

Uso de un escáner Láser para la descripción y análisis de estructuras geológicas: Los *boudines* de Almogrove (Portugal), del afloramiento al laboratorio

Geologic structures description and analysis using a Laser scanner: The Almogrove (Portugal) boudins, from the outcrop to the lab

G. Gutiérrez-Alonso¹, A.L. Muñoz², G. Santos², G. Zulauf³, D.G. Aguilera², J.G. Lahoz²,
J.S. Herrera², A.B. Weil⁴

- 1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Plaza de los Caidos s/n, 37008 Salamanca. gabi@usal.es
- 2 Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad de Salamanca. C/ Santo Tomás s/n, 05003 Ávila
- 3 Geowissenschaften, Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt am Main, 60325 Frankfurt, Alemania
- 4 Department of Geology, Bryn Mawr College, 101 North Merion Avenue, Bryn Mawr, Pennsylvania 19010-2899, U.S.A

Resumen: La aparición de nuevas técnicas instrumentales, basadas en sistemas de escaneo Láser tridimensional, permiten caracterizar con gran precisión y duplicar virtualmente superficies de geometría compleja. Esta tecnología se ha aplicado al estudio de un afloramiento caracterizado por la presencia de *boudines* con geometría de tableta de chocolate. La reproducción virtual del afloramiento ha permitido confirmar la validez de este método para obtener reproducciones fiables que pueden ser utilizadas para completar los estudios de campo y para visualizar mejor las estructuras estudiadas. El cúmulo de datos numéricos que se obtiene puede servir además para realizar análisis geométricos rigurosos de la geometría de superficies deformadas por procesos geológicos.

Palabras clave: Láser, escáner, boudinage, geología estructural, afloramiento virtual.

Abstract: The emergence of new instrumental techniques based in 3D scanning systems, allow the precise characterization and the virtual duplication of geometrically complex surfaces. This technology has been applied to the study of a cliff where an intensely boudined bed outcrops depicting a chocolate tablet geometry. The virtual reproduction of this outcrop proves the validity of this method in order to obtain reliable copies which can be used to complete fieldwork studies and to much better visualize the scanned structures. The wealth of data obtained can also be used to perform detailed geometrical analysis of surfaces that have been deformed by geological processes.

Key words: Laser, scanner, boudinage, structural geology, virtual outcrop.

INTRODUCCIÓN



FIGURA 1. Afloramiento de rocas carboníferas situado en la playa de Almogrove. Se observa el muro de una capa (la serie se encuentra invertida) en la que se aprecian los "boudines" con geometría de tableta de chocolate. El límite de los "boudines" se encuentra realizado por la presencia de venas de cuarzo en los cuellos de los mismos.

Uno de los problemas más habituales con que se encuentran los geólogos de campo es la dificultad de acceder a algunos afloramientos en momentos determinados, ya sea por su accesibilidad, lejanía o por su inminente destrucción. Las nuevas tecnologías aportan herramientas que nos permiten reproducir de forma virtual superficies de complicada geometría con un grado de resolución tal que permiten, por un lado, reproducirlas en el laboratorio donde pueden ser observadas y analizadas geoméricamente de nuevo y, por otro lado pueden ser susceptibles de ser analizadas matemáticamente a partir de la información digital obtenida (Maccaffrey *et al.*, 2005, Trinks *et al.*, 2005).

Para este estudio se ha elegido un vistoso afloramiento de rocas sedimentarias Carboníferas (Figura 1), situado en la Zona Surportuguesa, en el extremo meridional de la playa de Almogrove (Costa Vicentina, Portugal). El afloramiento muestra el muro de una capa que ha sido intensamente "boudinada" y cuya topografía refleja la extensión causada por los *boudines* con geometría de "tableta de chocolate" que se observan. En este trabajo presentamos los resultados preliminares obtenidos sobre uno de los motivos

analizados, describimos la metodología utilizada y discutimos las posibilidades que se abren mediante el uso de esta técnica para completar los trabajos de campo y para realizar otros tipos de estudios derivados de la naturaleza de los datos obtenidos.

EL “BOUDINAGE”

El término *boudin* fue utilizado por primera vez por Lohest (1909) para describir estructuras en rocas sedimentarias metamorfizadas de las Árdenas (Bélgica), y son estructuras con forma de cilindros o morcillas, de ahí su nombre de *boudines*, dispuestos unas al lado de otros y separados por zonas en las que la capa se ha adelgazado o, a menudo, roto y conocidas con el nombre de “cuellos”. Entre los distintos tipos de

boudines se describen los que reciben el nombre de “tableta de chocolate” (Wegmann, 1932) que consisten en dos familias de *boudines* cuyos cuellos tienen orientaciones perpendiculares. El origen de este tipo de *boudines* se interpreta de manera general como estructuras producidas bajo condiciones de aplastamiento puro (Ramsay, 1967).

Es muy común en los afloramientos en los que se pueden observar *boudines* la presencia de venas, producto de la precipitación de minerales existentes en los fluidos presentes en la roca (cuarzo o calcita, generalmente) que rellenan los cuellos de los mismos cuando se ha producido una separación completa entre dos *boudines* adyacentes.

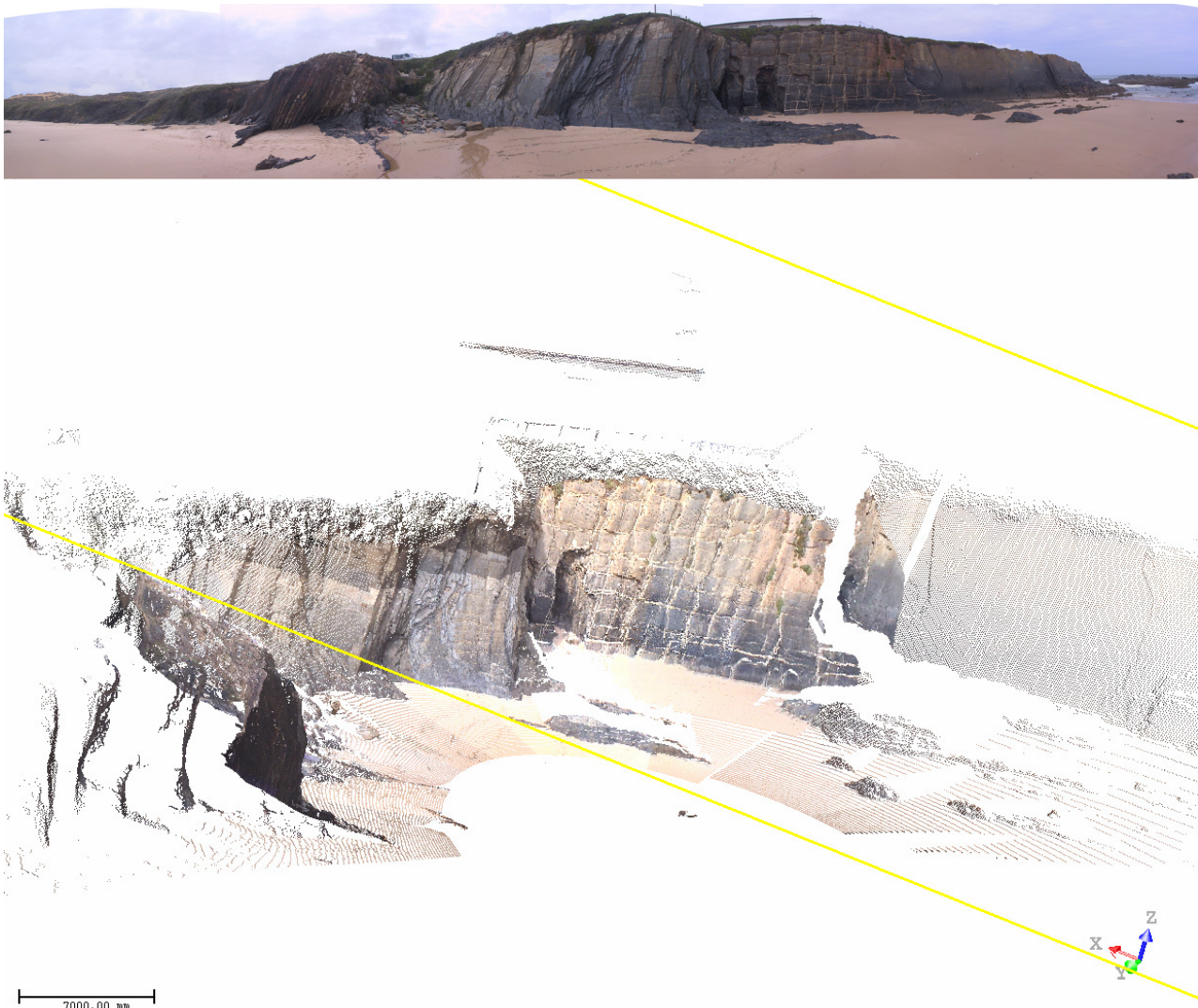


FIGURA 2. Panorámica del afloramiento estudiado (arriba) y representación gráfica de los datos obtenidos a la que se han añadido las imágenes 2D de alta resolución capturadas con la cámara digital que se utilizaron para la transferencia de texturas fotográficas al modelo 3D. La identificación de puntos homólogos entre el modelo y la imagen fue la base para la generación de una ortofoto del afloramiento, siendo este un producto bidimensional con propiedades métricas. Utilizando el software apropiado, la perspectiva se puede variar a voluntad del observador.

El afloramiento estudiado se encuentra situado en la localidad de Almogrove (Parque natural del Sudeste Alentejano y Costa Vicentina, Portugal), en el extremo meridional de la playa del mismo nombre. Se trata de un conjunto de capas intensamente plegadas, que muestran una disposición invertida correspondiente a

un flanco inverso en una alternancia de areniscas y pelitas correspondientes a la formación Mira (Carbonífero Inferior, Namuriense) de características turbidíticas. (Figura 2a).

La deformación ha ocurrido en condiciones de la anquizona o incluso diagenéticas (Abad *et al.*, 2001) pese a reconocerse un clivaje pizarroso ubicuo y paralelo al plano axial de los pliegues que se observan en la región.

RECOGIDA Y ELABORACIÓN DE DATOS

Para realizar la recogida de datos se ha utilizado un escáner láser terrestre de medio rango basado en el principio de tiempo de vuelo, en concreto el modelo GX200 de la casa Trimble conectado a un PC portátil que gestiona la captura y el almacenamiento de datos. La configuración óptico-mecánica de este escáner permite la adquisición de escenas con un amplio campo de vista de hasta 360° en barrido horizontal por 60° en el plano vertical. Su resolución geométrica nominal es de 1.5 mm para observaciones a 50 m de distancia, con un diámetro del *spot* de 3 mm. Es destacable el hecho de ir dotado de un sistema electrónico de compensación que permite determinar la dirección de la vertical sin ambigüedad. Además de la medida de distancias y ángulos, imprescindibles para el cálculo de las coordenadas cartesianas, el escáner láser permite la adquisición para cada punto de los valores de intensidad, de reflectividad, y de colores RGB.

La información adquirida por el escaner láser consiste en un fichero de puntos que contiene las coordenadas cartesianas (X,Y,Z), los valores R,G,B así como el valor de la intensidad de la señal reflejada (I) y la normal (N) de cada uno de los puntos medidos en el afloramiento. Dado que el barrido láser se lleva a cabo sin ningún tipo de discriminación de información, el número de puntos almacenados es significativamente grande, alcanzando valores de varios millones en el afloramiento que describimos. Para este trabajo, el levantamiento realizado, que se muestra en la figura 2, se completó en aproximadamente 4 horas.

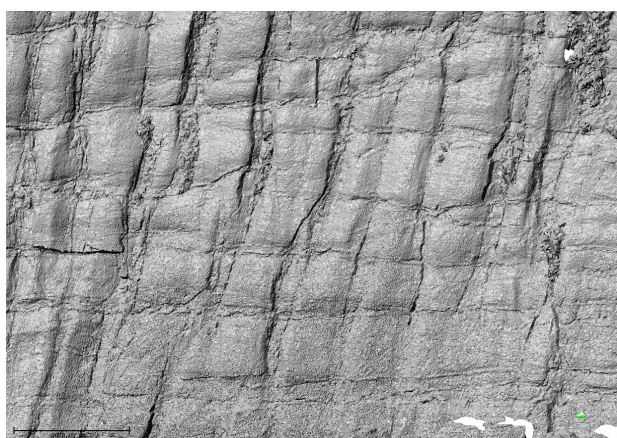


FIGURA 3. Representación gráfica de una visión ortográfica del muro de la capa deformada resaltada mediante un sombreado 3D de una malla de triángulos. Esta visualización permite apreciar la topografía de la superficie deformada con más claridad que en el caso de las fotografías convencionales y permite realizar medidas precisas para calcular parámetros estructurales.

Una vez georeferenciado el levantamiento, con los datos obtenidos por el GPS, el procesado de los datos

comienza con la elaboración de modelos de malla triangular en base a la triangulación de Delaunay sobre los cuales apoyar luego la extracción de productos gráficos. Para ello se constituyeron diversas mallas ajustadas al nivel de detalle requerido en cada barrido.

El propio modelo triangulado se utiliza para generar algunas vistas tridimensionales (Figura 3), que adecuadamente iluminadas virtualmente, muestran de manera elocuente la geometría de las estructuras existentes en el afloramiento estudiado, haciendo posible la medida de parámetros geométricos, tales como las distancias entre distintos elementos, la pendiente de superficies discretas, así como de la profundidad de las hendiduras. Estas medidas se pueden realizar a través del interfaz informático, el monitor, sin necesidad de volver al afloramiento. Asimismo se pueden realizar secciones de la superficie estudiada en cualquier dirección, lo que es útil para realizar medidas de extensión en el tipo de estructuras estudiadas.

Las posibilidades de cambiar de perspectiva y de buscar iluminaciones virtuales óptimas permiten en muchos casos descubrir aspectos de las estructuras a estudiar que en algunos casos podrían haber pasado inadvertidas durante las campañas de campo.

Por último, en este trabajo mostramos algunos ejemplos de los productos gráficos resultantes en las Figuras 2 y 3. Como puede apreciarse en las mismas, sobre todo en la Figura 3, la geometría de la estructura se encuentra realizada de manera que se puede estudiar la geometría de las estructuras analizadas de una manera cuantitativa. Este hecho facilita sobremanera el estudio de algunas estructuras una vez finalizada la posibilidad de realizar más trabajo de campo.

CONCLUSIONES

El escaneo Láser de afloramientos geológicos es una poderosa herramienta para recoger información relacionada con la geometría de superficies complejas, en este caso las resultantes de la deformación causada por procesos geológicos en las rocas. La precisión de los escáneres actuales es suficiente para su aplicación geológica, al menos a escala de afloramiento.

Esta herramienta permite completar la recogida de datos geométricos de las estructuras estudiadas en el laboratorio, cuando no es posible continuar el trabajo de campo, así como recabar información de calidad de lugares inaccesibles, por ejemplo acantilados.

Pensamos también que esta técnica puede ser utilizada en la docencia para realizar gráficos que permitan resaltar y/o clarificar las observaciones que se realizan *in situ*.

Por último, el hecho de tener un registro numérico de la geometría de las estructuras estudiadas abre la puerta a la posibilidad de matematizar y analizar rigurosamente la geometría de algunas superficies que

han sido deformadas por procesos geológicos, lo que servirá para un estudio más completo y una mejor comprensión de los mencionados procesos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto está financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante la Acción Integrada de Investigación Científica y Tecnológica entre España y Alemania HA2006-0092 y por el proyecto CGL2006-00902 (O.D.R.E.).

REFERENCIAS

- Abad, I. Nieto, F., y Velilla, N., (2001): The phyllosilicates in Diagenetic-Metamorphic rocks of the South Portuguese Zone, southwestern Portugal. *Canadian Mineralogist*, 39, 1571-1589.
- McCaffrey, K.J.W., Jones, R.R., Holdsworth, R.E., Wilson, R.W., Clegg, P., Imber, J., Holliman, N., y Trinks, I., (2005): Unlocking the spatial dimension: digital technologies and the future of geoscience fieldwork. *Journal of the Geological Society of London*, 162, 927-938, doi: 10.1144/0016-764905-017.
- Lohest, M., (1909): De l'origine des veines et des géodes des terrains primaires de Belgique. Troisième note. *Annales de la Societe Géologique de Belgique*, 36 (Bulletin de 1908-1909), 275-282.
- Ramsay, J.G. (1967). *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill Book Co., New York. 568 pp.
- Trinks, I., Clegg, P., McCaffrey, K.J.W., Jones, R., Hobbs, R., Holdsworth, B., Holliman, N., Imber, J., Waggott, S. y Wilson, R. (2005): Mapping Virtual Outcrops. *Visual Geosciences*, 10, 13-19, doi: 10.1007/s10069-005-0026-9.
- Wegmann, C.E. (1932): Note sur le boudinage. *Bulletin de la Societe Géologique de la France*, 2, 477 - 491.