

La aplicación del sistema ShapeMetriX3D en túneles y estructuras subterráneas y su uso para la cartografía geológica e ingeniería de rocas

Pötsch, Markus; 3G Software & Measurement GmbH, Graz, Austria
Gamboa Navarro, Christian; Geodata Andina, S.A., Santiago, Chile

Conocer las características geométricas de las superficies que están involucradas en alguna obra de ingeniería, resulta de alta importancia a la hora de proyectar, ejecutar o evaluar una construcción especialmente en el ambiente geológico / geotécnico.

Las zonas débiles en el macizo rocoso como fallas, diaclasa o zonas de alta fracturación siempre han llamado la atención de las personas participadas.

A lo largo de los años se han desarrollado diversas técnicas topográficas e instrumentos, que permiten obtener el levantamiento de terrenos, construcciones o explotaciones, de manera de ubicarlas virtualmente en un sistema de referencia que facilite el desarrollo del proyecto o regularice su distribución. Brújulas, huinchas de medir, taquímetros, estaciones totales o más reciente, scanner láser constituyen a la fecha los instrumentos más utilizados para obtener las formas y dimensiones de superficies o estructuras. El vertiginoso avance tecnológico, principalmente en el área de la informática y la electrónica, ha permitido perfeccionar tradicionales técnicas fotogramétricas de levantamientos

tridimensionales, logrando resultados cada vez más rápidos y seguros.

ShapeMetriX3D es un sistema de levantamiento digital de macizos rocosos basado en la ciencia “visión por ordenador” (Faugeras, 1993), que mediante un par de imágenes digitales estereoscópicas permite obtener un modelo tridimensional interactivo que se llama “imagen 3D”. Ha sido desarrollado por la empresa austríaca 3G Software & Measurement. A la fecha esta tecnología ha sido aplicada en diversos proyectos subterráneos e operaciones mineras tanto en Europa como Norte-América, Latinoamérica, Asia y África.

Descripción de ShapeMetriX3D

El sistema ShapeMetriX3D en términos generales, está compuesto por una cámara digital convencional calibrada, un software reconstructor y un software para efectuar las mediciones (Pötsch et al. 2008). El sistema además cuenta con un jalón de referencia que permite escalar los modelos obtenidos.

La adquisición de las imágenes en terreno no requiere de conocimientos específicos y se

realiza por medio de la cámara SLR calibrada. La posición desde donde se realizan las fotografías es libre, no requieren de georeferenciación y solo se debe considerar que la separación entre ambas fotos sea de 1/5 a 1/8 de la distancia que separa al observador del objetivo.

Este sistema puede ser aplicado desde distancias de un metro hasta varias centenas de metros dependiendo de la distancia focal de lente que se utilice. En rigor el sistema está limitado a la cantidad de superficie que se registre en la fotografía. En un ambiente subterráneo se usa la cámara a partir de un trípode evitando que las fotos resulten borrosas. Para obtener un resultado óptimo hay que colocar una iluminación artificial como luz proyectante o luz móvil de LED.

Una vez obtenidas las fotografías en terreno, estas deben ser procesadas en el software SMX Reconstructor de manera obtener una imagen tridimensional real, compuesta por la textura fotográfica combinada con la información tridimensional de la superficie de la imagen (Figura 1).

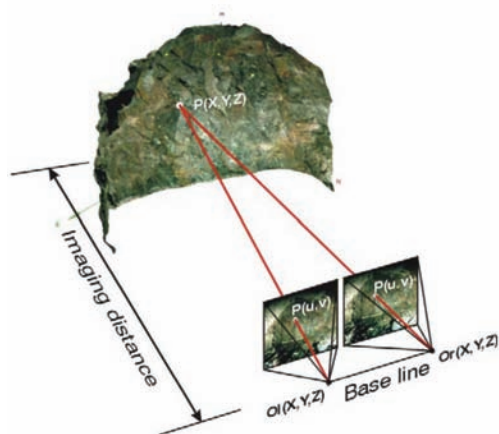


Figura 1. El diagrama nos muestra la composición de una imagen tridimensional generada a partir de un par de fotografías estereoscópicas. La reconstrucción se efectúa automáticamente una vez están definidas las fotos, la cámara usada y la referencia.

La fotogrametría tradicional, precisa de puntos de referencia para la reconstrucción del modelo tridimensional, sin embargo, para obtener estos modelos tridimensionales reales no son necesarios, solo son utilizados para

relacionarlo con un sistema de coordenadas externas arbitrarias.

Cuando la imagen tridimensional está lista, es posible extraer información geométrica desde ella. Para eso se debe utilizar el software JMX Analyst, el cual permite evaluar las características métricas de la imagen, tales como: distancias, posiciones, áreas, y especialmente para la evaluación geológica la orientación de discontinuidades, espaciamiento, persistencia, entre otras características.

También es posible exportar el modelo tridimensional a otro tipo de software bajo el formato DXF, ASCII, CSV, VRML o JPG.

La gran ventaja de este sistema, es sin duda, la medición libre de contacto con la roca o la superficie de interés permitiendo trabajar en áreas seguras.

Imagen tridimensional

Una imagen tridimensional está compuesta por un modelo tridimensional y la textura de la superficie de interés. Las características geométricas de la imagen pueden ser mostradas y evaluadas en la pantalla.

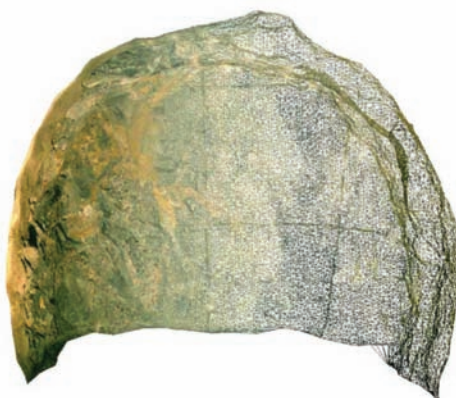


Figura 2. Una imagen tridimensional de un frente de túnel. La imagen combina información topográfica con una imagen de alta resolución (35 Megapíxeles). Esta imagen que tiene 5 metros de altura por 6.5 metros de longitud posee una cantidad de 380.000 puntos de medición lo que nos permite una resolución de 1.3 cm por punto.

La figura 2 muestra una imagen tridimensional de un frente en un túnel de

acceso a un vertedero subterráneo de residuos nucleares. Gracias a que el modelo está a escala y que es interactivo, es posible realizar todo tipo de evaluación geométrica de forma o textura en lugares inaccesibles y a un número arbitrario.

Obtención de una imagen tridimensional

Una fotografía convencional de un macizo rocoso o de una superficie en general, solo nos permitiría, eventualmente, obtener información en dos dimensiones. En el caso que pudiésemos obtener una segunda fotografía del mismo macizo desde otro ángulo, entonces tendríamos la posibilidad de obtener información tridimensional del objeto. Las dos imágenes también son conocidas como par estereográfico (Figura 3).

La visión por ordenador es una extensión reciente de la fotogrametría clásica (Faugeras, 1993). Ha sido introducida desde 1990 junto con la mejora de las imágenes digitales. La visión por ordenador también ha permitido la incorporación de cámaras digitales convencionales para propósitos de medición. Esta técnica trae nuevas formulaciones matemáticas y algoritmos para la obtención de la información tridimensional de un par de imágenes estereoscópicas.

Los ventajas de usar los principios de visión por computador pueden ser resumidas:

- No hace falta determinar la posición y orientación de la cámara. Fotos pueden ser sacadas libremente.

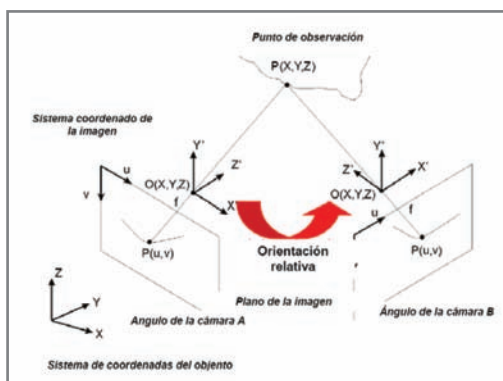


Figura 3. Esta figura esquematiza la situación geométrica de la obtención de la información tridimensional a partir de un par de fotografías estereográficas (Gaich et al., 2003).

- Se puede usar lentes zoom y cámaras pre-calibradas.
- Es posible generar una imagen 3D solo de dos imágenes digitales sin saber nada de coordenadas ni tamaño.

Entre otras cosas ha mostrado que la orientación relativa exterior de dos imágenes puede ser recuperada solo por el uso de la información de estas.

Lo que permite que las imágenes pueden ser tomadas desde posiciones libres, flexibilizando las aplicaciones.

Procedimiento con ShapeMetriX3D

1. Establecer un sistema de referencia para la fotografía, pueden ser puntos georeferenciados o bien un jalón vertical con dos señales visibles en la fotografía de los que se sabe la distancia (Figura 4). La segunda opción es muy útil en el ambiente subterráneo.

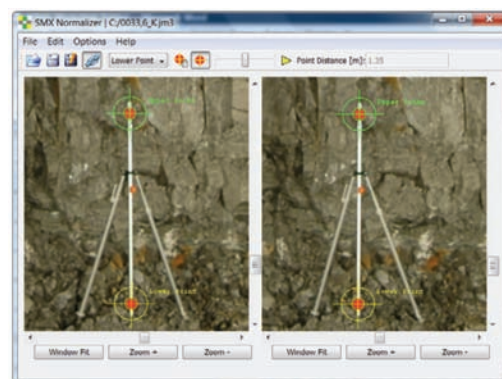


Fig. 4. Jalón vertical sirviendo como referencia local en el levantamiento geológico. El jalón lleva dos señales a una distancia conocida. Se lo coloca directamente delante del frente o en una posición conveniente de donde aparezca en ambas imágenes.

2. Buscar dos lugares para tomar el par de fotografías estereoscópicas, considerando que la separación entre ambas posiciones sea de 1/5 a 1/8 de la distancia que separa al observador y el macizo rocoso (Figura 1).
3. Sacar las fotografías

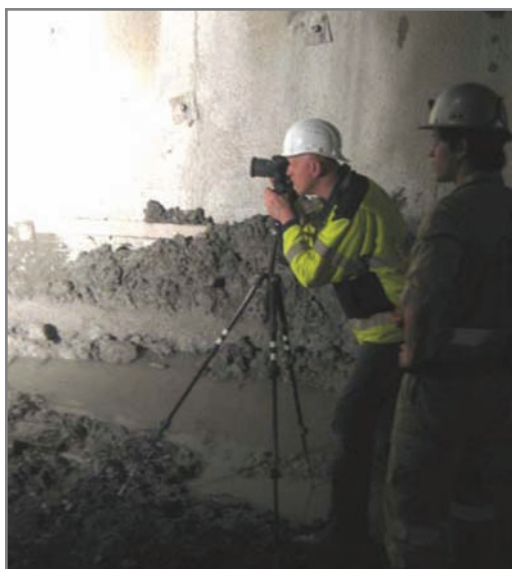


Figura 5. Sacando fotos con calibrada cámara a partir de un trípode en un ambiente de construcción de túnel.

4. Generar la imagen tridimensional por medio del software SMX Reconstructor, preparado para este trabajo.
5. Referenciar la imagen por medio de los puntos georeferenciados o el jalón vertical de referencia (Figura 4).
6. Medir directamente en la imagen por medio del software JMX Analyst, que nos permitirá navegar a través de ésta.

Características geométricas

Una imagen tridimensional representa indirectamente la geometría del modelo físico de la superficie de la roca, por lo tanto es posible obtener muchas características de ella. Por otra parte la imagen tridimensional en si representa una excelente documentación del estado actual de las condiciones de la masa de roca.

Para navegar a través de la imagen tridimensional se utiliza el software JMX Analyst. Permitiendo al observador mover, acercar o alejar la imagen, mediante el ratón. Gracias a una serie de herramientas con que cuenta el programa podemos medir la distancia entre dos puntos, ya sea euclidiana, a través de la superficie y en cada uno de los planos cartesianos. También es posible determinar la posición relativa de un punto o un objeto de la imagen.

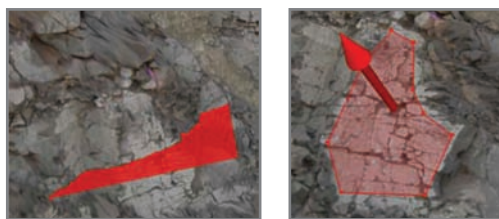


Figura 6. Medición de buzamiento y dirección de buzamiento de juntas y fallas de áreas y trazos directamente en la imagen 3D con el software JMX Analyst.

Otra herramienta disponible es aquella que permite al usuario determinar la orientación de una región en la imagen, es decir, vasta delimitar una superficie y el software nos entregará el vector normal representativo de esa superficie, en consecuencia también podremos obtener el buzamiento y la dirección del buzamiento de la cara demarcada en la imagen tridimensional (Figura 6).

La superficie demarcada es cuantificada en la unidad que se establezca. Es posible demarcar y agrupar áreas que posean características similares ya sean de textura o geométricas.

El software posee otras herramientas claramente orientadas al análisis geotécnico; tales como fallas, estructuras, orientaciones, espaciamentos y otras herramientas gráficas como diagramas de espaciamiento y proyecciones estereográficas.

En resumen los parámetros geotécnicos posibles de obtener son:

- Posiciones (X,Y,Z) [m]
- Distancias, superficies [m]
- Área [m²]
- Orientaciones de las caras [°/°]
- Orientaciones de los trazos [°/°]
- Puentes de roca
- Agrupación de estructuras – manual, automático
- Diagramas de espaciamiento y estereogramas
- Isolíneas de nivel
- Archivos exportables a CAD, MS Excel, JPG,VRML,CSV, y otros.

El software soporta el dibujo manual con el ratón directamente en la imagen 3D y, con innovación reciente, la delineación automática de áreas planas que pueden ser relacionadas a discontinuidades.

Aplicaciones con sistema ShapeMetriX3D

A continuación son algunas aplicaciones del sistema:

Estas evaluaciones soportan significativamente la caracterización del macizo para calificar las condiciones de excavaciones subterráneas.

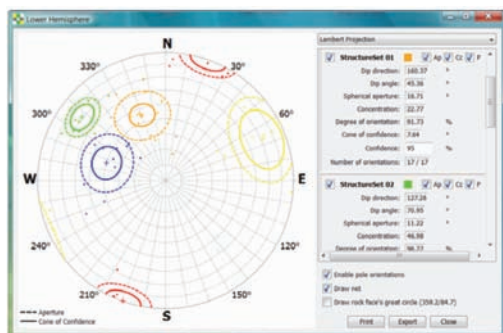


Figura 7. Estereograma de los polos de orientaciones de las discontinuidades junto con los datos estadísticos de los grupos. Todos los datos se puede agrupar en grupos por mano o automáticamente.

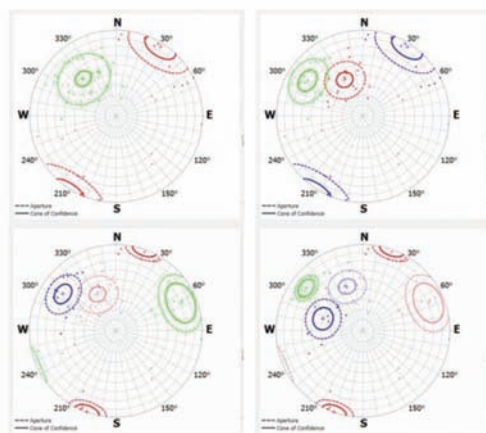


Figura 8. Grupos de discontinuidades automáticamente determinados con el software JMX Analyst.

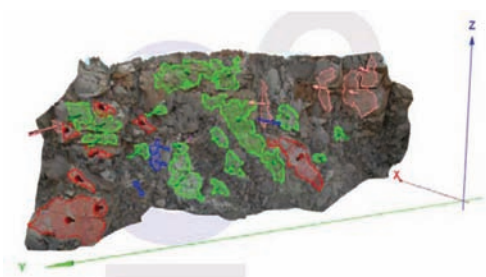


Figura 9. Identificación automática de áreas planares de una imagen 3D de un frente, relacionadas a discontinuidades, y grupadas entre grupos distintos en menos de 5 minutos.

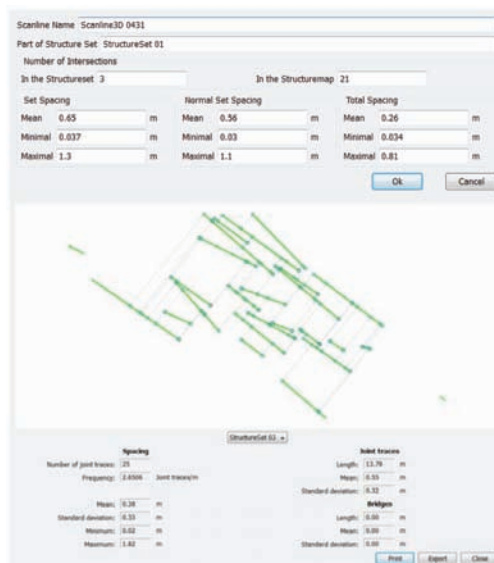


Figura 10. Dibujo de trazos para calcular el espaciamiento de un grupo de discontinuidades y cálculo de espaciamiento de tramos.

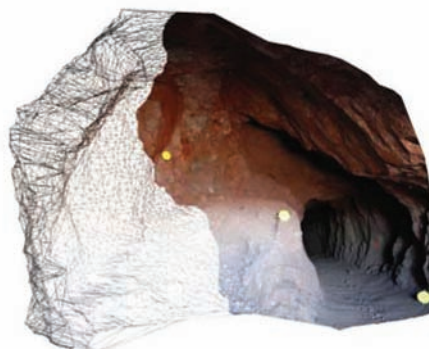


Figura 11. Levantamiento digital tridimensional de socavones Cerro Negro; Chañaral, Chile. Mina de Cobre.



Figura 12. Documentación de frentes durante la excavación de un túnel.

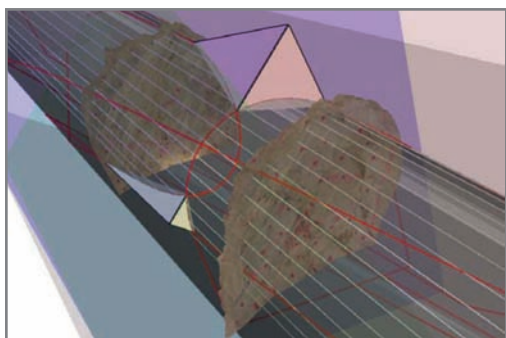


Figura 13. Determinación de bloques inestables usando datos obtenidos por imágenes 3D de una documentación continua de túnel.



Figura 14. Imagen 3D de un túnel junto con las paredes laterales. La imagen 3D consiste en 4 modelos individuales que fueron fundidos en una imagen 3D. Las imágenes 3D fueron sacadas desde posiciones diferentes mirando hacia el frente, las paredes laterales y el techo.

Conclusiones

Una de las mayores ventajas de ShapeMetriX3D es la medición libre de contacto de parámetros geométricos de macizos rocosos en lugares inaccesibles. Esta característica principal permite aumentar sustancialmente los rendimientos y la seguridad. La imagen 3D representa una documentación permanente de alta calidad mostrando las condiciones en el sitio objetivamente también después de años.

Tanto la adquisición de las imágenes como el proceso de reconstrucción no requieren de habilidades especiales. Una versión demo del software presentado en este artículo está listo para descargar de la página web www.3gsm.at.

En resumen:

- Rápida y fácil adquisición de datos
- Documentación permanente
- Rango de aplicación de uno a varias centenas de metros, dependiendo del tipo de lente que se emplee.
- Software amigable y no requiere de habilidades especiales.
- Formatos exportables a software de diseño y explotación minera.
- Ahorro sustancial de tiempo para mapeos y adquisición de datos de terreno.

Referencias

- Faugeras, O. 1993. *Three-Dimensional Computer Vision*. MIT Press, Boston, MA.
- Gaich, A., Fasching, A., & Schubert, W. 2003. *Improved site investigation. Acquisition of geotechnical rock mass parameters based on 3D computer vision*. In Beer (ed.) *Numerical Simulation in Tunnelling: 13-46*, Springer, Wien.
- Gaich, A., Pötsch, M. & Schubert, W. 2006a. *Acquisition and assessment of geometric rock mass features by true 3D images*. In ARMA Golden Rocks 2006, Golden, Colorado, 17-21 June 2006, Paper 06-1051.
- M. Pötsch, A. Gaich, W. Schubert. *3D images in underground excavation and their use for engineering*, *Swedish Rock Mechanics Meeting 2008, Stockholm*, pp. 61 - 83.