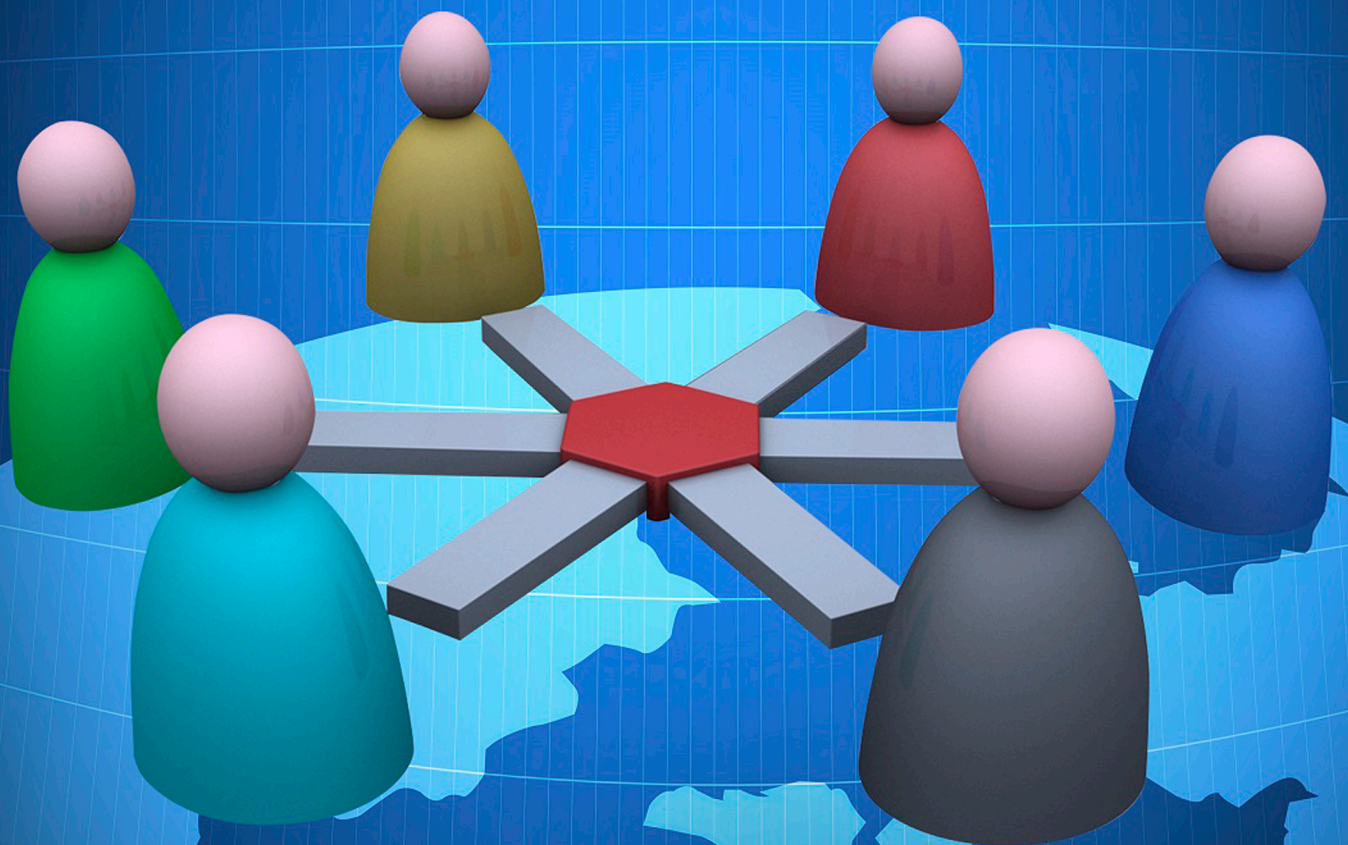




Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

XIV JORNADES DE XARXES D'INVESTIGACIÓ EN DOCÈNCIA UNIVERSITÀRIA

Investigació, innovació i ensenyament universitari:
enfocaments pluridisciplinars



JORNADAS
DE REDES DE INVESTIGACIÓN
EN DOCENCIA UNIVERSITARIA

XIV

Investigación, innovación y enseñanza universitaria:
enfoques pluridisciplinarios

Coordinadores i coordinadors / *Coordinadoras y coordinadores:*

María Teresa Tortosa Ybáñez

Salvador Grau Company

José Daniel Álvarez Teruel

© Del text / *Del texto:*

Les autores i autors / *Las autoras y autores*

© D'aquesta edició / *De esta edición:*

Universitat d'Alacant / *Universidad de Alicante*

Vicerektorat de Qualitat i Innovació Educativa / *Vicerrectorado de Calidad e Innovación Educativa*

Institut de Ciències de l'Educació (ICE) / *Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)*

ISBN: 978-84-608-7976-3

Revisión y maquetación: Verónica Francés Tortosa

Publicación: Julio 2016

Petrología 3D

A. Riquelme Guill⁽¹⁾; M. Cano González⁽¹⁾; R. Tomás Jover⁽¹⁾; L. Jordá Bordehore⁽²⁾;
J.C. Santamarta Cereza⁽³⁾

⁽¹⁾*Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante*

⁽²⁾*Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Politécnica Superior del Litoral*

⁽³⁾*ETS Ingeniería Agraria, Universidad de La Laguna*

RESUMEN

La asignatura de Geología Aplicada a la Ingeniería Civil forma parte del currículo de la titulación del mismo nombre impartida en la Universidad de Alicante (UA), siendo también impartida en otros centros. Una parte fundamental de su aprendizaje práctico consiste en el reconocimiento de visu, es decir, atendiendo a las características organolépticas de la roca, para su identificación y clasificación. Las sesiones prácticas se llevan a cabo en laboratorio, pero el estudio y ejercicio de este conocimiento difícilmente se puede realizar sin disponer de las muestras de rocas, almacenadas en sus correspondientes laboratorios. Actualmente, el alumnado puede completar su formación (de rocas por ejemplo que no existen en su laboratorio) mediante el estudio con imágenes digitales en 2D. Sin embargo, el desarrollo tecnológico actual ha abierto otra puerta: la generación de modelos 3D de rocas con técnicas de bajo coste como son las fotogramétricas. Estos modelos digitales permiten observar la textura de la roca con gran definición desde cualquier punto de vista, siendo además accesibles a través de internet. La presente comunicación muestra las experiencias en el desarrollo de estos modelos y su aplicación a las prácticas de la asignatura del Grado de Ingeniería Civil en la UA y su implementación en La Escuela Superior Politécnica del Litoral (Guayaquil, Ecuador) mediante un convenio de cooperación.

Palabras clave: Geología, rocas, 3D, SfM, petrología.

1. INTRODUCCIÓN

La geología es una ciencia cuya finalidad es el estudio de la Tierra, las rocas que la forman y todos los procesos que en ella se dan. Esta ciencia es muy amplia, y su estudio se divide en distintas ramas. La petrología es una de sus ramas, la cual estudia el origen, composición, distribución y estructura de las rocas que se encuentran en la Tierra. Esta describe la composición y textura de las rocas mediante la mineralogía, petrografía, mineralogía óptica y análisis químico. Todo esto cubre un campo de conocimiento muy amplio, el cual proporciona valiosa información mediante metodologías detalladas y exhaustivas.

El grado de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante cuenta con la asignatura Geología Aplicada a la Ingeniería Civil (DIC, 2015), formando parte de las asignaturas del segundo cuatrimestre del primer curso. En esta asignatura se imparten contenidos teóricos y prácticos. Los contenidos prácticos consisten en salidas de campo y talleres de laboratorio. Estos últimos se dividen en dos partes: una primera en la que se trabajan con mapas geológicos y una segunda en la que se reconocen e identifican rocas mediante visu. El reconocimiento de visu consiste en observar un fragmento de una roca e identificar características de la misma mediante los sentidos: vista, tacto, gusto y olfato. De esta forma, los alumnos detectan colores, patrones, texturas al tacto, olores, comportamiento de la roca frente a agentes químicos y frente a ciertas sollicitaciones físicas (rayado con cristal, moneda, navaja, uña, etc.). Estas prácticas de visu se desarrollan en un total de 3 sesiones y un total de 5 horas, con una evaluación final de los conocimientos adquiridos.

1.1 Problema/cuestión

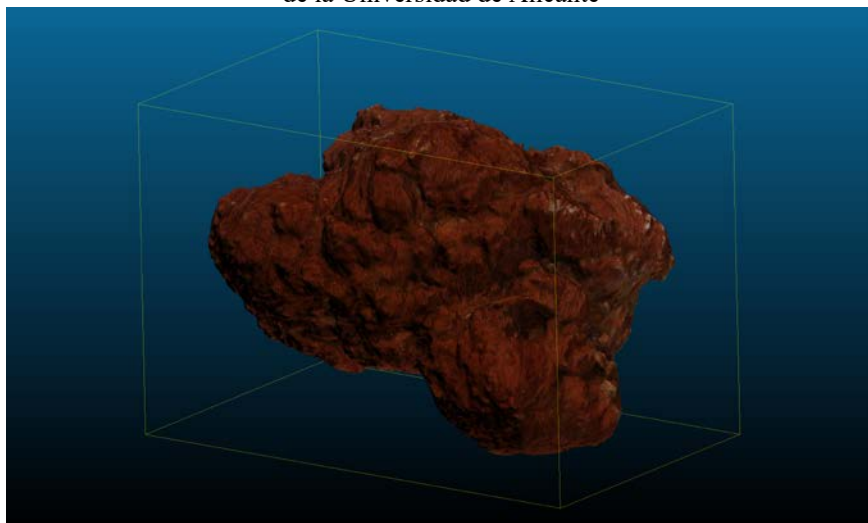
En una primera fase, el alumnado adquiere ciertos conocimientos durante las sesiones de visu. El desarrollo y seguimiento de estas sesiones permite plasmar los conocimientos en papel mediante apuntes, con descripciones o croquis de las rocas observadas. En la mayoría de ocasiones, los alumnos toman fotografías digitales de las rocas con sus propios móviles o con cámaras digitales (Cano González, Riquelme Guill, Tomás Jover, Santamarta Cerezal, & Hernández Gutiérrez, 2015), pues esta información es mucho más detallada que un croquis a mano alzada y puede aportar información adicional muy valiosa. Es natural que el alumno realice el ejercicio de repetir los contenidos aprendidos con el fin de interiorizar ese conocimiento antes del examen. Para ello, utiliza los materiales disponibles: apuntes o incluso

imágenes digitales proporcionadas por el profesorado (Cano González, Santamarta Cerezal, Tomás Jover, Riquelme Guill, & Ripoll Guillén, 2015). Sin embargo, estas imágenes digitales proporcionan una información en dos dimensiones (Figura 1), y es necesario observar distintas imágenes desde distintos puntos de vista para obtener una idea de la rugosidad superficial, la textura e incluso del color, que presenta una gran dependencia del tipo de cámara empleada y de la iluminación existente.

Figura 1. Fotografía digital de una roca en el laboratorio de rocas del Departamento de Ingeniería Civil (DIC) de la Universidad de Alicante



Figura 2. Captura de pantalla de la visualización de un modelo 3D de una roca del laboratorio de rocas del DIC de la Universidad de Alicante



Por este motivo, se plantea la posibilidad de utilizar técnicas de adquisición remota para generar nubes de puntos 3D y modelos de malla 3D (Figura 2) que permitan al estudiante observar la roca con los dispositivos electrónicos de uso cotidiano (ordenadores portátiles, *smartphones*, *tablets*, etc.) en cualquier momento y de forma descentralizada, es decir, desde cualquier lugar.

1.2 Revisión de la literatura

El área de Ingeniería del Terreno (Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante) y el Grupo de Innovación Tecnológico-Educativo de la Ingeniería del Terreno (GInTE) de esta universidad tienen como máxima, entre otras, ofrecer a los estudiantes plataformas, alternativas o complementarias, a la enseñanza tradicional. Sirva como ejemplo el caso de la implementación de un laboratorio virtual de Mecánica de Suelos y Rocas (Tomás, Cano, García-Barba, & Zamora, 2012) o la implementación de nuevas propuestas metodológicas interactivas (Cano González, Tomás Jover, & Ripoll Guillén, 2013).

Las tecnologías de la información ofrecen una forma sencilla de intercambiar contenidos digitales, tales como textos, fotografías o videos. A este respecto se han desarrollado trabajos de innovación docente con el fin de adaptar los contenidos en las universidades (Cano González et al., 2014), incluso desarrollando programas informáticos con fines docentes (Riquelme Guill, Cano González, Tomás Jover, Abellán Fernández, & Santamarta Cerezal, 2014). Conscientes de la importancia de los recursos audiovisuales en la educación (Fernández & Espinosa, 2001), en el área de Ingeniería del Terreno se han creado varios sitios web, con multitud de recursos didácticos (Cano González, 2014; Riquelme Guill, 2014; Tomás Jover, 2014).

1.3 Propósito

El presente texto muestra la experiencia en el desarrollo de contenidos digitales para apoyar el estudio de las prácticas de visu de la asignatura Geología Aplicada a la Ingeniería Civil (33509), del Grado de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante, mediante modelos 3D, obtenidos con técnicas de adquisición remota con costes asequibles.

La técnica de adquisición remota a emplear es *Structure from Motion* (SfM). Esta emplea un algoritmo basado en la correlación de imágenes digitales de una superficie para

generar una nube de puntos 3D, y posteriormente un modelo TIN (*Triangular Irregular Network*) (Lai, Samson, & Bose, 2014).

2. METODOLOGÍA

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

El contexto del presente trabajo es el de una clase de alumnos y profesores que pretenden generar modelos 3D de rocas. Los profesores tienen conocimientos medios – avanzados de la generación de estos modelos, por lo que pueden transmitir estos conocimientos a los alumnos y supervisar en el proceso de generación de los mismos.

2.2. Materiales

Los materiales a utilizar son las rocas que se pretenden digitalizar en 3D (Figura 3). Estas rocas son principalmente las disponibles en el laboratorio de rocas del DIC de la Universidad de Alicante. Una gran parte de estas rocas se encuentran disponibles en una web abierta (Riquelme Guill, 2014), pero únicamente se dispone de algunas imágenes digitales en 2D.

Figura 3. Iguana sobre lava en Islas Galápagos (Ecuador), modelo generado por Dr. Luis Jordá



2.3. Instrumentos

Los instrumentos a utilizar dependen de la calidad deseada para el modelo 3D. En este caso, el contexto es el de generación de modelos para estudiantes que aprenden a utilizar estas técnicas. Evidentemente, el resultado no alcanzará una calidad profesional, pero sí la

suficiente como para poder ser empleada en fases posteriores de estudio. Con ello, la instrumentación a emplear será la siguiente:

- Cámara de fotos digital. Será válida una cámara digital con buena calidad, siendo válido incluso el uso de teléfonos móviles con cámara incorporada.
- Dianas (*targets*). Son elementos que permiten determinar coordenadas en el espacio para incorporarlas al modelo posteriormente.
- Superficie plana. Este elemento es accesorio, pero permite posicionar las dianas y fijarlas en el espacio. En los casos en los que los modelos se generan en espacios abiertos, no se utilizará.
- Programas informáticos. El procesado de las imágenes digitales mediante un algoritmo es un proceso que requiere una cantidad de cálculos muy elevada. Por este motivo, se debe de utilizar un programa informático que automatice este proceso. Existen multitud de programas en el mercado, tanto libres como comerciales. Sirva citar algunos como Visual SfM (Wu, 2011), Autodesk 123D Catch (Autodesk, 2016) o Agisoft Photoscan (Agisoft, 2016). Este último es el programa informático empleado en este trabajo.

2.4. Procedimientos

El procedimiento simplificado a seguir es el mostrado en la Figura 4. En primer lugar, se colocan dianas sobre una superficie plana y se obtienen sus coordenadas en un sistema de referencia relativo (Figura 5). Las dianas son objetos o impresiones que permiten determinar un punto de ellas de forma precisa. Estas dianas permitirán a su vez determinar la escala del modelo y la orientación del sistema de referencia relativo, esto es, que esté orientado respecto a la vertical y si se desea, respecto al norte. Además, si se conocen las coordenadas de las dianas en un sistema de referencia global (por ejemplo, ETRS89), la superficie de la roca final estaría georreferenciada en ese sistema.

Tras colocar la roca, se toman las fotografías tratando de que haya gran cantidad de superficie común solapada entre varias fotografías. Para ello, hay que tomar multitud de imágenes, siempre cambiando la posición, y orientando el objetivo de la cámara a la superficie. Con el fin de facilitar el proceso de alineamiento y calibración de la cámara es recomendable que todas las imágenes se realicen fijando la lente. Esto se puede realizar utilizando cámaras con lentes fijas o, si se utiliza una cámara con objetivo, fijando este con cinta americana. La

Figura 6 muestra un ejemplo de localización y orientación de las fotografías tomadas para la generación de un modelo para una andesita.

Figura 4. Flujo de trabajo para generación del modelo 3D con Agisoft Photoscan Profesional

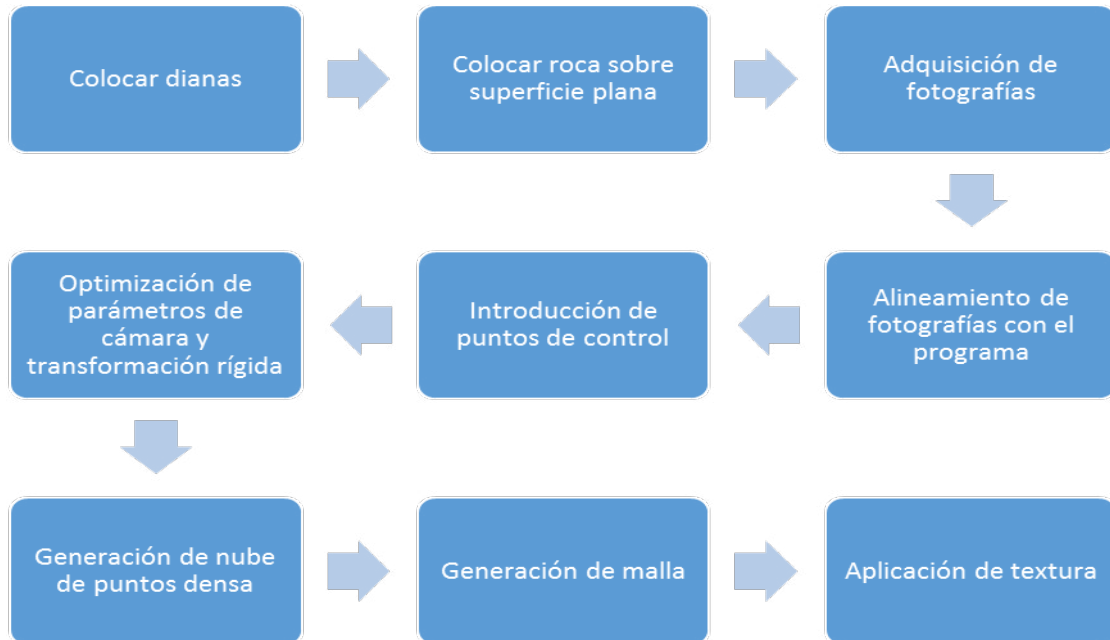
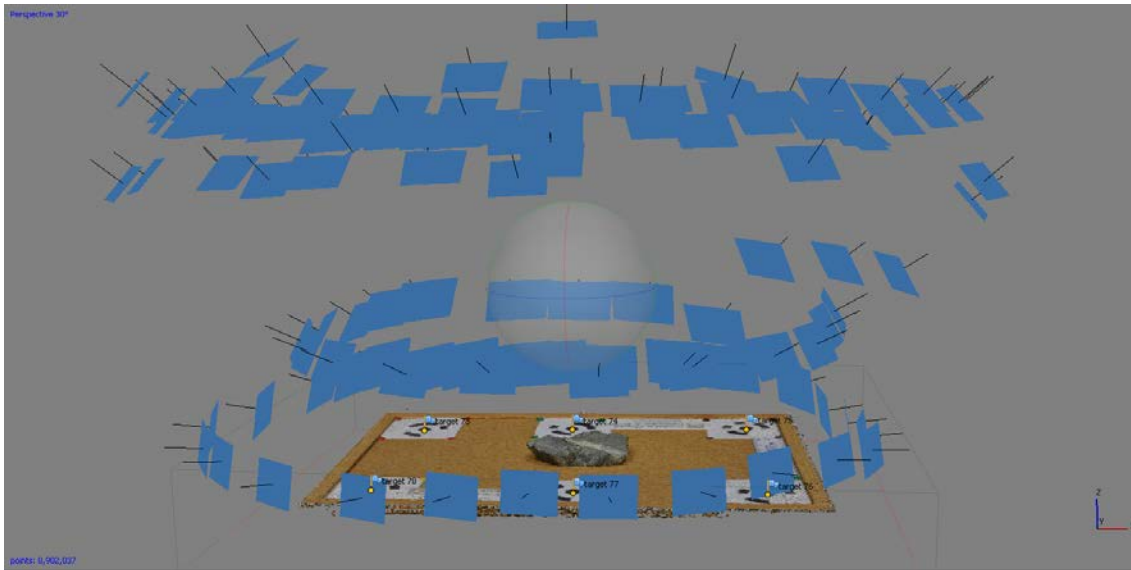


Figura 5. Colocación de dianas sobre superficie plana y roca objeto de estudio



Figura 6. Captura del programa Agisoft Photoscan Profesional. Se observa una nube de puntos densa de una andesita de Ecuador, los puntos de control de las dianas y todas las posiciones y orientaciones de las fotografías tomadas

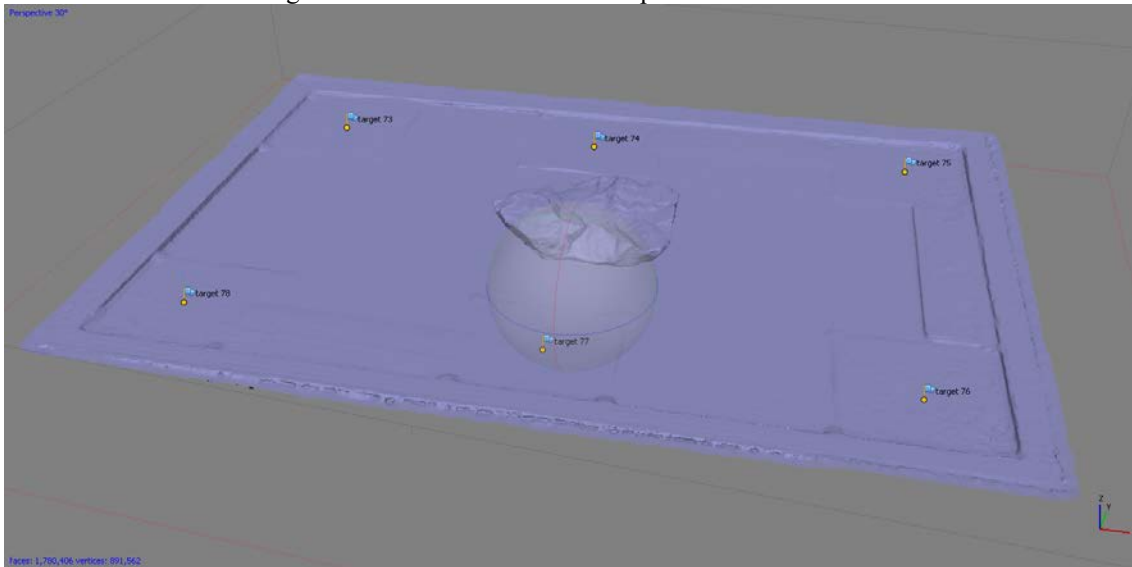


Tras el alineamiento, se introducen los puntos de control, o *ground control points* (GPC), en los píxeles de las fotografías tomadas. En este caso, el uso de las dianas del programa Photoscan permite su identificación automática, lo cual facilita y agiliza esta tarea. Es necesario introducir sus coordenadas, o bien introducir la distancia entre puntos. Si se introduce la distancia, el modelo estará escalado, pero no orientado. El uso de GPCs permite, además de determinar la matriz de transformación rígida, efectuar una calibración de los parámetros de la cámara utilizada. Esta acción mejora notablemente la calidad del modelo final, pues permite corregir errores y evitar el efecto domo. En el caso de no introducir puntos de control al procesado, no se corregirían las distorsiones de la lente, el modelo obtenido estaría distorsionado, no tendría escala ni tampoco estaría orientado.

El siguiente paso es el de generar la nube de puntos densa (Figura 6), a partir de la nube de puntos obtenida con el alineamiento. Este proceso emplea muchos recursos del equipo, por lo que es recomendable el uso de un equipo de sobremesa con una tarjeta gráfica potente. Si se utiliza la aplicación 123D Catch (Autodesk, 2016), el procesado se realiza en los servidores de Autodesk, por lo que no se consumen recursos de las máquinas. Sin embargo, no es posible controlar tanto el modelo como se muestra en este trabajo. En este momento es posible exportar la nube de puntos (3DPC), que será un archivo de texto que contendrá por filas la información de cada punto: coordenadas XYZ, la terna RGB que indica

el color de cada punto, y el vector $N_xN_yN_z$ que indica el vector normal a la superficie asociado al punto.

Figura 7. Reconstrucción de una superficie mediante TIN



Tras la generación de la nube de puntos densa, el siguiente paso es generar la malla. Esta consiste en un conjunto de triángulos irregulares que se adaptan a la superficie, también llamada TIN. La generación de la malla puede ser 3D o 2.5D. El concepto de modelo 2.5D se emplea cuando se generan modelos digitales de elevación o *digital elevation models* (DEM). En estos, la superficie se representa según una malla, con lo que los puntos tienen dos coordenadas: X e Y. A cada punto le corresponde una altura Z, por lo que cualquier punto tendrá una única posición en un plano 2D y su altura correspondiente. Dicho de otra forma, ningún punto tendrá las mismas coordenadas X e Y. La técnica a utilizar en este caso sería una triangulación de Delaunay (De Berg, Van Kreveld, Overmars, & Schwarzkopf, 2000). Un modelo 3D tiene otra filosofía, en la que la nube de puntos se encuentra a priori desordenada y el archivo que contiene los datos no tiene por qué seguir ningún patrón plano como el 2.5D. Las superficies cerradas (como la superficie de un jarrón o una esfera) requieren un modelo 3D en lugar de un modelo 2.5D. En este caso se emplea la reconstrucción de Poisson (Kazhdan, Bolitho, & Hoppe, 2006). En este trabajo, el modelo a generar es 3D (Figura 7 y Figura 8), por lo que la reconstrucción de la malla es mediante Poisson, siendo la opción en Photoscan tipo genérica.

Figura 8. Detalle de la malla triangular irregular en un modelo de roca

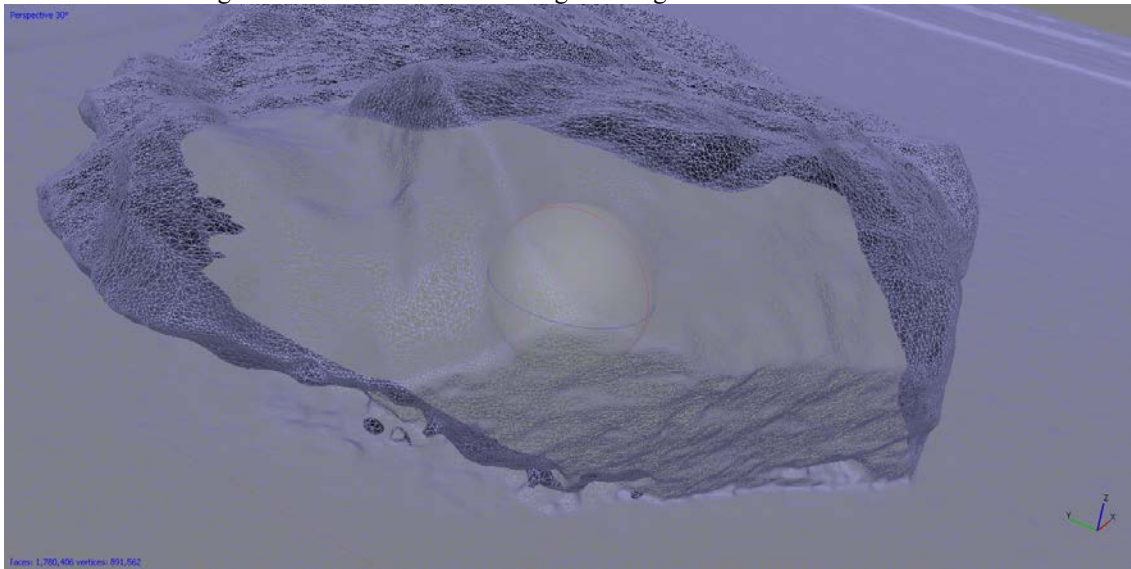


Figura 9. Modelo 3D con texturizado



Finalmente, el último paso es el de texturizar la superficie. Este paso estima el color de cada superficie según los píxeles de las fotografías tomadas. El modelo 3D generado intenta representar la superficie, con sus ondulaciones y rugosidad (Figura 8). La asignación de la textura proporciona gran cantidad de detalles no geométricos, lo que hace que este producto final permita visualizar un objeto y obtener una idea cercana a la experiencia que se tendría en realidad (Figura 9).

3. RESULTADOS

Tras la aplicación del procedimiento anterior, se obtiene un modelo que se puede exportar en los siguientes formatos:

Figura 10. Capturas de distintas rocas generadas con el procedimiento descrito



- Nube de puntos 3D. Son archivos, algunos de texto en formato ASCII. Hay multitud de formatos, siendo algunos ejemplos: .txt, .xyz, .asc, .neu, ptx, .csv, .pts, .las, .laz, .e57, .ply, .vtk, .shp, .pn, .pv, .pov, dp, .pcd, etc.
- Modelo malla. Son archivos que contienen información de los triángulos que forman la superficie, con posibilidad de incorporar la textura o no. Al igual que con las nubes de puntos, hay multitud de formatos: .obj, ply, u3d, etc.

La visualización de estos archivos puede realizarse mediante varios programas disponibles en el mercado como CloudCompare (Girardeau-Montaut, 2011), Meshlab (Cignoni, Corsini, & Ranzuglia, 2008), 3DReshaper, Autocad, etc. En este trabajo se emplea el programa CloudCompare, el cual es de código abierto y es ampliamente utilizado por la comunidad científica. Además, este software puede ser descargado por los alumnos de forma gratuita para la visualización de las rocas proporcionadas por los profesores. Otra posibilidad

muy interesante es el uso del programa Adobe Acrobat Reader, el cual es un programa muy extendido. Las últimas versiones incorporan un plugin que permite la visualización de modelos 3D, a partir de un modelo en formato .u3d (Universal 3D file). Además, el programa Photoscan permite exportar directamente a formato .pdf el modelo generado.

Con este procedimiento se han generado un conjunto de rocas en 3D para posteriormente ponerlas a disposición del alumnado. Las rocas generadas se muestran en la Figura 10.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta la aplicación de una técnica de adquisición remota empleando medios sencillos. Se han generado varios modelos 3D de rocas, los cuales permiten una inspección más detallada y ofrecen una idea más amplia de la propia roca que la mera información digital 2D. La principal ventaja consiste en que el alumno puede visualizar, girar, ampliar, medir, seccionar según planos, medir ángulos, rugosidades, etc. a demanda.

Gracias a estos modelos, el alumnado tiene acceso a la roca fuera del laboratorio, con lo que la preparación para el examen de visu adquiere una nueva perspectiva mucho más favorable que la existente antes de este trabajo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agisoft, L. (2016). Professional Edition, Version 1.2.4.

Autodesk (2016). 123D Catch, consultado mayo 2016. Retrieved from <http://www.123dapp.com/catch>

Cano González, M. (2014). *Tauler geotècnic*. Última vez consultada: mayo 2016. Retrieved from <https://sites.google.com/site/taulergeotecnic/>

Cano González, M.; Riquelme Guill, A.; Tomás Jover, R.; Santamarta Cerezal, J.C. & Hernández Gutiérrez, L.E. (2015). *Desarrollo de metodologías interactivas basadas en las nuevas tecnologías*. Universidad de Alicante. Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad.

Cano González, M.; Riquelme Guill, A.; Tomás Jover, R.; Santamarta Cerezal, J.C.; Hernández Gutiérrez, L.E. & Ripoll Guillén, M.J. (2014). *Implementación de metodologías docentes interactivas basadas en las nuevas tecnologías en Ingeniería del Terreno*. <http://hdl.handle.net/10045/41698>

- Cano González, M.; Santamarta Cerezal, J.C.; Tomás Jover, R.; Riquelme Guill, A. & Ripoll Guillén, M.J. (2015). *Integración de las tablets y smartphones en asignaturas del ámbito de la Ingeniería del Terreno*. <http://hdl.handle.net/10045/49109>
- Cano González, M.; Tomás Jover, R. & Ripoll Guillén, M.J. (2013). *Empleo de las nuevas tecnologías y de las redes sociales en asignaturas fuertemente conceptuales*. <http://hdl.handle.net/10045/42985>
- Cignoni, P.; Corsini, M. & Ranzuglia, G. (2008). Meshlab: an open-source 3d mesh processing system. *Ercim news*, 73(45-46), 6.
- De Berg, M.; Van Kreveld, M.; Overmars, M. & Schwarzkopf, O.C. (2000). *Computational geometry*. Springer.
- DIC. (2015). Ficha de la asignatura 33509 Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. Universidad de Alicante, consultada mayo 2016. Retrieved from <http://cv1.cpd.ua.es/ConsPlanesEstudio/cvFichaAsiEEES.asp?wCodEst=C208&wcodasi=33509&wLengua=C&scaca=2015-16#>
- Fernández, I.M.S. & Espinosa, M.P.P. (2001). *Multimedia como recurso para la formación*. Paper presented at the Actas de las Terceras Jornadas Multimedia Educativo celebradas los días 25 y 26 de junio de 2001 en Barcelona [Archivo de ordenador].
- Girardeau-Montaut, D. (2011). CloudCompare-Open Source project. *OpenSource Project*.
- Kazhdan, M.; Bolitho, M. & Hoppe, H. (2006). *Poisson surface reconstruction*. Paper presented at the Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing.
- Lai, P.; Samson, C. & Bose, P. (2014). Visual enhancement of 3D images of rock faces for fracture mapping. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 72, 325-335. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.09.016>
- Riquelme Guill, A. (2014). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Última vez consultada: mayo 2016. Retrieved from <https://sites.google.com/site/33509geoua/home>
- Riquelme Guill, A.; Cano González, M.; Tomás Jover, R.; Abellán Fernández, A. & Santamarta Cerezal, J.C. (2014). *Desarrollo de aplicaciones informáticas con fines docentes en el campo de la Ingeniería del Terreno*. <http://hdl.handle.net/10045/49166>
- Tomás Jover, R. (2014). *GInTer*. Última vez consultada: mayo 2016. Retrieved from <http://web.ua.es/es/ginter/>

Tomás, R.; Cano, M.; García-Barba, J. & Zamora, R. (2012). Implementación de un laboratorio virtual de Mecánica de Suelos y Rocas. *X jornadas de redes de investigación en docencia universitaria*, 7-8.

Wu, C. (2011). *VisualSFM: A visual structure from motion system*.