes satelitales se debe cumplir con un mínimo de acuerdo con el nivel de detalle.

6. Cobertura: El MDT y la cartografía para catastro debe cubrir el área de interés en su totalidad.

7. Precisión: El área omitida es mayor o igual al 3%, el conjunto de datos NO es conforme.

8. Resolución espacial: La resolución espacial del MDT debe ser de 1 metro o superior. Mediante el uso de software de procesamiento, revisar el espaciado máximo de grilla del MDT.

9. Error máximo permitido en la elevación del MDT es de 0,6 metros.

10. Precisión: El error máximo permitido en la distorsión geométrica de la cartografía para catastro es de 0,5 metros.

11. Calidad temática: La cartografía para catastro debe contener todos los elementos cartográficos requeridos para el catastro ubicados en la base de datos debe ser representada según Modelo de datos con Layers mínimos tales como: Límites de predios, vías, hidrografía, edificaciones, infraestructura.

12. Formato: Los productos de cartografía básica oficial deben estar disponibles en formato vectorial.

13. Codificación: Los productos de cartografía básica oficial deben estar codificados de acuerdo con el modelo de datos establecido por el IGAC.

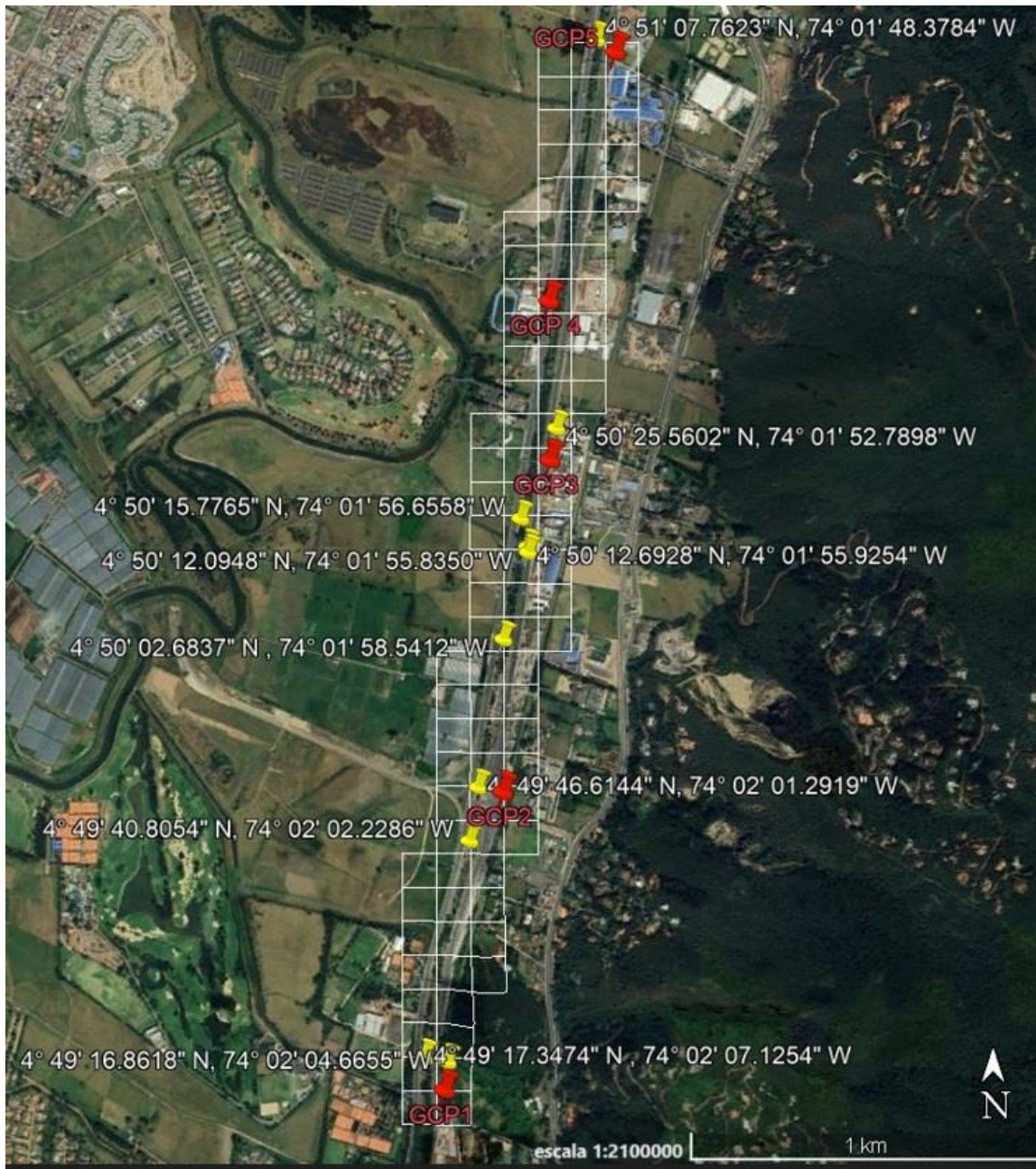
14. Metadatos: Los productos de cartografía básica oficial deben incluir metadatos que permitan su identificación y uso.

7. Marco geográfico

Se busca generar cartografía similar a la levantada en un proyecto vehicular de Barranquilla por eso se escoge la autopista norte de Bogotá a la altura del peaje Andes hasta la universidad de la sabana en dos sentidos (6,4 km), acá encontramos distintos tipos de Box culvert que serán los objetos de prueba (13 estructuras) para esta investigación.

La latitud y longitud obtenida al momento de llenar la aplicación se grafican en la siguiente Figura con el fin de tener una referencia local para el trabajo, además se ubican los datos de ground control point (GCP) dados por el topógrafo como se ve a continuación:

Figura 8 Referencia espacial usada en cartografía de estructuras levantadas



Nota. Estructuras hidráulicas escaneadas en la autopista Norte de Bogotá a la altura del peaje Andes, tomado de: Google Maps.

8. Metodología

8.1 Tipo de investigación

El presente estudio es documental, el cual se caracteriza por la recopilación, análisis y síntesis de información proveniente de diversas fuentes, como libros, artículos científicos, informes técnicos y

sitios web. La información recopilada se utiliza para construir un conocimiento sobre la tecnología de escaneo láser y sus aplicaciones en la construcción, ingeniería y arquitectura; Se cuantifica la información y se compara como resultado.

Tecnología de escaneo láser:

El núcleo de la investigación se centra en la tecnología de escaneo láser, la cual permite **capturar datos tridimensionales precisos** de edificios y estructuras. Se exploran en profundidad los siguientes aspectos:

- **Teoría:** Principios físicos y funcionamiento del escaneo láser.
- **Metodología:** Técnicas y procedimientos para la captura de datos con escáner láser.
- **Aplicaciones:** Usos específicos del escaneo láser en el contexto de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

Captura de datos 3D:

Se analiza en detalle cómo el escaneo láser permite la obtención de nubes de puntos tridimensionales, las cuales representan fielmente la geometría de un objeto o entorno. Se describen las características de las nubes de puntos y las técnicas para su procesamiento y análisis.

Aplicaciones en arquitectura e ingeniería:

La investigación examina las numerosas aplicaciones del escaneo láser en las áreas de arquitectura e ingeniería, incluyendo:

- **Documentación BIM y planos récord:** Levantamiento de planos y generación de modelos 3D de edificios o estructuras construidas para su análisis, rehabilitación o mantenimiento.
- **Inspección de estructuras:** Evaluación del estado de conservación de estructuras, detección de daños y planificación de reparaciones.

8.2 Categorías

Dentro del marco de esta investigación, cuyo objetivo principal es llevar a cabo un levantamiento de información en campo y su posterior procesamiento y generación de cartografía de activos viales que se

encuentran en las vías nacionales de Colombia mediante el uso del software PIX4D catch y la creación de un modelo en Revit vinculado, se pueden identificar dos variables clave:

8.2.1 Categoría Dependiente: Modelo en Revit

El modelo en Revit se considera la variable dependiente en este trabajo. Esta designación se fundamenta en que el modelo en Revit es el resultado directo de la investigación y su calidad y utilidad dependen de las acciones y procesos previos que se llevan a cabo. El modelo en Revit se concibe como una representación virtual precisa de las estructuras hidráulicas escaneadas, y su finalidad es servir como una herramienta para la toma de decisiones relacionadas con futuras necesidades.

8.2.2 Categorías Independientes: Levantamiento y Aplicaciones

Las variables independientes en este estudio son la "técnica" y la "generación".

Estas variables se consideran independientes porque representan las acciones y procesos que el investigador controla y ejecuta de manera deliberada para la creación del modelo en Revit. La "técnica" es el método de levantamiento de información utilizada por el equipo en campo incluye las herramientas para recopilación de datos tridimensionales que requieren distintos tipos de software para su procesamiento, y las "generación" se refieren al proceso de transformar esos puntos en cartografía o modelos digitales útiles en Revit.

8.3 Fases

8.3.1 Fase 1:

Diseñar en appsheet un aplicativo que integre la información necesaria para el levantamiento de información, el procesamiento de esta y el resultado final que se entregaría, pues se busca implementar una ruta de fácil reconocimiento para corredores viales mediante herramientas tecnológicas modernas que contengan datos de una estructura hidráulica, la información técnica de esa estructura con el fin de reducir el tiempo de trabajo, además con esto se podrá:

- Optimizar recursos de trabajo como almacenamiento de información en una nube directamente desde los servicios de Google.

- Se puede georreferenciar, organizar y ubicar en un mapa cada fotografía sacada en campo, evitando así problemas de identificación en oficina.

-Tener una ruta de fáciles accesos por obra hidráulica en donde se puede encontrar diferente información útil desde su levantamiento hasta la generación de planimetría.

8.3.2 Fase 2:

Crear nubes de puntos a partir del levantamiento terrestre propuesto, simultáneamente levantar información necesaria para generar la cartografía de precisión:

La metodología de levantamiento propuesta es diferente a la utilizada anteriormente por la empresa, pues en vez de utilizar la técnica RTK (Real time kinematic) se utiliza un levantamiento de información desde un iPad pro con sensor LiDAR y una aplicación como Pix4Dcatch que permite realizar un levantamiento de nube de puntos desde un escaneo terrestre este último en función de las necesidades del cliente, obteniendo la captura de nubes de puntos de objetos o estructuras a corta distancia (hasta 5 metros) con precisión de hasta 1 cm.

Simultáneamente se esperaría que por medio de la empresa se realizara un trabajo fotogramétrico con el fin de entregar cartografía para la correcta gestión de la vía, mediante fotografía aéreas se generan una nube de puntos con cualidades de tono natural de la superficie levantada.

8.3.3 Fase 3:

Se busca reducir el tiempo de trabajo dedicado a actividades como la modelación de estructuras hidráulicas, el software utilizado la empresa es Civil3D para el modelamiento y gestión documental cartográfica, generando en ocasiones demoras por imprevistos (errores fatales) o daños comunes en los archivos retrasando el proceso de modelado para estos se sustituirá la metodología utilizada para la generación de cartografía y procesamiento de información y modelamiento de estructuras existentes:

En civil 3D tras cargar el ortomosaico se procede a vectorizar de acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), cumpliendo la norma en donde se establece los requisitos mínimos para la vectorización y demás procesos de elaboración de la cartografía de las vías nacionales de Colombia.

La escala de trabajo para la cartografía general de una vía nacional debe ser 1:2.500, se deben tener en cuenta elementos a vectorizar de acuerdo con su tipo como por ejemplo para las vías se debe vectorizar:

-En la calzada (incluyendo carriles, bermas y separadores: intersecciones y glorietas, puentes y viaductos, túneles, pasos a desnivel.

-Elementos adyacentes a la vía: Aceras y ciclovías, zonas verdes y áreas de descanso, edificaciones y construcciones relevantes, mobiliario urbano, hidrografía (ríos, quebradas, etc.)

-Señalización vial: Señales de tráfico, semáforos, demarcación vial.

La cartografía vial digital debe entregarse en formato shapefile (.shp) se puede hacer a raíz de un "Etransmit" en donde se integren para un archivo .DWG (Drawing) todos los layer, layouts de planos, imágenes .JPG (Joint Photographic Experts Group) .KMZ (Keyhole Markup Language) o todos los otros elementos vinculados a un modelo con el fin de no perder información en el envío de información de un computador a otro.

Se debe exportar de la aplicación PIX4Dcatch las nubes de puntos en formato .PLY al software Global Mapper y de este a un formato .RCS para poder abrir la nube de puntos desde el software Revit.

Una vez cargada la información al software, se procede a verificar su georreferenciación, una vez verificado se inserta una estructura hidráulica tipo específicamente de Box Coulvert, con la versatilidad del programa se puede modelar la estructura en un menor tiempo en comparación al tiempo de modelamiento a partir de los puntos importados al civil 3d, sin embargo una vez modeladas todas las estructuras estas se disponen a insertar en el archivo de civil 3D para la generación de cartografía puntual para la gestión de las obras.

Una manera de evitar en este modelamiento tiempo dedicado a juntar archivos con el fin de unificar el trabajo de varios trabajadores es trabajando desde el computador de cada trabajador con archivos vinculados a un archivo .RVT maestro o unificado.

Se debe cumplir la normativa colombiana que regula la generación de cartografía o la manera en que deben hacerse los levantamientos es el instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), además la norma colombiana NTC-ISO 17664 del 2018 establece los requisitos de precisión para levantamientos topográficos realizados con GNSS, la norma exige una precisión de:

± 2 cm para coordenadas planimétricas (X e Y) en levantamientos de alta precisión.

± 3 cm para coordenadas planimétricas (X e Y) en levantamientos de precisión normal.

± 5 cm para coordenadas planimétricas (X e Y) en levantamientos de baja precisión.

En cuanto a la precisión geométrica horizontal de la fotogrametría debe ser menor o igual a 0,5 metros, mientras que la precisión vertical debe ser menor o igual a 1 metro. Cada elemento vectorizado debe tener un layer asociado, la información de los atributos debe ser precisa, completa y actualizado.

Figura 9 Fases del proyecto.



Nota. La imagen representa una obra en la que se podría utilizar la metodología propuesta. Elaboración Propia.

9. Ejecución de la Propuesta

El inicio de la metodología de investigación se planea en función a las necesidades o requisitos que se deban entregar a un cliente. Este trabajo busca encontrar la ruta más eficiente a un proceso ya

realizado por una empresa que presta servicios fotogramétricos y de levantamiento de información geoespacial por lo que se propone lo siguiente:

9.1 Recopilación

Actualmente el proceso de recopilación de datos consta de un recorrido por la vía en donde se levantará la información mediante RTK, se van identificando las estructuras en el orden de la vía. Una vez el equipo está en campo toma 3 fotos de un box culvert, una de referencia en la vía, una de su encole y otra de su descole las cuales se guardan y posteriormente se organizan en una carpeta.

Sin embargo, esta información no es del todo completa pues en oficina surgen problemas de identificación de información, bien sea porque no se referencia una foto adecuadamente o porque no se sabe bien cuál es el ID de una estructura como resultado se debe invertir tiempo en la comunicación de los equipos para evitar errores.

Es por esto por lo que propongo la generación de un aplicativo en la plataforma Appsheet para la gestión de información de una forma más eficiente, como se evidencia a continuación:

Figura 10 Diligenciamiento aplicación en campo

The screenshot shows a mobile application interface for data collection. On the left, there is a form with the following fields:

- ID: 11
- Fecha: 08/04/2024 12:26:33 p. m.
- Tipo de estructura: (empty dropdown menu)
- Registro Encole: (camera icon)
- Registro descole: (camera icon)

 On the right, there is a Google Map showing a residential street grid. Below the map are input fields for:

- Latitud
- Longitud
- Nube de puntos encole .PLY: http://

Nota. Screenshot de Appsheet para llenar datos de levantamiento. Elaboración Propia.

Como se ve en la imagen anterior el protocolo inicia una vez el equipo llega a una estructura, desde el aplicativo llena un formulario: primero coloca consecutivamente el número del ID, especificar el tipo de estructura que va a escanear, puede ser un Box Culvert, un canal, una cuneta. Un sumidero, zanjas de coronación, un pozo de inspección, bordillos de vía, disipadores de vía u otro activo que necesite ser registrado. Posterior a esto se deben tomar fotografías de la estructura, desde el aplicativo

se calcula automáticamente la ubicación, latitud y longitud desde donde se toma el registro es por esto por lo que se debe llenar siempre justo a un lado de la estructura. Con estas coordenadas se obtiene una imagen de referencia del proyecto, evitando problemas como el no saber a qué ubicación corresponde una foto o información.

Luego se procede a escanear la estructura mediante el dispositivo con sensor LiDAR, para esta investigación se utilizó un IPAD pro de tercera generación, desde la aplicación PIX4D catch se realiza el escaneo de una nube de puntos guardada en formato .PLY, una vez guardado el proyecto se exporta desde la aplicación a la nube de Google Drive y allí se copia el url del archivo y finalmente este se coloca en el Appsheet.

Finalmente tenemos la información suficiente en la nube para empezar a procesar en oficina como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 11 Vista de datos levantados desde data base.

GRAFIA ESTRUCTURAS VO

Fecha	Tipo de estructura	Registro Encole	Registro des...	Ubicación	Latitud	Longitud	Nube de puntos encole .PLY	Nube de puntos
23/24, 3:58PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/f...	LEVANTAMIENTO_L...	4,7,-74.113	4° 49' 16.8618" N	74° 02' 04.6655" W	https://drive.google.com/file/d/1...	https://drive.google.com/file/d/1...
23/24, 4:05PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/t...		4,7,-74.113	4° 50' 12.0948" N	74° 01' 55.8350" W	https://drive.google.com/file/d/1...	
23/24, 4:09PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/r...		4,7,-74.113	4° 50' 12.6928" N	74° 01' 55.9254" W	https://drive.google.com/file/d/1...	
23/24, 4:15PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/...		4,7,-74.113	4° 50' 25.5602" N	74° 01' 52.7898" W	https://drive.google.com/file/d/1...	
23/24, 4:21PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/...		4,701,-74.113	4° 51' 07.7623" N	74° 01' 48.3784" W	https://drive.google.com/file/d/1...	
23/24, 4:30PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/...	LEVANTAMIENTO_L...	4,7,-74.113	4° 50' 15.7765" N	74° 01' 56.6558" W	https://drive.google.com/file/d/1...	https://drive.google.com/file/d/1...
23/24, 4:35PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/...	LEVANTAMIENTO_L...	4,7,-74.113	4° 50' 02.6837" N	74° 01' 58.5412" W	https://drive.google.com/file/d/1...	https://drive.google.com/file/d/1...
23/24, 4:42PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/...		4,7,-74.113	4° 49' 46.6144" N	74° 02' 01.2919" W	https://drive.google.com/file/d/1...	
23/24, 4:45PM	Box Culvert	LEVANTAMIENTO_Images/...	LEVANTAMIENTO_L...	4,7,-74.113	4° 49' 40.8054" N	74° 02' 02.2286" W	https://drive.google.com/file/d/1...	https://drive.google.com/file/d/1...

Nota. Screenshot de los datos registrados en Appsheet. Elaboración Propia.

9.2 Procesamiento

Simultáneamente al escaneo terrestre de activos viales se espera que por medio de fotogrametría se realice un vuelo sobre el área levantada, esto con el fin de levantar más información

pertinente para el proyecto como lo son las imágenes que se correlacionaran para generar una orto foto georreferenciada con la resolución suficiente para ser vectorizada, la nube de puntos que el dron captaría para realizar MDT, MDS, Mallas de triangulación y así poder generar curvas de nivel, Calcular microcuencas.

No es posible realizar un vuelo debido a la carencia de un dron por parte del equipo investigativo, sin embargo se usan tecnologías geodésicas con el fin de generar una orto imagen y unas curvas de nivel de acuerdo a la triangulación de las imágenes satelitales como se muestra en la siguiente imagen, no se tiene el GSD suficiente para tener una resolución espacial vectorizable como en un trabajo fotogramétrico común, sin embargo se evalúa el método de escaneo que es el objetivo de esta investigación, a continuación un pantallazo del .dwg vinculado al proyecto.

Figura 12 Ortofoto, alineamiento, curvas de nivel y demás layers en proyecto DWG.



Nota. Representación de un trabajo de digitalización de fotogrametría. Elaboración Propia.

9.2.1 Georreferenciación Global Mapper.

Previo al escaneo es necesario contar con el software Global Mapper el cual se utilizó para esta investigación su licencia de periodo de prueba, Este programa lo usamos para convertir correctamente coordenadas planas a geográficas y para transformar el formato de las nubes de puntos. PLY a .RCS

para poder subirlas al drive donde guardamos la información del proyecto y al software de modelado como se muestra en la Figura 14.

9.2.2 Georreferenciación GCP en modelamiento.

Un topógrafo presta sus servicios para referenciar correctamente los GCP del proyecto los cuales son representados mediante una señal plastificada de 1 m² con coordenadas conocidas (Figura 13), estos puntos son detectados automáticamente en cada imagen por el software PIX4D al momento de realizar el procesamiento fotogramétrico en oficina, estos puntos son los que amarran el modelo a una ubicación conocida y así generar a partir de estas coordenadas una georreferenciación real de la información levantada.

Figura 13 Coordenadas levantamiento topográfico.

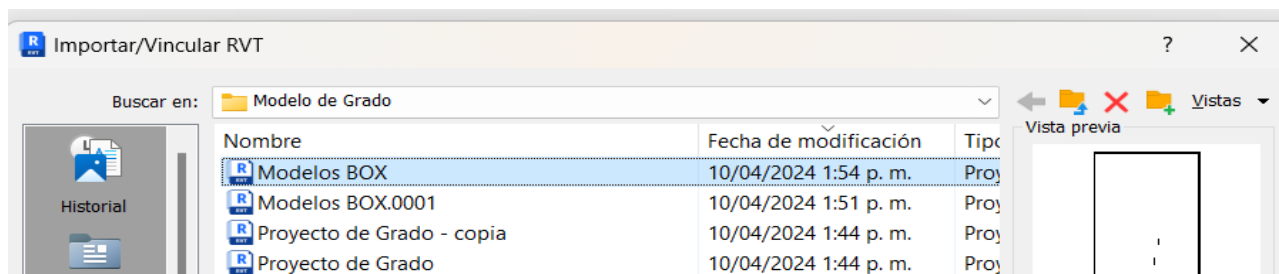
GCP	Planos			Longitud (W)	Latitud (N)
	x	y	z	° ' "	° ' "
1	607038.00	532893.00	2562	-74.034692°	4.820719°
2	607233.00	533886.00	2561	-74.033149°	4.829903°
3	607389.00	534992.00	2560	-74.031465°	4.839517°
4	607386.00	535522.00	2560	-74.031471°	4.844351°
5	607609.00	536353.00	2556	-74.029544°	4.851917°

Nota. Datos suministrados para cada GCP. Elaboración Propia.

9.3 Modelamiento

Se usa el software Revit con la licencia estudiantil proporcionada por la universidad la Gran Colombia, primero se debe generar los archivos de modelo necesarios para que varias personas modelen los activos viales luego de subir las nubes de puntos transformadas, este archivo de modelamiento debe insertarlo como un link de Revit al archivo maestro como se muestra a continuación:

Figura 14 Vinculación Modelos de Revit.



Gestionar vínculos

Revit IFC Formatos CAD Marcas de revisión DWF Nubes de puntos Topografía Modelo de coordinación PDF Imágenes

Nombre del vínculo	Estado	Tipo de referencia	Posiciones no guardadas	Ruta guardada	Tipo de ruta	Alias local
Modelos BOX.rvt	Cargado	Solapamien	<input type="checkbox"/>	Modelos BOX.rvt	Relativa	

Nota. Unión diferentes modelos de Revit en archivo maestro. Elaboración Propia.

Con el archivo de modelamiento vinculado al maestro, se inicia el trabajo individual al cargar las nubes de puntos georreferenciadas como se muestra a continuación:

Figura 15 Vinculación nubes de puntos a Revit.

Vincular nube de puntos

Buscar en: Modelo de Grado

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
1.1.rcs	28/03/2024 8:47 p. m.	Arcl
1.rcs	28/03/2024 8:47 p. m.	Arcl
2.rcs	28/03/2024 8:47 p. m.	Arcl
3.rcs	28/03/2024 8:47 p. m.	Arcl
4.rcs	28/03/2024 8:47 p. m.	Arcl

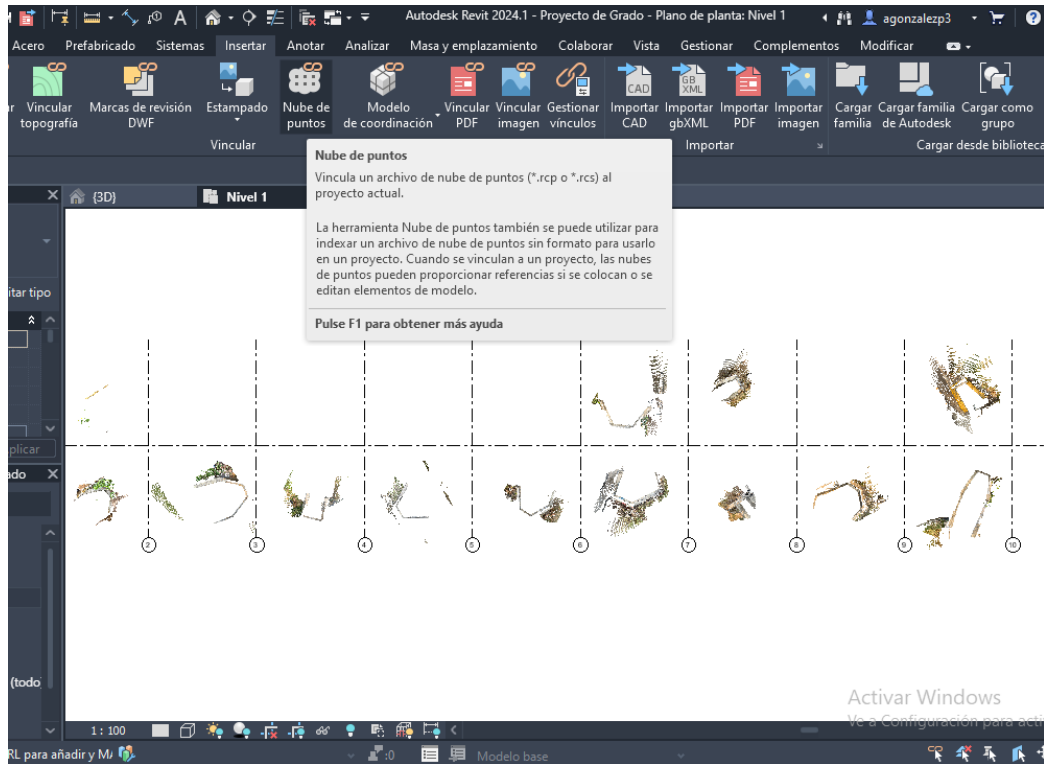
Tipo: Archivo RCS
Tamaño: 731 KB
Fecha de modificación: 28/03/2024 8:47 p. m.
Estado de disponibilidad: Disponible en este dispositivo

Revit IFC Formatos CAD Marcas de revisión DWF Nubes de puntos Topografía Modelo de coordinación PDF Imágenes

Nombre del vínculo	Estado	Ruta guardada
1.1.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\1.1.rcs
1.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\1.rcs
2.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\2.rcs
3.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\3.rcs
4.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\4.rcs
5.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\5.rcs
6.1.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\6.1.rcs
6.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\6.rcs
7.1.rcs	Cargado	..\Escritorio\temporal\Modelo de Grado\7.1.rcs

Nota. Visualización nubes de puntos vinculadas en Revit. Elaboración Propia.


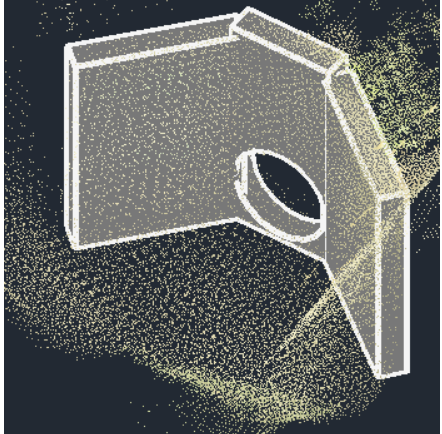
Figura 15 Nubes de puntos con georreferenciación en Revit.

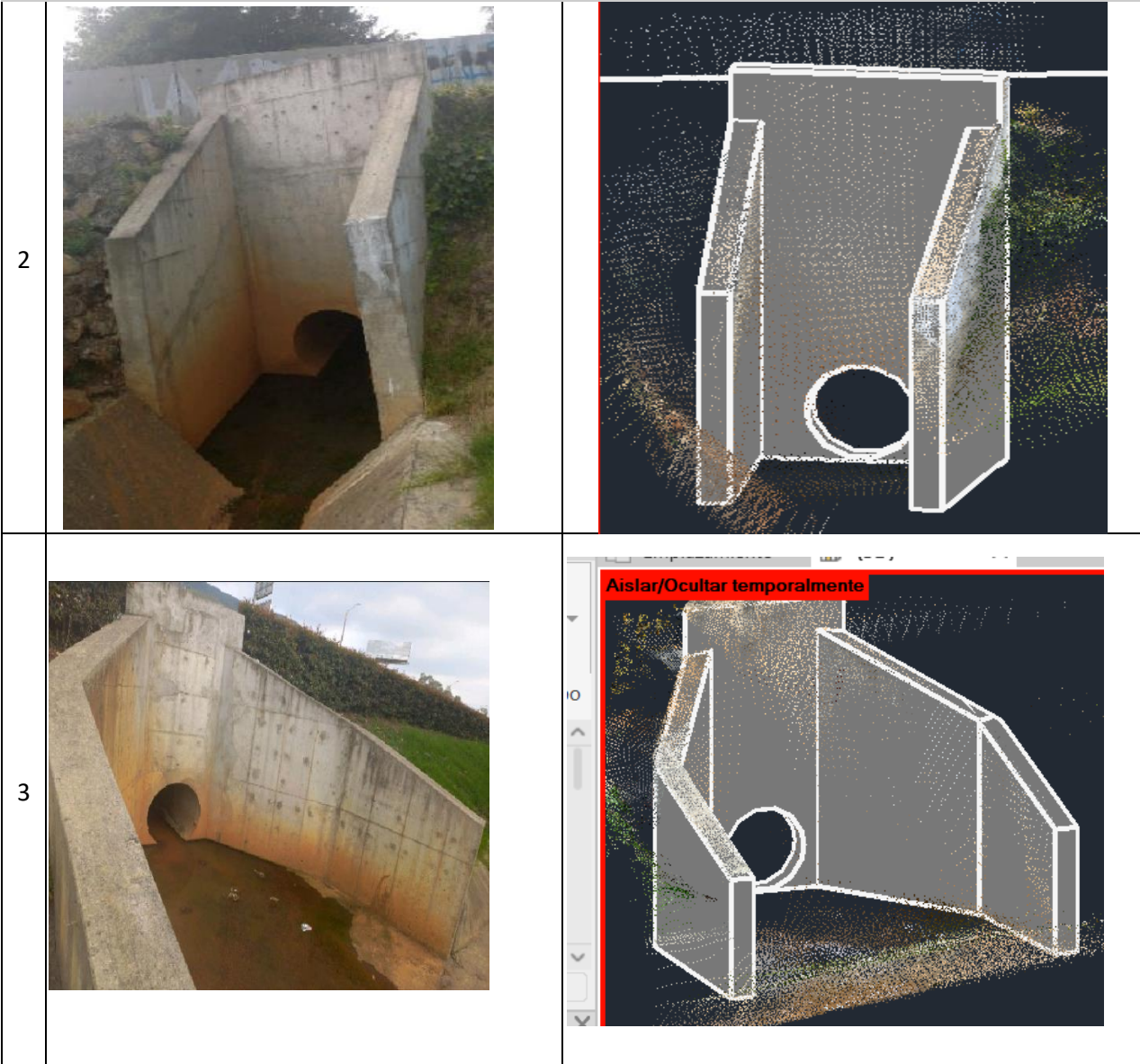


Nota. Screenshot de nubes de punto vinculadas al proyecto. Elaboración Propia.

Una vez cargada la nube de puntos en el archivo de modelamiento se georreferencia el proyecto desde Revit con las coordenadas ya establecidas en Global Mapper y que también comparte con el proyecto en Civil3D como se muestra en la Figura 22, posterior a esto procede a modelar los Box culvert esto se hace a partir de un archivo .rfa que representa en Revit una familia paramétrica que luego se modela con muros pues se consideró que es el elemento ideal porque se puede modificar correctamente su geometría con respecto a la nube de puntos cargada, se pueden asignar materiales congruentes con los encontrados en la realidad y se puede calcular su volumen, los resultados del modelamiento se evidencian a continuación:

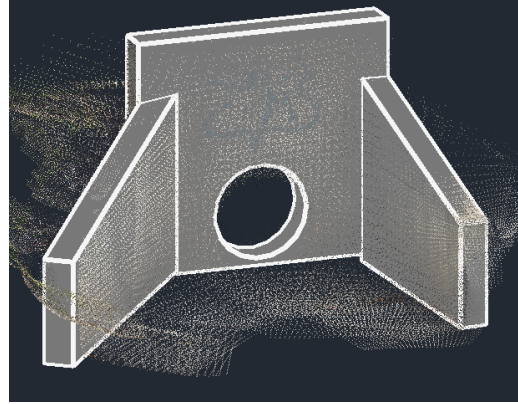
Figura 16 Fotografía estructura / modelo Revit.

ID	LEVANTAMIENTO	MODELO
1		
1.1		

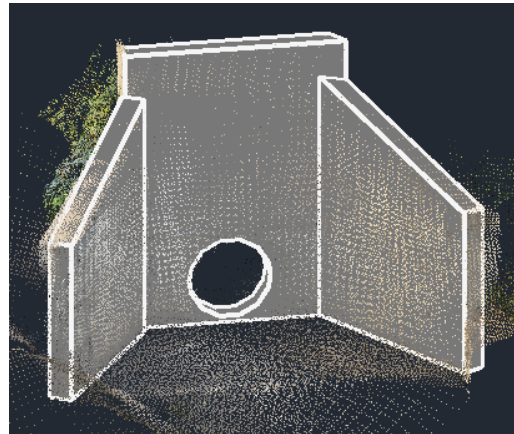




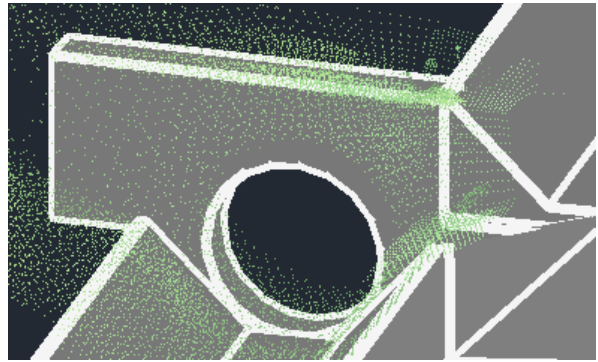
6



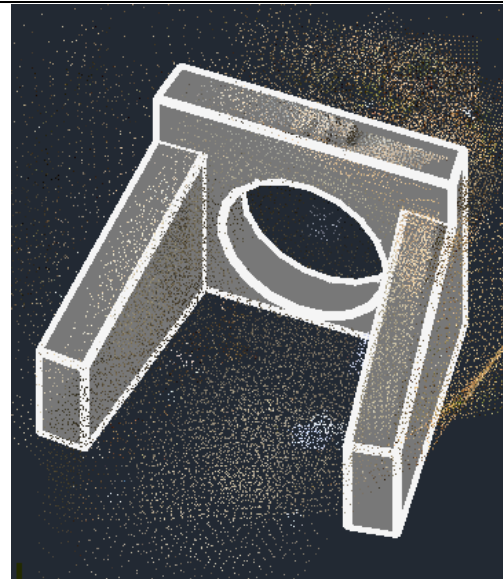
6.1



7



7.1



8		
9		



Nota. Registro de cada obra hidráulica / Vista modelo 3D similar desde Revit. Elaboración propia.

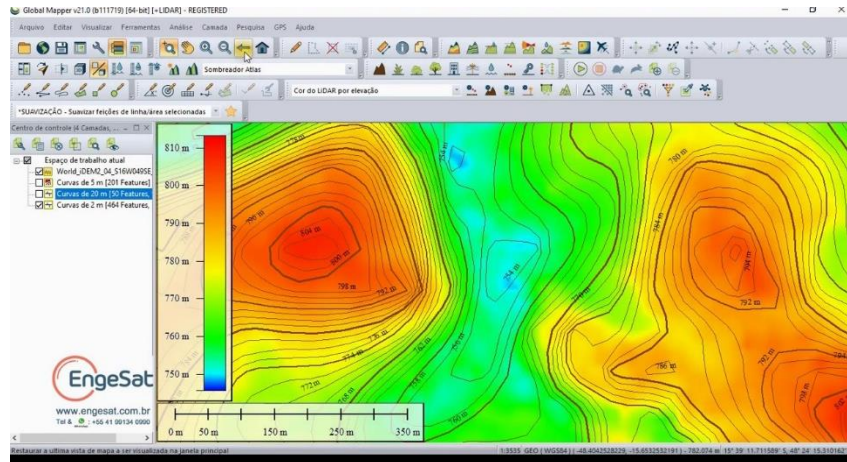
9.4 Interoperabilidad

Para esta investigación varios software de ingeniería son utilizados, compartiendo directamente información como lo es el caso de Revit y sus modelos .NWD, .RVT, .RCS, .DWG, .JPG o .TIFF vinculados, también indirectamente como lo son los software de PIX4D, Global Mapper y Microstation que ayudan a utilizar información para transformarla, procesarla o identificar aspectos necesarios para su modelamiento generando entonces una interoperabilidad entre programas con el fin de generar un mismo entregable a continuación explicare la ruta final y el procesamiento necesario en distintos software para la elaboración de la cartografía necesaria.

9.4.1 Fotogrametría

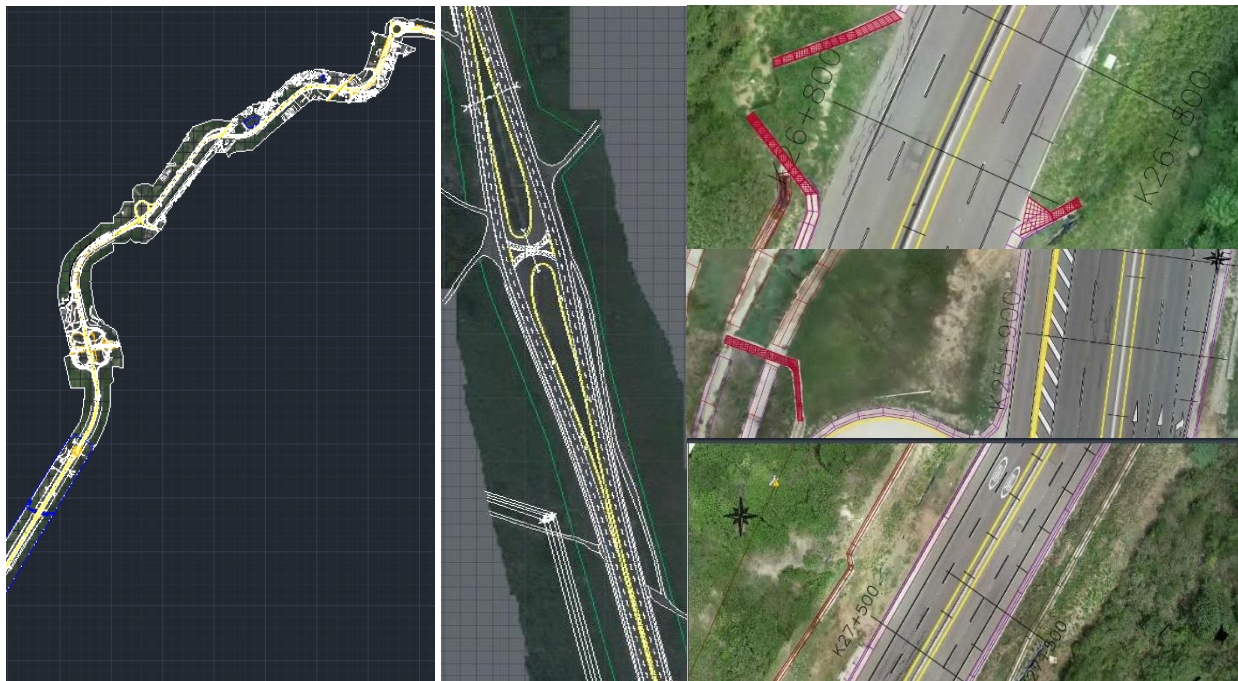
El proceso interoperable inicia una vez se vuela el área a levantar, pues se obtienen imágenes que se procesan en PIX4D generando:

Figura 17 Procesamiento de imágenes generando curvas de nivel y microcuencas.



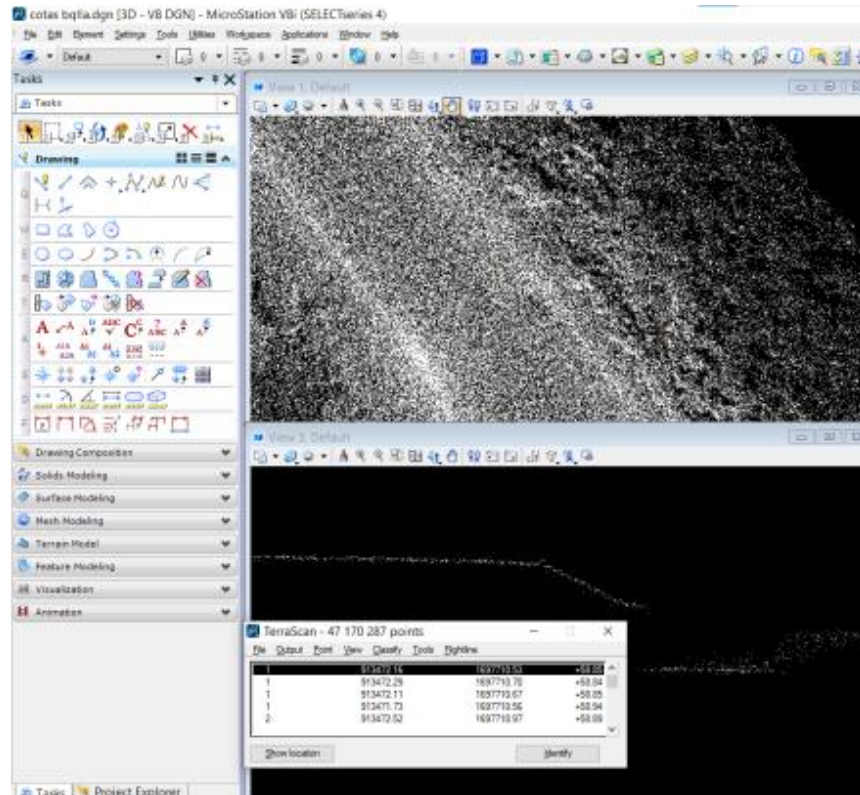
Nota. Extracción de microcuencas y curvas de nivel desde el software Global Mapper. Elaboración Propia.

Figura 18 Ortofoto .TIFF correspondiente a vía vectorizado en Civil3D.



Nota. Vista desde Civil 3D que representa una ortofoto cargada para su vectorización. Elaboración Propia.

Figura 19 Nube de puntos que representa el MDS del terreno levantado en Microstation.



Nota. En esta nube se verifica la distancia real de la información levantada, así como su posición en 3D. Elaboración Propia.

9.4.2 Generación cartografía.

Se creo un modelo de Revit en el cual se vincula toda la información necesaria para generar el modelamiento de las estructuras es decir las nubes de puntos, este archivo se puede modificar desde otro computador y se pueden repartir en x cantidad de nubes de puntos para que varios modeladores alimenten un archivo maestro, sin embargo estos modelos no pueden ubicarse en cualquier punto, es por esto que también debemos vincular a este archivo maestro el trabajo realizado en Civil3D en donde esta el ortomosaico georreferenciado y vectorizado como se evidencia a continuación:

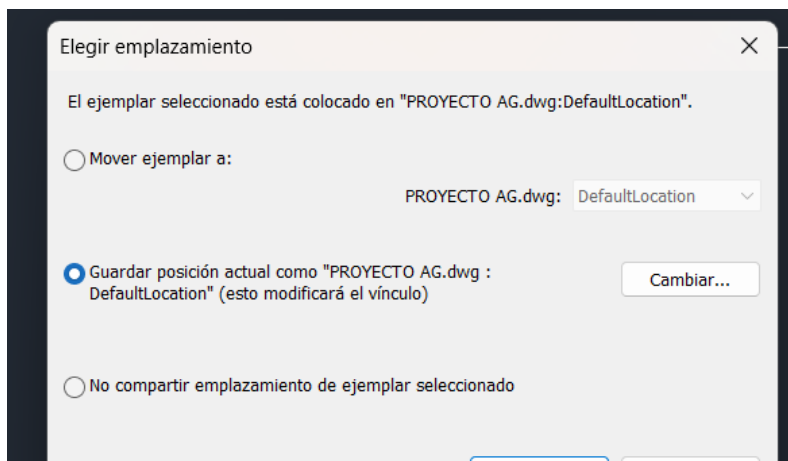
Figura 20 Interoperabilidad Civil 3D con Revit.



Nota. Se importa a Revit un archivo de Civil 3D con información para el proyecto. Elaboración Propia.

Tanto el proyecto en Revit como en Civil 3D deben compartir la misma ubicación esta se estableció de acuerdo a las coordenadas obtenidas en el proceso fotogramétrico, sin embargo para evitar cualquier error se recomienda emplazar el modelo .RVT al emplazamiento del modelo .DWG como se muestra a continuación.

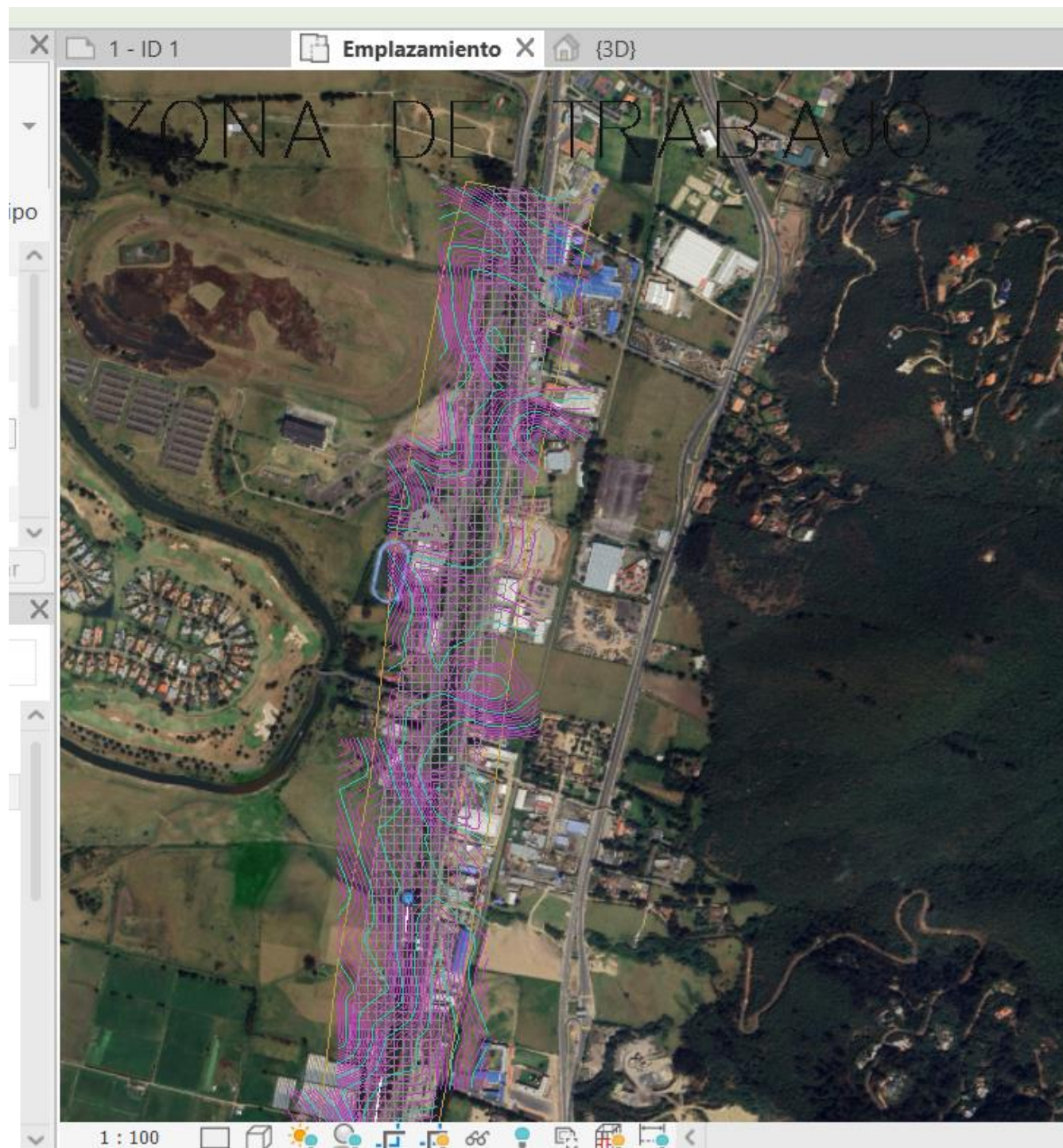
Figura 21 Georreferenciación compartida Civil 3D con Revit.



Nota. Se le aclara a Revit que use las coordenadas del archivo .DWG cargado anteriormente. Elaboración Propia.

Ahora se pueden georreferenciar las estructuras modeladas en Revit con su posición real en el espacio esto se hace ubicándolas sobre su vista 2D en el ortomosaico, revisando su altura con las nubes de puntos en Microstation o las curvas de nivel exportadas del Global Mapper al Civil3D que ya tenemos vinculada y se puede visualizar en Revit, a continuación, se evidencia como se ve el modelo .DWG en Revit:

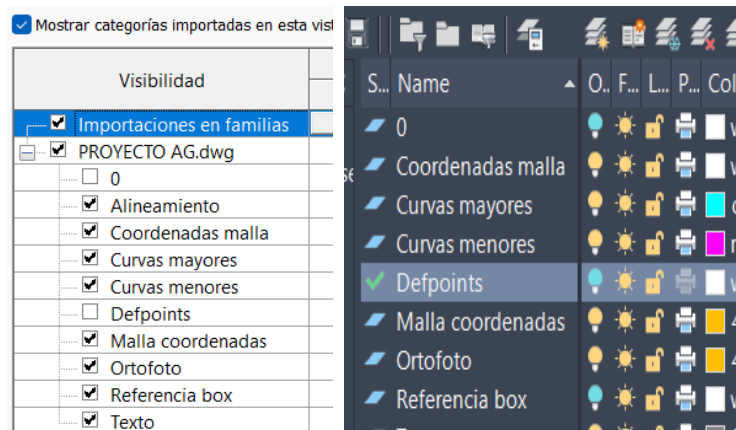
Figura 22 Proyecto Civil 3D vinculado en proyecto Revit.



Nota. Screenshot de Revit en donde se aprecia el archivo .DWG vinculado. Elaboración Propia.

De esta manera se visualiza o no información relevante para el modelamiento tanto de civil como layers que ayuden a ubicar el lugar de la estructura como su coordenada o abscisa en la vía como se muestra a continuación.

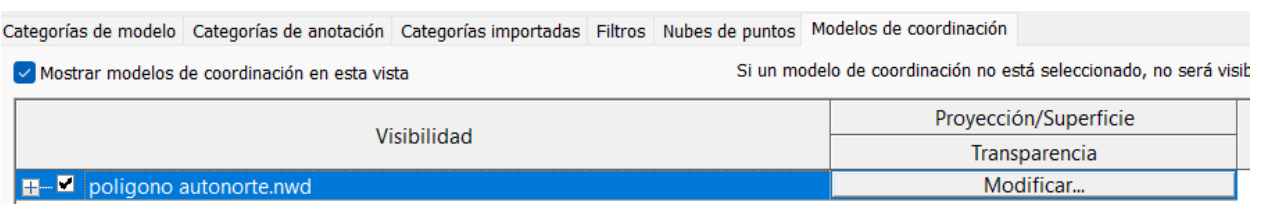
Figura 23 Opciones de visualización elementos vinculados en Revit.



Nota. Vista de Layer dibujo .DWG desde Revit. Elaboración Propia.

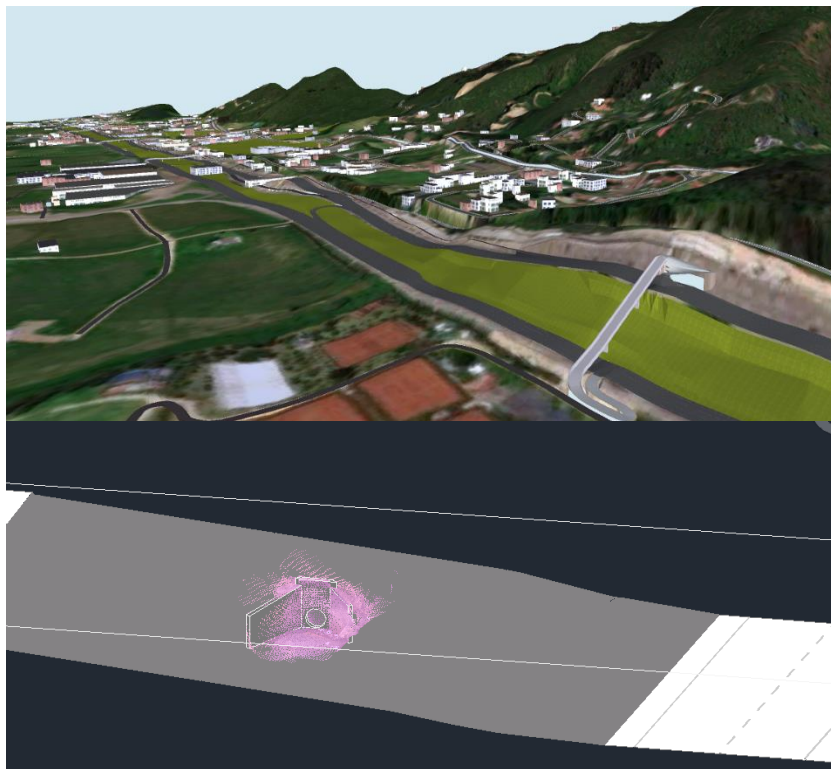
Para este trabajo se decidió trabajar con las herramientas de Autodesk Infra Works y Navisworks pues en Infra Works se genera un modelo de la superficie 3D que junto con la información ya levantada enriquecerá los datos del modelo y en Navisworks se guarda este archivo en formato.nwd para poder trabajarlo en Revit, a continuación, el modelo generado para este trabajo:

Figura 24 Visualización modelo 3D Infra Works vinculados en Revit.



Nota. Vista desde Revit de modelo de superficie 3D vinculado. Elaboración Propia.

Figura 25 Modelo 3D Infra Works vinculado en Revit.

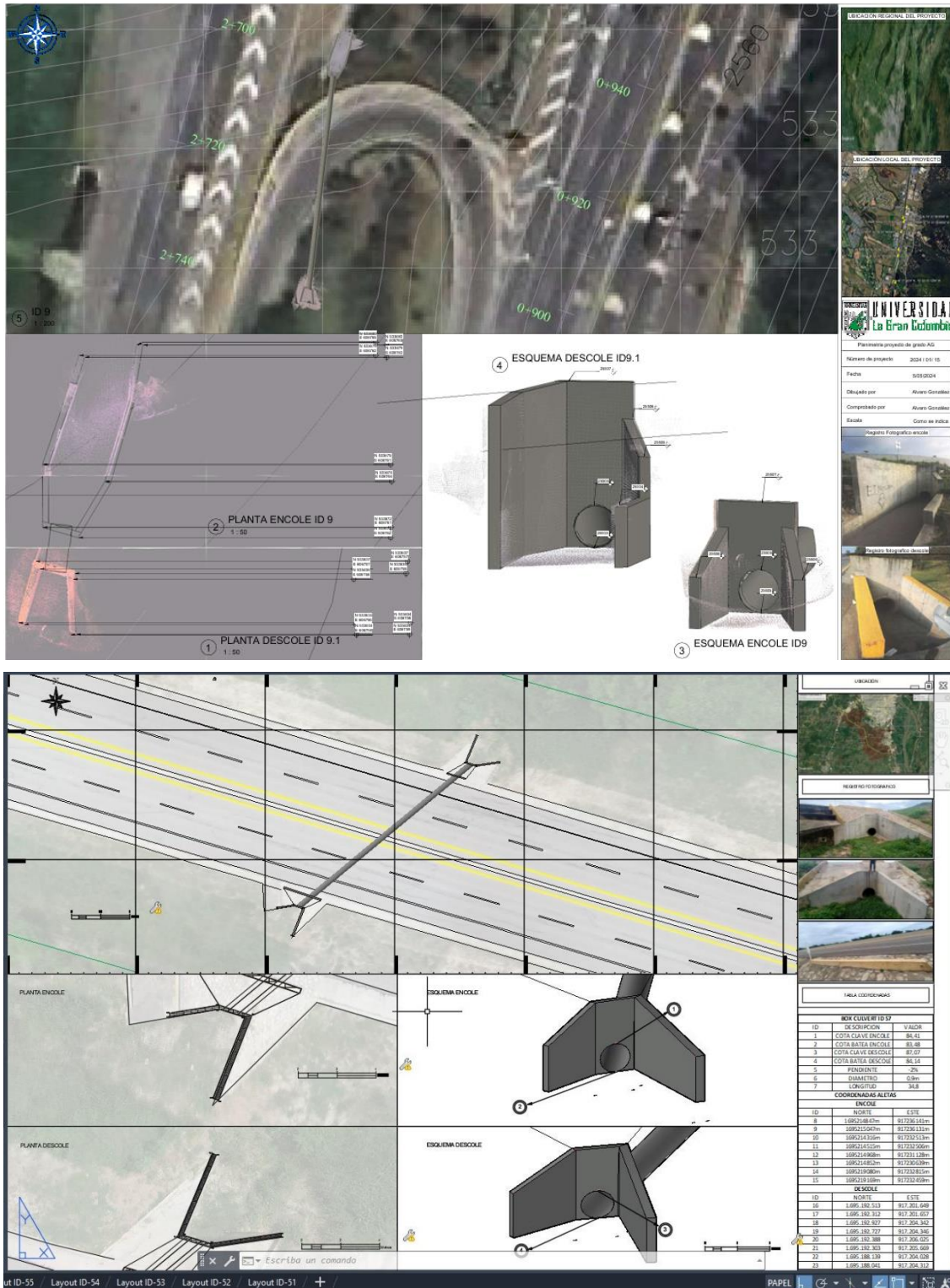


Nota. Screenshot del modelo de superficie generado y modelo en Revit. Elaboración Propia.

Finalmente, luego de organizar los modelos y los archivos necesarios para su presentación, vistas y formatos se obtiene como resultado el siguiente plano en Revit (ver anexo 4 para su mejor visualización).

En conjunto con un formato de cartografía que permite una georreferenciación en latitud y longitud así como en la abscisa de la vía en donde se desarrolla el proyecto, se generó un modelo con un LOD 500 pues encontramos datos gráficos como toda la información geométrica fiel a lo ejecutado en la realidad: dimensiones, materiales, unidades, espesores, refuerzo estructural, cantidades de materiales, volúmenes de materiales, también encontramos datos no gráficos como propiedades físicas y mecánicas de los materiales, marca y precio unitario de los materiales, información de mantenimiento o revisiones, cotas bateas y rasantes de tuberías, y coordenadas geográficas de vértices de la estructura.

Figura 26 Cartografía ID9 (anexo 4) / Cartografía levantada con RTK.


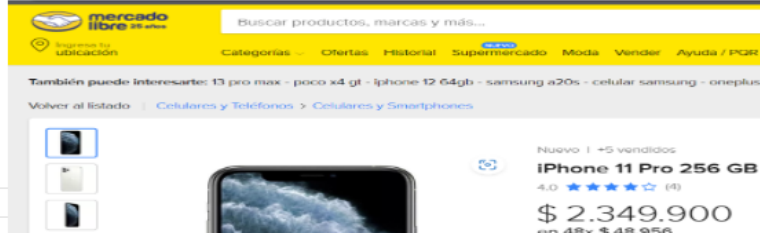


Nota. Comparación Cartografía generada en Revit con la generada en Civil 3D. Elaboración Propia.

10. Análisis de Resultados

Para este análisis se ha realizado una comparación costo/ tiempo requerido para la realización del producto entregado (ver anexo 7) en donde inicialmente se compara la fase de planeación y preparación del proyecto siendo muy similar en tiempo pues los softwares de levantamiento ya se tienen pero el equipo con LiDAR resulta mucho más económico pues su valor es de aproximadamente la mitad de lo que cuesta en Bogotá el alquiler de un equipo RTK GNSS por un mes como se puede evidenciar a continuación:

Figura 27 Comparación RTK / LiDAR Fase de planeación (anexo 7).

	1. Planeación / preparación	Semanas
RTK	1.1 Definir el área de interés y el LOD deseado.	1
	1.2 Obtener permisos y autorizaciones para la recopilación de datos.	1
	1.3 Ensamble de equipos receptores RTK GNSS, registradores y software.	0,5
	Alquiler de equipos de topografía (grupoacre.co)	
		
	Tiempo (semanas)	2,5
LIDAR	1.1 Definir el área de interés y el LOD deseado.	1
	1.2 Obtener permisos y autorizaciones para la recopilación de datos.	1
	1.3 Obtención de equipo escaner IPAD, registradores y software.	
	https://listado.mercadolibre.com.co/iphone-11-pro#DJA:iphone%2011%20pro	0
		
	Tiempo (semanas)	2

Nota. Comparación del precio de un mes de alquiler de una antena RTK con el valor de un dispositivo con LiDAR. Elaboración Propia.

A continuación, se explican las labores necesarias y su duración en campo para poder realizar el levantamiento de datos geoespaciales, resultado más eficiente por su sencillas el escaneo desde Ipad:

Figura 28 Comparación RTK / LIDAR Fase levantamiento de información (anexo 7).

		2. Levantamiento de información	Minutos
RTK		2.1 Despliega receptores GNSS RTK a lo largo de las carreteras que se van a cartografiar	5
		2.2 Asegure el posicionamiento, señal y la inicialización adecuados de los receptores GCP.	2
		2.3 Recopile de datos registrando información de posición , elevación y tiempo para cada punto	5
		Tiempo (minutos gastados por estructura)	12
LIDAR		2.1 Recopile de datos escaneando información de posición , elevación y tiempo para cada punto	2
		Tiempo (minutos gastados por estructura)	2

Nota. Comparación del tiempo empleado en campo para recopilar información de modelamiento a activos viales. Elaboración Propia.

A continuación, se compara el método de procesamiento de datos siendo realmente muy similar pues una vez se tienen todos los datos estos se transforman para poder utilizarlos en el software requerido:

Figura 29 Comparación RTK / LIDAR Fase de procesamiento de información (anexo 7).

		3. Procesamiento de datos:	Horas
RTK		3.1. Procesamiento de datos GNSS en software Trimble	0,5
		3.2. Exportación archivo .CSV	0,5
		Tiempo (horas)	1
LIDAR		3.1. Procesamiento de datos .PLY en software Global Mapper	0,5
		3.2. Exportación archivo .RCS	0,5
		Tiempo (horas)	1

Nota. Comparación horas empleadas para poder utilizar la información levantada en campo. Elaboración Propia.

Finalmente y como se muestra a continuación se compara la fase la de modelamiento y generación de cartografía, esta es la fase más representativa pues se evidencia la falta de optimización de recursos por la metodología usada por la empresa para la generación de cartografía con RTK, estos tiempos se promediaron con los tiempos gastados en el modelamiento de varias estructuras dejando como resultado que la metodología propuesta representa una eficiencia aproximadamente del 500% en su fase de modelamiento y generación de cartografía.

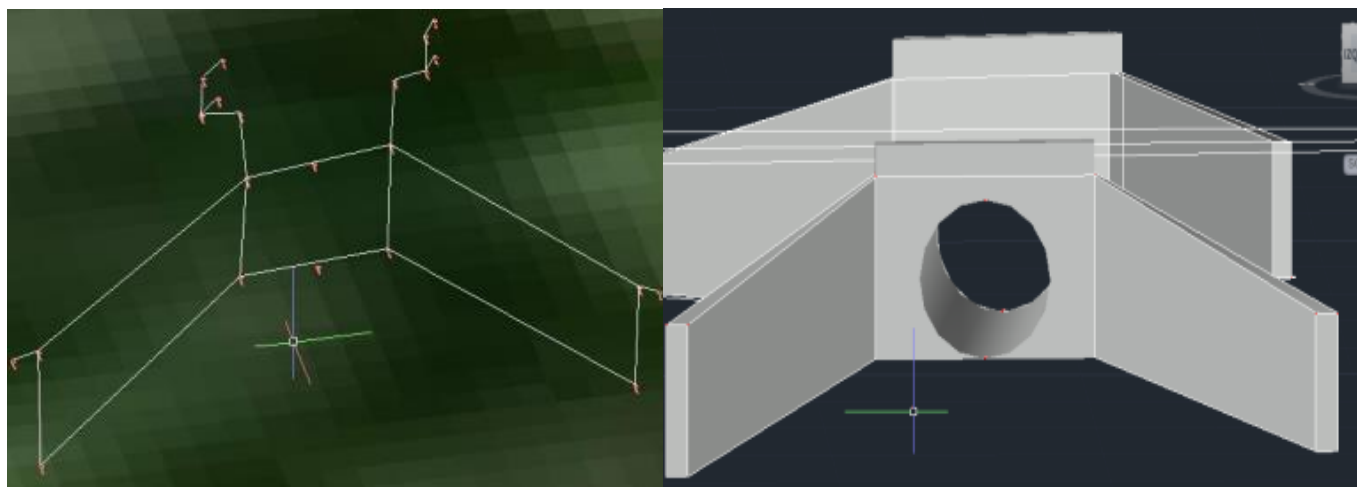
Figura 30 Comparación RTK / LiDAR Fase modelamiento y generación de cartografía.

4. Generación de cartografía		Minutos
RTK	4.1. Importe de datos .CSV a software Civil 3D como puntos.	3
	4.2. Importe de ortofoto y curvas de nivel al archivo .DWG.	5
	4.3 Modelamiento de estructuras a partir de vertices.	30
	4.4 Union de varios archivos.DWG.	20
	4.5 Ubicación y importe en layout de imágenes relacionadas.	10
	4.6 Genración de vistas, detalles y referencias en layout de plano.	15
	4.7 Exportación de plano en .PDF.	2
	* Tiempo extra errores software	10
Tiempo (minutos por estructura)		95
LIDAR	4.1. Importe de datos.RCS a software Revit como nube de puntos.	3
	4.2. Vincular archivo .RVT en donde se modelan las estrucutras.	3
	4.3 Vincular archivo con orto foto y curvas de nivel .DWG en Revit.	3
	4.4 Vincular modelo de Navisworks .nwd en Revit.	3
	4.4 Modelamiento de estructuras a partir de familia parametrizada.	10
	4.5 Genración de vistas, detalles y referencias en layout de plano.	15
	4.6 Exportación de plano en .PDF.	2
	* Tiempo extra errores software	0
Tiempo (minutos por estructura)		16

Nota. Comparación tiempo gastado por plano para la generación de su cartografía. Elaboración Propia.

Por lo anterior y lo explicado en esta monografía se logra reducir en su totalidad el tiempo perdido utilizado ubicando la referencia de puntos o imágenes con una estructura en el espacio al tener todos los datos en Apsheat, además se logra unificar diferentes procesos en el trabajo para tener a la mano un aplicativo con todas las direcciones solicitadas; En este punto quiero traer como referencia la diferencia de los puntos obtenidos por medio del levantamiento propuesto, con RTK pues una vez importados al programa Civil3D obtenemos:

Figura 31 Puntos de vértices cargados en Civil3D, levantamiento con RTK / Modelo final.



Nota. Puntos Cargados en Civil 3D / Isométrico corregido para su presentación. Elaboración Propia.

En la imagen anterior se ve el importe de puntos levantados con la antena RTK GNSS y procesados para subirlos a civil 3D a pesar de usar tecnología de alta precisión existe errores de exactitud y como se ve a la derecha se deben ubicar los puntos a criterio para obtener una simetría en la geometría del modelo por este motivo argumento que se obtiene un modelo más exacto con tecnología LiDAR debido a que el error producido en el modelamiento es mayor con un levantamiento con RTK.

Por otro lado, se limitó el uso del Civil3D a las herramientas netamente necesarias de este como lo son la inserción de las curvas de nivel, la orto imagen y su vectorización, de este modo se genera una mayor productividad ya que en este software se debía realizar el mismo trabajo debido a un error inesperado por el programa o porque al ejecutar un comando en la modelación se congelaba por bastante tiempo.

Así mismo al utilizar un modelo de Revit vinculado se evita el tiempo utilizado en unificar el trabajo realizado por distintos modeladores con el fin de tenerlo en un solo archivo.

Se georreferencia el proyecto bajo coordenadas UTM con el datum establecido con la Resolución 715 de 2018, así mismo el trabajo fotogramétrico cumpliría con la Resolución No.471 de 2020, con una correcta verificación de calidad, se deben examinar niveles de totalidad evitando omitir zonas en su procesamiento y exactitud absoluta de posición del levantamiento en función del GSD con el producto fotogramétrico a entregar.

Se realizan el cálculo del error medio cuadrático en X y Y en función a los GCP que se colocan al momento de volar, también debe contar con su correspondiente vectorización como lo indica lo norma. Finalmente se establece que se debe cumplir el siguiente diagrama de procesos para llevar a cabo con éxito la generación de cartografía con la metodología propuesta (ver anexo 5) :

Figura 32 Diagrama de Procesos proyecto AG.



Nota. Flujo de trabajo necesario para generar la documentación de activos viales en Revit a partir de un escaneo de información con LiDAR terrestre resultado de la investigación. Elaboración Propia.

11. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo de grado se ha ejecutado con éxito una ruta alternativa a la realizada actualmente en empresas fotogramétricas de la ciudad de Bogotá, realizando un levantamiento de información con tecnología de fácil acceso como un Ipad pro con sensor LiDAR y software de ingeniería con los que se tiene la licencia educativa, con esto se logró una representación virtual de activos viales en un tramo correspondiente a la Autopista Norte de la ciudad de Bogotá a través de la recopilación, procesamiento, modelamiento e interoperabilidad de herramientas.

Se ha creado un modelo BIM integral en Revit pero interoperable con otros software de ingeniería que no solo representa la geometría del proyecto, sino que también incorpora información crucial para la gestión y mantenimiento de la estructura. Este modelo facilita la planificación futura, la gestión eficiente de recursos y el mantenimiento optimizado de la edificación:

-Implementación exitosa del modelo BIM en Revit: Se ha desarrollado un modelo BIM completo en Revit, integrando la geometría arquitectónica y datos esenciales para la gestión y mantenimiento del proyecto.

- Representación integral de la red: El modelo BIM captura la estructura completa de la red, incluyendo sus componentes y relaciones, facilitando la comprensión y análisis del sistema.

-Base sólida para planificación futura: La información detallada del modelo BIM permite una planificación precisa de futuras modificaciones y mejoras al proyecto, optimizando el proceso de toma de decisiones.

-Gestión eficiente de recursos: El modelo BIM facilita la gestión eficiente de recursos al centralizar información sobre materiales, costos y mano de obra, mejorando la precisión y el control del proyecto.

Finalmente, se ha establecido una ruta de trabajo con la que por medio del levantamiento con LiDAR terrestre en vez del levantamiento con una antena RTK y al realizarla se optimizara el tiempo de los trabajadores en campo y posteriormente en oficina generando información más exacta, en conjunto con otra metodología de trabajo (Fotogrametría), pero ganando tiempo en todo el proceso de generación de cartografía.

Se creo mediante Appsheet una ruta en la nube y eficiente para la ubicación de datos del proyecto desde el estado actual de las obras (nubes de punto y fotografías levantadas) hasta la documentación ya procesada y unificada.

Se recomienda ser bastante cuidadoso desde el momento de levantar la información y llenar el aplicativo pues un error humano en este punto por cansancio o falta de atención afectara luego al personal que modelara dicha información. Por esto se sugiere subir cada nube de puntos al aplicativo al finalizar el formulario.

También se recomienda primero procesar las imágenes del levantamiento fotogramétrico, generar el MDT, MDS, topografía y orto mosaico, luego georreferenciar la información en Civil 3D, vectorizar en Civil 3D lo requerido por el proyecto para finalmente subirlo al archivo maestro en Revit y modelar los activos viales ya georreferenciados y no perder tiempo ubicándolo correctamente en Revit.

12. Referencias

12.1 Artículos de revistas:

- Akin, O., & Akinci, B. (2004). Civil engineering applications of building information modeling. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- James, M. R., & Robson, S. (2014). 3D reconstruction methods for topographic mapping from UAV-based imagery. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks (wiley.com)
- Johanna Hohenthal, 2010 (PDF) Airborne and terrestrial laser scanning | John Van Genderen-2 - Academia.edu - (Shan, J., & Toth, C. K. (2018). Topographic Laser Ranging and Scanning | Principles and Processing | J (taylorfrancis.com)
- Korkmaz, S., & Macomber, H. (2014). Building information modeling for sustainable design: A case study. *Journal of Green Building*. Modelado de información de construcción para diseño sostenible y análisis de calificación LEED (R) | Solicitar PDF (researchgate.net
- M. R., Robson, S., & Lucieer, A. (2017). Structure from motion photogrammetry in geoscience: Applications and challenges.) (PDF) Structure from motion photogrammetric technique (researchgate.net)
- Mojica, A., & Valencia, A. (2012). Interoperabilidad de herramientas digitales de diseño para el análisis de estructuras. *Revista de Ingeniería*, 37(1), 67-76.
- Pérez, L., & García, S. (2023). Construcción sostenible: Una alternativa para el futuro. *Revista de Ingeniería y Construcción*, 28(3), 123-138. (Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario (ucatolica.edu.co)
- Remondino, F., & El-Hakim, S. F. (2016). Image-based 3D reconstruction: A review of the state-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.008>

(Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (2015). Handbook of Unmanned Aerial Vehicles | SpringerLink -(Schenk, T. (2005) Introduction to Photogrammetry: c:\users\toni\courses\osu\gs400\main.dvi (uc.pt)

Wang, C., & Leite, F. (2016). A framework for integrating BIM and GIS for construction project management. Automation in Construction, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.001>

12.2 Libros:

Krygiel, E., & Nies, B. (2008). Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling. Hoboken, NJ: Wiley.

12.3 Sitios web:

AppSheet. (2023). The no-code platform for everyone. <https://www.appsheet.com/>

Autodesk. (2014). ¿Que es BIM? <https://www.autodesk.com/es/solutions/bim>.

Pix4D. (2023). What is an orthomosaic? Orthomosaic - PIX4Dmatic. <https://www.PIX4D.com/>

12.4 Normativa Colombiana:

Rac 91 | Aeronáutica Civil [RAC 91 - Reglas Generales de Vuelo y de Operación.pdf \(aerocivil.gov.co\)](#)

Rac 100 | Aeronáutica Civil [RAC 100 - Unidades de medida para las operaciones aéreas y terrestres de las aeronaves.pdf \(aerocivil.gov.co\)](#)

Resolución 715-2018 | Instituto Geográfico Agustín Codazzi [resolucon_igac_715-18 actualiza el marco geocentrico nacional de referencia.pdf](#)

Resolución No. 471 DE 2020 | Instituto Geográfico Agustín Codazzi [Resolución No. 471 DE 2020 | Instituto Geográfico Agustín Codazzi \(igac.gov.co\)](#)

12.5 Anexos

1. Aplicativo Google appsheet : [GEN. CARTOGRAFIA ESTRUCTURAS \(appsheet.com\)](https://www.appsheets.com/)

2. Nubes de puntos: [NUBES DE PUNTOS .RCS - Google Drive](#)

3. Modelos Revit / Civil3D: [MODELOS .DWG .RVT - Google Drive](#)

4. Planimetría: [PLANIMETRIA](#)

5. Flujo de trabajo Tesis AG: [FLUJO DE TRABAJO PROYECTO](#)

6. Flujograma LOD proyecto: [FICHA TECNICA LOD](#)

7. Comparación metodologías: [CUADRO COMPARATIVO](#)