EL USO DE FOTOGRAMETRÍA DE BAJO COSTE EN LA CREACIÓN DE NUBES DE PUNTOS APLICADA A LA ARQUEOLOGÍA COMERCIAL

Moisés Hernández Cordero

Resumen:

El Láser Escáner y la Fotogrametría han sido recientemente incorporados a nuevos proyectos en el marco de trabajo del equipo de Geomática de Museum of London Archaeology (MOLA). La intención es adaptar nuevas formas de medición a la Arqueología de la Arquitectura y la Arqueología de campo, para poder ampliar los servicios que se ofrecen en el mercado de dichas disciplinas.

En la presente comunicación se quiere mostrar el uso de estos métodos aplicados a distintos ambientes de trabajo, para así reforzar la idea del uso del Láser Escáner y de la Fotogrametría como alternativa –especialmente cuando el registro arqueológico ha desaparecido- en la captura de datos estratigráficos, edificios y objetos. El uso conjunto de dichos métodos puede ayudar a completar o mejorar el empleo de otras técnicas utilizadas (GPS y estación total) facilitando así un mejor resultado final que, además, puede ser rectificado con posterioridad.

Finalmente, abordaremos la cuestión acerca del uso real de estas técnicas en la arqueología comercial llevadas a cabo por el equipo de Geomática de MOLA. Se pretenden exponer con ello las distintas posibilidades existentes de uso de esta técnica con uno de los distintos softwares disponibles (Agisoft Photoscan), los problemas surgidos en su empleo, así como las posibles aplicaciones de las mismas a la arqueología de investigación.

Palabras clave:

Nube de puntos, fotogrametría, láser escaner, photoscan, modelo en 3d.

Abstract:

Laser Scan and Photogrammetry has recently been used in new projects in which the Museum of London Archaeology (MOLA) Geomatics Team has been involved. The aim is to use and develop new methods to undertake building and archaeological surveys which will allow the company give a wide range of services to the clients.

The aim of this paper is to show the use of these techniques applied in different work environments, to reinforce the use of Terrestrial Laser Scan and Photogrammetry as a real alternative – especially if the archaeological record has been lost, removed or destroyed- to survey archaeological contexts, buildings and finds. Combining both at the same time can help to complete and improve the use of other survey techniques (such the use of GPS and total station) to have better results that can be later rectify.

Finally, we will give some samples of the use of this method on commercial archaeological projects undertaken by Museum of London Archaeology (MOLA) Geomatics Team. The idea is to show the possibilities of their use on one of the commercial softwares available (Agisoft Photoscan), the problems found as well as the possible application into archaeological researchs and interventions

Key words:

Point cloud, photogrammetry, laser scan, photoscan, 3d photo-model

Nube de puntos

La expansión de la Fotogrametría digital terrestre aplicada a la Arqueología se está viendo reflejada en la cantidad de proyectos y artículos que aplican esta técnica como otro método más de adquisición de datos (Acka, 2012: 140). Esto se ha visto reflejado también en el aumento de su uso en los proyectos relacionados con intervenciones en el patrimonio (Santagati et al, 2013, Kersten, T et al, 2012: 728).

Una nube de puntos es una representación en 3D de puntos tomados/medidos de una superficie de la que luego se quiere crear una reconstrucción o modelado en 3D (Verhoeven, 2011: 68). Esto es posible gracias a algoritmos que pueden generar un mallado de triángulos para representar esa superficie previamente capturada.

Nuestro objetivo en todo el proceso va a ser el de obtener una nube de puntos que cubra todo el objeto y/o estructura a estudio, con una máxima precisión y con una serie de valores: red, green, blue (RGB) e intensidad. Esto permite su manipulación en un programa ampliamente usado por topógrafos, ingenieros, arquitectos y arqueólogos (*Computer Aided Drawing*, CAD) en un formato ampliamente extendido (.dwg).

La nube de puntos no tiene que estar necesariamente georeferenciada *a priori* puesto que no todos los clientes demandan un modelo en tres dimensiones (3D) o posicionado en el mundo real. Los productos demandados varían desde una simple localización de objetos o elementos arquitectónicos hasta una estructura de alambre (*wireframe view*) del trabajo realizado. La georeferenciación del modelo es siempre una buena idea porque permite poder incluir esos datos a posteriori, en una base de datos más compleja, así como ayuda también al proceso de unión en un archivo de todo el trabajo acometido. Así, éste es el caso la captura de datos hecha en *London Wall Place*. La idea consiste en que, aunque todo no se vaya a utilizar para el trabajo final, se disponga de una buena base de datos, fiable y precisa. Esto permite que se puedan realizar más trabajos con los mismos datos recogidos en un solo momento. Hay que tener en cuenta, que no

siempre se dispone de la posibilidad de una segunda medición en campo (porque ha sido destruído, por acceso/permisos, por carga de trabajo…)

Las dos técnicas usadas en las actuaciones (láser escáner y Fotogrametría Digital Terrestre) tienen por objetivo obtener unos resultados lo más fiables y precisos a la realidad. En el caso del láser escáner, la forma habitual de proceder es utilizar diferente posiciones a lo largo de la estructura a medir, con dianas colocadas de tal forma que siempre se alcance un mínimo de tres en cada fase de escaneo. Su finalidad es poder luegonajustar y unir en una misma proyección los diferentes escaneos llevados a cabo, creando una nube de puntos a través de la información generada por el instrumento.

Cada una de las posiciones adoptadas para el establecimiento del escáner se georeferenciarán en 3D utilizando la estación total para buscar puntos de referencia conocidos en la geografía del área o el *Global Positioning System* (GPS). En nuestro caso, utilizamos *Global Navigation Satellite System* (GNSS) del Leica Viva GS14. Este proceso tiene dos objetivos: el mencionado anteriormente de georeferenciar y el uso a posteriori de esas estaciones como referencia en el caso de que se tengan que hacer más mediciones o incluso para otros trabajos en el área (incluir en otro modelo de puntos)

En el caso de la Fotogrametría Digital Terrestre, existe un amplio rango de programas para el procesado de fotografías (Torres et al, 2012:). Optamos por el uso del software Photoscan, de la compañía rusa Agisoft. El proceso de captura es algo más sencillo, no tan tedioso como las distintas estaciones y puntos de referencia del láser escáner. Se intentará conseguir una cobertura del objeto/estructura desde distintos ángulos, siempre procurando tener en común los objetivos alrededor o en el mismo objeto e intentando tomar las fotos con al menos un 60% de superposición. Luego, en el procesado de las imágenes, estas servirán para georeferenciar la nube de puntos creada. Para algunos autores, esta técnica es de las más precisas, fiables, rápidas y baratas del mercado (2012_SanIıoGlu et all:150), lo que facilita que la Fotogrametría digital terrestre sea a menudo la técnica de medición preferida para la captura de datos (Arias et al., 2005). Según diversas investigaciones con distintos objetos y en distintas situaciones, los resultados con PhotoScan tienen más o menos la misma precisión global que los alcanzados con el láser escáner. (Doneus et alii, 2011: 84)

Cuestiones sobre el uso de esta tecnología en arqueología

Dentro de las múltiples alternativas que existen para procesar las fotos se ha elegido Photoscan, no por un mejor conocimiento de los otros software si no por ser uno con el que experimentar esta técnica de captura de datos. La gran ventaja que posee este método es su relativo bajo coste. En este caso, la licencia es de unas

£1600 y con uso compartido en servidor, de tal forma que una máquina virtual puede servir para varios proyectos. También se ahorran costes de procesado que llevaría unas horas de captura y al menos otra de establecimiento, como sería el caso del escáner. Hay que sumar lo que cuesta el equipo y el software para el procesado de los datos (£500 por día más licencia de Cyclone). Tenemos luego la licencia para el uso de la nube de puntos en un programa CAD para digitalizar (Cloudworks).

En el caso de la alternativa usando Fotogrametría Digital Terrestre, el equipo de captura es más caro, se puede utilizar más veces y se puede transportar con menos dificultades. A la hora de capturar los datos, es más rápido que el escáner. En algunas ocasiones, como hemos visto, requiere algo más de tiempo en post procesamiento (ajustar los parámetros en Photoshop para un mejor alineamiento). Una vez realizado el archivo que contiene la nube de puntos, Photoscan puede exportarlo en distintos formatos (.pts, .xyz, .wav,…) y no solo uno (.imp).

En algunos casos, el uso del escáner no nos puede dar una cobertura total de las áreas a estudio. En estos casos, es de bastante ayuda poder cubrir algunas de las zonas "muertas" con el uso de esta técnica (Abdelhafiz et al, 2005, 4). Esto permite no tener que volver a repetir el proceso, con el consiguiente ahorro de costes.

El programa utiliza un método de identificación de dianas automático que le hace encontrar puntos en común en cada fotografía y utilizarlas como ancla para el proceso de alineamiento. En algunos casos, no es posible el tener esas dianas en el momento de la captura. Es por eso que habría que implementar una técnica mediante la cual se pudiera realizar un buen uso de puntos tomados con la TST on GPS y usarlos con ese mismo objetivo. En el caso de la intervención en *52 Lime Street*, es un buen ejemplo de lo útiles que pueden ser en un contexto complicado para dibujar por los arqueólogos de campo. En el caso de *St Albans Tower*, el uso del identificador mediante selección de la zona en la que se toma mediciones no ha surtido de momento el efecto deseado, posiblemente por la deformación del píxel en la creación del modelo

Cuando se utiliza una cantidad elevada de fotografías, altamente oblicuas Y que tienen una apariencia distinta, ello puede generar un alineamiento erróneo de las imágenes. Además, debería de estar claro que reconstrucciones de alta calidad con una gran cantidad de imágenes tienen un alto coste en recursos en el proceso. Un buen equipo con un mínimo de 8GB de RAM y doble núcleo es lo mínimo requerido, con una buena tarjeta de vídeo para unos buenos resultados (Doneus et alii, 2011: 86).

Así, no solo el tipo de *hardware* influye, sino que el mismo programa sufre cuando tiene que identificar imágenes que son muy parecidas entre si o debido a que las imágenes son demasiado oblicuas (*St Albans Tower*). (Verhoeven et al, 2011)

La nitidez de la imagen influye en la creación de una nube de puntos adecuada sin ruidos que creen superficies ficticias que no existen en la realidad. Es por eso que una buena selección de profundidad de campo, velocidad de obturador e ISO ayudará a reducir estos problemas (Agisoft, 2013: 3). Esto significa que se necesitan tener sólidos conocimientos fotográficos para evitar recoger datos que sean más difíciles de procesar en Photoscan.

El problema al texturizar en el procesado de las imágenes es que no siempre se obtiene una calidad óptima para visualizar el modelo, lo que significa que el *point cloud* puede no estar dándonos lo valores adecuados. Ésta es una de las desventajas del uso de esta técnica que, por ejemplo, el uso de 3D láser escáner no presenta (Grussenmeyer et al, 2008:213). En cualquier caso, no es un método muy óptimo para la captura de elementos lineares y produce un gran volumen de datos que necesita ser reducido para otros procesos. Consecuentemente, en muchos casos, una combinación de las dos técnicas es la mejor solución posible (Fuchs et al., 2004, Gonzo et al., 2004).

Fotogrametría digital terrestre proceso de captura

Durante el último año hemos intentado introducir en la creación de nubes de puntos el uso de fotografías como otro método de captura de datos. El funcionamiento es distinto al del laser escáner. Se analiza el objeto, estructura o depósito a estudio y se toma una estrategia para la toma de la fotografías al objeto desde distinto ángulos.

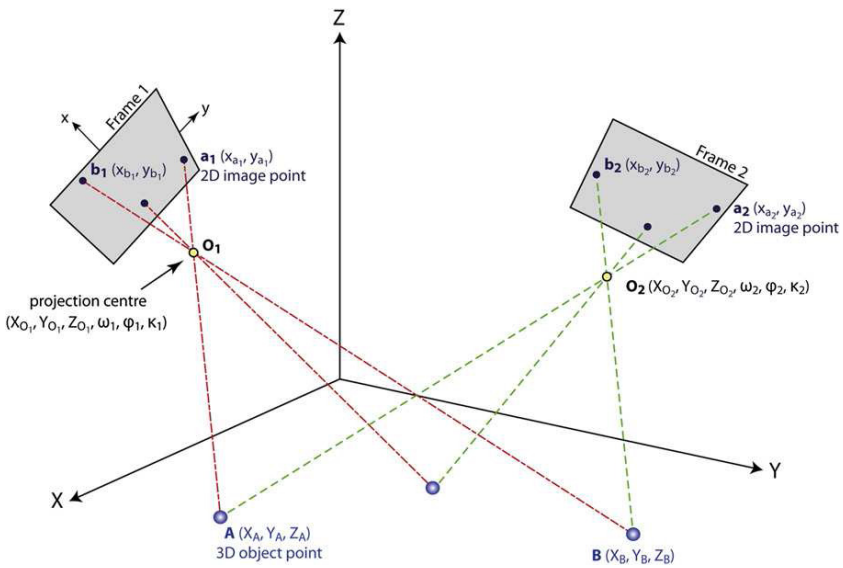

Fig. 1. (G. Verhoeven et al. 2012: 2062).

La toma de imágenes es de gran importancia en el proceso puesto que es la base para el alineamiento de las fotos, la creación de la nube de puntos y del modelado del mismo. Es por eso importante tener unos conocimientos sólidos sobre algunos conceptos de fotografía como apertura, profundidad de foco, velocidad de obturador, ISO o el tipo de lentes que se necesitan en la cámara. Así, por ejemplo, Photoscan no trabaja bien con objetivos de ojo de pez o de ángulo muy abierto,puesto que puede generar una nube de puntos distorsionada afectando al modelo generado.

Una vez que se toman las fotos con la necesaria superposición, se procesan en el software que creará la nube de puntos. En este caso, el algoritmo trabaja eligiendo una serie de píxeles en común de cada fotografía y los procesa de tal manera que es capaz de saber la localización de la cámara en cada disparo. Eso le permite ir ubicando píxel por píxel el resto de las fotos y, por tanto, extraer esa localización para crear la nube de puntos. Ésta, al contrario del archivo que se crea con el láser escáner, sólo proporciona valores RGB. El rango de incidencia en el ángulo de la captura de las fotos puede variar, pero el programa con el que trabajamos prefiere valores entre 45º hasta 90º (AgiSoft LCC. 2013)

Al igual que la creada desde el escáner, se puede georeferenciar mediante el emplazamiento de dianas que aparezcan en las fotos y que el programa puede identificar automáticamente (como la creación del modelo de la *Anglo Saxon Prittewell Buckett*) o se pueden emplazar manualmente en el programa (ejemplo de un depósito de brickearth *52 Lime Street*). La nube de puntos se puede exportar en diferentes formatos (.txt, .obj, .ply. .las) para ser usada como tal en programas como Cloudworks (AgiSoft LCC. 2013) pero también para su modelado en otros *Structure for Motion* (SfM) software (Blender, Meshlab)

Esta técnica nos permite también crear ortofotos (JPEG, TIFF, PNG, KML) directamente desde Photoscan (Verhoeven, 2011: 70,71). Éstas son de gran utilidad para poder comprobar visualmente la precisión de la nube de puntos creadas a partir de las fotos con la generada con el escáner como en el fondo al digitalozar en AutoCAD así como sirve de guía en el proceso de digitalización de la nube de puntos.

No es necesario llegar a crear un modelo en 3D puesto que para quien se realiza el proyecto, no siempre demanda ese tipo de producto.

Ejemplos de actuaciones en el patrimonio

En los siguientes ejemplos se pretende exponer las distintas situaciones en las que se puede encontrar el arqueólogo a la hora de afrontar la captura de datos y su posterior procesado. Hay que tener en cuenta que las situaciones de luz, contraste, dimensiones, espacios, tiempo y lugares puede ser muy variados y distintos entre sí. Por ello, habrá ocasiones en las que este método no podrá

ser aplicable como por ejemplo: lugares con escasa o excesiva luz, materiales reflectantes, superficies muy uniformes, colores muy parecidos entre sí.

El uso de Photoscan ha sido adoptado como otra técnica más en nuestros proyectos de mediciones de campo para clientes como un posible instrumento para obtener más datos, optar a presupuestos que no se permitan un escaneado y para la creación de ortofotos. En un futuro existe la posibilidad de extender su uso a la creación de *Digital Elevation Model* (DEM), *Digital Terrain Model* (DTM) o incluso mediciones del paisaje (datos procesados desde una altura de 70m puede dar resoluciones de 3 cm) aplicando mediciones hechas desde un pequeño vehículo no tripulado, *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) (Verhoeven et al. 2013: 34)

Prittewell Bucket

Este ejemplo es uno de los muchos en los que podríamos aplicar esta técnica en hallazgos de campo, que pueden ser luego utilizado en publicaciones o como ayuda para ilustradores y especialistas en objetos (cerámica, lítica, petroglifos, grafitos,…). En este caso los modelos no necesitan ser georeferenciados, puesto que lo interesante es la exactitud del objeto creado y no su localización en el mundo real mediante un sistema de coordenadas. Por lo tanto, teniendo las condiciones adecuadas de luz, suficiente superposición de imágenes y tomando las fotos procurando rodear el objeto, la creación de la nube de puntos se realiza de una forma normal.

Fig. 2.

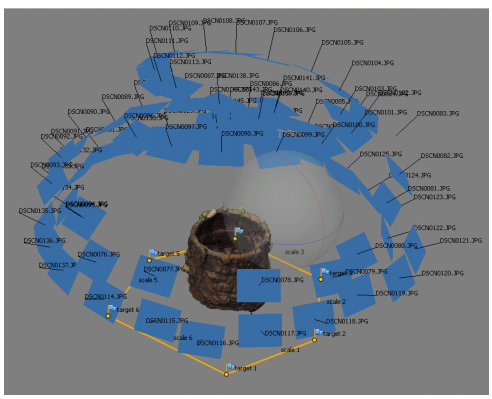

Fig. 3.

Para este objeto, se tomaron una serie de 71 fotografías con una Nikon Coolpix P520, 18 megapíxeles y se colocaron dianas alrededor del objeto. Más adelante, se midieron las dianas que sirvieron para una mejor alineación de las fotografías.

52 Lime Street

En el mundo de la arqueología, no siempre te encuentras no siempre existen las condiciones ideales para realizar determinados trabajos. De hecho, siempre hay circunstancias que no permiten que éste se desarrolle de una forma normal. En el caso de la captura de datos con esta técnica, hay algunos parámetros que son fundamentales para obtener un buen registro: luz, visibilidad, estabilidad y superposición de imágenes adecuado (para Photoscan suele ser de un 60%).

Fig. 4.

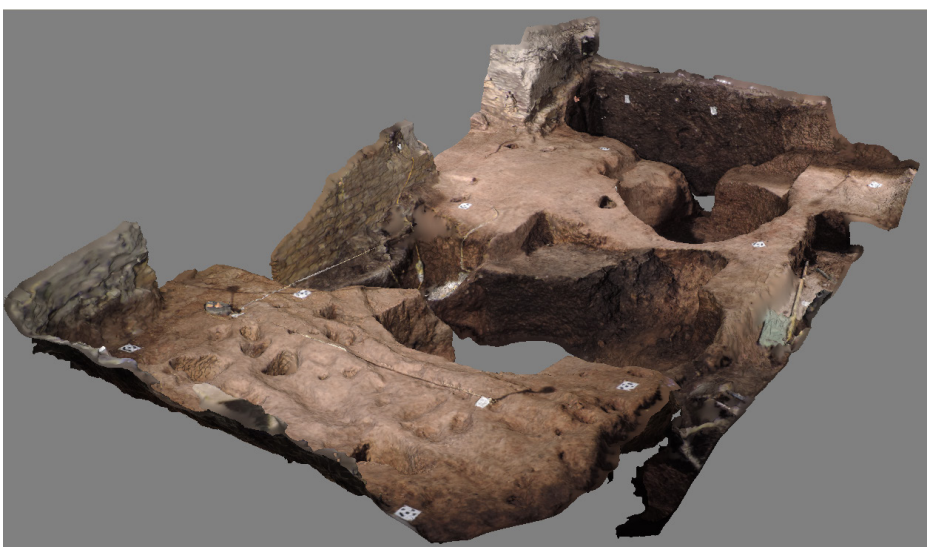

Fig. 5.

En este ejemplo, las condiciones de un sótano de un edificio de oficinas, con escasa luz (artificial) y con trabajos de demolición en progreso (vibraciones y polvo en el ambiente), se tomó una serie de 25 fotos con una cámara Nikon Coolpix P520, 18 megapíxeles, una apertura entre f/11 y f/6.3 y una velocidad de disparo entre 1/13 y 1/50….

En dichas fotos se procuraba tener un mínimo de 3 puntos de control o dianas que luego pudieran ser utilizados para su posible dibujo en la oficina. Se eligió arbitrariamente el lugar para la prueba y la unidad estratigráfica. Las dianas fueron recogidas con el uso de una estación total, en coordenadas de la cuadrícula de excavación y luego pasadas a un sistema de coordenadas (en este caso, British National Grid).

Gordon House, Chelsea Barracks

En este otro proyecto se buscaron unas cualidades de luz más intensa y su uso en un ambiente que iba a desaparecer y para el que no se estaba preparado. Al llegar al yacimiento, observamos una estructura abovedada de la que no se tenía noticia alguna en los archivos y que iba a ser demolida tras el paso de los arqueólogos para la construcción de una residencia.

Figs. 6 y 7.

En este caso, se utilizaron las fotos recogidas por el arqueólogo a cargo del proyecto en campo y las tomadas por el equipo de Geomática. Un total de 110 fotos tomadas con dos cámaras iguales pero en distintos momentos, presentando alguna variación en los registros de luz. La idea era poder obtener un modelo en 3D con la nube de puntos que pudiera servir en un posterior informe del equipo de arqueólogos de la arquitectura y su evaluación. El alineamiento de las fotos fue normal y se pudo crear una nube de puntos densa que serviría para un modelo en 3D de la estructura. Con éste, se crearon una serie de ortofotos de la estructura y

un 3D PDF para enseñar a los clientes. Las ortofotos ayudaron para poder enseñar en los informes las mediciones realizadas con la estación total.

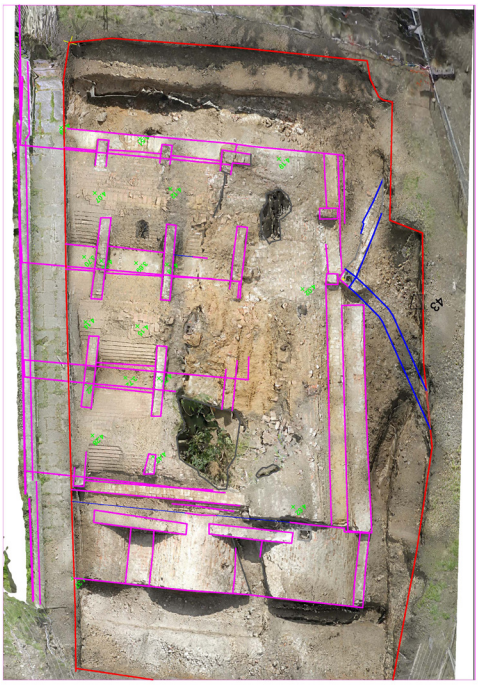

Fig. 8.

St Albans Church Tower, Wood Street

La idea de utilizar la Fotogrametría es poder recolectar rápidamente los datos con la máxima eficiencia. Este edificio es distinto por las condiciones de luz, material de la torre (muy reflectante al ser caliza), contraste entre sombras y luz del sol. Otro factor importante a la hora de adquirir las imágenes es el formato de las mismas. Para la torre utilizamos imágenes .RAW, que pueden ser retocadas mejor en programas como PhotoShop, para mejorar la imagen que Photoscan vaya a utilizar. El programa usa mejor imágenes que no tieneN mucho brillo, con lo que reducir el brillo y las zonas más iluminadas ayuda en el proceso de alineación en el software. Encontramos algunas imágenes que no se alineaban adecuadamente y, tras modificar los parámetros de luz, pudieron ser utilizadas en el proceso. Es por eso que se realizaron dos visitas a la estructura: la primera con un día soleado y la segunda en un día nublado, para tomar más fotos y aumentar la superposición.

El proceso con el primer conjunto de fotos (44 fotografías) proporcionó unos datos nada prometedores debido a la mala localización de las posiciones de la cámara. Esto pudo deberse a una falta de superposición de imágenes asociada

también a una excesiva luminosidad en las fotos (AgiSoft LCC. 2013,5), una falta de superposición en la cobertura de la estructura y el ángulo en el que fueron capturadas algunas de las fotografías (<70º).

Fig. 9

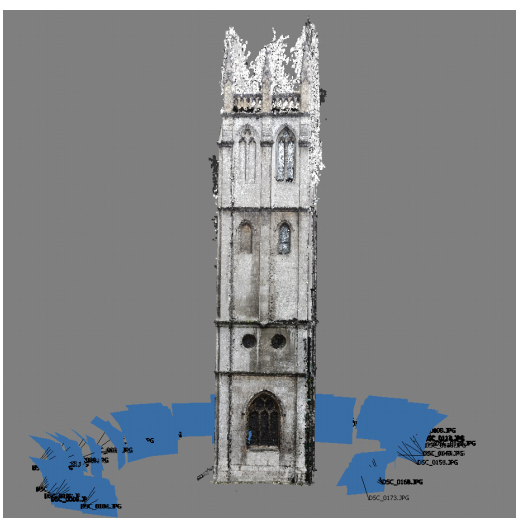

Fig. 10.

Ese primer ensayo permitió replantearse una mejora en la captura de datos para evitar tener luego que realizar segundas visitas que puede que no sean factibles: por tiempo, por climatología, por inexistencia del registro o estructura o simplemente por falta de dinero en el presupuesto.

En la segunda visita, se tomaron 198 en formato .RAW y en .TIFF con una mayor superposición y en un día nublado. Esperábamos poder generar esta vez una nube de puntos adecuada pero no conseguimos que todas las fotos se alinearan adecuadamente. Incluso variando las condiciones de luminosidad (usando Photosop) y eliminando algunas fotos del grupo a alinear en Photoscan, no pudimos lograr una nube de puntos en el conjunto de la estructura. El proceso mejoró cuanDo decidimos no utilizar todas las fotos al mismo tiempo. Reducimos así el total a 68 fotos, con buena cobertura de la torre y con un emplazamiento distinto de la cámara (no tan cerca una de otra) y la nube de puntos resultó satisfactoria.

Una tercera aproximación a la creación de la nube de puntos, ha consistido en realizar cada cara de la estructura por separado y luego intentar unirlas usando el propio software. El alineamiento de las fotografías por cada cara de la estructura funciona correctamente, pero con el problema de la distancia desde la base hasta la parte superior de la torre, al unir los distintos resultados, no generó una nube de puntos adecuada.

Conclusiones

En este artículo se ha intentado demostrar con ejemplos prácticos el uso de la Fotogrametría digital terrestre como un método para apoyar las otras técnicas de captura de datos o como método alternativo por precio y por resultado a otras formas de captura de datos (láser escáner). En algunos de los casos, los datos capturados tuvieron que ser retocados para su posterior uso. Sin embarg*o,* Photoscan ha demostrado que el uso de esta técnica es bastante sólida y rápida a la hora de afrontar proyectos que requieren de unos datos fiables y que disponen de menos inversión de tiempo y dinero. Las especificaciones técnicas del software permiten un amplio uso de cámaras para la captura de datos, desde un móvil hasta una cámara profesional (Verhoeven, 2011: 70).

Añadir otro espectro en la captura de datos ayudaría a complementar las ventajas de esta técnica, con el que se podrían obtener otro tipo de valores extraídos de la misma nube de puntos para complementar los de RGB (como ocurre con el láser escáner). El uso de datos termográficos en estudios del Patrimonio no es tan común como la combinación del láser escáner y la Fotogrametría, aunque tiene también sus beneficios (Lerma et al 2007: 458).

Aunque coincidimos que el uso de los valores RGB y de intensidad son la mejor combinación posible para obtener los mejores resultados en intervenciones que requieran una captura masiva de datos, con un nivel de fiabilidad y precisión óptima (Grussenmeyer et al, 2008:217). Además, la integración de las imágenes sobre fotomodelos en 3D nos permite unos análisis más allá de las tradicionales imágenes en 2D (Cabrelles et al, 2009:5)

Así, éste es un método que puede ser bastante beneficioso en la Arqueología por la relación coste precio, que podría reforzarse con el uso del software de código abierto en el que esta técnica también se ha demostrado fiable.

Bibliografía

AgiSoft LCC. 2013. AgiSoft PhotoScan Forum. http://www.agisoft.com/forum/index.php?action=search2 (fecha de acceso 11/Nov/2014)

A. ABDELHAFIZ, B. RIEDEL y W. NIEMEIER. 2005. "Towards a 3D True Colored Space by the fusion of laser scanner point cloud and digital photos". International workshop 3DArch, 2005. Mestre-Venice , Italia

P. ARIAS, J. HERRAEZ, H. LORENZO y C. ORDOÑEZ (2005) "Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods". Computers and Structures 83. 2005. 1754–1766.

A. BALOGH y K, KINGA. "Photogrammetric processing of aerial photographs acquired by UAVS" www.hungarianarchaeology.hu

M. CABRELLES, S. GALCERÁ, S. NAVARRO, J.L. LERMA, T. AKASEH y N.HADDAD. "Integration of 3D Lase Scanning, photogrammetry and thermography to record architectural monuments". 22nd CIPA Symposium. Kyoto, Japan. 2009 pp. 11-15

M. DONEUS, G. VERHOEVEN, M. FERA, CH. BRIESE, K. KUDERA y W. NEUBAUER "From deposit to point cloud – a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations". Geoinformatics CTU. Praga. 2011. Pp. 81-88.

P. GRUSSENMEYER, T. LANDES, T. VOEGTLE y K. RINGLE. "Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings". Intenational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(5). 2008.213–218

PT. KERSTEN y M. LINDSTAEDT. "Automatic 3D object reconstruction from multiple images for architectural, cultural heritage and archaeological applications using open source software and web services". Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation 2012/6 Sttutgart.2012 pp 727–740

J.L. LERMA, C. MILETO, F. VEGAS y M. CABRELLES. "Visible and Thermal IR Documentation of a Masonry Brickwork Building". CIPA XXI International Symposium. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Athens, Greece, Vol.XXXVI-5/C53. 2007. pp. 456-459.

I. SANL1OGLU, M. ZEYBEK y G. KARAGUZ. "Photogrammetric survey and 3D modelling of Ivriz rock relief in Late Hittite Era". Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 13, No 2. 2012 pp. 147-157

J.C. TORRES, G. ARROYO, C. ROMO y J. DE HARO. "3D digitization using Structure from Motion". CEIG – Spanish Computer Graphics Conference. 2012

G. VERHOEVEN "Taking computer vision aloft: archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with Photoscan. Archeological Prospection 18. 2011. Pp 67–73,

G. VERHOEVEN, C. SEVARA, W. KAREL, C. RESSL, M. DONEUS y M. BRIESE. "Undistorting the past – New techniques for orthorectification of archaeological aerial frame imagery" En: Corsi, C., Slapak, B., Vermeulen, F. (Eds.), Good practice in archaeological diagnostics. Non-invasive survey of complex archaeological sites. Natural Science in Archaeology. Springer International Publishing, Cham. 2013. pp. 31–67.

G. VERHOEVEN, M. DONEUS, C. BRIESE y F. VERMUELEN. "Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs". Journal of Archaeological Science 39. 2012. Pp 2060-2070