# Correlación del proceso de fotogrametría con los planos record entregados por el contratista en el proyecto “Centro de Gestión Integral de Riesgos y Desastres CEGIRD - PASTO”

**Janneth del Rosario Maya López, John Jairo Campo Insuasty**

**Trabajo investigativo para optar al título de Especialista en Interventoría y supervisión de la Construcción**

**Opción de grado: Diplomado de Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría básica en Pix4d y ArcGIS**

**Director**

**Robert Gutiérrez Ortiz**

**Magister en Dirección y Gestión de Proyectos.**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Especialización en Interventoría y supervisión de la Construcción**

**2024**

**Contenido**

Introducción ..... 13

1. Correlación del proceso de fotogrametría con el levantamiento topográfico tradicional y los planos record entregados por el contratista en el proyecto “Centro de Gestión Integral de Riesgos y Desastres CEGIRD - PASTO” ..... 15

1.1 Planteamiento del problema ..... 15

1.2 Justificación ..... 16

1.3 Objetivos ..... 16

1.3.1 Objetivo general ..... 16

1.3.2 Objetivos específicos ..... 16

2. Marco referencial ..... 17

2.1 Marco teórico ..... 17

2.2 Marco legal ..... 21

3. Resultados ..... 22

3.1 Localización ..... 22

3.2 Procedimiento ..... 23

3.3 Procesamiento de fotografías ..... 31

3.31 Procesamiento Inicial ..... 31

3.3.2 Proceso Nube de Puntos y Malla ..... 32

3.3.3 Proceso MDS, ortomosaico e índices ..... 35

3.4 Realización de planimetría en autocad ..... 40

3.4.1 Comparación entre fotointerpretación y planos record. ..... 42

3.4.2 Comparación entre ortomosaico y planos record ..... 45

4. Conclusiones ..... 49

Referencias ..... 52

## Lista de figuras

**Figura 1.** *Localización del proyecto en el país y departamento de Nariño* ..... 22

**Figura 2.** *Imagen aérea localización del proyecto en la ciudad de Pasto* ..... 23

**Figura 3.** *Equipo de dron en el lugar de sobrevuelo* ..... 24

**Figura 4.** *Reportes metar para SKPS* ..... 25

**Figura 5.** *Doble grilla de plan de vuelo* ..... 26

**Figura 6.** *Doble grilla para segundo sobrevuelo* ..... 26

**Figura 7.** *Muestra fotográfica del proyecto* ..... 27

**Figura 8.** *Creación del proyecto en Pix4d* ..... 27

**Figura 9.** *Cargue de fotografías en Pix4d* ..... 28

**Figura 10.** *Opción de selección de cámara usada* ..... 28

**Figura 11.** *Selección de coordenadas de salida en Pix4d* ..... 29

**Figura 12.** *Selección de proceso a realizar en pix4d* ..... 30

**Figura 13.** *Grillas cargadas en Pix4d* ..... 30

**Figura 14**. *Configuración de paso 1 procesamiento Pix4d* ..... 31

**Figura 15.** *Configuración paso 2 procesamiento Pix4d* ..... 32

**Figura 16.** *Resultado visual fin de paso 2, nube de puntos* ..... 33

**Figura 17.** *Resultado general visual de paso 2* ..... 33

**Figura 18.** *Resultado visual con activación de nube de puntos* ..... 34

**Figura 19.** *Resultado visual con la activación de malla de triángulos* ..... 35

**Figura 20.** *Configuración paso 3 MDS y ortomosaico* ..... 35

**Figura 21.** *Configuración paso 3, calculadora de índices* ..... 36

**Figura 22.** *Extracto de informe de calidad* ..... 36

**Figura 23.** *Imagen previa de ortofoto y DSM según reporte de calidad* ..... 37

**Figura 24.** *Overlap según reporte de calidad* ..... 37

**Figura 25.** *Modelo original en ReCap pro* ..... 39

**Figura 26.** *Modelado final en ReCap pro* ..... 39

**Figura 27.** *Fotointerpretación en autocad* ..... 40

**Figura 28.** *Planimetría por áreas de resultado* ..... 41

**Figura 29.** *Modelos a comparar en planimetría* ..... 42

**Figura 30.** *Comparaciones acotadas* ..... 43

**Figura 31.** *Comparación por sobreposición* ..... 44

**Figura 32.** *Sobreposición de ortofoto con planos record* ..... 45

**Figura 33.** *Sobreposición y verificación de perímetros de vía* ..... 46

**Figura 34.** *Verificación de separadores de parqueo y obras de arte* ..... 46

**Figura 35**. *Comparación grafica del área del lote* ..... 48

**Figura 36.** *Comparación grafica del área asfaltada* ..... 49

## Lista de tablas

**Tabla 1.** Lugar y fecha de sobrevuelo ..... 24

**Tabla 2.** *Comparación del área del lote, por medio de dos métodos* ..... 47

**Tabla 3.** *Comparación de área asfaltada, por medio de dos métodos*..... 48

## Lista de apéndices

**Apendice A.** *Ficha técnica de equipo Dji Mini 3 pro*

**Apendice B.** *Reporte de calidad del proceso en Pix4d*

*Nota:* véase archivos en fuente externa

**Resumen**

Este informe inicialmente describe un procedimiento que puede servir a manera de guía para supervisores e interventores en la verificación de obras civiles, tanto en construcción como finalizadas, utilizando sobrevuelos y fotografías capturadas con drones. Estas imágenes son procesadas con software especializados, siguiendo el procedimiento aprendido en el "Diplomado de Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría Básica en Pix4D y ArcGIS". Se detalla el proceso de comparación entre la obra ejecutada a través de la fotointerpretación de un producto de los software como es la ortofoto y los planos entregados del proyecto Centro de Gestión Integral del Riesgo de Desastres en Pasto, Colombia. A lo largo del documento, se presentan hallazgos significativos que van dando argumento al análisis comparativo que se ha planteado en el problema y se destacan las oportunidades para que los profesionales en supervisión de obras optimicen sus evaluaciones, logrando resultados más precisos con menor inversión de tiempo y recursos en comparación con los métodos tradicionales.

*Palabras clave:* supervisión, comparación, verificación, fotogrametría, Pix4d

**Abstract**

This report initially describes a procedure that can serve as a guide for supervisors and auditors in the verification of civil works, both under construction and completed, using overflights and photographs captured with drones. These images are processed with specialized software, following the procedure learned in the "RPAS Operations Pilot and Basic Photogrammetry Diploma in Pix4D and ArcGIS". The comparison process between the work executed through the photointerpretation of a software product such as the orthophoto and the plans delivered from the project Centro de Gestión Integral del Riesgo de Desastres in Pasto, Colombia is detailed. Throughout the document, significant findings are presented that give argument to the comparative analysis that has been proposed in the problem and the opportunities are highlighted for professionals in construction supervision to optimize their evaluations, achieving more precise results with less investment of time. and resources compared to traditional methods.

*Keywords:* monitoring, comparison, verification, photogrammetry, Pix4d

## Glosario

*Análisis comparativo:* es un método de investigación, recolección y análisis de información que consiste en la comparación de dos o más procesos, documentos, conjuntos de datos u otros objetos.

*Autocad:* es un software de diseño asistido por computadora (CAD) desarrollado por Autodesk. Se utiliza ampliamente en diversas industrias, como la arquitectura, la ingeniería, la construcción, y el diseño industrial, para crear dibujos en 2D y modelos en 3D.

*Desplazamientos*: se refiere a la diferencia entre la ubicación real de una edificación o elemento constructivo y su posición prevista en los planos arquitectónicos o de diseño.

DJI Mini 3: Aeronave no tripulada o dron compacto y ligero diseñado para fotografía y videografía aérea.

*Fotogrametría:* es la técnica que permite obtener información cuantitativa sobre objetos y el entorno a partir de fotografías.

*Interventoría de obra:* es un proceso de supervisión y control técnico, administrativo y financiero de un proyecto de construcción, que se lleva a cabo por un ente independiente o por profesionales especializados. Su objetivo principal es garantizar que la obra se ejecute de acuerdo con los planos, especificaciones, normas vigentes y requisitos contractuales.

*Nube de puntos:* es un conjunto de datos tridimensionales que representa la forma y la geometría de un objeto o una superficie capturada a partir de imágenes fotográficas. Cada punto en la nube contiene información sobre su posición en el espacio (coordenadas X, Y, Z) e inclusive, también puede incluir atributos como color o intensidad.

*Ortomosaico:* es una imagen compuesta que ha sido corregida geométricamente para representar de manera precisa la superficie terrestre. A diferencia de una fotografía aérea

tradicional, que puede tener distorsiones debido a la inclinación de la cámara, la altitud y la topografía del terreno, un ortomosaico se ajusta para que las distancias y las áreas sean correctas y proporcionales.

*Pix4D Mapper:* es un software de fotogrametría que permite convertir imágenes en 2D en modelos tridimensionales y mapas. Es ampliamente utilizado en diversas industrias, como la construcción, la agricultura, la minería y la ingeniería, por sus potentes capacidades de procesamiento y análisis de datos.

*Planimetría:* es la disciplina que se encarga de representar y analizar elementos del terreno en un plano bidimensional, es decir, sin considerar la altitud o la elevación. Se utiliza principalmente para crear mapas y planos que muestran la distribución y la relación entre diferentes características geográficas y artificiales.

*Planos Record o As built:* son un documento técnico que recoge los planos, cálculos y descripciones de las actuaciones realizadas para adaptar el proyecto de construcción inicial a la realidad de la obra que se ha construido.

*Procesamiento:* el procesamiento de imágenes es un conjunto de técnicas y métodos utilizados para mejorar, analizar y manipular imágenes digitales. Este proceso se lleva a cabo a través de software especializados que transforman la información, permitiendo obtener resultados más útiles y significativos.

*ReCap Pro:* es un software de Autodesk diseñado para el procesamiento y análisis de nubes de puntos, así como para la creación de modelos 3D a partir de datos de escaneo láser y fotogrametría.

*Supervisión de obra:* es el proceso de monitoreo y control que se lleva a cabo durante la ejecución de un proyecto de construcción. Su objetivo es asegurar que la obra se realice de acuerdo con los parámetros contractuales.

## Introducción

En el ámbito de la construcción en América Latina, no se ha avanzado al ritmo deseado en la adopción de nuevas tecnologías que podrían mejorar la eficiencia y el control de los procesos constructivos. Existe una tendencia al conformismo, donde se sigue utilizando métodos tradicionales sin abrir espacio a la innovación, a menudo por falta de conocimiento, recursos o simplemente por mantener el statu quo. En muchos casos, la verificación de los planos as-built sigue realizándose de manera convencional, a través de comisiones topográficas o mediciones manuales con cintas métricas, o incluso se omite debido a los costos involucrados.

En este contexto, el presente documento técnico compara los planos as-built presentados al término del proyecto "Construcción del Centro de Gestión Integral de Riesgos y Desastres CEGIRD – PASTO" con los resultados obtenidos mediante técnicas de fotogrametría básica, aprendidas durante el curso de diplomado en Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría básica en Pix4d y ArcGIS. El objetivo es verificar la exactitud de la implementación final del proyecto tal como se refleja en los planos DWG en comparación con lo construido realmente.

Adicionalmente, con la topografía inicial del lote antes de la construcción del proyecto, se presentará un análisis de la transformación que tuvo el predio y documentar la información que podemos obtener en el comparativo de la topografía contra lo construido.

Lo propuesto anteriormente se llevará a cabo a través de la toma de fotografías con sobrevuelos de aeronaves no tripuladas y el procesamiento de esta información con software como pix4d, arcgis, autocad entre otros que se encontrará en detalle en el cuerpo del presente informe.

Al final de este informe se presentan una serie de directrices detalladas destinadas a garantizar que la técnica aplicada en el procedimiento sea de fácil implementación y de amplio uso. El objetivo es ofrecer a los interventores y supervisores de obra una herramienta que sea

rápida, económica y eficiente, facilitando así la verificación precisa de las actividades realizadas por los contratistas. Estas pautas están diseñadas para optimizar el proceso de supervisión, mejorar la precisión en la evaluación de los trabajos y asegurar que se cumplan los estándares de calidad esperados, contribuyendo a una gestión más efectiva y transparente de los proyectos de construcción.

# 1. Correlación del proceso de fotogrametría con el levantamiento topográfico tradicional y los planos record entregados por el contratista en el proyecto "Centro de Gestión Integral de Riesgos y Desastres CEGIRD - PASTO"

## 1.1 Planteamiento del problema

Cada vez que se concluye un proyecto de ejecución, es fundamental entregar los planos record o as-built a la interventoría, supervisión y al contratante. Estos planos deben reflejar toda la información final, incluyendo los ajustes y variaciones respecto al diseño original. Para obtener un modelo preciso de lo construido, los planos record deben levantarse utilizando equipos de precisión o topografía.

Sin embargo, un problema común es que muchos contratistas se limitan a entregar los planos de diseño con algunas variaciones realizadas durante la fase de ejecución, sin llevar a cabo un levantamiento topográfico detallado. Esto impide una verificación exacta de las áreas edificadas, el urbanismo, las vías, los andenes y la correcta implantación de todos los componentes del proyecto.

En proyectos de urbanización, ciudadelas institucionales, instituciones educativas, parques, entre otros, es crucial verificar las diferentes áreas construidas. Estos proyectos suelen tener índices de construcción, áreas de zonas verdes, áreas de cesión, franjas de ribera de río, entre otros, que requieren una topografía precisa para obtener información veraz. En este contexto, la fotogrametría se presenta como una herramienta invaluable, ya que proporciona una respuesta rápida y eficiente para la verificación de estas áreas por parte del interventor o supervisor del proyecto.

## 1.2 Justificación

La fotogrametría es una herramienta rápida y eficaz para la verificación de las áreas intervenidas en proyectos de construcción. Permite a interventores y supervisores obtener una visión integral y precisa del proyecto, facilitando la comparación con los planos o modelos digitales proporcionados por el contratista. Este método no solo ofrece una perspectiva detallada y realista del estado actual de la obra, sino que también asegura la exactitud y coherencia de los trabajos realizados en relación con los diseños originales y lo construido.

## 1.3 Objetivos

### *1.3.1 Objetivo general*

Realizar un análisis comparativo entre los planos record entregados por el contratista del proyecto “Centro de Gestión Integral de Riesgos y Desastres CEGIRD - PASTO” y el levantamiento fotogramétrico que se realice con una aeronave remotamente tripulada RPAS utilizando procesos con software Pix4D, ReCap Mapper, ArcGis Global Mapper, Autocad.

### *1.3.2 Objetivos específicos*

Realizar un levantamiento fotográfico a través del uso de aeronaves no tripuladas el cual sirva de insumo para el procesamiento de información en el software pix4d, ReCap y autocad.

Obtener a través del procesamiento de información fotográfica un modelo planimétrico del proyecto CEGIRD adaptado a la realidad de lo construido

Comparar la información planimétrica presentada como planos record con la planimetría obtenida a través del procesamiento de información levantada con vuelos de dron y software especializados.

# 2. Marco referencial

## 2.1 Marco teórico

Los planos record o "as-built" ("como construido") son representaciones gráficas que reflejan el estado final y real de una obra civil después de su construcción. Estos planos documentan cualquier desviación del diseño original y muestran cómo se ha ejecutado el proyecto en la realidad.

El principal objetivo de los planos "as-built" es proporcionar una representación precisa del proyecto terminado, documentando cambios realizados durante la construcción en relación con los planos de diseño iniciales. Estos planos sirven como referencia para el mantenimiento futuro, la gestión de activos y la planificación de modificaciones.

Componentes de los Planos Record

*Representación de la Infraestructura Construida:*

- Edificaciones y Estructuras: ubicación y dimensiones exactas de edificios, puentes, calles, túneles, y otras estructuras construidas.
- Redes de Servicios: detalles de las redes de agua, alcantarillado, electricidad, telecomunicaciones, y cualquier otro servicio instalado. Incluyendo detalles y ubicación exacta de cajas, cámaras, válvulas, equipos de medición y control entre otras.

Modificaciones y Desviaciones:

- Cambios en el Diseño: documentación de cualquier modificación realizada en el diseño original durante la construcción.
- Errores y Soluciones: registro de errores en el diseño y las soluciones aplicadas para corregirlos se debe llevar el historial de cambios de acuerdo a la versión de planos actualizada.

*Detalles de construcción:*

- Materiales Utilizados**:** especificaciones de los materiales y métodos de construcción empleados.
- Puntos de Control: información sobre puntos de referencia y control utilizados para asegurar la precisión durante la construcción.

*Información adicional:*

- Condiciones del Terreno: documentación de las condiciones del terreno y el entorno después de la construcción.
- Cambios Ambientales: cualquier alteración en el entorno natural provocada por el proyecto.

Proceso de elaboración de planos record

*Recolección de datos:*

- Medición y Documentación: durante y después de la construcción, se toman medidas precisas y se documentan todas las desviaciones respecto al diseño original, las dimensiones se deben tomar con equipo de precisión para largas, medianas y pequeñas distancias.
- Actualización de Planos: se actualizan los planos originales para reflejar las condiciones reales, incluyendo todos los cambios realizados durante la construcción.

*Verificación y control:*

- Inspección Final: inspección detallada de la obra para asegurar que todos los cambios y detalles se han registrado correctamente.
- Revisión de Documentos: revisión de la documentación para garantizar que los planos record sean precisos y completos.

Importancia de los planos record

*Gestión y mantenimiento:*

- Referencia para Mantenimiento: proporcionan una base para el mantenimiento y la gestión de la infraestructura, facilitando la identificación de ubicaciones y detalles críticos.
- Planificación de Renovaciones: sirven como referencia para futuras renovaciones, ampliaciones o modificaciones del proyecto.

Los planos record son esenciales en la documentación y gestión de proyectos de obra civil. Proporcionan una representación precisa del estado final de la construcción, reflejando cualquier cambio respecto al diseño original. Su correcta elaboración y utilización son fundamentales para la gestión eficiente de la infraestructura, el cumplimiento normativo y la planificación futura. Estos planos garantizan que la documentación del proyecto sea completa, precisa y útil a lo largo de la vida útil de la infraestructura.

La siguiente fase del presente informe es la fotogrametría, “es el arte, la ciencia y tecnología de obtener información de objetos físicos y su entorno, a través de procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos” (Wolf and Dewitt, 2000; McGlone, 2004).

La fotogrametría es la técnica que permite obtener información cuantitativa sobre objetos y el entorno a partir de fotografías. Se basa en la medición de la posición de los puntos de interés en imágenes, utilizando principios de geometría y óptica (Kraus, 1997).

La fotogrametría se originó en el siglo XIX con la invención de la fotografía. Desde entonces, ha evolucionado con el desarrollo de tecnologías aéreas y digitales, facilitando su aplicación en diversas disciplinas (Wolf y Dewitt, 2000).

A grandes rasgos podemos mencionar dos grandes tipos de fotogrametría que de alguna manera se aplicaran en el presente documento:

Fotogrametría Aérea: se realiza a partir de imágenes capturadas desde aeronaves o drones, utilizada principalmente en cartografía y planificación territorial.

Fotogrametría Terrestre: se lleva a cabo a nivel del suelo y se utiliza en ingeniería, arquitectura y preservación del patrimonio cultural (McGlone, 2010).

La fotogrametría tiene múltiples aplicaciones, incluyendo:

*Topografía y cartografía*: generación de mapas precisos y modelos digitales del terreno.

*Ingeniería y construcción*: monitoreo y análisis de estructuras.

*Ciencias ambientales*: estudio de cambios en el paisaje y evaluación de recursos naturales (Tsioukas, et al., 2021).

La integración de drones, cámaras de alta resolución y software especializado ha mejorado la precisión y eficiencia del proceso fotogramétrico. Herramientas como Agisoft Metashape y Pix4D son ejemplos de software que facilitan la creación de modelos tridimensionales a partir de imágenes (Zhang, et al., 2016).

## 2.2 Marco legal

Ley 1341 del 2009: por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones TIC, se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones

Ley 1978 de 2019: por la cual se moderniza el Sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -TIC, se distribuyen competencias, se crea un Regulador Único y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1294 del 2021: por el cual se modifica la estructura de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – Aerocivil.

Resolución 1594 del 2018: adopta e incorpora a los reglamentos aeronáuticos de Colombia la norma “RAC 91 – reglas generales de vuelo y de operación”.

Resolución 4201 del 2018: por la cual incorporan a la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS y se numeran como Apéndice 13, y se adoptan otras disposiciones"

Resolución 1983 del 2023: por medio de la cual se incorpora la norma ‘RAC 100 – Operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS’ a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, se modifica una sección y se deroga el Apéndice 13 de la norma RAC 91 de dichos reglamentos.

Convenio sobre aviación civil internacional: también conocido como el Convenio de Chicago, tuvo por objetivo actualizar las normas sobre aviación. Es el tratado normativo más importante en relación con el Derecho Público Internacional Aeronáutico.

Normatividad OACI – ICAO: toda la documentación y reglamentación vigente por parte de la Organización de Aviación Civil Internacional.

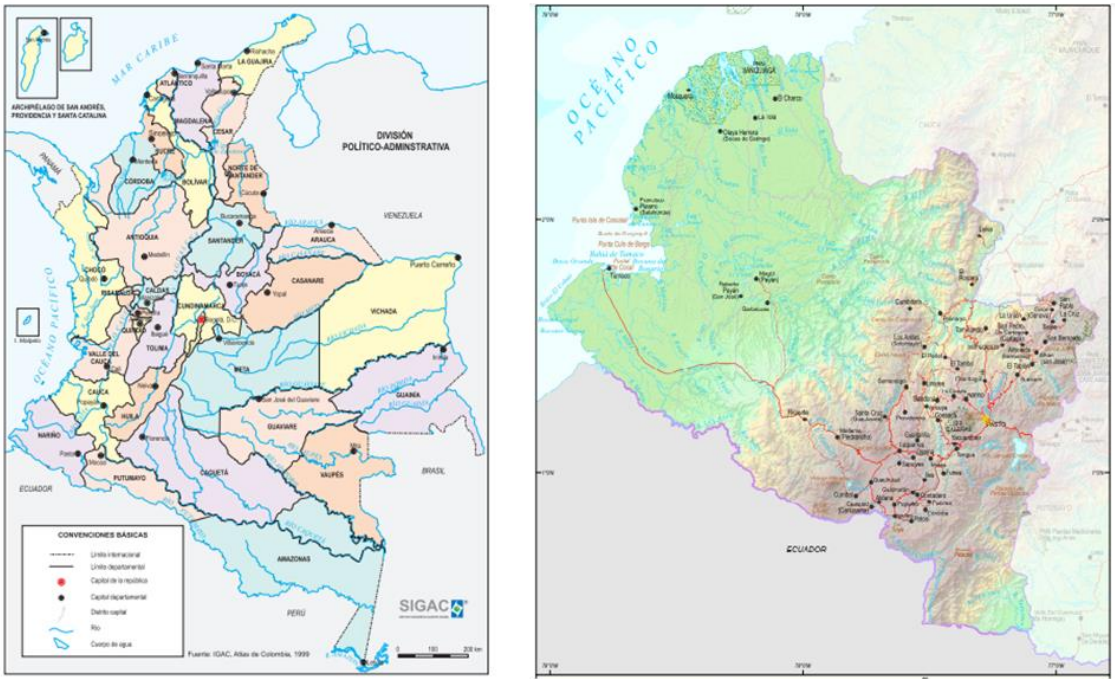
# 3. Resultados

## 3.1 Localización

El presente proyecto se desarrolló en el casco urbano del municipio de Pasto, Departamento de Nariño, sobre la calle 18 salida al occidente, este sector presenta un alta variabilidad en su uso de suelos ya que se puede encontrar desde el campus de la universidad de Nariño, pasando por zonas industriales y condominios residenciales.

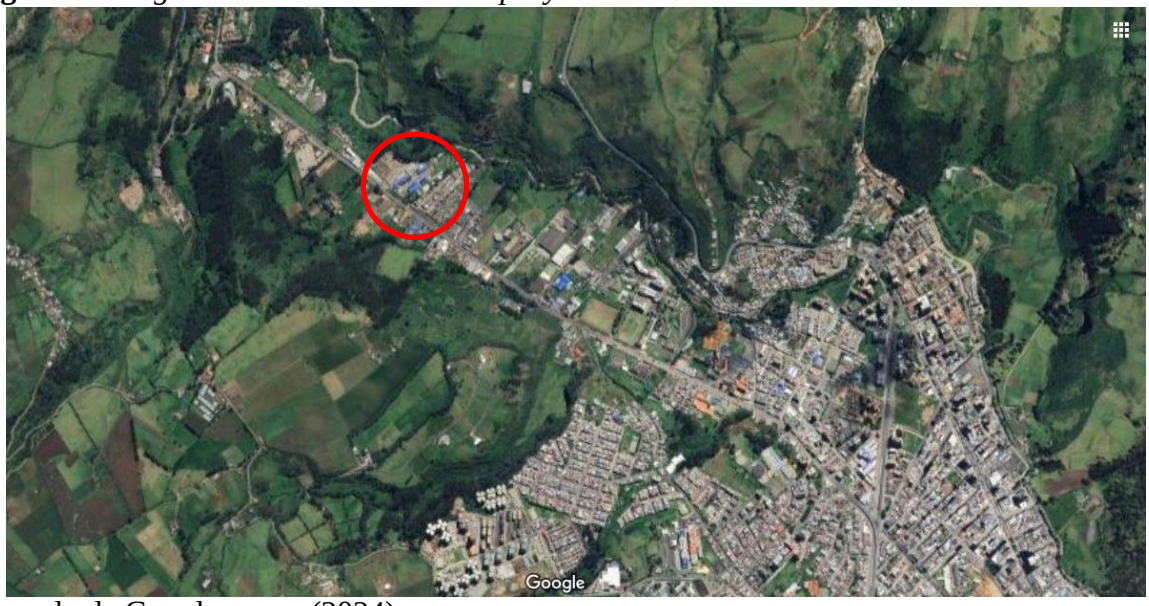
En las siguientes imágenes se localiza el proyecto en estudio.

**Figura 1.** *Localización del proyecto en el país y departamento de Nariño*




Tomado de Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2024)

**Figura 2.** *Imagen aérea localización del proyecto en la ciudad de Pasto*




Tomado de Google maps, (2024)

### 3.2 Procedimiento

Inicialmente se procede a la búsqueda de información relacionada con el proyecto de infraestructura que será objeto de análisis en el presente documento, con lo cual obtuvimos los planos en formato .dwg de la topografía inicial del proyecto en conjunto con las respectivas carteras, así mismo nos fueron suministrados los planos denominados como definitivos los cuales se entregaron por parte del contratista al contratante y las entidades que harán uso de la edificación.

Una vez con la información en nuestro poder, procedimos a revisar lo suministrado y nos encontramos que con lo obtenido podíamos realizar el análisis comparativo planteado y desarrollar un buen procedimiento que nos brinde unas conclusiones importantes respecto al trabajo realizado en campo versus lo presentado en planos.

Ya con la seguridad de que la información preliminar cumplía con los requisitos para nuestro análisis, procedimos a tomar las muestras fotográficas en campo con un equipo DJI Mini

3 pro cuya ficha técnica se presenta en los apéndices (Ver apendice A) para lo cual planeamos nuestro vuelo, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas en la Ciudad de Pasto.

Datos Básico de Lugar y condiciones de vuelo

**Tabla 1.** *Lugar y fecha de sobrevuelo*

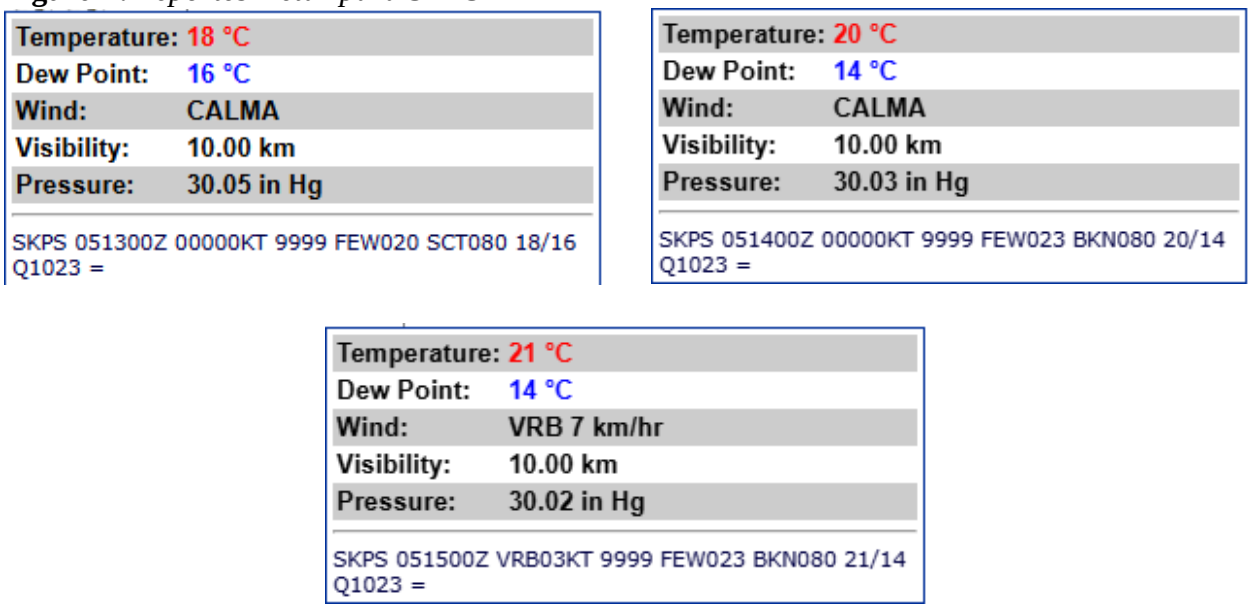
| | |
|---|---|
| Ciudad: | **Pasto** |
| Lugar: | Centro de Gestión Integral del Riesgo de Desastres CEGIRD |
| Coordenadas: | 1°14'09.7"N 77°18'03.6"W |
| Fecha de Vuelo: | 05 de agosto de 2024 |
| Hora de Vuelo | 11:00 am |

Para la programación del vuelo nos aseguramos de contar con el equipo necesario para lo cual preparamos una aeronave de referencia DJI Mini 3Pro con 6 baterías, la aplicación de pix4D para celular Android que es el que permite el uso del dron en referencia y cinta métrica para verificación de medidas en campo si es necesario.

**Figura 3.** *Equipo de dron en el lugar de sobrevuelo*

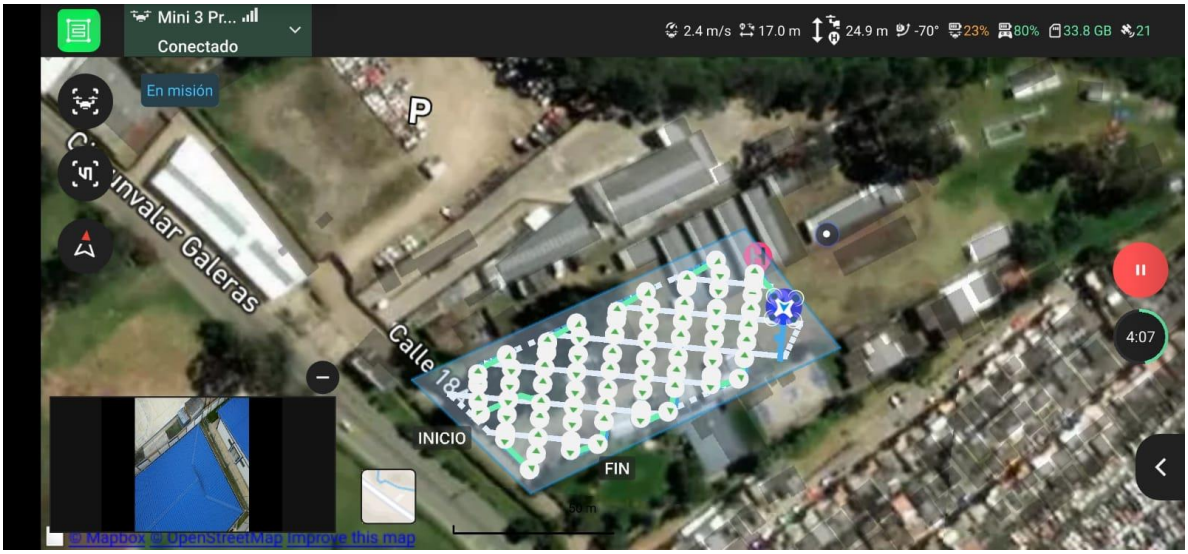
Antes de realizar el vuelo se consultó los correspondientes reportes metar para SKPS donde se obtuvo la siguiente información:

**Figura 4.** *Reportes metar para SKPS*



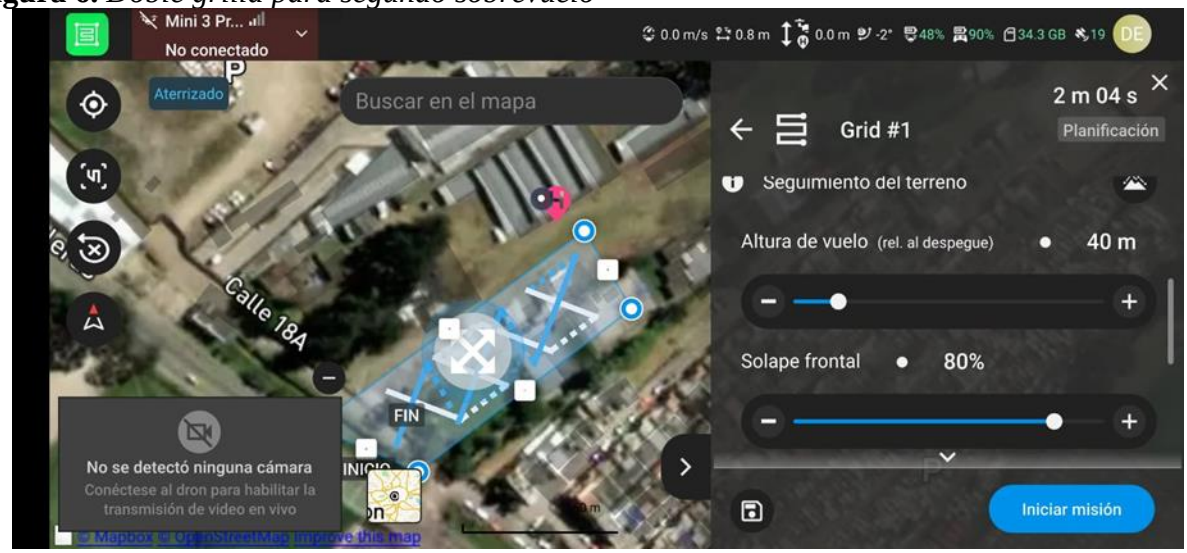

De acuerdo al análisis de los reportes metar se concluyó que había buenas condiciones para realizar el vuelo y que los factores como viento y visibilidad eran adecuados, una vez nos encontramos en campo se analizaron los riesgos que se podrían presentar al momento del sobrevuelo con lo cual analizamos las alturas de los edificios existentes y circundantes al proyecto, así mismo la presencia de líneas de energía eléctrica que podrían afectar la seguridad de nuestro vuelo o la del equipo, una vez descartamos los riesgos procedimos a planificar el vuelo con ayuda de la aplicación pix4D para dispositivos móviles en un equipo con sistema operativo Android.

**Figura 5.** *Doble grilla de plan de vuelo*



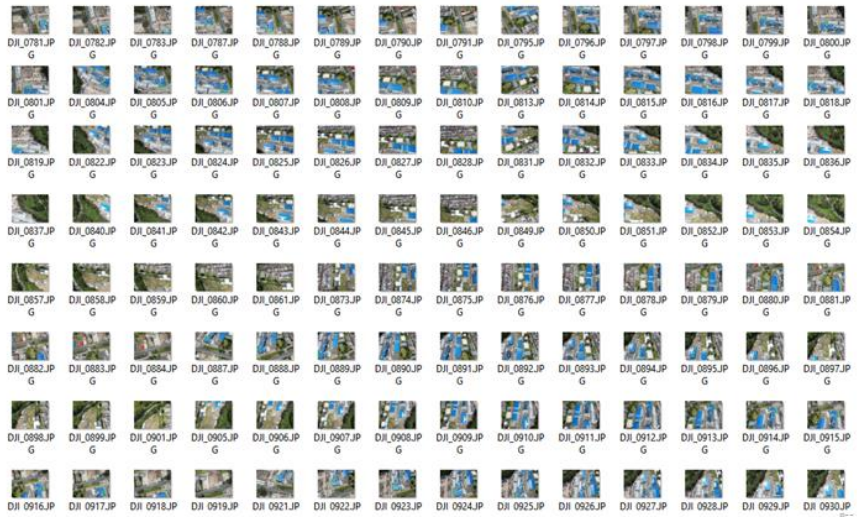

Como se evidencia en la figura 5, se propuso una doble grilla a 90 metros de altura para el primer sobrevuelo y toma de registro fotográfico, al revisar la información se optó por tomar un registro adicional sobre uno de los bloques del proyecto, por lo cual se planteó la siguiente doble grilla.

**Figura 6.** *Doble grilla para segundo sobrevuelo*



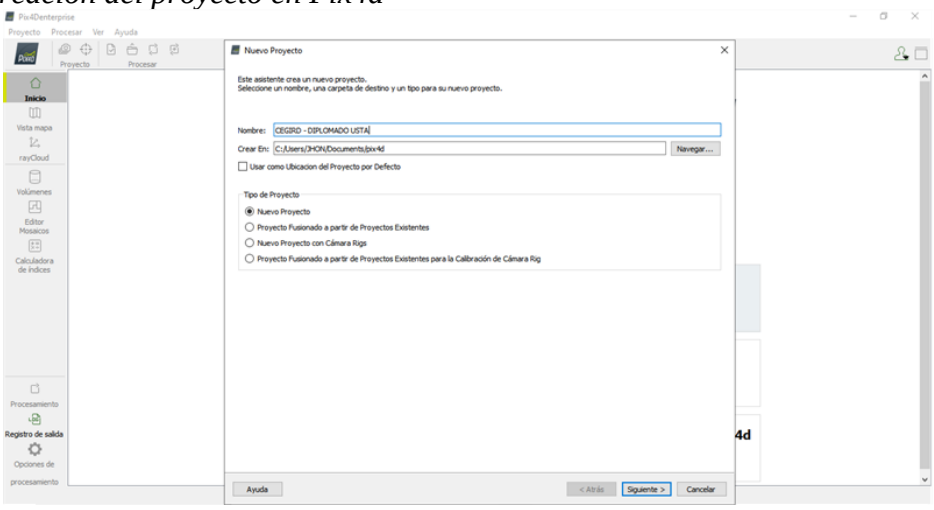
Una vez obtenida la muestra fotográfica se procede a realizar una limpieza de fotografías que no brindan mayor aporte al trabajo y por el contrario generan ruido visual en el producto final, con esta selección se obtuvo una muestra de 169 fotografías que se procesaran en pix4D y los siguientes software.

**Figura 7.** *Muestra fotográfica del proyecto*



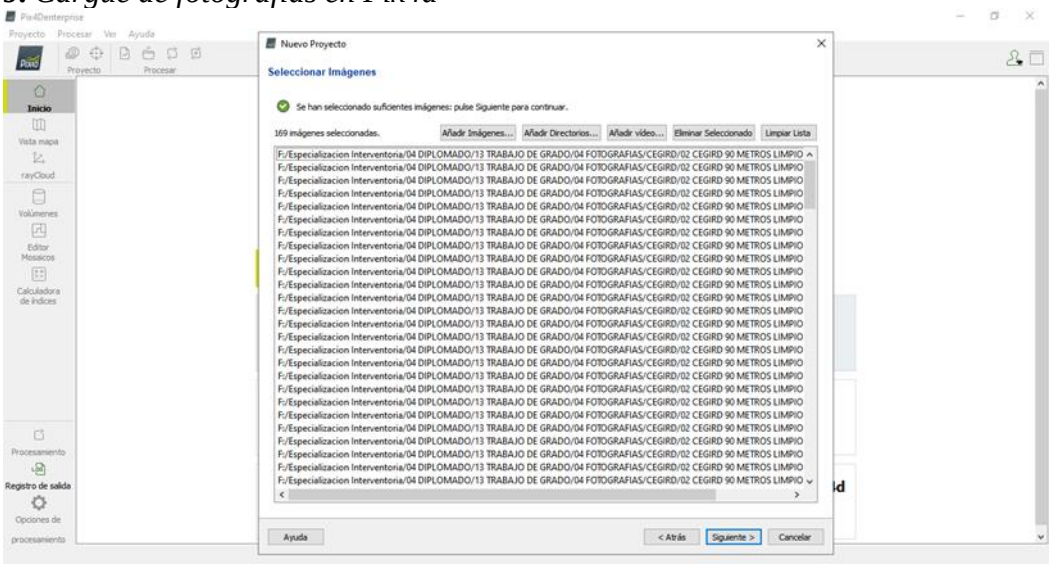
Una vez estamos en el software procedemos a crear nuestro nuevo proyecto, para el caso lo guardamos con el nombre de “CEGIRD – Diplomado USTA”.

**Figura 8.** *Creación del proyecto en Pix4d*



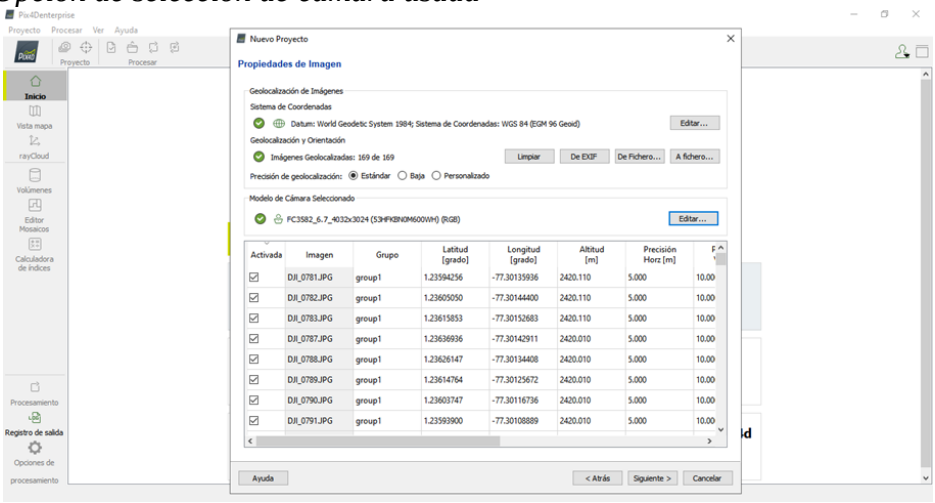
Paso siguiente procedemos a cargar las fotografías que se seleccionaron después del proceso de eliminar las fotografías que no aportan y que generan ruido. Siendo así se cargaron un total de 169 muestras fotográficas.

**Figura 9.** *Cargue de fotografías en Pix4d*



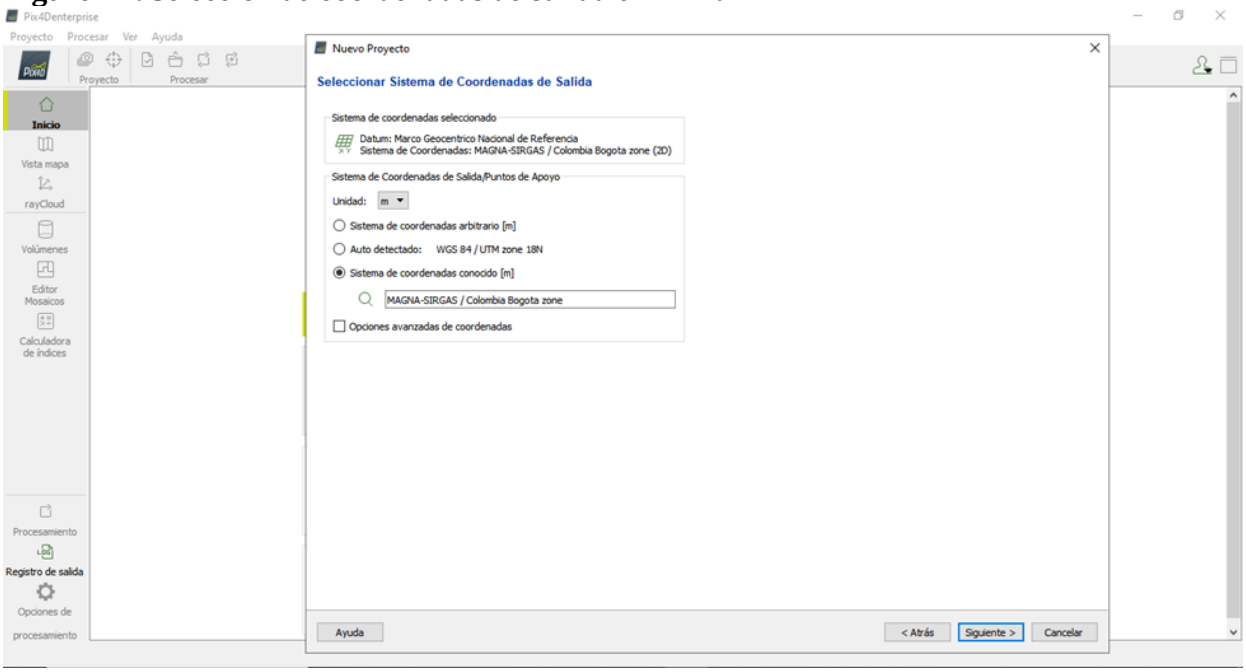

Una vez demos click en el botón siguiente, el programa nos permite modificar información relevante con respecto a tipo de coordenadas, geolocalización y modelo de cámara utilizado.

**Figura 10.** *Opción de selección de cámara usada*



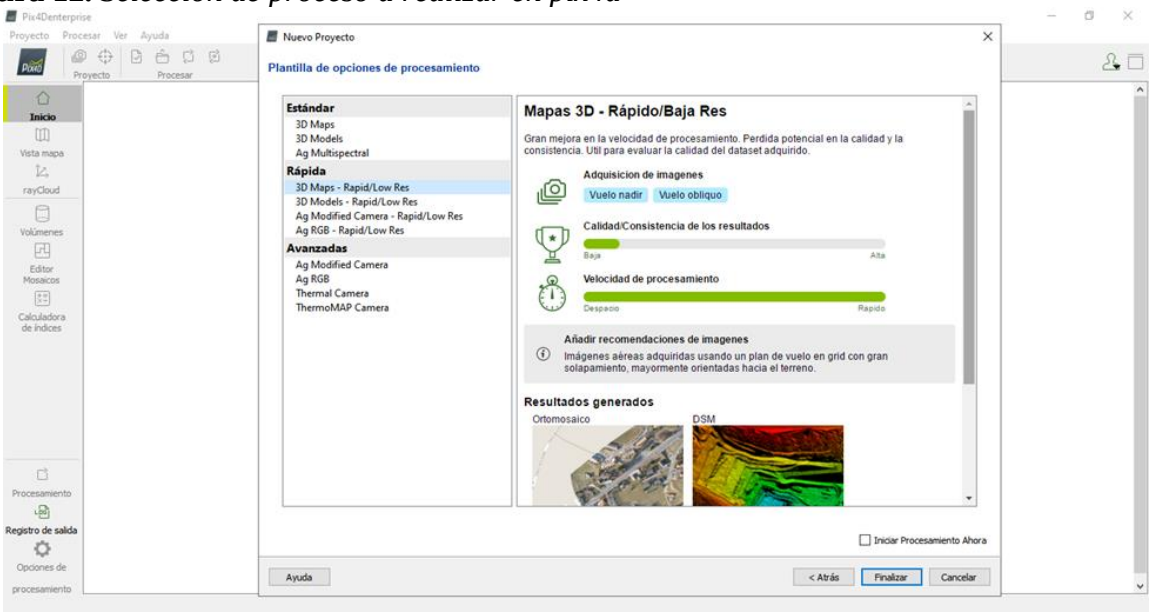
A continuación nos solicita las coordenadas en que deseamos que el software emita sus datos de salida, a lo cual registramos en MAGNA SIRGAS Colombia Bogotá zone

**Figura 11.** *Selección de coordenadas de salida en Pix4d*



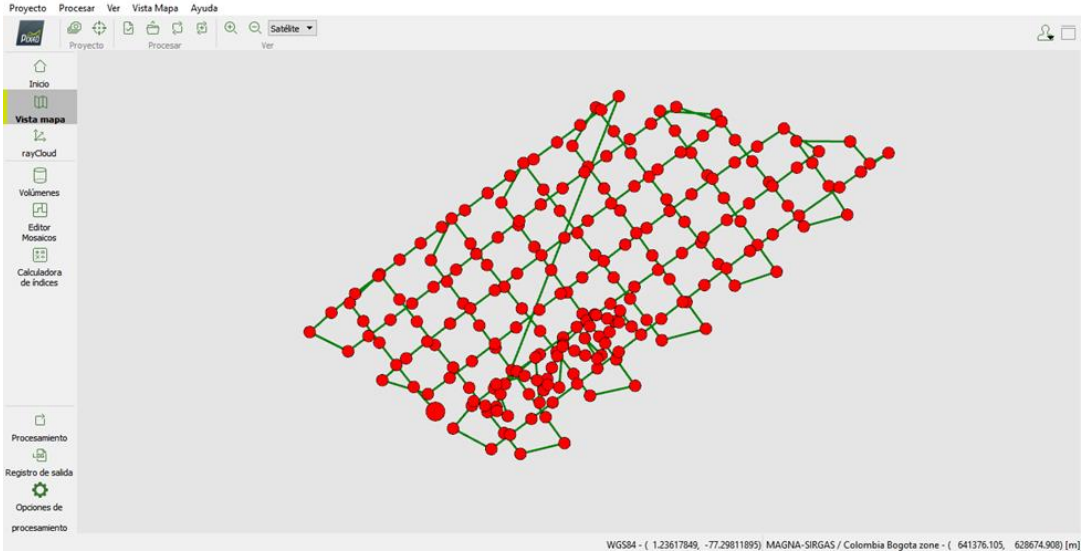

Una vez hayamos seleccionado las opciones deseadas oprimimos el botón “siguiente”, con lo que el software nos abrirá la ventana de posibilidades de trabajo respecto a los modelos esperados. Teniendo en cuenta que lo que deseamos es realizar un mapa de una ciudadela de edificios con muchos espacios de urbanismo como lo es el CEGIRD optamos por la opción de MAPAS 3D – Rápido/Baja resolución, si bien esta no es la mejor opción para tener un gran resultado, debido a las limitaciones físicas de los computadores en que se trabaja es una buena opción para procesar.

**Figura 12.** *Selección de proceso a realizar en pix4d*




Con esta opción podemos obtener resultados como una imagen ortomosaico, archivo DSM, nube de puntos y mallas 3D, productos importantes para obtener información y lograr el alcance del presente informe. Seleccionada la opción deseada oprimimos el botón “Finalizar” con lo cual nos abre la siguiente ventana, en la cual se muestra con puntos rojos en lugar en el mapa donde se tomó una foto de las diferentes grillas usadas.

**Figura 13.** *Grillas cargadas en Pix4d*



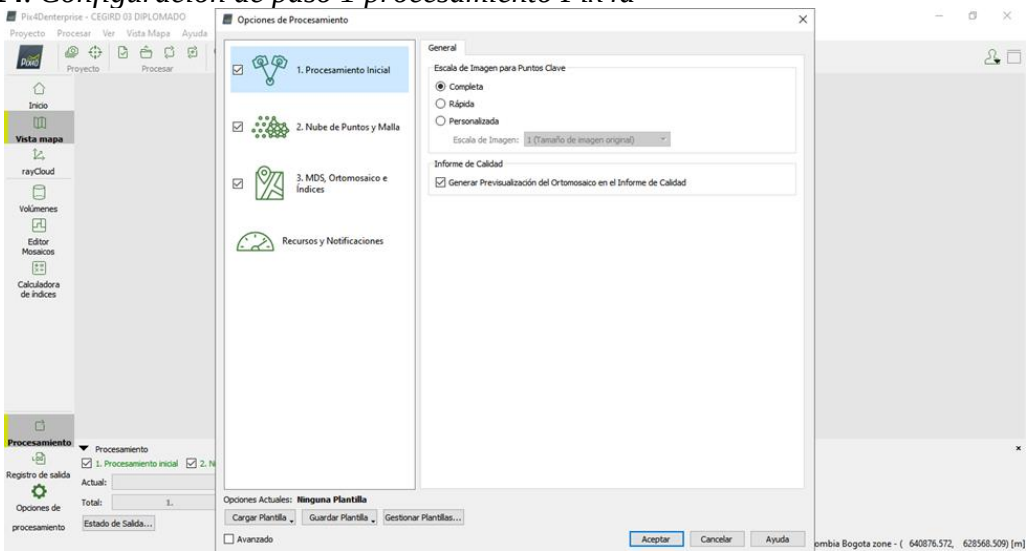
## 3.3 Procesamiento de fotografías

Al abrir la interfaz del software Pix4D y cargar nuestras fotografías, podemos elegir cómo queremos proceder con ellas y qué información necesitamos que el software nos proporcione una vez que se procesen las imágenes. En el botón “procesamiento” nos brinda las 3 opciones de procesamiento las cuales el primero es el Procesamiento inicial, la segunda es Nube de puntos y malla y el tercero es MDS, ortomosaico e índices. Cada uno de los procesos nos arroja los productos que se mencionan y algunos datos adicionales que se pueden seleccionar en el botón de “opciones de procesamiento”. De acuerdo a las condiciones de hardware de nuestros equipos realizamos el procesamiento paso a paso, esto no es opcional, ya que si se cuenta con un equipo robusto se puede ejecutar las tres etapas al tiempo.

### *3.3.1 Procesamiento Inicial*

Antes de iniciar cualquiera de las etapas es adecuado entrar a las opciones de procesamiento ya que es aquí donde seleccionaremos las condiciones que queremos que el software aplique para esta etapa y los productos que queremos nos arroje de acuerdo a la fase en las que nos encontramos.

**Figura 14**. *Configuración de paso 1 procesamiento Pix4d*

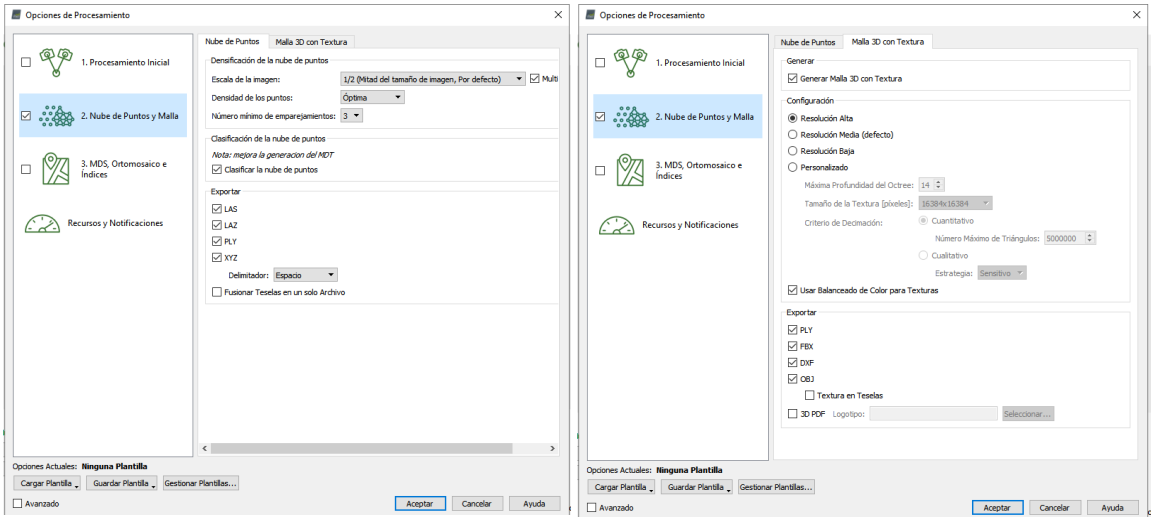


En esta opción decidimos cambiar a “completa” debido a la cantidad reducida de fotografías que se usaron con el fin de obtener el mejor resultado posible para el presente trabajo.

### *3.3.2 Proceso nube de puntos y malla*

Antes de comenzar el proceso No. 2, ingresamos de nuevo a “opciones de procesamiento” y seleccionamos la opción “2. Nube de puntos y Malla”. Esta elección nos permite trabajar en dos pestañas, cada una dedicada a uno de los productos mencionados. En estas pestañas, encontramos diversas opciones para visualizar, manipular y exportar tanto la nube de puntos como la malla correspondiente. Las opciones que utilizamos se presentan en las siguientes gráficas.

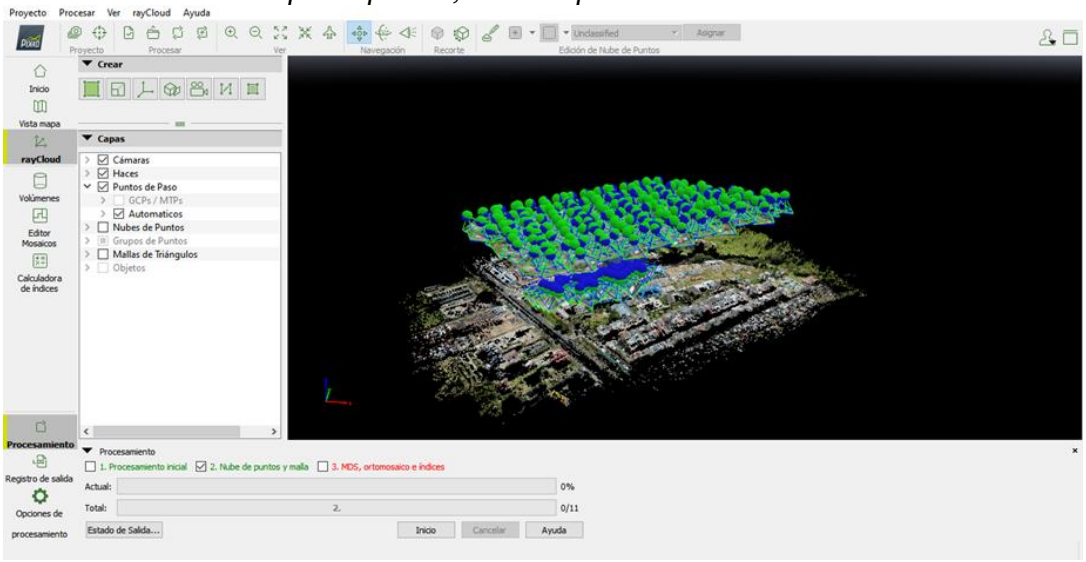
**Figura 15.** *Configuración paso 2 procesamiento Pix4d*




Una vez seleccionadas las opciones deseadas iniciamos la segunda etapa del procesamiento, acción que lleva un tiempo considerable, así que dejamos que el software haga su trabajo y esperamos. Cuando termina el proceso automáticamente abre el informe de calidad, que nos brinda el reporte de lo acontecido, este informe lo analizaremos más adelante.

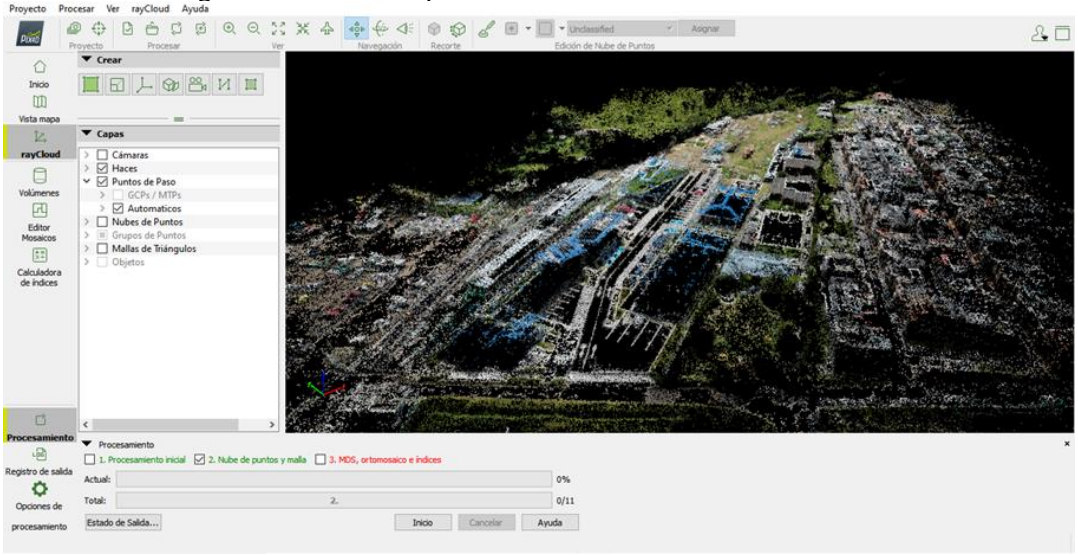
El primer resultado visual que obtenemos al terminar el paso 2 del procesamiento es el que se muestra a continuación:

**Figura 16.** *Resultado visual fin de paso 2, nube de puntos*



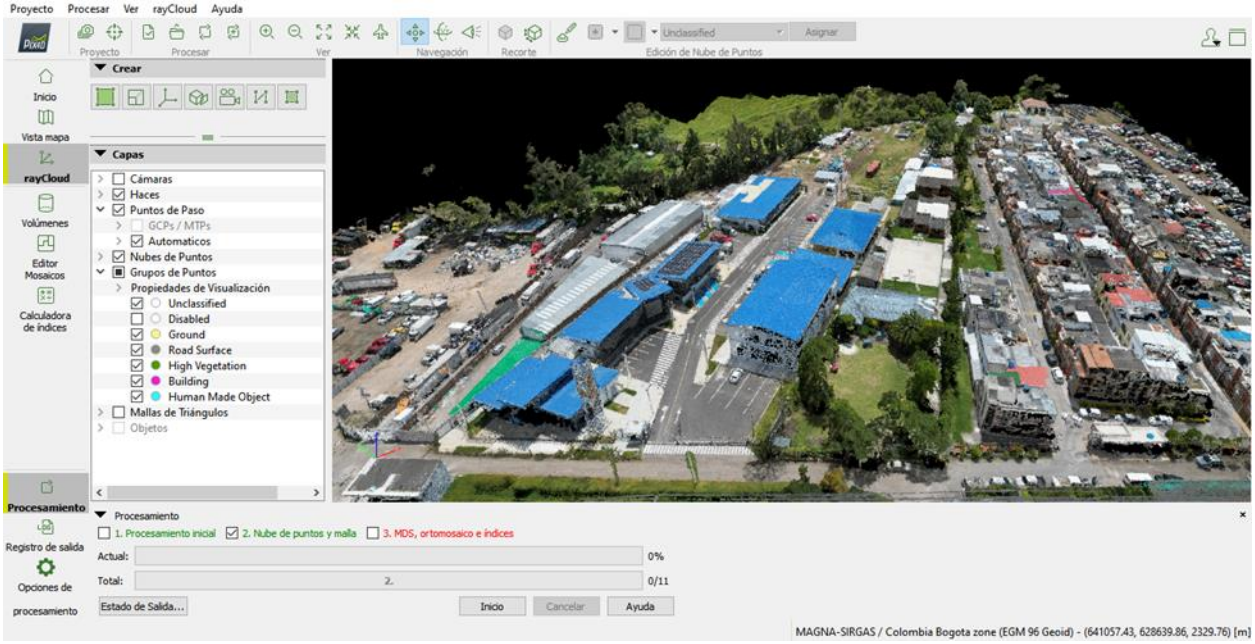

En esta opción del procesamiento observamos la opción de “cámaras” que son las esferas verdes y azules las cuales nos indican el punto desde el cual se tomó la fotografía y la forma como el software correlaciona las fotografías para encontrar puntos en común. Al desactivar la opción de “Cámaras” obtenemos nuestra primera imagen de la nube de puntos.

**Figura 17.** *Resultado general visual de paso 2*



Paso siguiente activamos la opción de “Nube de puntos” y el cambio es bastante significativo visualmente, ya que es claramente identificable las edificaciones y todo lo que compone el proyecto, en esta fase del procesamiento nos damos cuenta de que tenemos mucho ruido aun en nuestro proyecto y que quizás la limpieza de las fotografías no fue tan exigente como pudo haber sido.

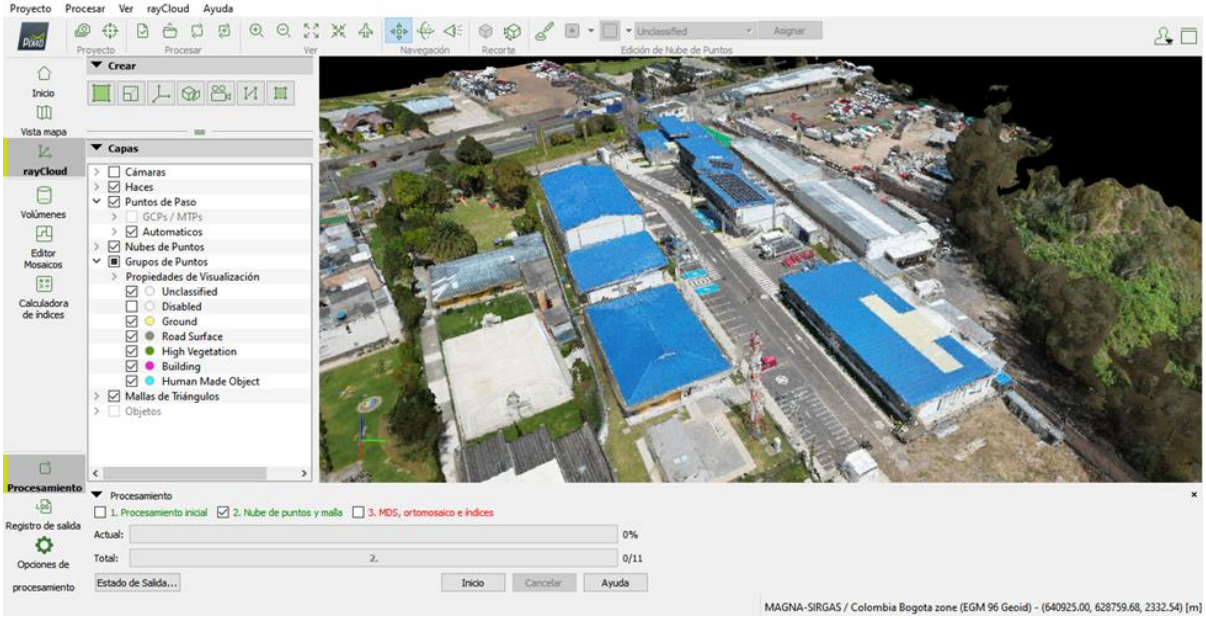
**Figura 18.** *Resultado visual con activación de nube de puntos*




Paso a seguir activamos la opción de Mallas de triángulos, una vez haya terminado observamos que el modelo ha ganado volumen y densificación, es un modelo mucho más claro de interpretar y de visualizar en 3D.

El nivel de detalle y volumen que se puede lograr con esas configuraciones y procesos es bastante satisfactorio, ya que prácticamente se tiene un modelo 3D de todo lo que está dentro del área de influencia.

**Figura 19.** *Resultado visual con la activación de malla de triángulos*




### *3.3.3 Proceso MDS, ortomosaico e índices*

El tercer paso de nuestro proceso nos proporcionará los productos finales necesarios para continuar con los demás softwares que utilizaremos. Al igual que en los pasos anteriores, activamos las configuraciones correspondientes. En este caso, aplicamos las siguientes:

**Figura 20.** *Configuración paso 3 MDS y ortomosaico*

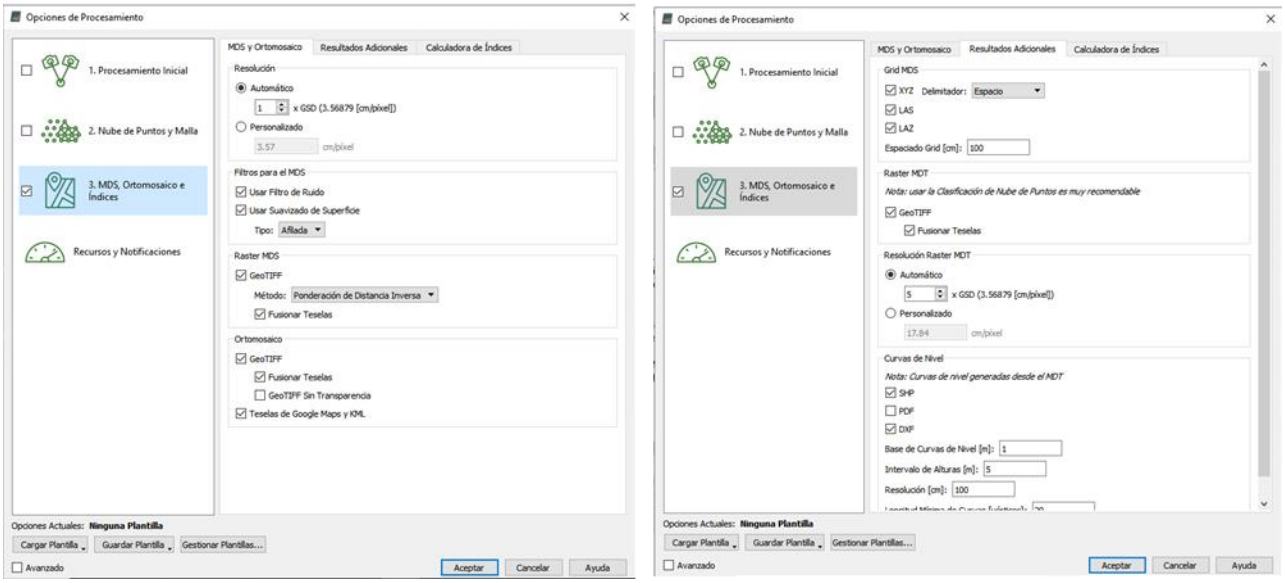
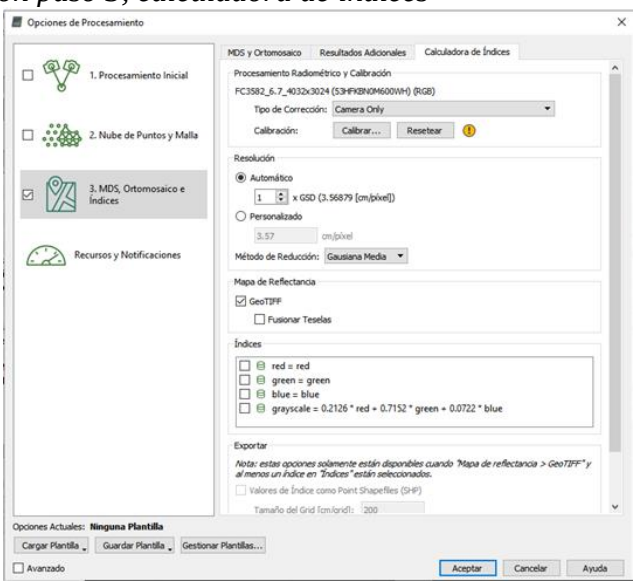


**Figura 21.** *Configuración paso 3, calculadora de índices*




Después de haber escogido nuestros parámetros de configuración, procedemos a iniciar nuestro tercer paso de procesamiento, este proceso toma un tiempo considerable de acuerdo a la calidad y parámetros seleccionados.

Una vez se haya terminado de procesar, el software emite un reporte de calidad el cual lo podemos analizar para verificar que tan confiable es la información que el pix4d nos ha emitido, para nuestro caso presentamos algunos apartes de este reporte, el informe completo se presenta en los anexos (Ver apéndice B).

**Figura 22.** *Extracto de informe de calidad*

**Summary**

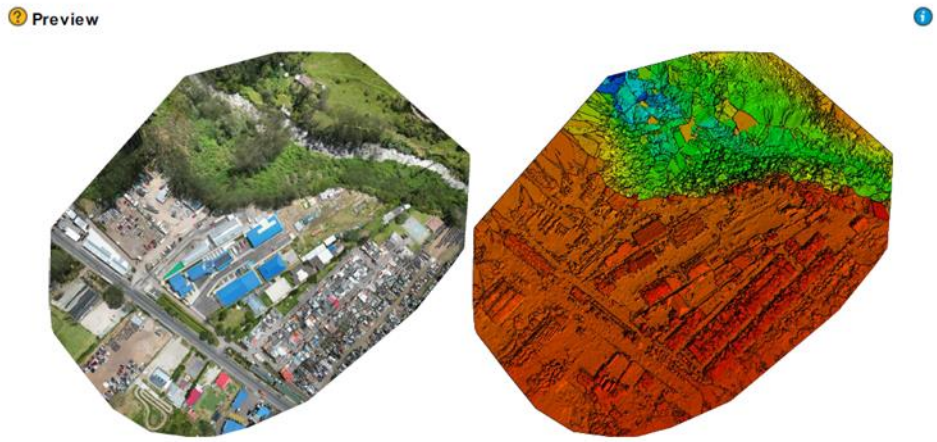
| | |
|---|---|
| Project | CEGIRD 03 DIPLOMADO |
| Processed | 2024-09-18 21:20:17 |
| Camera Model Name(s) | FC3582_6.7_4032x3024 (53HFKBN0M600WH) (RGB) |
| Average Ground Sampling Distance (GSD) | 3.57 cm / 1.41 in |
| Area Covered | 0.132 $km^2$ / 13.2068 ha / 0.05 sq. mi. / 32.6517 acres |

**Quality Check**

| | | |
|---|---|---|
| Images | median of 42375 keypoints per image | ✓ |
| Dataset | 224 out of 224 images calibrated (100%), all images enabled | ✓ |
| Camera Optimization | 0.38% relative difference between initial and optimized internal camera parameters | ✓ |
| Matching | median of 14584.4 matches per calibrated image | ✓ |
| Georeferencing | yes, no 3D GCP | ⚠ |

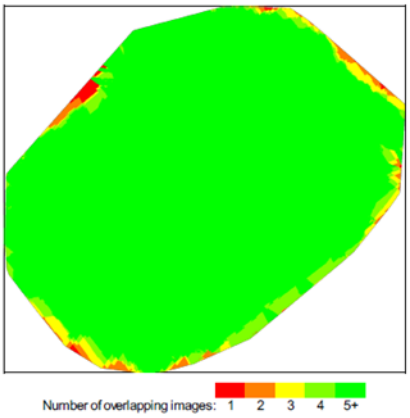
La anterior imagen es el resumen y el check de calidad del proceso realizado, en donde encontramos el nombre del proyecto, fecha de procesamiento, modelo de cámara utilizada, distancia promedio entre pixeles y área cubierta.

**Figura 23.** *Imagen previa de ortofoto y DSM según reporte de calidad*




En la figura 23 del reporte de calidad se presente una vista previa de la ortofoto del proyecto y del modelo de superficie digital DSM en donde ya nos podemos ir haciendo una idea del producto que nos arrojó el software.

**Figura 24.** *Overlap según reporte de calidad*



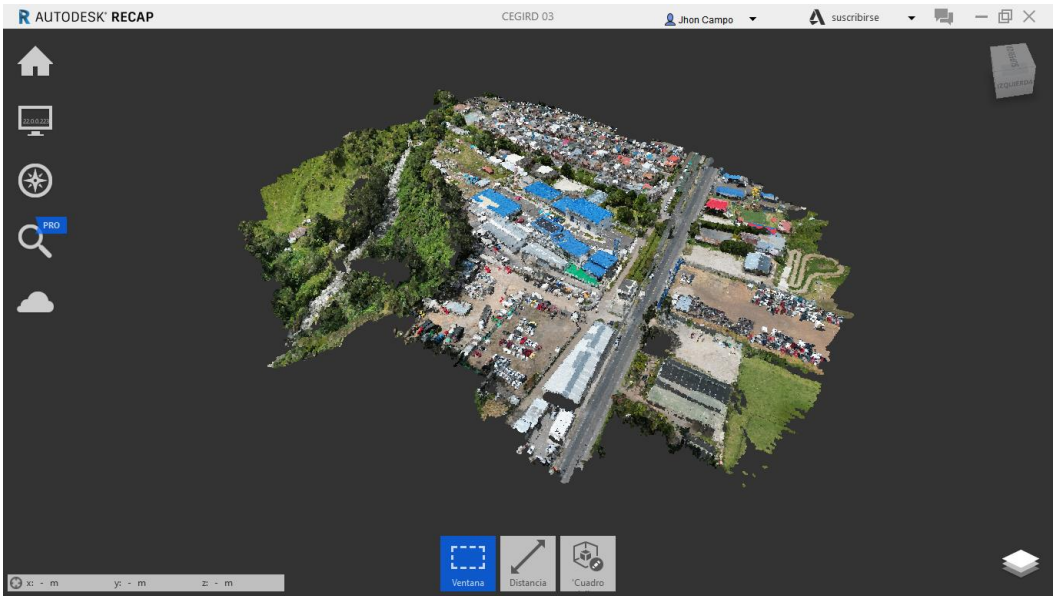
El apartado de overlap nos indica la cantidad de fotografías que se lograron sobreponer por espacios del área de trabajo, para nuestro caso se evidencia que el sector de influencia trabajo con 5 o más fotografías, por lo cual se indica en su gran mayoría en color verde y solo en su perímetro se evidencian en escala 1 a 3, aunque se recuerda que se registró un área mucho más grande que el proyecto CEGIRD por lo cual el área de importancia está cubierta en su totalidad.

El reporte de calidad nos brinda más información como la anteriormente mencionada con la cual podemos concluir que calidad tiene la información que recibiremos.

Una vez terminado el procesamiento con Pix4d mapper, aplicamos la técnica de Fotointerpretación en AutoCAD con nube de puntos, ortomosaico escalado y puntos de control método creado por el Arq. Robert Gutiérrez en su investigación propia de sistemas de precisión y aprendido en el Diplomado de Drones. Para utilizar dicho método comenzamos con dirigimos a la carpeta donde hemos creado y guardado nuestro proyecto, ya que ahí se encontrarán los productos que le solicitamos al software creara. En esta carpeta se encuentra nuestro archivo de nube de puntos en formato .las que será nuestro próximo insumo a trabajar, este archivo lo abriremos en ReCap pro para mejorar sus características y continuar con nuestro proceso.

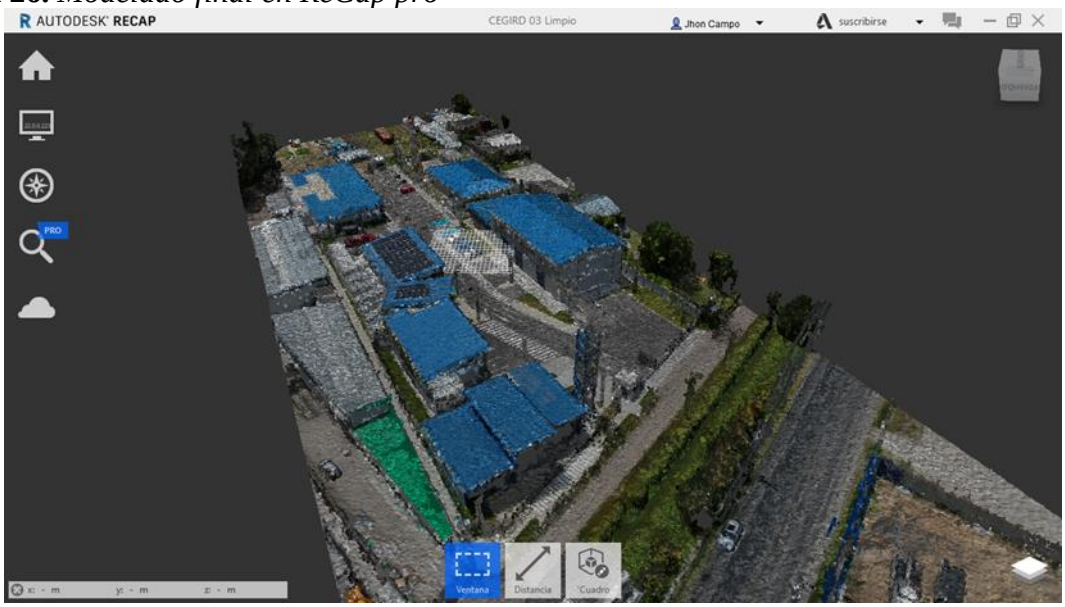
Ya una vez en ReCap identificamos que nuestro archivo contenía mucho ruido visual e información innecesaria para lo que pretendemos trabajar, por lo cual procedimos a limpiarlo.

**Figura 25.** *Modelo original en ReCap pro*




Después de eliminar el ruido e información innecesaria y de aplicar parámetros de iluminación y visualización de puntos, tenemos el siguiente resultado.

**Figura 26.** *Modelado final en ReCap pro*

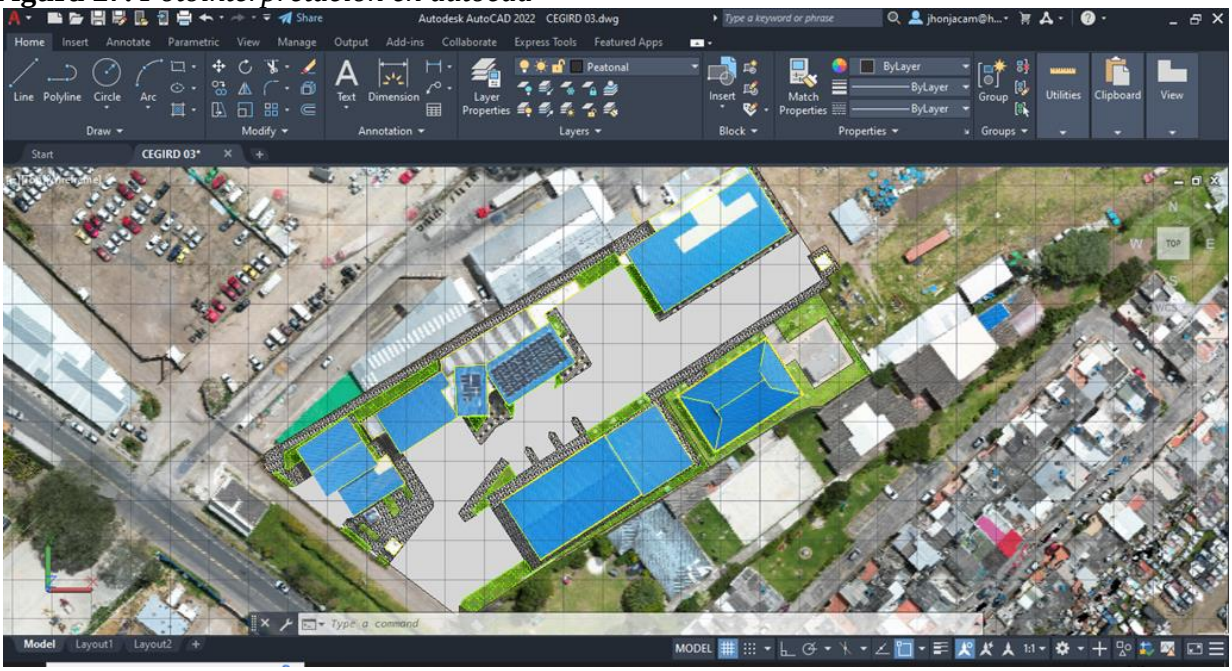


### 3.4 Realización de planimetría en autocad

Una vez terminados los procesos en pix4d y en Recap pro utilizando el método de fotointerpretación en AutoCAD del Arq. Robert Gutiérrez, continuamos con nuestro análisis y dibujo en autocad, para esto y debido a los resultados que deseamos tener que es un análisis comparativo entre los planos record entregados y lo realmente construidos tomaremos como insumo base, la nube de puntos optimizada en ReCap y el ortomosaico obtenido de pix4d.

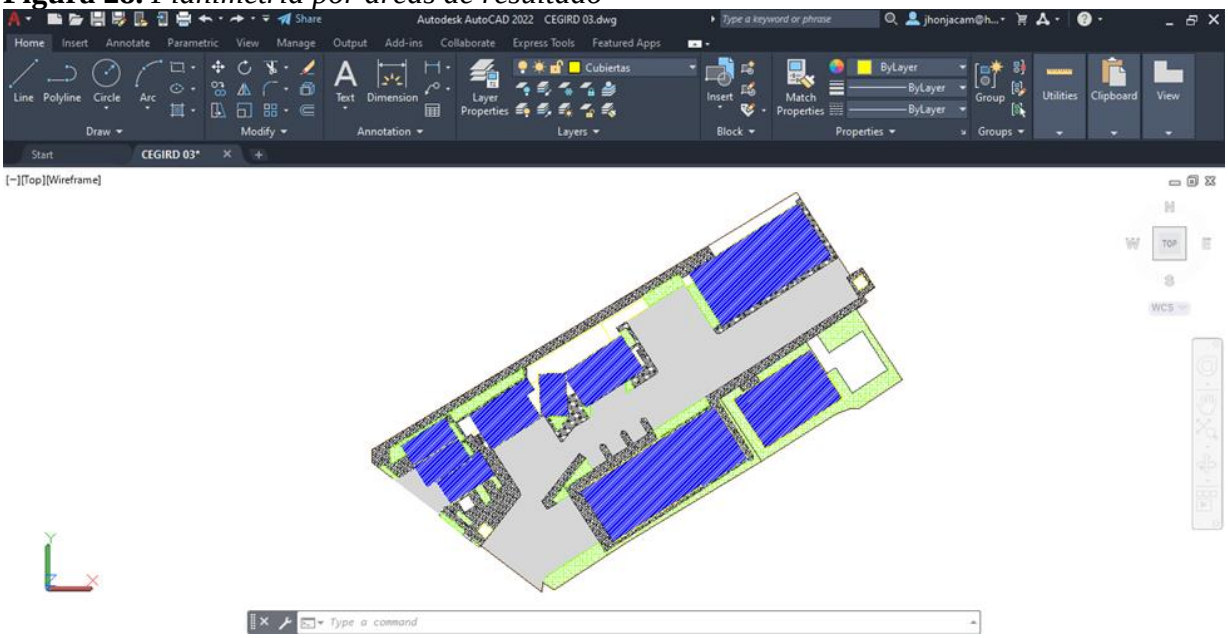
Ya dentro del software evidenciamos que para lo que deseábamos realizar era más fácil foto interpretar sobre el ortomosaico ya que nuestro trabajo se enfocara en una plata en 2D sin tener en cuenta alturas, con lo cual procedimos a dibujar foto interpretando por categorías como cubiertas, paso peatonal, perímetro, zonas verdes, vías, entre otras.

**Figura 27.** *Fotointerpretación en autocad*



Una vez terminada la foto interpretación se obtuvo un modelo grafico en 2D (planimetría) de formato .dwg con el cual podemos hacer cualquier tipo de verificación, comparación, medición y demás tareas sobre los planos record que se suministraron con el plano de topografía que se cuenta.

**Figura 28.** *Planimetría por áreas de resultado*




Ya con nuestro modelo en autocad procedemos a realizar la comparación con el plano record entregado por el contratista, este plano se debió limpiar de elementos innecesarios para nuestro trabajo y con el fin de que la interpretación sea lo más clara posible. A continuación se muestran en paralelo los dos modelos a analizar.

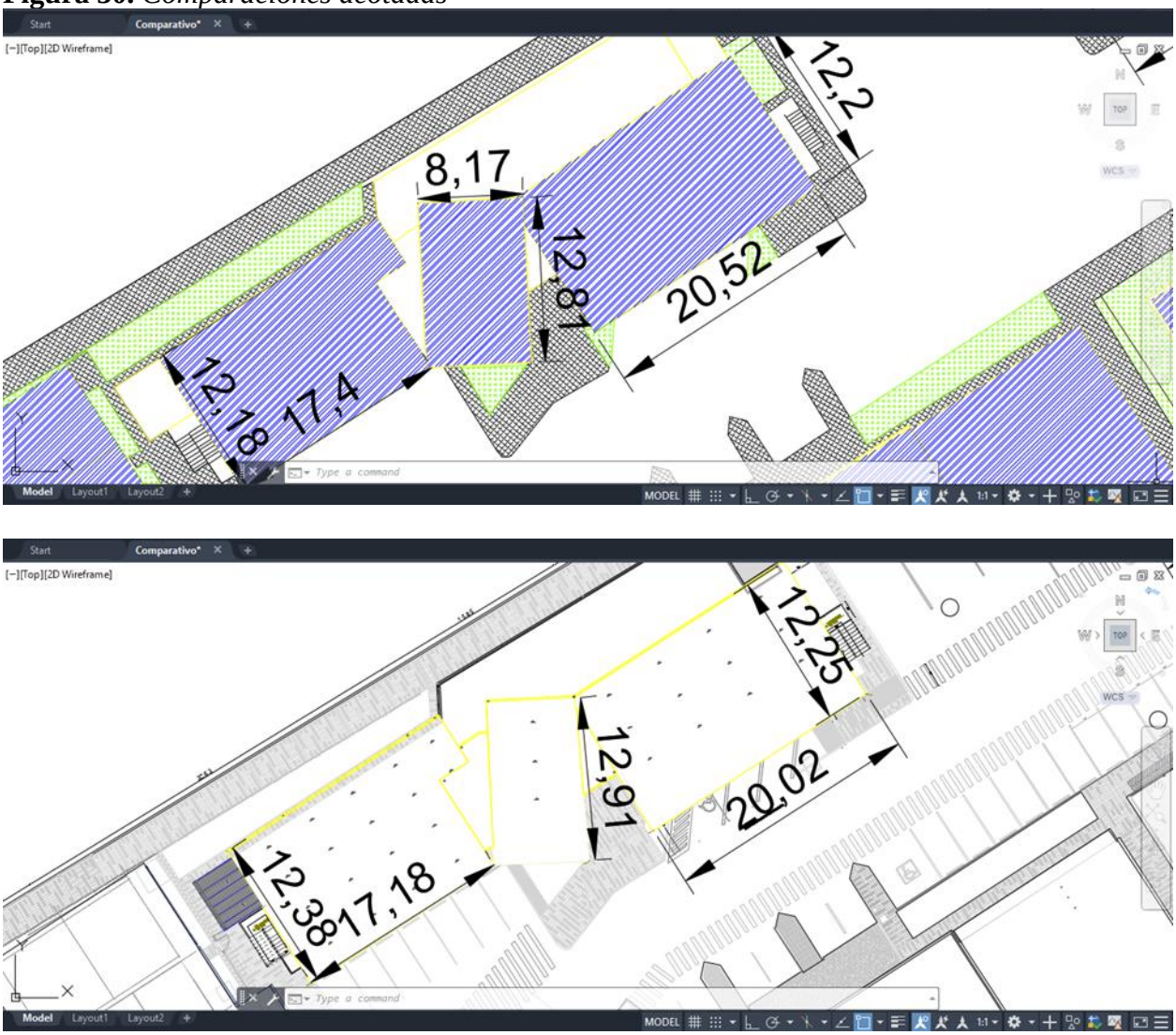
**Figura 29.** *Modelos a comparar en planimetría*

En este punto consideramos que tenemos dos formas de verificar y las vamos a plantear, la primera es sobreponer nuestra fotointerpretación sobre los planos record y la segunda es sobreponer los planos record sobre nuestro ortomosaico, para el caso del presente informe realizaremos las dos opciones.

### *3.4.1 Comparación entre fotointerpretación y planos record*

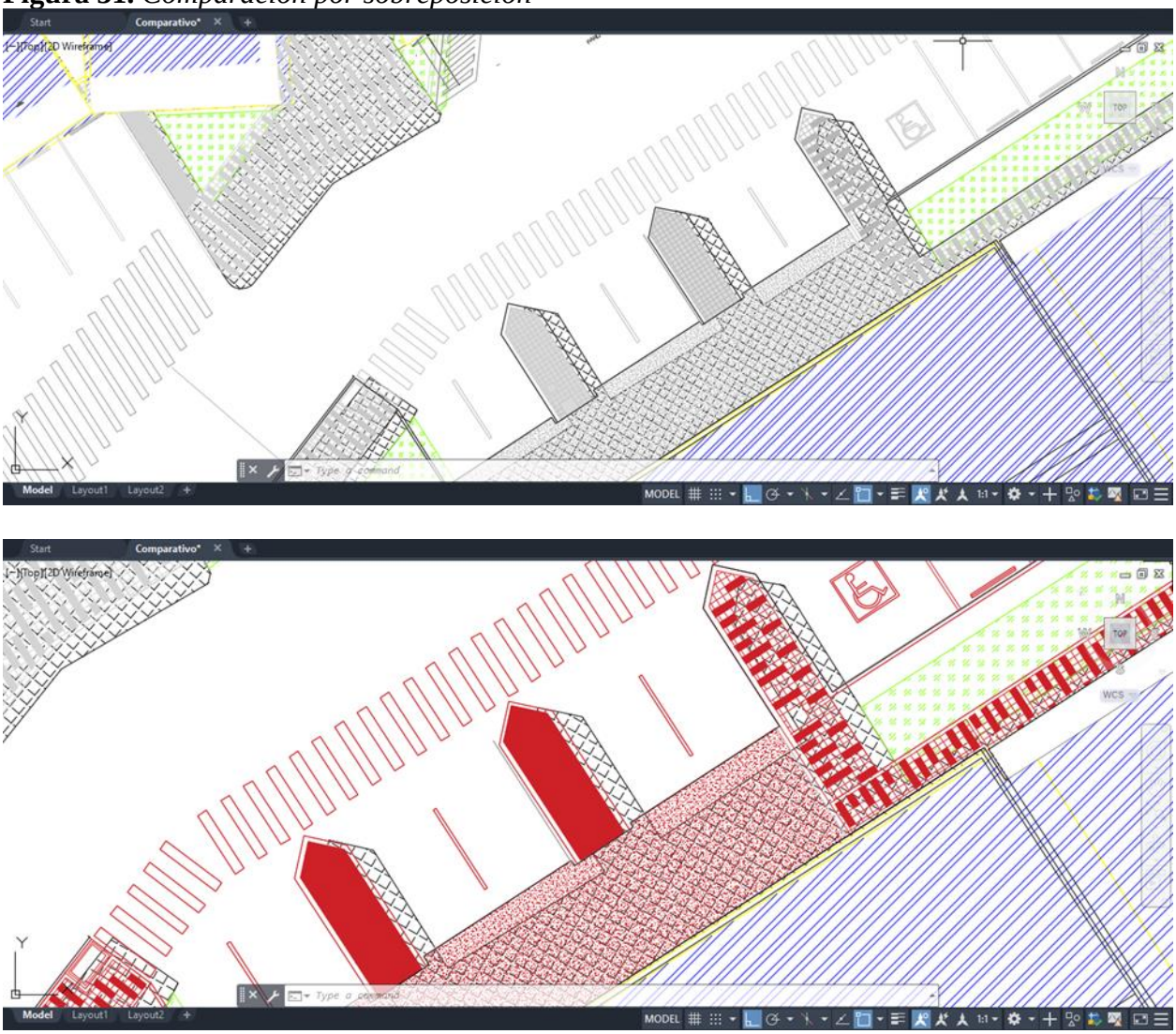
Se realizo inicialmente una verificación acotando los modelos obtenidos y comparándolos con las cotas de los planos record, en donde se encontraron diferencias, las diferencias sobre las cubiertas pueden ser atribuidas a los respectivos voladizos de la teja la cual no fue actualizada en los planos as built.

**Figura 30.** *Comparaciones acotadas*




Como se muestra en las imágenes y descripción anterior esta es una forma de verificar estructuras puntuales y comparar sus dimensiones, otra forma de verificación que se planteo es la de localización general de las estructuras, vías y demás áreas, está la logramos sobreponiendo una plano sobre el otro verificando sus áreas generales.

**Figura 31.** *Comparación por sobreposición*




En la figura 26 evidenciamos el desfase que hay entre los planos record y lo construido, en color rojo se encuentran los elementos planteados y en color gris lo que se construyó, si bien las dimensiones están acorde a lo diseñado la ubicación no es exacta con lo planeado, es aquí donde evidenciamos la importancia del trabajo que se está realizando, ya que normalmente en campo un interventor o supervisor sin mayor equipo lo que hace es verificar las dimensiones y dar su concepto en base a esto, mas no tiene la posibilidad de evidenciar la localización real de las estructuras construidas.

De esta manera podemos realizar una revisión exhaustiva de cada uno de los elementos que componen la infraestructura y verificar si existe algún tipo de desfase en cuanto a implantación o se puede realizar de manera rápida y eficiente la verificación de cantidades.

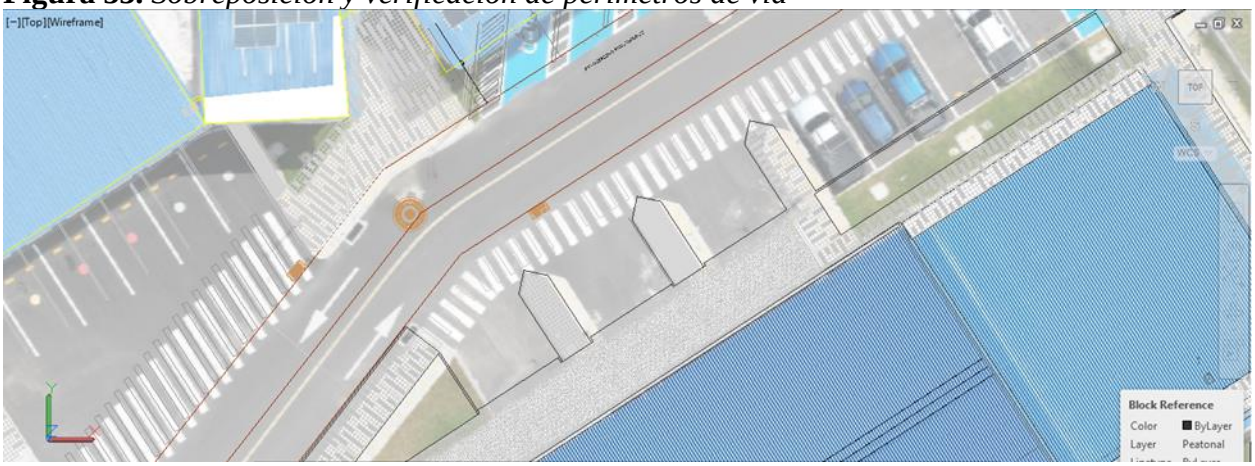
### *3.4.2 Comparación entre ortomosaico y planos record*

Para realizar este proceso debemos contar con nuestro ortomosaico escalado en autocad y se recomienda tener los planos record en bloque ya limpio de ruido visual y con los elementos que se desea realizar la verificación, una vez se tengan estos dos elementos se debe sobreponer los planos sobre el ortomosaico ubicando sus puntos de control o punto de referencia.

**Figura 32.** *Sobreposición de ortofoto con planos record*

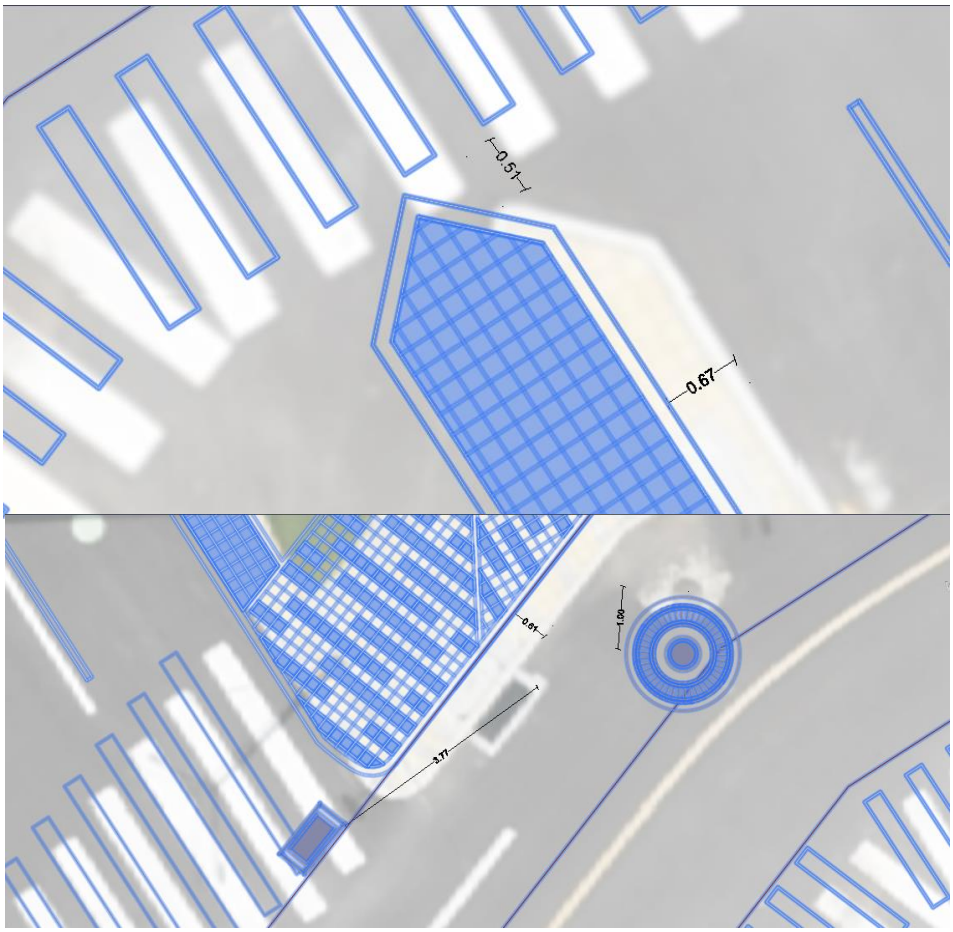
Este es un método de verificación mucho más rápido que el anterior y permite de igual manera dibujar o tomar medidas sobre él, sin mucho trabajo en la fotointerpretación, aunque esto depende del resultado esperado y del modelo de presentación que se requiera.

**Figura 33.** *Sobreposición y verificación de perímetros de vía*




En la figura anterior se identifica claramente el desfase que presenta la implantación en el sector de las bahías de paqueo, la cual puede servir como referencia de verificación rápida o podemos acotar.

**Figura 34.** *Verificación de separadores de parqueo y obras de arte*



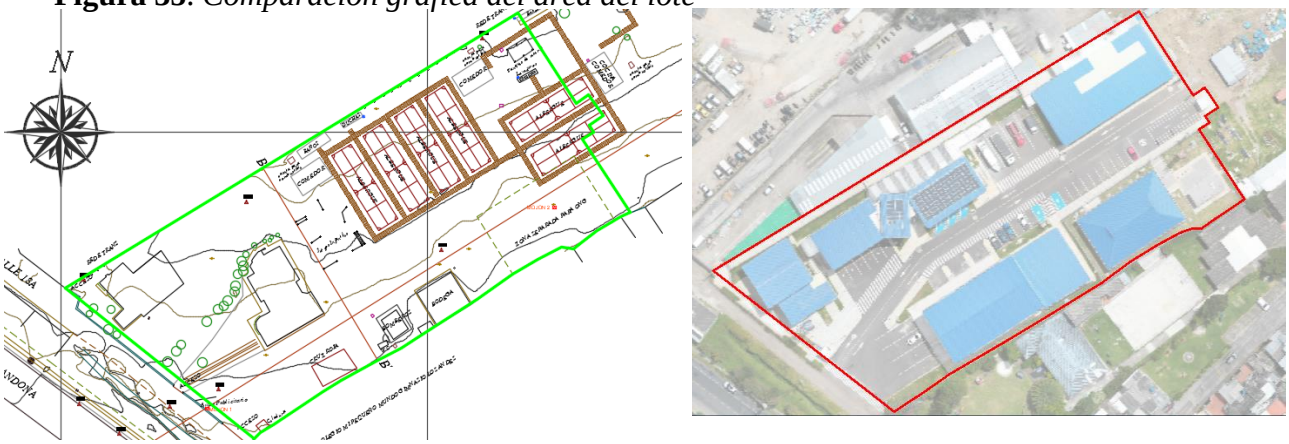
En la figura 30 se puede observar claramente y acotados los desfases que presentan los andenes, sumidero y cámara de inspección de alcantarillado, entonces si observamos simplemente el acta de obra y lo confrontamos con lo construido en calidad de interventores o supervisores de obra podríamos dar nuestro visto bueno porque las actividades están realizadas, pero como observamos en el ejemplo propuesto, los planos record nunca fueron actualizados y no se dibujaron las estructuras en su lugar de construcción. Es así como con unos rápidos pasos podemos tener una herramienta muy eficiente en las manos de los interventores y supervisores a un bajo costo. Lo presentado en el caso anterior se hace a modo de ejemplo, ya que se podría realizar acotaciones sobre todo el proyecto y realizar una serie de observaciones las cuales se deberían presentar al contratista para que sean subsanadas antes de la liquidación del proyecto o de la aprobación de los planos record del mismo.

Los métodos previamente mencionados se presentan de manera apreciativa o cualitativa, utilizando algunas mediciones como referencia. Sin embargo, es posible realizar mediciones precisas según las necesidades específicas del proyecto o la revisión. Para verificar la precisión del método, se llevó a cabo un ejercicio comparativo del área total del lote intervenido, contrastando el levantamiento topográfico original del proyecto con la fotointerpretación realizada en AutoCAD.

**Tabla 2.** *Comparación del área del lote, por medio de dos métodos*

| **Área lote con fotogrametría (m2)** | **Área lote con topografía (m2)** | **Diferencia (m2)** |
|---|---|---|
| **8160.86** | 8155.67 | 5.19 |
| | 99.94% | 0.064% |

**Figura 35**. *Comparación grafica del área del lote*



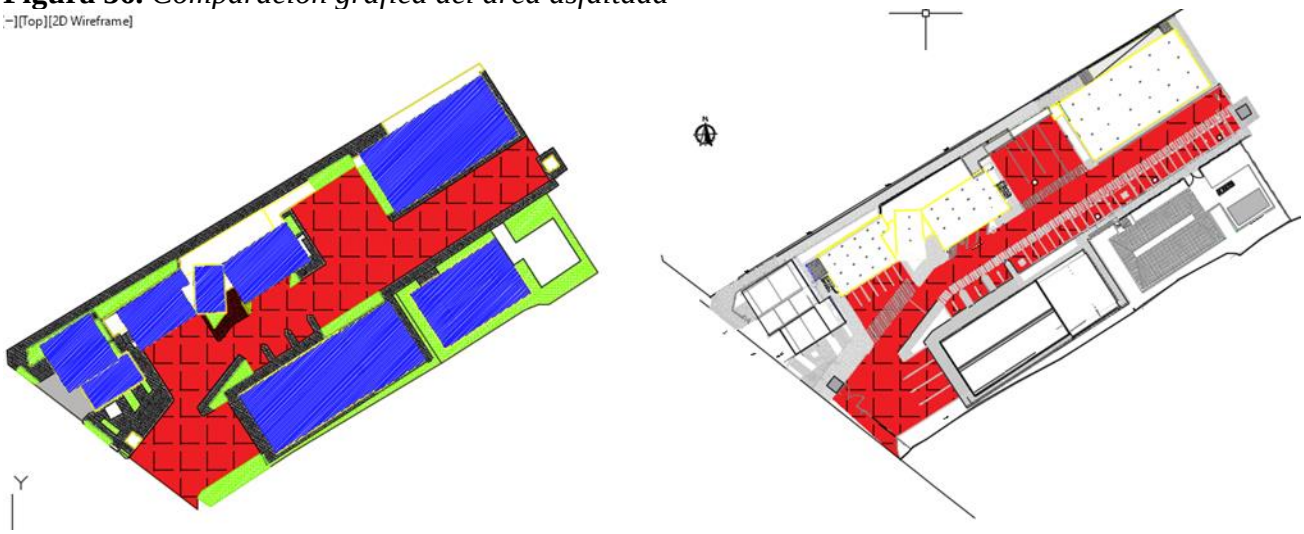

Como se puede apreciar en la tabla No 1, las áreas obtenidas a través de topografía tradicional y con el método aprendido durante el diplomado y desarrollado por el Arq Robert Gutiérrez son muy semejantes obteniendo apenas una diferencia porcentual de 0.064%, esto en ningún momento concluye que un método es más preciso que el otro, ya que en la topografía tradicional constantemente se presentan errores, lo que si nos permite apreciar es que el uso de la fotogrametría es totalmente competitiva con los resultados obtenidos.

De igual manera, se realizó la verificación y comparación de las áreas en las cuales se aplicó asfalto, que fue la vía principal y las zonas de parqueo, esta es una de las verificaciones más comunes a las que se debe enfrentar un supervisor o interventor de obra civil, y que al no tener formas regulares, la medición en campo sin equipo de topografía o equipo especializado se vuelve complicada y poco confiable.

**Tabla 3.** *Comparación de área asfaltada, por medio de dos métodos*

| **Área asfaltada con fotogrametría (m2)** | **Área asfaltada en planos record (m2)** | **Diferencia (m2)** |
|---|---|---|
| **2555.19** | 2554.33 | 0.86 |
| | 99.97% | 0.034% |

**Figura 36.** *Comparación grafica del área asfaltada*




En este análisis hemos hecho la comparación métrica entre el área fotointerpretada en autocad desde el ortomosaico escalado versus los planos record que fueron entregados y verificados para la correspondiente acta de pago, es decir que este caso particular no solo es cualitativo o apreciativo sino que fue corroborado en campo para el correspondiente pago del ítem. Con lo cual se tuvo un resultado bastante cercano entre los métodos de cuantificación usados teniendo un porcentaje de diferencia del 0.034%

## 4. Conclusiones

La utilización de la aeronave no tripulada DJI Mini 3 Pro permitió aplicar de manera efectiva la metodología aprendida durante el diplomado. Se realizó un sobrevuelo alineado con las necesidades específicas del proyecto, llevando a cabo un registro fotográfico programado en grillas, alturas, ángulos y con traslapes adecuados. Esto dio como resultado un conjunto de imágenes de calidad y adecuadas para un buen procesamiento. Así, se demuestra que, incluso con

un equipo de tecnología relativamente accesible, es posible obtener resultados satisfactorios en proyectos de este tipo.

A través del procesamiento de imágenes con softwares recomendados por los orientadores del diplomado, se logró obtener productos de calidad que brindan herramientas valiosas a interventores y supervisores para la toma de decisiones. En este proyecto, se generó una nube de puntos que permite verificaciones en tres dimensiones y una ortofoto que, en nuestra opinión, es la herramienta más útil para la planimetría. Esto no solo mejora la precisión de las mediciones, sino que también optimiza el análisis y la verificación de los proyectos.

Los insumos obtenidos mediante la muestra fotográfica y su procesamiento adecuado permitieron verificar las diferencias entre lo construido y lo presentado en los planos récord. Aunque las estructuras están construidas, se encontraron desplazamientos significativos respecto a su ubicación en los planos arquitectónicos. Esta situación es común en la ejecución de proyectos; sin embargo, la falta de actualización de los planos récord con los diseños finales representa una deficiencia notable. Esta falta puede llegar a ser muy común y más aún si los interventores y/o supervisores no cuentan con recursos suficientes para realizar una adecuada verificación, de esta manera el método propuesto en el presente informe representa una herramienta altamente efectiva para la toma de decisiones, aprobación o rechazo de planos record.

De acuerdo a la comparación cuantitativa realizada en las áreas del lote general del proyecto y las áreas en las cuales se aplicó asfalto como vías y áreas de parqueo tuvimos una diferencia porcentual en promedio de 0.049% que es un porcentaje supremamente bajo para las áreas de trabajo analizadas, esto no nos permite definir cual método es el más efectivo, pero si nos permite concluir que el método de fotointerpretación es una herramienta altamente eficiente para actividades de supervisión y verificación de actividades en campo.

El método de Fotointerpretación en AutoCAD, con nube de puntos, ortomosaico escalado y puntos de control propuesto no solo aplica para la verificación de planos record, sino también brinda alternativas importantes y rápidas para la verificación de cantidades, espaciamientos, avances de obra, aprobación o rechazo de estructuras, formulación y reformulación de proyectos, entre otras muchas más aplicaciones. El costo beneficio de la metodología es realmente importante a la hora de brindar herramientas a nuestros profesionales de la ingeniería y arquitectura y más aún si lo comparamos con los costos de una topografía tradicional.

## Referencias

González-Aguilera, D., Gómez-de-Gabriel, J. A., & Rodríguez-Gonzálvez, P. (2006). Photogrammetry: A tool for cultural heritage documentation. Cultural Heritage.

Kraus, K. (1997). Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans. Berlin: Walter de Gruyter.

McGlone, J. C. (2010). Manual of Photogrammetry. Reston, VA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Tsioukas, V., Koutsoudis, A., & Georgopoulos, A. (2021). The application of photogrammetry in archaeology. Journal of Cultural Heritage.

Wolf, P. R., y Dewitt, B. A. (2000). Elements of Photogrammetry. New York: McGraw-Hill.

Zhang, Z., Wang, H., & Liu, Y. (2016). Advances in photogrammetry and remote sensing. Remote Sensing.