



XVIII Congreso Peruano de Geología

DETERMINACIÓN DE SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MEDIANTE MAPEO POR FOTOGAMETRÍA EN PROYECTOS DE TAJO ABIERTO

Cindy Lisette Pacheco Arotinco¹, Crystal Poon²

¹ Golder Associates Perú S.A., Lima, Perú (clpacheco@golder.com.pe)

² Golder Associates Perú S.A., Lima, Perú (crystal_poon@golder.com)

Resumen

El empleo del mapeo estructural mediante fotogrametría en tajos abiertos se ha incrementado en los últimos años. Esta técnica permite la obtención de datos de orientación, espaciado y persistencia de las discontinuidades, mediante un modelo tridimensional (3D) de una superficie del macizo rocoso generada por un software de modelamiento fotogramétrico, a partir de dos fotografías digitales tomadas en diferentes posiciones.

Para su realización se requiere solamente un software de bajo costo y una cámara digital del tipo réflex de un solo lente (SLR, por sus siglas en inglés), que sea compatible con dicho software, lo que hace que este método de mapeo sea óptimo para la colección de datos estructurales, ya que no se requiere extensas campañas de campo. También es un método seguro ya que no involucra riesgos por acercarse a los afloramientos/taludes, pues se pueden tomar las fotografías a grandes distancias.

Así mismo, el método es útil para la complementación de otras técnicas existentes de colección de datos estructurales como la perforación geotécnica de testigos orientados, registros de televiewer, entre otras. Debe tomarse en cuenta que el método de mapeo por fotogrametría no aporta información sobre las características físicas de las discontinuidades (rugosidad, abertura, relleno, resistencia y alteración de las paredes, etc).

1. Mapeo por Fotogrametría

La colección de datos para la estimación de la orientación y distribución espacial de los sistemas de

discontinuidades y fallas, es una de las actividades más importantes para la construcción/elaboración del modelo estructural de un tajo abierto. Las técnicas de mapeo estructural más usadas para la colección de datos estructurales a detalle son las siguientes: mapeo de línea de detalle, mapeo por ventanas estructurales y mapeo por fotogrametría. (Read y Stacey, 2009)

El mapeo estructural ha sido tradicionalmente una de las actividades que involucra riesgos y consume un tiempo significativo. Potvin et al. (2001) señalan que “El 80% de los accidentes en empresas mineras ocurren a una distancia de hasta 3 metros del frente”. Cada técnica de mapeo estructural tiene sus ventajas y sus limitaciones, las referidas al mapeo por fotogrametría se establecen en el punto 2 y 3 del presente documento.

La definición de fotogrametría según Bonneval en 1972 es: “La técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”. En general se podría concluir que la fotogrametría es un sistema de captura de información geométrica a distancia.

La técnica del mapeo estructural mediante fotogrametría se realiza a partir de la conversión de imágenes 2D a modelos en 3D. Para la generación de un modelo tridimensional (3D) de la superficie del macizo rocoso se emplean programas como por ejemplo: Sirovision®, ©3G – ShapeMetrix & JointMetrix y ©Adams Technology – 3DM Analyst, que son de uso común en las minas de tajo abierto a nivel global. (Bangash et al., 2015) (Ver Gráfico 1)

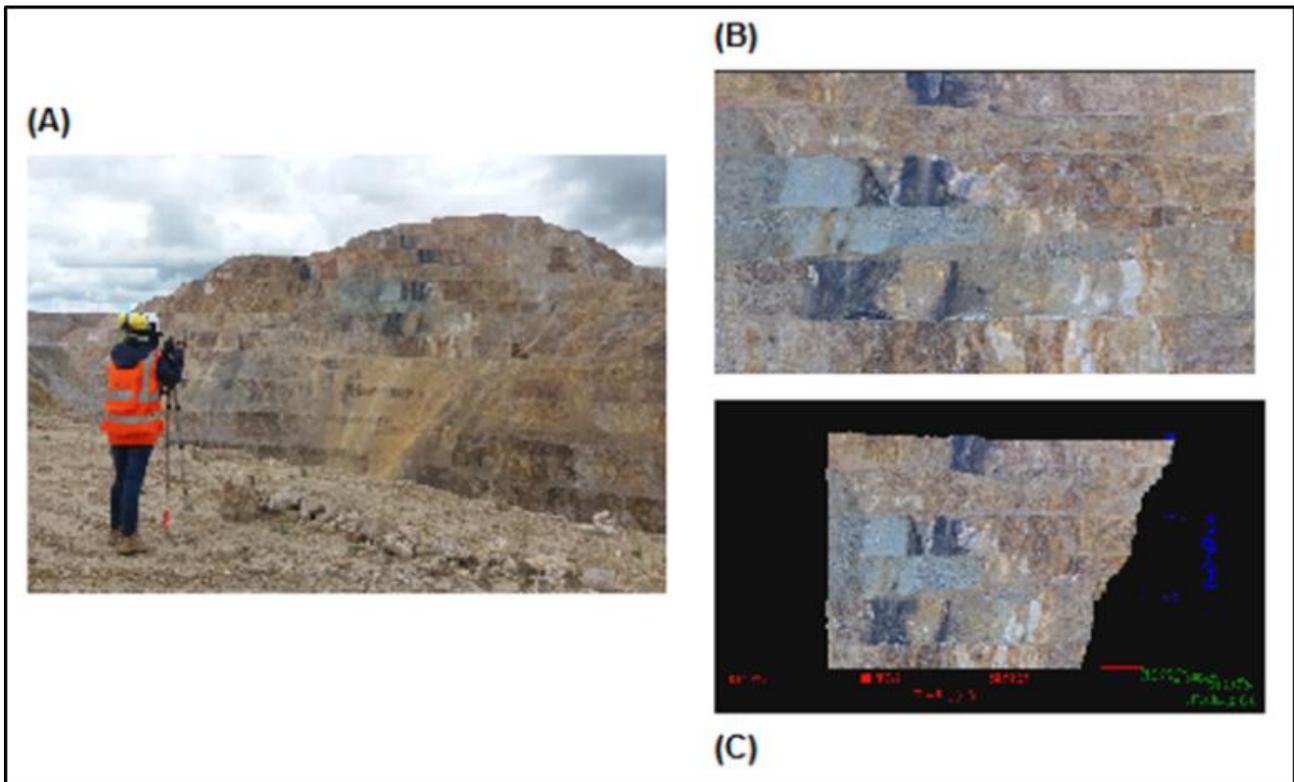


Gráfico 1. (A) Obtención de fotografías de las paredes del tajo Calaorco para la realización del mapeo por fotogrametría (Golder, 2016). (B) Fotografía tomada de un sector de la pared del tajo Calaorco (Golder, 2016). (C) Modelo tridimensional (3D) creado en Sirovision© a partir de la superposición de dos fotografías tomadas de un mismo sector.

1.1. Trabajo de Campo

En general, el trabajo de campo para el mapeo por fotogrametría es rápido y sencillo. Se requieren sólo las fotografías y los puntos de control dentro del área de cada fotografía para poder geo-referenciarlas.

Para realizar el trabajo de campo se requiere: una cámara digital SLR y lentes de cámara de medidas diferentes de acuerdo sean las especificaciones requeridas para usar el software, un trípode, un nivel de trípode, una wincha de mano, un distanciómetro, un spray de pintura y el software específico con el cual se va realizar el proceso de data establecida en el mapeo.

El procedimiento en campo implica la colección de un par de fotografías en 2D tomadas desde dos puntos de vista diferentes dentro de un área determinada, de manera perpendicular a la pared expuesta del tajo. Dentro de las dos fotografías, deben de seleccionarse puntos de control que van a permitir la orientación de la imagen 3D.

Mientras la ejecución del trabajo de campo es sencilla, la planificación de dichos trabajos debe ser cuidadosa ya que se debe tener en consideración lo siguiente:

- Familiaridad con el sitio, conocimiento del programa de voladura, áreas operativamente activas, entre otros;
- Conocer las distancias aproximadas desde las que se puede tomar una fotografía de la cara del macizo rocoso con seguridad (Bangash et al., 2015);

- Conocer los lentes de distancia o zoom de la cámara focal fija adecuada, requeridos en función de las distancias a usar partir de la fotografía (Poon et al., 2009);
- Conocer las condiciones del tiempo en el lugar, y conocimiento de que la cara de la roca está expuesta a la luz solar. Una buena exposición a la luz hace que sea más fácil para los usuarios resaltar superficies de discontinuidad en el modelo 3D en el software, ya que las sombras pueden ocultar los detalles del macizo rocoso (Patikova, 2004);
- El conocimiento de la obstrucción potencial sobre las superficies expuestas para la toma de las fotografías (es decir, plantas, árboles, equipos, nieve y hielo, etc).

1.2. Generación de Mosaicos en 3D e Identificación de Estructuras

Los programas ya mencionados permiten que al superponerse las dos imágenes de una misma área generen una imagen en 3D. Al unir estas imágenes en 3D se obtendrán mosaicos en 3D de las paredes del tajo. Luego, con el uso de los puntos de control estos mosaicos en 3D estarán geo-referenciados, de tal manera que al digitar trazos y planos en los mosaicos, se obtendrá datos de buzamiento, dirección de buzamiento, espaciamiento y persistencia de las discontinuidades. (Ver Gráfico 2)

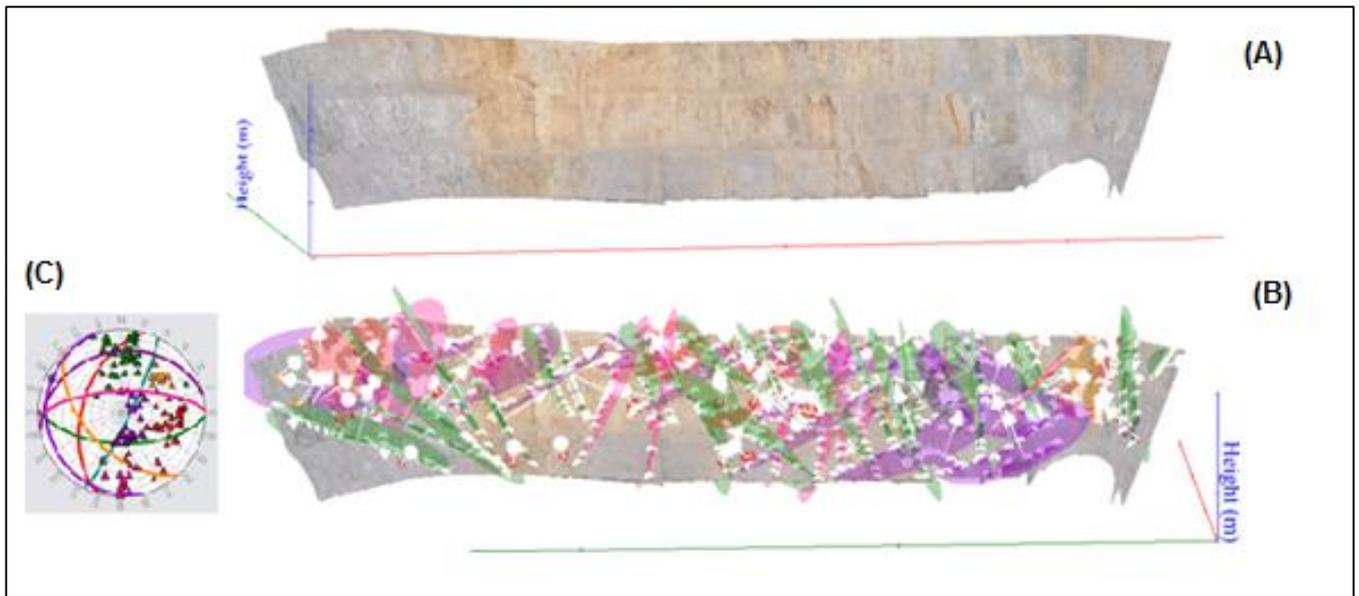


Gráfico 2. (A) Mosaico 3D generado para una pared del tajo Toromocho (Golder, 2015) (B) Mosaico 3D representando las estructuras trazadas (C) Estereograma representando los sistemas de discontinuidades trazadas; en Sirovision©.

1.3. Análisis de Data Estructural

Los datos de las discontinuidades (buzamiento, dirección de buzamiento, espaciamiento y persistencia) que se identifiquen en los mosaicos 3D generados para cada pared del tajo se analizan estadísticamente y se generan estereogramas que proporcionarán una representación en 2D de la data estructural presente en todo tajo, mediante el uso de cualquier programa de

proyección estereográfica como Dips© (Rocscience). (Poon et al., 2009) (Ver Gráfico 3)

Las estructuras que se mapean pueden ser persistentes a través de uno o más bancos del tajo, teniendo potencial para influir en la estabilidad de taludes a escala de banco o a escala de inter-rampa.

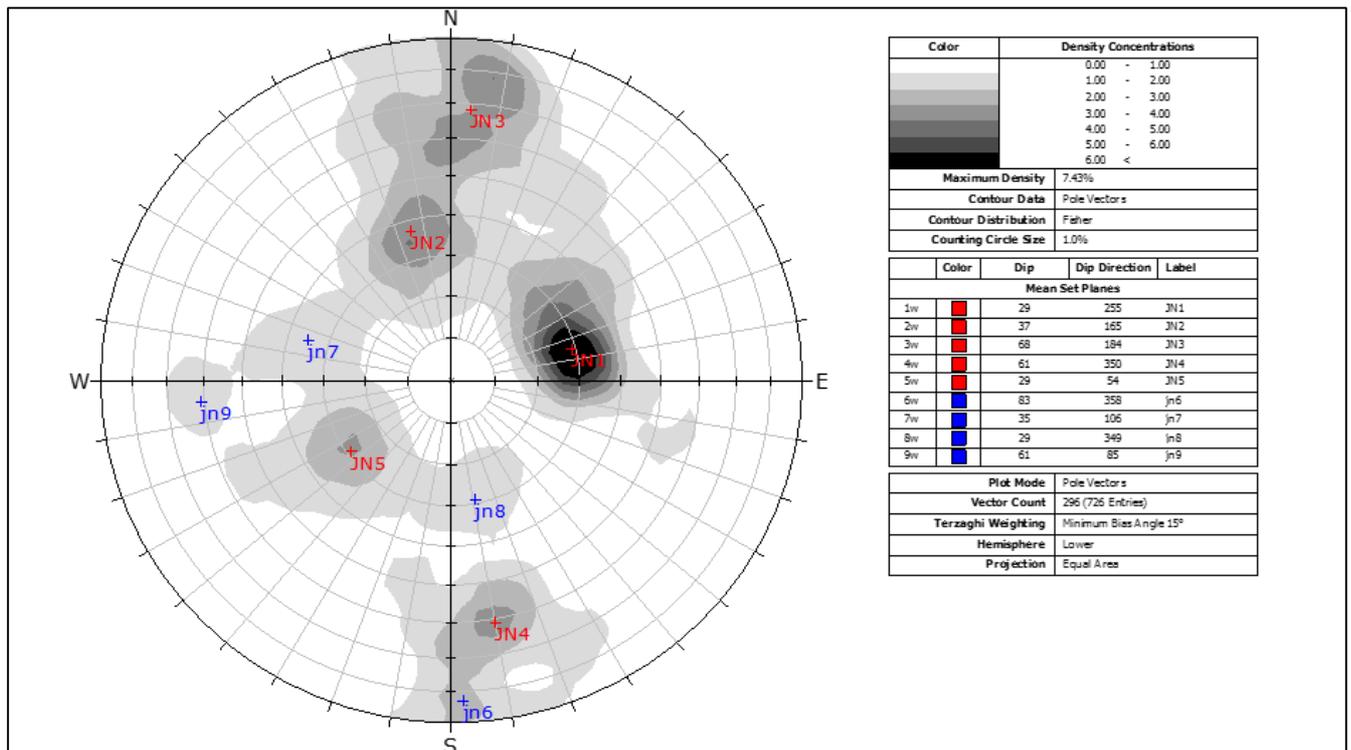


Gráfico 3. Estereograma que muestra los sistemas de discontinuidades mayores y menores seleccionados en base al mapeo por fotogrametría del Tajo Toromocho (Golder, 2015) en Dips©.

2. Ventajas

- En comparación con los métodos convencionales para la obtención de data estructural, el mapeo por fotogrametría permite trabajar de una manera más segura, ya que la colección de la información en campo no implica acercarse demasiado a los afloramientos.
- Los macizos rocosos que con anomalías magnéticas (mineralización de magnetita), no representan un riesgo de incertidumbre en la toma de datos. A diferencia de los otros métodos que implican el uso de brújula para realizar la colección de datos en campo.
- Se puede realizar la colección de data estructural en zonas de difícil accesibilidad.
- Reducción del tiempo de permanencia en el campo, para la colección de datos estructurales.
- Se colectan datos de buzamiento, dirección de buzamiento, espaciamiento y persistencia de las discontinuidades visibles en las paredes del tajo.
- El mapeo por fotogrametría permite una visualización de las discontinuidades a gran escala en las paredes del tajo, lo que no se logra fácilmente mediante el mapeo convencional con brújula.
- La capacidad de los softwares de fotogrametría de generar modelos en 3D y wireframes facilitan su uso para exportar como archivos con extensión DXF e importar en AutoCAD© y en otros programas de modelado como Datamine©.

3. Limitaciones

- No se pueden obtener datos de resistencia al corte (Jr, Ja), como si es el caso de la perforación geotécnica de testigos orientados.
- Se restringe a áreas donde la cámara puede capturar fácilmente la cara del talud.
- Se limita a buenas condiciones climáticas (luz del sol, sin lluvia).
- En paredes de tajo que se encuentren con abundante material acumulado, el mapeo por fotogrametría no se puede realizar.
- No se puede realizar el mapeo en las zonas que contengan gran material de cobertura (vegetal / nieve).

4. Conclusiones

Los sistemas de discontinuidades mayores y menores determinados mediante el mapeo por fotogrametría son importantes para la concepción del modelo estructural del proyecto.

El conocimiento de la continuidad o persistencia de las estructuras presentes en las paredes de un tajo es fundamental para el diseño de taludes.

El mapeo por fotogrametría es sencillo y práctico para la colección de data estructural, pero debe ser complementado con otras técnicas como el mapeo superficial convencional, perforación geotécnica de testigos orientados y registros de Televiewer.

La realización del mapeo por fotogrametría no requiere campañas extensas ni más de 2 o 3 ingenieros en campo, lo que hace óptima su utilidad en proyectos.

Agradecimientos

Agradecimiento de los autores a la empresa Golder Associates por permitir el uso de la información de proyectos anteriores. Así mismo a los Ingenieros Henry Gabulle, Bayron Santos y Carlos Huamán quienes revisaron el texto del presente documento técnico.

Referencias

- Golder Associates Perú. 2016. Mapeo Fotogramétrico del Tajo Calaorco. v. 4, p. 1-10.
- Golder Associates Perú. 2015. Mapeo Fotogramétrico del Tajo Toromocho. v. 3, p. 1-12.
- Bangash, H.A., Micklethwaite, S., Bourke, P., Kovesi, P. 2015. Development of Digital Techniques for Mapping an Open Pit at Coolgardie, Western Australia. 77th EAGE Conference and Exhibition 2015, p.1-4.
- Mathis, J.I. 2011. Photogrammetric Discontinuity Mapping as Applied to Structural Interpretation and Drill hole Planning at Barrick's Williams Pit. International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, p.18-21.
- Read, J., Stacey, P. 2009. Guidelines for Open Pit Slope Design, p.19-22, 349-351.
- Poon, C., Neufeld, A., El Madani, F., Castro, L. 2009. Enhancing the Collection of Rock Mass Fabric Data for Open Pit. Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium. p. 2-6.
- Patikova, A. 2004. Digital photogrammetry in the practice of open pit mining. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, v.34, p.1-4.
- Potvin, Y., Nedin, P., Sandy, M., Rosengren, K., Rosengren, M. 2001. Towards the Elimination of Rockfall Fatalities in Australian Mines (Australian Centre for Geomechanics, Crawley). Tech. Rep.
- Bonneval, H. 1972. Photogrametrie Generale. Eyrolles. Paris, tomo 1, p.2-30
- Otero, I., Ezquerro A., Rodríguez-Solano, R., Martín, L., Bachiller, I. Capítulo 2 de Fotogrametría. Universidad Politécnica de Madrid. <http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/material-de-clase>, p.2-49