

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL LEVANTAMIENTO
FOTOGRAMÉTRICO CON DRON FRENTE A LA MEDICIÓN CON LÁSER DE
DISTANCIA, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE CANTIDADES DE OBRA EN
EDIFICACIONES, CASO DE ESTUDIO CONJUNTO RESIDENCIAL LA CAROLINA,
LA MESA - CUNDINAMARCA.**

Espejo Farfán Yisseth Camila, Méndez Sánchez María Camila, Ocampo Franco Andrés Felipe



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2023

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON FRENTE A LA MEDICIÓN
CON LÁSER DE DISTANCIA, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE CANTIDADES
DE OBRA EN EDIFICACIONES, CASO DE ESTUDIO CONJUNTO RESIDENCIAL LA
CAROLINA, LA MESA - CUNDINAMARCA.**

Espejo Farfán Yisseth Camila, Méndez Sánchez María Camila, Ocampo Franco Andrés Felipe

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

**Director MSc. Jaime Arturo Rodríguez Guzmán – Codirector MED Ing. Willan Germán
Mellado Aranzalez.**



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C

2023

Agradecimientos

Queremos agradecer en primera instancia a Dios, a nuestras familias que son un pilar fundamental en nuestras vidas, también un reconocimiento especial al licenciado Jaime Rodríguez y al Ingeniero Willan Mellado por su constante acompañamiento en el proceso y elaboración de este trabajo de grado. Finalmente, a la Universidad La Gran Colombia por acogernos y formarnos profesionalmente.

Tabla de contenido

1	RESUMEN	9
2	ABSTRACT	10
3	INTRODUCCIÓN	11
4	ANTECEDENTES	12
5	JUSTIFICACION	14
6	OBJETIVOS	15
	6.1 OBJETIVO GENERAL	15
	6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
7	MARCO REFERENCIAL	17
	7.1 MARCO TEORICO	17
	7.1.1 <i>Fotogrametría con drones</i>	17
	7.1.2 <i>Drones en la ingeniería civil</i>	22
	7.1.3 <i>Estimación de errores en las medidas</i>	22
	7.1.4 <i>Precisión y exactitud</i>	24
	7.2 MARCO GEOGRAFICO	25
	7.2.1 <i>Localización</i>	25
	7.2.2 <i>Aspectos climatológicos</i>	27
	7.2.3 <i>Uso del suelo</i>	27
	7.2.4 <i>Aspectos socioeconómicos</i>	28
	7.3 MARCO TECNOLÓGICO	28
	7.3.1 <i>Finalidad de la investigación</i>	28
	7.3.2 <i>Influencias externas</i>	28
	7.3.3 <i>Factibilidad</i>	29
	7.4 MARCO NORMATIVO.....	29

7.4.1	<i>Resolución 04201 dl 27 de diciembre de 2018.....</i>	29
7.4.2	<i>Resolución 471 de 14 de mayo de 2020.....</i>	30
8	METODOLOGÍA.....	33
8.1	METODOLOGÍA CON DRON.....	33
8.1.1	<i>FASE I – Localización del proyecto.....</i>	33
8.1.2	<i>FASE II – Vuelo con UAV.....</i>	38
8.1.3	<i>FASE II – Procedimiento de datos en software.....</i>	42
8.1.4	<i>Procesamiento en Agisoft Metashape Pro.</i>	45
8.1.5	<i>FASE IV – Obtención de cantidades de obra.....</i>	50
8.2	METODOLOGIA CON MEDIDOR LASER.....	51
8.2.1	<i>Medición de fachadas.....</i>	51
9	RESULTADOS OBTENIDOS.....	52
9.1	RESULTADOS DE LA METODOLOGIA CON DRON.....	52
9.1.1	<i>Producto final Agisoft Metashape Pro.....</i>	52
9.1.2	<i>Producto final Autodesk ReCap.....</i>	53
9.1.3	<i>Producto final Autodesk Revit.....</i>	53
9.1.4	<i>Georreferenciación.....</i>	55
9.2	COTIZACIÓN.....	57
9.2.1	<i>Levantamiento fotogramétrico con dron.....</i>	57
9.2.2	<i>Cantidades por medio de la forma tradicional.....</i>	57
9.2.3	<i>Materiales y mano de obra.....</i>	58
9.3	RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN ENTRE LA MODELACIÓN Y EL MEDIDOR LÁSER .	58
9.3.1	<i>Medición de láser vs Revit.....</i>	58
9.3.2	<i>Viabilidad.....</i>	58
9.3.3	<i>Teoría de errores.....</i>	59
10	ANALISIS DE RESULTADOS.....	60
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64

12 LISTA DE REFERENCIAS 67

13 ANEXOS 70

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Posible clasificación que muestra los principales tipos de aeronaves.</i>	20
Figura 2	<i>Diferencia entre precisión.</i>	25
Figura 3	<i>Localización del Conjunto Residencial La Carolina.</i>	26
Figura 4	<i>Localización del Conjunto Residencial La Carolina.</i>	34
Figura 5	<i>Delimitación del Conjunto Residencial La Carolina</i>	36
Figura 6	<i>Mapa de Geozonas de vuelo de Bogotá D.C y sus alrededores</i>	37
Figura 7	<i>Convenciones de mapa de Geozonas</i>	38
Figura 8	<i>Fotografía de UAV utilizado</i>	40
Figura 9	<i>Fotografía de batería utilizadas</i>	41
Figura 10	<i>Plan de vuelo realizado en Copteris</i>	41
Figura 11	<i>Resultados obtenidos en Context Capture</i>	43
Figura 12	<i>Resultados obtenidos en Pix4D Mapper</i>	43
Figura 13	<i>Resultados obtenidos en Agisoft Metashape Pro</i>	44
Figura 14	<i>Características básicas y avanzadas del sistema para ejecutar Agisoft</i>	45
Figura 15	<i>Resultado de creación de nube de puntos dispersa</i>	46
Figura 16	<i>Nube de puntos densa procesada en ReCap</i>	47
Figura 17	<i>Nube de puntos recortada para la torre 9</i>	48
Figura 18	<i>Modelo terminado torre 9</i>	49
Figura 19	<i>Familias paramétricas de puertas y ventanas</i>	49
Figura 20	<i>Medidor laser utilizado</i>	51
Figura 21	<i>Evidencia fotográfica del trabajo de toma de medidas con láser</i>	52
Figura 22	<i>Medidas obtenidas del modelo de Revit</i>	54

Figura 23	<i>Latitud y longitud arrojadas por el Geo portal de la ACC.</i>	56
Figura 24	<i>Conversión de coordenadas en la página web del IGAC</i>	57

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Zonificación del casco urbano</i>	27
Tabla 2	<i>Clasificación de las operaciones con UAS.</i>	30
Tabla 3	<i>Exactitud de posición absoluta según GSD orto imagen.</i>	31
Tabla 4	<i>Comparación de datos obtenidos con Google Earth y georreferenciación del IGAC.</i>	32
Tabla 5	<i>Calculo del RMSEr de cada dato obtenido.</i>	33
Tabla 6	<i>Descripción tipo de apartamento por color</i>	35
Tabla 7	<i>Características UAV implementado</i>	39
Tabla 8	<i>Tabla de materiales generada en Revit.</i>	50
Tabla 9	<i>Áreas a pintar</i>	55
Tabla 10	<i>Matriz comparativa entre la medición con láser y vuelo con dron.</i>	59

Lista de Graficas

Grafica 1	<i>Comparación de costos entre vuelo con dron y mediciones con láser.</i>	63
Grafica 2	<i>Comparación de tiempo entre vuelo con dron y mediciones con láser.</i>	63

1 RESUMEN

Es fundamental aprovechar las herramientas y los avances tecnológicos que al pasar de los años se ponen a disposición para: agilizar, facilitar y optimizar los diferentes trabajos y sus respectivos tiempos. Dicho esto, los múltiples beneficios que proporcionan los drones son innumerables entre los que se destaca su uso en el ámbito ingenieril.

En este trabajo se llevó a cabo un levantamiento fotogramétrico con su respectivo procesamiento, el cual suministró información con gran detalle de los datos, permitiendo conocer las propiedades geométricas de varias superficies a partir de la información obtenida de imágenes. Esto se logró combinando la fotogrametría con drones y el procesamiento de los datos en distintos softwares, nombrados posteriormente, teniendo como finalidad el cálculo de las cantidades de materiales.

Todo esto se obtuvo a partir de la aplicación de varios programas especializados como fueron Agisoft MetaShape Pro, Pix4D Capture, Autodesk ReCap, Autodesk Revit y la herramienta Excel respectivamente.

De todo el trabajo realizado, se pudo evidenciar que la metodología aplicada con dron minimiza el tiempo empleado y perfecciona la cuantificación de medidas, debido a que se recopila la mayor parte de las mismas, hasta las de difícil acceso. Considerando que la investigación se realizó con base a edificios de 3 pisos, la medición de las fachas de la forma convencional no es tan compleja, pero si tediosa y algo demorada, ya que eran varios edificios y lugares de difícil acceso, y en la eventualidad de presentarse proyectos de mayor magnitud y complejidad, esta metodología sería de gran utilidad.

Palabras clave: Dron, fotogrametría, software.

2 ABSTRACT

It is essential to take advantage of tools and technological advances that are made available over the years in order to streamline, facilitate and optimize different tasks and their respective times. That being said, the numerous benefits provided by drones are countless. In the engineering field, there are many uses that drone can be put to.

In this work, photogrammetric mapping was carried out using drones and its subsequent processing, which provided detailed information about the data, allowing for the geometric properties of various surfaces to be determined based on the information obtained from images. This was achieved by combining photogrammetry with drones and the processing of the data in different software with the purpose of calculating the quantities of materials.

All of this was obtained through the use of Pix4D Capture application, Agisoft MetaShape Pro, Autodesk ReCap, Autodesk Revit software, and Excel tools, respectively.

From all the work that was done, it was evident that the methodology applied with drones minimizes the time employed and improves the quantification of measurements, since the majority of measurements are taken, including those that are difficult to access. Considering that the research was conducted on 3-story buildings, measuring facades conventionally is not so complex, but it can be tedious and time-consuming since there were several buildings. If there were projects of greater magnitude and complexity, this methodology would be of great use

Keywords Dron, photogrammetry, software.

3 INTRODUCCIÓN

Los recursos tecnológicos para la construcción de infraestructura en Colombia han tenido un crecimiento importante en los últimos años y es evidente el desarrollo que se ha proporcionado en las ciudades principales, pero por el desconocimiento, los costos y temor a las tecnologías emergentes se ha llegado a perder la posibilidad de aplicar la nueva tecnología, como es el caso de la fotogrametría con drones que aporta beneficios para la agilidad en los procesos, reducción de gastos y optimización en el tiempo en los proyectos de construcción; lo que genera impedimentos y poca eficiencia en proyectos de baja escala, como es el caso del conjunto residencial La Carolina, ubicado en el municipio de la Mesa – Cundinamarca, donde se requiere hacer un presupuesto de obra para el mantenimiento de fachadas de los inmuebles en un corto plazo. Es por esto, que en este trabajo por medio de la fotogrametría con drones y el procesamiento de datos a través de Revit, se generará la obtención de cantidades de obra y optimización de mano de obra. Conforme a lo dicho, es importante dar paso a la innovación con los nuevos equipos y softwares, los cuales realizan procesos más detallados y exactos.

Es necesario recalcar que, una de las formas en las que estas nuevas tecnologías obtengan una relevancia, en la que consecuentemente pueda mantener la competitividad, su enfoque principal debe estar en la búsqueda de la mejora constante de calidad y rapidez en las construcciones, para así obtener reducciones considerables en costos; estos avances tecnológicos que se presentan en el sector de la construcción se deben tener en cuenta, ya que los medios que se utilizaban años atrás puede pasar a ser un recurso anticuado (Medina, 2018, p. 1).

Cabe destacar, que la implementación de la fotogrametría con drones y los diferentes programas de diseño, han ido evolucionando en la actualidad y a su vez el campo de la ingeniería civil. Los múltiples beneficios que nos proporciona la tecnología y en especial este método

práctico, el cual suministra información con gran detalle de los datos geográficos permitiendo conocer las propiedades geométricas de una superficie a partir de la información obtenida de imágenes.

Dando paso a la creación de nube de puntos, logrando crear formatos estándares para su procesamiento. Esto hace posible la creación de modelos digitales del terreno (MDT) y modelos digitales de superficie (MDS). Basándonos en ellos, podemos efectuar distintos tipos de mediciones. (ACG DRONE, 2020)

Para así, lograr como resultado la obtención de una mayor veracidad, valor y calidad en los resultados finales, y a su vez aportar a las comunidades beneficios con cada proyecto.

4 ANTECEDENTES

De acuerdo con el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), para los primeros meses del año 2022, se reflejó un aumento en el PIB (Producto Interno Bruto) debido al sector de la construcción, el cual obtuvo un porcentaje de 6,2. (Portafolio, 2022). Sin embargo, el uso de nuevas tecnologías en el campo de la construcción aún se encuentra en una etapa inicial, debido a la segmentación, las actividades específicas del sitio y la resistencia al cambio. (Srivastava, 2022) Para la amplia implementación de la infraestructura inteligente en la industria de la construcción, es necesario mejorar las habilidades de la fuerza laboral porque las herramientas y técnicas tradicionales ya no satisfacen la demanda futura. Los equipos inteligentes en la industria de la construcción aumentan la productividad, la precisión y la eficiencia. La mayoría de los equipos de laboratorio y de campo se digitalizarán y se requerirán para mejorar los operadores calificados para brindar una mejor experiencia al cliente. Los

ingredientes de la industria de la construcción son: la mano de obra, materiales, equipo y capital, los cuales son fundamentales para crear un entorno que genera desarrollo socioeconómico. (Jawaid, 2022).

En la actualidad se están extendiendo y cambiando los modelos tradicionales de trabajo en las aplicaciones de los UAV del ámbito civil, sobre todo en los sectores agrícolas, topográficos, inspección y mantenimiento de infraestructuras industriales, entre otras. (HEMAV, 2016)

Con esto, es importante recalcar la importancia de la implementación de nuevas tecnologías al campo de la construcción, ya que estos avances no solo tienen impacto en el ámbito ingenieril, sino adicionalmente, contribuye a nivel social, económico y cultural.

En el trabajo presentado por Santana et al. (2020), titulado “Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones” realizaron un levantamiento topográfico a través de cuatro métodos, los cuales fueron el uso de la cinta métrica, estación total, nivel topográfico y dron, para lograr una comparación entre los mismos y así identificar cuál de los cuatro métodos arrojaba una mayor precisión en las mediciones del terreno, donde obtuvieron que el error total de la suma del perímetro en los métodos de cinta métrica, estación total y nivel topográfico son menores a 1.50, y por otra parte el del dron es de 0.9, por lo tanto, se puede concluir que el Dron es el que tiene menor error y adicionalmente, el que ofrece más facilidad y agilidad en la actividad del levantamiento.

El trabajo presentado por Cabada, J. (2019), “Evaluación de precisión y costo en un levantamiento topográfico con estación total y aeronave pilotada remotamente (RPA-DRON) en el centro poblado Cashapampa – Cajamarca 2018” abarcó la comparación de precisión y costos entre métodos directos y levantamientos topográficos entre la estación total y RPA. Se basó en la

obtención de datos mediante una ficha técnica para la comparación de manera cuantitativa, donde se concluyó que la metodología a través del levantamiento topográfico con RPA es 10 veces más precisa en el sentido este, 5 veces en el sentido norte y 51 veces en la elevación. En términos de los costos obtenidos, el RPA resultó tener un menor costo logrando una disminución de 8.59% en comparación al levantamiento topográfico tradicional.

5 JUSTIFICACION

El campo de la ingeniería civil en Colombia requiere un avance en tecnología, que permita garantizar la optimización y mejoramiento de los procesos constructivos utilizando herramientas novedosas. Un ejemplo son los drones, los cuales son naves no tripuladas capaces de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, son amigables con el medio ambiente, precisos y además de ser versátiles, facilitan llegar a lugares de difícil acceso o de alto riesgo.

En contraste a lo anterior

Según Jiménez et al. (2019) resaltan que:

Anteriormente las herramientas básicas utilizadas en topografía plana eran una cinta métrica para determinar las distancias más cortas, un nivel para determinar las diferencias de altura o elevación, y un teodolito, en un trípode, para medir ángulos, en combinación con el proceso de triangulación. A partir de una posición con ubicación conocida y elevación, se miden la distancia y ángulos para el punto desconocido (p.1).

Adicional a lo anterior, para poder pintar una fachada es necesario hacer la medición del área de la misma, se debe tener en cuenta las caras u hojas que la componen y de los huecos que

presenta (ventanas, puertas, rejillas, etc.) también se debe considerar otros elementos, tales como: saledizos, cornisas, recercados, chimeneas y cubiertas. Para lograr hacer las mediciones de la forma convencional se debe utilizar el flexómetro o cinta métrica, el nivel y escuadras, además del personal que haga las mediciones, también se requiere de elementos que faciliten el acceso a las áreas en altura o de difícil acceso, como lo son: los andamios, arnés y/o escaleras. Esto conlleva a que se generen errores en las mediciones, aumente el tiempo en realizar el proceso y consecuentemente se aumenten los costos. Por tal razón para un proyecto de ingeniería, los drones son de gran importancia ya que generan muchos beneficios, logrando reducir los tiempos y costos operativos. Como lo es en este caso de estudio, donde se beneficiará a una comunidad, la cual tiene como objetivo realizar un cambio y mantenimiento en la fachada de un conjunto residencial y para ello se ofrece realizar una metodología en la que se utilice la fotogrametría con drones y nuevas tecnologías para la estimación de cantidades de obra y sus respectivos costos.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad de la implementación del levantamiento fotogramétrico con drones como alternativa a la medición con láser de distancia, para la obtención de cantidades de obra en edificaciones a partir del caso de estudio conjunto residencial La Carolina, La Mesa - Cundinamarca.

6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Generar un modelo 3D en Revit para los edificios del conjunto residencial La Carolina - La Mesa, mediante el levantamiento fotogramétrico con dron y el uso del software Agisoft MetaShape Pro para el procesamiento de la información.
- Obtener los registros de las dimensiones de la edificación en estudio de forma manual a través de un medidor láser.
- Comparar las cantidades de obra para el mejoramiento de la fachada en los edificios del conjunto residencial La Carolina - La Mesa, usando el método de levantamiento con dron y medidor láser.
- Analizar los resultados en cuanto a viabilidad, a través de la implementación de la metodología para la obtención de cantidades de obra por medio de la fotogrametría con drones y el uso del software Revit

7 MARCO REFERENCIAL

7.1 MARCO TEORICO

7.1.1 *Fotogrametría con drones*

7.1.1.1 *Definición de la fotogrametría*

Cuando se habla de fotogrametría, se refiere a dicho procedimiento el cual permite la medición indirecta por medio de los respectivos procesos de imágenes fotográficas, es importante tener en cuenta que el tipo de procesamiento que se le da a las fotografías, está directamente relacionado con el origen de estas mismas, es decir, si se trata de una cámara digital o análoga; teniendo como resultado diferentes características geométricas de los objetos y/o situaciones especiales (Claros, 2016, p. 40). En otras definiciones se refiere a la fotogrametría como una técnica fotográfica que permite obtener las medidas exactas de los distintos sujetos, la cual se aplica principalmente a la fotografía aérea.

A esto se añade que esta técnica se puede presentar de manera interpretativa y métrica, está última es usada para la obtención de distancias, elevaciones, áreas, volúmenes y una de las más importantes es para la realización de mapas topográficos, los cuales son realizados a raíz de mediciones obtenidas en fotografías; por tal motivo es de gran utilidad para los topógrafos (Tacca, 2015, p.56).

Añádase a esto que para obtener una perspectiva e información tridimensional es necesario contar una fotografía aérea de una zona en específico (con la cual se puede hacer la precisión de objetos de forma bidimensional) y otra que presente un porcentaje de solapamiento con esta primera imagen, a lo cual se obtendrá como resultado una visión estereoscópica, siendo

una técnica que se basa en observar un mismo punto desde dos ángulos diferentes (Zapata, 2021).

7.1.1.2 Clasificación de la fotogrametría

Teniendo en cuenta la tipología de la fotografía que va ser utilizada, usualmente se divide en dos subgrupos presentados a continuación:

- Fotogrametría terrestre
- Fotogrametría aérea

7.1.1.2.1 Fotogrametría aérea

. Para este tipo de fotogrametría son utilizadas imágenes que se obtienen por medio de un vehículo aéreo, un avión o inclusive de un satélite. El posicionamiento que se le daba a la cámara era de tal forma que fuera perpendicular al terreno, esto en cuanto a los inicios que tenía la fotogrametría aérea, actualmente es factible utilizar ángulos diferentes a los 90 grados debido al gran auge que ha presentado la fotografía y el procesamiento digital (Zapata, 2021, p. 108).

7.1.1.2.2 Fotogrametría terrestre

Claros (2016), se refiere a esta como una de las técnicas que presentan su principal aplicación en áreas como lo son la arquitectura y la arqueología, teniendo como función principal la toma de fotografías desde la tierra, con características como el posicionamiento de la cámara, ya que esta se debe dar de tal manera que el eje de la cámara fotográfica se localice de manera horizontal y paralela al terreno o corteza terrestre.

7.1.1.3 Vehículos aéreos no tripulados (UAV)

Los sistemas aéreos que son pilotados remotamente se conocen comúnmente como drones. Siendo estos vehículos que pueden emprender vuelo sin necesariamente tener un piloto a bordo, sin dejar a un lado que si pueden llegar a necesitar un piloto el cual ejerza control desde metros o kilómetros de distancia. Como bien se mencionó anteriormente, los drones demandan un control remoto por parte de un piloto, por otra parte, en el mercado se pueden encontrar drones que son completamente autónomos, por lo que pueden aprender a realizar tareas complejas. Inicialmente los vehículos aéreos no tripulados eran utilizados en principio para el combate y la vigilancia.

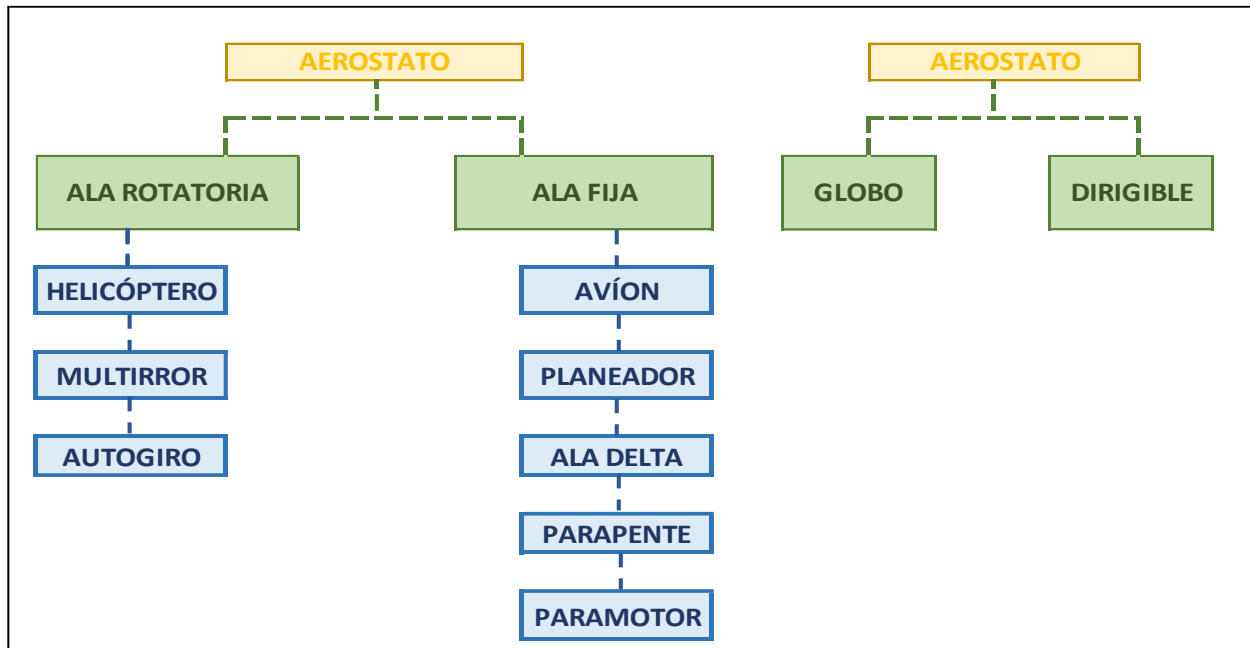
Las primeras investigaciones tenían como objetivo desarrollar un vehículo armado, que redujera el riesgo de personas en territorios hostiles. Sin embargo, con el paso del tiempo se ha establecido la posibilidad de desarrollar nuevas aplicaciones para usos industriales y en general en la vida civil; por ejemplo, el uso de drones en búsqueda y rescate de personas en un evento natural, generó la certificación de drones con usos diferentes al militar.

7.1.1.3.1 Clasificación UAV

Las aeronaves se pueden ordenar de muchas maneras, la clasificación general se basa en cómo la aeronave ingresa a la atmósfera.

Figura 1

Posible clasificación que muestra los principales tipos de aeronaves.



Nota. La figura muestra la clasificación de UAV's. Tomado de R., Claros. 2016.

7.1.1.3.2 Características UAV

Según lo señalado por Barajas (2021), como una característica común se puede mencionar que todos son controlados por una persona, de este modo los UAV pueden presentar características como:

- El espacio aéreo el cual se encuentran incluidas la altura de vuelo, la distancia aérea, el exterior o interior, el sector urbano, suburbano o rural.
- Los drones se pueden caracterizar por su peso o el tipo de ala que puede ser de tipo fijo o rodante.

- Tipo de sensor: Fotografía, video, térmico, LIDAR, (es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas de x y z.)
- Operador remoto: Vuelo visual o navegación autónoma, capacitación requerida, permisos, certificado de aeronavegación.

7.1.1.4 Software para procesamiento de imágenes aéreas

La fotointerpretación es una herramienta muy útil para realizar la cartografía de un área, ya que permite determinar los elementos que intervienen en el terreno y medir sobre fotografías. (Claros, 2016, p. 81)

Existe una variedad de programas especializados capaces de realizar procedimientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno y composición de una orto imagen georreferenciada. Programas como Photomodeler, Pix4D Mapper o Agisoft MetaShape Pro son los encargados de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos, siendo este último uno de los más utilizados debido al fácil uso de su interfaz y sus óptimos resultados de procesamiento.

Agisoft MetaShape Pro es una herramienta la cual puede lograr llevar a cabo la ejecución de y/o procesamiento de imágenes digitales obteniendo como resultado datos espaciales en tres dimensiones (3D), estos datos son de gran utilidad en aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG).

7.1.2 Drones en la ingeniería civil

De acuerdo con (Solís, 2004) establece que: En la ingeniería civil, los drones ofrecen un amplio mundo de posibilidades, entre las aplicaciones más frecuentes están las cartográficas y topográficas. Los drones, dotados de dispositivos GPS, obtienen imágenes ortogonales o sub ortogonales, que luego son procesadas por medio de software especializado.

Según lo definido por Aerial Insights (2018), la fotogrametría es la técnica (o colección de técnicas) que permiten hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas. Es un proceso muy complejo en el que el objetivo principal es convertir datos bidimensionales (imágenes planas) en información cartográfica/tridimensional. Algunas de estas técnicas existen desde el siglo XIX, aunque en los últimos doscientos años han recibido tremendos avances gracias, entre otros, al uso de aviones, desarrollo de cámaras digitales y los satélites artificiales.

7.1.3 Estimación de errores en las medidas

Es de gran importancia comprender que el valor que se puede llegar a obtener de una magnitud, depende de su proceso de obtención, estos procesos se clasifican de la siguiente manera:

- Medición directa
- Medición indirecta

7.1.3.1 Medición directa

Para obtener una medición de forma directa, tan sólo se debe utilizar el instrumento adecuado y leer la medida, por lo tanto, se obtiene el valor de forma más rápida. Por ejemplo, si se requiere obtener la longitud entre dos objetos, se hace uso de una cinta métrica.

7.1.3.2 *Medición indirecta*

Se considera medición indirecta cuando el valor arrojado no se obtiene directamente de los resultados dados por el instrumento de medición, por ello, es necesario calcular la información a través de fórmulas para obtener el resultado final.

7.1.3.3 *Error absoluto*

Para obtener el valor del error absoluto (ε_a) de una medida se establece como la diferencia entre el valor medido (\bar{X}) y el valor de referencia (x_i), este valor como su nombre lo indica se da de manera absoluta (Ver **Ecuación 1**).

$$\varepsilon_a = \bar{X} - X_i \quad (1)$$

7.1.3.4 *Error relativo*

El error relativo (ε_r) se halla con el cociente entre el error absoluto y el valor de referencia de la medida. (Ver **Ecuación 2**).

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{\bar{X}} \quad (2)$$

7.1.3.5 *Error porcentual*

Usualmente se requiere que el error quede expresado en porcentaje para ello debemos multiplicar el error relativo por 100.

7.1.4 Precisión y exactitud

Comúnmente estas dos expresiones son tomadas como sinónimos, cuando realmente no lo son, ya que cada uno de estos términos tienen un concepto distinto especialmente en áreas como la topografía o ingeniería, donde dejan de un lado la semejanza y pasan a ser términos que permitan calificar la calidad de las medidas.

7.1.4.1 Precisión

La precisión se puede definir como la veracidad de los resultados cuando se realiza una medida, es decir, varios valores que se encuentren agrupados entre sí conforman un grupo de medidas más preciso, que otro que presenta valores más disociados. En resumen, la precisión se ve directamente relacionada con la calidad de la técnica de medida.

7.1.4.2 Precisión absoluta

La precisión absoluta, es aquella que muestra un punto con respecto a su ubicación real en la tierra, es decir, indica qué tan movidas están las coordenadas reales de aquellas obtenidas en el trabajo final. Por ejemplo, si se tiene un proyecto con un GSD (Ground Sampling Distance) de 2.8 cm/px, la precisión absoluta será entre 2.8 y 5.6 cm en horizontal y entre 2.8 y 8.4 cm en vertical.

7.1.4.3 Precisión relativa

En cuanto a precisión relativa con relación a un proyecto, corresponde a la precisión con la que los objetos son mostrados en sus resultados finales, es decir, en el modelo que se muestra, las dimensiones o valores obtenidos deben ser similares o iguales si tenemos una buena precisión

relativa. Por ejemplo, si se tiene un proyecto con un GSD (Ground Sampling Distance) de 2.8 cm/px, la precisión relativa será entre 2.8 y 8.4 cm.

7.1.4.4 *Exactitud*

En cuanto al término exactitud lo podemos definir como el nivel de acercamiento a la verdad, es decir, se refiere a la aproximación que puede darse entre un valor medido y el valor verdadero, por lo tanto, una diferencia mínima significa una gran exactitud.

Uno de los ejemplos más usuales para lograr diferenciar y entender el concepto exactitud y precisión es con el tiro con arco en una diana como se muestra a continuación:

Figura 2

Diferencia entre precisión.



Nota. En la figura se muestra la diferencia entre precisión y exactitud por medio tiro a la diana. Tomado de: www.fisicas.info/2017/06/la-exactitud.html

7.2 MARCO GEOGRAFICO

7.2.1 *Localización*

Localización – Conjunto Residencial La Carolina. El Conjunto Residencial La Carolina se encuentra ubicado en el suroeste del municipio de La Mesa a 74 km de Bogotá D.C.

Se realizaron 2 levantamientos fotogramétricos donde en el primero se realizó de forma paralela al nivel del suelo, el segundo vuelo se realizó de tal manera que rodeará un edificio para lograr obtener información más detallada.

Figura 3

Localización del Conjunto Residencial La Carolina



Nota. La figura muestra la localización del municipio de La Mesa en Cundinamarca y un acercamiento a la zona donde se realizó el levantamiento fotogramétrico con Dron, el Conjunto Residencial La Carolina. Imágenes modificadas de Google Earth (2022).

7.2.2 Aspectos climatológicos

El municipio de la Mesa se encuentra a una altitud de 1200 m.s.n.m. donde su temperatura promedio es de 22,6 °C, cuenta con una precipitación de 4551 mm dónde enero es el mes más seco con una precipitación de 134 mm. Cuenta con una humedad relativa media mensual de 85%.

7.2.3 Uso del suelo

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la mesa – Cundinamarca, establece que se realizará una demarcación de áreas homogéneas físicas o económicas específicas esto se establece para zonas urbanas como rurales.

En el municipio de la Mesa se evidencian la siguiente clasificación de zonas:

Tabla 1

Zonificación del casco urbano

Tipo de zona	No. de subzonas
Habitacional	5
Comercial	1
Industrial	1
Institucional	4
De reserva	4

Nota. En la tabla se evidencia la zonificación para el casco urbano de La Mesa – Cundinamarca presentado por el POT. Elaboración propia.

7.2.4 Aspectos socioeconómicos

La alcaldía municipal de La Mesa, Cundinamarca presenta el sistema agricultor y pecuario como uno de los principales sectores económicos en cuanto a generación de ingresos, dentro de los productos que destaca como los más comercializados, se encuentran; el café, los árboles frutales, maíz, plátano, yuca, frijoles, entre otros. Como segundo destacado es la industria pecuaria donde sus principales cultivos son de pasto Saboya o Imperial, la Guinea, el Pará y el Jaragua. Otro sector significativo es el turismo, seguido del comercio donde sobresalen los proveedores locales.

7.3 MARCO TECNOLÓGICO

7.3.1 Finalidad de la investigación

Se tiene como propósito fundamental la obtención del modelo, para posteriormente adquirir las cantidades de obra y finalmente los costos del proyecto, por lo tanto, es primordial la utilización de un dron que permite obtener imágenes desde un mejor ángulo, una vez realizado el levantamiento fotogramétrico, se agrega la información al software Agisoft MetaShape Pro, el cual realiza el proceso fotogramétrico de imágenes digitales y genera los datos espaciales 3D, luego de ello la nube de puntos obtenida se ingresa al software Revit, donde se puede diseñar, documentar, visualizar y realizar la entrega de proyectos tanto del ámbito arquitectónico, ingenieril y de construcción.

7.3.2 Influencias externas

Principalmente para el manejo de drones, se estiman los factores neurocognitivos y psicológicos, siendo importantes en la industria aeroespacial, teniendo en cuenta que es importante el marco legal de utilización, formación y sobre todo capacidad para pilotar este tipo

de máquinas, relacionándolo con que el rendimiento humano se afecta de una u otra manera con distintas variables, como lo son las influencias, tareas internas o ambientales, por brindar un ejemplo de dichos factores se menciona el estrés, la fatiga, la pérdida de sueño, una notoria disminución de la motivación, falta de habilidad o entrenamiento, la temperatura ambiental, entre otras. Ahora bien, la variable de percepción subjetiva de carga laboral o de la complejidad de la realización de la actividad o tarea, muestra que los pilotos cometen más errores en el manejo del dron cuando el operador se encuentra en un rango elevado.

7.3.3 Factibilidad

Inicialmente, para estimar la factibilidad de las actividades, es importante estimar que es necesaria la utilización de un dron, actualmente se utilizó el DJI serie Mavic 2 Pro el cual tiene un costo de \$ 7.448.542, por otro lado, es fundamental contar con licencias para el uso de los softwares anteriormente mencionados, estos pueden ser adquiridos como licencias educativas (temporales) o licencias pagas.

7.4 MARCO NORMATIVO

7.4.1 Resolución 04201 dl 27 de diciembre de 2018

Con el objetivo de garantizar el adecuado cumplimiento en cuanto a los requisitos de Aeronavegabilidad el Reglamento Aeronáuticos de Colombia (RAC 91), en su apéndice 13 no da a conocer la resolución No. 04201 del 27 de diciembre de 2018.

A continuación, en la **Tabla 2** se presentan los aspectos más relevantes encontrados en la resolución anteriormente nombrada:

Tabla 2

Clasificación de las operaciones con UAS.

	Clase A (abierta)	Clase B (regulada)	Clase C (certificada – RPAS)
Limitación de operación	<ul style="list-style-type: none"> • La UA deberá mantener un MTOW de hasta 25 kg. • La UA no deberá exceder su velocidad de 80 km/h. • Deberá mantener un radio máximo de operación de 500 m Horizontales durante todas las fases del vuelo. • Las operaciones de llevarse a cabo en horas diurnas, sin embargo, se pueden realizar en horas nocturnas siempre y cuando se haga en zonas despobladas. • Todo vuelo debe efectuarse a una altura no superiores de 123 m sobre tierra o agua. • Las condiciones de visibilidad no deberán ser inferiores a 5 km, medidos desde la ubicación de la estación. • Entre otras. 	<ul style="list-style-type: none"> • La UA deberá tener un MTOW de hasta 150 kg. • La UA no deberá exceder su velocidad de 160 km/h. • Deberá mantener un radio máximo de operación de 700 m Horizontales durante todas las fases del vuelo. • Las condiciones de visibilidad no deberán ser inferiores a 5 km, medidos desde la estación de control. • No se podrá operar desde un aeródromo o en sus proximidades dentro de un radio de 3 km. • Entre otras. 	<p>Las limitaciones de operación están sujetas a la expedición de los SARP's (Normas y métodos recomendados que figuran en los 18 Anexos al convenio sobre aviación civil).</p>
Condiciones de operación	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar un vuelo, se debe verificar que la zona este libre de cualquier riesgo hacia la comunidad incluyendo las condiciones meteorológicas. • El operador debe cerciorarse de que cada participante conozca los diferentes procedimientos. • Si el operador percibe la proximidad de una aeronave tripulada, deberá aterrizar inmediatamente la UA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de iniciar un vuelo, se debe verificar que la zona este libre de cualquier riesgo hacia la comunidad incluyendo las condiciones meteorológicas. • El operador debe cerciorarse de que cada participante conozca los diferentes procedimientos. • Si el operador percibe la proximidad de una aeronave tripulada, deberá aterrizar inmediatamente la UA. 	

7.4.2 Resolución 471 de 14 de mayo de 2020

Esta resolución nos da a conocer las diferentes especificaciones técnicas mínimas que deben garantizar todo tipo de productos de la cartografía básica de Colombia, estas especificaciones son de carácter obligatorio para toda persona natural, jurídica, pública o privada

que produzca cartografía básica, con esto se refiere a orto imágenes, Modelos digitales del terreno y por ultimo base de datos cartográfica (Vectorial).

Debido a que la finalidad del ítem “Exactitud absoluta de posición” en cuanto a la precisión horizontal y vertical de los proyectos es determinar el error entre un conjunto de datos planimétricos medidos en la orto imagen contra el conjunto de datos de control.

Es necesario verificar la medida exacta de posición para el componente horizontal, para de esta manera garantizar un nivel de confianza del 95%, por lo tanto, con base a las tolerancias establecidas en la **Tabla 3**, tomada de la resolución.

Tabla 3

Exactitud de posición absoluta según GSD orto imagen.

GSD (m)	RMSEr (m)	Exactitud horizontal confianza 95% (m)*
0,1	0,3	0,52
0,2	0,6	1,04
0,5	1,5	2,60
1	3	5,2
2,5	7,5	13

El GSD del proyecto es de 0,1 m, por lo tanto, el cálculo del RMSEr debe ser igual o menor a 0,3 m, mencionado lo anterior, se generó la obtención de datos, los cuales no pueden ser menores a 20 según Resolución, a través del programa Google Earth donde se consolidaron como se muestra en la **Tabla 4**, comparando la información con las coordenadas georreferenciadas del proyecto, se detalla a continuación:

Tabla 4

Comparación de datos obtenidos con Google Earth y georreferenciación del IGAC.

Coordenadas Google Earth					Componente horizontal georreferenciado			
Dato	Latitud	Longitud	Origen Nacional		Latitud	Longitud	Origen Nacional	
			Norte	Este			Norte	Este
1	4,62527	-74,4739	2069256,928	4836572,105	4,62402	-74,4739	2069119,883	4836566,276
2	4,62527	-74,4744	2069257,057	4836509,997				
3	4,62305	-74,4742	2069011,617	4836540,542				
4	4,62333	-74,4736	2069042,439	4836601,605				
5	4,62333	-74,4739	2069042,501	4836571,660				
6	4,62361	-74,4739	2069073,449	4836571,725				
7	4,62388	-74,4742	2069103,357	4836540,732				
8	4,62416	-74,4742	2069134,305	4836540,797				
9	4,62444	-74,4742	2069165,253	4836540,861				
10	4,625	-74,4742	2069227,149	4836540,989				
11	4,62527	-74,4739	2069256,928	4836572,105				
12	4,625	-74,4744	2069227,214	4836509,935				
13	4,62472	-74,4739	2069196,137	4836571,979				
14	4,62444	-74,4742	2069165,253	4836540,861				
15	4,62444	-74,4739	2069165,189	4836571,915				
16	4,62416	-74,4742	2069134,305	4836540,797				
17	4,62416	-74,4739	2069134,240	4836571,851				
18	4,62388	-74,4742	2069103,357	4836540,732				
19	4,62361	-74,4739	2069073,449	4836571,725				
20	4,62333	-74,4742	2069042,565	4836540,606				

Finalmente, se generó el cálculo del RMSEr mediante las fórmulas RMSE_x y RMSE_y de cada uno de los datos obtenidos, donde podemos concluir que, como el estimador RMSEr y exactitud horizontal de confianza al 95% es menor o igual a los valores establecidos según el GSD en la **Tabla 3**. Exactitud de posición absoluta según GSD ortoimagen, de la resolución mencionada anteriormente, el conjunto de datos es CONFORME. Para ver la información completa **Ver Anexo 5**.

Tabla 5

Calculo del RMSEr de cada dato obtenido.

Fórmula 1			
RMSE _x	30,6441936	RSME _r	30,67190022
RMSE _y	1,303404024		
			CONFORME

8 METODOLOGÍA

En esta metodología se realizó una comparación de una toma de medidas convencionales y un levantamiento fotogramétrico con dron, para obtener las medidas de distancias y áreas. Haciendo énfasis en el levantamiento fotogramétrico con drones e implementación de softwares que permitan realizar el procesamiento de datos, logrando una adecuada medición y teniendo como finalidad la optimización de tiempo, costos y mano de obra.

8.1 METODOLOGÍA CON DRON

8.1.1 FASE I – Localización del proyecto

Localización – Conjunto Residencial La Carolina. El Conjunto Residencial La Carolina se encuentra ubicado en el suroeste del municipio de La Mesa a 74 km de Bogotá D.C.

Se realizaron 2 levantamientos fotogramétricos donde en el primero se realizó de forma paralela al nivel del suelo, el segundo vuelo se realizó de tal manera que rodeará un edificio para lograr obtener información más detallada.

Figura 4*Localización del Conjunto Residencial La Carolina*

Nota. La figura muestra la localización del municipio de La Mesa en Cundinamarca y un acercamiento a la zona donde se realizó el levantamiento fotogramétrico con Dron, el Conjunto Residencial La Carolina. Imágenes modificadas de Google Earth (2022).

8.1.1.1 Delimitación de la zona

Como se observa en la **Figura 5** se demarca el área de trabajo con un polígono, donde se realizó el levantamiento fotogramétrico con dron y la toma de medidas con el medidor láser, el cual cuenta con una precisión de ± 2 mm o 0.079 pulgadas, un rango de medición de 60m, realiza medidas instantáneas de distancia, áreas y volúmenes; adicionalmente se logran identificar las vías aledañas, para este caso se encuentra la vía principal Anapoima – La Mesa y como vías secundarias la vía José Antonio – Postobón, la calle 19 y la carrera 34.

Este conjunto residencial cuenta con diferentes tipos de apartamentos, los cuales se conforman de la siguiente manera:

Tabla 6

Descripción tipo de apartamento por color

No. Torres	Pisos	Color
6	3	Verde
6	3	Azul
2	2	Azul
2	3	Rojo
4	3	Rojo

Figura 5*Delimitación del Conjunto Residencial La Carolina*

Nota. En la figura se muestra la delimitación de la zona de estudio. Modificado de Google Earth (2023).

8.1.1.2 Caracterización de la zona de trabajo

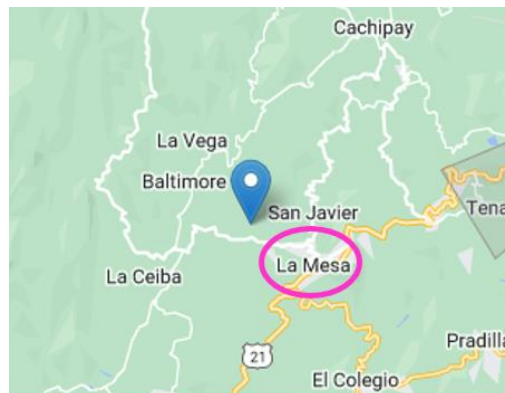
Para llevar a cabo un buen levantamiento fotogramétrico con Dron es necesario que la persona que vaya a llevar el pilotaje de la nave, realice una verificación y/o reconocimiento de la zona de trabajo, ya que así lograra evidenciar los posibles obstáculos o factores que puedan generar algún inconveniente a la hora de realizar el levantamiento; una vez el piloto tenga acceso

a esta información podrá tener la capacidad de seleccionar el mejor sitio para ejecutar las maniobras correspondientes a esta actividad, como los despegues, aterrizajes y planes de vuelo, sin poner en riesgo la integridad tanto de las personas como de los equipos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta para realizar un vuelo con dron son las restricciones de vuelo ya que es posible encontrarse con zonas cercanas de aeropuertos, zonas militares u otras áreas que presentan limitación de operación. Una de las mejores marcas de vehículos aéreos no tripulados, DJI ofrece un servicio en línea donde nos facilita la búsqueda de “Geozonas” por país y ciudad, estas Geozonas se clasifican de la siguiente manera:

Figura 6

Mapa de Geozonas de vuelo de Bogotá D.C y sus alrededores



Nota. La figura expone las Geozonas con advertencias y restricciones aéreas por la presencia de aeropuertos en la ciudad de Bogotá D.C y alrededores, adicionalmente presenta las convenciones para su comprensión. Adaptado de DJI (2021), <https://www.dji.com/mx/flysafe/geo-map>

Figura 7*Convenciones de mapa de Geozonas*

ZONAS RESTINGIDAS:	Los pilotos recibirán una advertencia y se impedirá el vuelo.
ZONAS DE ALTITUD:	Los pilotos recibirán una advertencia, la altitud del vuelo es limitada.
ZONAS DE AUTORIZACIÓN:	Los pilotos recibirán una advertencia y el vuelo estará limitado de forma predeterminada. (Pueden ser desbloqueadas).
VUELO RECOMENDADO:	Se recomiendan estas áreas para los arreglos de vuelos.
ZONA DE TRABAJO:	Municipio en el que se realizó el vuelo.

Nota. La figura expone las definiciones de las convenciones de las Geozonas presentadas por DJI. Adaptado de DJI (2021), <https://www.dji.com/mx/flysafes/geo-map>

8.1.2 FASE II – Vuelo con UAV**8.1.2.1 UAV Utilizado**

Para llevar a cabo los vuelos, se empleó un dron de la marca DJI serie Mavic 2 Pro, el cual fue proporcionado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad la Gran Colombia. Siendo DJI una de las marcas de drones la cual ha sido reconocida en el mercado por su calidad-precio ya que cuenta con precios competitivos sin dejar a un lado su calidad, gracias a esto es destacado entre el mercado de RPA (Robotic Process Automation).

De acuerdo con los creadores de DJI describen el dron Mavic 2 Pro como un sueño hecho realidad, ya que siempre buscaban crear un dron ideal el cual reuniera tres factores importantes que son: la ingeniería, la tecnología y la fotografía aérea. Es un dron que incorpora todas las avanzadas tecnologías que caracterizan a DJI siendo capaz de redimensionar lo que se puede lograr en el mundo de la fotografía aérea. (DJI, 2019).

Algunas de las características más importantes de la aeronave son las siguientes:

Tabla 7

Características UAV implementado

PESO	907 g
VEL. MÁXIMA (CERCA AL NIVEL DEL MAR, SIN VIENTO)	72 Km/h
ALTITUD MÁXIMA DE DESPEGUE	6000 m
TIEMPO MÁXIMO DE VUELO (SIN VIENTO)	31 min (A una velocidad constante de 25 Km/h)
TIEMPO MÁXIMO DE VUELO ESTACIONARIO (SIN VIENTO)	29 min
DISTANCIA MÁXIMA DE VUELO (SIN VIENTO)	18 Km (A una velocidad constante de 50 Km/h)
GNSS	GPS + GLONASS
RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	- 10°C hasta 40°C
ALMACENAMIENTO INTERNO	8 GB

Nota. En la tabla se muestran las diferentes características de un dron marca DJI referencia Mavic 2 Pro. Adaptado de DJI (2019). <https://www.dji.com/mavic-2>.

Figura 8

Fotografía de UAV utilizado



Nota. En la figura se muestra la imagen ilustrativa del dron DJI Mavic 2 Pro utilizado. Fuente propia.

8.1.2.2 Vuelo realizado

El vuelo que se llevó a cabo en el conjunto residencial la Carolina se planificó y realizó con la aplicación “Copterus”, la cual se encarga de facilitar la planificación y ejecución de los vuelos en aeronaves no tripuladas para el mapeo y modelación 3D.

Este vuelo se ejecutó a una altura de 30 metros con un GSD de 1.1 cm/px donde se tenía cobertura de un área de 2.35 hectáreas, el cual tardaría aproximadamente 23 minutos, gastó un total de dos baterías (Ver **Figura 8**) las cuales contaban con un 90% de su carga total, se capturaron un total de 614 fotografías, fue realizado con un ángulo de disparo de -60° con respecto al plano de vuelo. El solape frontal fue de 70% mientras que el lateral fue de 60%.

Figura 9

Fotografía de batería utilizadas



Nota. En la figura se muestra la imagen ilustrativa del tipo de baterías que fueron utilizadas para el dron. Fuente propia.

A continuación, se muestra el plan de vuelo realizado en la aplicación y características mencionadas:

Figura 10

Plan de vuelo realizado en Copterius



Nota. En la figura se muestra el plan de vuelo que realizó el dron, adicionalmente las diferentes características que éste tendría en cuenta, como la altura la cual es a elección propia, el GSD, el solape, entre otros. Tomado de Copterius App (2022).

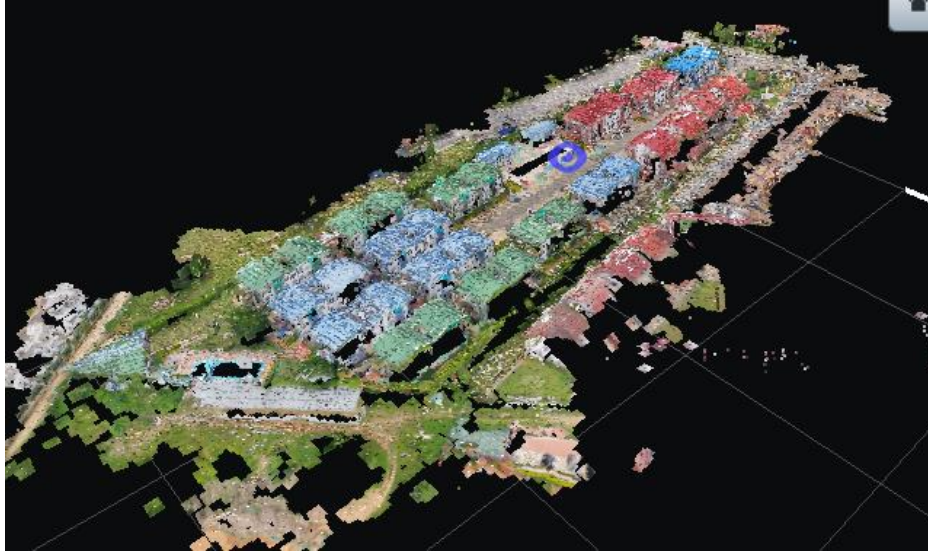
8.1.3 FASE II – Procedimiento de datos en software

Agisoft Metashape Pro, Autodesk ReCap, Pix4DMapper, 3DF Zephyr, DroneDeploy, Context Capture, Copterus, entre otros son los programas más utilizados en la actualidad para el procesamiento de imágenes. El programa que se seleccionó para realizar el cargue de las fotografías obtenidas a través del levantamiento del dron DJI Mavic 2 Pro fue Agisoft Metashape Pro. Es importante destacar que se realizaron modelaciones en los programas Context Capture y Pix4D con el fin de utilizar la mejor y la más completa nube de puntos obtenida por los programas, donde el resultado más óptimo se logra a partir del procesamiento en Agisoft Metashape Pro. A continuación, se exponen los resultados obtenidos por cada software donde se procesaron las imágenes.

Como se puede observar en la **Figura 10** y **Figura 11**, los resultados que se obtuvieron del procesamiento de las imágenes obtenidas del vuelo con los programas Context Capture y Pix4D no son muy óptimos, ya que presentan un alto porcentaje de información faltante, es decir, no todas las fotografías lograron ser reconocidas por los programas y generaban muchos espacios vacíos en las nubes de puntos, por ello se descartó la posibilidad de seguir trabajando con estos programas.

Figura 11

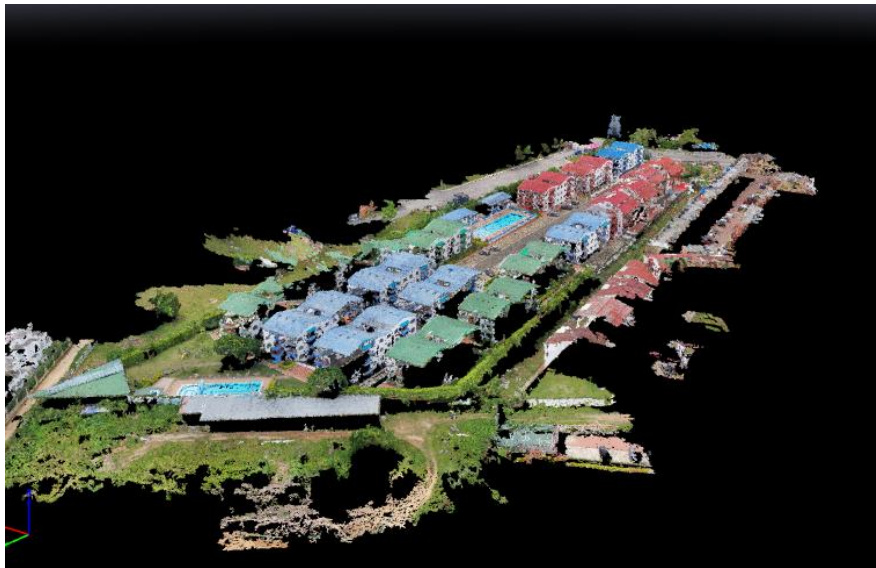
Resultados obtenidos en Context Capture



Nota. En la figura se aprecia la nube de puntos densa que se obtuvo del conjunto la carolina, ubicado en la Mesa – Cundinamarca con el programa Context Capture. Elaboración propia.

Figura 12

Resultados obtenidos en Pix4D Mapper



Nota. En la figura se aprecia la nube de puntos densa que se obtuvo del conjunto la carolina, ubicado en la Mesa – Cundinamarca con el programa Pix4D Mapper. Elaboración propia.

Por otro lado, los resultados que se obtuvieron del procesamiento de las imágenes con el programa Agisoft Metashape Pro fueron más satisfactorios (Ver **Figura 12**), ya que la nube de puntos que se generó fue la más completa y robusta en comparación a los otros programas. Cabe aclarar que, en este programa un 10% de las fotografías no fueron reconocidas, sin embargo, este porcentaje es bajo frente a los otros softwares.

Uno de los puntos negativos de este software, es el tiempo que se empleó en el procesamiento y creación de la nube de puntos densa, ya que este fue alto en comparación a los otros programas, pero aun así arrojando mejores resultados.

Figura 13

Resultados obtenidos en Agisoft Metashape Pro



Nota. En la figura se aprecia la nube de puntos densa que se obtuvo del conjunto la carolina, ubicado en la Mesa – Cundinamarca con el programa Agisoft Metashape Pro. Elaboración propia

8.1.3.1 Selección de fotografías

Para llevar a cabo una buena ejecución en el procesamiento de imágenes fue necesario realizar una verificación de las fotografías seleccionadas ya que se puede presentar una selección errónea de fotos que no son relevantes para la zona estudiada, por tal motivo es recomendable hacer una selección de las fotografías correspondientes al plan de vuelo y zona de trabajo, ya que de lo contrario esto podría generar errores o aumentos en los tiempos del procesamiento.

8.1.4 Procesamiento en Agisoft Metashape Pro.

8.1.4.1 Requerimientos del sistema

Es importante tener en cuenta que, para tener una buena ejecución en el procesamiento de las fotografías, un factor clave son las características del equipo en el cual se vaya a trabajar. Agisoft presenta unas características básicas y avanzadas las cuales son utilizadas dependiendo del tipo de proyecto a desarrollar. (ver **Figura 14**).

Figura 14

Características básicas y avanzadas del sistema para ejecutar Agisoft

CONFIGURACIÓN BÁSICA	CONFIGURACIÓN AVANZADA
Hasta 32 GB de RAM	Hasta 128 GB de RAM
CPU: Procesador Intel, AMD o Apple M1/M2 de 4 a 12 núcleos, más de 2,0 GHz	CPU: Procesador Intel o AMD de 6 - 32 núcleos, 3,0+ GHz
RAM: 16 - 32 GB	RAM. 32 - 128 GB
GPU: GPU NVIDIA o AMD con más de 1024 sombreadores unificados	GPU: 1-2 GPU NVIDIA o AMD con más de 1920 shaders unificados

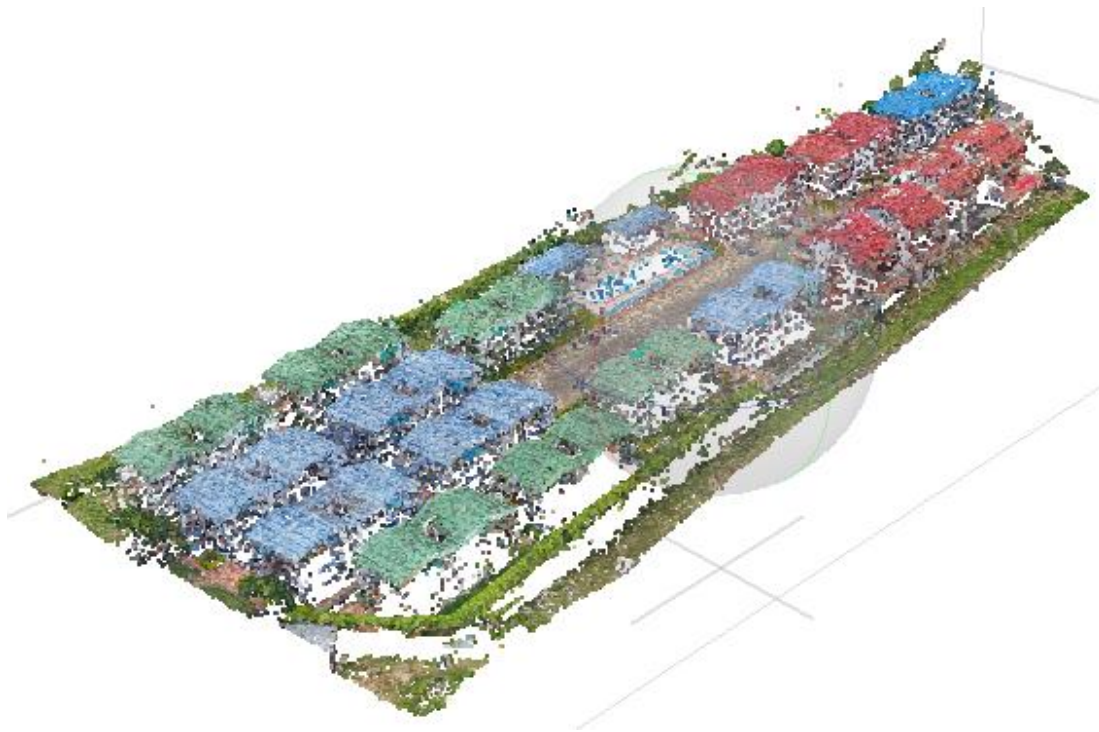
8.1.4.2 Nube de puntos densa obtenida

Para obtener la nube de puntos densa, primero se realizó un proceso previo, este se trata de la orientación de las imágenes o la creación de la nube de puntos dispersa, que como su

nombre lo indica el programa buscará orientar cada fotografía encontrando la posición de la cámara, este proceso tardó un aproximado de 20 min. En el vuelo del Dron no se realizó la georreferenciación por ello en el procesamiento de las imágenes se salta el paso de georreferenciar cada imagen. En la **Figura 14**, se muestran los resultados de la nube de puntos dispersa.

Figura 15

Resultado de creación de nube de puntos dispersa



Nota. La figura muestra los resultados de la orientación de fotos con el programa Agisoft Metashape Pro.

Elaboración propia

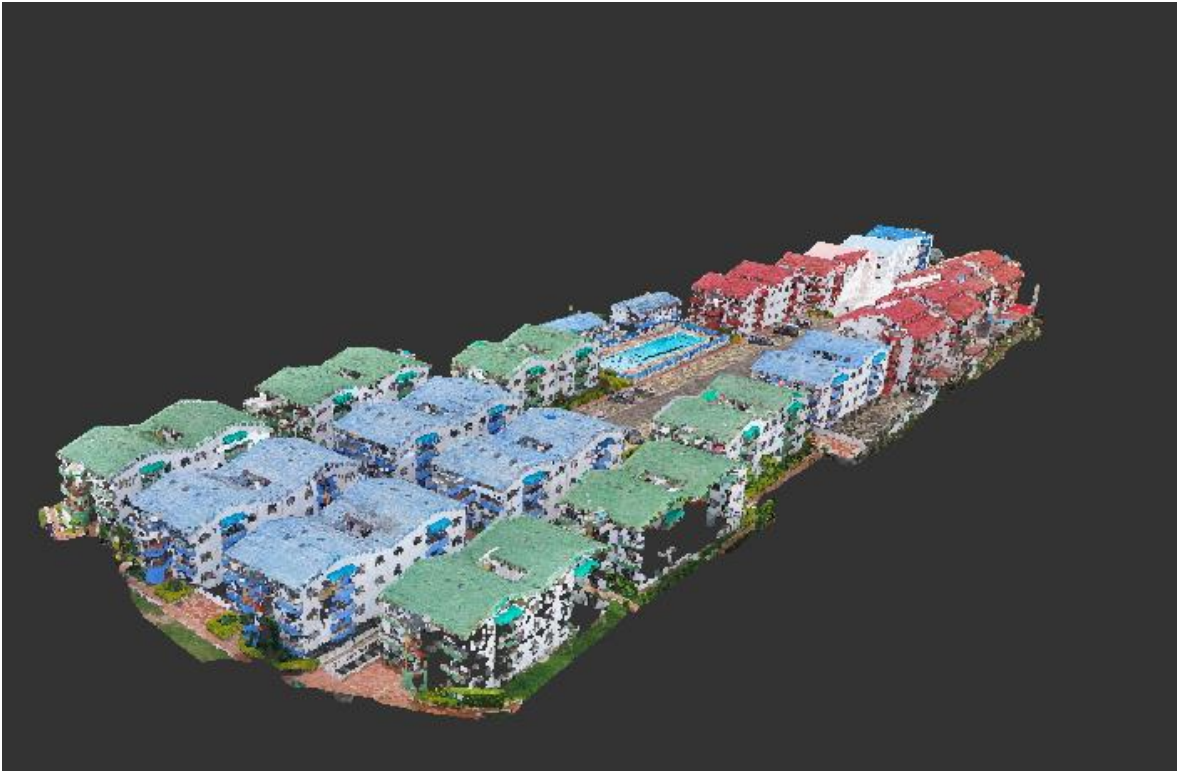
Una vez el software finalizó la orientación de las fotos, se pudo iniciar la creación de la nube de puntos densa, la cual tardó un aproximado de un día (Ver **Figura 12**).

8.1.4.3 *Procesamiento en Autodesk ReCap*

El formato de la nube de puntos densa (e.57) que se generó con Agisoft Metashape Pro se importó a ReCap para convertir el archivo en un formato compatible con Revit (rcp o rcs), además de esto en ReCap se limpió información innecesaria (puntos desorientados y ruidos) para aligerar el archivo.

Figura 16

Nube de puntos densa procesada en ReCap



Nota. La figura detalla los resultados del procesamiento de la nube de puntos densa importada en ReCap que se extrajo del programa Agisoft Metashape Pro. Elaboración propia

8.1.4.4 *Procesamiento en Autodesk Revit*

Una vez importada la nube de puntos densa a Revit, se empezó con el modelamiento de cada una de las torres dividiendo la nube de puntos por cada color de torre (Ver **Figura 16**), ya que era demasiada información para trabajar en un solo archivo. Para generar exactitud en la cuantificación de materiales en el modelo, se crearon por aparte las familias paramétricas (ventanas y puertas) para que a la hora de detallar las cantidades considere los tamaños y materiales reales de dichos elementos (Ver **Figura 18**). En la **Figura 17** se puede ver el modelo terminado de la torre 9.

Figura 17

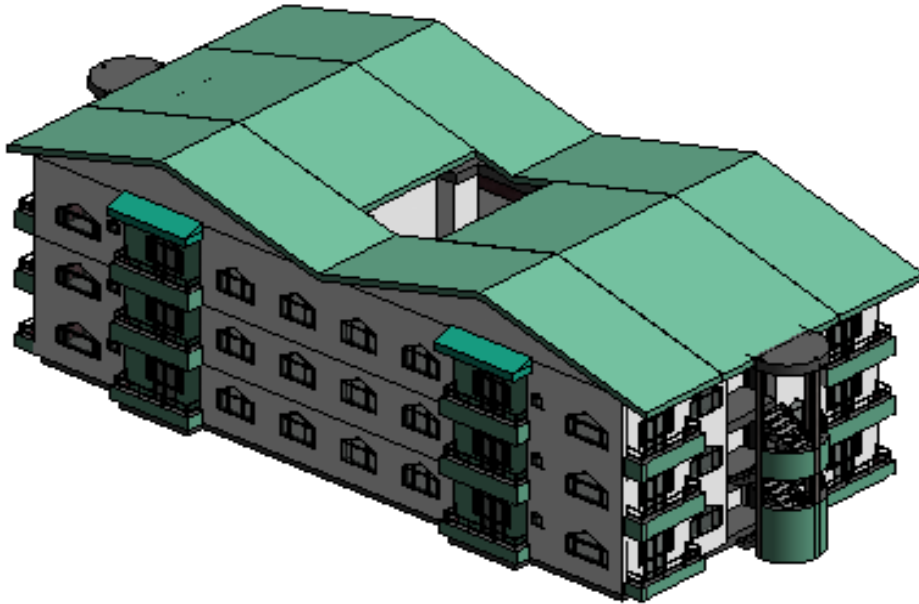
Nube de puntos recortada para la torre 9



Nota. En la figura se muestra el recorte de la nube de puntos para la torre 9. Elaboración propia.

Figura 18

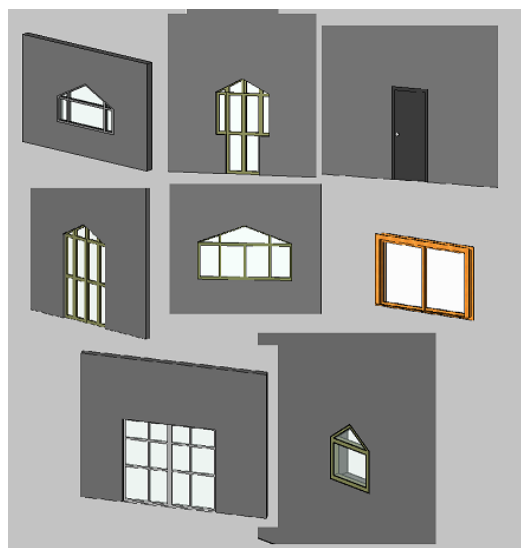
Modelo terminado torre 9



Nota. La figura muestra el modelo finalizado de la torre 9 realizado en Revit. Elaboración propia.

Figura 19

Familias paramétricas de puertas y ventanas



Nota. En la figura se evidencia las diferentes familias paramétricas creadas. Elaboración propia.

Después de tener el modelo de cada torre se elaboró una tabla de materiales para cuantificar las áreas de cada elemento a trabajar (muros, cubiertas y estructuras metálicas).

Tabla 8

Tabla de materiales generada en Revit

NOMBRE	ÁREA (m2)	VOLUMEN (m3)
ALUM VENTANA BAÑO	5	0,05
ALUMINIO CARO	87	1,25
ALUMINIO VENTANA	28	0,05
CUBIERTA	1130	449,66
HORMIGON	28	1,04
HORMIGON LIGERO	161	2,99
LADRILLO COMUN	746	138
METAL NEGRO	63	1,72
MRCO VENTANA	28	0,44
MUROS EXTERIORES	158	0,3
PINTURA BLANCA	529	1,03
PINTURA VERDE	159	0,3
TECHOS (Verde)	350	87,5
TOLDO ERDE	17	4,77
VIDRIO	188	0,4

Nota. En la figura se presenta la tabla de cantidades de los materiales de la torre 9. Elaboración propia

8.1.5 FASE IV – Obtención de cantidades de obra

Cálculo de materiales y mano de obra. A partir de los datos arrojados por el programa Revit, se creó una tabla en Excel donde se realizó un análisis de precios unitarios teniendo en cuenta los materiales, mano de obra, equipos y transportes. (**Anexo 1**)

8.2 METODOLOGIA CON MEDIDOR LASER

8.2.1 Medición de fachadas

8.2.1.1 Características del equipo utilizado

Para realizar la toma de medidas se utilizó un medidor láser de la marca SNDWAY referencia SW - T60, el cual cuenta con las siguientes características: metodología

- Logra realizar medias instantáneas de distancias, áreas y volumen.
- Cuenta con un amplio rango de medición. (máximo de 60 m en este modelo)
- Presenta una precisión de ± 2 mm o 0,079 pulgadas.
- Puede llegar a realizar cálculos automáticos de áreas y volúmenes.

Figura 20

Medidor laser utilizado



Nota. En la figura se muestra el medidor láser con el cual se realizaron las mediciones respectivas.

8.2.1.2 Toma de datos

El día 18 de enero de 2023 se realizó la toma de medidas de algunas fachadas para poder hacer una comparación entre las longitudes reales y las longitudes arrojadas por el software.

También se midieron fachadas de torres que presentaban vegetación aledaña, la cual le impedía al dron realizar una buena toma fotográfica y consecuentemente un resultado poco exacto en la modelación.

Figura 21

Evidencia fotográfica del trabajo de toma de medidas con láser



Nota. En la figura se muestra evidencia fotográfica del trabajo realizado por uno de los autores del trabajo de grado, Andrés Ocampo. Elaboración propia

9 RESULTADOS OBTENIDOS

9.1 RESULTADOS DE LA METODOLOGIA CON DRON

9.1.1 Producto final Agisoft Metashape Pro

Una vez el programa Agisoft Metashape Pro finaliza el procesamiento de las fotografías obtenidas por el dron, dio como producto la nube de puntos densa más completa en comparación a los otros dos programas mencionados en el apartado “*Fase III- Procesamiento de datos en software*”. Cabe decir que a este tipo de archivos se les puede aplicar distintos procesos creando

diferentes resultados útiles en la ingeniería, como los modelos digitales de elevación (DEM), curvas de nivel y otros, sin embargo, para este trabajo de grado no eran de interés.

9.1.2 Producto final Autodesk ReCap

En este caso de estudio ReCap fue un simple intermediario para poder convertir un archivo e.57 a rcp.

9.1.3 Producto final Autodesk Revit

El modelo realizado en Revit arrojó medidas precisas de la mayoría de las fachadas, pero no en todas, ya que el dron al no tener visibilidad en algunas de ellas no pudo tomar fotos claras de estas, afectando la nube de puntos realizada en Agisoft.

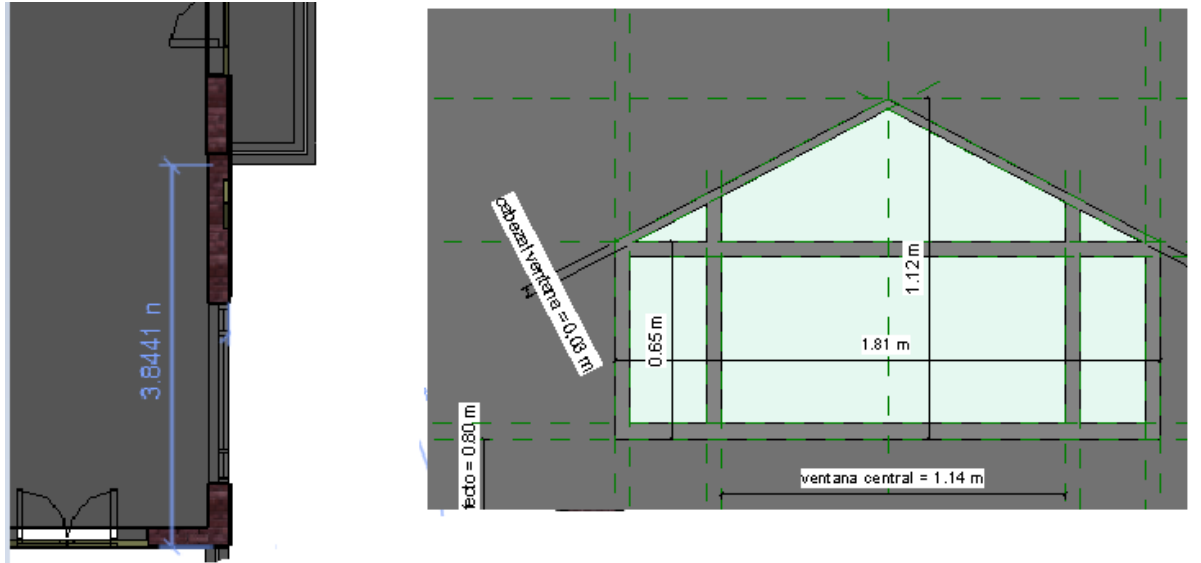
9.1.3.1 Medidas obtenidas en Revit

Con el fin de realizar una comparación, una vez se termina el modelo en Revit se sacan algunas longitudes arrojadas por el software, las cuales más adelante se comparan con las medidas obtenidas con el láser.

En las **Figura 21** se muestran algunos ejemplos de las medidas obtenidas con Revit; la información completa es presentada en el **Anexo 2**.

Figura 22

Medidas obtenidas del modelo de Revit



Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla de algunas medidas obtenidas en el modelo de Revit.

Elaboración propia

9.1.3.2 Cantidades de materiales en Revit

En el software se crearon tablas de cuantificación de materiales que contenían los siguientes apartados: Material, Familia, Área y Volumen.

De los cuales solo utilizamos el nombre del material y el área con los cuales se obtuvo la cantidad de pintura que se requiere para pintar cada una de las fachadas.

En este cálculo de materiales se pudo discriminar el tipo de pintura, ya que esta depende del material al que se vaya a aplicar, por ejemplo; la pintura del mismo color que se aplica a los muros puede ser diferente a la que se aplica a las cubiertas ya que son materiales distintos. En este caso se calculó con el mismo tipo de pintura ya que es un material para exteriores multiusos.

Pero llegado el caso se sabe que es posible diferenciarlo. (Ver **Tabla 4**)

9.1.3.3 Áreas calculadas

Las áreas totales de cada material se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 9

Áreas a pintar

MATERIAL	m2
Pintura blanca muros	9486
Pintura azul muros	996
Pintura azul cubierta	2388
Pintura Verde Muros	954
Pintura verde cubierta	2100
Pintura rojo muros	934
Pintura roja cubierta	1632
Pintura negra (Puerta)	1044
Pintura Aluminio (Ventanas y puertas)	2424

Nota. En la tabla se muestra el total de las áreas a pintar en el conjunto residencial La Carolina ubicado en la Mesa - Cundinamarca. Elaboración propia

Los materiales que más se destacaron fueron la pintura blanca y la pintura de las ventanas, ya que son los materiales que están presentes las 18 torres. (Ver **Anexo 4**)

9.1.4 Georreferenciación

Debido a la importancia de realizar el posicionamiento de acuerdo a algún sistema de coordenadas conocido, gracias a la información suministrada por el Ing. Jimmy Millán, se realizó de la siguiente manera:

Inicialmente nos dirigimos a el sitio web de la Agencia Catastral de Cundinamarca (ACC), el cual cuenta con un Geo portal en el cual logramos obtener las coordenadas de referencia para el conjunto Residencial La Carolina, donde se obtuvo una latitud de 4.62402 y una longitud de - 74.47393, como se muestra en la **Figura 23**.

Figura 23

Latitud y longitud arrojadas por el Geo portal de la ACC.



Nota. En la figura se muestra la latitud y longitud del punto de control en el conjunto residencial La Carolina ubicado en la Mesa - Cundinamarca. Recuperado de: <https://www.acc.gov.co/#/geoportal>

Una vez contamos con estas coordenadas de referencia para el conjunto Residencial La Carolina, con latitud de 4.62402 y una longitud de -74.47393 , como se muestra en la **Figura 23**, es importante convertir estas coordenadas a un sistema nacional, para ello se acude a la página web del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde cuenta con una herramienta de conversión de coordenadas de diferentes formatos, para este caso arrojé los resultados mostrados en la **Figura 24**.

Figura 24

Conversión de coordenadas en la página web del IGAC

Nota. En la figura se muestra la latitud y longitud del punto de control en el conjunto residencial La Carolina ubicado en la Mesa – Cundinamarca convertidos a un sistema de coordenadas nacionales. Recuperado de: <https://origen.igac.gov.co/herramientas.html>

9.2 COTIZACIÓN

9.2.1 Levantamiento fotogramétrico con dron

Gracias a la información proporcionada por la empresa ILAH CONSTRUCCION Y SERVICIOS SAS ubicada en Bogotá, la cual suministró una cotización de un vuelo y procesamiento de las fotos con las características del proyecto presentado en este trabajo de grado. Proporcionando así un valor de \$7'232.770 pesos colombianos, los valores presentados por ítem se encuentran especificados en el **Anexo 3**.

9.2.2 Cantidades por medio de la forma tradicional

Ya que contábamos con la información de la empresa ILAH CONSTRUCCION Y SERVICIOS SAS, se quiso realizar un contraste de costos, por lo tanto, se realizó un presupuesto para la obtención de cantidades de obra de forma tradicional, obteniendo un valor de , los valores presentados por ítem se encuentran especificados en el Anexo 4

9.2.3 Materiales y mano de obra

El presupuesto que se obtuvo fue de \$569.243.364 (quinientos sesenta y nueve millones doscientos cuarenta y tres mil trescientos sesenta y cuatro pesos colombianos) donde se consideraron distintas actividades, como lo son el lavado de muros, reparación de humedades y pintura. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la mano de obra, los materiales y el transporte de los mismos. Este valor obtenido se encuentra entre la media de los diferentes valores propuestos por los distintos contratistas que postularon sus presupuestos. (Ver **Anexo 1**)

9.3 RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN ENTRE LA MODELACIÓN Y EL MEDIDOR LÁSER

9.3.1 Medición de láser vs Revit

Al hacer las comparaciones entre las medidas arrojadas por el software Revit y las tomadas con el medidor láser se obtuvo que los errores son:

Error Absoluto. Para el proyecto en general el error absoluto fue de 0.058

Error relativo. Para el proyecto en general el error relativo fue de 0.043

Error Porcentual. Para el proyecto en general el porcentaje de error fue de 4.3 %

Estos cálculos se pueden evidenciar en el **Anexo 2**.

9.3.2 Viabilidad

Una vez se realiza la implementación de ambas metodologías se logra evidenciar la información evidenciada en la **Tabla 9**.

Tabla 10

Matriz comparativa entre la medición con láser y vuelo con dron.

Actividad	Levantamiento con dron	Medidor láser de distancia
Dispositivo / Elemento	DJI serie Mavic 2 Pro.	SNDWAY referencia SW - T60.
Costo	\$ 7.448.542.	\$ 150.000.
Tiempo	30 min.	10 a 12 hrs.
Personal	1 operador capacitado para vuelo del dron y procesamiento de datos.	3 operadores mínimo, para la ubicación del dispositivo, el punto de referencia y procesamiento de datos.
Clima	Evita volar el dron en condiciones climáticas extremas, como fuertes tormentas, vientos huracanados o temperaturas extremadamente altas o bajas.	El uso del medidor láser puede verse entorpecido por la intensidad de la luz solar.

Nota. En la tabla se muestra la diferencia de varios aspectos como el clima, el personal, tiempo, costo entre ambas metodologías aplicadas en el Conjunto residencial La Carolina ubicado en la Mesa - Cundinamarca. Elaboración propia.

9.3.3 Teoría de errores

9.3.3.1 Errores sistemáticos

En el dron: Falta de solape, es necesario tanto un solape longitudinal como transversal, mala calidad de la imagen, fallos de apoyo/puntos de control.

En el medidor láser de distancia: Error ambiental, por temas de temperatura que alteran el dispositivo. Error por camino muerto, que es un error asociado con el cambio en los parámetros ambientales durante una medición. Error de coseno, que el rayo láser no es paralelo a un eje medido de una máquina, se produce una diferencia entre la distancia real y la distancia medida. Este error de desalineación se conoce como error de coseno, porque su magnitud depende del ángulo entre el rayo láser y el eje de la máquina. Error de Abbe, cuando durante las mediciones, la parte medida no se mueve perfectamente recta y aparecen movimientos angulares, que provocan la inclinación del catadióptrico. Error de estabilidad del láser, la inestabilidad de la longitud de onda del láser cambia directamente la lectura del interferómetro; por ejemplo, una inestabilidad relativa del láser en el rango de 1 ppm, provoca un error de 1µm en cada 1 m de una distancia medida. Por lo tanto, el error de inestabilidad del láser es importante principalmente en mediciones en vacío (donde un coeficiente de refracción es constante) y cuando se utiliza un láser de baja estabilidad (por ejemplo, un láser semiconductor).

9.3.3.2 Errores accidentales

Debido a que estos errores son variaciones que aparecen de manera repetitivas en cada análisis de la toma de las medidas, es complejo lograr obtener una causa predeterminada.

10 ANALISIS DE RESULTADOS

Inicialmente para los resultados que se obtuvieron en el programa Agisoft Metashape Pro, donde de 614 fotografías proporcionadas por el Dron, tan solo el 90% fueron reconocidas y orientadas por el programa, dicho esto, es importante recalcar que este número de fotografías orientadas probablemente hubiese sido mayor generando una georreferenciación con ayuda de un

GPS. En cuanto a los resultados de procesamiento de imágenes que se realizó en Agisoft, vale aclarar que, en comparación a los otros programas en los cuales se realizó el mismo procedimiento, Agisoft fue uno de los más óptimos, ya que, este programa permitió realizar unas especificaciones previas al procesamiento, las cuales influyeron en el resultado final, permitiendo así alcanzar una nube de puntos con la menor cantidad de información faltante, sin embargo, estas características asignadas influyeron en el tiempo de procesamiento, debido a que presentó un incremento del mismo.

En cuanto al manejo de la nube de puntos densa en Revit, se dificultó por diferentes factores; una de las primeras causas, fue la complejidad a la hora de iniciar con la modelación, debido a que, la cantidad de información que tenía la nube puntos era bastante para manejarse en conjunto, por tal motivo, se decidió dividir la nube de puntos, obteniendo un mejor control o dominio. Como segundo factor, se presentó una cantidad considerable de información faltante en la nube de puntos por obstrucciones de vegetación en las tomas fotográficas realizadas por el dron, esto dio a lugar a una incertidumbre en las mediciones de las superficies que se encontraban allí, adicionalmente complicó la modelación en Revit, ya que la nube de puntos era la base de esta.

Debido a la baja certeza en las medidas obtenidas en las zonas obstaculizadas, se decidió realizar una verificación de las mediciones de manera manual; con ayuda de un medidor láser; finalmente se realiza la comparación de medidas y se obtiene un error absoluto de 0,058, relativo de 0,043 y porcentual de 4,3%, estas cifras son un promedio de errores de medición para el proyecto en general, esto nos da a entender que los datos obtenidos por la modelación en Revit son precisos por el detalle con el que el dron fue capaz de medir estas distancias y exactos por acercarse al valor real.

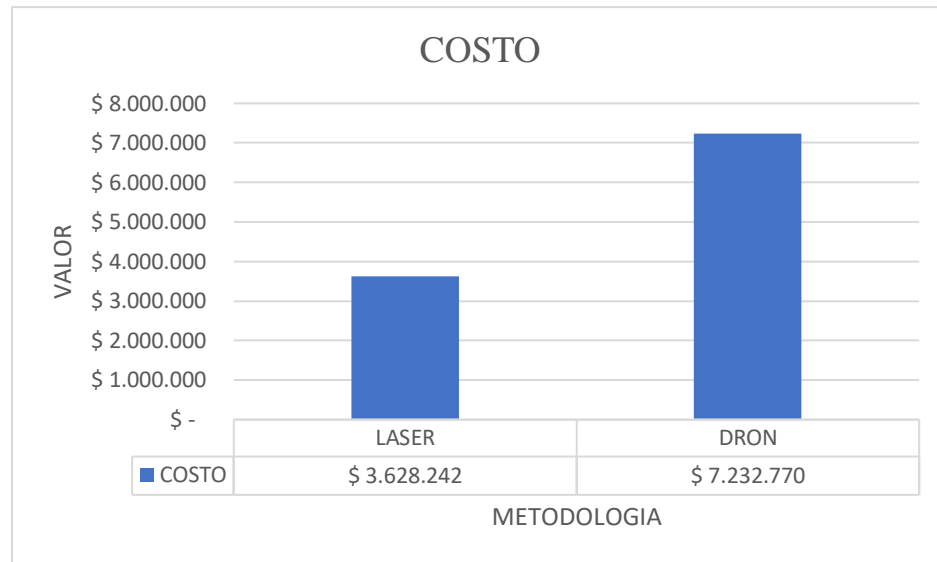
Con respecto al tiempo y costos, el valor del levantamiento puede llegar a ser elevado para proyectos pequeños y puede ocasionar que sea más demorado. Pero al momento de hacer un presupuesto de un proyecto de gran magnitud puede llegar a ser beneficioso, ya que con este se puede generar un cálculo de material más exacto permitiendo una disminución de desperdicios lográndose en un menor tiempo.

Ahora bien, es importante realizar una comparación de costo y tiempo aplicando las dos metodologías, donde se logra evidenciar que en cuanto el factor costo la metodología con Dron es más costosa (Ver **Grafica 1**), sin embargo, con esta metodología es más eficiente en cuanto a el tiempo, adicionalmente esta metodología nos ofrece resultados que pueden ser necesarios más adelante, como realizar un geo posicionamientos gracias a la georreferenciación, un modelo 3D y/o la elaboración de renders.

Por otro lado, en la **Grafica 2**, es notable la diferencia en los tiempos, estos tiempos hacen referencia no solo al trabajo en campo, sino también a la obtención de los resultados finales.

Grafica 1

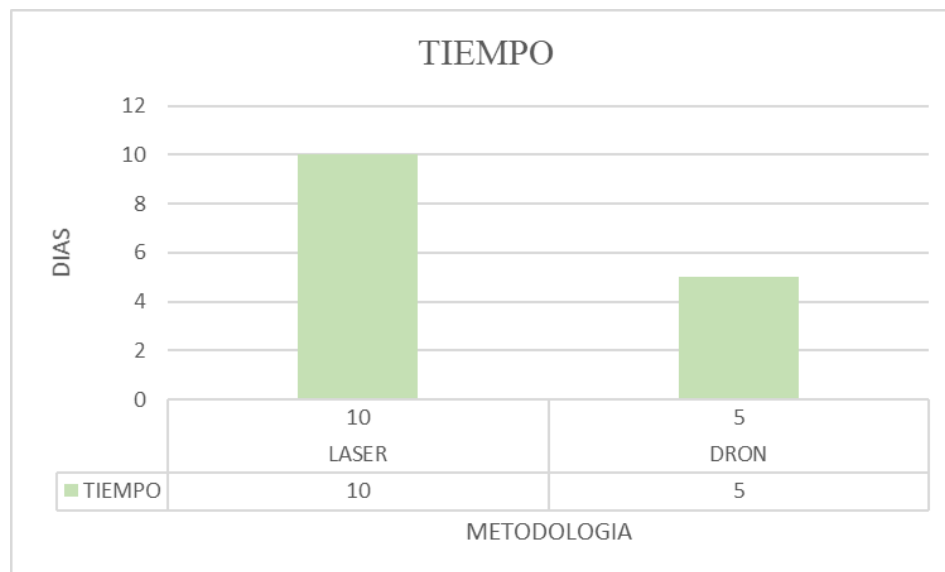
Comparación de costos entre vuelo con dron y mediciones con láser.



Nota. En la gráfica de barras se muestra la diferencia del costo entre ambas metodologías aplicadas en el Conjunto residencial La Carolina ubicado en la Mesa - Cundinamarca. Elaboración propia.

Grafica 2

Comparación de tiempo entre vuelo con dron y mediciones con láser.



Nota. En la gráfica de barras se muestra la diferencia del tiempo entre ambas metodologías aplicadas en el Conjunto residencial La Carolina ubicado en la Mesa - Cundinamarca. Elaboración propia.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todo lo expuesto anteriormente nos dice que la opción más viable puede variar dependiendo las necesidades del cliente, ya que, si solo requiere la obtención de cantidades despreciando el tiempo que se tarda en ejecutarse este, su opción más adecuada va a ser el proceso tradicional; si, por otro lado, el cliente requiere de resultados con características más completas y en un menor tiempo, realizando una inversión un poco más elevada, es recomendable optar por la metodología con dron.

Se puede concluir que es viable la implementación del levantamiento fotogramétrico con dron porque minimiza el tiempo empleado y perfecciona la cuantificación de medidas, debido a que se recopila gran parte de estas, incluyendo las de difícil acceso. Considerando que la investigación se realizó en edificios de 3 pisos, la medición de las fachas de la forma convencional no es tan compleja, pero si tediosa y algo demorada, ya que eran varios edificios y lugares de difícil acceso, y en la eventualidad de presentarse proyectos de mayor magnitud y complejidad, esta metodología sería de gran utilidad, para que se pueda justificar el alto costo de lo que sería la utilización del dron y el operador capacitado vs. el poco tiempo invertido en el vuelo y la reducción de costos en cuanto a la mano de obra que se debe utilizar para la ejecución de la actividad.

Hay otro aspecto que se debe tener en cuenta al momento de realizar la planeación del vuelo, es importante tener en cuenta los factores externos que puedan afectar el resultado final (vegetación, vehículos, objetos removibles), por lo tanto, se pueden realizar vuelos alternativos que complementen la información y eviten retrasos en el procesamiento de los datos.

Para el procesamiento de la información es fundamental la utilización de un equipo adecuado que facilite y agilice la realización de los procesos, ya que sin esto se puede provocar un efecto que no sea tan eficaz como se requiere o atrase la actividad y ocasione que el método sea improductivo.

El uso de las nuevas tecnologías son clave en la realización de todo proyecto, debido a que, se puede contar con programas que puedan soportar archivos e información de manera colaborativa. Facilita notoriamente el trabajo en cuanto a la medición y cuantificación de distintos datos que ayudan a que los procesos sean más exactos y baje el nivel de incertidumbre.

Se puede decir que la georreferenciación en este caso no se implementó a la hora de realizar el vuelo, pero se implementó la georreferenciación del proyecto por medio de las herramientas que nos ofrece portales como ACC e IGAC; se puede decir que el haber realizado la georreferenciación en el vuelo probablemente nos hubiese permitido un diseño de vuelo más efectivo, lo cual daría paso a una orientación de las fotos más acertada. Debido a esto, se generaría un procesamiento de datos más preciso en la nube de puntos densa de Agisoft Metashape Pro.

El porcentaje de error que se obtuvo fue de un 4.38%, en una investigación este valor se puede considerar bajo o aceptable.

Es importante aclarar que, los costos que tienen estos levantamientos son un poco altos, ya que se requiere de licencias y personal capacitado. Pero al momento de hacer un presupuesto, este valor se puede despreciar, ya que se ahorraría tiempo y dinero en proyectos de gran magnitud. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los drones no son una herramienta adecuada para todas las tareas de medición, aparte de que es necesario contar con un operador capacitado y con experiencia para poder utilizarlos de forma efectiva y segura.

Este método se puede llegar a resaltar en la disputa de licitaciones, porque sería un plus a la hora de presentar distintos servicios, mostrando de forma gráfica lo que se puede ofrecer, un ejemplo a esto: es poder mostrar al cliente cómo se podría ver su proyecto en diferentes colores y materiales.

12 LISTA DE REFERENCIAS

- ACG DRONE. <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/> Herrera, G. O. (2017). Impresión en 3D de proyectos de ingeniería y construcción. Santiago de Chile: Universidad Andrés Bello.
- Alsina, S. (2017). Implementación de BIM en infraestructura: la necesidad de abordarlo desde el sector público. Universidad de los Andes.
- Barajas Hernández, J. (2021). Aplicación de los drones en la industria de la construcción. Nextia, (6), 5–16. Recuperado a partir de <https://revistas.uvp.mx/index.php/nextia/article/view/65>
- Cabada, J. J. (2019). Evaluación de precisión y costo en un levantamiento topográfico con estación total y aeronave pilotada remotamente (RPA-DRON) en el centro poblado Cashapampa-Cajamarca 2018 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/22186>
- Cerón, A., Liévano, A. (2017). Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida de un proyecto. [Tesis de especialización]. Universidad Católica de Colombia
- Claros et al., R. A., Guevara Aguilar, A. E., & Pacas Cruz, N. R. (2016). Aplicación de Fotogrametría Aérea en Levantamientos Topográficos Mediante el Uso de Vehículos Aéreos no Tripulados.
- Del Río Santana, Omar; Gómez Córdova, Felipe de Jesús; López Carrillo, Nadia Vanessa; Sáenz Esqueda, José Armando; Espinoza Fraire, Arturo Tadeo (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193963490001>
- DJI. (2019). Mavic 2: Especificaciones. Obtenido de DJI: <https://www.dji.com/mavic> [1]2?site=brandsite&from=insite_sea
- HEMAV. (2016). El origen y la historia de los drones. Universidad politécnica de Madrid.

- INVIAS.<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios> Fotogrametría aérea con drones. (2020, 19 mayo).
- Jiménez, N., Magaña, A., Soriano, E. (2019). ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONE M É TODOS INDIRECTOS. [Trabajo de grado]. Universidad de El Salvador.
- M. C. Solórzano Bákit, E. Porras Bolaños, J. Jiménez, y M. Méndez Flores, «Drones y tecnología como elementos claves en la gestión de procesos constructivos: una revisión de literatura», TIBCPIC, vol. 6, pp. 1–15, dic. 2020.
- Machado, M., Pertúz, J. (2020). Análisis de la utilización de drones para el levantamiento topográfico en sitios habitados donde se presentan aguas estancadas en el municipio de ciénaga magdalena. [Trabajo de grado]. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Martínez, J. (2020). Estudio y caracterización de materiales estructurales para drones. [Tesis de grado, Universidad politécnica de Cartagena]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8904/>
- Medina, DX (2018). El uso de las impresoras 3D como tecnología emergente en la ingeniería civil, impacta en el desarrollo económico y sostenibilidad. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/17458>
- Olortegui Borja, M. A., & Sótelo de la Torre, C. O. (2017). Levantamiento Aero fotogramétrico, efectos e importancia para sus aplicaciones en el sector urbano de las Moras-Huánuco 2016.
- Portafolio. (2022). Edificaciones impulsan el PIB de construcción este año. Recuperado de: <https://www.portafolio.co/economia/edificaciones-impulsan-el-pib-de-construccion-en-este-ano-566580>

RAE. (2021). Diccionario de la Lengua Española: fotogrametría. Obtenido de Real Academia Española:

<https://dle.rae.es/fotogrametr%C3%ADa>

Rocha, M. A., et al. (2021). Aeronave no tripulada para inspección y exploración de infraestructura.

Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/38754>

San Miguel, El Salvador: Universidad de El Salvador. Análisis de Precios Unitarios (APU)

Regionalizados de Referencia. (2014, 19 diciembre).

Santana, O., Gómez, F., López, N. & Sáenz, J. (2020). Análisis comparativo de levantamiento

topográfico tradicional y tecnología de Drones. Revista de Arquitectura e Ingeniería, (14), 1-10.

<https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/193963490001.pdf>

Solís, RG, (2004). La supervisión de obra. Ingeniería, 8 (1),55-60. [fecha de Consulta 23 de febrero de

2023]. ISSN: 1665-529X. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46780106>

Srivastava. A, Sajjaf Jawaid, Rajesh Singh, Anita Gehlot, Shaik Vaseem Akram, Neeraj Priyadarshi,

Baseem Khan (2022), " Papel imperativo de la intervención e implementación de tecnología para

la automatización en la industria de la construcción ", Avances en ingeniería civil ID de artículo

6716987 Recuperado de: <https://doi.org/10.1155/2022/6716987>

Tacca, H. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la

fotogrametría con drones al método tradicional. [Tesis de grado]. Universidad nacional de

altiplano

Torres, D. (2021). Plan de implementación de drones como soporte de procesos BIM en control de

avance de obra de infraestructura vial enfocado en las necesidades de los supervisores de obra.

[Tesis de maestría]. Universidad de los Andes.

UAEAC. (2019). Reglamentos Aéreos de Colombia: Apéndice 13. Unidad Administrativa Especial de

Aeronáutica Civil – Aerocivil.

13 ANEXOS

Anexo 1 <i>Presupuesto Conjunto Residencial la Carolina – La Mesa</i>	71
Anexo 2 <i>Cantidades La Carolina y cálculo de errores de medición</i>	72
Anexo 3 <i>Cotización levantamiento fotogramétrico con dron y cotización de obtención de cantidades por método tradicional – ILAH</i>	73
Anexo 4 <i>Cómputo de materiales multi categoría</i>	75
Anexo 5 <i>Resultados de la aplicación de la resolución 471</i>	76
Anexo 6 <i>Glosario</i>	79

Anexo 1

Presupuesto Conjunto Residencial la Carolina – La Mesa

CONTRATANTE: CONJUNTO RESIDENCIAL LA CAROLINA		CONDICIONES COMERCIALES	
CC:		Nº DE COTIZACIÓN	
TELEFONO:		FORMA DE PAGO	ANTICIPO 20% - CORTE \$ 80%
CORREO ELECTRONICO:		TIEMPO DE ENTREGA	2 meses y 15 días
DIRECCION: La Mesa		VIGENCIA DE LA COTIZACIÓN	30 días

CAPITULO	SUMINISTRO Y MANO DE OBRA DE PINTURA	OBRA / ACTIVIDAD:	OBRA CIVIL		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. (UN)	VR. UNIT.	VR. TOTAL
	PINTURA				
1,00	LAVADO Y LIMPIEZA DE FACHADA				
1,01	MANO DE OBRA PARA LAVADO Y LIMPIEZA DE FACHADA (INCLUYE ANDAMIO MULTIDIRECCIONAL O COLGANTE, ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDA, HIDROLAVADORA Y ÁCIDO).	m2	21958,00	\$ 4.237	\$ 93.037.297
2,00	REPARACIÓN DE HUMEDAD Y FISURAS EXISTENTES				
2,01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PRODUCTO PARA REPARACIÓN DE HUMEDAD	m2	4391,80	\$ 19.531	\$ 85.772.023
3,00	PINTURA DE FACHADA: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PINTURA DE FACHADA KORAZA PRO 550 BASE PASTEL 2 MANOS (INCLUYE ANDAMIO COLGANTE, ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDA, EQUIPO, HERRAMIENTA Y MANO DE OBRA.				
3,01	PINTURA BLANCA MUROS	m2	9488,00	\$ 13.721	\$ 130.155.468
3,02	PINTURA AZUL MUROS	m2	998,00	\$ 13.721	\$ 13.685.912
3,03	PINTURA AZUL CUBIERTA	m2	2388,00	\$ 13.721	\$ 32.765.280
3,04	PINTURA VERDE MUROS	m2	954,00	\$ 13.721	\$ 13.089.639
3,05	PINTURA VERDE CUBIERTA	m2	2100,00	\$ 13.721	\$ 28.813.671
3,06	PINTURA ROJA MUROS	m2	934,00	\$ 13.721	\$ 12.815.223
3,07	PINTURA ROJA CUBIERTA	m2	1632,00	\$ 13.721	\$ 22.392.338
3,08	PINTURA NEGRA (PUERTAS)	m2	1044,00	\$ 13.721	\$ 14.324.511
3,09	PINTURA ALUMINIO (VENTANAS Y PUERTAS)	m2	2424,00	\$ 13.721	\$ 33.259.208
SUBTOTAL COSTO DIRECTO				\$	480.090.549
ADMINISTRACION				12%	\$ 57.610.866
IMPREVISTOS				3%	\$ 14.402.716
UTILIDADES				3%	\$ 14.402.716
IVA SOBRE UTILIDAD				19%	\$ 2.736.516
TOTAL				\$	569.243.364

Anexo 2*Cantidades La Carolina y cálculo de errores de medición*

Medida	Revit (m)	Real (m)	Error Absoluto	Error Relativo	Porcentaje (%)
1	25.083	25.1	0.017	0.00	0.07
2	3.84	3.9	0.06	0.02	1.54
	0.86	0.7	0.16	0.23	22.86
3	7.85	7.93	0.08	0.01	1.01
4	1.8	1.8	0	0.00	0.00
5	3.24	3.19	0.05	0.02	1.57
6	1.81	1.8	0.01	0.01	0.56
	1.12	1.2	0.08	0.07	6.67
7	1.612	1.6	0.012	0.01	0.75
Promedios			0.058625	0.04	4.38

Anexo 3

Cotización levantamiento fotogramétrico con dron y cotización de obtención de cantidades por método tradicional – ILAH

CAPÍTULO		LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO	OBRA / ACTIVIDAD:	LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT. (UN)	VR. UNIT.	VR. TOTAL	
1,0	LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO					
1,01	LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO: LEVANTAMIENTO A 90° Y 45° DE ACUERDO A PLAN DE VUELO CON DRON DJI ENTERPRISE CON RTK.	ha	1,50	\$ 3.000.000	\$ 4.500.000	
1,02	POSTPROCESO: ENTREGA DE ORTOFOTO GEOREFERENCIADA, NUBE DE PUNTOS DENSA, MODELO Y CANTIDADES.	ha	2,00	\$ 800.000	\$ 1.600.000	
SUBTOTAL COSTO DIRECTO					\$ 6.100.000	
ADMINISTRACION				12%	\$ 732.000	
IMPREVISTOS				3%	\$ 183.000	
UTILIDADES				3%	\$ 183.000	
IVA SOBRE UTILIDAD				19%	\$ 34.770	
TOTAL				\$	7.232.770	

CONJUNTO RESIDENCIAL LA CAROLINA



PROYECTOS - DEPTO. COSTOS Y PRESUPUESTOS
GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

PROYECTO:	CONJUNTO RESIDENCIAL LA CAROLINA
ACTIVIDAD	LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO
ELABORÓ:	ING. JEFFERSON STIV PÉREZ R.
	FECHA:
	8/02/2023

CONTRATANTE: MARÍA CAMILA MÉNDEZ SÁNCHEZ

CC: 1.032.501.727

TELÉFONO: 314 3492178

CORREO ELECTRONICO: mariacamilamendez.98@hotmail.com

DIRECCION: La Mesa

CONDICIONES COMERCIALES

N° DE COTIZACIÓN	301-22
FORMA DE PAGO	ANTICIPO 20% - CONTRAENTREGA 80%
TIEMPO DE ENTREGA	30 DIAS CALENDARIO
VIGENCIA DE LA COTIZACIÓN	30 DIAS

CONJUNTO RESIDENCIAL LA CAROLINA		PROYECTO:	CONJUNTO RESIDENCIAL LA CAROLINA
		ACTIVIDAD	CANTIDADES
		ELABORÓ:	ING. JEFFERSON STIV PÉREZ R.
PROYECTOS - DEPTO.COSTOS Y PRESUPUESTOS			FECHA:
GERENCIA DE CONSTRUCCIONES			8/02/2023

CONTRATANTE: MARÍA CAMILA MÉNDEZ SÁNCHEZ	CONDICIONES COMERCIALES	
CC: 1.032.501.727	N° DE COTIZACIÓN	301-23
TELÉFONO: 314 3492178	FORMA DE PAGO	ANTICIPO 20% - CONTRAENTREGA 80%
CORREO ELECTRONICO: mariacamilamendez.98@hotmail.com	TIEMPO DE ENTREGA	15 DIAS CALENDARIO
DIRECCION: La Mesa	VIGENCIA DE LA COTIZACIÓN	30 DIAS

CAPÍTULO	CANTIDADES	OBRA / ACTIVIDAD:	CANTIDADES		
			UNIDAD	CANT. (UN)	VR. UNIT.
ITEM	DESCRIPCIÓN				
1,0	CANTIDADES				
1,01	OBTENCIÓN DE CANTIDADES: SE REQUIERE DE 4 OPERADORES PARA REALIZAR LAS MEDICIONES DE TODO EL CONUNTO, EN 8 DIAS	JRN	8,00	\$ 320.000	\$ 2.560.000
1,02	POSTPROCESO: ENTREGA DE MODELO 2D Y CANTIDADES.	JRN	2,00	\$ 250.000	\$ 500.000

SUBTOTAL COSTO DIRECTO		\$ 3.060.000
-------------------------------	--	---------------------

ADMINISTRACION	12%	\$ 367.200
IMPREVISTOS	3%	\$ 91.800
UTILIDADES	3%	\$ 91.800

IVA SOBRE UTILIDAD	19%	\$ 17.442
--------------------	-----	-----------

TOTAL		\$ 3.628.242
--------------	--	---------------------

Anexo 4*Cómputo de materiales multi categoría*

CANTIDADES DE MATERIAL	
MATERIAL	ÁREA TOTAL(m2)
Pintura azul muros	996
Pintura azul cubierta	2388
Pintura roja muros	934
Pintura roja cubierta	1632
Pintura verde muros	954
Pintura verde cubierta	2100
Pitura blanca	9486
Pintura negra	1044
Pintura Aluminio	2424

Anexo 5

Resultados de la aplicación de la resolución 471.

Coordenadas Google Earth					Componente horizontal georreferenciado			
Dato	Latitud	Longitud	Origen Nacional		Latitud	Longitud	Origen Nacional	
			Norte	Este			Norte	Este
1	4,62527	-74,4739	2069256,928	4836572,105	4,62402	-74,4739	2069119,883	4836566,276
2	4,62527	-74,4744	2069257,057	4836509,997				
3	4,62305	-74,4742	2069011,617	4836540,542				
4	4,62333	-74,4736	2069042,439	4836601,605				
5	4,62333	-74,4739	2069042,501	4836571,660				
6	4,62361	-74,4739	2069073,449	4836571,725				
7	4,62388	-74,4742	2069103,357	4836540,732				
8	4,62416	-74,4742	2069134,305	4836540,797				
9	4,62444	-74,4742	2069165,253	4836540,861				
10	4,625	-74,4742	2069227,149	4836540,989				
11	4,62527	-74,4739	2069256,928	4836572,105				
12	4,625	-74,4744	2069227,214	4836509,935				
13	4,62472	-74,4739	2069196,137	4836571,979				
14	4,62444	-74,4742	2069165,253	4836540,861				
15	4,62444	-74,4739	2069165,189	4836571,915				
16	4,62416	-74,4742	2069134,305	4836540,797				
17	4,62416	-74,4739	2069134,240	4836571,851				
18	4,62388	-74,4742	2069103,357	4836540,732				
19	4,62361	-74,4739	2069073,449	4836571,725				
20	4,62333	-74,4742	2069042,565	4836540,606				

Fórmula 1

RMSE _x	30,6441936	RSME _r	30,67190022	CONFORME
RMSE _y	1,303404024			

Fórmula 2

RMSE _x	30,67303887	RSME _r	33,15420947	CONFORME
RMSE _y	12,58436697			

Fórmula 3

RMSE _x	24,20901357	RSME _r	24,88349404	CONFORME
RMSE _y	5,754297333			

Fórmula 4

RMSE _x	17,31700484	RSME _r	19,03380069	CONFORME
RMSE _y	7,899804558			

Fórmula 5

RMSE _x	17,30314122	RSME _r	17,34497244	CONFORME
RMSE _y	1,203898999			

Fórmula 6				
RMSE _x	10,38295805	RSME _r	10,45420479	CONFORME
RMSE _y	1,218433441			
Fórmula 7				
RMSE _x	3,69532594	RSME _r	6,802957489	CONFORME
RMSE _y	5,711812042			
Fórmula 8				
RMSE _x	3,224857237	RSME _r	6,546653821	CONFORME
RMSE _y	5,6972776			
Fórmula 9				
RMSE _x	10,14504041	RSME _r	11,6283256	CONFORME
RMSE _y	5,682966765			
Fórmula 10				
RMSE _x	23,98540677	RSME _r	24,64287638	CONFORME
RMSE _y	5,654345095			
Fórmula 11				
RMSE _x	30,6441936	RSME _r	30,67190022	CONFORME
RMSE _y	1,303404024			
Fórmula 12				
RMSE _x	23,99994121	RSME _r	27,10558231	CONFORME
RMSE _y	12,59823059			
Fórmula 13				
RMSE _x	17,05091276	RSME _r	17,09853316	CONFORME
RMSE _y	1,275229568			
Fórmula 14				
RMSE _x	10,14504041	RSME _r	11,6283256	CONFORME
RMSE _y	5,682966765			
Fórmula 15				
RMSE _x	10,13072958	RSME _r	10,20889797	CONFORME
RMSE _y	1,260918733			

Fórmula 16				
RMSE _x	3,224857237	RSME _r	6,546653821	CONFORME
RMSE _y	5,6972776			
Fórmula 17				
RMSE _x	3,210322795	RSME _r	3,443864646	CONFORME
RMSE _y	1,246607897			
Fórmula 18				
RMSE _x	3,69532594	RSME _r	6,802957489	CONFORME
RMSE _y	5,711812042			
Fórmula 19				
RMSE _x	10,38295805	RSME _r	10,45420479	CONFORME
RMSE _y	1,218433441			
Fórmula 20				
RMSE _x	17,28883039	RSME _r	18,21678076	CONFORME
RMSE _y	5,739986498			

Anexo 6

Glosario

Dron: Se trata de cualquier aeronave no tripulada.

Fotogrametría: Consiste en un método para generar planos de extensos tamaños de terreno con la ayuda de las fotografías aéreas.

GPS: Global Positioning System o sistema de posicionamiento global. Permite conocer el posicionamiento o ubicación de un objeto o persona debido a la captación de señales transmitidas por una red de satélites.

GSD: Ground Sampling Distance o distancia de muestreo terrestre.

LIDAR: Permite conocer la distancia entre el punto desde donde se proyecta el láser hasta una determinada superficie y/o objeto.

MDS: Modelo Digital de Superficie. Se trata de una representación de variables en el espacio, que incluyen objetos de diferentes alturas.

MDT: Modelo Digital de Terreno. Se trata de una representación de variables en el espacio, sin incluir objetos de diferentes alturas.

Modelo: Consiste en una representación básica o simple generada por un software, desde un punto de vista específico.

MTOW: Maximum Take – Off Weight. Este término hace referencia al peso máximo de una aeronave que tiene permitido un piloto para ejecutar el despegue.

Nube de puntos: Es una agrupación de objetos tipo punto, donde cada uno contiene información fotográfica.

RPA: Remotely Piloted Aircraft o aeronave pilotada remotamente. Este término hace referencia exclusivamente a aeronaves no tripuladas que sean controladas desde una estación remota.

Solape: Se trata de la superposición parcial la cual hace efectivo la creación de un modelo estereoscópico entre dos fotografías.

Teodolito: Instrumento óptico – mecánico de precisión utilizado en topografía, geodesia y astronomía.

UAV: Unmanned Aerial Vehicle o vehículo aéreo no tripulado. Hace referencia a los drones, donde se incluyen los vehículos aéreos no tripulados que se ejecutan de manera autónoma tanto como los RPA.

Formato e.57: Es un formato de archivo de nube de puntos desarrollado para almacenar datos de escaneo láser 3D. Fue creado por la iniciativa ASTM E57

Formato rcp: Es un tipo de archivo utilizado en software de modelado 3D y software de gestión de datos de escaneo láser. RCP significa "ReCap Project", que es un software desarrollado por Autodesk para procesar y administrar datos de escaneo láser.

Formato rcs: Es un tipo de archivo utilizado en software de modelado 3D y software de gestión de datos de escaneo láser. RCS significa "ReCap Scan", que es un software desarrollado por Autodesk para procesar y administrar datos de escaneo láser.