



# POINT CLOUD OF MOCK UPS OF BUILDINGS FROM 2D IMAGES

**Michel Bolaños Guerrero**

**Universidad de Nariño  
Pasto, Colombia**

**Johannio Marulanda, Peter Thomson**

**Universidad del Valle  
Cali, Colombia**

## **Resumen**

Esta conferencia académica muestra el proceso de extracción de nube de puntos con el emparejamiento de imágenes 2D capturadas a maquetas de edificios. La importancia de las reconstrucciones 3D de maquetas de edificios se basa en el bajo costo para la evaluación en laboratorio de técnicas de simulación de daño de edificios afectados por fenómenos naturales y antrópicos como terremotos, tsunamis, huracanes y explosiones. La mayor dificultad encontrada para obtener la nube de puntos es la imposibilidad de usar drones con sensores listos para cartografía y captura de imágenes, porque las cámaras disponibles en laboratorio (webcams o cámaras de mano) no tienen suficiente información para el proceso automático de emparejamiento de imágenes 2D.

**Palabras clave:** evaluación rápida de daños; estructuras; terremotos; huracanes; maquetas

## **Abstract**

*This academic conference presents the process for extraction of point clouds from 2D aerial images captured of building mock-ups. The importance of 3D reconstructions of building mock-ups base in the low cost for assessment in laboratory of techniques of damage simulation of buildings affected*

by natural and anthropic phenomenon as earthquakes, tsunamis, hurricanes and explosives. The most difficult founded to get point cloud is the impossibility to use drones with ready sensors for cartography and captured images, because the available cameras in laboratory (webcams or hand cameras) do not have enough information for automatic process of 2D image pairing.

**Keywords:** rapid damage assessment; structures; earthquakes; hurricanes; mock-ups

## 1 Introducción

### 1.1 Evaluación de edificios después de terremotos

La evaluación detallada de edificios es compleja, costosa y no puede ser usada en todos los edificios afectados<sup>67</sup>. La Evaluación Rápida de Daños (RDA por sus siglas en inglés) fue creada se basa en una Evaluación Visual Rápida (RVS por sus siglas en inglés) y tiene el propósito de evaluar de forma rápida edificios afectados por terremotos. Este tipo de evaluación usa encuestas callejeras diseñadas para registrar calificaciones visuales cualitativas. RDA es guiada principalmente por el ATC-20<sup>4</sup> y otras normas y recomendaciones en diferentes ciudades y países como en Italia<sup>7</sup>, Pasto (Colombia)<sup>52</sup>, Manizales (Colombia)<sup>5</sup>, Bogotá (Colombia)<sup>5</sup>, El Salvador<sup>3</sup>, México<sup>10</sup>, España<sup>25,30,31</sup>, Argentina<sup>66</sup>, Guatemala<sup>15</sup>, Chile<sup>53,36</sup>, Venezuela<sup>59</sup>, etc.

La magnitud de la evaluación de edificios es relacionada directamente con la cantidad de edificios dañados. Estudios en Cali con una población de 1'822.871, Pasto con 352.326, Bogotá, D. C. con 7'181.469, ciudades en un país con una población censada de 44'164.417<sup>17</sup>. (Miyamoto, 2016)<sup>52</sup> estima que en la zona urbana de Pasto, el 60% de los edificios podrían dañarse con un grado de no habitabilidad y esos 58.500 edificios deberían ser evaluados. (Herrera, 2017)<sup>34</sup> estima que el 94.6% de los edificios del Valle de Aburrá tendrían daños y que estos edificios necesitan ser evaluados después de un escenario extremo de terremoto. Además, el terremoto de Gorkha ( $M_w$  7,8)<sup>18</sup> Nepal (2015), con 66.506 casas en una población de 271,061, en un país con 5'427.302 de casas para una población de 26'494.504<sup>11</sup>, produjo 498.852 edificios colapsados y otros 256.697 parcialmente dañados<sup>27</sup>.

### 1.2 Evaluación de daño con imágenes

La respuesta a la emergencia y evaluación de la seguridad tienen soporte en datos, su visualización en representaciones 3D con geolocalización y secuencias<sup>23</sup>. Un origen de datos para generar imágenes para evaluar daños son los satélites<sup>9,2,12,28,43</sup>, pero esta fuente presta poca atención para detectar pequeños daños en edificios<sup>45</sup>. Otras metodologías usan orígenes de imágenes como LiDAR (de *Light Detection and Ranging* en inglés)<sup>22,29,46,55</sup>, Radar de Apertura Sintética (SAR por sus siglas en inglés)<sup>16</sup>, RGB (de *Red Green Blue* en inglés)<sup>58,14</sup>, RGB-D (de *RGB-Depth* en inglés) también conocido como Tiempo de Vuelo (ToF por sus siglas en inglés) para pequeños dispositivos como celulares<sup>6,8,20,24,38,39,41,42,51,54,73,74</sup>, e imágenes multiespectrales con información de diferentes rangos de la radiación electromagnética<sup>50,57</sup>.



### 1.3 Transportando sensores con UAS

Debido al terremoto del 2011 ( $M=5,1$ <sup>40</sup>) en Lorca (España), la Unión Europea activó el programa SAFER para adquirir imágenes satelitales, pero la interpretación de los resultados estuvo disponible una semana más tarde. Esta demora es la razón por la cual los equipos de campo fueron más efectivos y el uso de Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS por sus siglas en inglés) tuvieron más atención. Glennie et al<sup>29</sup> alcanzaron el registro de precisión vertical/horizontal in 5/20 cm y de 15/75 cm para aeronaves volando a 500 m y 3.000 m de altitud respectivamente; esta precisión puede mejorarse si la altitud es menor, como en UAS. Experiencias relacionadas con el uso de UAS en respuesta de emergencias ante desastres muestran que este tipo de vehículos se usan y podrían seguirse usando en el futuro<sup>32,33,21,35,44,45</sup>.

### 1.4 Evaluación con imágenes previas y posteriores

Estas técnicas se usan con comparación de imágenes de distintas fechas<sup>1,26,69,70,49,71</sup>, pero generalmente con el mismo origen de imágenes. Esas técnicas tienen un aspecto común en esas evaluaciones, este es generar el Modelo Digital de Superficie (DSM por sus siglas en inglés) después de terremotos con o sin otro previo DSM para comparación<sup>44</sup>. Es importante considerar que con imágenes de diferentes fechas puede haber cambios en los elementos, tales como demoliciones, desmantelamiento y reparaciones<sup>49</sup>. En el futuro, si se usa UAS, la morfología del área en estudio es importante para una óptima planificación de vuelo<sup>21</sup>.

### 1.5 Software utilizado

Este estudio usó Pix4Dmapper<sup>62</sup> para emparejar imágenes 2D para obtener la nube de puntos de las maquetas, Batch Editing<sup>72</sup> y Metadata++<sup>47</sup> para la inserción de los metadatos en los archivos.

## 2 Materiales y Métodos

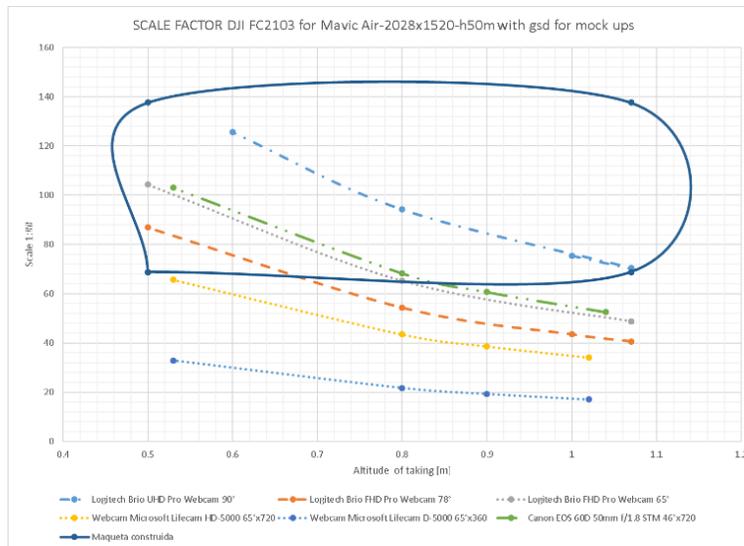
Estudios de edificios dañados por terremotos usan situaciones reales, independiente de la metodología, pero el esfuerzo académico para desarrollar nuevas metodologías de evaluación de edificios dañados, independiente si el daño es por terremotos, huracanes, etc., esto necesita un ambiente de laboratorio para trabajar. Aunque el uso de prototipos de edificios a gran escala 1:1 pueden usarse para mediciones, también es útil un flujo de trabajo en laboratorio. Adicionalmente al hecho que el costo de grandes prototipos puede no ser alcanzable en países en desarrollo, desarrollar nuevas metodologías para evaluación de daño necesita evaluarse en laboratorio.

Más beneficios de evaluar daños en laboratorio son la independencia del clima, el control de la luz, la seguridad, la continuidad a pesar de las restricciones a las actividades al aire libre por políticas públicas relacionadas con epidemias o pandemias como el Covid-19<sup>56,64</sup> y es libre de disturbios sociales como el Paro Nacional de mayo de 2021 en Colombia<sup>13</sup>.

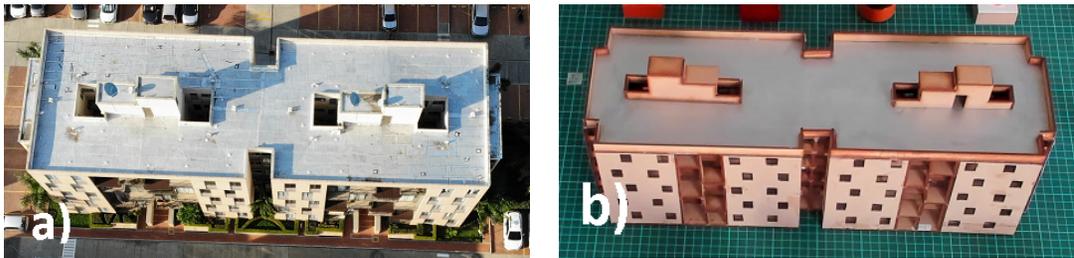


## 2.1 Dimensionando las maquetas

El criterio usado para el dimensionamiento de maquetas fue una comparación lineal de la Distancia de Muestreo (GSD por sus siglas en inglés) entre el GSD en el suelo de edificios y el GSD en la base de las maquetas. El GSD es la representación de cada pixel en la vida real usando un modelo de proyección pinhole o cámara de agujero<sup>65</sup>. La Fig. 1 muestra el dimensionamiento de la representación de un edificio fotografiado con el sensor DJI FC2103 que tiene un Campo de Visión (FOV por sus siglas en inglés) de 85° y resolución de 4056x3040 pixeles transportado a 50 m de altura en un UAS de DJI Mavic Air<sup>19</sup>, y la maqueta fotografiada con diferentes sensores en diferentes altitudes. La línea continua representa la zona apropiada cuando el tamaño del edificio puede cambiar vs la maqueta fabricada (Fig. 2).



**Fig. 1: Factor de escala para UAS h50m en laboratorio**



**Fig. 2: Edificio típico**

a) Edificio real desde un UAS b) Maqueta desde una webcam

## 2.2 Características de las maquetas

Las maquetas de trabajo deben representar un edificio a escala, puede usar materiales para dañarse, e incluso destruirse, suficientemente duro para soportar el manejo, estéticamente agradable y con colores con suficiente contraste. Evitar el uso de un solo color negro, blanco y otro. El aspecto final puede ser tan cercano como sea posible al edificio original. Evitar aspectos internos como muebles, paredes y su acabado, porque el trabajo de laboratorio solo usa imágenes externas, lo mismo como una encuesta callejera (*sidewalk*) en una RDA después de terremotos o



una RVS para edificios. Dado el objeto usado por ahora, que es solo la forma de edificios, el color necesita ser el suficiente para identificar puntos comunes en imágenes 2D, pero en futuras aproximaciones, el color de las maquetas puede ser más preciso si el análisis incluye aprendizaje de máquina de daños locales, como grietas en paredes. Otro importante aspecto es que las maquetas deben tener la posibilidad de deformarse en diferentes niveles.

## 2.3 Problema a resolver

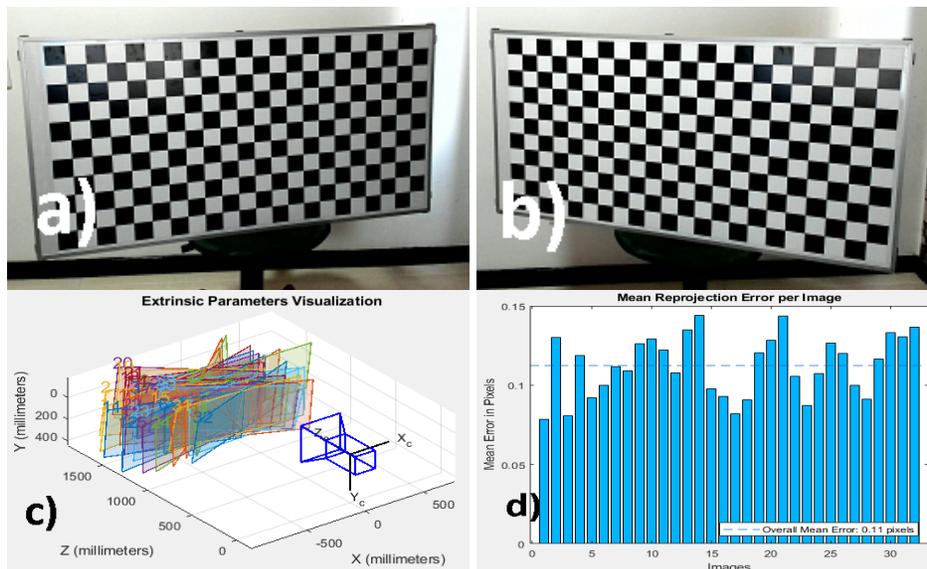
Teniendo el siguiente problema “La fotogrametría no es mágica. Se necesita tener un conjunto de datos adecuado y haber establecido los parámetros de la cámara correctamente. Por lo tanto, no se recomienda el uso de la cámara web”<sup>60</sup>, se presenta los siguientes pasos para resolver esta situación:

### 2.3.1 Calibración de cámaras

Se sigue el procedimiento de calibración de cámaras de Matlab<sup>48</sup> con un patrón de ajedrez para cada cámara web (Fig. 3).

### 2.3.2 Posicionamiento de las cámaras web

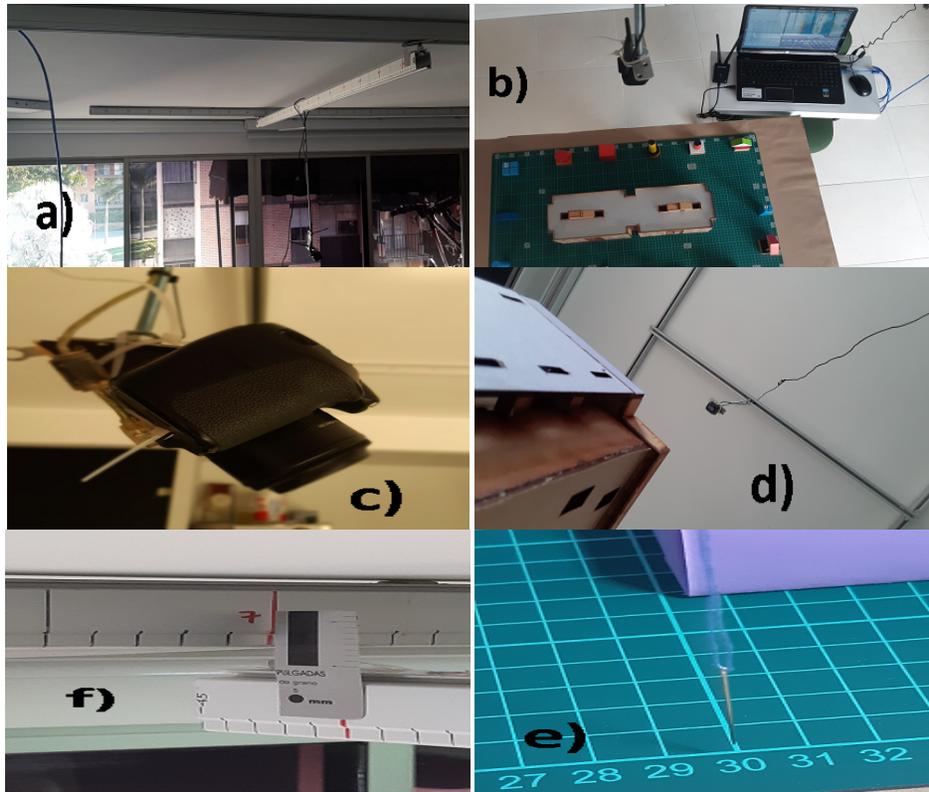
Un UAS es un vehículo de transporte de un sensor, en este caso una cámara RGB. Para el propósito de uso de cámaras web en interiores de un laboratorio, se construyó una estructura con rieles con movimientos 2D y el movimiento vertical con un anclaje para el movimiento vertical para completar los movimientos 3D (Fig. 4). La precisión alcanzada fue de movimientos con  $\pm 1$ cm y ángulos de cabeceo para nadir y  $45^\circ$ .



**Fig. 3: Calibración de la cámara Logitech Brio<sup>75</sup>**

a) y b) patrón de ajedrez en distintas vistas  
 c) Parámetros extrínsecos d) Error medio





**Fig. 4: Montando el transporte de sensores**

- a) Rieles de techo b) Vista superior c) Cámara de mano con cabeceo 45°  
 d) Visa inferior f) Rieles con movimientos en 2D  
 e) Emparejamiento de estructura de techo con el soporte de las maquetas

### 2.3.3 Geolocalización

Las posiciones de los rieles son en coordenadas planas en metros y esto es basado en la proyección cartográfica del sistema WGS84 con punto de origen ( $x$  para este=0, y par norte=0) en ( $x=331438.6$ ,  $y=372483.7$ ). Este punto está localizado en Cali (Colombia) y este es compatible con el sistema oficial colombiano Magna-Sirgas<sup>37</sup>. Para obtener de coordenadas UTM (del inglés *Universal Transverse Mercator*) a coordenadas elipsoidales o geográficas fue puesto el laboratorio dentro del Huso 18N, en el cual el punto de origen está en  $3^{\circ}22'7.50435070137494''$  Norte con  $76^{\circ}31' 2.08556202431036''$  Oeste.

### 2.4 Sistema de coordenadas de vuelo

Las cámaras web están reemplazando los sensores transportados por UAS. Los UAS tienen sus propios sistemas de coordenadas con ángulos para el movimiento denominados guiñada, cabeceo y balanceo, y el sensor tiene movimientos angulares en tres ejes con los mismos nombres<sup>61</sup>.



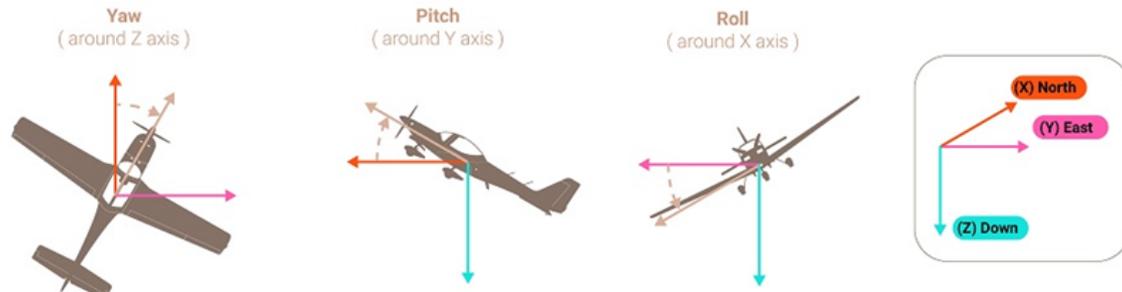


Fig. 5: Sistema de coordenadas de vuelo<sup>61</sup>

## 2.5 Metadatos

Cada fotografía en laboratorio tiene que tener toda la información relacionada a la calibración de la cámara web, localización en coordenadas geográficas y los movimientos angulares de guiñada, cabeceo y balanceo. La precisión alcanzada en UTM fue en centímetros y la precisión en coordenadas geográficas alcanzó cinco decimales en segundos (Fig. 6). Los ángulos para movimientos rotacionales están en enteros para grados (Fig. 7).

Name	Latitude	Longitude
Snapshot_20201125	3° 22' 7.53689"	76° 31' 2.09533"
Snapshot_20201125_1	3° 22' 7.53364"	76° 31' 2.09533"
Snapshot_20201125_10	3° 22' 7.50759"	76° 31' 2.09529"
Snapshot_20201125_11	3° 22' 7.50434"	76° 31' 2.09528"
Snapshot_20201125_12	3° 22' 7.50108"	76° 31' 2.09528"
Snapshot_20201125_13	3° 22' 7.49782"	76° 31' 2.09527"
Snapshot_20201125_14	3° 22' 7.49457"	76° 31' 2.09527"
Snapshot_20201125_15	3° 22' 7.49131"	76° 31' 2.09526"
Snapshot_20201125_16	3° 22' 7.49131"	76° 31' 2.09364"
Snapshot_20201125_17	3° 22' 7.49457"	76° 31' 2.09365"
Snapshot_20201125_18	3° 22' 7.49783"	76° 31' 2.09365"
Snapshot_20201125_19	3° 22' 7.50108"	76° 31' 2.09366"
Snapshot_20201125_20	3° 22' 7.50434"	76° 31' 2.09366"

Fig. 6: Metadatos de información geográfica

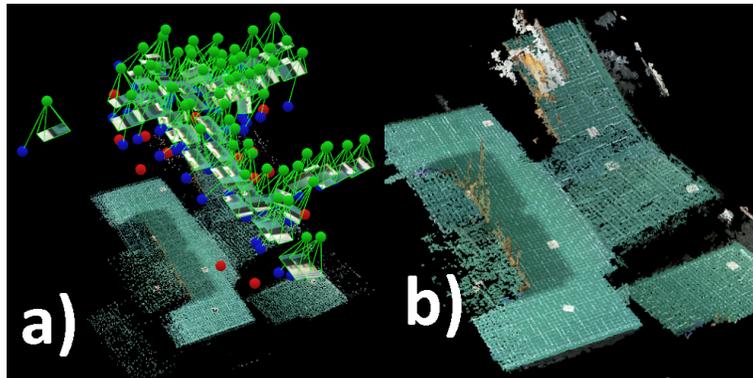
FileName	Snapshot_20201128_1.JPG
XMP-drone-Dji (4)	
GimbalPitchDegree	-45
GimbalReverse	0
GimbalRollDegree	0
GimbalYawDegree	180

Fig. 7: Metadatos de movimientos rotacionales del sensor



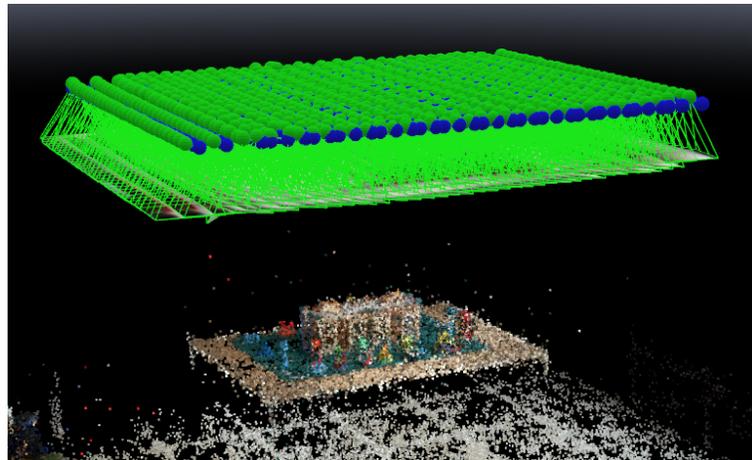
### 3 Resultados y discusión

Este estudio trató el problema encontrando dificultades relacionadas con la calibración de cámaras y posicionamiento de las cámaras web en menor proporción, pero la mayor proporción de dificultades fue la tarea de insertar metadatos en cada archivo de imagen con geolocalización incluyendo movimientos rotacionales (Fig. 8), Esto es por la gran cantidad de archivos y que cada archivo necesita su dato particular. El proyecto con una base de 90x60 cm<sup>2</sup> (Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11) tiene 1120 archivos trabajados con Batch Editing<sup>72</sup> y Metadata++<sup>47</sup>.



**Fig. 8: Resultados sin este procedimiento en Pix4D**

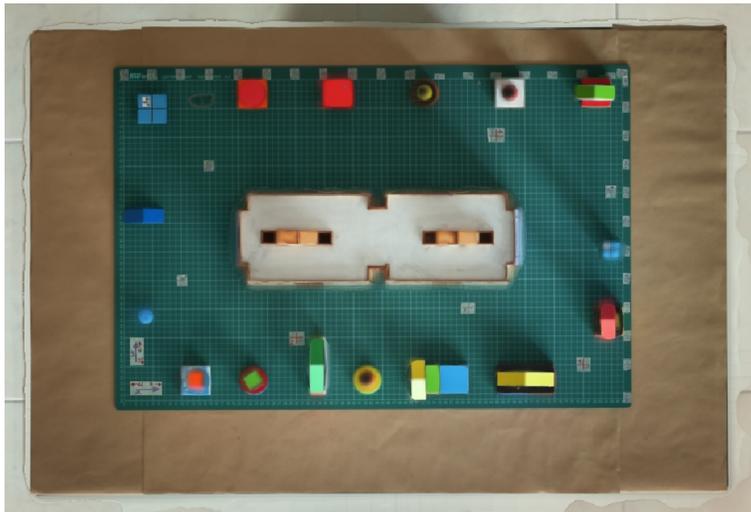
a) Vista de imágenes b) Vista volúmenes



**Fig. 9: Vista de imágenes en Pix4D siguiente este procedimiento**



**Fig. 10: Vista de volúmenes en Pix4D con este procedimiento**

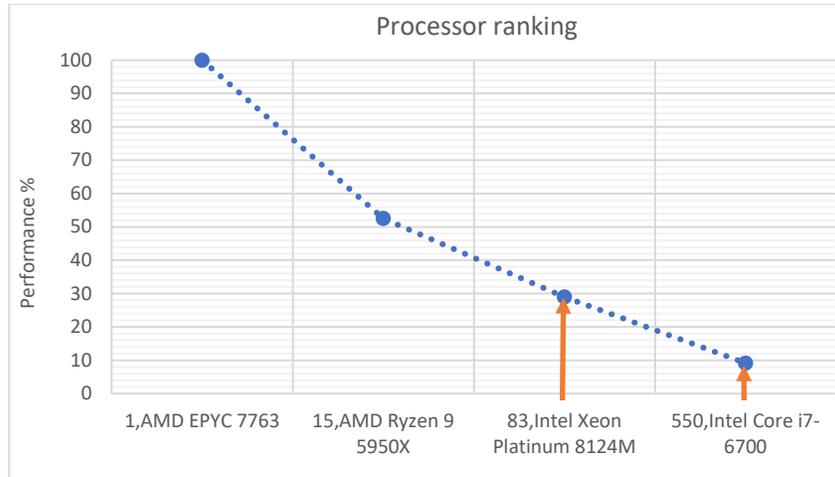


**Fig. 11: Vista de mosaico en Pix4D con este procedimiento**

Dependiendo de que procesador se use para la computación, el tiempo requerido disminuye si se usa procesadores con mejor desempeño. En el ranking de desempeño de procesadores de Technical City<sup>68</sup>, la posición del Intel Xeon Platinum 8124M del servicio en la nube Pix4DCloud<sup>63</sup> es 83 y la posición del Intel Core i7-6700 usado en oficina es 1126 (Fig. 12).

El tiempo gastado para Procesamiento inicial (sin reporte), Densificación de nube de puntos, Generación de malla texturizada 3D, Generación del DTM y del ortomosaico en dos proyectos se muestran en la Tabla 1.





**Fig. 12: Desempeño del procesador (adaptado de Technical City<sup>68</sup>)**

**Tabla 1: Tiempo de procesamiento**

Procesador → Proyectos ↓	Intel Xeon Platinum 8124M	Intel Core i7- 6700	Con el mejor procesador %
Patios h75m con 75°	2:41:47	03d:8:20:22	<b>3%</b>
Patios h75m nadir	1:30:16	01d:0:35:36	<b>6%</b>

## 4 Conclusiones

Emparejamiento de imágenes 2D para obtener nube de puntos de maquetas con cámaras web es una tarea más difícil que el mismo procedimiento en edificios reales usando UAS. Esta tarea comparativa está relacionada con no contar con un transporte del sensor con una buena precisión en sus movimientos de traslación y rotación y con la necesidad de insertar metadatos en los archivos con datos de calibración de las cámaras, la geolocalización y los movimientos rotacionales.

Una simple estructura es adecuada para simular el transporte de sensores. Los datos de calibración de cámaras, la localización y los movimientos rotacionales de los sensores tienen que insertarse como metadatos en todos los archivos para enriquecer los datos. Los archivos de imágenes con todos los metadatos permiten al software Pix4D<sup>62</sup> emparejar imágenes 2D para obtener nubes de puntos de maquetas con cámaras web y cámaras de mano.

Obtener una nube de puntos a partir del emparejamiento de imágenes 2D tiene unos requerimientos computacionales costosos. Este problema puede ser resuelto con mejores sistemas computacionales como el servicio de Pix4DCloud<sup>63</sup> o con paciencia, mucha paciencia.

Buenas nubes de puntos de maquetas con cámaras web y cámaras de mano ayudan a desarrollar o evaluar metodologías para evaluación de daños en edificios afectados por terremotos, huracanes, etc.



## Referencias

- 1 Adams, B. J., C. K. Huyck, B. Mansouri, R. T. Eguchi, and M. Shinozuba, Application of high-resolution optical satellite imagery for post-earthquake damage assessment: The 2003 Boumerdes (Algeria) and Bam (Iran) earthquakes, in *Research Progress and Accomplishments*, Bruneau, M., MCEER, Ed. Buffalo (NY), 173–186.
- 2 Ahmad, R. A., R. P. Singh, and A. Adris, Seismic hazard assessment of Syria using seismicity, DEM, slope, active faults and GIS, *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, **(6)**, no. June 2016, 59–70, **(2017)**.
- 3 Alvarenga, Marissa. García, Carlos. Pérez, K., Propuesta de índice de daño estructural para cuantificar el nivel de afectación en estructuras en zonas urbanas después de un sismo, **(2017)**.
- 4 Applied Technology Council, Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Buildings ATC-20, Redwood City, USA, **(2005)**.
- 5 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Manual de campo para la inspección de edificaciones después de un sismo. Manizales, Colombia, 83, 2003.
- 6 Asus, ASUS Zenbo - Your Smart Little Companion. [Online]. Available: <https://zenbo.asus.com/>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 7 Baggio, C. *et al.*, Manuale per la compilazione della scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AEDES), no. October 2015, 113, **(2009)**.
- 8 BREAKFAST LLC, Brixels – BREAKFAST. [Online]. Available: <https://breakfastny.com/brixels>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 9 Brunt, K. M., T. A. Neumann, and C. F. Larsen, Assessment of altimetry using ground-based GPS data from the 88S Traverse, Antarctica, in support of ICESat-2, *Cryosph.*, **(13)**, no. 2, 579–590, **(2019)**.
- 10 Cárdenas, J. A., L. E. Flores, C. Óscar, and A. López Bátiz, Sistema Nacional De Protección Civil Centro Nacional De Prevención De Desastres Manual Del Formato De Captura De Datos Para Evaluación Estructural. Red Nacional De Evaluadores, 1–99, **(2011)**.
- 11 CBS, National Population and Housing Census 2011(National Report), *Gov. Nepal, Natl. Plan. Comm. Secr. Cent. Bu reau Stat.*, **(01)**, 1–278, **(2012)**.
- 12 China National Space Administration, Se lanzó el primer lote de productos de imágenes estéreo de submedidor del satélite Gaofen-7, 2019. [Online]. Available: <http://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758838/c6808401/content.html>. [Accessed: 06-Jan-2020].
- 13 CNN, ¿Cuáles son las peticiones del Paro Nacional en Colombia? [Online]. Available: <https://cnnespanol.cnn.com/2021/05/17/peticiones-paro-nacional-colombia-orix/>. [Accessed: 20-May-2021].
- 14 Cochrane, S., The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art, *Stud. Hist. Philos. Sci. Part A*, **(47)**, 26–41, **(2014)**.
- 15 CONRED, *Guía técnica del proceso de evaluación rápida de daños en vivienda*. Guatemala, 2015, 56.
- 16 Crosetto, M., M. Cuevas, A. Barra, and O. Monserrat, Monitorización de deformaciones del terreno desde satélite, *Rev. Topogr. Azimut*, **(10)**, no. 10, 1–8, **(2019)**.
- 17 DANE, Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, 2018. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>. [Accessed: 19-Sep-2019].
- 18 Didier, M., S. Baumberger, R. Tobler, S. Esposito, S. Ghosh, and B. Stojadinovic, Improving post-earthquake building safety evaluation using the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake rapid visual damage assessment data, *Earthq. Spectra*, **(33)**, no. Special issue 1, S415–S434, **(2017)**.
- 19 DJI Sciences and Technologies Ltd, Mavic Air - DJI. [Online]. Available: <https://www.dji.com/mavic-air>. [Accessed: 31-May-2021].



- 20 DOT Product LLC, Dot3D Pro. [Online]. Available: <https://www.dotproduct3d.com/dot3dpro.html>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 21 Doukari, M., M. Batsaris, A. Papakonstantinou, and K. Topouzelis, A Protocol for Aerial Survey in Coastal Areas Using UAS, *Remote Sens.*, **(11)**, no. 16, 1–19, **(2019)**.
- 22 Dubayah, R. O. and J. B. Drake, Lidar Remote Sensing for Forestry, *J. For.*, **(98)**, no. 6, 44–46, **(2000)**.
- 23 Federal Emergency Management Agency (FEMA), Post-disaster Building Safety Evaluation Guidance FEMA P-2055, Washington, DC (USA), **(2019)**.
- 24 Franco, J. M., B. M. Mayag, J. Marulanda, and P. Thomson, Static and dynamic displacement measurements of structural elements using low cost RGB-D cameras, *Eng. Struct.*, **(153)**, no. February, 97–105, **(2017)**.
- 25 Frías Díaz de la Cruz, A., J. A. Guzmán Asensio, I. Alhama Manteca, J. L. Ballesteros Galante, and R. Blásquez Martínez, Evaluación rápida de daños en emergencias. Protocolos de activación y actuación del Grupo de Evaluación de Daños. Murcia, España, 592, 2015.
- 26 Gamba, P. and F. Casciati, GIS and image understanding for near-real-time earthquake damage assessment, *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, **(64)**, no. 10, 987–994, **(1998)**.
- 27 Gautam, D. and H. Chaulagain, Structural performance and associated lessons to be learned from world earthquakes in Nepal after 25 April 2015 (MW7.8) Gorkha earthquake, *Eng. Fail. Anal.*, **(68)**, 222–243, **(2016)**.
- 28 Gillespie, T. W., J. Chu, E. Frankenberg, and D. Thomas, Assessment and prediction of natural hazards from satellite imagery, *Prog. Phys. Geogr.*, **(31)**, no. 5, 459–470, **(2007)**.
- 29 Glennie, C., Rigorous 3D error analysis of kinematic scanning LIDAR systems, *J. Appl. Geod.*, **(1)**, no. 3, 147–157, **(2008)**.
- 30 Gobierno de España, *Norma Básica de Protección Civil*. España: Ministerio del Interior, 1992, 3.
- 31 Gobierno de España, *Acuerdo de Ministros del 16 de julio de 2004*. Madrid, España, España, 2004.
- 32 Gümüşbuğa, F., G. izbirak, A. Nejatı, and B. BVizvári, First 48 hours' relief system in a metropolitan city using UAV technology, *Famagusta*, Chipre, **(2017)**.
- 33 Hermosilla, T. and L. Ruiz, Detección automática de edificios combinando imágenes de satélite y datos lidar, *Sem. Geomática*, **(2)**, no. 2, 2009, **(2009)**.
- 34 Herrera, D., J. D. Moreno, J. E. Echeverry, D. Garzón, and L. E. Yamín, Aplicación del Conocimiento del Riesgo Sísmico en el Marco de los Instrumentos para el Manejo de Desastres en el Valle de Aburrá, in *IX Congreso de Ingeniería Sísmica*, 2019, 1239–1248.
- 35 Hua, C., J. Qi, H. Shang, W. Hu, and J. Han, Detection of collapsed buildings with the aerial images captured from UAV, *Sci. China Inf. Sci.*, **(59)**, no. 3, 1–15, **(2016)**.
- 36 Hurtado-G, E., Fichas de lesiones típicas de daños por terremotos en inmuebles. Santiago, Chile, 1–14, 2014.
- 37 Instituto Geográfico Agustín Codazzi, A. De, and C. D. O. De, Aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como Datum oficial de Colombia, Bogotá, **(2004)**.
- 38 Intel, Overview of the Intel® RealSense™ Depth Camera | Intel® Software. [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/realsense/d400>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 39 Intel Corporation, Intel® Falcon™ 8+ System. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/drones/falcon-8.html>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 40 IRIS, IRIS Earthquake Browser. [Online]. Available: <http://ds.iris.edu/ieb/index.html?format=text&nodata=404&starttime=1970-01-01&endtime=2025-01-01&minmag=0&maxmag=10&mindepth=0&maxdepth=900&orderby=time-desc&src=&limit=1000&maxlat=60.80&minlat=-60.80&maxlon=145.46&minlon=-145.46&zm=3&mt=ter>. [Accessed: 11-Jul-2019].



- 41 Jiao, J., L. Yuan, W. Tang, Z. Deng, and Q. Wu, A Post-Rectification Approach of Depth Images of Kinect v2 for 3D Reconstruction of Indoor Scenes, *ISPRS Int. J. Geo-Information*, **(6)**, no. 11, 1–15, **(2017)**.
- 42 Keselman, L., J. Iselin Woodfill, A. Grunnet-Jepsen, and A. Bhowmik, Intel realsense stereoscopic depth cameras, *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Work.*, 1–10, **(2017)**.
- 43 Li, L., B. Zhang, and Y. Wu, Fusing spectral and texture information for collapsed buildings detection in airborne image, in *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2012, 186–189.
- 44 Li, S. and H. Tang, BUILDING DAMAGE EXTRACTION TRIGGERED BY EARTHQUAKE USING THE UAV IMAGERY, *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, **(XLII-3)**, 929–936, **(2018)**.
- 45 Li, S. *et al.*, Unsupervised Detection of Earthquake-Triggered Roof-Holes from UAV Images Using Joint Color and Shape Features, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, **(12)**, no. 9, 1823–1827, **(2015)**.
- 46 Liu, W., P. Dong, J. Liu, and H. Guo, Evaluation of three-dimensional shape signatures for automated assessment of post-earthquake building damage, *Earthq. Spectra*, **(29)**, no. 3, 897–910, **(2013)**.
- 47 Logipole, Metadata++ 1.22.14(freeware). [Online]. Available: <https://www.logipole.com/metadata++-en.htm>. [Accessed: 27-May-2021].
- 48 Mathworks, Camera Calibration - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina. [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/help/vision/camera-calibration.html>. [Accessed: 21-May-2021].
- 49 Matsuoka, M. and N. Nojima, Building damage estimation by integration of seismic intensity information and satellite L-band SAR imagery, *Remote Sens.*, **(2)**, no. 9, 2111–2126, **(2010)**.
- 50 MicaSense, RedEdge-MX — MicaSense. [Online]. Available: <https://www.micasense.com/rededge-mx>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- 51 Microsoft Corporation, Kinect - Windows app development. [Online]. Available: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 52 Miyamoto Int. Colombia, Reporte Final Fase I: Evaluación de Riesgo Sísmico de Pasto, Pasto, Colombia, **(2017)**.
- 53 MOP, *Ficha de evaluacion de daños para inspeccion rapida de edificios publicos*. Chile: Ministerio de Obras Públicas, 2014, 1–8.
- 54 Nießner, M., M. Zollhöfer, S. Izadi, and M. Stamminger, Real-time 3D reconstruction at scale using voxel hashing, *ACM Trans. Graph.*, **(32)**, no. 6, 1–11, **(2013)**.
- 55 Okyay, U., J. Telling, C. L. Glennie, and W. E. Dietrich, Airborne lidar change detection: An overview of Earth sciences applications, *Earth-Science Rev.*, **(198)**, no. August, 102929, **(2019)**.
- 56 OMS, Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-11-march-2020>. [Accessed: 20-May-2021].
- 57 Parrot, Definición de imágenes | Sitio Web Oficial de Parrot. [Online]. Available: <https://www.parrot.com/es/support/productos/parrot-sequoia/definicion-de-imagenes-0>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- 58 Phase One A/S, Drone Solution - Phase One Industrial. [Online]. Available: [https://industrial.phaseone.com/Drone\\_Solution.aspx](https://industrial.phaseone.com/Drone_Solution.aspx). [Accessed: 23-Sep-2019].
- 59 Pinto Pinto, A. and R. Torres Torres, Evaluación post sísmica de edificaciones afectadas por terremotos, *Cienc. e Ing.*, **(37)**, 17, **(2016)**.
- 60 Pix4D, Reconstrucción de modelos a escala con webcam y cámaras fotográficas sin gps - Pix4D International / Pix4D en Español - Pix4D Community. [Online]. Available: <https://community.pix4d.com/t/reconstruccion-de-modelos-a-escala-con-webcam-y-camaras-fotograficas-sin-gps/11744>. [Accessed: 21-May-2021].



- 61 Pix4D, Yaw, Pitch, Roll and Omega, Phi, Kappa angles – Support, 2020. [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558969-Yaw-Pitch-Roll-and-Omega-Phi-Kappa-angles>. [Accessed: 25-May-2021].
- 62 Pix4D, Professional photogrammetry and drone mapping software | Pix4D. [Online]. Available: <https://www.pix4d.com/>. [Accessed: 27-May-2021].
- 63 Pix4D, Software en la nube para el mapeo con drones | Pix4D. [Online]. Available: <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dcloud>. [Accessed: 27-May-2021].
- 64 Republica de Colombia, *Decreto 457 de 2020*. Colombia: Ministerio del Interior, 2020, 1–14.
- 65 Sanchiz Martí, J. M. and F. Pla Bañón, *Fundamentos de Visión por Computador*, Castelló de la Plana, Espanya, (2006).
- 66 Scotta, D., B. Mendoza, P. Mariano, A. De Los Ángeles, and E. E. Galíndez, *Fundamentos para una metodología de evaluación post-sísmica en la república Argentina*, in *24 Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*, 2016, 20.
- 67 Sreerama, A. K., C. Rajaram, and R. P. Kumar, Correlation between rapid visual survey score and possible damage of a building, *Indian Concr. J.*, (91), no. 5, 12–23, (2017).
- 68 Technical City, Ranking de los procesadores en 2021 - Technical City. [Online]. Available: <https://technical.city/es/cpu/rating>. [Accessed: 27-May-2021].
- 69 Tong, X. *et al.*, Building-damage detection using pre- and post-seismic high-resolution satellite stereo imagery: A case study of the May 2008 Wenchuan earthquake, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, (68), no. 1, 13–27, (2012).
- 70 Tu, J., D. Li, W. Feng, Q. Han, and H. Sui, Detecting Damaged Building Regions Based on Semantic Scene Change from Multi-Temporal High-Resolution Remote Sensing Images, *ISPRS Int. J. Geo-Information*, (6), no. 5, 131, (2017).
- 71 Tu, J., H. Sui, W. Feng, and Z. Song, Automatic Building Damage Detection Method Using High-Resolution Remote Sensing Images and 3D Gis Model, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, (III-8), no. July, 43–50, (2016).
- 72 Two Pilots D.O.O., Batch Editing Plug-in. [Online]. Available: <https://www.colorpilot.com/exif-order.html>. [Accessed: 27-May-2021].
- 73 Yuneec, Yuneec Typhoon H | Hexacopter Drone with 4K UHD Camera. [Online]. Available: <https://us.yuneec.com/typhoon-h-intel-realsense-technology>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- 74 Zollhöfer, M. *et al.*, State of the art on 3D reconstruction with RGB-D cameras, *Comput. Graph. Forum*, (37), no. 2, 625–652, (2018).
- 75 Specifications - BRIO 4K Pro Webcam – Logitech B2B Support. [Online]. Available: <https://prosupport.logi.com/hc/es/articles/360040189233-Specifications-BRIO-4K-Pro-Webcam#>. [Accessed: 30-Jun-2020].

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

