

## OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS DE VUELO EN FOTOGRAMETRÍA AEREA

Sergio Galcerá<sup>1</sup>, Ana Elena Seguí<sup>1</sup>, Cristina Portalés<sup>1</sup>, José Luis Lerma<sup>1</sup>, Antonio Ramírez<sup>2</sup>, Antonio Esteban<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE)

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría

Universidad Politécnica de Valencia. Edificio 7i

Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia

[sergalus@topo.upv.es](mailto:sergalus@topo.upv.es), [gifle@upv.es](mailto:gifle@upv.es)

<sup>2</sup>Sacyr SAU

Luis Montoto nº 107-113. Edificio Cristal – 4ª – Módulo J

41007 Sevilla.

[aesteban@gruposyv.com](mailto:aesteban@gruposyv.com)

**Palabras clave:** Proyecto de vuelo, fotogrametría aérea, simulación

### Resumen

Los proyectos de vuelo fotogramétricos son esenciales en múltiples labores, tanto dentro del ámbito de la ingeniería como de la planificación medioambiental, estudios geológicos, etc. Sin embargo, éstos implican unas inversiones económicas muy elevadas, por lo que la planificación de dicho vuelo debe ser minuciosa, previendo las diferentes dificultades que pudieran surgir. Por consiguiente, es preferible realizar una simulación previa del vuelo que tenga en consideración el mayor número posible de factores reales.

Este artículo presenta un software que cubre estas necesidades, ya que permite realizar simulaciones mediante la generación automatizada de proyectos de vuelo a partir de procesos fotogramétricos. La herramienta que se presenta realiza esta preparación de un modo visual y preciso, teniendo en consideración un gran número de factores que condicionan el vuelo fotogramétrico.

Este software planifica proyectos de vuelo partiendo de unos datos iniciales (modelo digital de terreno, zona o área de estudio a levantar) y de unas especificaciones técnicas (recubrimientos de terreno, velocidad de vuelo, escala de fotogramas, cámara empleada, formato de fotograma, etc.), obteniendo el resultado gráficamente por pantalla de modo interactivo y con posibilidad de exportarlo en diferentes tipos de formatos. Su principal característica es la visualización gráfica en todo momento del proyecto de vuelo, siendo por ello una herramienta de sencilla utilización, y por tanto adecuada para usuarios no expertos en la materia.

Se introducen algunas novedades en la herramienta que la hacen más interactiva y visual, como es “la simulación virtual” del vuelo fotogramétrico. Esta utilidad permite al usuario subir a bordo del avión y sobrevolar la zona de estudio siguiendo las trayectorias marcadas por el proyecto de vuelo creado. Además, ofrece la posibilidad de guardar el “vuelo virtual” en múltiples formatos y crear modelos digitales de elevaciones texturizados.

### 1 Introducción

La fotogrametría aérea se viene empleando desde hace décadas para la obtención de cartografía de un modo rápido y económico en comparación con cualquier otra técnica de medición. La generación de cartografía de grandes superficies es la principal ventaja que ofrece la fotogrametría aérea. La fotogrametría aérea se lleva realizando desde hace prácticamente un siglo con muy buenos resultados, incluso ha experimentado un cambio en su metodología al pasar de un sistema totalmente analógico a un sistema digital. Otra técnica más novedosa, que tiene una amplia aceptación por parte del mercado y cada vez tiene mayor utilización es el LIDAR. Es una tecnología que mide distancias a través de un sensor láser y resulta muy eficiente para la adquisición de modelos digitales del terreno de grandes áreas, sobre todo por su elevada resolución espacial y precisión altimétrica.

Antes de la ejecución de un vuelo fotogramétrico es necesario realizar un estudio previo o planificación, teniendo en cuenta las condiciones o factores que pueden afectar a dicho vuelo. Las razones principales por las que una planificación se considera un trabajo previo fundamental son el ahorro de tiempo y de dinero en la ejecución del vuelo, sin olvidar que la propia planificación actúa como garantía en el proceso de captura fotográfica (evita tomas innecesarias, sombras y zonas duplicadas).

En este documento presentamos el software *FlightViewer*, que ha sido creado para facilitar la planificación de cualquier vuelo fotogramétrico, permitiendo al usuario generar planificaciones de un modo automático a partir de unos datos mínimos de partida.

## 2 Planificación de un vuelo fotogramétrico

La planificación de un proyecto de vuelo fotogramétrico se puede realizar mediante una simulación previa del mismo por medio de una serie de datos que permiten definir la mejor trayectoria, así como calcular las posiciones donde se han de realizar las exposiciones de la cámara, permitiendo capturar durante la ejecución del vuelo las imágenes que se emplearán en el resto del proceso. Esta planificación no es una tarea sencilla, debido al elevado número de factores que se han de tener en cuenta (recubrimientos, escalas de los fotogramas, altura de vuelo, influencia de las cotas del terreno, etc.) y la importancia del empleo de sistemas de control (GPS, INS), que automatizan el propio vuelo fotogramétrico, siendo la planificación previa una pieza fundamental.

El conjunto de cálculos previos a la ejecución del vuelo fotogramétrico varía dependiendo de los condicionantes elegidos en la planificación. Estos condicionantes se imponen previamente, como son las características técnicas de la cámara fotográfica empleada, el dispositivo aéreo que se disponga para realizar el vuelo y el resultado que se desee obtener. Existen además, una serie de factores que pueden condicionar el vuelo fotogramétrico, como son los factores atmosféricos o climatológicos.

Normalmente los vuelos fotogramétricos se suelen realizar con aviones o avionetas, helicópteros o incluso globos. Existen diferencias en las características de estos dispositivos que se verán reflejadas en la forma de calcular la planificación. Un avión tiene que mantener una velocidad constante en cada pasada y mantiene una trayectoria lo más lineal posible, a diferencia del helicóptero que puede mantener su posición en el aire y dispone de una movilidad mucho mayor, siendo capaz de seguir trayectorias no tan lineales. En este sentido, se entiende que el avión se utilizará en los vuelos fotogramétricos que requieran el levantamiento de superficies extensas, en tanto que el helicóptero se restringe a áreas más pequeñas.

Los mayores problemas a la hora de planificar un proyecto de vuelo se producen cuando nos encontramos con una zona montañosa, puesto que a diferentes cotas en el terreno, existirán diferentes escalas en los fotogramas y por tanto, para que se cumplan los recubrimientos impuestos inicialmente, es necesario que el tiempo entre exposiciones varíe (en el caso de que la velocidad del dispositivo aéreo empleado sea constante).

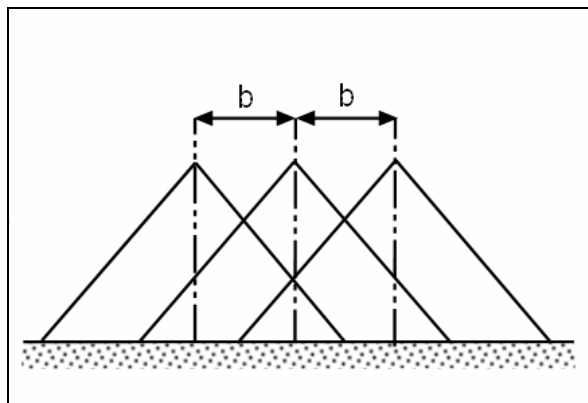


Figura 1: Fotografías consecutivas con bases de idéntica magnitud.

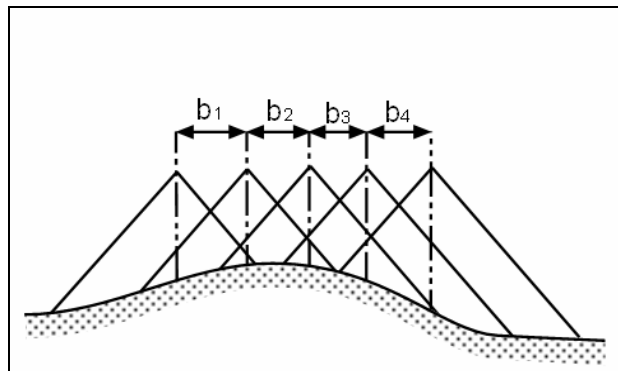


Figura 2: Fotografías consecutivas con bases variables.

En las imágenes anteriores apreciamos como en la *Figura 1* donde la topografía es llana, las bases o distancias entre fotogramas son las mismas de una toma a otra, sin embargo en la *Figura 2* se puede ver como las bases son diferentes, debido a que si se pretende que los recubrimientos iniciales se cumplan, las distancias en las bases han de variar, es decir, el intervalo de tiempo que transcurre entre una toma fotográfica y otra no es el mismo, sino que depende de la escala que vaya a tener la imagen capturada.

Teniendo en cuenta que las características del dispositivo aéreo pueden ser distintas en un vuelo u otro, los métodos de cálculo de una planificación de vuelo fotogramétrico también serán distintos. Así pues, la planificación de un vuelo sobre una zona montañosa se puede llevar a cabo de dos formas según el dispositivo aéreo utilizado:

- Si se utiliza un avión, se ha de mantener una altitud y una velocidad siempre constantes, resultando fotogramas con escalas diferentes en caso de terreno montañoso u ondulado, manteniendo los valores de escala máxima y mínima impuestos por las tolerancias del pliego. Todos los fotogramas cuya escala planificada no se encuentre entre estos intervalos serán rechazados en la planificación, y por tanto la cámara no efectuará su exposición. La solución a los huecos en el modelo estereoscópico que puedan surgir debido a la exclusión de estas tomas fotográficas, es la realización de otra una nueva pasada a diferente altitud que recorra las zonas afectadas.
- Cuando el dispositivo aéreo es un helicóptero, la planificación en zonas de estudio en las que no exista relieve será exactamente la misma que se genere para un avión. Sin embargo, en zonas montañosas, y puesto que un helicóptero puede situarse a la altitud necesaria en cada toma fotográfica, la planificación resultante tendrá una trayectoria donde las imágenes obtenidas en las tomas tengan una escala común.

En la *Figura 3* se muestra una planificación de vuelo creada por el software *FlightViewer*. Los resultados creados son muy visuales, de modo que el usuario puede comprender de una forma rápida y sencilla la trayectoria que ha de seguir el dispositivo aéreo y la zona abarcada por las fotogramas resultantes de cada toma fotográfica.

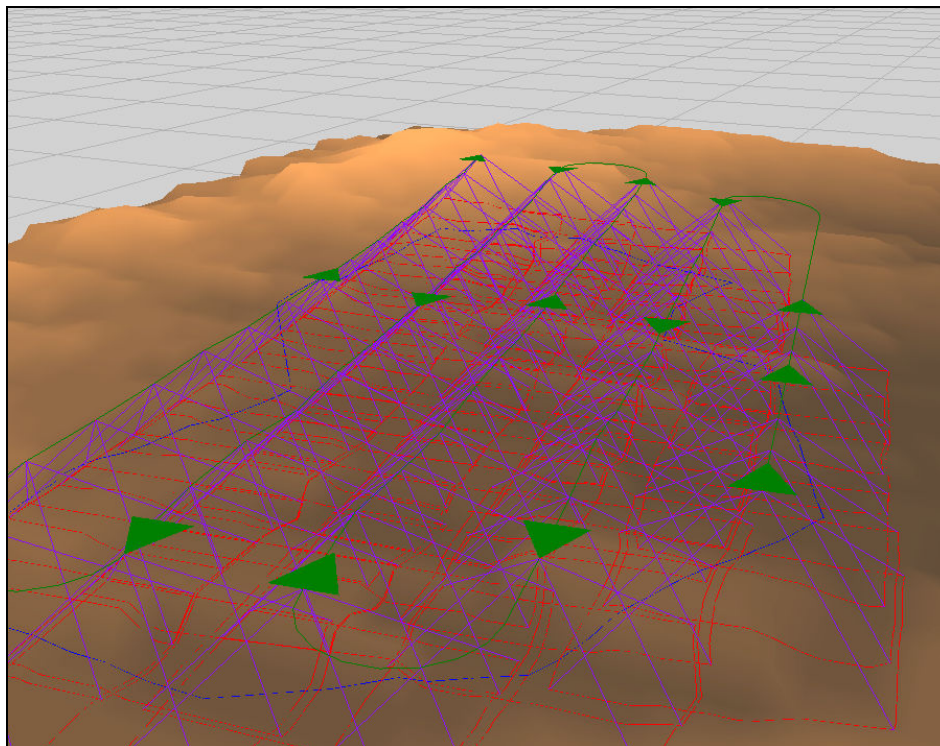


Figura 3: Proyecto de vuelo fotogramétrico

### 3 Especificaciones y características de *FlightViewer*

Se ha implementado un programa informático que realiza el proyecto de vuelo fotogramétrico a partir de la definición de una cámara (analógica o digital, métrica o convencional) y en base a un número de condiciones iniciales, como son los recubrimientos entre pasadas y fotogramas, velocidad de vuelo, altura de vuelo, escalas de los fotogramas, nitidez del fotograma resultante, etc. En la *Figura 4* se muestra la interfaz principal del software.

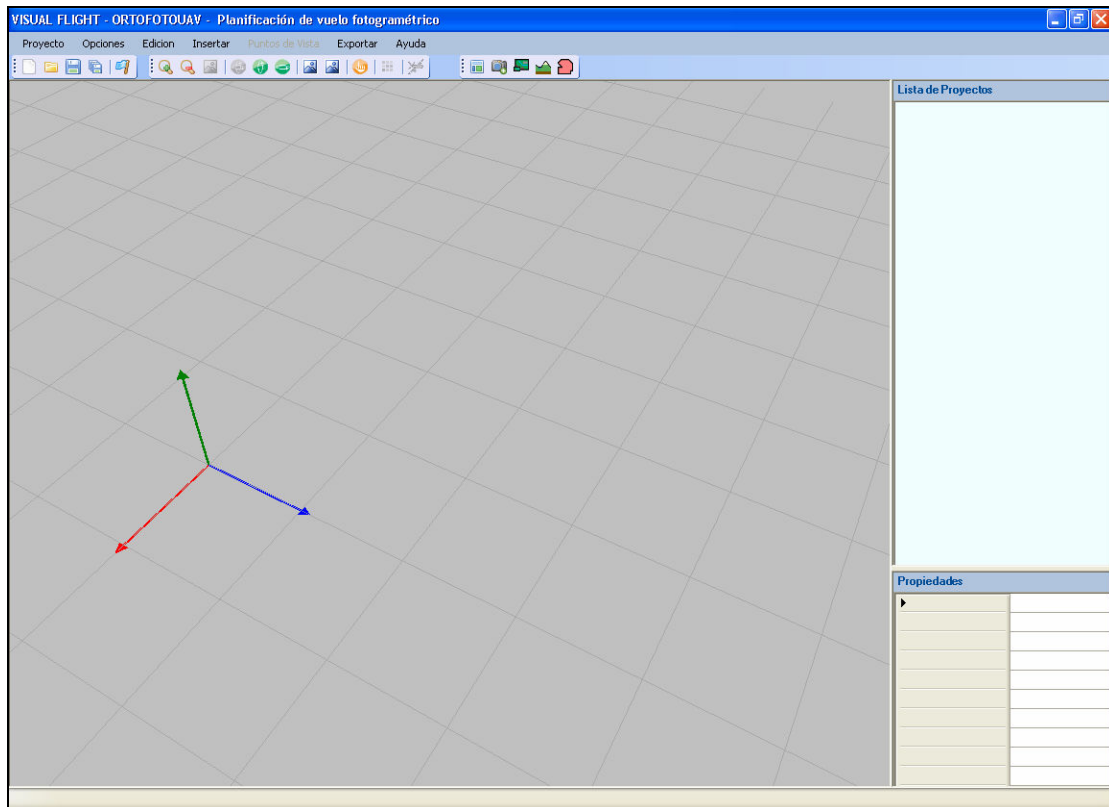


Figura 4: Interfaz de *FlightViewer*.

### 3.1 Características del programa

El software ofrece una serie de características, como las que se muestran a continuación:

- Es un software con una interfaz gráfica sencilla, de fácil utilización e intuitiva, de modo que el usuario que lo utilice no tiene que ser un experto en fotogrametría. Su principal característica reside en la visualización de los resultados con formas tridimensionales que facilitan la comprensión del proyecto de vuelo creado.
- Genera la planificación de manera automatizada, creando un mapa de vuelo con la trayectoria que ha de seguir el dispositivo aéreo y la posición de las tomas fotográficas en el espacio, con tal de generar modelos estereoscópicos perfectos.
- El software ofrece la posibilidad de insertar el modelo digital del terreno donde se encuentra el área de estudio que se desea levantar, y así disponer de un dato fundamental en cualquier planificación como son las alturas de las tomas fotográficas respecto al terreno.
- Se pueden introducir las características de cualquier cámara para llevar a cabo la planificación, ya sea una cámara analógica o digital.
- El software está implementado de modo que se puede calcular la planificación de un vuelo fotogramétrico que vaya a ser ejecutado por cualquier dispositivo aéreo, sin la exigencia de que sea un avión.

### 3.2 Datos de entrada

La creación de un proyecto de vuelo de modo automático no es una tarea sencilla, puesto que se han de aportar varios datos iniciales para que el resultado sea la mejor planificación posible. Por tanto, el software creado requerirá de los siguientes datos de entrada en sus respectivos formatos.

- Definición de los parámetros de la cámara que se empleará en el vuelo fotogramétrico, la distancia focal, la resolución, el tiempo de exposición, el formato de la película o tamaño del sensor, FMC o TDI, etc. De

este modo se puede calcular la planificación con cualquier tipo de cámara, ya sea analógica o digital, incluso se puede introducir cualquier cámara convencional que se pueda utilizar en vuelos fotogramétricos de baja altura.

- El cálculo automatizado de un proyecto de vuelo de precisión requiere de un modelo digital de elevaciones (MDE). La entrada del MDE se puede realizar de varias formas; en primer lugar se puede importar desde formato *grid*, siendo éste el formato de MDE más común; también se ofrece la posibilidad de importarlo desde un archivo *.x*, que es el formato del que dispone Microsoft para almacenar objetos 3D; por último, a partir de una nube de puntos, para ello se han implementado tres métodos diferentes (*interpolación por medias ponderadas por la distancia* o *Delaunay*)<sup>1</sup>, Fig. 5.
- Si se desea limitar una zona del terreno para el cálculo automático del proyecto de vuelo y poder abarcarla con el recubrimiento impuesto por el usuario, será necesario introducir los límites del área de estudio. Para ello, se han de conocer los puntos característicos de los límites, introduciéndolos de un modo manual (coordenadas XYZ) o a través de un archivo *.dxf* (formato CAD).

A estos datos de entrada se han de sumar una serie de condiciones necesarias para embaucar los cálculos de la planificación en una dirección u otra, así como especificaciones propias en cualquier proyecto de vuelo. En cuanto a las condiciones, se ha de indicar si la zona de estudio se encuentra en un terreno con desniveles pronunciados o por el contrario es un terreno llano, condición que se puede automatizar en futuros pasos a realizar en el software. Otra condición influirá en la dirección que debe llevar la línea de vuelo, de modo que se obliga a que las pasadas tengan la dirección que el usuario desee. En el caso de que no se marque esta condición, la dirección será la más conveniente para el recubrimiento de la zona de estudio con el menor número de pasadas posible. Por último, el programa puede calcular la velocidad conveniente del dispositivo aéreo en caso de que éste lleve montada una cámara que no disponga de ningún método para mantener una nitidez mínima en las imágenes resultantes, tales como FMC (*Forward Motion Compensation*) propio de cámaras aéreas analógicas, o TDI (*Time Delay Integration*) utilizado en cámaras digitales con sensores de estado sólido CCD o CMOS.

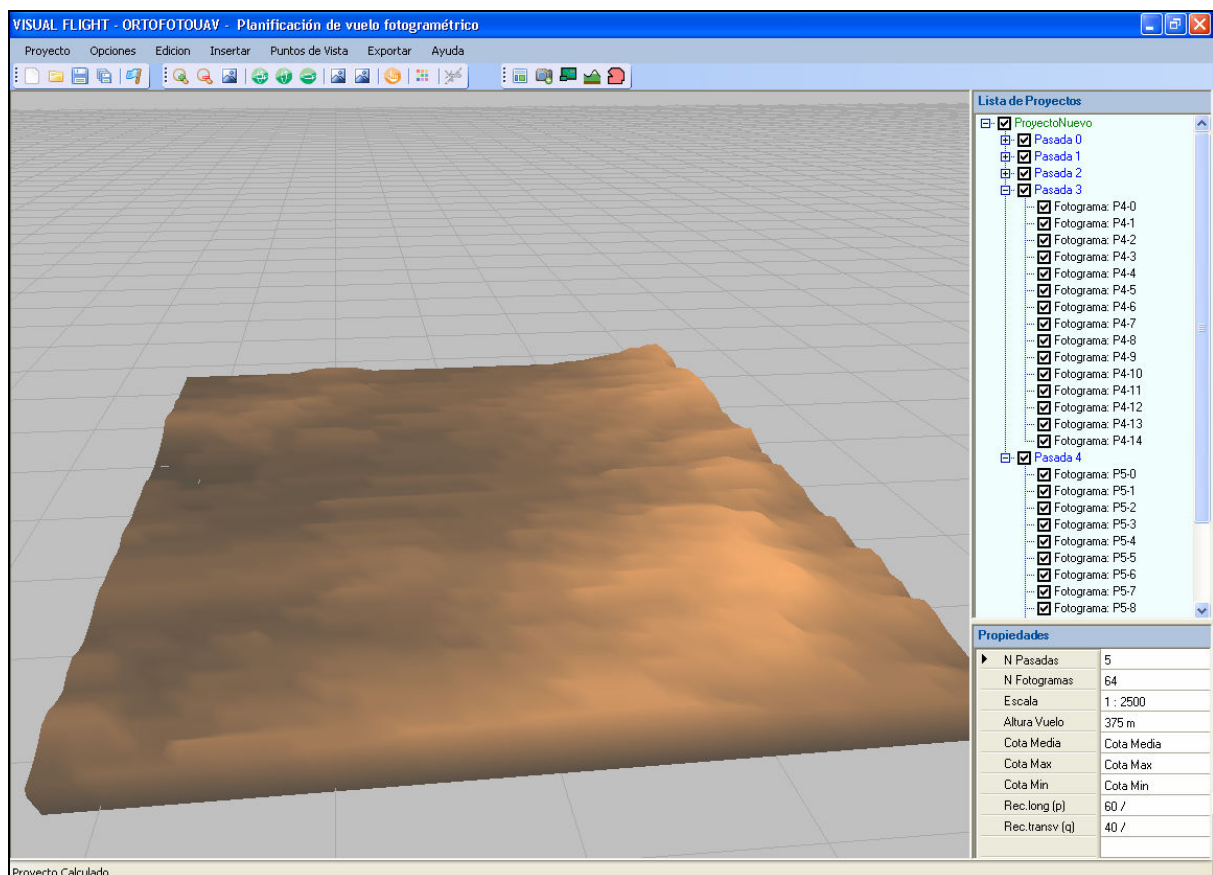


Figura 5: MDE utilizado en el proyecto de vuelo.

<sup>1</sup> Zhilin Li, Ping Zhu, and Christopher gold. 2005. Digital Terrain Modeling. Principles and methodology. CRC PRESS.

### 3.3 Salida de datos

La salida de datos es un aspecto muy importante en cualquier programa informático que genere un resultado a partir del cual se ha de basar el usuario para futuros trabajos. Se ha implementado una salida de datos que diferencia entre datos visuales y datos alfanuméricos.

Los datos visuales se exportan a varios formatos; el primero en un formato *script* que nos permite la visualización del proyecto de vuelo en AutoCAD; el segundo formato es el *.dxf*, que al ser un formato muy estándar se puede abrir en muchos programas informáticos dedicados al diseño asistido por ordenador; una tercera salida que se ofrece es crear una imagen *.jpg* de la visualización que se tenga en pantalla en el momento.

En las siguientes figuras se muestra la salida de los resultados de una planificación de vuelo fotogramétrico en una imagen *.jpg* (Figura 6) y en formato *.dxf* (Figura 7).

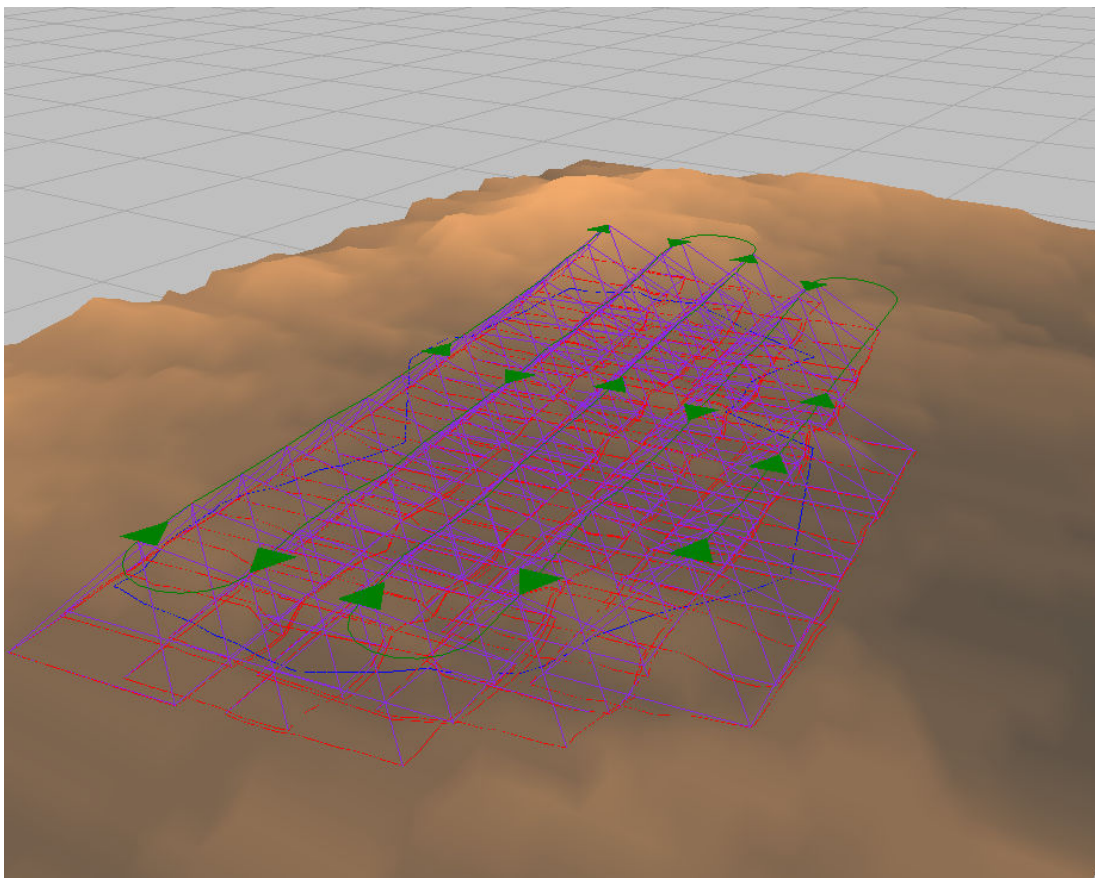


Figura 6: Salida de la planificación de vuelo en una imagen *.jpg*

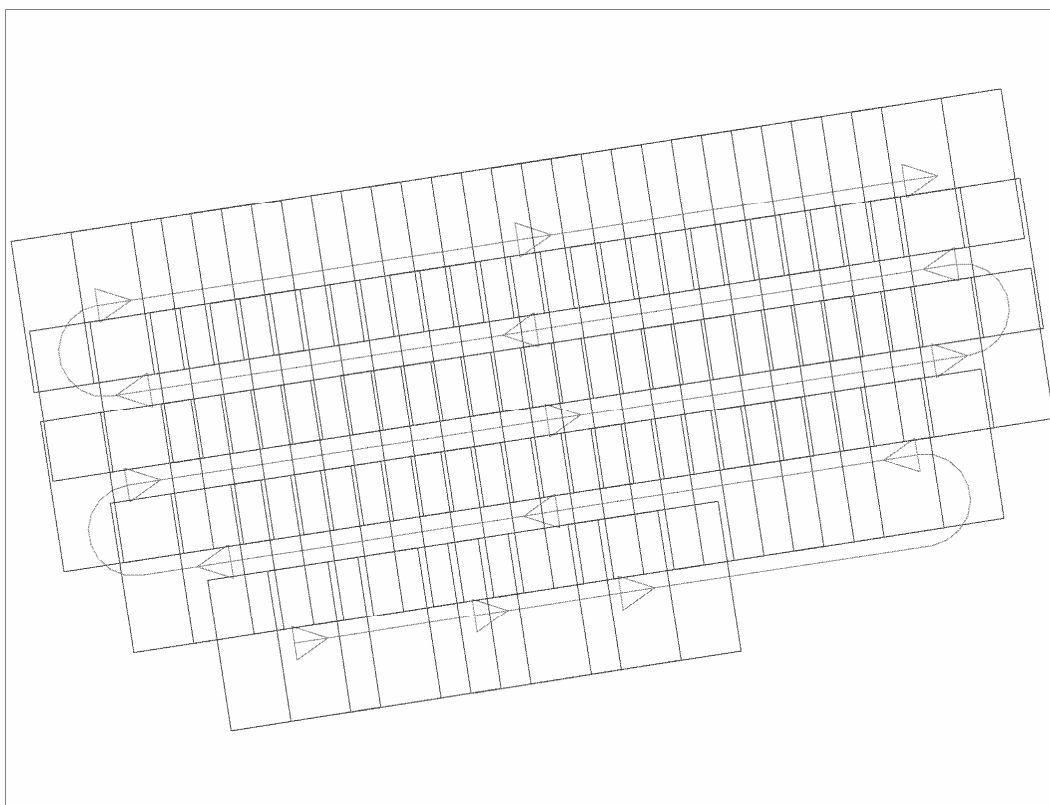


Figura 7: Salida de la planificación de vuelo en formato *.dxf*

La salida de los datos alfanuméricos se realiza en un fichero de texto donde se añade toda la información correspondiente al proyecto de vuelo, definiendo todas las especificaciones iniciales, las condiciones iniciales impuestas por el usuario y los resultados de los cálculos, como son las localizaciones de exposición de la cámara o las escalas de las imágenes que resultarán de la ejecución del vuelo.

### 3.4 Definición de un vuelo virtual

Esta herramienta nos brinda la posibilidad de simular la captura desde un dispositivo aéreo y recorrer de modo virtual la trayectoria planificada en el proyecto de vuelo siguiendo el punto de vista que tiene fijado la cámara. Por lo tanto, realizaremos un vuelo virtual antes de ejecutar el vuelo fotogramétrico real. Sin embargo, no ofrece ninguna información determinante acerca del proyecto, sino que simplemente da una información visual de éste, pudiendo quedar almacenada en un formato *.avi* de vídeo y con ello realizar presentaciones que sí que pueden servir de ayuda en algunos casos.

## 4 Conclusiones

En este documento se presenta un programa que facilita la generación automática de proyectos de vuelo fotogramétricos. Dicho software se caracteriza por la visualización tridimensional en pantalla de los proyectos generados y por su sencillez en el manejo y aprendizaje por parte de los usuarios. Cabe destacar también la posibilidad que ofrece el programa de integrar un modelo digital de elevaciones para realizar los cálculos de la planificación.

El software ofrece la posibilidad de realizar planificaciones de vuelo, independientemente del dispositivo aéreo que se vaya a emplear en la ejecución del mismo, con cualquier cámara fotográfica, analógica o digital, altura de vuelo y el tiempo de exposición de la cámara. Se ha de destacar que los cálculos empleados al planificar un vuelo varían su estructura dependiendo del dispositivo aéreo, del tipo de cámara (que lleve FMC o TDI, o no), y si el terreno es montañoso o llano. Todo ello condicionará la nitidez con la que se desea obtener las imágenes resultantes.

## 5 Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del proyecto UAV promovido por Sacyr SAU, que ha sido financiado en parte por el MITyC en la convocatoria PROFIT 2007, por el CDTI y por el CTA.

## Bibliografía

- American Society of Photogrammetry. 2004. Manual of Photogrammetry, Fifth Edition. ASPRS.
- Edward M. Mikhail, James S. Bethel and J. Chris MacGlone. 2001. Introduction to modern photogrammetry. John Wiley & Sons, Inc.
- Kraus, K. 1997. "Photogrammetry. Vol II". Bonn. Ümmler Verlag.
- Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt. 2000. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, 3<sup>rd</sup> edition. McGraw-Hill Higher Education.
- W. S. Warner, R. W. Graham and R. E. Read. 1996. Small format Aerial Photography. Whittles Publishing.
- Zhilin Li, Ping Zhu, and Christopher Gold. 2005. Digital Terrain Modeling. Principles and methodology. CRC PRESS.