



29. FOTOGRAMETRÍA Y VIDEOGRAMETRÍA DESDE UAV PARA LA CAPTURA DE GEOINFORMACIÓN EN ESTUDIOS GEOLÓGICOS.

AUTORES:
FELIPE BULL, MARÍA AMPARO NÚÑEZ-ANDRÉS,
NIEVES LANTADA, ALBERT PRADES.

RESUMEN:

En los estudios de prevención y evaluación de riesgos naturales, la captura de imágenes desde vehículos aéreos no tripulados (UAV en sus siglas en inglés) ha tenido un gran impulso en la última década por sus amplias posibilidades. Entre otros riesgos naturales, los deslizamientos de ladera rápidos y la caída de bloques rocosos tienen un gran potencial de causar daños, tanto humanos como materiales. Este tipo de movimientos ocurren en zonas de gran pendiente ($> 45^\circ$), muy poco accesibles en la práctica, lo que suele impedir la obtención sobre el terreno de una serie de datos completa y representativa y, por otra parte, entraña un riesgo para los observadores.

El uso de UAV como plataforma para sensores de captura de información geoespacial en estudios geológicos está plenamente justificada en estos casos en que no es recomendable la proximidad a la zona activa.

En el uso de estos dispositivos no se pueden utilizar siempre los mismos parámetros, sino que requiere de un tratamiento específico para cada caso de estudio. Su elección depende de la precisión requerida, así como, del tipo y del tamaño de movimiento de la ladera.

En la actualidad existen gran variedad de vehículos aéreos no tripulados y cámaras fotográficas que permiten la toma de vídeo y fotografía fija, así como otros tipos de sensores (cámaras de infrarrojo cercano, termografía, LiDAR...). Para cada aplicación, es necesario determinar qué tipo de captura es el más adecuado para obtener una óptima relación coste-beneficio.

En esta ponencia nos centramos en la captura de imágenes desde multicopteros considerando dos fuentes diferentes de información: fotografía y vídeo. Se analizarán las características y precisiones de los modelos obtenidos con ambos tipos de captura y con la captura con fotogrametría terrestre, así como las posibles aplicaciones de la información en función de la calidad obtenida.

El área de prueba ha sido uno de los frentes de una cantera ubicada en la región de "El Garraf", al SO de la provincia de Barcelona. La pared de la cantera es de roca caliza, de aproximadamente 100 m de longitud y 75 m de alto, y en la actualidad presenta varias cicatrices y grietas con interés geológico. Además en esta pared se produjo un desprendimiento de rocas hace pocos meses que dañó alguno de los almacenes situados más abajo, en las cercanías.

Se han obtenido modelos independientes utilizando cada tipo de captura: UAV y terrestre, y combinando ambos, tanto en el caso de vídeo como fotografía. Los resultados obtenidos muestran la ventaja del empleo de las imágenes terrestres para la georreferenciación y ajuste del bloque fotogramétrico conjunto.

INTRODUCCIÓN

En la última década las técnicas geomáticas son ampliamente utilizadas para la gestión de riesgos ambientales suministrando información espacial para identificar, evaluar y cuantificar estos riesgos. Si se establece el foco en riesgos geológicos como son los deslizamientos de tierra, los flujos de derrubios (debrisflow), las caídas de rocas ..., las técnicas más empleadas son los sistemas de radar terrestre y aéreo del tipo de apertura sintética (Synthetic Aperture Radar, SAR) (Montserrat, 2014), el barrido con láser aerotransportado o en la superficie terrestre (Light Detection And Ranging, LiDAR) (Baltasvias, 1999; Abellán et al, 2006; Abellán et al, 2009; Brideau et al, 2012) y la fotogrametría digital; por ejemplo en este último caso utilizando fotogrametría digital terrestre como técnica para el análisis de imágenes en diferentes momentos como eventos pre y post (Brück et al, 2006; Schwab et al, 2008). Por otro lado es importante



destacar el cambio sufrido por la fotogrametría aérea desde la aparición y empleo de los sistemas UAV (Unmanned Aerial Vehicle) en la captura de imágenes aéreas (Liu et al, 2011).

Los sistemas UAV son sistemas de bajo coste frente a la utilización del avión o el helicóptero. Además, permiten estar más cerca del objeto sin riesgo para el operador, pero en la actualidad tienen el inconveniente de una menor autonomía y la limitación en el peso de los sensores de captura (cámaras fotográficas, de vídeo u otros). Se debe considerar que desde la obtención del primer modelo digital del terreno de alta resolución en 2005 con un helicóptero no tripulado (Eisenbeiss et al, 2005) se han desarrollado tecnologías con cámaras más pequeñas y ligeras, y con una mayor resolución.

Cuando el área de trabajo tiene un acceso difícil y la toma de las imágenes presenta un alto riesgo también se han venido utilizando otro tipo de plataformas aéreas, como los globos cautivos o los zepelines (Fotinoupolos, 2004; Scheritz et al, 2008), pero se debe considerar que su uso está limitado a ciertos entornos y condiciones, y no son adecuados para zonas de montaña o importantes escarpes rocosos.

En esta ponencia nos centramos en la captura de imágenes con vehículos aéreos no tripulados considerando dos fuentes diferentes de captura: la imagen fotográfica y el vídeo. El primero proporciona una mayor resolución y un número reducido de fotogramas, y el segundo permite un mayor número de fotogramas con una resolución menor. Las limitaciones de las dos formas de captura se analizarán para la evaluación de desprendimientos.

En el estudio de caídas de rocas el objetivo es evaluar el volumen potencial para la rotura del escarpe de una ladera. Cuando se estudia un fenómeno complejo, como puede ser un bloque macizo o un conjunto de bloques intactos delimitados por discontinuidades preexistentes, es necesario identificar y caracterizar los distintos tipos de comportamientos y clasificarlos adecuadamente (Corominas, 1989). Con técnicas fotogramétricas puede obtenerse una caracterización de las discontinuidades o definir el patrón de fracturación de la masa rocosa desprendida. En este artículo se analiza qué calidades pueden obtenerse con diferentes modos de trabajo y si permiten realizar estas caracterizaciones.

TÉCNICAS GEOMÁTICAS EN EL MONITOREO DE RIESGOS GEOLÓGICOS

Las metodologías más utilizadas para el seguimiento de laderas en la actualidad se basan en la captura masiva de información tridimensional. Entre los métodos más utilizados se incluyen los sistemas LiDAR, tanto aéreo como terrestre, el radar terrestre, y la fotogrametría terrestre y aérea desde UAV.

Estos métodos permiten reemplazar o complementar otros métodos clásicos basados en el análisis visual in situ y en fotografías y el muestreo de laderas con rejillas o líneas (scan-line) (Gross et al, 1995).

El uso de sistemas LiDAR aéreo (Airborne Laser Scanning, ALS) ha permitido obtener modelos densos de laderas (alrededor de 1 punto/m²). Este tipo de captura espacial permite estudios de grandes áreas, pero hace muy difícil interpretar los fenómenos geológicos de pequeño tamaño (Baltsavias, 1999). En estos casos, es necesario realizar otras observaciones para densificar y rellenar las posibles zonas ocultas por la perspectiva o el propio modelo (como cabezas de acantilados, grandes bloques, etc.) (Schenk, 2002).

En el caso terrestre, Laser Escáner Terrestre (Terrestrial Laser Scanning, TLS), el LiDAR nos permite trabajar con una densidad más alta que en el caso aéreo, y las nubes de puntos pueden alcanzar densidades mayores, de más de 100 puntos/m². La nube de puntos se captura desde diferentes puntos de este modo se pueden cubrir aquellas zonas que quedaban ocultas por la perspectiva en cada una de las estaciones (Buill et al, 2008). En general, estos sistemas tienen menos distancia de captura y se utilizan para estudios en áreas pequeñas.

El uso más común del radar terrestre (Ground Based Synthetic Aperture Radar, GBSAR) es el seguimiento y control en laderas inestables (Crosseto et al, 2009), con buena visibilidad, períodos de tiempo largos y continuos, y dónde se producen desplazamientos horizontales, fundamentalmente. La utilización del radar aéreo (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) se utiliza generalmente para el control de grandes superficies, con desplazamientos verticales, producidos por la eliminación de material en profundidad, como es el caso de algunas minas (Biescas et al, 2007), o por extracción de agua o de otros depósitos fósiles.

Los métodos basados en la fotogrametría aérea clásica requieren cobertura fotográfica ajustada al terreno, donde la



29. FOTOGRAMETRÍA Y VIDEOGRAMETRÍA DESDE UAV PARA LA CAPTURA DE GEOINFORMACIÓN EN ESTUDIOS GEOLÓGICOS.

escala de trabajo debe mantenerse lo más constante posible, así como las relaciones entre las bases fotográficas y la distancia al modelo (Lerma, 2002). De este modo se logran modelos de alta calidad pero los equipos utilizados tienen un alto coste. Los productos derivados de esta cobertura pueden ser muy variados: Modelos Digitales del Terreno (MDT), restitución por línea, ortofotografías... Al igual que en la técnica LiDAR, el caso fotogramétrico terrestre tiene más limitaciones que el aéreo. El trabajo en la superficie facilita la labor de campo, pero limita la zona para inspeccionar de cada par estéreo.

Todas las técnicas terrestres expuestas tienen dificultades en común. Por un lado, si se desea una alta densidad de datos o resolución, es necesario acercarse a la zona de estudio con el riesgo que ello conlleva. Por otro lado, para completar los modelos es necesario capturar desde muchas posiciones, que no siempre son accesibles. Todo esto se puede evitar mediante el empleo de fotogrametría aérea usando UAV (Figura 1).



Figura 1. Utilización de cuadricóptero para obtención de fotografías.

Para analizar el riesgo geológico es necesario contar con MDT y coberturas fotográficas de varias campañas, ya que el objetivo consiste en estudiar los cambios en los volúmenes después de diferentes eventos y caracterizar los conjuntos de fisuras. Otros estudios utilizan estos MDT's y las ortofotografías para analizar la evolución de los movimientos o de la masa movilizada (Niethammer et al, 2012; Stumpf et al, 2013). En este último caso, tanto el límite en la autonomía de vuelo por el rápido consumo de las baterías como el peso de la cámara a situar en el UAV tienen que ser valorados. Este hecho es una de las principales condiciones para elegir el sensor.

CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio que se presenta corresponde con el levantamiento de uno de los frentes de una cantera de PROMSA situada en la sierra de Coma Roja, cerca del Puig de Mola, comarca de El Garraf (Barcelona, España). El afloramiento se compone principalmente de calizas, y el espacio de trabajo abarca 100 m de largo con una profundidad de 80 m y un desnivel de 75 m que han sido cubiertos por un levantamiento fotogramétrico mediante coberturas fotográficas desde UAV y desde terreno. En el primero de los casos la toma se ha realizado tanto en toma de imagen fija como en video. La cobertura terrestre se efectúa para permitir una mejor identificación de los detalles sobre el modelo y las fotografías, que servirán para apoyar los trabajos fotogramétricos, utilizándose en el ajuste fotogramétrico en bloque junto a la cobertura aérea.

En ambos casos la georreferenciación final se realizó dotando de coordenadas a detalles naturales significativos, identificables en las imágenes, ya que la colocación de dianas era imposible sin la presencia de escaladores.

En las siguientes secciones se describen los diferentes trabajos de captura y procesamiento de los datos.



Fotogrametría terrestre

En el caso terrestre se utilizó una cámara Canon EOS 450D, con un sensor tipo 3/2 CMOS de 12.2 Mpx (4272x2848) y una lente SIGMA Aspherical con focal fija de 24 mm y abertura f/1.8 EX DG.

En este caso, para resolver el efecto de la iluminación del Sol en las imágenes fotográficas (sombras, contrastes excesivos, ocultación de detalles...) se empleó la técnica HDR (High Dynamic Range). Esta técnica permite obtener en una imagen un mejor rango dinámico de luminancia entre las zonas de sombra y las zonas iluminadas. La técnica HDR permite capturar varias fotografías estándar del mismo objeto (generalmente con fotografías en modo ráfaga), variando para cada una de ellas uno o más parámetros de exposición (enfoque, velocidad de obturación, abertura de la lente...) por lo general utilizando un horquillado fotográfico, y finalmente combinarlas en una sola imagen.

En el caso de estudio se efectuó una cobertura fotográfica general con una base fotográfica de 2 m, con un total de 91 fotografías, a una distancia media de 20 m, una escala aproximada de 1/850, mediante posicionamiento de la cámara sobre un trípode; para cada posición se tomaron 3 fotografías en forma de ráfaga para utilizar el sistema HDR (Figura 2). En algunas posiciones fue necesario, para cubrir toda la superficie de la pared motivo de estudio, efectuar una terna fotográfica desde cada posición fotográfica, una fotografía horizontal, otra contrapicada, y otra oblicua.



Figura 2: Imágenes originales (superior) y la obtenida mediante la técnica HDR (inferior).

En total se tomaron un total de 172 fotografías desde la superficie del suelo. La cámara utilizada fue un modelo Canon EOS 450D mediante el modo ráfaga, para la obtención de 3 imágenes en modo automático de exposición (AEB), con valores de 2, 0 y -2, para una resolución de 12.2 Mpx (4272x2848) y una distancia focal de 24 mm. Con el modo AEB la cámara toma automáticamente tres fotografías: una en sus ajustes de exposición específicos, una segunda fotografía subexpuesta; y la tercera ligeramente sobreexpuesta.

La superposición de las fotografías de esta cobertura es de más del 70% en sentido longitudinal y del 50% entre pasadas.

Fotogrametría aérea

El material utilizado para la cobertura fotográfica ha sido un cuadricóptero DJI modelo Inspire 1 Pro 4K con las siguientes especificaciones técnicas: dimensiones 450 mm, peso 3.4 kg con cámara y batería, carga máxima 0.65 kg, puede trabajar en alturas hasta 4500 m, velocidad máxima de 18 m/s y tiene una duración de tiempo de vuelo cercano a los 15 minutos, con los accesorios necesarios para la realización de fotografías y su georreferenciación aproximada (cámara fotográfica, con un sistema cardan/gimbal y receptor GNSS). Dispone de una cámara Zenmuse X5 modelo FC550 con un sensor tipo 4/3 CMOS de 16 Mpx (4608x3456), la lente es el modelo DJI MFT con focal de 15 mm, abertura f/1.7 y lente esférica (ASPH) además dispone de la posibilidad de video 4K (4096x2160).

Se utilizó la opción de efectuar fotografía fija y vídeo con el mismo dispositivo. En el caso del vídeo con la opción 4K a 23 fps y un campo de visión de 94°, y la opción de control remoto mediante una aplicación móvil desde una tablet. La captura se realizó a una altura media de 30 m en el caso fotográfico y para la cobertura de vídeo, con variaciones entre los 26 y los 32 m, por lo que las escalas fluctúan entre 2250 y 1700. La velocidad máxima utilizada, cercana a 5 m/s, con tiempos de disparo inferiores a 1/5000 garantiza un arrastre cercano a 1 mm en el terreno.



RESULTADOS

Para crear los modelos 3D se utilizó el software Agisoft PhotoScan. En primer lugar se calcularon los modelos independientes, en los procesos terrestre y aéreo (tanto para fotografía como vídeo), y luego la combinación de los tres casos tomando las imágenes de dos de ellos, 3 independientes y 3 combinaciones, en nuestro caso se decidió: el modelo con cobertura terrestre, el modelo con cobertura fotográfica/UAV, el modelo con cobertura de vídeo/UAV, el modelo terrestre más el caso fotográfico/UAV, el modelo terrestre más el caso vídeo/UAV, y el modelo fotográfico/UAV más el caso vídeo/UAV. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

	COBERTURA TERRESTRE	COBERTURA FOTOGRÁFICA	COBERTURA VIDEO	COBERTURA T. + F.	COBERTURA T. + V.	COBERTURA F. + V.
Nº IMÁGENES	91	316	323	407	414	639
Nº IMÁGENES USADAS	91	310	323	401	414	619
GSD (IMAGEN) (m)	0.005	0.008	0.006	0.008	0.006	0.007
PUNTOS DE ENLACE	10894	12282	17773	22410	24371	22274
PROYECCIONES	74104	169471	196573	242139	245476	363123
CÁMARA	CANON EOS 450D	FC550	FC550	CANON EOS 450D/ FC550	CANON EOS 450D/ FC550	FC550
FOCAL (mm)	24	15	15	24/15	24/15	15
ERROR X (m)	0.005	0.004	0.010	0.009	0.013	0.007
ERROR Y (m)	0.011	0.013	0.005	0.013	0.011	0.018
ERROR Z (m)	0.011	0.012	0.016	0.010	0.020	0.011
ERROR XYZ (m)	0.017	0.018	0.019	0.019	0.026	0.022
GSD FINAL (MDT) (m)	0.020	0.030	0.024	0.031	0.023	0.027
DENSIDAD (Puntos/m ²)	2476	1074	1698	1013	1964	1342

Tabla 1. Información sobre el MDT generado después del proceso fotogramétrico

El proceso seguido es el habitual en estos programas, el primer paso es la incorporación de las fotografías tomadas con los criterios de recubrimientos y escalas, a continuación, se efectúa la búsqueda de detalles en las imágenes, en este software de forma automática utilizando el algoritmo SfM (Structure from Motion) (Faugeras et al, 2001). Este algoritmo identifica detalles con características de alto contraste en las imágenes, empareja estos puntos (puntos homólogos), determina las ubicaciones relativas de la cámara y efectúa la alineación de las fotografías entre ellas, a la vez que construye nubes de puntos poco densas con los puntos homólogos comunes a 2 o más fotografías, a voluntad del operador. Además, puede determinar y ajustar los valores de calibración de la cámara fotográfica utilizada, de acuerdo con las ecuaciones de la proyección central y una función de distorsión (siguiendo el modelo de Brown), que tiene en cuenta el efecto radial y tangencial (Brown, 1966).

En nuestro caso se utilizaron 10000 puntos por fotografía para el caso de búsqueda de puntos/características y 1000 puntos comunes para los modelos fotogramétricos. A continuación, las coordenadas de nuevos puntos en el modelo se calcularon con alta calidad y filtros de profundidad, construyendo lo que se define como nube densa (Figura 3). En el proceso de orientación absoluta (georreferenciación) para todos los casos el número de puntos de apoyo tomados en campo han sido similares, 7 puntos distribuidos de forma homogénea en la zona de estudio. Con estos datos espaciales han sido obtenidos mallas con texturas y diferentes productos cartográficos (DEM, ortofotografías...).

Para el modelo terrestre el tamaño de píxel o Ground Sample Distance (GSD) es menor de 5 mm, y la georreferenciación tiene un error medio inferior a los 2 cm (3D). En el caso de las fotografías aéreas el tamaño medio de píxel es algo mayor, alrededor de 8 mm, y en el caso del vídeo de 6 mm, el valor de las georreferenciaciones son similares a la anterior. El uso de fotografías terrestres junto con las coberturas aéreas permite una mayor comodidad, facilitando la búsqueda de características entre coberturas, permitiendo un mejor ajuste común del bloque y consiguiendo una alta precisión en el proceso de georreferenciación.

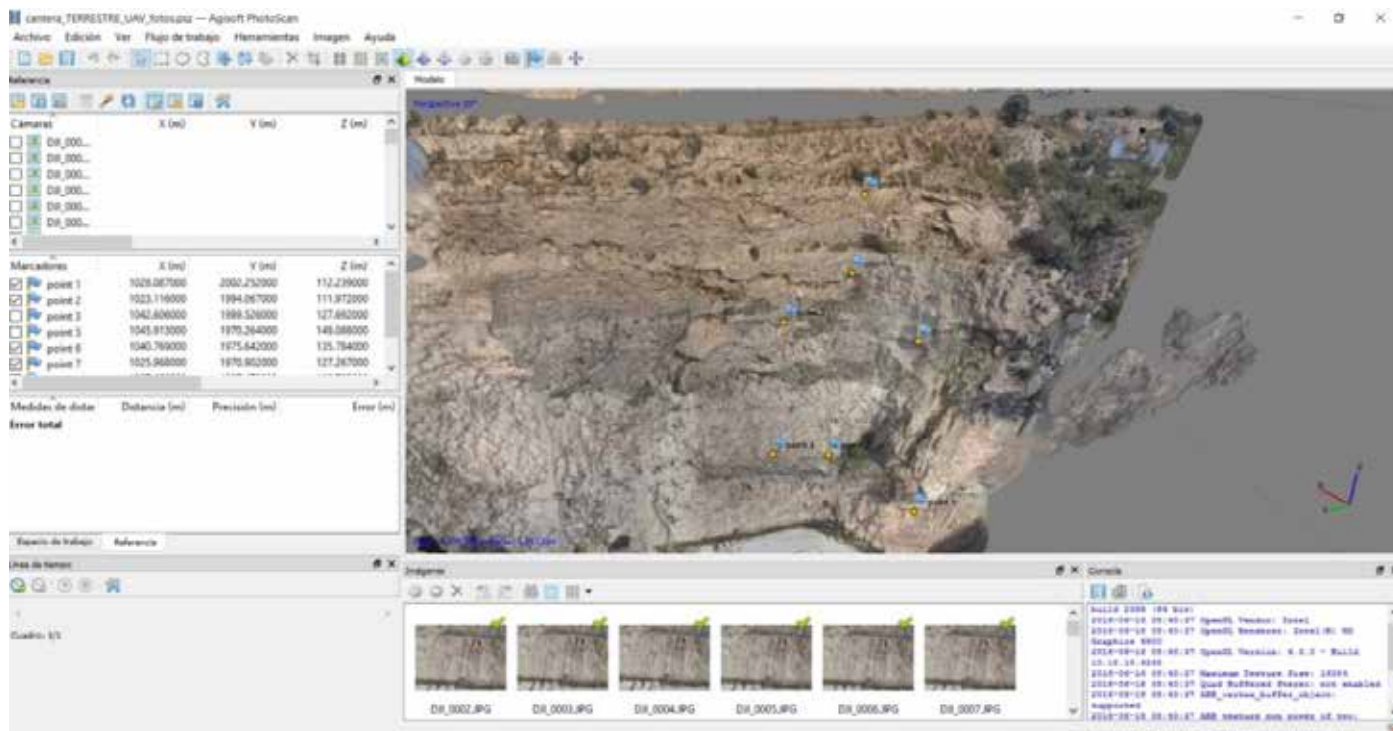
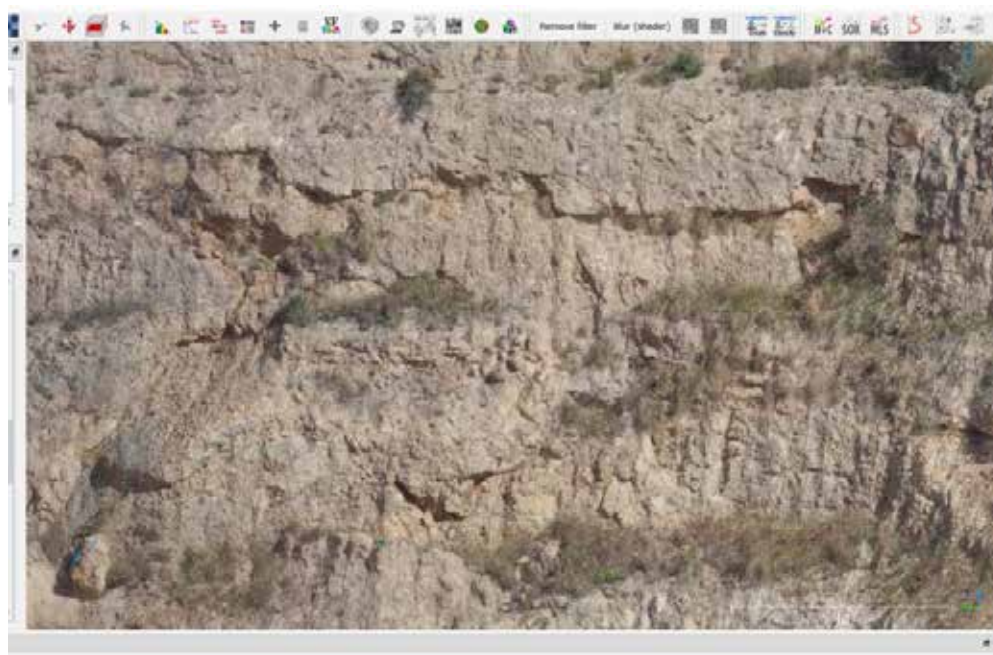


Figura 3. Modelo fotogramétrico obtenido de la cantera.

Figura 4: Nube de puntos obtenida a partir de la captura de vídeo.



El resultado, en todos los casos, permite la identificación de la mayoría de las familias de fisuras y grietas o la distribución del tamaño de la cicatriz por la caída de rocas de un acantilado, con el fin de obtener varias distribuciones de volumen (Figura 4).

Para los requerimientos exigidos en este trabajo con el fin de obtener el mismo resultado utilizando el vídeo o las fotografías lo fundamental es el uso de vídeo de alta calidad (4K), ya que permite obtener modelos con densidad y calidad similar a los fotográficos, como muestran los resultados recogidos en la tabla 1, reemplazando vídeos de resolución más baja y un mayor número de fotogramas.



CONCLUSIONES

El uso de UAV con captura de imagen fotográfica o de vídeo 4K para los casos de seguimiento de taludes inestables, evaluación de daños tras los sucesos y control de infraestructuras afectadas se muestra ventajoso en comparación a otras técnicas geomáticas... Por un lado, frente al LiDAR, tanto terrestre como aéreo, o la fotogrametría aérea convencional, el UAV supone una inversión económica menor, para cubrir y acceder a las mismas zonas y proporcionando una resolución similar, siempre que se trate de zonas no muy extensas. Hay que destacar también que para este tipo de estudios, en que se observan superficies muy inclinadas y abruptas, las técnicas aéreas (fotogrametría o LiDAR) no proporcionan cobertura en toda la superficie ni tampoco con la suficiente resolución.

Por otro lado, el uso de plataformas UAV frente al caso fotogramétrico terrestre, tiene la ventaja de poder acceder a cualquier zona de la pared rocosa y del canchal, y permite la toma de fotografías a una distancia cercana; mientras que en fotogrametría terrestre puede estar limitada por la falta de visibilidad, falta de suficiente espacio para el estacionamiento de la cámara cerca de la pared o vegetación cercana a la pared.

Para la determinación de MDT's precisos y de alta calidad que permitan el establecimiento de volúmenes del material acumulado por deslizamientos y flujos de derrubios, y la determinación de familias de fisuras en macizos rocosos es necesario utilizar equipos UAV que permitan una alta estabilidad en todos los casos sobrevolados y la obtención de fotografías de alta resolución. Generalmente estas dos condiciones obligan a trabajar con UAV de mayor envergadura, de tipo multicóptero y cámaras de mayor tamaño y peso.

En el caso terrestre la utilización de la técnica HDR, permite la obtención de MDT's de mayor calidad y con mayor densidad que los obtenidos por técnicas fotográficas convencionales. También se consiguen productos derivados de mayor calidad (planos vectoriales, ortofotografías...).

Para finalizar cabe mencionar la necesidad de planificar de forma adecuada las coberturas fotográficas, tanto si son independientes como si se efectúan de forma conjunta (si es necesaria la unión del caso aéreo y el terrestre). De esta forma se evitaría la pérdida de calidad por una mala geometría, una incorrecta altura o falta de algún fotograma, muy probable en caso de efectuar fotografías desde drone en entornos como los presentados (laderas escarpadas, canchales, acantilados...), y especialmente en zonas de alta montaña.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la cantera PROMSA, al director de la empresa GEOMAR Sr. Joan Martínez Bofill y al piloto del UAV Roger Ruíz Carulla

Parte de este trabajo ha sido desarrollado dentro del Proyecto RockRisk (2014-2016) <http://rockrisk.upc.edu/es>. Este proyecto está financiado por el Ministerio español de Economía y Competitividad, y titulado "Desprendimientos en escarpes rocosos: Cuantificación del riesgo y su prevención" (BIA2013-42582-P).

REFERENCIAS

- Abellán, A., Vilaplana, J.M., Martínez, J., 2006. Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*, 88:136-148.
- Abellán, A., Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Vilaplana, J.M., 2009. Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event. *Nat. Earth Syst. Sci.*, 9: 365-372.
- Baltsavias, E.P., 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 83-94.
- Biescas, E., Crippa, B., Crosetto, M., Agudo, M., Monserrat, O. 2007. Two radar interferometric approaches to monitor slow and fast land deformations. *Journal of Surveying Engineering*, 133: 66-71
- Brideau, M., Sturzenegger, M., Stead, D., Jaboyedoff, M., Lawrence, M., Roberts, N., Ward, B., Millard, T., Clague, J. 2012. Stability analysis of the 2007 Chehalis lake landslide based on long-range terrestrial photogrammetry and airborne LiDAR data. *Landslides*, 9:75-91
- Brown, D. C. 1966. Decentering distortion of lenses. *Photogrammetric Engineering*. 32 (3): 444-462.
- Brückl, E., Brunner, F.K., Kraus, K. 2006. Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data. *Engineer-*



ring Geology, 88: 149-159.

Buill, F., Núñez, M. A., 2008. Aplicación del láser escáner terrestre para levantamientos arquitectónicos, arqueológicos y geotécnicos, Mapping, 124: 46-49.

Corominas, J., 1989. Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera, J. Corominas (Ed.), Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales. Sociedad Española de Geomorfología, 3: 1-30.

Crosseto, M., Montserrat O., Pozzoli A., Gili J.A., 2009. Detección y medida de deformaciones del terreno utilizando interferometría diferencial SAR, VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Barcelona.

Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M., 2005. Photogrammetric recording of the archaeological site of Pinchango Alto (Palpa, Perú) using a mini helicopter (UAV), Proceedings of the 33rd CAA Conference, Tomar, Portugal, 21-24.

Faugeras, O., Luong, Q.-T., Papadopoulos, T., 2001. The Geometry of Multiple Images. MIT Press.

Fotinopoulos, V., 2004. Balloon photogrammetry for archaeological surveys. International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XX ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, XXXV-B, 504-507.

Gross, M.R., Engelder, T., 1995. Strain accommodated by brittle failure in adjacent units of the Monterey formation, U.S.A.: scale effects and evidence for uniform displacement boundary conditions. Journal of Structural Geology, 17: 1303-1318.

Jerma, J.L., 2002. Fotogrametría moderna: analítica y digital, Ed. UPV, España, 430 p.

Liu, C., Li, W., Lei, W., Liu, L., Wu, H., 2011. Architecture Planning and Geo-Disasters Assessment Mapping of Landslide by Using Airborne LiDAR data and UAV images, T Q. Tong, X. Gu, B. Zhu (Eds), 17th China Conference on Remote Sensing SPIE, China, Vol. 8286.

Montserrat, O., Crossetto, M., Luzi, G., 2014. A review of ground-based SAR interferometry for deformation measurement, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 93: 40-48.

Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J., Joswig, M., 2012. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. Engineering Geology, 128: 2-11.

Schenk, T., Csatho, B., 2002. Fusion of LiDAR data and aerial imagery for a more complete surface description. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1 (34).

Scheritz, M., Dietrich, R., Scheller, S., Schneider, W., Boike, J., 2008, High Resolution Digital Elevation Model of Polygonal Patterned Ground on Samoylov Island, Siberia, Using Small-Format Photography, 9th International Conference on Permafrost, United states permafrost association, USA, 1589-1594.

Schwab, M., Rieke-Zapp, D., Schneider, H., Liniger, M., Schlunegger, F., 2008. Landsliding and sediment flux in the Central Swiss Alps: A photogrammetric study of the Schimbrig landslide, Entlebuch, Geomorphology, 97 (3-4): 392-406.

Stumpf, A., Malet, J.-P., Kerle, N., Niethammer, U. and Rothmund, S., 2013. Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics. Geomorphology, 186: 12-27.