

APLICACIÓN DE DATOS LÍDAR A LOS MAPAS DE ORIENTACIÓN EN LA FAGEDA D'EN JORDÀ

Antonio Ruiz y Miquel Soro
Institut Cartogràfic de Catalunya
Parc de Montjuïc
E-08038 Barcelona. España

Palabras clave: lÍdar, curvas de nivel, DTM

Resumen

Las características geomorfológicas de La Fageda d'en Jordà, únicas en el territorio español, la hacen sumamente interesante para la práctica deportiva de carreras de orientación. La Fageda posee un relieve caótico e intrincado debido a su origen volcánico. La erupción de los volcanes de Santa Margarida y Croscat, hace unos 10.000 años, depositó la colada de lava sobre un terreno pantanoso. Este hecho originó explosiones y grandes burbujas que evolucionaron en un relieve repleto de pequeños cerros (tossols) y depresiones.

La cubierta vegetal de hayas, hace inviable la restitución de curvas de nivel a partir de las fotografías aéreas existentes, ya que dicha cubierta suaviza y esconde literalmente el relieve caótico de la superficie terrestre.

La generación de curvas de nivel a partir del DTM del lÍdar permite una representación del terreno fidedigna y con equidistancias hasta ahora no posibles en mapas de orientación de terrenos similares. En este caso, presentaremos un ejemplo de la información que se puede extraer a partir de lÍdar y cómo se puede combinar con datos de otras procedencias para generar un mapa con una equidistancia de curvas de nivel de 1,25 metros.

1. Introducción

La fotogrametría es la técnica preferida para la realización de mapas topográficos, pero en las zonas de bosque el terreno no es visible y no se pueden obtener curvas de nivel precisas con restitución fotogramétrica. Hasta hace poco tiempo sólo habían dos opciones, descontar una altura de los árboles aproximada, u obtener las curvas de nivel mediante técnicas topográficas de campo. El primer método es muy impreciso porque los árboles que se encuentran en las hondonadas tienden a crecer más buscando la luz solar y los que están en las crestas a crecer menos al estar más expuestos al azote del viento. El efecto conjunto es que la cubierta vegetal suaviza los cambios de la ortografía y si descontamos una altura de los árboles constante cometemos errores muy groseros. El segundo método, la topografía de campo es muy costoso y generalmente sólo se ha utilizado en áreas reducidas. Afortunadamente, en la actualidad disponemos de una técnica alternativa, el lÍdar (Light Detection And Ranging), que permite obtener grandes cantidades de puntos sobre el terreno en muy poco tiempo y con gran precisión, incluso en zonas de bosque no muy denso, a partir de los cuales se pueden generar modelos del terreno, de la vegetación o de los edificios.

Muchas regiones de España han completado ya un primer levantamiento con lÍdar de todo su territorio dentro del proyecto PNOA del IGN [9] y Cataluña lo completará muy pronto. Es adecuado, por tanto, intentar obtener el máximo provecho de unos datos muy valiosos que ya han comenzado a estar disponibles. Con esta motivación presentamos este trabajo que muestra cómo se pueden obtener mapas de curvas de nivel de gran calidad a partir de lÍdar en una zona de bosque y con un relieve de gran complejidad.

Para ver la aplicabilidad de los datos lÍdar para la generación de curvas de nivel debemos tener en cuenta su precisión y la densidad de muestreo. Según [5], la precisión requerida en cota (σ_z) depende de la equidistancia de las curvas de nivel (CI) y de la pendiente media del terreno. Para zonas planas se suele tomar $CI = 5 \sigma_z$ y para zonas con relieve $CI = 3 \sigma_z$. El criterio de la ASPRS para mapas de gran escala indica también que el error RMS en cota debe ser 1/3 del CI [1].

Si suponemos que la precisión es de 15 cm, esto nos permitiría obtener curvas de nivel en zonas con relieve con una equidistancia de 45 cm y, en zonas planas, con equidistancia de 75 cm pero debemos tener en cuenta también la precisión planimétrica. El criterio habitual en Europa es que las líneas deben dibujarse con una precisión de 0,2 mm en el mapa. El estandar de precisión circular de los mapas (CMAS) en EE.UU. [2] es similar, 1/100 de pulgada. Multiplicando por el factor de escala se obtiene la precisión planimétrica necesaria. Los detalles de menor tamaño deben suavizarse o

representarse mediante simbolización. Tanto en fotogrametría como en topografía de campo, el operador de restitución o el topógrafo miden las coordenadas de puntos y líneas características bien escogidos. En un levantamiento lidar los puntos no se distribuyen por el terreno de manera inteligente sino según un patrón que podemos considerar que es un muestreo aleatorio. Si queremos dibujar objetos sobre el mapa, la densidad de muestreo lidar ha de ser suficiente para poderlos situar los objetos con la precisión requerida. Para topografía 1:5000 la precisión necesaria sería de $5000 \times 0.2 \text{ mm} = 1 \text{ m}$. El criterio de Nyquist nos puede ser de utilidad para establecer la densidad de muestreo necesaria. Según este criterio, para poder reconstruir después del muestreo una función limitada en banda, con una frecuencia de corte ν_c la frecuencia de muestreo debe ser como mínimo del doble de la frecuencia de corte. Esta frecuencia es una frecuencia espacial bidimensional y sus componentes son los inversos de las coordenadas de posición. Podemos reducir el análisis a una dimensión porque el comportamiento en ambas es análogo e interpretar los 0,2 mm del mapa como el inverso de la frecuencia de corte puesto que los detalles más pequeños no nos interesan. La frecuencia de muestreo deberá ser el doble para que no tengamos pérdida de información, es decir, el espaciado entre puntos debería ser de 0,5 m y la densidad de los puntos lidar debería ser de 4 puntos/m². Vemos pues que aunque la precisión vertical es suficiente para hacer cartografía 1:1000, la densidad de muestreo nos permitiría situar correctamente los objetos sólo a partir de escala 1:5000 ó 1:10000. Podemos dibujar curvas de nivel a escalas mayores pero será necesario introducir líneas de quiebre para que resulten planimétricamente correctas en torrentes, caminos, etc.

2. Material y métodos.

Los datos lidar del proyecto PNOA tienen una densidad de 0.5 puntos/m² y se han obtenido desde 2200 m de altitud. La precisión es variable según las regiones debido a que los requerimientos se fijaron con el objetivo de obtener ortofotos de 25 cm de píxel y fueron muy laxos. El Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) inició el levantamiento lidar de su territorio con el proyecto LidarCat, antes del nacimiento de PNOA lidar. LidarCat, pensado inicialmente con una densidad de 0.33 puntos/m², se adaptó para cumplir con la densidad requerida por PNOA y se mantuvo con unos requerimientos de precisión en cota superiores. La precisión nominal para zonas planas es de 15 cm (1 sigma) aunque en las zonas comprobadas suele ser mejor de 10 cm [9]. Desde 2008 se utiliza un lidar Leica ALS50-II. El rayo emitido tiene divergencia pequeña (0.15 mrad) e ilumina un área de unos 30 cm de diámetro. Al incidir sobre la vegetación el pulso de luz incide sobre diferentes ramas y hojas y se refleja. En nuestro caso se pueden detectar hasta 4 ecos reflejados. En la zona de estudio la densidad varía entre 0.5 y 3 puntos/m².

La Fageda d'en Jordà se encuentra emplazada en la comarca de La Garrotxa, a unos 4 kilómetros de Olot y situada en el término municipal de Santa Pau. Se trata de un hayedo con unas características únicas en la Península Ibérica: se encuentra en un terreno prácticamente llano, a una altura muy baja para lo que acostumbra a ser normal para un hayedo en nuestra latitud (600 – 650 metros de altitud media) y definido por su génesis geológica, de origen volcánico. El terreno en cuestión, de unos 4.8 km², está formado por el enfriamiento de la colada volcánica del Croscat. Su interés para la realización de un mapa de carreras de orientación radica en su máxima dificultad técnica, especialmente en el relieve, penetrabilidad perfecta en las zonas de hayas desarrolladas, con reducción de la velocidad de carrera en las zonas pedregosas, que son muy abundantes.

Diferentes caminos y sendas recorren el hayedo, pudiéndose observar aún pequeños caminos originados por la explotación forestal y agrícola de hace décadas. Es un espacio natural protegido, enclavado en el Parc Natural dels Volcans de la Garrotxa, dependiente de la Generalitat de Catalunya, teniendo el añadido de ser una Reserva Natural. La mayor parte del hayedo es propiedad de la Diputació de Girona, estando su gestión confiada al Parc Natural. Las intervenciones forestales que se realizan están destinadas a la mejora y mantenimiento del bosque, no a su explotación comercial.

El área de estudio se ha limitado entre las coordenadas 458600 y 461000 en X y entre 4665800 y 4667800 en Y, UTM-31N datum ETRS89. Las cotas con las que se ha trabajado son ortométricas y se ha utilizado el geoide UB91 corregido por nivelación para la conversión de las cotas elipsoidales. Esta zona fue volada parcialmente el 13 de junio de 2009 y toda el área de nuevo los días 22 y 24 de mayo de 2010. La primera zona volada presenta, pues, una densidad superior al resto. En la tabla 1 se muestran los parámetros de configuración de los vuelos lidar.

Fecha de vuelo	22 y 24/5/2010	13/6/2009
Altitud sobre el terreno (m)	2200	2250
Frecuencia de los pulsos (Hz)	90500	89200
FOV (°)	50	48
Frecuencia de barrido (Hz)	30,9	21,5
Velocidad (nudos)	133-140	120-135

Tabla 1: Parámetros de los vuelos lidar empleados

En el ICC las pasadas lidar se ajustan con campos de control [6]. Una vez ajustadas, las pasadas se subdividen en bloques y se realiza una clasificación automática de los puntos del terreno. Los resultados se editan manualmente. Para LidarCat el proceso de edición manual es el procedimiento que se denomina abreviado [4]. A continuación se hace una clasificación automática de la vegetación y edificios. La clasificación automática del terreno de TerraScan trabaja de modo iterativo, de menor a mayor resolución, añadiendo puntos que no estén a mucha distancia del terreno obtenido en la anterior iteración y que no provoquen un cambio brusco de pendiente. Los puntos que no cumplen estas condiciones se suponen pertenecientes a la vegetación u otros objetos sobre el terreno. En la edición manual las zonas con vegetación se puede distinguir porque presentan puntos a diferentes cotas, Cuanto mayor sea la densidad de puntos más sencillo es distinguir entre terreno y vegetación.

Para dibujar curvas de nivel el procedimiento de edición simplificada es insuficiente y se ha realizado una edición más cuidadosa. Se han empleado unas 6 h de edición adicionales que ha consistido principalmente en la clasificación como terreno de puntos en crestas de montaña y “tossols” o agujas que estaban erróneamente clasificados como vegetación. La clasificación, la edición y las curvas de nivel se realizaron con TerraScan v10.21 y TerraModeler v10.9 de Terrasolid. TerraModeler construye modelos del terreno de malla irregular de triángulos. Para la generación de curvas de nivel se han seleccionado los puntos del terreno más importantes mediante un algoritmo denominado “Contour Keypoints”. Este es un algoritmo de simplificación del modelo TIN que realiza una selección de los puntos más importantes y evita seleccionar puntos muy próximos a las curvas de nivel, pues son estos puntos próximos los que provocan curvas de nivel ruidosas o temblorosas [11].

Los mapas de orientación a pie se suelen dibujar con CI = 5 m a escala 1:10000 o 1:15000. En este ejemplo se ha seleccionado 12.5 m para las curvas maestras, 2.5 m para las principales y 1.25 m para las curvas interlíneas y la escala 1:5000. Las curvas se importaron posteriormente en OCAD que es el programa que se utiliza habitualmente para realizar los mapas de orientación. Utilizando este programa se han añadido diferentes elementos levantados en campo mediante GPS y manualmente: caminos, rocas, vegetación...

En el trabajo de campo se han trazado en primer lugar la red de caminos a partir de su captura en GPS. Para la ocasión se ha utilizado un receptor GPS TwoNav Aventura, con correcciones EGNOS y con una precisión relativa de 3 metros. Debido a que se ha realizado el trabajo de campo en invierno, los árboles se hallaban desprovistos de hojas, lo que facilitaba la recepción de satélites y la georeferenciación de elementos lineales y puntuales.

En la revisión de campo del mapa de curvas de nivel se encontraron algunos cerros que no estaban representados. Tanto en la clasificación automática como en la edición manual los puntos sobre estos cerros se confundieron con vegetación. Son cerros con altura sólo un poco mayor que la de los árboles y situados dentro del bosque. A continuación, presentamos un ejemplo de un cerro que no estaba representado en el mapa base. Como se puede apreciar en la fotografía (Figura 1), se trata de un “tossol” de aproximadamente 10 m de altura.

En el mapa base obtenido a partir de lidar se observa que este cerro no está definido con claridad, así como la orientación del pequeño cordal que lo incluye (Figura 2). Una vez corregidas las curvas de nivel, se observa la correcta orientación del cerro así como los elementos adosados (cortado, árboles caídos y rocas). Nótese que está representado ahora por 4 curvas de nivel en vez de las 2 del mapa base original.



Figura 1: Cerro confundido con vegetación en la clasificación de puntos lidar.

Se ha realizado un mapa de sombras (Figura 3) que ayuda a la interpretación de las curvas de nivel y permite la detección de algunos caminos. Otros elementos que se pueden obtener con lidar son los límites del bosque, la altura de los árboles (Figura 4) y los edificios. Aunque la mayoría de los edificios están fuera de la zona del mapa de orientación, también se han detectado los edificios de los alrededores, algunos de ellos muy escondidos entre la vegetación y se han hallado cambios con respecto al mapa topográfico 1:5000 del ICC de la zona.



Figura 2: Curvas de nivel lidar antes y después de la revisión de campo.

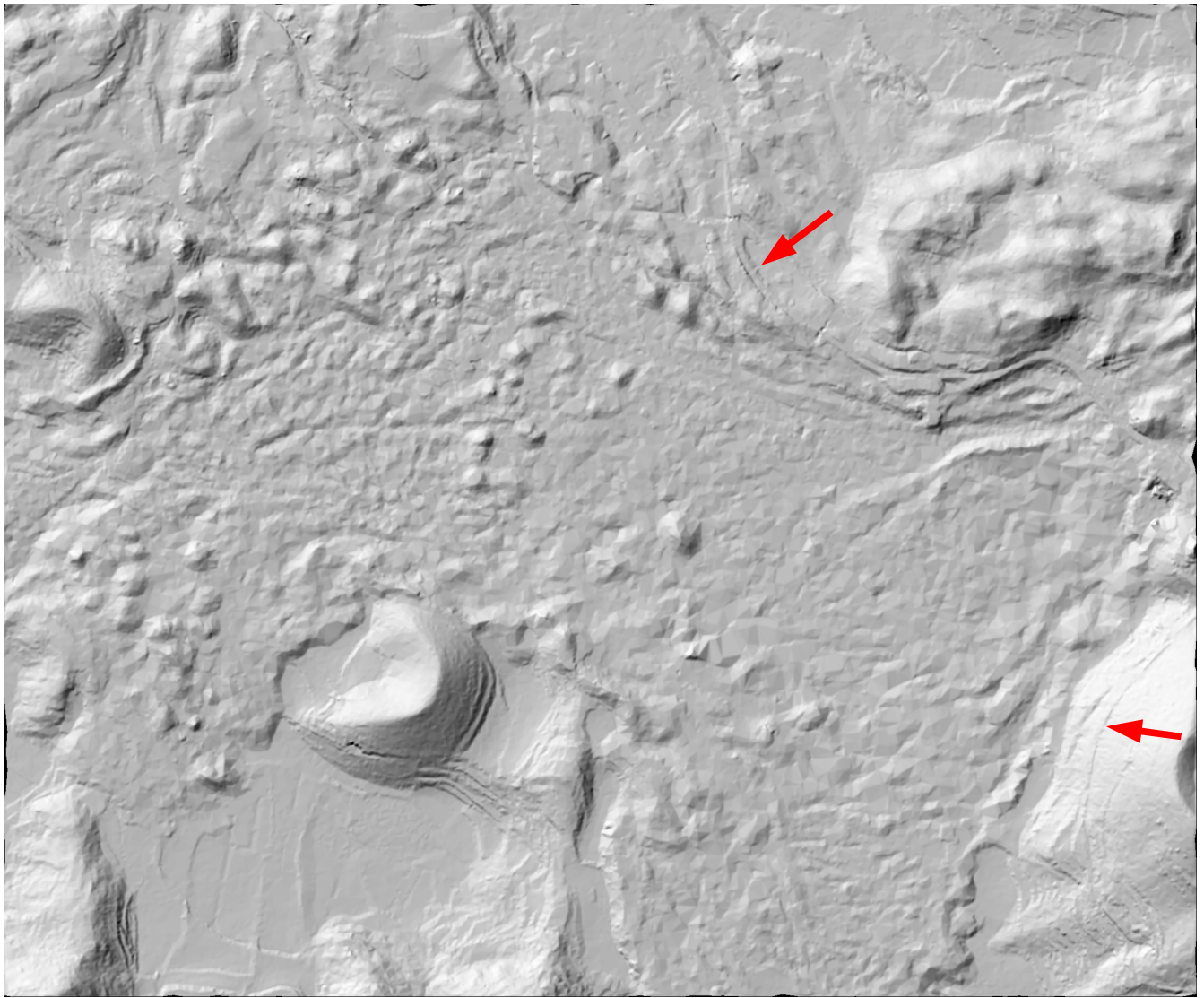


Figura 3: Mapa de sombras en el cual son visibles parcialmente algunos caminos.

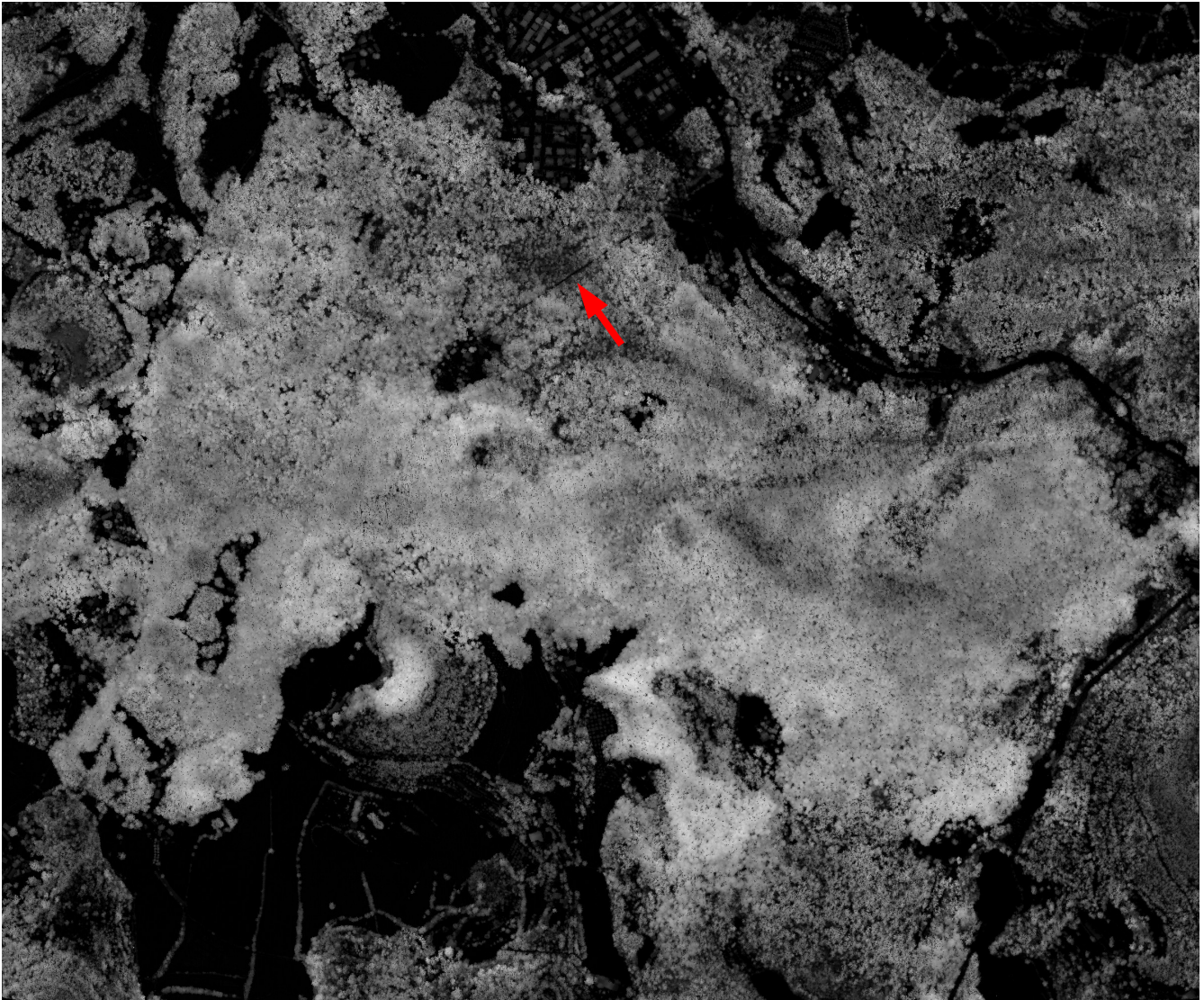


Figura 4: Mapa de altura de la vegetación en el que se aprecia el cortafuegos.

3. Resultados y conclusiones

El mapa obtenido a partir de lidar es muy preciso, pero debido a la complejidad del terreno, dentro del bosque se han producido algunos errores de clasificación y ha sido necesario retocar algunas curvas de nivel. A veces no aparecen representados elementos como por ejemplo pequeños cerros y agujas rocosas. Las depresiones no presentan tantos problemas al ser más grandes en extensión.

No ha sido posible dibujar a partir de lidar un muro de piedra, a pesar de conocer su existencia y encontrarse algunos puntos lidar sobre el muro. Su trazado es prácticamente imposible con la densidad de puntos disponible. Lo mismo sucede con los caminos, sendas y grandes rocas, como las abundantes bombas volcánicas. Sí que ha sido posible dibujar un cortafuegos existente a partir del mapa de altura de la vegetación y se ha obtenido una delimitación automática de las zonas de bosque.

El lidar aerotransportado es una técnica económica para realizar modelos del terreno precisos de grandes extensiones pero la realización del mapa de un área pequeña no permite la realización de un vuelo dedicado. Afortunadamente muchos países están cubriendo su territorio con lidar [8] y los datos están disponibles a precios reducidos. La realización de mapas de orientación de lugares como La Fageda representa un esfuerzo económico muy elevado debido a que es necesaria la realización de un mapa base de calidad y específico para esta aplicación. El mapa base obtenido a partir del lidar permite reducir mucho los costes.

El lidar es adecuado para la realización de curvas de nivel en mapas de gran escala y muy superior a la fotogrametría en zonas de bosque denso. Para las escalas mayores es necesario complementar los datos lidar con líneas de quiebre en torrentes, ríos y caminos. Presenta la gran ventaja, sobre la utilización de un mapa topográfico como mapa base para la realización de mapas de carreras de orientación, de que podemos elegir la equidistancia entre curvas de nivel a nuestro gusto y necesidad.

Las federaciones y clubes de orientación pueden utilizar datos lidar para la realización de mapas de orientación aunque será necesario editar la clasificación de los puntos para aprovechar al máximo su potencial en el trazado de curvas de nivel.

4. Agradecimientos

A Ferran Santoyo, Carles Loré y Tommi Tolko por la colaboración en la realización del mapa de orientación. A la Federació de Curses d'Orientació de Catalunya por su soporte y apoyo.

Referencias

- [1] ASPRS 1990, ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(7):1068-1070.
- [2] Bureau of the Budget, 1947. National Map Accuracy Standards, Office of Management and Budget, Washington, DC.
- [3] Hohl, T., 2005. Representing the relief of Orienteering maps with the aid of airborne laser scanning. 11th International Conference on Orienteering Mapping, 6 de agosto, 2005. Toyota City, Japón.
- [4] ICC 2009 Especificaciones para la edición abreviada de los puntos lidar. Informe técnico. 17 de marzo, 2009. ICC. Barcelona.
- [5] Imhof, E. 1982. Cartographic relief presentation. Walter de Gruyter, Berlin.
- [6] Kornus, W. & Ruiz, A., 2003. Strip adjustment of LIDAR data. ISPRS Workshop on Airborne Laser Scanning "3D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data", 8-10 de Octubre, 2003. Dresden.
- [7] Lennon, G., 2005. LIDAR Basemaps Come of Age. Orienteering North America. December 2005.
- [8] Martínez Luceño, J., 2009. Configuración PNOA 2009-2010. Reunión de los grupos de trabajo PNOA. 8 de junio, 2009. Toledo.
- [9] [Martínez Luceño, Jorge, 2009. Vuelos pnoa 2009..Resumen de los trabajos realizados. Reunión de los grupos de trabajo PNOA. 8 de junio, 2009, Toledo.](#)
- [10] Sánchez, D. Disponibilitat de dades lidar a Catalunya. Jornada de treball: "Altímetre lidar: 8 anys d'experiència a l'ICC", 22 de octubre, 2009. Barcelona.
- [11] [Soininen, A. 2008. Automated contour line production from laser data. Terrasolid Users' Meeting. Pyhäunturi, Finlandia.](#)