

Empleo de herramientas de uso libre para la obtención de medidas superficiales en fotografías capturadas por UAVs

Vargas Enríquez J. E., Martínez González R. F.
Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA.
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO CAMPUS VERACRUZ.
Veracruz, México

Abstract— This paper aims to verify that it is possible to obtain surface measurements, such as the perimeter and area, by processing photographs obtained by UAVs (unmanned aerial vehicles) through free-use tools. To achieve this, three orthomosaics were created. The first was created manually, with photographs obtained with the DJI Mavic Mini. The second, with the same group of photographs, but created using the photogrammetry software, Pix4Dmapper. The third, with photographs obtained with the DJI Phantom 3 Pro, and with the help of the Pix4Dmapper software. These orthomosaics were processed with OpenCV, being filtered, segmented and binarized, to finally be able to obtain the surface measurements. The results of the processing show a maximum average percentage error of 1.7337%, against a minimum of 0.4613%. These results show that it is possible to create precise orthomosaics manually, in addition to the fact that the accuracy of open source use tools, such as OpenCV, yield a negligible level of error.

Keywords—UAV, Ortomosaico, Fotogrametría, OpenCV, Procesamiento de imagen, Herramientas de uso libre.

I. INTRODUCCIÓN

El software libre es una herramienta importante para el desarrollo científico. Permite estudiar, modificar y usar libremente el código fuente con cualquier fin y redistribuirlo con cambios, mejoras o de manera íntegra [1]. Esto da la posibilidad de prescindir de las licencias para crear aplicaciones especializadas y así compartir estos avances con la comunidad científica.

Debido a los beneficios de este tipo de software se ha decidido crear una aplicación la cual permita obtener medidas de superficie a través de imágenes obtenidas por UAVs. Esto con la finalidad de tener una herramienta de uso libre, la cual entregue información superficial (longitudes y áreas) según la información que se le suministre.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el procesamiento de imagen se utiliza OpenCV, una librería de visión artificial y machine learning de uso libre [2]. Esta cuenta con una licencia BSD (Berkeley Software Distribution) [3], lo cual permite la utilización y modificación del código.

A. Captura de imágenes.

La imagen de entrada para este procesamiento es un ortomosaico. Aunque ya existan herramientas para la obtención de ortomosaicos de manera automática, este trabajo se enfoca en una obtención manual con la finalidad de ocupar solo herramientas de uso libre y así explicar claramente cuáles son las consideraciones necesarias para obtener un orto-mosaico.

Un ortomosaico es el producto de rectificar un conjunto de fotografías (ortofotografías) para obtener una imagen final. Todas las fotografías del ortomosaico final son corregidas de manera que presenten una corrección ortogonal [4]. Además, en las ortofotografías se asigna un valor de escala, el cual relaciona el plano a representar con el tamaño del objeto a representar.

Para la creación del ortomosaico se debe tomar en cuenta el error estereoscópico y el paralelaje fotogramétrico de las imágenes obtenidas.

El error estereoscópico visible en los extremos de la fotografía se genera debido a un impacto erróneo de los rayos de luz sobre los sensores CMOS. Para eliminarlo, se puede utilizar la relación de 3x3, en la cual se parte la imagen a rectificar en nueve partes iguales, tomando únicamente el elemento central, con el cual se construirá la ortofotografía. Esta relación se ejemplifica en la Figura 1.



Fig. 1 (a) imagen de entrada original. (b) Imagen seccionada en la cual, solo se utilizará la sección central.

El paralelaje fotogramétrico se puede entender como el área de dos o más fotografías el cual es constante [5]. En la Figura 2 se muestra una proyección P resultante de dos fotografías, A y B.

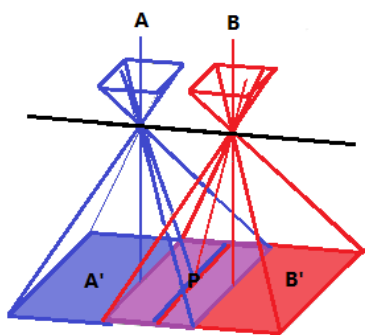


Fig. 2 Ejemplo de proyección a partir de 2 fotografías.

El ortomosaico se genera a partir de estas consideraciones. Con el DJI Mavic Mini, se sobrevoló a una altura de 30 metros la plaza del Centro Cultural Atarazanas, ubicada en la zona centro del municipio de Veracruz, Ver. El resultado obtenido es el ortomosaico presentado en la Figura 3. Este ortomosaico está construido por 68 ortofotografías obtenidas del área de estudio.



Fig. 3 Ortomosaico obtenido completamente manual.

Para establecer una comparación, se generan dos ortomosaicos adicionales a éste. Las 68 fotografías obtenidas por el DJI Mavic Mini en el primero, se introducen al software de fotogrametría Pix4Dmapper. La finalidad de tener este ortomosaico es comparar el producto resultante de utilizar un software profesional de fotogrametría con fotografías obtenidas con un UAV de gama media – baja, como es el DJI Mavic Mini. Este ortomosaico obtenido se puede observar en la Figura 4.



Fig. 4 Ortomosaico obtenido con Pix4Dmapper y DJI Mavic Mini.

De igual manera se ocupa el software Pix4Dmapper para el segundo ortomosaico adicional, pero en esta ocasión se introducen 30 fotografías capturadas por el UAV DJI Phantom 3 Pro, el cual sobrevoló una altura de 40 metros. Este ortomosaico nos sirve como punto de comparación de

productos fotogramétricos resultantes de utilizar UAVs de gama media – alta. El ortomosaico obtenido con estas consideraciones se puede observar en la Figura 5.



Fig. 5 Ortomosaico obtenido con Pix4Dmapper y DJI Phantom 3 Pro.

Para obtener una medición real en estos ortomosaicos, se debe de establecer el GSD (Ground Sample Distance), conocido en español como “distancia de muestreo de suelo”. Esta es la relación de distancia que existe entre los pixeles de una imagen, es decir, a cuánto equivale un pixel por metro [6].

Para obtener este valor, se extendió en el área una cinta métrica con un valor de 10 metros. Con esto, se establece en las imágenes un punto inicial y un punto final, y con la fórmula de distancia entre dos puntos, es posible obtener el valor de cada pixel de manera individual. En la Figura 6 se puede observar la medición realizada con la cinta métrica (resaltada con color amarillo), en el primer ortomosaico obtenido.



Fig. 6 Ortomosaico obtenido con la medición de 10 metros.

La Tabla 1 muestra la información utilizada para obtener el valor de GSD, lo que representa las coordenadas del pixel inicial, el pixel final, la distancia entre los dos puntos y el valor que representa cada pixel en metros.

TABLA 1 INFORMACIÓN UTILIZADA PARA ESTABLECER EL VALOR DE GSD.

Ortomosaico	Coordenadas punto inicial	Coordenadas punto final	Distancia en Pixeles	GSD
DJI Mavic Mini sin software	3395X 1764Y	4387X 1765Y	992.0005 px	0.010080 64 m
DJI Mavic Mini sin software	2127X 1333Y	2686X 1338Y	559.0223 px	0.017888 37 m
DJI Phantom 3 Pro con software	2923X 1277Y	3509X 1277Y	586 PX	0.017064 84 m

Antes de llevar a cabo el procesamiento se debe de delimitar qué se busca obtener. En este caso, se busca la longitud y área de los contornos presentados en la Figura 7. El contorno verde es una óptima representación de superficies pequeñas con líneas rectas, mientras que el contorno morado representa superficies compuestas por líneas rectas y curvas.

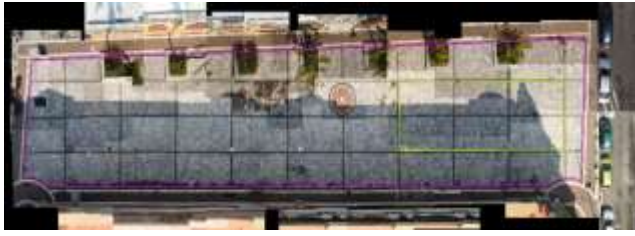


Fig. 7 Visualización de la información a obtener

B. Procesamiento de imagen.

Habiendo adquirido la imagen se procesa. El proceso inicia filtrando la imagen para reducir el ruido existente de entrada. El filtrado puede realizar en el dominio espacial (manipulación directa de cada pixel) o en el dominio frecuencial (basados en la transformada discreta de Fourier y la transformada indirecta de Fourier) [7].

El filtro utilizado es un filtro espacial gaussiano. Este filtro genera una matriz núcleo (kernel) en la cual, los elementos centrales tienen un mayor peso que aquellos a los extremos. La matriz núcleo realizará una convolución con la imagen de entrada para obtener una imagen resultante, la cual se define por la función gaussiana [8].

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Donde:

- σ Es la desviación estándar de la distribución, asumiendo que la distribución tiene una media de 0.
- x Es el punto de la matriz núcleo que realiza la convolución.

Se decidió utilizar este filtro debido a que es punto intermedio entre filtros de menor intensidad como el filtro promedio y filtros agresivos como filtros frecuenciales.

Después del filtrado se procede a segmentar la imagen. En este caso, debido a la técnica que se utilizó para la generación del ortomosaico, existen zonas en los extremos de la imagen las cuales presentan un error estereoscópico mayor. Estas zonas pueden ser eliminadas para evitar posibles ruidos en el procesamiento.

El algoritmo ocupado en este proceso es “GrabCut”. Este es una variación del algoritmo “GraphCut”. La diferencia radica en que el “GraphCut”, trabaja con un arreglo de opacidad α para poder generar un histograma de escala de grises y así segmentar. Por su parte, en el “GrabCut” el usuario define una zona rectangular dentro de la imagen original y luego utiliza un modelo de muestra gaussiano (GMM) para poder separar los pixeles de fondo con los pixeles de primer plano. Además, este proceso es iterativo y se repite hasta que una variable E deje de disminuir.

La Figura 8 muestra el resultado de segmentar la imagen de entrada usando el algoritmo “GrabCut”.



Fig. 8 Segmentación del área de estudio mediante “GrabCut”

Aunque el resultado es satisfactorio, opcionalmente se puede tomar la sugerencia de los autores del algoritmo “GrabCut” [9], de etiquetar manualmente la imagen. Esto para ayudar al algoritmo con la segmentación, de manera que no sea tan agresiva y pueda de-limitar los elementos deseados.

La asistencia proporcionada al algoritmo “GrabCut” consiste en un rectángulo delimitador. Éste debe de ser de un color contrastante a la imagen proporcionada (en este caso se introduce con un valor amarillo). Además, para asegurar que la segmentación sea la adecuada, el punto de inicio del rectángulo “GrabCut” debe de colocarse pegado a la esquina superior izquierda del rectángulo de ayuda. Por otro lado, el largo y el ancho del rectángulo “GrabCut” deben de quedar tocando los pixeles del rectángulo de asistencia. La Figura 9 muestra la ayuda proporcionada al algoritmo.



Fig. 9 Ayuda introducida para asistir a “GrabCut”

Esta línea introducida ayuda al algoritmo “GrabCut” a identificar los elementos que son parte de la capa superficial y los que son parte de la capa de fondo. Con la segmentación de esta nueva imagen, se obtiene la imagen resultante mostrada en la Figura 10.

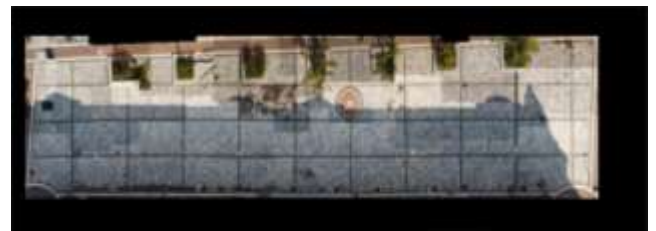


Fig. 10 Imagen resultante de segmentar la imagen.

Con la imagen segmentada, se procedió a encontrar el contorno. Un contorno lo podemos definir como una serie de puntos, los cuales al ser unidos forman una figura. En OpenCV, la manera más práctica de encontrar un contorno es a partir de una imagen binaria (la cual solo puede tener valor de 0 para negro y 1 para blanco). Por lo tanto, se transformó la imagen segmentada a una imagen en escala de grises, y luego

se binarizó mediante un umbral especificado. Todo lo que quede por debajo de este umbral se le asignará 0 y todo lo que quede en este rango será asignado 1. La Figura 11 muestra las líneas de contorno a las cuales se les desea obtener longitud y área, identificadas por la binarización.



Fig. 11 Imagen binarizada y líneas de interés.

Al obtener los contornos, OpenCV guarda todos los resultados en un arreglo en forma de vector de puntos. Estos contornos son ordenados según su jerarquía. Entre más cercano se encuentre el contorno del punto central de la imagen, menor será la jerarquía del contorno. Con esta información, se pueden identificar los contornos deseados en el arreglo llamado “contornos”.

OpenCV nos da la facilidad de encontrar las longitudes y áreas de los contornos con dos instrucciones de código: `cv2.arcLength()` para la longitud y `cv2.contourArea()` para el área [10]. Los resultados obtenidos deben de ser multiplicados por el valor de escalamiento GSD.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de realizar el procesamiento, son presentados en las tablas 2, 3 y 4.

A. Resultado UAV gama media-baja con ortomosaico manual

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos por el procesamiento realizado con el ortomosaico creado de manera manual, a partir de fotografías obtenidas con el DJI Mavic mini. Este ortomosaico es considerado como base, ya que el DJI Mavic Mini es un UAV de gama baja, además de que no fue necesario el uso de software fotogramétrico para la creación del ortomosaico.

En la Tabla 2, se puede observar que el porcentaje de error varía, con un mínimo de 1.0047% hasta un máximo de 3.3890%, teniendo con esto, un promedio de 1.7337%. Esta variación en el porcentaje de error, puede ser atribuida a la cantidad de fotografías de entrada. Una escases de fotografías durante la creación del ortomosaico, puede generar que exista zonas en la imagen resultante, en las cuales el paralelaje no sea el adecuado, lo que crea un error estereoscópico.

TABLA 2 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PRIMER PROCESAMIENTO.

<i>Ortomosaico Número 1</i>					
<i>Medición</i>	<i>Resultado en píxeles</i>	<i>Resultado en metros</i>	<i>Medición manual</i>	<i>Error</i>	<i>% de Error</i>
Perimeter 1	6,533.2964 px	65.8598 m	66.606 m	0.7462 m	1.1203 %
Area 1	1991,575.5 px ²	202.3825 m ²	209.4819 m ²	7.0994 m ²	3.3890 %
Perimeter 2	1,9895.0205 px	200.5545 m	202.590 m	2.0355 m	1.0047 %
Area 2	1,339,8452.5 px ²	1,361.5414 m ²	1,398.4913 m ²	36.9499 m ²	1.4210 %

B. Resultado UAV gama media-baja con ortomosaico automático.

La Tabla 3 muestra los resultados de realizar el procesamiento, con un ortomosaico generado a partir de fotografías obtenidas con el DJI Mavic Mini, utilizando el software fotogramétrico Pix4Dmapper.

Como se puede observar en la tabla, el porcentaje de error disminuyó, comparado con los resultados obtenidos durante el procesamiento con el primer ortomosaico, teniendo un porcentaje mínimo de 0.3967%, un porcentaje máximo de 0.9711%, y un error promedio de 0.7342%

TABLA 3 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SEGUNDO PROCESAMIENTO.

<i>Ortomosaico Número 2</i>					
<i>Medición</i>	<i>Resultado en píxeles</i>	<i>Resultado en metros</i>	<i>Medición manual</i>	<i>Error</i>	<i>% de Error</i>
Perimeter 1	3,749.0121 px	67.0637 m	66.606 m	-0.4577 m	0.6871 %
Area 1	661,001.5 px ²	211.5163 m ²	209.4819 m ²	-2.0344 m ²	0.9711 %
Perimeter 2	11,370.170px	203.3938 m	202.590 m	-0.8038 m	0.3967 %
Area 2	4,408,917 px ²	1,410.8260 m ²	1,398.4913 m ²	-12.3347 m ²	0.8820 %

C. Resultado UAV gama media-alta con ortomosaico.

La Tabla 4 contiene los resultados de realizar el procesamiento, con un ortomosaico construido con fotografías capturadas con el DJI Phantom 3 Pro y con el uso del software fotogramétrico Pix4Dmapper.

De los tres procesamientos realizados, este fue el que obtuvo menor porcentaje de error, logrando un porcentaje mínimo de 0.3853%, un porcentaje máximo de 0.5376% y un porcentaje promedio de 0.4613%.

TABLA 4 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL TERCER PROCESAMIENTO

<i>Ortomosaico Número 3</i>					
<i>Medición</i>	<i>Resultado en píxeles</i>	<i>Resultado en metros</i>	<i>Medición manual</i>	<i>Error</i>	<i>% de Error</i>
Perimeter 1	3,918.1421 px	66.8624 m	66.606 m	-0.2564 m	0.3849 %
Area 1	723,221 px ²	210.6082 m ²	209.4819 m ²	-1.2163 m ²	0.5376 %
Perimeter 2	11,917.5260 px	203.37067 m	202.590 m	-0.78067 m	0.3853 %
Area 2	4,828,187.5 px ²	1,406.0105 m ²	1,398.4913 m ²	-7.5192 m ²	0.5376 %

IV. CONCLUSIONES.

El separar los procesamientos realizados por el tipo de UAV utilizado, además de por el uso o no de software fotogramétrico, permite evidenciar las diferencias en los resultados obtenidos.

El uso de fotografías obtenidas con un UAV de gama media – baja, además de una elaboración manual del ortomosaico, implica que el error del sistema vaya en aumento lentamente. Sin embargo, gracias a las consideraciones establecidas durante la metodología, se pudo reducir el error del sistema hasta un punto en el que pueda ser considerado despreciable (siendo este, en promedio menor al 2%).

Aunque las fotografías utilizadas en la creación de los ortomosaicos 1 y 2 son las mismas, el método mediante el cual, los ortomosaicos fueron creados es distinto. La utilización de un algoritmo dedicado a la construcción de ortomosaicos, como lo es el empleado por el software Pix4Dmapper, genera imágenes de salida más suaves. Esta mejora en la imagen de entrada, tiene como resultado una disminución del porcentaje de error en el sistema.

Si se comparan los resultados del ortomosaico 1 contra los resultados del ortomosaico 3, existe una diferencia de 1.2724% en el porcentaje de error promedio, lo que representa la diferencia más grande entre los tres procesamientos realizados.

El uso de software de procesamiento, en conjunto con fotografías obtenidas con el DJI Phantom 3 Pro, tiene como resultado un nivel de error reducido. Esto es, debido a la resolución de las fotografías obtenidas es mayor comparada con las fotografías capturadas por el DJI Mavic Mini, por lo que el paralelaje se puede realizar de mejor forma.

Si un usuario desea implementar la metodología desarrollada en esta publicación, deberá de considerar que el equipo que posea impactará de manera directa en los resultados que obtendrá. Si considera que un error menor al 2% en el procesamiento de imágenes es aceptable, puede realizar la captura de la imagen de entrada utilizando un UAV de gama media y generar el ortomosaico de manera manual. Sin embargo, si desea obtener un resultado, con un error promedio menor, deberá de utilizar un UAV de mejor calidad, así como utilizar un programa dedicado a la construcción de ortomosaicos.

V. REFERENCIAS

- [1] F. S. Foundation, «www.fsf.org,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fsf.org/about/what-is-free-software>. [Último acceso: 2020 Agosto 06].
- [2] Intel, «OpenCV.org,» [En línea]. Available: <https://opencv.org/about/>. [Último acceso: 06 Agosto 2020].
- [3] O. S. Initiative, «The 2-Clause BSD License,» [En línea]. Available: <https://opensource.org/licenses/bsd-license.php>. [Último acceso: 06 Agosto 2020].
- [4] E. Q. Rosado, Introducción a la Fotogrametría y

Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil, Cáceres: Universidad de Extremadura, 2014.

- [5] J. Santamaría Peña y T. Sanz Mendéz, Fundamentos de Fotogrametría, Logroño: Universidad de La Rioja, 2011.
- [6] R. Driggers, Encyclopedia of Optical Engineering Volume 2, New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.
- [7] A. González Marcos, F. J. Martínez de Pisón Ascacíbar, A. V. Pernía Espinoza, F. Alba Elías, M. Castejón Limas, J. Ordieres Meré y E. Vergara González, TÉCNICAS Y ALGORITMOS BÁSICOS DE VISION ARTIFICIAL, Logroño: Universidad de la Rioja, 2006.
- [8] T. U. o. Auckland, «Gaussian Filtering,» The University of Auckland, Auckland, 2010.
- [9] C. Rother, V. Kolmogorov y A. Blake, «“GrabCut” — Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts,» Association for Computing Machinery, Nueva York, 2004.
- [10] doxygen, «OpenCV modules,» [En línea]. Available: <https://docs.opencv.org/master/>. [Último acceso: 2020 Agosto 06].