

ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA CANTERA DE VALDEMIGUEL-ORENSE USANDO TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS: APLICACIONES EN EL TERRENO

García-Tamargo Enrique¹; Menéndez-Díaz Agustín¹; García-Cortes Silverio²; Ordoñez-Galán Celestino².

Departamento de Construcción e Ingeniería de la Fabricación. Universidad de Oviedo. C/
Independencia 13, 33004, Oviedo.

Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo. Escuela
Politécnica de Mieres. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, 33600, Mieres.

egtamargo@gmail.com

RESUMEN

El trabajo estudia los resultados de un análisis mediante láser escáner y fotogrametría de los taludes de una cantera de pizarra ornamental ubicada en la provincia de Orense. El objeto del análisis es determinar los elementos estructurales del macizo rocoso – fallas, diaclasas, vetas, diques y otras particularidades de los yacimientos de pizarra - para obtener una adecuada representación de los mismos, lo cual sirve de herramienta para un conocimiento adecuado de las características y posibilidades del yacimiento, así como de la estabilidad de los taludes de la corta. La información se obtuvo en el campo de dos maneras. Por un lado, en forma de fotografías tomadas con una cámara calibrada a la que se acopló un distanciómetro. Por otra parte, se obtuvieron nubes de puntos a partir de los barridos de los taludes realizados con el láser escáner. Posteriormente la información se procesó utilizando software adecuado que permitió visualizar los resultados. Por último, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos por ambos métodos, lo cual permitió establecer una serie de conclusiones sobre los elementos estructurales, al igual que sobre las ventajas e inconvenientes de la fotogrametría y el láser escáner como herramientas para el estudio de los macizos rocosos.

PALABRAS CLAVE: fotogrametría, láser escáner, modelización geométrica, elementos estructurales.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue realizado en una cantera de la empresa CAFERSA, situada en Carballeda de Valdeorras (Orense) por el Grupo de Investigación en Geomática y Computación Gráfica de la Universidad de Oviedo, en colaboración con el Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad de Vigo. Con la ayuda del láser escáner y técnicas de registro fotogramétricas se trataba de realizar un levantamiento de las discontinuidades estructurales que afectan al macizo de pizarra en sus frentes de explotación, las cuales son un parámetro fundamental en este tipo de yacimientos de pizarra de techar donde la fracturación es un condicionante esencial del aprovechamiento de una cantera. Las técnicas propuestas

podrían ser una alternativa al reconocimiento visual y a la toma manual de datos, habituales en este tipo de tareas, aportando una solución más detallada, rápida y segura. [1], [2], [3], [4], [5], [6].

2. RESULTADOS DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento general

En la realización del estudio señalado se utilizaron dos herramientas: por un lado, el láser escáner 3D RIEGL® LMS-Z390i (Fig 1) para la ejecución de un levantamiento cartográfico de conjunto. Permite obtener imágenes de nubes de puntos 3D con una precisión de 6 mm y con una densidad de 1 punto/cm².

Por otra parte, para el estudio fotogramétrico se utilizó una cámara calibrada Nikon D90 (Fig 2) con dos objetivos de 35 y 200 mm, a la que se acopló un distanciómetro Leica DISTO D8, con restitución posterior mediante software ShapeMetrix3D para obtener un modelo tridimensional del terreno. El programa JMX Analyst permitió evaluar las características geométricas de la imagen dando información sobre orientación de discontinuidades, espaciamiento y persistencia. El acceso a la cantera de pizarra se hace por una pista a cota de unos 1050 metros entrando por el

noroeste (zona Z0), mientras que en el frente sur (Zona 2) y oeste (Zona 3) de la cantera ya se han desarrollada un número significativos de bancos, (11) alcanzando una cota de 1100 metros. En el frente noreste de la corta (Zona 1) solo se han desarrollado tres de los bancos con una altura media de 5 m.



Fig 1. Láser RIEGL® LMS-Z390i



Fig 2. Nikon D90 con distanciómetro

El láser escáner se situó en el punto P0 sobre el primer banco en una zona céntrica (ubicación desde la que se tiene una buena visibilidad de las zonas Z0, Z1, Z2 y Z3 (ver Fig 3).



Se obtuvieron datos de las zonas Z1 y Z3, situadas a una distancia adecuada. La fotogrametría se realizó tomando pares de fotografías calibradas recorriendo dos niveles distintos desde la entrada de la cantera (Z0) hasta la posición de estacionamiento del láser escáner (P0). La metodología en cada recorrido fue similar:

Fig 3. Ubicación de zonas en la cantera.

1) Frente a cada banco se determinaron las ventanas de mapeo, ubicando un jalón vertical de referencia con dos dianas circulares normalizadas, determinando además la distancia D desde la cámara al frente del banco con el distanciómetro Leica DISTO D8. 2) Se procedió a la toma de los pares de fotografías calibradas con la cámara Nikon D90 (con objetivo de 35 mm o de 200 mm a distancias D/5 o D/8 con respecto al centro de la ventana a fotografiar, y ambos lados de la misma. 3) Se ajusta la escala en función de las dianas del jalón vertical y se procede

a la georreferenciación digital y a la reconstrucción de una nube de puntos en 3D con la ayuda del programa ShapeMetrix3D.

Sobre el modelo 3D generado por ShapeMetrix3D se realizó una interpretación de los elementos estructurales de cada dominio (fallas, juntas, planos de excavación, etc.) obteniendo buzamientos y direcciones de buzamiento de cada estructura. Los elementos estructurales a medir son:

- Parámetros geométricos de la excavación: altura de banco, direcciones de avance de los frentes, ángulos de talud, estratificación (S_0), foliación principal (S_p), etc. Todos ellos son relativamente sencillos de determinar tanto con láser escáner como por el ShapeMetrix3D.
- Parámetros geométricos de la pizarra. Buzamientos de la estratificación en flanco normal e invertido, así como de la foliación principal (S_p), lineación de intersección (S_0/S_p), kink-band, foliación de crenulación, etc. De determinación más problemática con los medios señalados.
- Otros específicos geoestructurales: fallas, diaclasas, vetas y diques. Las fallas son relativamente sencillas de detectar, al igual que las diaclasas que no sean de reducida persistencia.

2.2 Estructuras en zona Z1

En la zona Z1 se obtuvo con el láser escáner (Fig 4) información sobre las características de la zona fracturada con dos grandes fallas en cuña que afectan simultáneamente a tres de los bancos Fig 5). Para la obtención de las diaclasas, el láser escáner da unos resultados interesantes (Fig 6), pero tiene menos calidad que el uso de fotogrametría (Fig 7). Las limitaciones de los resultados del láser escáner podrían superarse disminuyendo apreciablemente la distancia de escaneado, pero ello implicaría multitud de puntos de estacionamiento, lo cual resulta costoso y lento.

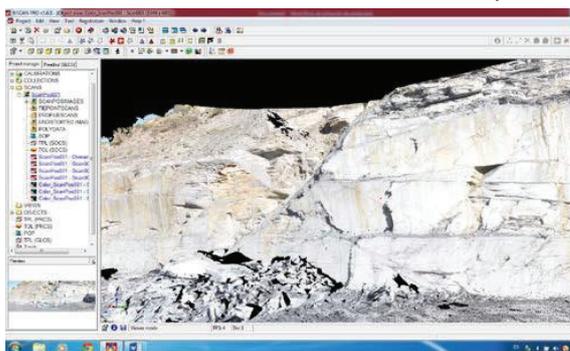


Fig 4. Nube de puntos 3D del láser escáner con textura de la zona Z1 afectada por un gran desprendimiento.

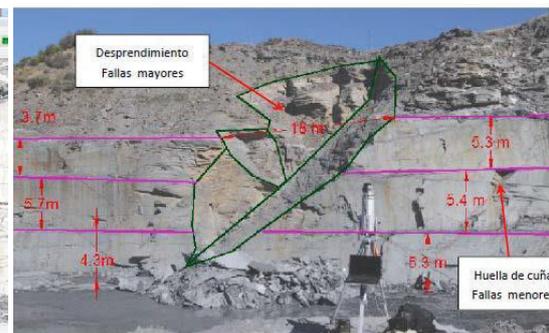


Fig 5. Escaneado de las diaclasas de dos bancos de la zona Z1 usando el ShapeMetrix3D

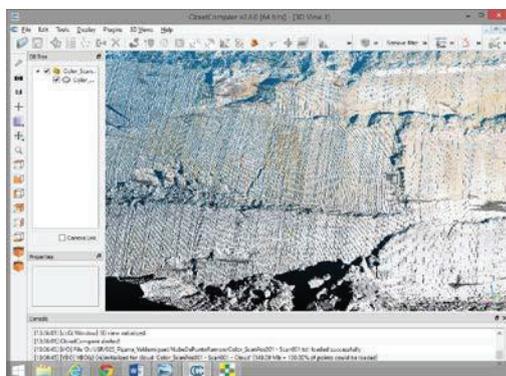


Fig 6. Escaneado de las diaclasas de dos bancos en la zona Z1 con Láser escáner

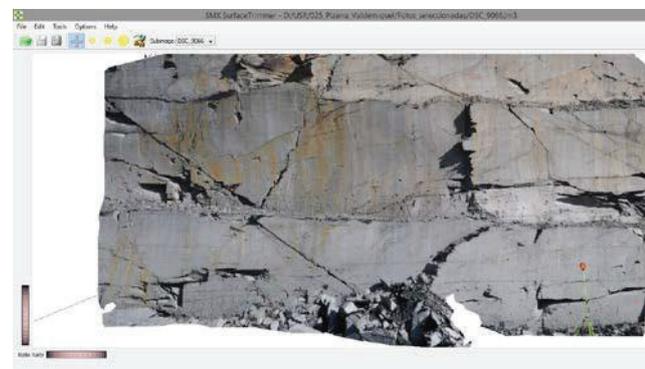


Fig 7. Escaneado de las diaclasas de dos bancos de la zona Z1 usando el ShapeMetrix3D

Se pueden identificar el sistema de diaclasas, mapeando al menos su disposición sobre las caras del banco. Pueden usarse las cuñas (Fig 8), aristas y las líneas de borde entre

bancos para estimar la orientación y el buzamiento de estas diaclasas en proyección estereográfica (Fig 9).

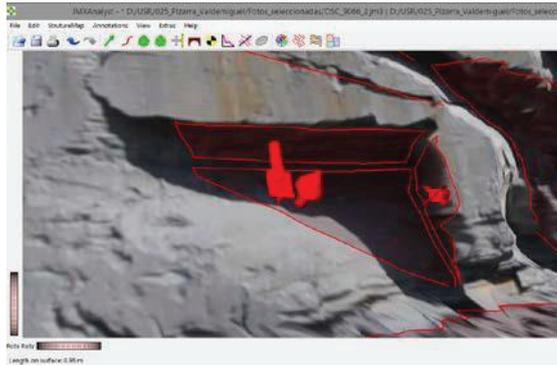


Fig 8. Detalle de huella de una cuña de tres planos.

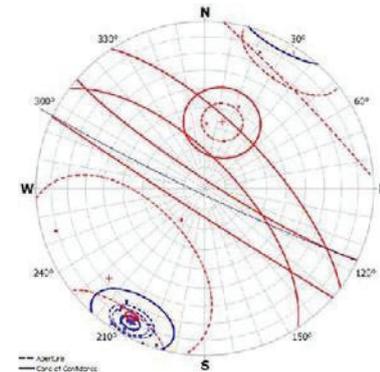


Fig 9. Representación estereográfica

2.3 Conclusiones

Una de las mayores ventajas del sistema es la medición sin contacto de parámetros geométricos del macizo rocoso, lo cual permite mejorar sustancialmente el trabajo de campo y la seguridad. Sin embargo, la interpretación de los resultados precisa de personal experto. La utilización del láser escáner proporciona buenos resultados para la descripción de desprendimientos o cuñas, mientras que para análisis en detalle de sistemas de diaclasas parece más adecuado usar ShapeMetrix3D. Ambos sistemas son válidos para definir la geometría de banco.

Otras ventajas que se han podido apreciar de estos métodos es la adquisición detallada rápida y sencilla de datos sobre la geometría de bancos, fallas y diaclasas en caras libres de la excavación, con posterior exportación a software de diseño minero, así como la documentación de zonas de difícil acceso.

Los inconvenientes observados son los siguientes:

- El uso de laser escáner es más adecuado para determinar la geometría, pero da peores resultados en zonas puntuales donde con ShapeMetrix3D se obtienen representaciones más claras, casi con calidad fotográfica. Hay que partir las nubes de puntos 3D de los escaneos por zonas.
- La necesidad de evitar zonas de sombra requiere al menos dos estaciones y usar técnicas de registro y filtrado. Para obtener detalles locales, con una sola estación puede ser suficiente.
- El registro de la foliación (esquistosidad de flujo) o de los kink-bands y crenulaciones (esquistosidad secundaria) es muy cuestionable a tenor de los registros obtenidos. Para subsanarlo habría que realizar mediciones a pocos metros del banco. Los resultados dependen del experto que trabaje a pie de banco para interpretar el tipo de elemento geo-estructural.

2.4 Referencias bibliográficas

- [1] Gigli G, Casagli N (2011) Semi-automatic extraction of rock mass structural data from high resolution LIDAR point clouds. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences . 2011; 48:187–198.
- [2] Cabo, Carlos; García-Cortés, Silverio; Menéndez-Díaz, Agustín; Ordoñez Celestino. Automatic Road Edge Detection from Mobile Laser Scanning (MSL). REF. REVISTA/LIBRO: Proc. SPIE 10151, Optics and Measurement International Conference, 1015106, 2016.
- [3] Deliormanli A.H., Maerz N.H. Otoo J. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 66 (2014) 41-48.
- [4] Argüelles Fraga, R.J. Aplicaciones del Láser Escáner Terrestre en Minería y Obras Subterráneas. Tesis. Universidad de Oviedo. 2015.
- [5] Menéndez-Díaz A., Argüelles-Fraga R, García-Cortés S, Ordoñez-Galán C. Stability analysis of a tunnel using LIDAR data and the keyblock method. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2015

[6] Menéndez-Díaz, A.; Argüelles-Fraga, R.; Ordoñez-Galán C.; Bouza-Rodríguez J.B. Room design for underground slate workings: analysis of safety factors for keyblocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 49:1107-1113, 2016.

3 OTROS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

- Ponencia congreso: XXV International Conference on Graphics Engineering. Menéndez Díaz A., Ordóñez Galán C, Bouza Rodríguez JB, García Cortés S. Geometric design for slate mine workings using keyblock method and photogrammetry. San Sebastián. 17-19 June, 2015.
- Proyecto de desarrollo de un LIDAR de bajo coste para el sistema BLOFOR de control de desprendimiento de bloques. FC-15-TRANS15-27. ENTIDAD FINANCIADORA: Gobierno del Principado de Asturias. Convocatoria Ficyt 2015. Ayudas a empresas y centros de investigación del Principado de Asturias para la transferencia de tecnología. Modalidad B (Valorización de Tecnología). 01/01/2015 - 31/12/2015.
- Contrato. Entorno gráfico de simulación BLOFOR para el análisis forense del desprendimiento de bloques. CN-14-015-PCTI EMPRESA. OCA CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS S.A. 01/01/2014 - 31/12/2014
- Aplicación BloFor (OCA-Univ. de Oviedo). <https://sites.google.com/site/bloforoca/>

4 EQUIPO INVESTIGADOR

GEOGRAPH: Grupo de Investigación en Geomática y Computación Gráfica. (Reconocido por la ANECA). (Geomatic and Computer Graphics Reseach Group).	
Enrique García Tamargo Centro Internacional de Posgrado. Universidad de Oviedo Doctorando	Celestino Ordoñez Galán Departamento de Explotación y Prospección de Minas Centro: Escuela Politécnica de Mieres Catedrático de Universidad
Silverio García Cortes. Departamento de Explotación y Prospección de Minas Escuela Politécnica de Mieres. Profesor Titular de Universidad	Agustín Menéndez Díaz. Departamento de Construcción e Ingeniería de la Fabricación Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo Profesor Titular de Universidad



Análisis gráfico de los elementos estructurales de la cantera de Valdemiguel-Orense usando técnicas fotogramétricas: Aplicaciones en el terreno.

García-Tamargo Enrique¹; Menéndez-Díaz Agustín¹; García-Cortés Silverio²; Ordoñez-Galán Celestino².

- Departamento de Construcción e Ingeniería de la Fabricación. Universidad de Oviedo. C/ Independencia 13, 33004, Oviedo.
- Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, 33600, Mieres.

1. Introducción

Este trabajo fue realizado en una cantera situada en Carballeda de Valdeorras (Orense). Con la ayuda del láser escáner y técnicas de registro fotogramétricas se trataba de realizar un levantamiento de las discontinuidades estructurales que afectan al macizo de pizarra en sus frentes de explotación, las cuales son un parámetro fundamental en este tipo de yacimientos de pizarra de techar donde la fracturación es un condicionante esencial del aprovechamiento de una cantera.

- Técnica propuesta Alternativa al reconocimiento visual y a la toma manual de datos, habituales en este tipo de tareas, **aportando una solución más detallada, rápida y segura.** [1], [2], [3].

2. Planteamiento General

1) Herramientas



Fig 1. Láser escáner RIEGL® LMS-Z390i Fig 2. Nikon D90 + distanciómetro

2) Software

- **JMX Analyst.** Evaluación de la imagen
- **ShapeMetrix3D.** Fotogrametría. Creación de modelo tridimensional del terreno.

3) Lugar

Cota de unos 1.050 metros. Acceso por el noroeste (zona Z0). En el frente sur (Zona Z2) y oeste (Zona Z3) de la cantera se han desarrollado 11 bancos. En el frente noreste (Zona Z1) se han desarrollado tres bancos con una altura media de 5 m. (Fig.3)

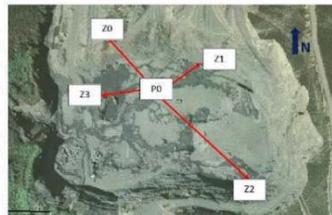


Fig 3. Ubicación de zonas en la cantera.

4) Procedimiento

1. En cada banco se determinaron ventanas de mapeo, ubicando un jalón vertical, y determinando la distancia.
2. Se toman pares de fotografías calibradas con la cámara Nikon D90.
3. Se ajusta la escala y se procede a la georreferenciación digital y a la reconstrucción de una nube de puntos 3D

En el modelo 3D se interpretaron **elementos estructurales:**

- Direcciones de frentes, ángulos de talud, estratificación (S_0), foliación principal (S_p), etc.
- Buzamientos de la estratificación, así como de la foliación principal (S_p), lineación de intersección (S_0/S_p), kink-band, foliación de crenulación, etc.
- Fallas, diaclasas, vetas y diques

5) Estructuras en zona Z1

- En Z1 se obtuvo con el láser escáner (Fig 4) información sobre las características de la zona fracturada con dos grandes fallas en cuña que afectan simultáneamente a tres bancos Fig 5).
- Para la obtención de las diaclasas, el láser escáner da unos resultados interesantes (Fig 6), pero tiene menos calidad que el uso de fotogrametría (Fig 7).
- Las limitaciones de los resultados del láser escáner podrían superarse disminuyendo la distancia de escaneado, multitud de puntos de estacionamiento costoso y lento.



Fig 4. Nube de puntos 3D del láser escáner con textura de la zona Z1 afectada por gran desprendimiento



Fig 5. Escaneado de las diaclasas de dos bancos de la zona Z1 usando el ShapeMetrix3D

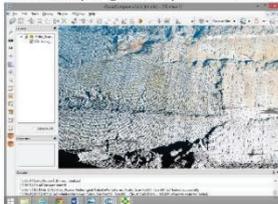


Fig 6. Escaneado de las diaclasas de dos bancos en zona Z1 con Láser escáner



Fig 7. Escaneado de las diaclasas de dos bancos en zona Z1 usando ShapeMetrix3D

6) Conclusiones

1. Ventajas

- Medición sin contacto de parámetros geométricos del macizo rocoso. **Mejora del trabajo de campo y seguridad**
- El láser escáner proporciona buenos resultados para la descripción de desprendimientos o cuñas.
- Para análisis en detalle de sistemas de diaclasas parece más adecuado usar fotogrametría con ShapeMetrix3D.
- Ambos sistemas son válidos para definir la geometría de banco.

2. Inconvenientes

- El láser escáner es más adecuado para determinar la geometría general, pero consigue peores resultados en zonas puntuales.

3. Referencias bibliográficas

- [1] Gigli G, Casagli N (2011) Semi-automatic extraction of rock mass structural data from high resolution LIDAR point clouds. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2011; 48:187–198.
- [2] Cabo, Carlos; García-Cortés, Silverio; Menéndez-Díaz, Agustín; Ordoñez Celestino. Automatic Road Edge Detection from Mobile Laser Scanning (MSL). REF. REVISTA/LIBRO: Proc. SPIE 10151, Optics and Measurement International Conference, 1015106, 2016.
- [3] Deliormanli A.H., Maerz N.H. Otoo J. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 66 (2014) 41–48.