

# UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS LÁSER ESCÁNER Y DE FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE PARA EL ESTUDIO DE DESPRENDIMIENTOS DE ROCAS. EL CASO DE LA ZONA DE MÁS RIESGO DEL TREN CREMALLERA DE NÚRIA.

Jordi Martínez Morales. SERFOCAR S.C.C.L C/ Saragossa, 95-97 entl 3ª 08006 Barcelona  
EPSEB (UPC) Laboratori de Fotogrametria Av/ Gregoria Marañón, 44-45 08028 Barcelona  
jordim@serfocar.com

**Palabras clave:** Láser Escáner, Fotogrametría Terrestre, Desprendimientos, Vall de Núria.

## Resumen

La utilización del láser escáner ILRIS-3D de la casa OPTECH y técnicas de fotogrametría terrestre, utilizando el software SOCET SET de la casa BAE SYSTEMS, permiten obtener el documento básico para realizar simulaciones con programas de caída de rocas, este documento es un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Como mejor definida esté la superficie de estudio, más fiables serán los resultados obtenidos en las simulaciones. La imposibilidad de obtener un modelo continuo de toda una superficie implica la discretización de parte de la información. Los instrumentos de captura masiva de puntos permiten obtener modelos muy completos. Con las técnicas de fotogrametría terrestre además del MDE, se generan otros documentos útiles para el estudio y control de zonas potencialmente inestables, donde puedan tener lugar desprendimientos.

Debido a las características del terreno y la gran superficie a radiar era necesario la utilización de un instrumental que permitiera trabajar a distancias entre 200 y 900 metros, reduciendo al máximo el tiempo de trabajo de campo. El difícil acceso a la zona donde predominan los escarpes prácticamente verticales y zonas de tarteras limita en cierto modo los trabajos.

## 1. Introducción

En septiembre del 2002 se realizan los primeros contactos con profesores de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona (UB), primero con Jaume Calvet y posteriormente con J.M Vilaplana del departamento de Geodinámica y Geofísica. En estos momentos se estaban realizando una tesis doctoral (“Rendón, A. Evaluación de la peligrosidad y del riesgo geológico en zonas de montaña amenazadas por aludes y desprendimientos. Memoria del Diploma de Estudios Avanzados Programa de Doctorado de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona, 2002”) y una Tesina (“Abellán, A. Utilización y validación de un modelo se simulación en 3D”, presentada el noviembre del 2003). Los dos trabajos están enfocados en el campo de los riesgos geológicos, en concreto en el estudio de los procesos de laderas que tienen lugar a lo largo del recorrido del tren cremallera en Vall de Núria. La finalidad de este proyecto es generar aquellos documentos topográficos, con una aplicación directa en el estudio y/o solución de un problema relacionado con los riesgos geológicos, en este caso con la inestabilidad de taludes (desprendimientos), que tienen lugar en uno de los tramos más conflictivos del recorrido del tren cremallera en el Vall de Núria.

La principal novedad de este proyecto es la utilización de un láser escáner de la casa OPTECH (modelo ILRIS-3D) para la obtención del modelo digital de elevaciones (MDE).



Figura 1: Láser escáner ILRIS-3D

La imposibilidad de obtener un modelo continuo de toda una superficie implica la discretización de parte de la información. Los instrumentos de captura masiva de puntos permite obtener modelos muy completos, independientemente de los criterios del operador.

El láser escáner es un sistema de medida y barrido, el cual no necesita un contacto directo con el modelo. Además de ángulos y distancias el láser escáner también obtiene el valor de reflectancia (factor de reflexión) de la superficie donde incide.

El trabajo en postproceso con el software Polyworks permite sumar modelos (diferentes nubes de puntos), refinamiento y tratamiento de la información espacial, modelado y salida gráfica o información alfanumérica. Como veremos más adelante, esta nueva herramienta de trabajo permite obtener una gran cantidad de información, con una alta precisión relativa, de forma rápida, reduciendo así el trabajo de tiempo en campo. También destacamos los trabajos de fotogrametría terrestre que se han realizado, los cuales podrían considerarse extremos, ya que trabajamos con presas convergentes, picadas (giros superiores a los 20°), sin conocer las coordenadas de los centros de proyección. Se utilizará el software SOCET SET de la casa BAE SYSTEMS.

Los dos métodos propuestos para la obtención del MDE, láser escáner y fotogrametría terrestre, garantizan una mejor definición de la superficie para los estudios en simulaciones. Hasta la fecha, para las simulaciones en caída de rocas, se utilizaba la topografía extraída de la cartografía 1:5000. Las simulaciones hechas con estos datos nos dan una idea general de las principales trayectorias que siguen las rocas durante la caída. Pero cuando se quiere realizar un estudio más detallado en una zona más local, el MDE obtenido con la cartografía 1:5000 puede ser insuficiente para los resultados que se buscan, es necesario trabajar con un MDE más detallado, con más información (siempre habrá una discretización de la superficie real). Dentro del campo de los riesgos geológicos, el poder simular el comportamiento de un desprendimiento, deslizamiento o cualquier otro fenómeno permite evaluar y estudiar medidas protectoras para minimizar sus efectos sobre personas y/o infraestructuras.

Los estudios de simulaciones en caída de rocas permite calibrar unos modelos con los que se podrá predecir el comportamiento en futuros desprendimientos. En estos estudios intervienen diferentes parámetros, algunos de ellos obtenidos en trabajo de campo y otros en laboratorio. Una buena definición de la superficie de donde se realiza la simulación dará unos resultados más fiables, ya que una pequeña variación en la base topográfica puede modificar la trayectoria de la roca durante la caída.

En el caso de la información obtenida con el láser obtenemos una precisión relativa del orden de milímetros, mientras que en fotogrametría terrestre las precisiones son del orden centimétrico.

El 30 de Junio del 2003 se realiza la salida de campo con uno de los técnicos de la empresa METRONIC (Eibar). Hasta ahora las demostraciones que habían hecho se pueden considerar en condiciones más o menos ideales, fácil acceso a la zona de estudio, disponer del tiempo necesario para efectuar los escaneos que permitan cubrir toda la superficie de estudio y una de las más importantes, comprobar in situ si la captura de datos es correcta.

## 2. Localización de la zona de estudio

Al Norte de Catalunya, en la demarcación de Girona, situada al Noroeste de la Comarca del Ripollès, encontramos el termino municipal de Queralbs, al cual pertenece la estación de montaña Vall de Núria y la línea del tren cremallera.

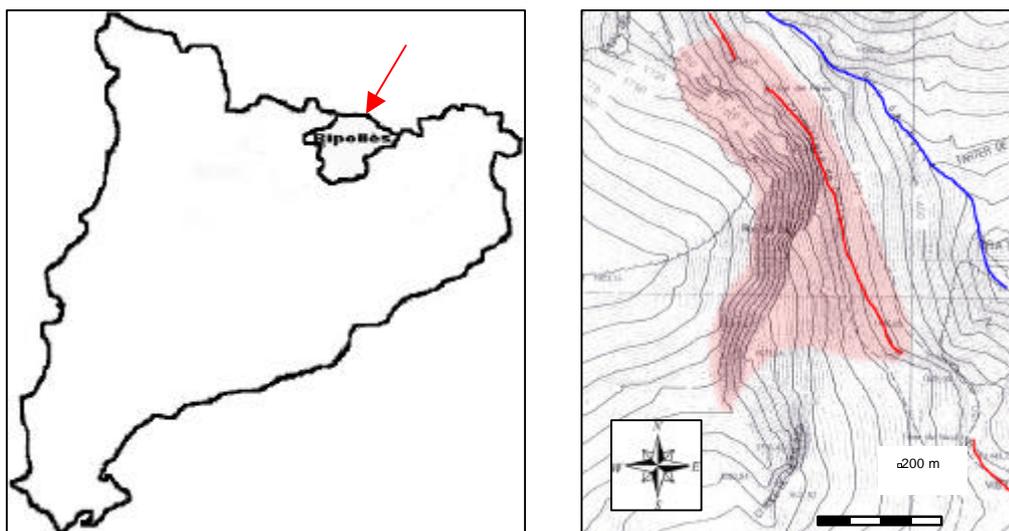


Figura 2: Localización de la zona de estudio.

La estación de Vall de Núria es visitada anualmente por más de doscientas cincuenta mil personas al año, y el único medio de transporte que accede directamente es el tren cremallera (helicóptero para trabajos puntuales). Los trabajos topográficos se concentran en uno de los tramos más conflictivos de todo el recorrido del tren cremallera, al Sur limitada por el túnel de Navarro (pk 8,5) y por el Norte el túnel del Fenech (pk 9,1). El levantamiento abarca aproximadamente una superficie de unos 92.000 m<sup>2</sup> (pared, zona de tartera, tramo del tren cremallera y vertiente hasta el camino que va hacia la estación de Vall de Núria). Esta zona se caracteriza por presentara unas paredes casi verticales, entre 70 y 80 grados.



Figura 3: Desperfectos sobre la vía originados por los desprendimientos del 4 de Abril del 2003.

De todos los desprendimientos que han afectado a la vía del tren cremallera los últimos años, los de mayor volumen y frecuencia se localizan entre los túneles de Navarro y Fenech. Esta zona es la de mayor prioridad en la actuación de la vía del tren cremallera. Todo y las medidas de protección el 4 de Abril del 2003, tuvo lugar un desprendimiento que afecto a la vía del tren cremallera, dejando incomunicadas a más de cien personas durante tres días en la estación de montaña. Este acontecimiento tuvo cierto impacto social y por suerte solo quedo en un susto para las personas que se encontraban en la estación de montaña. Las medidas protectoras (pantallas dinámicas) situadas en el lugar donde se produjo el desprendimiento quedaron destruidas al ser mayor la energía de impacto de las rocas que la energía esperada en la fase de cálculo con las que se diseñaron las pantallas.

## Un desprendimiento de rocas aísla en Núria a 100 escolares

GERARD BAGUÉ, Girona

Un desprendimiento de rocas mantiene cortada desde ayer a primera hora de la mañana la línea ferroviaria del tren cremallera de Núria (Ripollès), la única vía de acceso por tierra a las instalaciones del complejo Vall de Núria. Fuentes de Ferrocarrils de la Generalitat, que gestionan la línea, informaron ayer que la reparación podría prolongarse durante varios días. En el complejo, con un hotel y un albergue

gestionados por la Generalitat, se encuentran alojados un centenar de clientes, la mayoría escolares.

El hotel ha ofrecido a los clientes que tenían previsto abandonar las instalaciones durante estos días la posibilidad de prolongar su estancia o, en algún caso extremo, el desplazamiento en helicóptero. Un total de 20 personas, todas clientes del hotel, optaron ayer por el trayecto en helicóptero. PASA A LA PÁGINA 7

Figura 4: Recorte de periódico donde se muestra la repercusión social que tuvo el desprendimiento. [1]

### 3. Trabajos con el láser escáner

La utilización del equipo láser escáner ILRIS-3D, de la casa OPTECH, permite trabajar de una manera rápida y precisa (precisión relativa) en la captura masiva de puntos. La novedad del equipo, durante la elaboración del proyecto, hizo que no se pudieran aprovechar todas las posibilidades de las cuales dispone.

El láser escáner ILRIS-3D, es un equipo portátil, con un peso aproximado de unos 10 kilos (láser escáner, trípode y baterías). Con una PDA nos podemos conectar al equipo y configurar el archivo donde se definen las características del escaneo que se quiere realizar. El láser escáner presenta un pantalla LCD donde se puede visualizar la superficie a escanear. Aproximadamente el equipo puede capturar unos 2000 puntos por segundo. El tipo de láser utilizado es de la clase I, infrarrojo no visible, esto garantiza la seguridad del operador y de las personas que se encuentren por la zona. La precisión para distancias de 100 metros es de 3 milímetros y presenta una distancia máxima de radiación de 1500 metros (datos facilitados por el fabricante).

Los archivos generados presentan una estructura: X, Y, Z , y el valor de reflectancia de la superficie donde el rayo incide.

El 30 de Junio del 2003 se realiza la salida a campo con uno de los técnicos de la empresa METRONIC (Eibar). Hasta ahora las colaboraciones que han realizado son en condiciones más o menos ideales, fácil acceso a la zona, disponer del tiempo necesario para realizar todos los escaneos desde diferentes estaciones. En este proyecto el trabajo de campo presentaba unas limitaciones; de tiempo, ya que solo se disponía de una jornada de trabajo; zonas de difícil acceso y la distancia entre bases, cargando con todo el equipo (trípode, láser escáner, baterías, cámaras...).

Para cubrir el levantamiento de toda la zona se realizan un mínimo de tres estacionamientos. En la Figura 5 se observan las zonas cubiertas desde cada una de las estaciones.

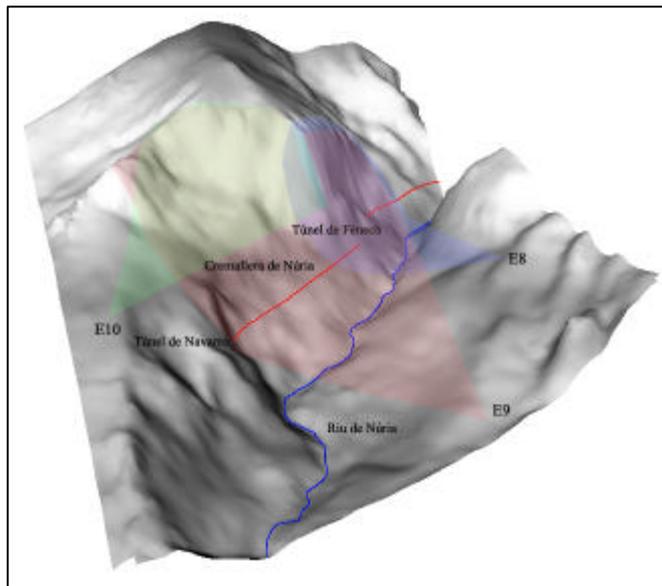


Figura 5: Representación 3D, donde se aprecia la zona cubierta desde cada una de las estaciones.

La utilización del láser escáner es muy sencilla, similar a trabajar con una estación total, con la diferencia de que el barrido es automático con un mismo ancho de malla. Una vez estacionados (no es necesario nivelar ni orientar) y conectado el equipo, vemos en la pantalla del láser escáner toda la superficie que se puede radiar desde la posición. Podemos hacer un zoom sobre una zona en concreto. Inicialmente se hace una primera lectura sobre la superficie a radiar, aparece en pantalla la distancia máxima y mínima a la cual nos encontramos de la superficie.



Figura 6: Imagen del láser escáner, con la PDA, que permite conectar con el equipo y modificar los parámetros.

Seguidamente aparece un menú donde se escoge entre diferentes anchos de malla; al lado de cada espaciado se indica el tiempo aproximado que tardará en escanear toda la superficie previamente definida. En cada uno de los estacionamientos con el láser escáner, las coordenadas origen son 0,0,0. Si no se utiliza plataforma niveladora el eje Z no se encuentra en posición vertical. Para poder fusionar, posteriormente, diferentes nubes de puntos, es necesario que estas presenten zonas comunes.

En la Figura 7 se presenta como ejemplo los escaneos realizados desde la estación E8.

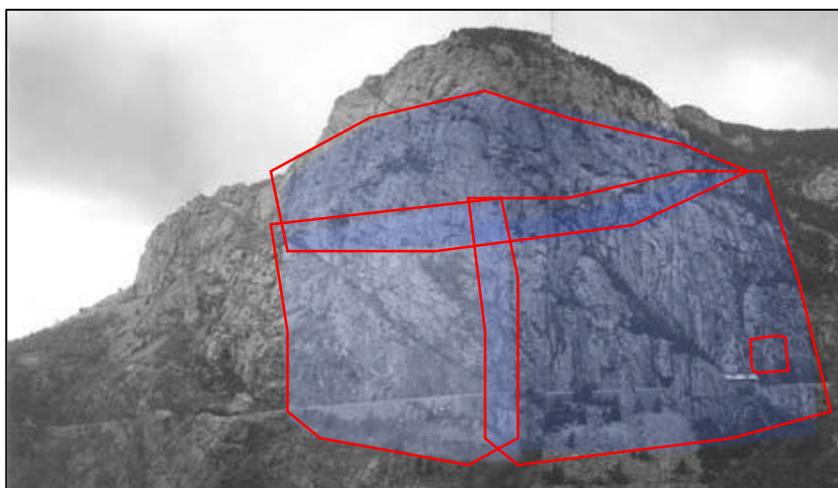


Figura 7.

En la siguiente tabla 1 se presenta los resultados obtenidos de todos los escaneos realizados desde las diferentes estaciones para cubrir toda la superficie de la pared.

Estación	Ancho de malla (m)	Tiempo (min)	nº de puntos	Dist. Mín. (m)	Dist. Máx. (m)
E8 --Z.Izq.	0.15	15			
E8 --Z.Der.	0.13	05			
E8 - Z.Sup.	0.20	15			
E8 - Detalle	0.06	1	2.315.408	200	450
E9 - Z.Izq.	0.20	15			
<b>E9 - Z.Der.</b>	<b>0.20</b>	<b>15</b>	506.137	200	870
E10 - Z.Sup.	0.10	15			
<b>E10 - Z.Inf.</b>	<b>0.12</b>	<b>7</b>	871.005	180	450

Tabla 1.

Los datos que aparecen en rojo corresponden a aquellos escaneos defectuosos. Para comprobar que el escaneo se realizaba de forma correcta se miraba como se iba reduciendo el espacio en la tarjeta de memoria. Esta

comprobación no es suficiente, ya que en los escaneos defectuosos se producía una disminución en el espacio, pero no se pudo comprobar en campo si los datos eran correctos. Los escaneos defectuosos presentaban unos archivos ASCII donde todos los puntos tenían coordenadas 0,0,0. Por este motivo creemos que es indispensable llevar a campo un ordenador portátil para comprobar in situ si los datos capturados son correctos. Estos escaneos defectuosos eran muy importante ya que en ellos se encontraban las zonas comunes para enlazarlos en la fase de post proceso.

La distancia máxima de radiación se comprueba desde la estación E9. A partir de los 870 metros la señal no presenta retorno. La distancia máxima de radiación va directamente ligada con el valor de reflectancia de la superficie y el ángulo de incidencia.

Para georreferenciar las tres nubes de puntos al sistema local implantado en la zona (Figura 8), se identifican puntos de control. Estos puntos de control se sitúan en los extremos de la nube de puntos. Sería muy correcto utilizar puntos que aparezcan en varias nubes, en este caso no fue posible ya que la zona común no existe o es mínima.

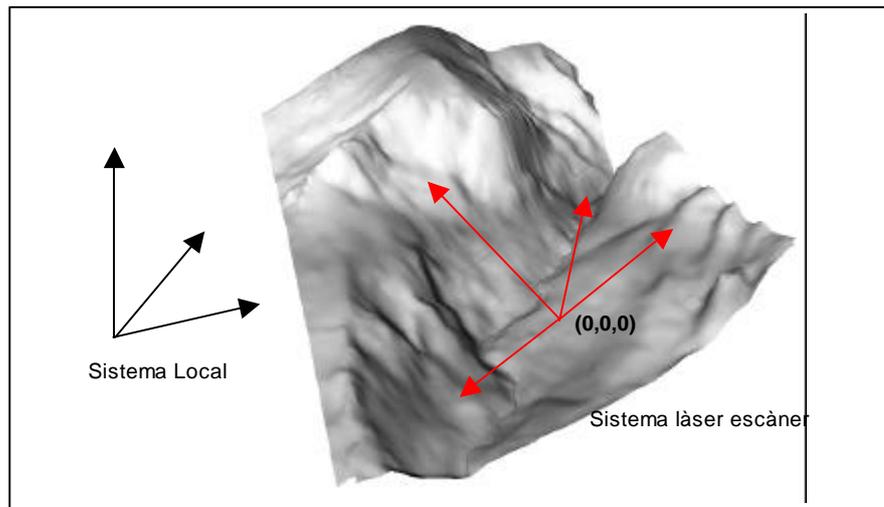


Figura 8.

A continuación se presenta uno de los puntos de control identificado en campo y en la nube de puntos.

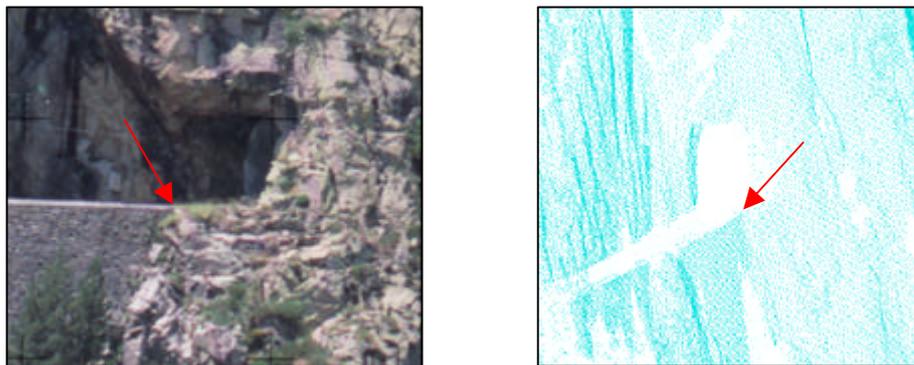


Figura 9.

Para realizar la transformación se utiliza el software Autocad 2000, con la orden *align*. Primero volcamos la nube de puntos (fichero ASCII), identificamos tres puntos en el sistema original y posteriormente introducimos las coordenadas de los mismos puntos en el sistema local implantado.

En la Figura 10 se observa una imagen extraída de la nube de puntos obtenidos con el láser escáner. Al fondo se puede apreciar la entrada al túnel del Fenech.

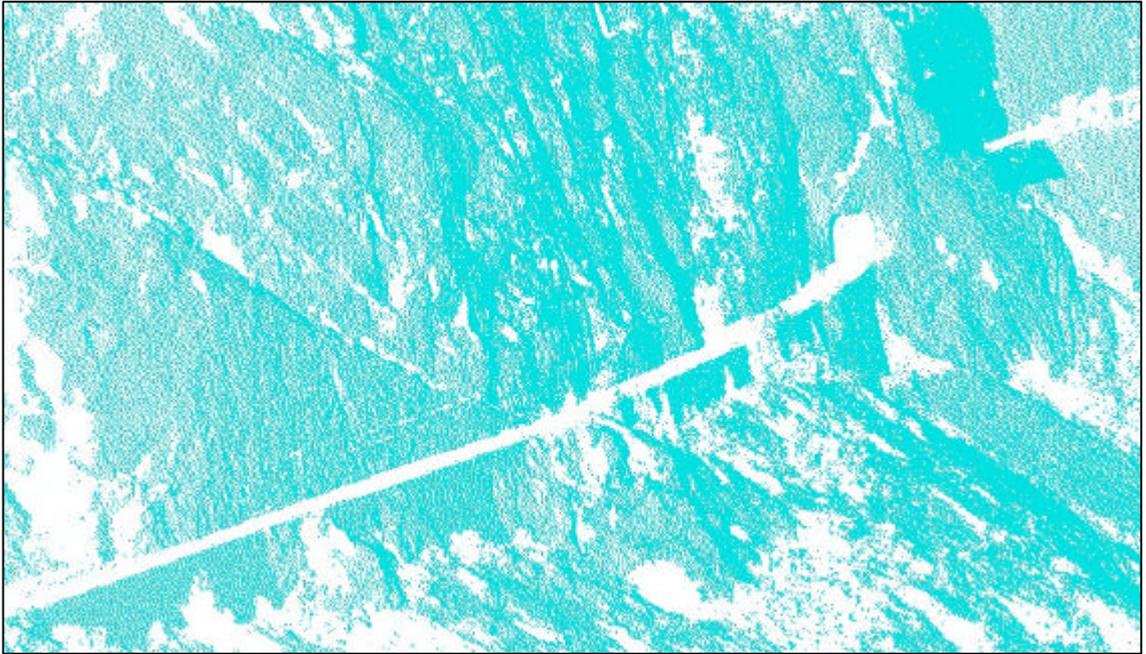


Figura 10.

#### 4. Trabajos de fotogrametría terrestre

La toma fotográfica se realiza con una cámara semimétrica Rollei, es una cámara de formato medio para aplicaciones fotogramétricas. El formato de las diapositivas es de 6 x 6 cm. Y presenta un retículo de calibración de 11 x 11, con una malla de 5 mm.

Se utiliza un objetivo con una distancia focal de 80.150 mm. Los trabajos fotogramétricos se pueden dividir en dos partes:

- Obtención de un modelo para poder generar el MDE y otros productos, con la estación fotogramétrica digital.
- Aprovechar el MDE obtenido con el láser escáner y ortoproyectar las imágenes de la zona del túnel del Fenech, hechas con la cámara métrica.

Las primeras fotografías se hacen, aproximadamente desde la zona donde se estacionó con el láser escáner en E10. El modelo que conseguimos desde esta posición nos permite generar el MDE de la zona donde el láser escáner falló. Se realizan un total de 8 fotografías.

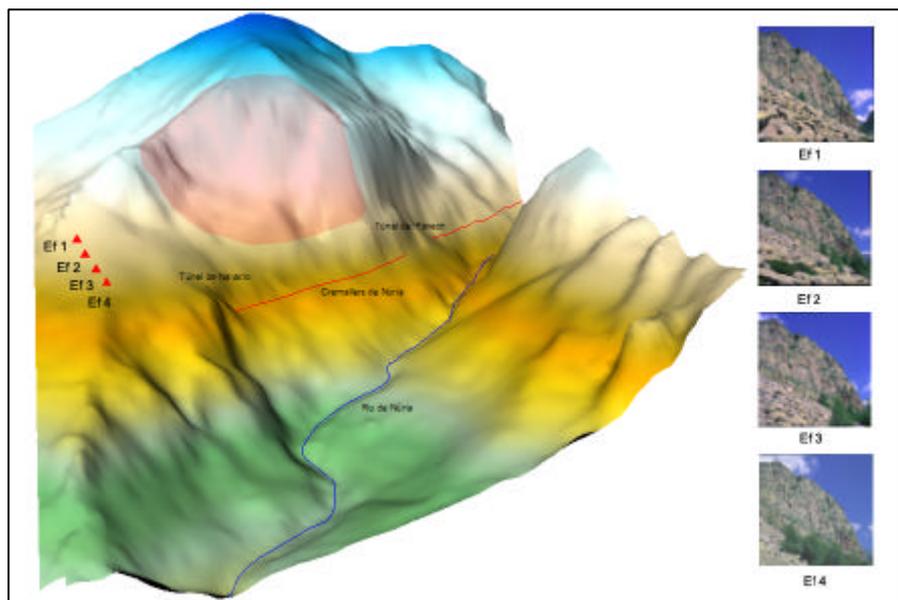


Figura 11: Localización de las bases desde donde se realizan las fotografías.

La toma fotográfica dista mucho del caso ideal en fotogrametría terrestre. Se Fotografía una superficie no plana, presenta diferentes orientaciones y profundidades. La distancia media a la pared es de unos 300 metros. La base entre tomas es relativamente corta, entre 15 y 20 metros. Las diferentes tomas no se realizan al mismo nivel, de la primera toma a la última hay un desnivel de 10 metros. Como se puede apreciar en la figura 11, el recubrimiento es muy elevado (85%-90%). Todas las fotografías son convergentes y picadas hacia arriba. Las características de la zona y el material del que se disponía han condicionado la toma fotográfica.

Inicialmente los trabajos de orientación se realizaron con el modulo de SOCET SET, MST (Mult-Sensor-Triangulacion). Debido a las características del modelo resulta imposible la orientación sin introducir unos parámetros de orientación externa aproximados. Para obtener estos parámetros se utiliza un restituidor analítico universal Zeiss P-3. Posteriormente se depurará la orientación con el software ORIMA. Los parámetros de orientación externa obtenidos con el P-3 son los siguientes.

INCLINATIONS	LEFT PHOTO	RIGHT PHOTO
OMEGA [grd]	372.35900	372.75967
PHI [grd]	7.43790	6.66169
KAPPA [grd]	2.50412	397.30721
ROTATION SEQUENCE	OME, PHI, KAP (Rotated Axes)	

Figura 12: Parámetros de orientación exterior obtenidos con P-3.

Como se puede observar el giro Omega es muy elevado ( $27^{\text{g}}$  –  $28^{\text{g}}$ ). La orientación de este modelo presentaba otro problema, ya que en tres de las zonas de Von Grüber no podemos dar ningún punto para la orientación (Figura 13).

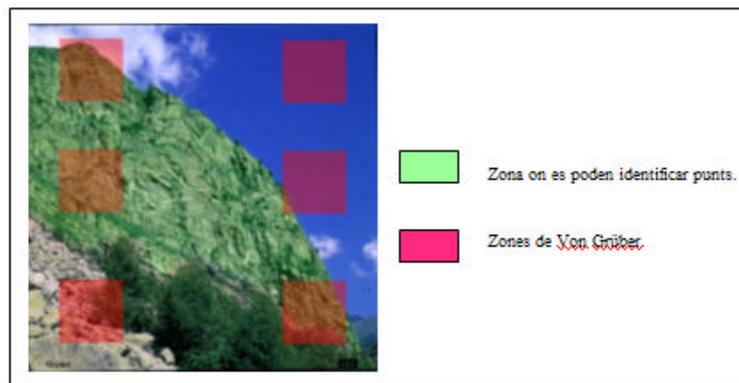


Figura 13.

Para continuar depurando la orientación exterior se trabaja con ORIMA (Orientation Management), un módulo de SOCET SET. Los patrones de búsqueda de puntos homólogos están pensados para identificar puntos en todo el modelo, concentrando los puntos en las zonas de Von Grüber. Como se comentó anteriormente los puntos que se pueden identificar se concentran en la parte central del modelo, ningún patrón de los existentes se adapta a este caso. Se prepara un patrón especial de búsqueda para puntos situados en la zona donde hay estereoscopía. Se miden un total de 94 puntos de relativa por toda la parte central del modelo (todos los puntos identificados de forma automática se revisan para comprobar que son correctos). Se utilizan un total de 8 puntos de control, 5 completos (altimetría y planimetría) y 3 altimétricos.

El error medio cuadrático (RMS) cometido en los puntos de control:

$$X: 0.1025 \quad Y: 0.0438 \quad Z: 0.0065 \text{ (m)}$$

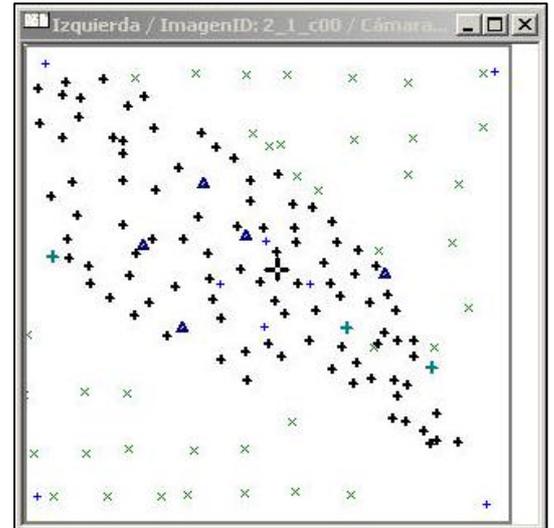
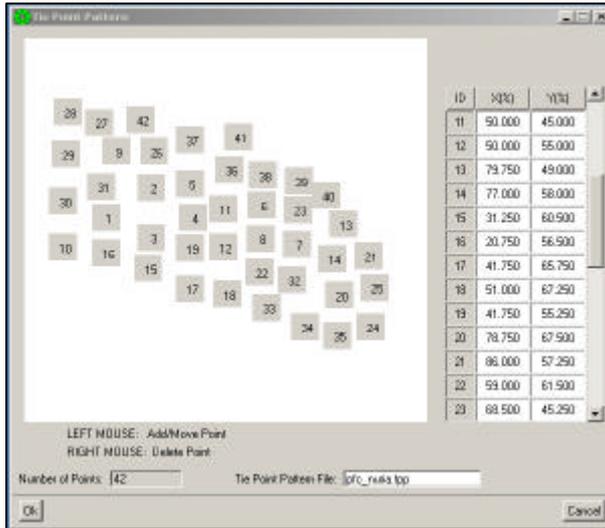


Figura 14: Patrón de búsqueda. Puntos medidos en la orientación relativa.

- Una vez orientado el modelo ya se pueden generar los diferentes productos con la estación fotogramétrica digital:
- Orto imagen del modelo orientado (ortoproyectada con el MDE generado con el módulo de SOCET SET *Automatic Terrain Extraction* previamente editado Figura 15). Y la ortoproyección de la zona del Fenech (Utilizando el MDE obtenido a partir del láser escáner Figura 16) a escala 1:1.000 (en formato papel y digital).
  - Imagen de anaglifes de modelo orientado.
  - Archivo \*.dgn con las principales estructuras digitalizadas.

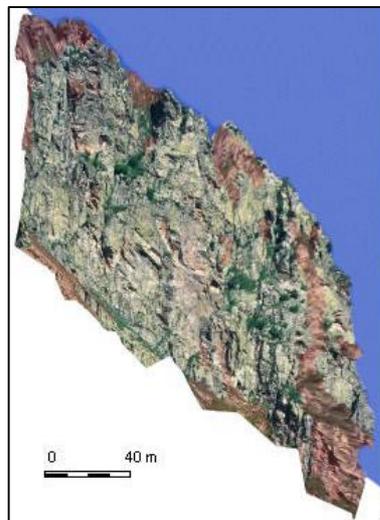


Figura 15.

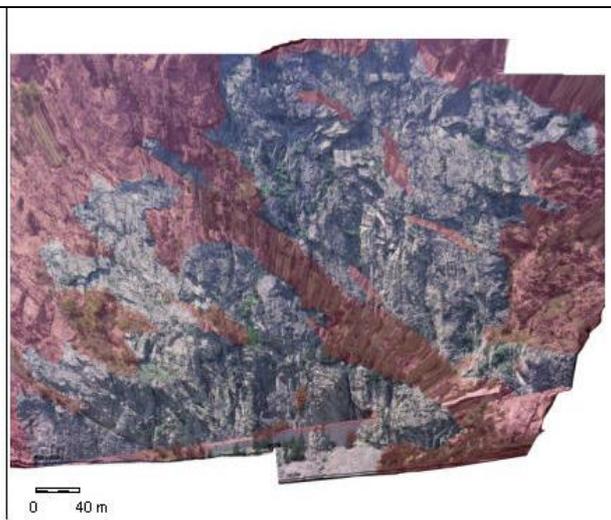


Figura 16.

## 5. Conclusiones

Trabajar con nuevas tecnologías permite evaluar los factores a favor y en contra que presentan. La experiencia de trabajar con el láser escáner se puede considerar como muy positiva, aprendiendo de los errores cometidos. La gran cantidad de datos obtenidos con el láser, es un inconveniente para trabajar con un ordenador convencional. El hecho de no disponer de un software específico para el tratamiento de los datos limita mucho el trabajo. La precisión relativa que se consigue es muy elevada y la gran cantidad de datos que puede capturar en un intervalo de tiempo muy pequeño, lo convierten en el aparato del futuro para realizar trabajos de topografía como levantamientos, controles de deformación... Actualmente su limitación es su elevado coste.

De los trabajos de fotogrametría realizados hay que destacar la orientación del modelo propuesto. Es posible orientar un modelo en condiciones extremas (giros elevados, fotografías hechas a diferentes niveles).

Los MDE obtenidos se utilizaron con éxito para la simulación de caída de rocas.

Parte de este trabajo se presentó en el "1st General Assembly of the European Geosciences Union, Nice 2004", en la sesión "*Remote sensing and ground-based geophysical techniques for recognition, characterisation and monitoring of unstable slopes*", dentro de la temática de "*Natural Hazards*". Algunos de estos trabajos de estas sesiones (incluido este) han sido seleccionados para una edición especial de la revista internacional "*Engineering Geology*", de la editorial Elsevier.

## Referencias

[1] Bagué, G. "Un desprendimiento aísla la Vall de Núria a más de 100 escolares" El País, 1ª página de la edición de Catalunya, 5 de Abril del 2003.

## Páginas web

[www.optech.com](http://www.optech.com)

[www.metronic.net](http://www.metronic.net)