

Proyectos de **I+D+i**
2011-2013



Estudio, puesta a punto y aplicación de técnicas fotogramétricas desde plataformas aéreas no tripuladas. Aplicación a los proyectos de infraestructuras de transporte. Integración en un sistema de información geográfica para su consulta y explotación

Universidad de Almería | Eycom



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Estudio, puesta a punto y aplicación de técnicas fotogramétricas desde plataformas aéreas no tripuladas. Aplicación a los proyectos de infraestructuras de transporte. Integración en un sistema de información geográfica para su consulta y explotación

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y
Vivienda. Junta de Andalucía. 2012

Universidad de Almería, Eycom S.L.

Almería. Fecha (11-07-2012)

1. Introducción y antecedentes

En la mayoría de los proyectos relacionados con la infraestructura para el transporte terrestre, la partida movimiento de tierras supone un elevado porcentaje del coste total de los mismos, siendo uno de los criterios más importantes tenido en cuenta para el diseño del trazado.

Más aún, durante la ejecución del proyecto, el seguimiento y control del volumen de terreno movido ya sea en concepto de desmonte o terraplén es de suma importancia.

A lo largo de la vida útil del proyecto, el control se centra en las posibles deformaciones que se puedan producir en los terrenos modificados durante su ejecución.

Respecto a la toma de datos para llevar a cabo las tareas antes indicadas, las técnicas usadas en la actualidad son variadas: la medición de coordenadas in situ con instrumentos clásicos como estación total o medios modernos como el GPS, que pueden consumir mucho tiempo o ser prácticamente imposibles por no ser posible acceder a la zona de estudio. La obtención del levantamiento topográfico mediante técnicas de restitución fotogramétrica a partir de imágenes tomadas desde satélite o desde avión aumenta las posibilidades e incluso el rendimiento pero pueden no ser viables por su coste o por no poder ser tomadas en el momento que se necesitan. Sería interesante, por tanto, contar con una tecnología lo suficientemente precisa, de coste reducido, aplicable en todas las situaciones y en todas las fases mencionadas del proyecto para poder llevar a cabo el control el mismo. Esta tecnología debería abarcar desde la toma de datos en campo hasta el análisis de los mismos.

En este proyecto se propone una metodología de bajo coste y alto rendimiento para obtener y explotar el levantamiento topográfico de cualquier terreno a través de su Modelo Digital de Elevaciones (MDE), basada en el uso de cámaras digitales y plataformas aéreas no tripuladas.

2. Objetivos perseguidos y resultados previsibles

El principal objetivo del presente proyecto es el desarrollo y evaluación de una metodología que integre, con un coste asumible, todos los pasos necesarios para hacer el seguimiento del movimiento de tierras que se lleva a cabo durante el diseño de los proyectos relacionados con la infraestructura del transporte terrestre, su ejecución y explotación. Con esta metodología, basada en la fotogrametría desde aeronaves no tripuladas, se podrán obtener con suficiente precisión una serie de productos:

- Evolución de la morfología (Modelo Digital de Elevaciones) del terreno donde se asienta el proyecto.
- Inventario fotográfico, con la posibilidad de ortorectificación y georreferenciación de la evolución del proyecto.
- Levantamientos de detalle de zonas específicas durante la fase de explotación del proyecto.
- Integración de toda la información en un sistema de información geográfica para facilitar su manejo.

3. Grado de innovación y justificación

Aunque estas cuestiones son deducibles de lo expuesto hasta ahora, se puede incidir en que el grado de innovación viene dado respecto al uso de una tecnología emergente sobre la cual se requiere investigar para determinar si los resultados que ofrece cuentan con las características necesarias en el tema que nos ocupa.

Su justificación viene dada por varios motivos: en primer lugar un motivo económico. Si los resultados son satisfactorios, se contaría con una metodología muy competitiva. En segundo lugar encontraríamos un motivo funcional: la metodología investigada presentaría una versatilidad tal que la permitiría usar en todas las fases del proyecto.

4. Metodología y plan de trabajo

La metodología a seguir para la consecución del objetivo planteado se describe en los siguientes apartados.

4.1. Evaluar la utilidad de las imágenes adquiridas para obtener el MDE de la zona de estudio con un nivel de precisión adecuado, proponiendo una metodología cuyas herramientas sean cámaras digitales no métricas y software de bajo coste.

Se pretende elaborar el MDE de una superficie topográfica obtenido a partir de imágenes adquiridas desde aeronaves dirigidas por control remoto, cámaras digitales no métricas y software de bajo coste, para lograr una notable disminución del coste de este producto. Se escogerá una obra en ejecución durante la fase de movimiento de tierras y se realizarán campañas fotogramétrica mientras esta dure. Además de estas campañas, se tomarán periódicamente una serie de fotografías aéreas panorámicas, desde el mismo punto, para tener constancia gráfica de la evolución de la obra. Se localizarán asimismo una serie de taludes colapsados al objeto de realizar una campaña fotogramétrica que permita obtener información para poder redactar el proyecto de reparación de los mismos. Las tareas propuestas para el cumplimiento de este objetivo se detallan a continuación:

4.1.1. Calibración de las cámaras fotográficas.

La calibración permitirá conocer una serie de parámetros relacionados con ciertas características de las cámaras usadas: longitud focal de la lente, tamaño del sensor de la cámara, punto principal, y una serie de parámetros relacionados con la distorsión característica de la lente. Se realizará en unas condiciones lo más parecidas posibles a aquellas en las que se trabajará. Las cámaras fotográficas a usar serán una réflex digital y una digital compacta. Se usarán lentes de diferentes longitudes focales.

4.1.2. Definición del plan de vuelo fotogramétrico óptimo.

En función de la distancia focal, de la resolución del sensor de la cámara, y de los solapes longitudinal y transversal de las fotografías tomadas, se fijarán diferentes alturas de vuelo para conseguir imágenes cuyos píxeles se correspondan con diferentes tamaños en el terreno (a mayor altura de vuelo un píxel del sensor captará más superficie del terreno, con la consiguiente pérdida de nivel de detalle). El plan de vuelo indicará las coordenadas de los puntos desde donde se tomarán las fotografías.

La aeronave no tripulada propuesta es el modelo MD4-1000 de la marca Microdrones (figura 1, <http://www.microdrones.com/md4-1000.html>), cuyas características principales son:

- envergadura menor de 1 m
- despegue y aterrizaje vertical, lo que no obliga a contar con ningún tipo de pista
- 1,4 kg de carga útil
- dirigido por control remoto
- provista de un receptor GPS y magnetómetro para determinar deriva, aleteo y cabeceo

- posibilidad de piloto automático: se le puede fijar la ruta y los puntos desde donde tomar las diferentes fotografías
- fácil de pilotar
- sistema de propulsión a partir de cuatro motores eléctricos, lo que reduce las vibraciones, así como el aleteo y cabeceo, contribuyendo así a la calidad de las imágenes
- se le pueden adaptar diferentes cámaras y almacenar las fotografías.



Fig. 1: MD4-1000, de Microdrones, aeronave no tripulada a usar en el proyecto.

Cabe la posibilidad de incorporar una segunda plataforma (Okto XL de Mikrokopter, figura 2) con las siguientes características:

- envergadura: 1 m
- despegue desde plataforma impulsora, lo que no obliga a contar con ningún tipo de pista
- 0.25 kg de carga útil
- dirigido por control remoto
- provista de un receptor GPS y magnetómetro para determinar deriva, aleteo y cabeceo
- posibilidad de piloto automático: se le puede fijar la ruta y los puntos desde donde tomar las diferentes fotografías
- fácil de pilotar
- sistema de propulsión a partir de un motor eléctrico, lo que reduce las vibraciones respecto al motor de explosión
- la cámara sería una digital compacta de óptica no intercambiable.



Fig. 2: Okto XL, de Mikrokopter, segunda aeronave no tripulada a usar en el proyecto.

Frente a la estabilidad, maniobrabilidad y versatilidad en cuanto a las cámaras que se pueden usar en la primera opción de aeronave, se encuentra la mayor autonomía y altura de vuelo de la segunda. La segunda tiene a su favor un considerable menor precio. En esta fase del proyecto se fijaría el de campo uso de cada una de las opciones.

Cada altura de vuelo proporcionará un conjunto de imágenes a partir de las cuales se obtendrá una representación del terreno con diferente precisión. Se trata de determinar la mayor altura de vuelo (para manejar el menor número de imágenes) con la que se consiga una precisión aceptable.

El material fotográfico obtenido será tratado con el módulo de fotogrametría PhotoModeler.

Será necesario realizar algunos trabajos electrónicos, relacionados con el accionamiento del disparador de la misma, para adaptar la cámara a la aeronave.

4.1.3. Obtención del MDE con el software de fotogrametría aérea.

El flujo de trabajo para alcanzar esta tarea será el siguiente:

- a) Introducción de los datos de calibración de la cámara, con el objeto de reducir al máximo las distorsiones introducidas por la lente y conocer la escala de las fotografías.
- b) Orientación externa o registro, consistente en algo parecido a conformar un puzle con las fotografías realizadas y llevar a cabo su orientación y escalado.
- c) Generación del MDE. Se realizará a partir de las coordenadas planimétricas y altimétricas de una nube de puntos identificados sobre las imágenes y una posterior interpolación para conseguir la malla regular.

4.1.4. Medida de la precisión del MDE.

Para cada MDE obtenido se realizará una medida de su precisión a partir de las coordenadas calculadas y las medidas con GPS de una serie de puntos de comprobación (PC), marcados sobre el terreno y visibles en las fotografías. El error medio cuadrático de las componentes x, y, z será calculado según las siguientes expresiones:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{PCm} - x_{PCe})^2}, \quad RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{PCm} - y_{PCe})^2}, \quad RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{PCm} - z_{PCe})^2}$$

donde el subíndice PCm significa componente medida del punto de control, y PCe significa componente estimada del punto de control, n es el número de puntos de control tenidos en cuenta.

Según el US National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), si no existen errores sistemáticos en los datos, las precisiones vertical y horizontal (P_v , P_h , respectivamente) con un intervalo de confianza del 95% pueden ser computadas de la siguiente manera:

$$P_v = 1.9600 \times RMSE_z \quad P_h = 1.7308 \times RMSE_h$$

donde $RMSE_h$ es el error medio cuadrático horizontal, dado por:

$$RMSE_h = \sqrt{(RMSE_x^2 + RMSE_y^2)}$$

Con estos valores, y teniendo en cuenta un valor de 0.2 mm como límite de percepción visual humana, se podrá estimar la mayor escala a la que se puede representar el terreno:

$$D_e \geq P_h / 0.2$$

donde P_h está expresado en mm, y D_e representa el denominador de la escala.

4.1.5. Integración de toda la información en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Toda la información obtenida se puede integrar en un SIG para su consulta y explotación. El grupo solicitante cuenta con bastante experiencia en el manejo de este tipo de software y la empresa participante en el Proyecto cuenta con un amplio conocimiento en el manejo de estos datos. Esto asegura el éxito de esta tarea.

4.2. Análisis y difusión de los resultados.

Los resultados obtenidos durante la fase anterior del proyecto, sus conclusiones y aplicaciones serán difundidas mediante publicaciones en revistas de impacto, asistencia a congresos y organización de charlas con técnicos de empresas constructoras. Se redactará un informe al final de la primera anualidad y uno global al final de la segunda anualidad del proyecto.

