FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE DIGITAL CON CÁMARAS NO PROFESIONALES

David Garcia Selles,Técnico de apoyo a la investigación. dgarcia@geo.ub.es
Jaume Calvet Porta, Profesor de Universidad
Georgia Castells Solé, Estudiante de Geologia
Dept. Geodinàmica i Geofísica. Facultad de Geologia. U.B.
C/Martí Franques s/n
08028 Barcelona

Palabras clave: Photogrammetry, 3D, cartography

Resumen:

La fotogrametría es una técnica que nos permite cartografiar elementos de la realidad en 3D, procesando imágenes fotográficas. En el texto se explica como hemos aprovechado las mejoras que ofrece la tecnología digital para aumentar las prestaciones de la fotogrametría.

Actualmente el desarrollo de la informática, tanto en hardware como en software, ha permitido que la fotogrametría esté al alcance de empresas y centros de investigación que anteriormente no podían ni siquiera plantearse abordar este tipo de trabajos, que solo eran realizables por grandes empresas o institutos.
En este trabajo presentamos una metodología de trabajo que permite utilizar cámaras fotográficas digitales no fotogramétricas

La fotogrametría digital trabaja con fotografias en formato digital, ya sean tomadas directamente en este formato o a partir de la escanerización de fotografias analógicas. Las cámaras que habitualmente se utilizan para realizar trabajos fotogramétricos se denominan cámaras fotogramétricas, es decir, calibradas en laboratorio para conocer con exactitud el grado de distorsión de la lente, la distancia focal y la intersección del eje óptico con el plano del CCD (punto principal), amen de estar diseñadas para reducir la deformación de la geometría establecida por el sistema objeto-cámara-imagen. En nuestro caso, calibramos la cámara *in situ* y en las mismas condiciones de la toma de las imágenes a tratar.

Los procesos de fotogrametría se realizan con el software fotogramétrico Erdas Orthobase Pro 8.6 que permite calcular las orientaciones de la cámara, efectuar la triangulación fotogramétrica y la generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) a través de la extracción automática de puntos homólogos en diferentes pares de imágenes. Obtenido el MDT permite generar la ortoimagen y con ella, la digitalización en 3D de los objetos de interés.

La cámara fotográfica digital

La cámara utilizada en esta metodología es una cámara fotográfica digital (Schenk, 2002) convencional de gama alta, marca **Minolta** y modelo **Dimage7**. Consta de un único CCD (dispositivo de tranferencia de carga) marca **Sony,** modelo **ICX282** con un total de 2568x1970 píxeles aunque el támaño de las imágenes sea de 2560x1920. La medida del píxel en el CCD es de 3,4 µm. El CCD posee una matriz de filtro de color tipo GRGB para la generación de los 3 canales RGB que forman una imagen en color.

La distancia focal de la cámara es variable entre 7.2mm – 50.8 mm (equivalente a 28mm – 200mm en formato 35mm) y ésto nos permite utilizar la distancia focal que mejor se adapte a las necesidades de cada trabajo. Durante la toma de imágenes, mantenemos invariable la distancia focal y el enfoque manual, el cual mantenemos en infinito. Esta disposición la mantendremos tanto en las imágenes para procesar por fotogrametría como para las que nos ayudarán a calibrar la cámara.

Una vez finalizada la toma de imágenes, estas serán transferidas al ordenador con la ayuda del software libre Raw Deal. Durante este proceso son interpolados los 3 canales RGB que forman la imagen en color a partir de los datos en bruto de la cámara.

Calibración

La cámara utilizada es un modelo no fotogramétrico. Una de las diferencias más importantes y más básicas entre un cámara fotográfica fotogramétrica y una no fotogramétrica reside en el conocimiento de la distorsión, debida al sistema que crean la lente (conjunto de lentes del objetivo) y el plano focal (CCD) donde se forma la imagen. En nuestro caso, esta tarea la realizamos nosotros tal como se indica a continuación.

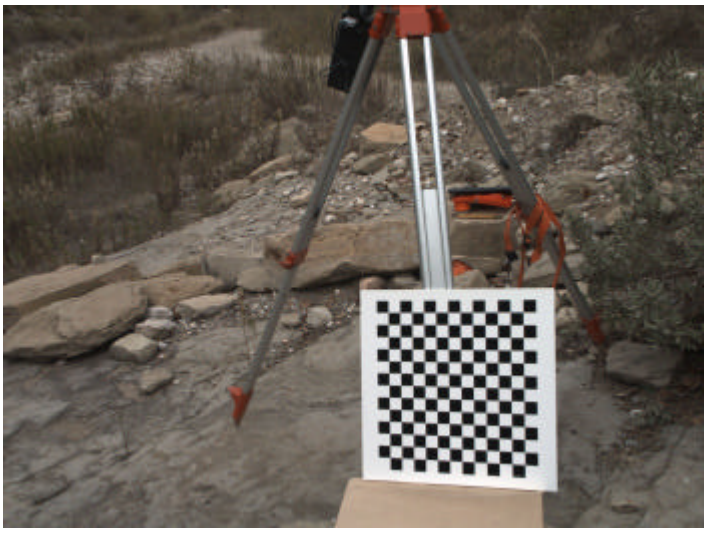


Figura 1: Panel de calibración

En la misma sesión de captura de imágenes en el terreno se toman un número de imágenes de un panel de calibración (Figura 1) desde diversas posiciones (Figura 2). Estas imágenes se toman en el mismo momento y en el mismo lugar a fín de que las condiciones ambientales, sobre todo la temperatura, sean las mismas que las de las imágenes que se utilizaran para la fotogrametría.

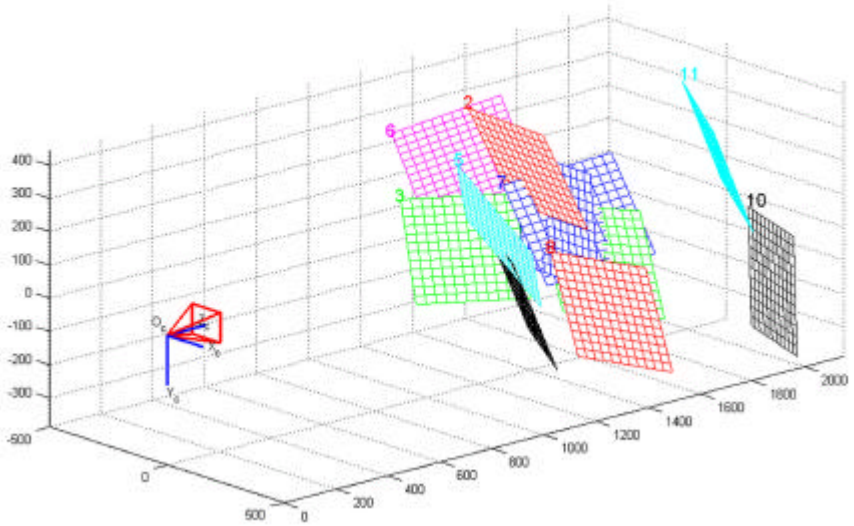


Figura 2: Orientación de los paneles centrado desde el punto de vista de las cámaras

Esto se hace así ya que la rigidez del cuerpo de la cámara es inferior al que presenta una cámara fotogramétrica y por lo tanto sus parámetros métricos pueden experimentar variaciones según las condiciones medioambientales. Utilizando las fotografías del panel de calibración, el módulo libre Camera Calibration Toolbox, del software MathLab, nos permite conocer con exactitud los parámetros de calibración de la cámara (modelo de distorsión radial, modelo de distorsión tangencial, puntos principales y distancia focal).

Para realizar este proceso, hemos de introducir en la aplicación el tamaño de los recuadros del panel de calibración y las coordenadas imagen de las cuatro esquinas del panel para cada fotografía. Conociendo las dimensiones reales del panel de calibración y las dimensiones con que aparecen en las fotografias, la aplicación calcula la geometría que debería tener el panel en cada fotografía y comparándola con la de la imagen obtenida, extrae los parámetros internos de la cámara.

Al variar la distancia focal, se modifica la relación entre la lente y el plano focal de la cámara variando también la distorsión, tal como se puede ver en el gráfico de la distorsión radial (Figura 3) para diferentes valores de distancia focal. Por tanto, es imprescindible que estos dos parámetros de la cámara, distancia focal y enfoque, se mantengan constantes y no se modifiquen durante las dos tandas de fotografias, del terreno y de calibración. También se han incluido, en la figura 3, los modelos de distorsión radial de dos cámaras fotogramétricas, Rollei 35 metric y Hasselblad MK70, para negativos de 35mm y 60mm.

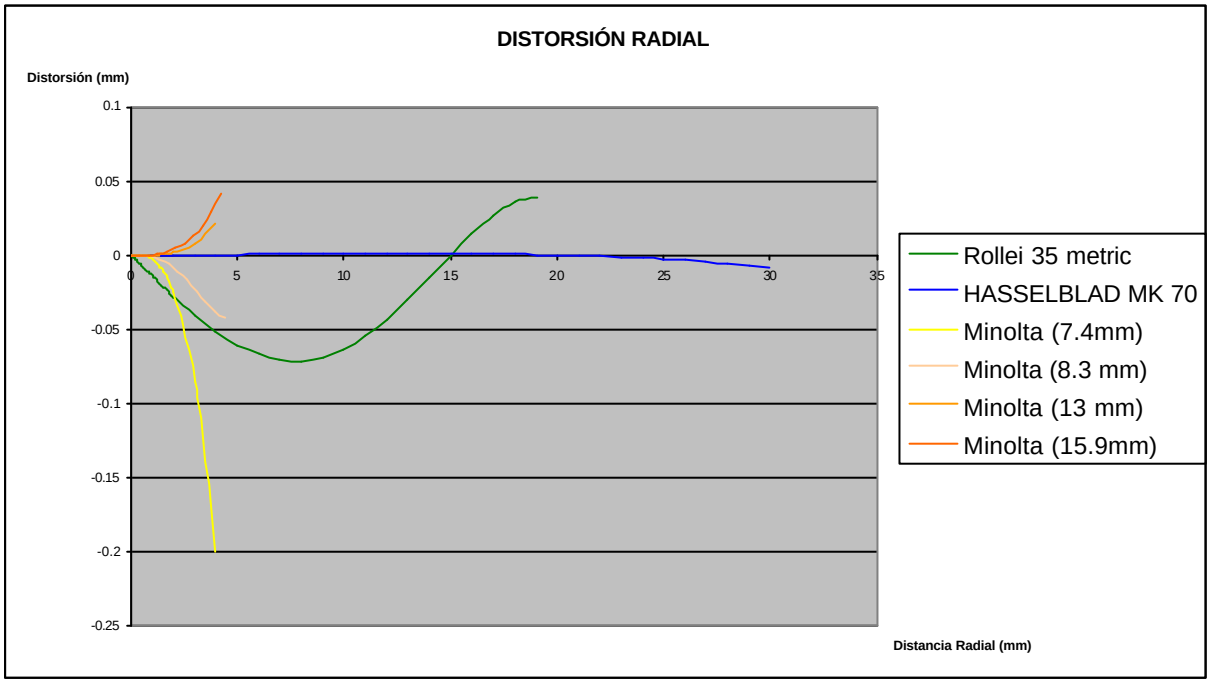


Figura 3: Ejemplos de distorsión radial

La aplicación Camera Calibration ToolBox ofrece como solución las dos componentes de la distorsión, la distorsión radial (Figura 4) y la distorsión tangencial (Figura 5). Para poder corregir sus efectos, la aplicación ofrece la posibilidad de generar una nueva imagen libre de distorsiones o introducir en el software fotogramétrico el modelo de distorsión de forma numérica.

Ajuste fotogramétrico

Una vez conocidos los parámetros internos de la cámara (Wong, 1980), resta por resolver la orientación externa de la cámara, posición y actitud (ángulos de las cámaras). La posición se ha establecido con una estación total y la actitud la conoceremos a través de las ecuaciones de observación en el software fotogramétrico Erdas Orthobase Pro v. 8.6, que realiza el ajuste fotogramétrico. Esto nos permite establecer la relación entre el sistema de referencia del terreno fotografiado y el sistema de referencia de cada una de las fotografias. Esta relación la resolvemos con ayuda de la colocación de puntos de control (GCP) sobre el terreno e imágenes y puntos de atadura (Tie

Points) en las imágenes (Pala, 1999). La posición en las imágenes de los GCP esta tomada con señales de puntería (Figura 6) y medida la posición en el terreno con estación total. En el ejemplo de la Figura 6

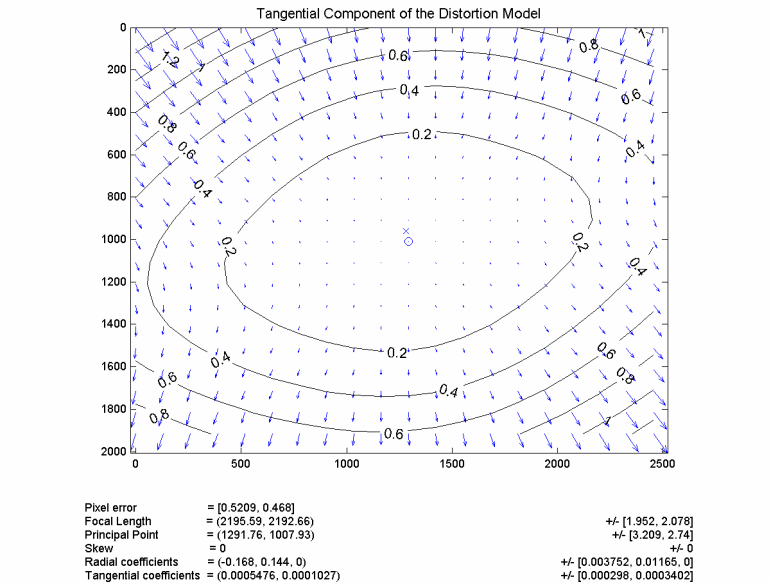


Figura 4: Modelo de distorsión tangencial y parámetros internos

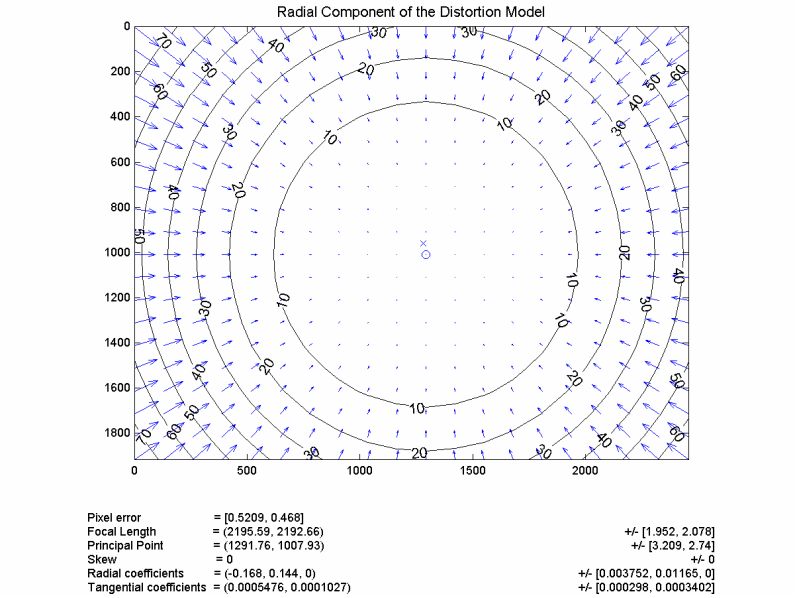


Figura 5: Modelo de distorsión radial y parámetros internos

el tamaño real de la señal de puntería es de 6x6 cm y el tamaño de pixel en la fotografia es de 4 mm de la realidad.

La orientación externa más los parametros internos de la cámara relacionarán los sistemas de referencia del terreno y de las imágenes. Para los puntos sobre el terreno que puedan ser identificados en las imágenes estereoscópicas se podrán calcular sus coordenadas X, Y y Z del terreno una vez introducidos en el ajuste fotogramétrico.

Extracción automática de puntos

Una vez que la aplicación sea capaz de realizar el ajuste fotográmetrico solo nos queda ir introduciendo las coordenadas imagen (x,y) de los puntos homólogos, de al menos 2 fotografias, para que podamos obtener sus coordenadas sobre el terreno (X,Y y Z).

Figura 6: Señales de puntería

El reconocimiento de puntos homólogos en el par estereoscópico lo realiza de manera automática el software fotogramétrico Erdas Orthobase. El usuario puede establecer estrategias de búsqueda de los puntos homólogos en las imágenes. Dicha estrategia consiste en definir el tamaño de la ventana de comparación de píxeles de similar textura, el coeficiente de correlación entre las dos ventanas, el canal de la imagen a utilizar y características del terreno como el tipo de pendiente, la rugosidad, existencia de vegetación y edificios entre otras.

Para que la extracción automática de puntos se realice con éxito, es necesario que las dos imágenes sean suficientemente similares. Si las imágenes no poseen texturas parecidas, no se podrá establecer correlación entre los pares de imágenes, viendose muy afectada la calidad del resultado. Es de tener en cuenta que para distancias relativamente cortas 8, 15, 20 m el paralaje entre pares estereoscópicos puede llegar a ser muy elevado, dificultando la correlación

En la práctica, significa reducir la distancia entre las posiciones de las cámaras (linea de base), aunque el ratio línea de base-distancia al objetivo sea algo reducido y pueda disminuir la exactitud del resultado. Líneas de base de 0.5-0.7 m serán las más apropiadas para distancias entre la cámara y el objetivo entre 8 y 20 m. Este aumento de la inexactitud, totalmente asumible, tiene lugar al aumentar la imprecisión del punto donde se cruzan las dos lineas de visión desde las imágenes hasta el punto definido.

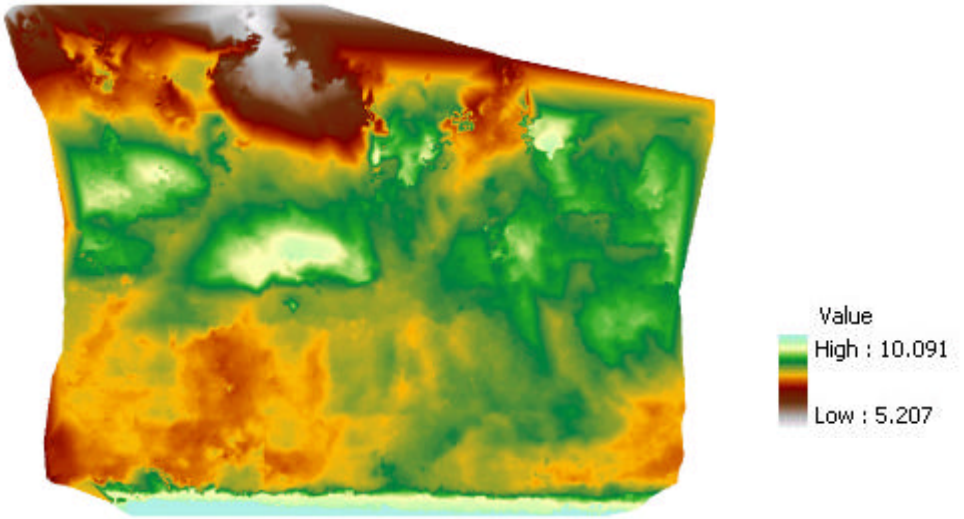


Figura 7: Modelo Digital del Terreno. Valores en metros

Ortorectificación

Cuando la extracción automática de puntos se haya realizado con éxito, el número de puntos homólogos en el terreno ha de ser suficientemente elevado y con una buena distribución como para representar la superficie del terreno, si esto es así, obtendremos un MDT. Si la calidad del MDT es satisfactoria, podemos proceder a la rectificación de la imagen.

Para ello será necesario volver a realizar el ajuste fotogramétrico, y corregir las distorsiones que se encuentran en la imagen debidas a los efectos del relieve.

El utilizar las mismas imágenes para resolver el ajuste fotogramétrico, para generar el MDT y para rectificar las imágenes ayuda a que el resultado final sea de una gran robustez.

La ortorectificación de las imágenes se desarrolla con el software fotogramétrico Erdas Orthobase Pro v. 8.6.

Figura 8: Ortoimagen

Digitalización en pantalla

Finalizada la etapa fotogramétrica, obtenemos una ortoimagen y un MDT. Con estos formatos de la información estaremos en disposición de extraer las coordenadas de los elementos que nos interese en 3D.

Para completar esta etapa, se han de reconocer en la imagen todos aquellos elementos que nos sean de interés. Como elementos de interés geológico podemos catalogar contactos de materiales, límites de capa, fracturas, pliegues, buzamientos de capas, etc…Estos objetos, a la hora de digitalizarlos se representan por puntos lineas y polígonos.

Para poder digitalizar en pantalla hay varios métodos:

El primer método es reseguir los objetos de la ortoimagen que nos interesen y dibujarlos en 2D como se hace con cualquier otro tipo de imagen, con esto habremos obtenido las coordenadas X e Y. La tercera dimensión, la Z, la obtendremos del MDT. Como ayuda se pueden imprimir las imágenes originales y ayudarnos para apreciar la profundidad de campo con un estereoscópio.

Un segundo método es disponer de un software fotogramétrico de visión estereoscópica con ayuda de unas gafas especiales u otro mecanismo de visión en 3D e ir cartografiando directamente en 3D los elementos de interés.

El tercer método es disponer de un software CAD y crear una malla a partir del MDT texturizando dicha malla con la ortoimagen. Dispondremos de la imagen en relieve sobre la pantalla, al ir reconociendo los

elementos en la pantalla iremos cartografiando sobre los nodos que forman la malla. La ventaja de este método consiste en ir observando desde diferentes perspectivas, potenciando la visión del conjunto en 3D.

Ejemplo de estudio de estructuras geológicas

A modo de ejemplo mostramos los diferentes resultados obtenidos en la adquisición y tratamiento y análisis de un afloramiento geológico situado en las inmediaciones de Sant Felíu del Racó, Barcelona.

Se realizaron 10 fotografias cuyos pares estereográficos distanciaban 0.50 cm y se colocaron 64 Puntos de control, medidos con estación total.

Figura 9: Disposición de las cámaras y puntos de control

Realizado el ajuste fotogramétrico, la solución presentaba los siguientes resultados

Distancia media al objetivo……...10 m
Distancia focal……..10.83 mm
Resolución del MDT.……1.2 cm
Resolución de la imagen…….…… 0.4 cm
Desviación standard del error al 95% para X,Y…… 4 cm
Desviación standard del error al 95% para coordenada Z……....7 cm
Longitud del afloramiento……..30 m
Altura del afloramiento……..7 m
Escala de impresión…… ……1:250

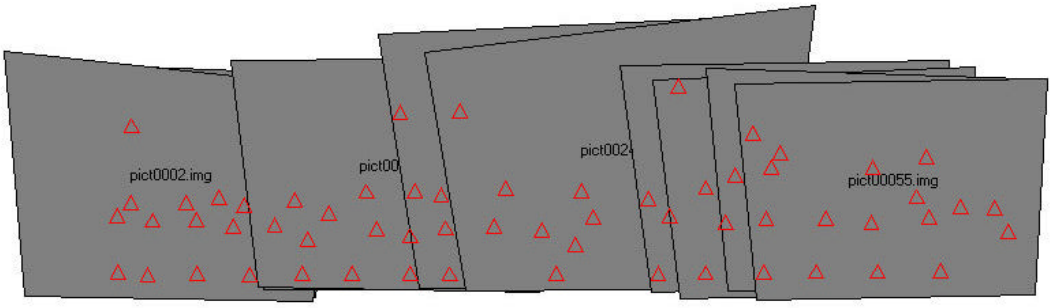


Figura 10: Gráfico de la orientación de las imágenes y posición de los puntos de control

Una vez obtenido el MDT y la ortoimagen, el siguiente paso es la digitalización por pantalla de los elementos más interesantes.

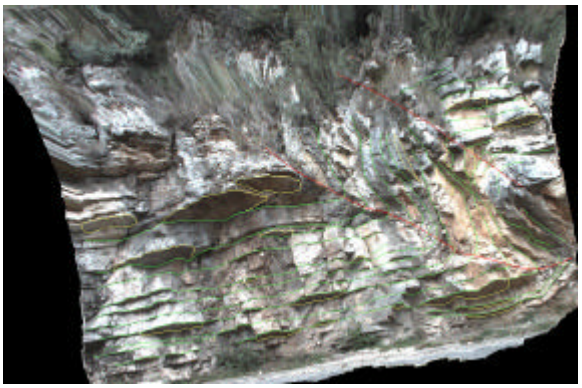
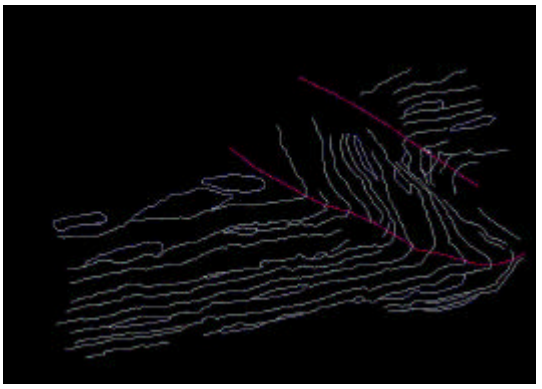


Figura 11: Ortoimagen más elementos



Figuta 12: Elementos cartografiados

En la imagen se pueden apreciar los límites de capa, pintados en color verde; algunas superficies donde es posible calcular el buzamiento de las capas, y en rojo la línea del eje del pliegue. Todos estos elementos estan en coordenadas tridimensionales y georeferenciadas.

Conclusiones

El valor de los errores observados en los ejemplos anteriores nos demuestra que para muchos trabajos de cartografiado en que las escalas de trabajo son más que suficientes, el método es totalmente válido. Con un tratamiento relativamente sencillo como es el de calibrar las imágenes y la extracción automática de los puntos disponemos de una gran cantidad de información cartográfica a una calidad muy aceptable. Un aspecto muy importante es el ahorro económico y temporal de los procesos ligados a la fotografía analógica, mejorando la fotografía digital el poder ver en tiempo real el resultado de la fotografía y estar ya disponible la imagen para su tratamiento.
Otro aspecto muy importante es la elección de la mejor distancia focal en la cámara para cada caso, al no estar vinculada la distancia focal a los datos de calibración proporcionados por un laboratorio, como es el caso en las cámaras fotogrametricas. La desventaja en este caso es que la calidad de la calibración no será la misma que en un laboratorio, aunque como se ven en los ejemplos los resultados són aceptables para muchos trabajos.
El disponer de una ortoimagen en color ayuda en la interpretación de las imágenes.

Referencias

[1]. Pala, V. et al., 1999. Fotogrametría terrestre en el Glaciar Johnson, Isla Livingston, Antártida. Acta Geológica Hispánica, V.34. pp 427-445. Barcelona.
[2]. Schenk,T., 2002. Fotogrametría digital, Volumen I, Geomatica.Editorial Marcombo.
[3]. Wong, K.W., 1980. Basic Mathematics of photogrammetry. Manual of Photogrammetry. Falls Church, Virginia. American Society of Photogrammetry. pp. 37-102.

Raw deal freeware: http://members.optusnet.com.au/pszymitzek/Vector/graphics.htm
Camera Calibration toolbox freeware http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/