

Inspección de fachadas con Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT): estudio exploratorio

R. D. B. Ruiz^{1*} , A. C. Lordsleem Júnior¹ , J. H. A. Rocha² 

*Autor de Contacto: Ramiro.DBR@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>

Recepción: 07/10/2020 | Aceptación: 13/12/2020 | Publicación: 01/01/2021

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el uso de VANT como herramienta visual para la inspección de manifestaciones patológicas en fachadas a través de un estudio exploratorio. En la actualidad, los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT) asumen una creciente relevancia en la construcción civil como nuevo mecanismo de obtención de datos e inspección visual, optimizando el tiempo. La estrategia de investigación considera tres etapas distintas: revisión bibliográfica, el procedimiento experimental y, finalmente, el procesamiento de datos, con el objetivo de verificar la viabilidad del procedimiento de inspección. Se evidencia la conveniencia de utilizar el VANT particularmente donde el acceso es difícil, lo que puede reducir tiempo, costos y generar mayor seguridad, además de la reconstrucción 3D de la edificación para ser inspeccionada y generar diagnósticos más certeros.

Palabras clave: VANT; inspección predial; inspección visual; monitoreo; fotos aéreas.

Citar como: Silva, Ruiz, R. D. B., Lordsleem Júnior, A. C., Rocha, J. H. A. (2021), “Inspección de fachadas con Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT): estudio exploratorio”, Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. x-x, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>

¹ Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

² Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Tecnología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia.

Contribución de cada autor

Neste trabalho, o autor R.D.B Ruiz contribuiu com ideia original, experimentação, coleta de dados, redação do trabalho e a discussão de resultados, o autor A.C. Lordsleem Júnior contribuiu com redação do trabalho e a discussão de resultados, e o autor JHA Rocha contribuiu com a revisão da redação do trabalho e a discussão de resultados.

Licencia Creative Commons

Este trabajo está publicado bajo los términos de una Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 Internacional ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2021 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2021.

Inspection of facades with Unmanned Aerial Vehicles (UAV): an exploratory study

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) as a visual tool for the inspection of pathological manifestations in facades, through an exploratory study. Currently, the relevance of UAVs is growing as a new mechanism for obtaining data and visual inspection of buildings, optimizing time. The research strategy had three distinct steps: a literature review, an experimental procedure, and data processing, aiming to verify the viability of the inspection procedure. There is evidence of the convenience of UAV use, particularly where access is difficult, which reduces time and cost, generates greater security, and allows 3D reconstruction of the building under inspection, generating more accurate diagnoses.

Keywords: UAV; property inspection; visual inspection; monitoring; aerial photos.

Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório

RESUMO

O objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar o uso de VANT como ferramenta visual para a inspeção de manifestações patológicas em fachadas a través de um estudo exploratório. Na atualidade, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) assumem uma crescente relevância na construção civil como novo mecanismo de obtenção de dados e inspeção visual, otimizando o tempo. A estratégia de pesquisa considera três etapas distintas: revisão bibliográfica, o procedimento experimental e, finalmente o processamento de dados, objetivando verificar a viabilidade do procedimento de inspeção. Evidencia-se a conveniência de utilização do VANT particularmente onde o acesso é difícil, o que pode reduzir tempo, custos e gerar maior segurança, além da reconstrução 3D da edificação para ser inspecionada e gerar diagnósticos mais certos.

Palabras clave: VANT; inspeção predial; inspeção visual; monitoramento; fotos aéreas.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

La inspección visual de fachadas en las edificaciones es una actividad que tiene como objetivo evaluar el estado de conservación del cerramiento vertical y los diferentes elementos que la componen, ofreciendo directrices para un mantenimiento eficaz y de costo-beneficio adecuado. Con esa práctica se puede garantizar el buen funcionamiento del sistema de cerramiento vertical, permitiendo cumplir las funciones para las cuales fue construido y posiblemente ser extendida a su vida útil (Pires et al., 2015; Flores-Colen et al., 2008).

Para ese fin, la metodología eficaz que reduce tanto el tiempo como el costo de esa actividad es la inspección visual con uso del Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT) (Melo y Costa, 2015). Con ayuda de esa tecnología es posible realizar la filmación completa y captura de fotografías en alta resolución HD (High Definition) de todos los principales puntos investigados. La investigación detallada puede registrar problemas no observados a simple vista de la planta baja, como por ejemplo: filtraciones, desprendimiento o perforaciones del revestimiento y/o fisuras y grietas en la fachada (Tondelo y Barth, 2019).

Actualmente en Brasil la inspección visual de edificaciones es realizada, en su mayoría, por el método tradicional. El profesional de esta actividad profesional (alpinismo industrial) puede realizar la verificación visual y el registro fotográfico de los principales puntos a ser analizados, no obstante, las variables costo y tiempo son superiores cuando son comparadas con la aplicada con uso de VANT. Según datos divulgados por el Ministerio Público, 40% de los accidentes de trabajo en Brasil están relacionados con las caídas de trabajadores en altura (EXAME, 2018).

Así, esta herramienta denominada VANT se refiere a una clase de aeronaves pilotadas remotamente o de forma automática a través del uso de coordenadas pre-definidas, siendo una tecnología emergente conocida por su papel en aplicaciones militares (Irizarry y Costa, 2016).

Más recientemente, tanto en Brasil como en otros países el uso potencial de esos vehículos aéreos en ambientes civiles se viene haciendo cada día más común en áreas como agricultura, silvicultura, arqueología, arquitectura y construcción civil (Roca et al., 2013; Máthé y Buşoniu, 2015; Morgenthal y Hallermann, 2015; Nikolic et al., 2013; Hung et al., 2018; Yang et al., 2015; De Melo et al., 2017; Falorca y Lanzinha, 2020).

Apenas en el año de 2017 fue publicada por la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC) la normativa brasileña que regula los requisitos generales para las aeronaves no tripuladas de uso civil, la norma de Regulación Brasileña de Aviación Civil Especial – RBAC –E nº 94 (ANAC, 2017). Esta regulación especial establece las condiciones para la operación de VANT en territorio brasileño considerando el estado del desarrollo actual, buscando promover su uso seguro y sustentable.

El uso de VANT en la industria de la construcción civil aún es limitado (Melo y Costa, 2015), aun cuando se perciba que esa tecnología puede ser utilizada de diversas maneras. En este contexto, merece una destacada atención la realización de la inspección visual en construcciones civiles de gran porte para verificar las condiciones de desempeño y determinar medidas preventivas y correctivas que se hagan necesarias, en virtud de la inherente complejidad (altura, tamaño, dificultades de acceso y condiciones exposición). El VANT puede reducir el tiempo de estas operaciones de monitoreo, bien como auxiliar en otros procesos de inspección que pueden colocar en riesgo la vida humana (Álvares et al., 2016).

En este sentido, el objetivo de esta investigación es evaluar el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT) como herramienta visual para la inspección de manifestaciones patológicas en fachadas a través de un estudio exploratorio, con el propósito de verificar la viabilidad de su uso y visando el desarrollo de directrices que integran la recolección de imágenes aéreas, procesamiento de datos y análisis visual.

2. VANT EN LA INSPECCIÓN VISUAL

Existen diferentes tipos de VANT útiles para el propósito de la inspección visual en la industria de la construcción civil. Entre ellos los sustentados por medio de alas rotatorias, cuando son comparados con los de alas fijas, permiten desplazamientos más rápidos y mayor versatilidad en los vuelos, ellos son efectivos en la recolección de imágenes horizontales en áreas de mediana extensión como fue aplicado en el caso de estudio de Vera (2016).

Del mismo modo, la versatilidad de esta aeronave permite su movimiento en todos los ejes posibles, siendo eficaz en la captura de imágenes verticales simples y verticales oblicuas como es presentado en los casos de estudio de Mader et al. (2016), Morgenthal y Hallermann (2015) y Reagan et al. (2018) en la detección de superficies ó elementos específicos, constituyendo así, una herramienta útil para la inspección visual del cerramiento vertical ó como en el caso de estudio de Irizarry y Costa (2016), una herramienta visual para la gerencia del cantero de obra. En la Figura 1 es presentado el resumen de las principales ventajas y desventajas de los vehículos con alas fijas y rotatorias.

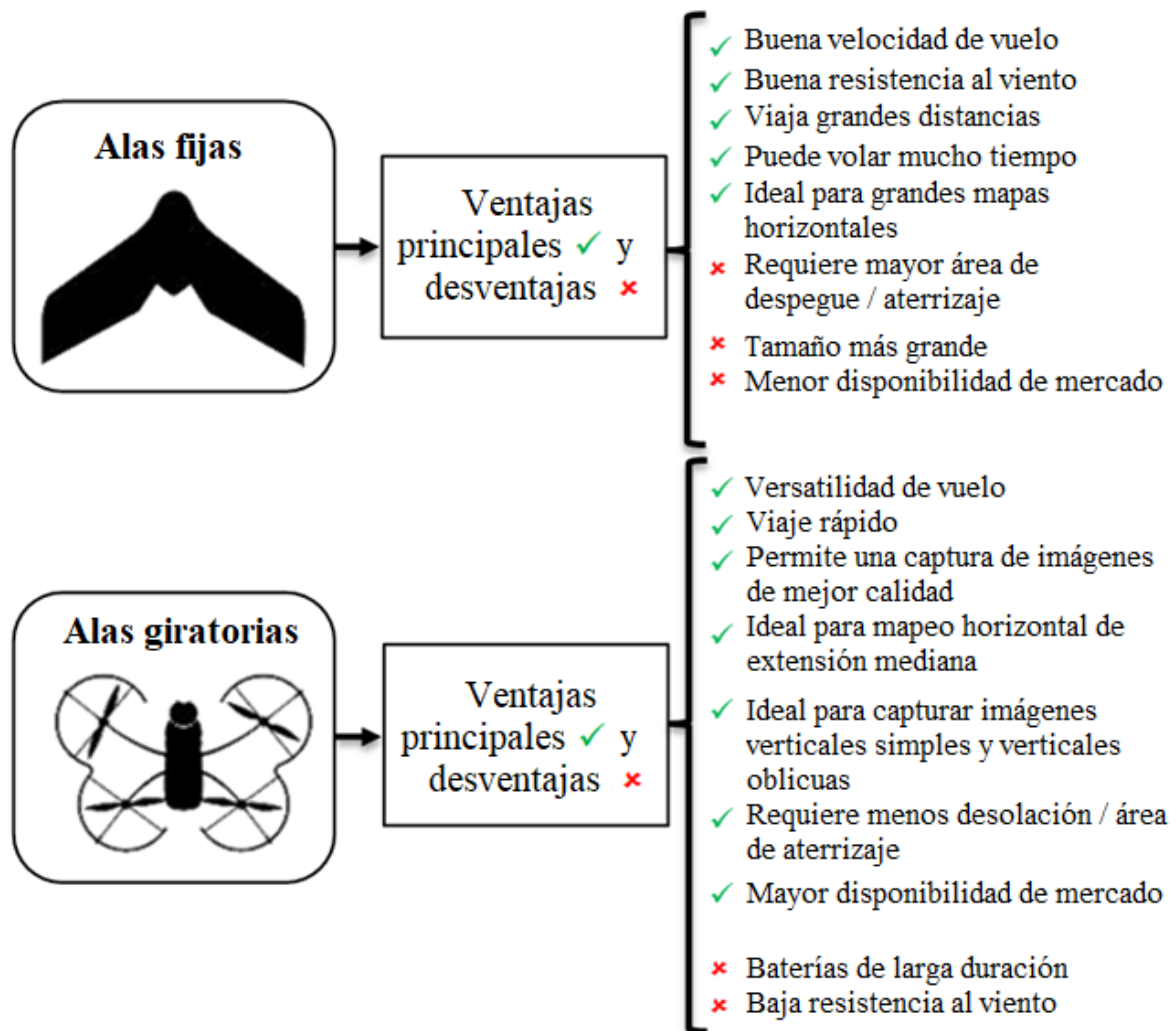


Figura 1. Ventajas y desventajas del VANT en Función al tipo de alas.

Según *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2017) cualquier aeronave destinada a volar sin un piloto a bordo es referida como RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*). Los VANT de alas rotatorias usados en los estudios se ajustan a la clasificación RPAS Clase 3 de la ANAC,

en consecuencia tiene restricciones y requerimientos menores para los vuelos de estas aeronaves, viabilizando su uso en áreas urbanas y canteros de obras (Brasil, 2017).

Del mismo modo esos vehículos comúnmente son simples de pilotar, la sustentación es dada por el conjunto de motores controlados por un sistema electrónico sofisticado que generalmente garantiza una buena estabilidad de la aeronave, que permite despegue y aterrizaje vertical. Por tanto, son la opción principal para cargar cámaras y otros objetos sin grandes desplazamientos del punto de despegue. En la Figura 2 son presentadas las características mínimas sugeridas para el equipo con el propósito de la inspección visual de fachadas.

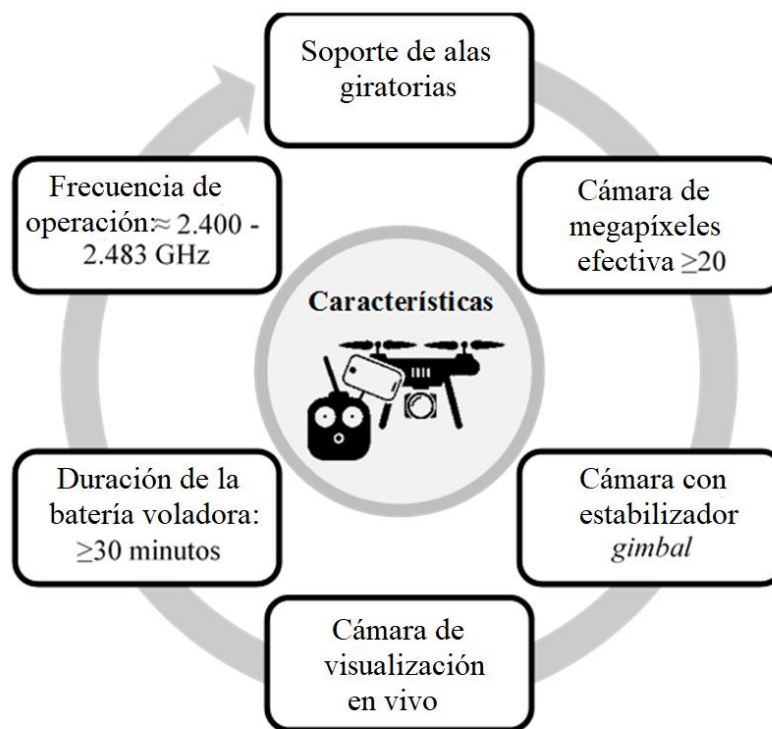


Figura 2. Características mínimas del equipo para la inspección visual de fachadas.

Vale aclarar que la facilidad de adquisición de un VANT actualmente no hace al usuario apto para pilotar el equipo. Existen reglas, normas y procedimientos para hacerse piloto de un Vehículo Aéreo No Tripulado (Aguilar, 2018), éstas son especificadas en las RBAC-E n° 94. Resolución n. 419 (Brasil, 2017).

En los últimos años ha habido un aumento en el uso de VANT para la inspección de estructuras civiles, específicamente edificaciones, debido a su largo alcance, aplicaciones de fotogrametría área, registro eficiente de datos, velocidad, seguridad y reducción de costos entre otros (Izarry y Costa, 2016; Shariq y Hughes, 2020; Groso et al., 2020). En la Figura 3 las ventajas reportadas del uso de VANT en la revisión bibliográfica son comparadas a uno de los métodos tradicionales más utilizados, o alpinismo.

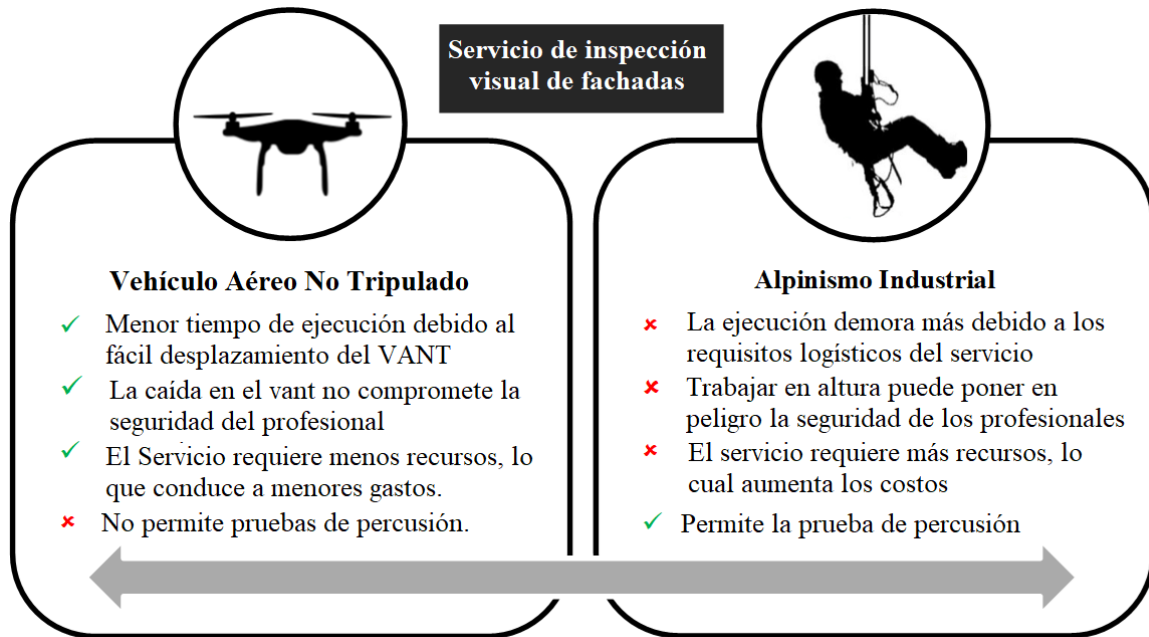


Figura 3. Comparación de procedimientos de inspección visual de fachadas.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Basados en directrices inferidas de la revisión bibliográfica y buscando verificar la viabilidad del uso de VANT para la inspección de manifestaciones patológicas de fachadas, se escogió el Instituto de Innovación Tecnológica (IIT) de la Universidad de Pernambuco. El edificio (Figura 4) del instituto posee cuatro pisos y está localizado en el PARQTEL (Parque Tecnológico de Electroelectrónicos) de Pernambuco, en la urbanización de curado (Figura 4). Esta edificación fue seleccionada por sus características geométricas (múltiples fachadas) y su localización aislada en relación a otros edificios en la localidad, característica ideal para el entrenamiento y perfeccionamiento de los vuelos con el VANT y el desarrollo de los protocolos de vuelo.

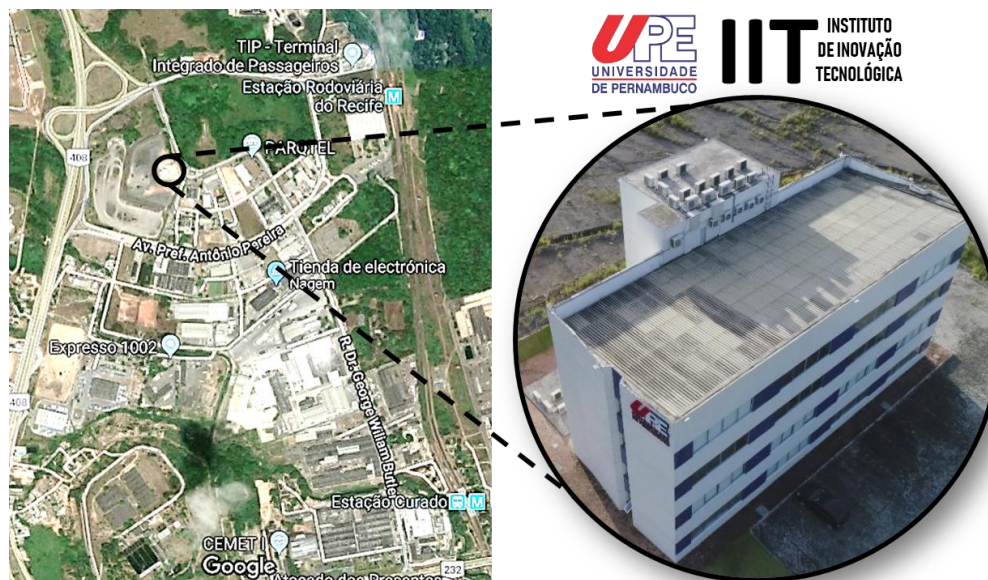


Figura 4. Instituto de Innovación Tecnológica da UPE. Adaptación de Google (2018).

Enseguida, fue realizado el entrenamiento en lo referente a la operación del VANT, en esta fase fueron realizados vuelos de ensayos en la edificación, con el objetivo de recolectar datos y analizar los ítems posibles de ser visualizados a través de los activos visuales obtenidos, a fin de refinar el método de recoleta y los procedimientos técnicos necesarios para que tal operación ocurra dentro de los criterios de seguridad exigidos. En resumen, esta etapa incluyó el entrenamiento de la tecnología, así como la comprensión técnica del equipo a ser usado.

Para la ejecución de los levantamientos de campo, se usó el VANT modelo Phantom 4 Pro V2.0, fabricado por la DJI, equipado con cámara de 1" e 20 MP, siendo capaz de grabar videos en 4K 60 fps (fotos por segundo) y disparar en modo de disparo continuo a 14 fps. Dirigido por un mando a distancia con display HD de alta iluminación incorporada, además de poseer una batería de litio que ofrece 30 minutos de tiempo de vuelo máximo. La Tabla 1 presenta algunas características adicionales del Phantom 4 Pro V2.0.

Tabla 1. Características técnicas del Phantom 4 Pro V2.0

Especificaciones	Phantom 4 Pro V2.0
Peso (batería y hélices incluidas)	1388 g
Tiempo máximo de vuelo	30 min
Sistema de visión	Frente, atrás y abajo
Detección de obstáculos	Delantero y posterior
	Infrarrojo izquierdo y derecho
Sistema de transmisión de vídeo	<i>Lightbridge</i>
Lente	FOV 84 ° 8,8 mm/24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2,8 - f/11 foco automático a 1 m - ∞
Frecuencia de operación	2,4 GHz/5,8 GHz
	La transmisión de 5,8 GHz no está disponible en algunas regiones debido a las regulaciones locales

Fuente: DJI (2017)

La estrategia de captura de datos siguió los conceptos básicos de fotogrametría digital, visando el paralelismo entre sus posiciones y la perpendicularidad al plano del objeto de interés, como demostrado en la Figura 5, es que cada parte del objeto fuese fotografiado por al menos en dos posiciones diferentes, garantizando la sobre posición de las imágenes (Groetelaars, 2015). Esos aspectos son importantes para maximizar los procedimientos referentes a las correlaciones requeridas para la construcción de orto mosaicos o reconstrucciones tridimensionales.

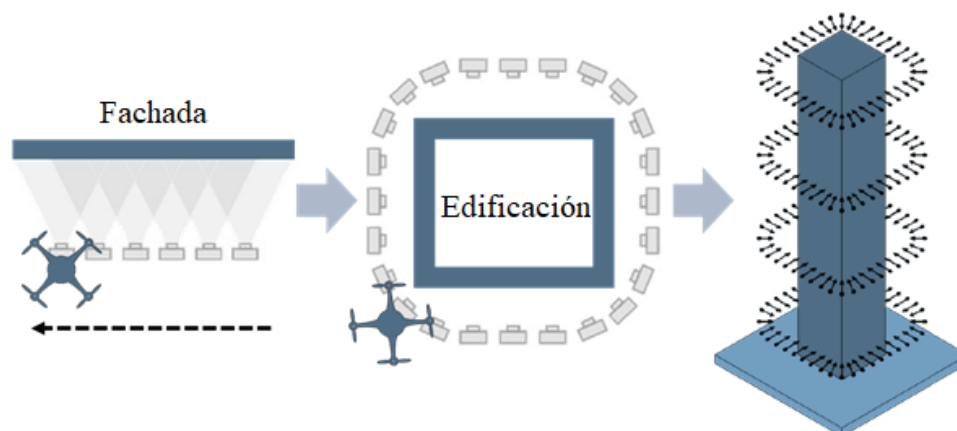


Figura 5. Estrategia para la Captura de imágenes. Adaptación de Melo Jr (2016).

En total fueron realizados 8 vuelos experimentales en 4 ensayos de campo, ya que se contabiliza la realización de un vuelo a cada despegue y aterrizaje, inclusive para el cambio de la memoria SD o recargar la batería.

Los protocolos de las actividades a realizar incluyen, completar el formulario para la reunión de planificación (estandariza la colecta de datos para la elaboración del plan de vuelo, definiendo los puntos de despegue y aterrizaje e indicando las áreas recubiertas para modelaje 3D); y el checklist para la misión con VANT (registro de datos técnicos del vuelo, además de checklist de todos los procedimientos necesarios para la operación del VANT en condiciones adecuadas de seguridad). Los ensayos fueron iniciados en agosto de 2018, resultando en aproximadamente 2 horas y 30 minutos de vuelo para entrenamiento, según lo presentado en la Tabla 2 en la planilla *Flight Log* (relación de todos los datos físicos de los vuelos, registrados en la aplicación a ser adoptada y en el *Checklist* para la misión). Entre las informaciones registradas durante el vuelo por medio de la App DJI Go, se destaca, la cantidad de activos visuales colectados (fotos y videos), distancia, altitud máxima, duración de vuelo, sobre posición fotográfica y velocidad de vuelo.

Tabla 2. Datos de vuelos experimentales (Planilla *Flight Log*)

Nº	Hora	Número de fotos	Distancia (m)	Altitud máxima (m)	Duración de vuelo (min)	Sobre posición fotográfica (%)	Velocidad de vuelo (km/h)
1	11:14	2	20	5	15	0	10
2	11:40	35	8	16	12	75	4
3	09:52	108	4	24	27	75	3
4	11:31	95	4	35	28	75	3
5	14:15	42	6	92	8	75	3
6	14:27	67	8	35	19	75	4
7	15:50	87	8	36	25	75	4
8	15:25	35	50	120	24	90	10

4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Luego de la verificación de la calidad de los activos visuales, se evidencia que las fotos tomadas en los vuelos número 2, 6 y 7, presentan una excelente calidad visual y óptima relación de distancias, a 8 m de la fachada, y, en consecuencia, a una distancia entre las estaciones de 1,8 m en sentido vertical y de 3,2 m en sentido horizontal.

Según Ballesteros (2020) y Pierrot-Deseilligny et al. (2011), esa relación entre la distancia de la posición de las estaciones en la toma fotográfica y distancia de las estaciones para la fachada fotografiada resulta ideal para la reconstrucción 3D, visto que se esa relación fuese muy pequeña, la correlación automática de los puntos es facilitada, pero la precisión geométrica en la reconstrucción digital de la fachada se perjudica.

Por consiguiente, las 189 fotografías tomadas a 8 m de la fachada fueron seleccionadas para el procesamiento, las mismas fueron procesadas utilizando la técnica Stereo Matching, siendo el proceso de encontrar puntos correspondientes (Smartmatches) en dos o más imágenes.

Así, la reconstrucción en 3D es posible desde que existan por lo menos 2 imágenes de la misma escena, obtenidas de posiciones diferentes (centros de proyecciones distintos) tal que, conociendo la posición, la orientación y la distancia focal, es posible encontrar la posición de un punto en el espacio a partir de las coordenadas bidimensionales de las imágenes por el principio de la geometría epipolar, logrando encontrar las relaciones geométricas entre los puntos 3D a partir de sus

proyecciones más las imágenes 2D (Melo Jr., 2016).

En otras palabras, el software de digitalización basadas en fotografías compara pequeñas áreas compuestas por un conjunto de Píxeles de la imagen digital presentes en dos o más fotos que a su vez, son formadas por las texturas o marcas de contrastes de la superficie del objeto o escena. El proceso de comparación va hasta el programa encontrar las mejores correspondencias entre las imágenes. Cuando estas correspondencias óptimas o ideales son encontradas, la información de la posición y orientación ya computada para las fotografías es usada para calcular la localización del punto en el espacio.

Para eso el software de Stereo Matching seleccionado para la reconstrucción en 3D fue el *Agisoft PhotoScan*. Esta etapa de investigación tuvo por objetivo la definición de los procedimientos y etapas necesarias para el desarrollo adecuado del mapeamiento 3D y generación de orto mosaicos con uso del VANT. Por consiguiente, la correspondiente secuencia de las etapas de procesamiento en el *software Agisoft PhotoScan* y los parámetros utilizados en dicho procesamiento es descrito en la Tabla 3.

Tabla 3. Flujo de trabajo y parámetros usados *Photo Scan Agisoft*.

Etapas	Parámetros	
1.- Align Photos	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>
	<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>
	Nube Esparsa:	31.578
2.- Build Dense Cloud	<i>Quality:</i>	<i>High</i>
	<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>
	Nube densa:	22.767.991
3.- Build mesh	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>
	<i>Face count:</i>	<i>High</i>
	Faces:	533.755
4.- Build texture	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>
5.- Build Orthomosaic	<i>Type</i>	<i>Planar</i>
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera etapa del procesamiento consistió en el alineamiento de las imágenes (*Align Photos*), en el cual *Agisoft PhotoScan* busca semejanzas entre las imágenes. El resultado final es la generación de la nube de Tie Points o puntos de amarre, ella es el producto básico para la generación de la nube de puntos densificados, modelos 3D y punto de conexión entre las orto fotos en el proceso de mosaico y generación de las orto fotos.

En esta etapa también fueron insertados los puntos de apoyo colectados en campo utilizados para mejorar la precisión posicional de la nube de puntos, seguido de la eliminación de los puntos no deseados o ruidos, como: las áreas de superficie mal capturadas, áreas pertenecientes a otros objetos y puntos distantes. Obteniendo como resultado final de esta etapa el modelo presentado en la Figura 6, una nube de puntos escasa o de baja densidad, que también define la geometría de la edificación. En la segunda etapa fue construida la *Dense Cloud* ó nube densa de puntos 3D con el filtrado de los puntos no deseados o ruidos. Así, a partir de las posiciones estimadas de la cámara, el software calcula las informaciones de profundidad para cada cámara para ser combinadas en un único punto de la nube densa.

En la configuración de la densificación se seleccionó en el nivel más alto, generando más de 22 millones de puntos. La principal función de esta etapa es densificar la nube de puntos generada en el proceso anterior, básicamente el software va a aumentar la cantidad de puntos de la nube de puntos disminuyendo los espacios vacíos para representar mejor el área mapeada, el modelo generado en esta etapa es presentado en la Figura 7, con la mayoría de los detalles geométricos de la edificación reconstruidos digitalmente.

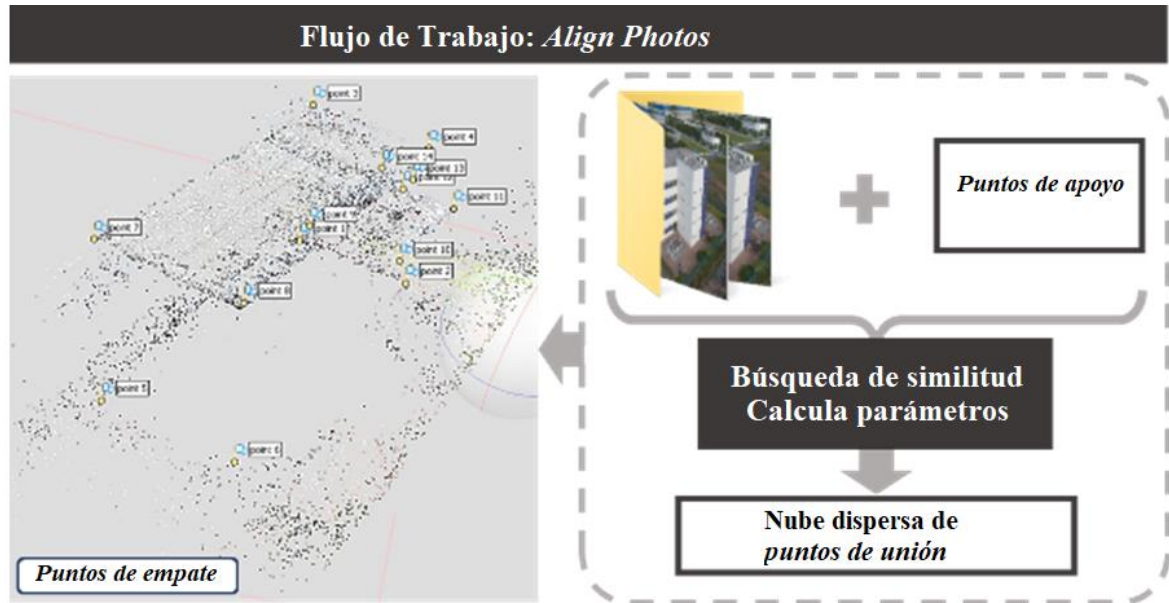


Figura 6. Nube de *Tie Points* IIT-UPE.

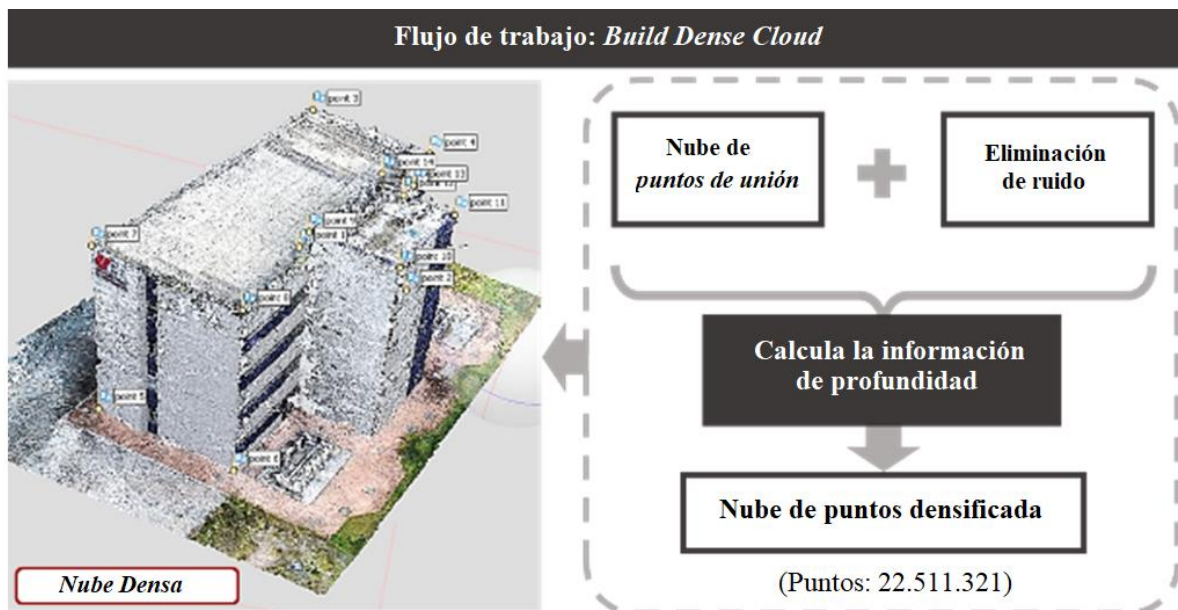


Figura 7. Nube de puntos Densificada IIT-UPE.

En la tercera etapa fue construida la *Mesh* o malla, generada a partir del agrupamiento de vértices de la nube densa de puntos. El modelo 3D generado en esta etapa es presentado en la Figura 8, con más de 500 mil caras o polígonos adyacentes, compartiendo aristas de la superficie de frontera del objeto.

Note que la cantidad necesaria de las caras para un modelo estará relacionada al nivel de detalle

que se espera de un modelo y cuanto mayor es ese nivel, mayor también será el costo computacional, es decir, tiempo necesario para el procesamiento y desempeño requerido del hardware. Si el modelo es generado a partir de la nube de puntos escasa, naturalmente la cantidad de caras y vértices se reducirá.

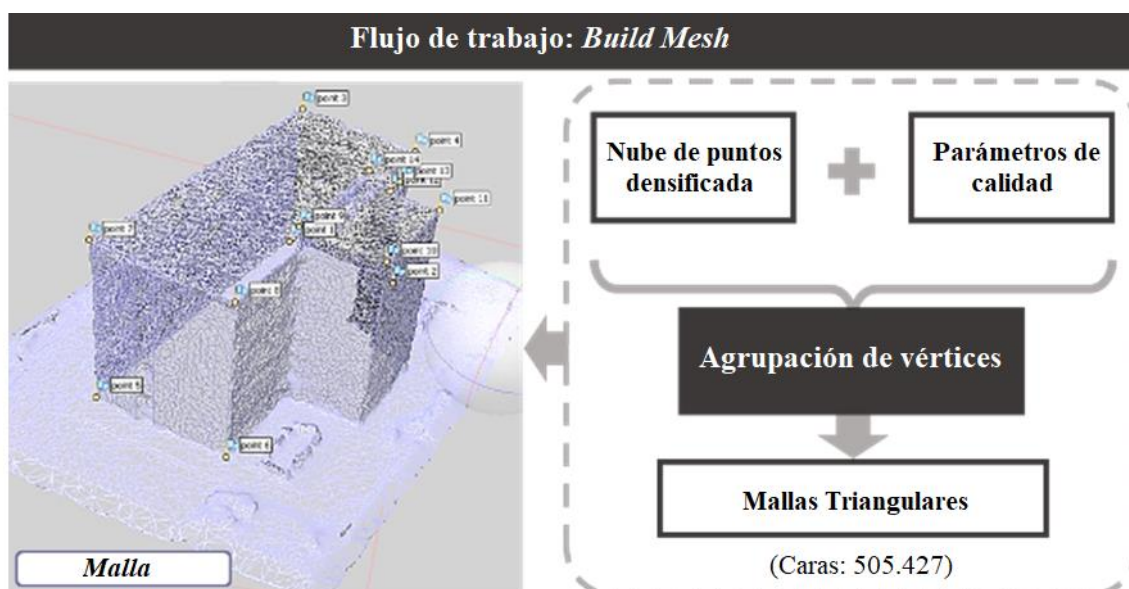


Figura 8. Modelo de Malhas Triangulares IIT-UPE.

En la quinta y última etapa, para generar el orto mosaico inicialmente fue realizado el proceso de orto rectificación de las imágenes, donde las características de las imágenes son proyectadas ortogonalmente, con escala constante, no presentando desplazamientos debidos a la inclinación de la cámara. Con las imágenes debidamente corregidas el software realiza el mosaico de las orto fotos y crea un único producto.

En la cuarta etapa, el objetivo es solamente aplicar una textura en el modelo tridimensional para mejorar su aspecto visual, con el propósito de permitir la visualización de fallas en la fachada. El modelo 3D texturizado generado en esta etapa es presentado en la Figura 9.

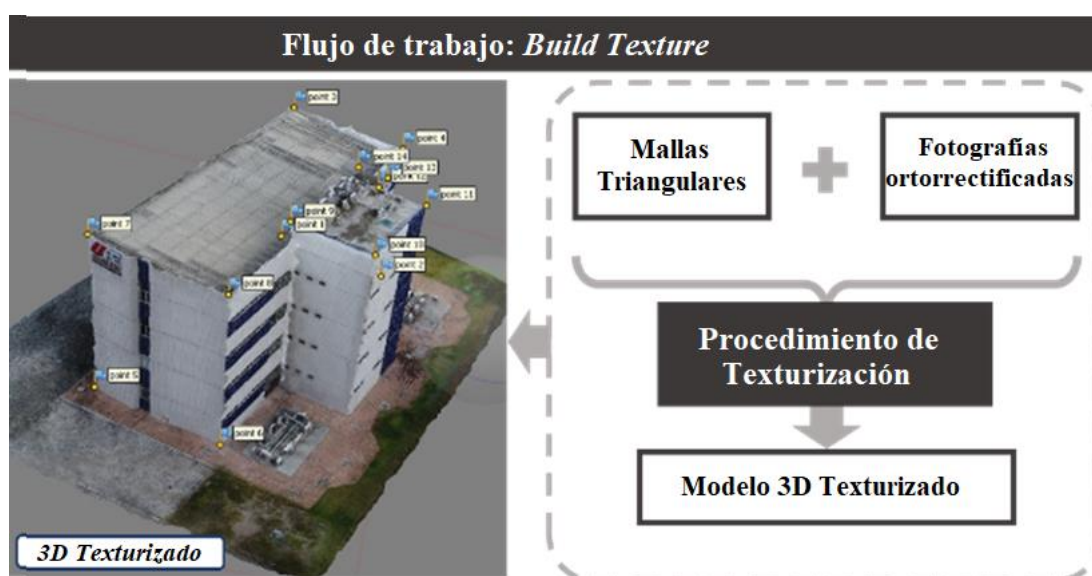


Figura 9. Modelo Texturizado IIT-UPE.

El *software Agisoft PhotoScan* permite que orto mosaicos sean exportados a partir de los modelos generados anteriormente. Para ejemplificar, la Figura 10 presenta el orto mosaico correspondiente a la fachada Sur de la edificación IIT.

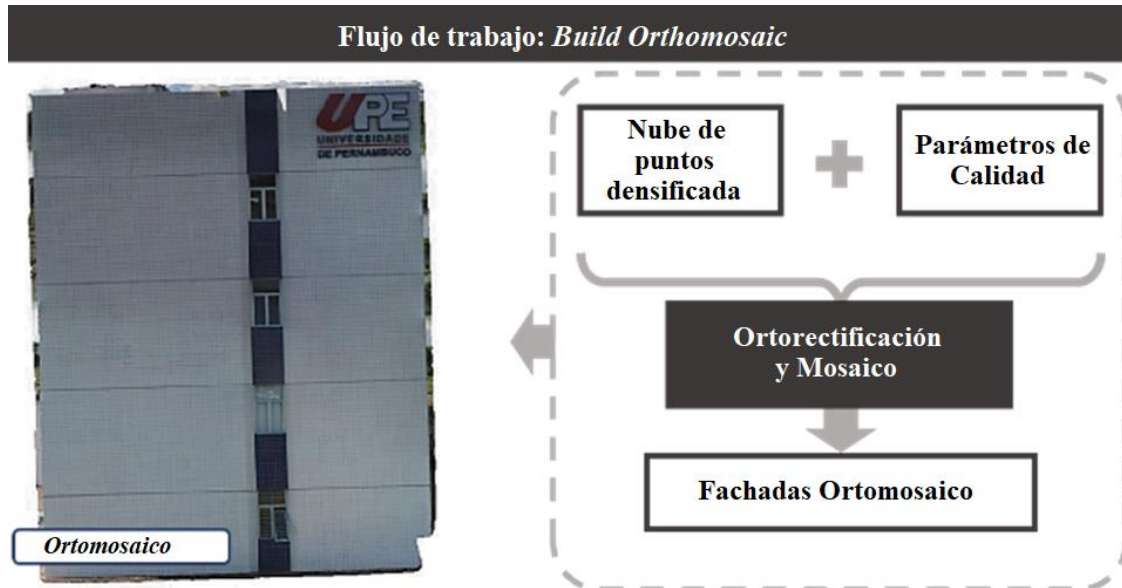


Figura 10. Modelo Orto mosaico de la Fachada Sul IIT-UPE.

El producto final del procesamiento proporcionó el modelo digital 3D mostrado en la Figura 11, con resultado satisfactorio en términos de su reconstrucción geométrica, es exportable en varios formatos para sus diversos usos, de acuerdo con la aplicación que se desea.

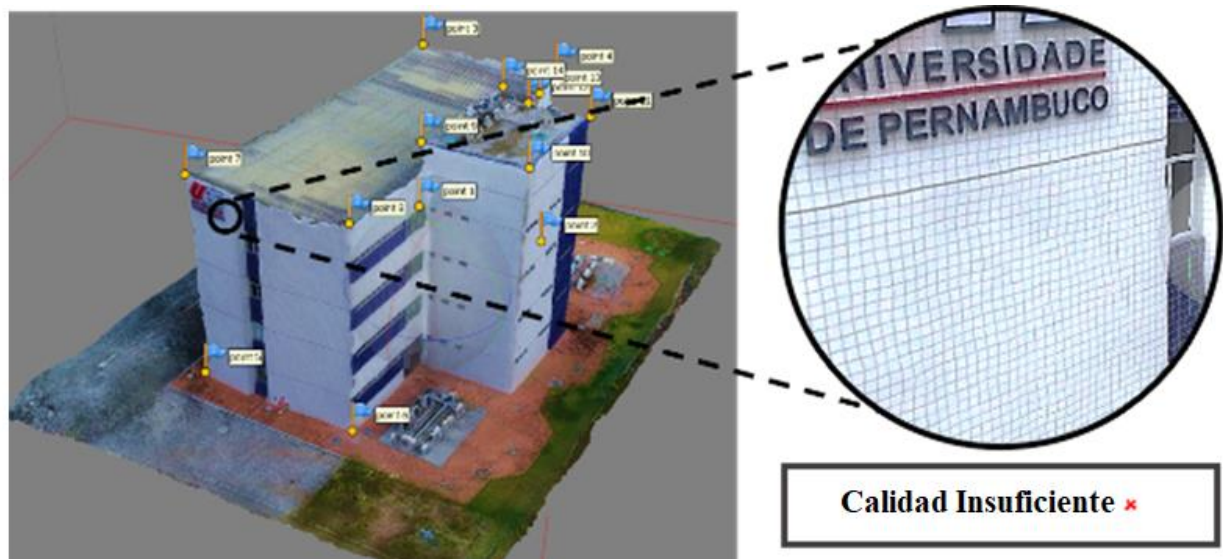


Figura 11. Producto final Modelo 3D Texturizado IIT-UPE

Entre tanto, la calidad de este modelo es insuficiente para el propósito de detección de fallas en las fachadas, esto es debido a que el modelo presenta distorsiones en fachadas texturizadas.

Autores como Roca et al. (2018) y Rakha y Gorodetsky (2018) también generaron modelos 3D en sus respectivos estudios, destacando algunas limitaciones. Rodríguez-Gonzálvez et al. (2014) también señalan que la reconstrucción 3D posee limitaciones en cuanto a calidad e integridad de la estructura inspeccionada.

Para un resultado más perspicaz, fueron criados los orto mosaicos de cada fachada de la edificación. Esas imágenes orto rectificadas alcanzan la calidad suficiente para el procedimiento de detección de manifestaciones patológicas por inspección visual.

Eso es demostrado en la Figura 12, en la cual el orto mosaico de la fachada sur permitió el descubrimiento de fisura del revestimiento cerámico, inicio de eflorescencia en la fachada y, fallas surgidas de procesos biológicos (Moho).

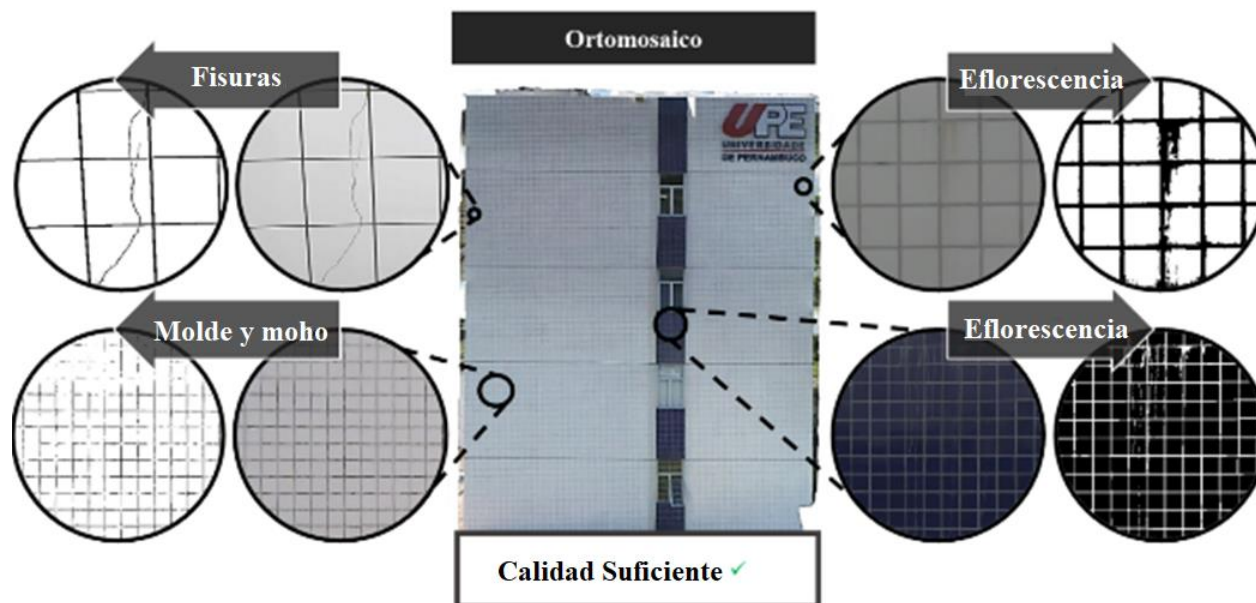


Figura 12. Detección de Manifestaciones Patológicas en la Fachada Sur IIT-UPE.

Finalmente, luego de la elaboración de la revisión bibliográfica y el desarrollo del estudio experimental, se percibe la viabilidad del uso de VANT para o servicio de detección de manifestaciones patológicas en fachadas, como también fue reportado en la investigación de Tondelo y Barth (2019).

El uso de VANT para la inspección de fachadas se presenta como una alternativa al método tradicional, proporcionando las informaciones necesarias para el diagnóstico de estructura. Los resultados son obtenidos cuando se dispone de un VANT con multi rotor y una cámara HD, según lo utilizado en la presente investigación e indicado por Falorca y Laninha (2020).

A pesar de que el presente estudio se haya limitado al uso de VANT como herramienta visual para la inspección de manifestaciones patológicas de fachadas; sin embargo, el uso de diferentes técnicas, como técnicas de aprendizaje profundo (*deep learning*) pueden ser combinadas para auxiliar y automatizar la inspección visual, según propuesta de Ruiz et al. (2021).

Se observa la necesidad de creación de un procedimiento que permita estructurar paso a paso la técnica para el servicio de la inspección visual de fachadas con uso de esta tecnología. El procedimiento abarcaría un protocolo de vuelo adecuado para esos fines además de idealizar las etapas de captura, almacenamiento, procesamiento y post procesamiento de datos. Por consiguiente, se conseguiría garantizar las ventajas vislumbradas de este procedimiento en relación al modelo tradicional de inspección, que incluye alpinismo industrial.

6. CONCLUSIONES

Luego de la elaboración de este estudio, se percibió la importancia de la elección correcta del VANT para las diferentes funciones que puede cumplir, ellos presentan grandes ventajas y desventajas de acuerdo a las diferentes características de diseño, principalmente en función del tipo de sustentación: por alas rotatorias o alas fijas. Para el caso específico de inspección visual de fachadas, como ya fue abordado, son ideales los vehículos con alas rotatorias, cardán y cámara aérea, permitiendo agilidad y calidad en la filmación y captura de imágenes en alta resolución (*high definition* - HD) de los diferentes puntos del cerramiento vertical o elemento de análisis. Así, ese procedimiento preciso puede exponer problemas no observados a simple vista de planta baja, como, por ejemplo: filtraciones, desprendimiento, moho, grietas y fisuras en el revestimiento.

La conveniente referencia de este tipo de VANT en la legislación brasileña y sus restricciones menores, permiten la comercialización en más accesibles al público. También es recomendado verificar que el vehículo cumple las características mínimas antes discutidas. En la actualidad el VANT comercial aún tiene limitaciones técnicas, principalmente en la duración da batería y capacidad de carga, por tanto, se observa que las perspectivas futuras apuntan al desarrollo continuo de esta tecnología, mitigando así dichas limitaciones y ampliando el escenario de esta tecnología dentro de la industria de la construcción civil.

De acuerdo con el procedimiento experimental y los resultados preliminares, cabe destacar que el *software Agisoft PhotoScan* permite un amplio rango de operación en cuanto a la calidad del resultado, desde resultados de baja resolución a resultados altamente elaborados, con un costo computacional creciente en este sentido.

En lo que respecta al análisis de la calidad de los mapeamientos 3D desarrollados, en adecuación al uso propuesto, con base en resultados obtenidos es posible afirmar que la calidad de los modelos 3D texturizados aún no alcanzan la calidad suficiente para el propósito de detección de patologías en las fachadas, a pesar de que su uso aún no haya sido descartado, a partir del precepto que esa calidad puede ser mejorada con cámaras más potentes y procedimientos de captura de imagen más entrenados. Por otro lado, los orto mosaicos generados a partir de estos modelos, tienen la calidad requerida para la inspección visual. En fin, los activos visuales obtenidos apuntan a que ambos pueden ser adecuados para el uso propuesto, presentando resultados generales de satisfacción.

Hay evidencias suficientes que enfatizan las diferentes ventajas del uso de este vehículo como herramienta eficiente y flexible para la inspección en la industria de la construcción civil. Esas ventajas permiten un servicio con mayor seguridad, mayor velocidad y costos más bajos, exigiendo menos recursos comparando con el método tradicional de alpinismo industrial. Así, con el desarrollo cada vez mayor de esta tecnología, aliada a otros tipos de cámaras y sensores, permite el acceso a locales antes inaccesibles al ser humano y a otras tecnologías, vislumbrando su uso no apenas a la inspección visual de fachadas, pero también en otras áreas de la construcción civil.

7. AGRADECIMIENTOS

This study was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil - (CAPES) - Financing Code 001.

8. REFERENCIAS

- Agostinho, S. L. (2012), “*Inspeção e Monitorização de Estruturas em Engenharia Civil – Utilização de UAV na Inspeção e Monitorização*”, Masther’s Thesis, Universidade da Madeira, p. 105.
- Álvares, J., Costa, D. B., Melo, R. R. S., Bello, A. (2016). “*Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando veículos aéreos não tripulados*” in: VI ENTAC, São Paulo: São Paulo (Brasil).
- Ballesteros, R. (2020), “*Inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT): estudo exploratório*”, Masther’s Thesis, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, p. 220.
- Brasil. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil - RBAC-E nº 94. Resolução n. 419, 2 de maio de 2017. Brasília, 2017.
- De Melo, R., Costa, D., Álvares, J., Irizarry, J. (2017), *Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites*. Safety Science. 98:174-185. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008>
- DJI (2017). Phantom 4 Pro Homepage. Recuperado em 26 de setembro de 2020 de https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_EN.pdf
- Emelianov, S., Bulgakow, A., Sayfeddine, D. (2014). “Aerial laser inspection of buildings facades using quadrotor” in: Creative Construction Conference, Prague (Czech Republic).
- EXAME. Revista Online Grupo Abril. (2016). Recuperado em 26 de setembro de 2020 de <https://www.exame.abril.com.br>
- Falorca, J. F., Lanzinha, J. C. G. (2020). *Facade inspections with drones—theoretical analysis and exploratory tests*. International Journal of Building Pathology and Adaptation, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-07-2019-0063>
- Flores-Colen, I., De Brito, J., De Freitas, V. (2018). *Stains in facades’ rendering – Diagnosis and maintenance techniques’ classification*. Construction and Building Materials. 22(3):211-221. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.023>
- Groetelaars, N. J. (2015), “*Criação de modelos BIM a partir de nuvens de pontos: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica*”, Doctoral Dissertation, Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Brasil.
- Grosso, R., Mecca, U., Moglia, G., Prizzon, F., Rebaudengo, M. (2020). *Collecting Built Environment Information Using UAVs: Time and Applicability in Building Inspection Activities*. Sustainability. 12:4731. <https://doi.org/10.3390/su12114731>
- Hung, M. N. W. B., Sampaio, T. V. M., Schultz, G. B., Siefert, C. A. C., Lange, D. R., Marangon, F. H. S., Santos, I. (2018). *Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa*. Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise. 43:215-231. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.56621>
- ICAO - International Civil Aviation Organization. (2017). Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) concept of operations for international IFR operations. ICAO (USA), p. 30.
- Irizarry, J., Costa, D.B. (2016). *Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks*. Journal of Management in Engineering. 32(3):1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000422](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000422)
- Kim, S., Irizarry, J., Costa, D. B., Mendes, A. T. C. (2016). “*Lessons learned from unmanned aerial system-based 3D mapping experiments*” in: 52nd ASC Anual International Conference, Provo: Utah (USA).

- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P., Kleijnen, J., Moher, D. (2009). *The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration*. BMJ, 339:b2700–b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Mader, D., Blaskow, R., Westfeld, P., Weller, C. (2016). *Potential of UAV-Based laser scanner and multispectral camera data in building inspection*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLI-B1:1135-1142. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-1135-2016>
- Máthé, K., Buşoniu, L. (2015). *Vision and Control for UAVs: A Survey of General Methods and of Inexpensive Platforms for Infrastructure Inspection*. Sensors. 15(7):14887-14916. <https://doi.org/10.3390/s150714887>
- Melo Jr., C. M. (2016), “*Methodology for generating façade damage maps from unmanned aerial vehicle photographs and digital image processing*”, Doctoral Dissertation, Universidad de Brasília, Brasil.
- Melo, R. R. S., Costa, D. B. (2015). “Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra” in: SIBRAGEC-ELAGEC, São Carlos: São Paulo (Brasil).
- Morgenthal, G., Hallermann, N. (2014). *Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures*. Advances in Structural Engineering. 17(3):289-302. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.3.289>
- Nascimento, M. L. M. (2017), “*Utilização de drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações*”, Monograph, Universidade Católica de Brasília, p. 21.
- Nikolic, J., Burri, M., Rehder, J., Leutenegger, S., Huerzeler, C., Siegwart, R. (2013). “A UAV system for inspection of industrial facilities” in: 2013 IEEE Aerospace Conference, Big Sky: Montana (USA). <https://doi.org/10.1109/AERO.2013.6496959>
- Pacheco, C., Vieira, G. (2017). “*Metodologias para Inspeções de Fachadas de Edifícios*” in: IV CIRMARE - Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, São Paulo: São Paulo (Brasil).
- Pierrot-Deseilligny, M., De Luca, L., Remondino, F. (2011). *Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation*. Geoinformatics CTU FCE. 6:291-299. <https://doi.org/10.14311/gi.6.36>
- Piórkowski, D. T. (2008). “*Rectification and Intermediate View synthesis*”, Monograph, Universitat Politècnica de Catalunya, p. 47.
- Pires, R., De Brito, J., Amaro, B. (2015). *Inspection, Diagnosis, and Rehabilitation System of Painted Rendered Façades*. Journal of Performance of Constructed Facilities. 29(2):1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000534](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000534)
- Rakha, T., Gorodetsky, A. (2018). *Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones*. Automation in Construction. 93:252–264. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>
- Reagan, D., Sabato, A., Niezrecki, C. (2018). Feasibility of using digital image correlation for unmanned aerial vehicle structural health monitoring of bridges. Structural Health Monitoring. 17(5):1056-1072. <https://doi.org/10.1177/1475921717735326>
- Roca, R., Lagüela, S., Díaz-Vilariño, L., Armesto, J., Arias, P. (2013). *Low-cost aerial unit for outdoor inspection of building façades*. Automation in Construction. 36:128-135. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.020>
- Rodriguez-Gonzalvez, P., Gonzalez-Aguilera, D., Lopez-Jimenez, G., Picon-Cabrera, I. (2014). *Image-based modeling of built environment from an unmanned aerial system*. Automation in Construction. 48:44-52. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.010>

- Ruiz, R. D. B., Lordsleem Júnior, A. C., Fernandes, B. J. T., Oliveira, S. C. (2021). Unmanned Aerial Vehicles and Digital Image Processing with Deep Learning for the Detection of Pathological Manifestations on Facades. In: Toledo Santos E., Scheer S. (eds) Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. ICCCBE 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 98. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_76
- Shariq, M. H., Hughes, B. R. (2020). *Revolutionising building inspection techniques to meet large-scale energy demands: A review of the state-of-the-art*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 130:109979. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109979>
- Tondelo, P. G., Barth, F. (2019). *Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT*. PARC Pesquisa Em Arquitetura E Construção, 10, e019009. <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>
- Vera-Rozo, E. (2016). *Medición de contaminación mediante UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado)*. Mundo FESC. 6(11): 16-26.
- Yang, X., Qin, X., Wang, J., Wang, J., Ye, X., Qin, Q. (2015). *Building Façade Recognition Using Oblique Aerial Images*. Remote Sensing. 8(7): 10562-10588. <https://doi.org/10.3390/rs70810562>