

APLICACIÓN DE SENSORES FOTOGRAMÉTRICOS AEROTRANSPORTADOS DE MATRIZ LINEAL (ADS40/80) PARA LA CAPTURA DE INFORMACIÓN CATASTRAL EN ZONAS URBANAS

Alfonso Gómez Molina
Stereocarto, S.L. agomez@stereocarto.com

Francisco José Arjonilla Sampedro
Stereocarto, S.L. fjarjonilla@stereocarto.com

José Luis Pérez García
Universidad de Jaén. Grupo de Investigación Sistemas Fotogramétricos y Topométricos.
jlperez@ujaen.es

Jorge Delgado García
Universidad de Jaén. Grupo de Investigación Sistemas Fotogramétricos y Topométricos.
jdelgado@ujaen.es

RESUMEN: En este trabajo se analizan las ventajas fundamentales del empleo de sensores aerotransportados de matriz lineal (tipo Leica ADS) para la captura de información catastral en zonas urbanas. La propia geometría y el diseño de este tipo de sensores da lugar a importantes ventajas en la captura de información catastral en zonas urbanas. Así considerando los sensores actuales es posible la captura de información con tamaños de pixel del orden de 5cm, permitiendo la generación de imágenes de detalle con las ventajas adicionales de una continuidad de tono dentro de la imagen (que se corresponde con una pasada completa), la no necesidad de recurrir a procedimientos de pan-sharpening para la generación de imágenes con desplazamientos debido al relieve muy reducidos (pseudo true-orthos) si se considera la zona central de la imagen nadiral. El trabajo presenta diferentes ejemplos de imágenes capturados con el propio sensor disponible en la empresa Stereocarto sobre zonas urbanas para la captura de imágenes con vistas a la generación de cartografía de gran escala.

Palabras clave: Cartografía, Fotogrametría, Catastro, Captura de Información, Sensores lineales digitales.

1. INTRODUCCIÓN

En el mes de julio del 2000, se presentaron en el ISPRS Congress (Congreso de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección) los dos primeros modelos de cámaras digitales fotogramétricas aerotransportadas, la Leica ADS40 (Sandau et al., 2000) y la Z/I DMC (Hinz et al., 2000). Con la aparición de estos modelos a los que pronto se añadieron otras cámaras como la Vexcel Ultracam, se planteaba un nuevo esquema de producción fotogramétrica dentro de un flujo de trabajo completamente digital sustituyendo las cámaras convencionales de película y la posterior digitalización de los fotogramas, por la captura directa en formato digital con las ventajas en cuanto a calidad geométrica y radiométrica de las imágenes.

Tan sólo 10 años después el nivel de implantación de este tipo de cámaras permite el plantear que el empleo de las cámaras de película convencional ya ha pasado a la historia comenzando a ser testimonial. Eso ha servido para una importante revitalización del mercado de cámaras incrementando de una forma considerable el número de cámaras vendidas a nivel mundial en

torno a 14-20 cámaras al año, con un reparto de mercado entre los dos fabricantes, Leica y Zeiss, del 60% y 40%. De acuerdo con Büyüksalih (2005), el número de cámaras vendidas en el periodo 2000-2005 ascendía a 77 cámaras, planteando un número de 240 cámaras para el año 2010. En el año 2010, esa cifra ha sido alcanzada considerando las ventas acumuladas por sólo dos fabricantes (Intergraph y Microsoft-Vexcel) a los que habría que añadir las ventas de Leica.

Las dos cámaras presentadas en el año 2000 definen los dos conceptos básicos para este tipo de cámaras. La imposibilidad de disponer de sensores con una resolución equivalente a la proporcionada por la digitalización de los fotogramas de las cámaras de película, da lugar a dos soluciones diferentes (Fricker et al., 1999). Por un lado, las cámaras matriciales compuestas por varios sensores que capturan imágenes pancromáticas y multiespectrales de forma simultánea y que incorporan varios objetivos, como la Intergraph DMC y la Microsoft-Vexcel Ultracam; y, por otro lado, los sensores de matriz lineal, como por ejemplo, la cámara Leica ADS40/80 en la que se centra este trabajo.

2. SENSORES FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES DE BARRIDO: EL SENSOR ADS40/80

El sensor ADS40 fabricado por la casa Leica Geosystem es un sensor lineal, multiespectral aerotransportado que comenzó a comercializarse en el año 2000. El sensor, posee una distancia focal de 62.7 mm, un tamaño de píxel en el CCD de 6.5 x 6.5 μm , un ángulo de visión de 64° perpendicular a la dirección de vuelo y una resolución radiométrica de 12 bits. El esquema de captura de las imágenes pasa por el empleo de sensores con diferente orientación: vista anterior, nadiral y posterior (figura 1). En función del tipo de sensor, los ángulos de inclinación y las bandas en las que se recoge la información en cada vista varían. En la actualidad coexisten tres sensores diferentes, uno de primera generación, SH40, dos más avanzados denominados de segunda generación: SH51 y SH52, que incorporan los últimos desarrollos en ópticas, mecánica y componentes electrónicos. Estos sensores incorporan un sistema de separación de los canales en función de su longitud de onda en cinco bandas diferentes: pancromática, rojo, verde, azul e infrarrojo próximo. El sensor SH52 incorpora un total de 12 líneas paralelas: 4 líneas pancromáticas (delantera, una doble en el nadir y trasera), 4x2 sensores -nadirales y traseros- (rojo, verde, azul e infrarrojo) que dan lugar a imágenes estereoscópicas tanto en color real como en infrarrojo color y pancromático, sin necesidad de recurrir a procesos de integración de imágenes (pan-sharpening). Estos nuevos sensores también incorporan importantes mejoras mecánicas en el diseño de la cámara y un sistema más rígido y compacto para la integración del sistema inercial permitiendo al propio usuario la elección del sistema.

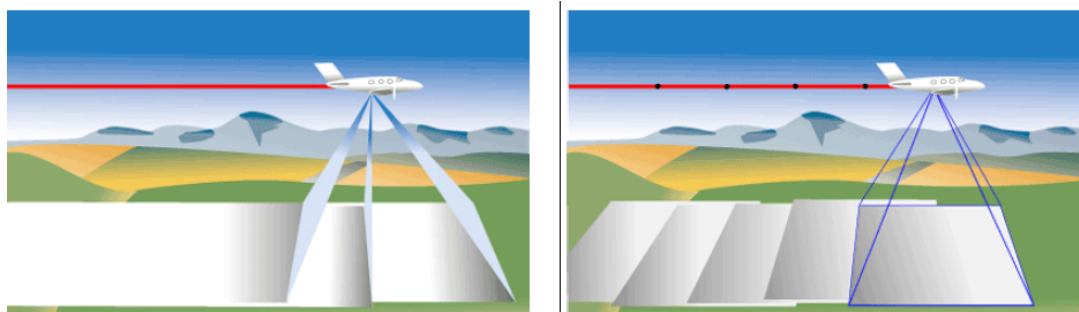


Figura 1. Izq: Modelo de captura de imágenes mediante sensor lineal de barrido –tipo Leica ADS40/80-; Dcha: Modelo de captura mediante cámara convencional de película.

Otra importante mejora incorporada al sensor es el empleo de un modelo de sensor mucho más sencillo que reduce la distorsión local, permitiendo un esquema de vuelo más sencillo

permitiendo la calibración del sistema por el propio usuario a través de procedimientos de autocalibración mediante ajuste de haces (Saks y Tempelmann, 2008). Esto permite la captura de imágenes con tamaño de píxel sobre el terreno inferior a 5 cm. De acuerdo con el mismo esquema recientemente Leica ha presentado un nuevo modelo denominado Leica ADS80 que incorpora los mismos sensores SH51 y SH52, rebautizados como SH81 y SH82.

La resolución espectral es de cinco canales en las bandas roja, verde, azul e infrarroja del espectro electromagnético y un canal pancromático que recoge información en todas las bandas anteriores. Una de las principales características de este sensor es que las bandas en las que captura la información tienen una forma prácticamente rectangular y no tienen recubrimiento (a diferencia de otros sensores aerotransportados) (figura 2) (Markelin et al., 2008).

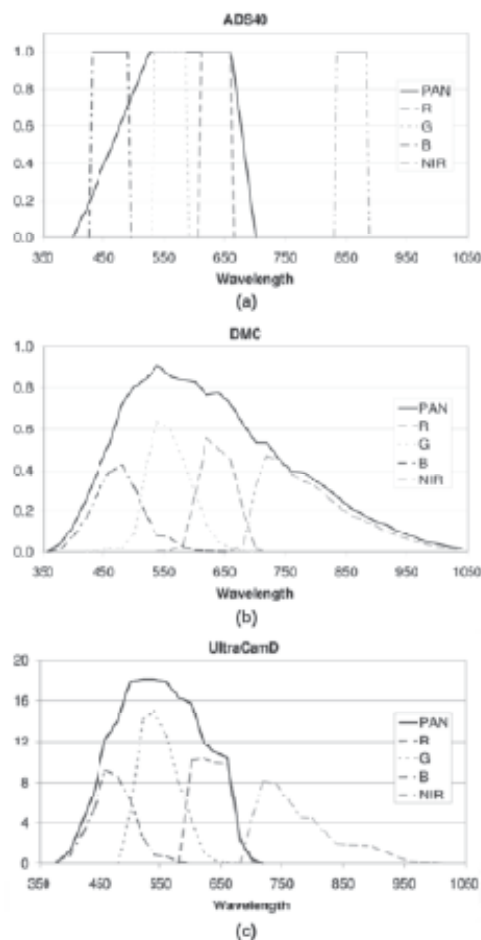


Figura 2. Sensibilidad espectral de los sensores fotogramétricos digitales. a) Leica ADS40 (valores nominales), b) Intergraph DMC (valores nominales), c) Microsoft-Vexcel UltraCam-D (eficiencia en %).

Estas características radiométricas y espectrales de este sensor, en particular, la separación de los canales espectrales y la no necesidad de integración de imágenes pancromáticas y multispectrales para generar imágenes de alta resolución sitúan al sensor ADS40/80 como un sistema óptimo para el desarrollo de aplicaciones cartográficas convencionales, para la utilización de las imágenes en aplicaciones propias de la teledetección (Beisl, 2006).

3. COMPARACIÓN CON OTROS SENSORES FOTOGRAMÉTRICOS

Las principales ventajas del sensor Leica ADS40/80 vienen derivadas de su propia configuración de sensor, así los sensores lineales por su geometría de captura, presentan diferencias significativas con los sensores de tipo matricial que dan lugar a importantes ventajas en la información capturada. Así, la primera diferencia está en la forma de capturar la información. En el caso de los sensores matriciales de alta resolución, con cada disparo se captura un conjunto de imágenes que posteriormente son fusionadas para generar una imagen digital de alta resolución. En el caso de las cámaras matriciales de alta gran formato, el sensor está formado por cuatro cámaras multispectrales y, al menos, cuatro cámaras pancromáticas, siendo la resolución de la imagen pancromática cuatro veces superior a la de las imágenes multispectrales. A partir de todas estas imágenes se genera una imagen virtual con geometría cónica, similar a la capturada por una cámara fotogramétrica analógica. Para ello, en una primera fase se genera una única imagen pancromática por combinación de las cuatro imágenes capturadas por el sensor y, posteriormente, se realiza un proceso de pan-sharpening entre las imágenes multispectrales y pancromáticas para obtener imágenes multispectrales con la resolución del pancromático.

Por su parte los sensores lineales realizan una captura continua de información de modo que cada línea capturada tendrá su propia orientación externa. En el caso del sensor ADS40 la captura se realiza con 3 ángulos de visión diferentes, una vista nadiral, una vista hacia delante con un ángulo de 27° y una vista hacia detrás con un ángulo de 14°. Esto implica que el 100% del terreno capturado estará presente en las tres vistas (figura 1).

La captura de los tres ángulos de vista supone una gran ventaja en cartografía urbana al reducir los ocultamientos en el sentido de vuelo. Para cada edificio tendremos una vista antes de que el avión llegue a la posición del edificio, una segunda vista cuando el avión se encuentre sobre él y una tercera vista cuando el avión deje atrás el edificio (figura 3). Todas las vistas pueden utilizarse de forma combinada para generar los pares estereoscópicos, pudiendo para una misma zona utilizar ángulos estereo de 14°, 27° o 41°.



Figura 1. Ejemplo de diferentes vistas de un mismo objeto. De izquierda a derecha vista frontal, nadiral y posterior. La imagen pertenece a un vuelo del núcleo urbano de Amurrio con GSD de 7cm.

Otra gran ventaja derivada de la geometría de captura es la ausencia de abatimientos en la vista nadiral en la dirección del vuelo, lo que supone, que al menos en esta dirección se podrá obtener true-ortho. Empleando suficiente recubrimiento transversal (>55%) las ortofotografías generadas pueden ser consideradas true-orthophotos (figura 4).



Figura 4. Ejemplo de imagen de captura nadiral sobre una zona urbana en la que se puede observar como los desplazamientos como consecuencia del desplazamiento debido al relieve son prácticamente inapreciables. (Vuelo realizado con ADS40 sobre la ciudad de Ávila con un GSD=10cm).

Entre las ventajas de la utilización del sensor ADS40 en catastro urbano cabe destacar las siguientes:

- Captura:
 - Imagen multispectral sin necesidad de pan-sharpening.
 - Bandas de captura en los canales multispectrales sin solape.
 - Imagen sin abatimiento en la dirección de la pasada.
 - Mínimo de 3 puntos de vista diferentes (posterior-nadiral-anterior) garantizados para cada punto.
- Restitución:
 - 3 puntos de vista diferentes para cada objeto:
 - Reduce la posibilidad de ocultamientos
 - Facilita la interpretación de los elementos por parte del operador
 - Restitución de pasadas completas:
 - No es necesario cambiar de modelo para restituir la pasada
 - No es necesario enlazar los elementos restituidos en diferentes modelos
 - Reducción de los tiempos de trabajo
- Ortofotografía:
 - Imágenes sin abatimiento en la dirección de la pasada.
 - Pseudo-trueortho.
 - Pasadas continuas:
 - No es necesario mosaicar entre modelos en la dirección del vuelo.

- Color homogéneo en toda la pasada.
- Reducción de los tiempos de producción.

4. Flujo de trabajo con el sensor ADS40

En la figura 5 se muestra el algoritmo completo de flujo de trabajo con el sensor Leica ADS40. El flujo de trabajo comienza con la planificación y la ejecución de la misión del vuelo, tras lo cual se consideran dos etapas bien diferenciadas, por un lado el análisis de la información proporcionada por los sensores de posicionamiento y de orientación (GPS/INS) y la otra es el propio ajuste del bloque, como etapa previa para el empleo de las imágenes para su explotación en los sistemas fotogramétricos digitales (figura 5).

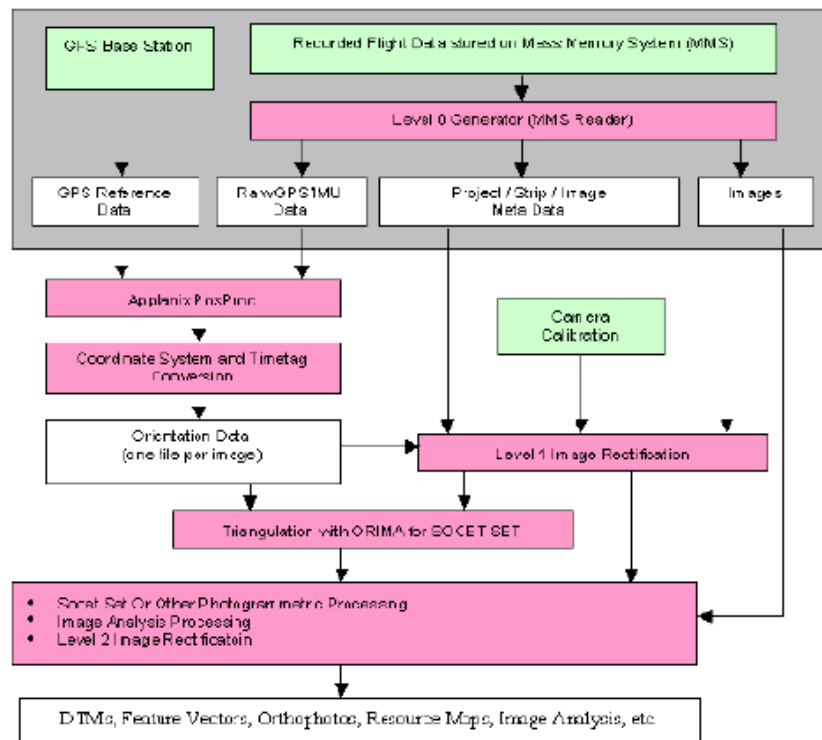


Figura 5. Diagrama de flujo de trabajo con la cámara Leica ADS40/80.

4.1. Planificación de las misiones de vuelo

En función de las características del proyecto de vuelo y de las prescripciones impuestas por el pliego de condiciones técnicas que rige los trabajos, se realiza la planificación del vuelo fotogramétrico. En caso de optar por un vuelo combinado con el sensor ADS40 y Lídár la planificación se adaptará para que ambos sensores cumplan con las especificaciones del trabajo a realizar. Durante la fase de planificación se establecen cada una de las líneas de vuelo, para ello es necesario disponer de los límites del trabajo a realizar y de un modelo digital del terreno sobre el que proyectar las pasadas de vuelo para calcular el GSD y recubrimiento transversal real en cada punto.

En esta primera fase de trabajo se debe planificar también la situación de las estaciones de referencia que se emplearán para el cálculo de la trayectoria GPS.

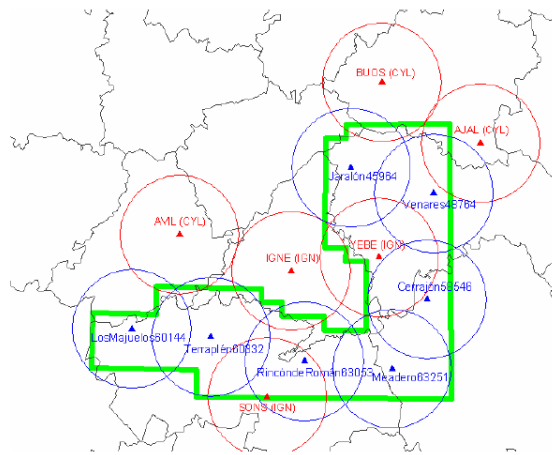


Figura 6. Ejemplo de planificación de estaciones GPS de referencia. Se combinan estaciones permanentes (en rojo) con estaciones específicas para el proyecto (en azul).

4.2. Captura de información

La fase de captura comienza cuando el equipo de vuelo recibe la planificación realizada en gabinete. Ésta es integrada en el sistema de navegación de la aeronave. En esta fase se realiza el vuelo fotogramétrico y se captura la información que será almacenada en el sistema de almacenamiento MM40 y posteriormente enviado a gabinete para su procesamiento.

4.3. Postproceso

Cálculo de la trayectoria GPS/INS

El cálculo de la trayectoria se realiza en dos fases. En la primera de ellas, se calcula la trayectoria de la aeronave a partir de los datos capturados por el sistema GPS, para ello se utilizan estaciones de referencia en tierra que permiten la realización del cálculo en modo diferencial. Posteriormente se integra la trayectoria calculada con la información capturada por el sistema inercial, obteniendo de este modo los parámetros de orientación externa del sensor en el momento de la captura.

Para poder emplear los parámetros de orientación externa, de esta forma calculados, en la orientación directa de los sensores es necesario tener perfectamente calibrados los valores de desalineamiento entre el sistema de referencia cámara y el sistema de referencia del inercial. Para ello se realizan vuelos de calibración con la configuración especificada por el fabricante del sistema y posteriormente, por medio de una aerotriangulación se calculan los valores del desalineamiento, que serán aplicados hasta la realización de una nueva calibración.

Obtención de imágenes

En el sistema ADS40 se diferencian tres tipos de imágenes en función del nivel de procesamiento: nivel L0, L1 y L2.

Las imágenes L0 son las de nivel más bajo de procesamiento. Son imágenes con la propia geometría de captura del sensor, por lo que presentan las deformaciones por los movimientos de la aeronave.

Las imágenes L1 son las siguientes en nivel de procesamiento. En este caso se trata de las imágenes L0 rectificadas a un plano, generalmente el plano medio de vuelo, y corregidas de las deformaciones a partir de los parámetros de orientación externa calculados por el GPS/INS.

Las imágenes L2 son imágenes ortorrectificadas empleando un modelo digital de elevaciones y los parámetros de orientación externa calculados por el sistema GPS/INS o ajustados mediante aerotriangulación. Estas imágenes se pueden obtener a partir de la ortorrectificación de las imágenes L0 ó L1.

5. EJEMPLO DE PROYECTO CON SENSOR ADS40

A modo de ejemplo, se presenta a continuación el vuelo fotogramétrico con el sensor ADS40 realizado sobre el núcleo urbano de Collado Villalba (Madrid).

5.1. Descripción general del proyecto

Las características básicas del proyecto son:

- Objeto: Realización de un vuelo fotogramétrico digital de muy alta resolución en el término municipal de Collado Villalba.
- Superficie: 3.000 has
- Productos:
 - Imagen digital: procesada hasta el nivel L1

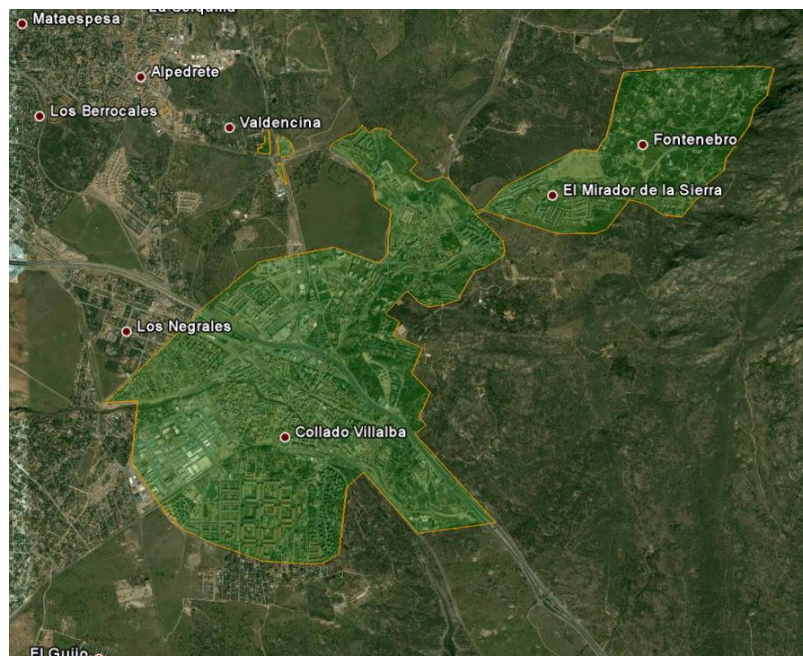


Figura 7. Área de interés en el proyecto ADS40 Collado Villalba

5.2. Medios y metodología

Para la realización del proyecto se ha contado con los siguientes equipos:

- Aeronave: Cessna-402 dotada con doble ventana fotogramétrica.
- Cámara fotogramétrica: ADS40-SH52

Metodología

Fase I. Planificación

A partir del límite de la zona de vuelo y considerando los aspectos técnicos del pliego de prescripciones técnicas que rige los trabajos, se ha procedido a realizar la planificación del vuelo fotogramétrico con el sensor de barrido lineal ADS40.

A continuación se detallan las características básicas de la planificación, indicando la parametrización del sensor.

Tabla 1. Resumen de planificación en el proyecto ADS40 Collado Villalba.

Área del proyecto	
Lugar	Término Municipal de Collado Villalba
Superficie	3000 has
Parámetros de captura zona de proyecto	
GSD medio	10 cm
Cota media del terreno	900 m
Altura de vuelo media AGL	964 m
Altura de vuelo media AMSL	6.000 ft
Número de pasadas	7
Recubrimiento transversal medio	40%
Dirección	214°
Longitud de pasada media	7000 m
Longitud total de las pasadas	49890 m
Anchura de pasada medio	3000 m
Canales capturados	<input checked="" type="checkbox"/> PANF27A <input type="checkbox"/> PANF02B <input checked="" type="checkbox"/> PANF02A <input checked="" type="checkbox"/> REDN00A <input checked="" type="checkbox"/> GRNN00A <input checked="" type="checkbox"/> BLUN00A <input checked="" type="checkbox"/> NIRN00A <input checked="" type="checkbox"/> PANB14A <input checked="" type="checkbox"/> REDB16A <input checked="" type="checkbox"/> GRNB16A <input checked="" type="checkbox"/> BLUB16A <input checked="" type="checkbox"/> NIRB16A
Tipo de compresión Clases predefinidas	<input checked="" type="checkbox"/> Standard <input type="checkbox"/> Raw data <input type="checkbox"/> Special <input type="checkbox"/> Economic <input type="checkbox"/> High Compression
Estaciones de referencia GPS	<input type="checkbox"/> Estaciones in-situ <input checked="" type="checkbox"/> Estaciones existentes: IGNE

Como estación de referencia para el cálculo de la trayectoria GPS/INS se ha empleado la estación permanente IGNE situada a menos de 40 km de la zona de trabajo.

Previamente a la ejecución del vuelo fotogramétrico sobre el término de Collado Villalba, se realizó un vuelo de calibración mediante el cual se ajustaron los valores de las desalineaciones angulares entre los sensores cámara e inercial.

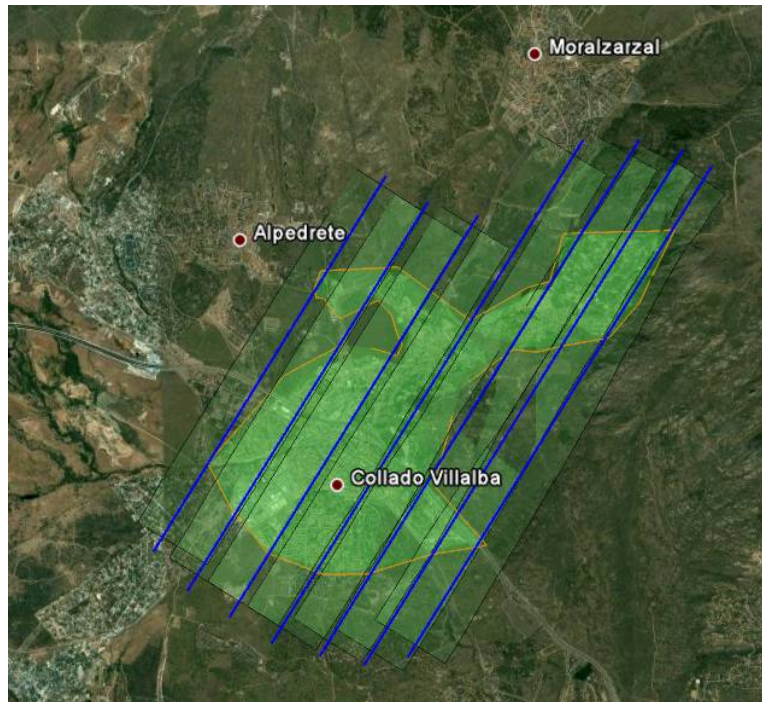


Figura 8. Gráfico de planificación.

5.3. Ejecución del vuelo

Para la ejecución del vuelo fotogramétrico se solicitaron los permisos necesarios a Aviación Civil y al Consejo Superior Geográfico, cumpliendo con la normativa vigente.



Figura 9. Vista general del núcleo urbano de Collado Villalba formada con las imágenes L1.

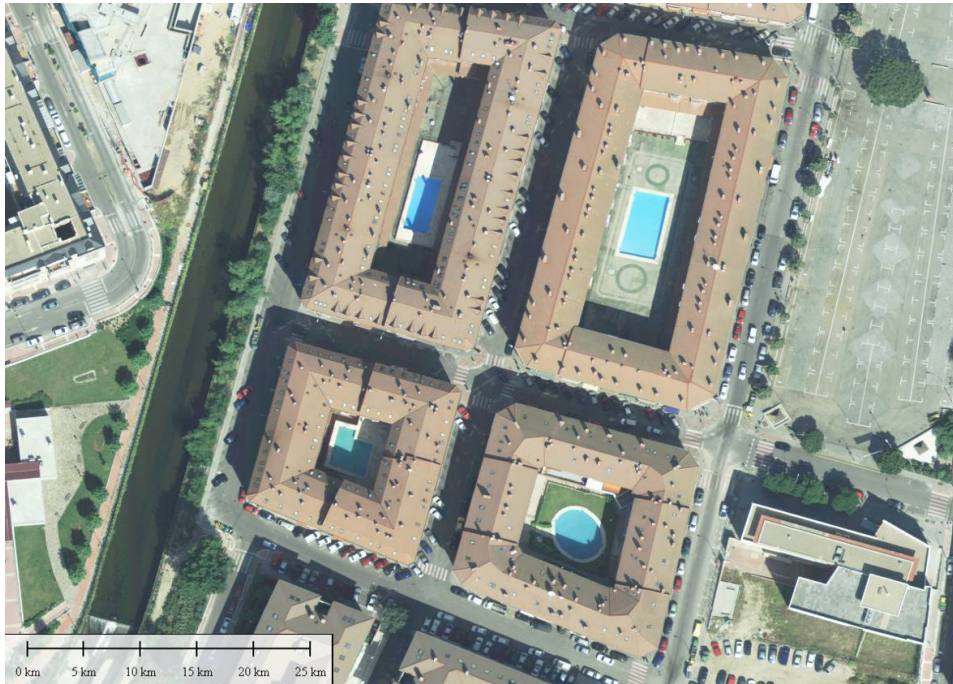


Figura 10. Ejemplo de vista nadiral.



Figura 11. Ejemplo de vista posterior.

El tiempo aproximado de vuelo sobre la zona de trabajo fue de 40 minutos, tiempo en el que se capturaron las 7 pasadas planificadas.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizan las diferentes ventajas derivadas del empleo de sensores lineales de barrido (tipo Leica ADS40/80) para la generación de productos cartográficos urbanos con fines catastrales, en particular, cartografía de restitución y de una forma muy especial, ortoimágenes verdaderas. El elevado rendimiento de este tipo de sensores y las ventajas derivadas de la captura de imágenes continuas en cada pasada facilitan todas las tareas derivadas de la generación de mosaicos (sólo es necesaria la definición de empalmes entre pasadas pero no entre fotogramas dando una gran continuidad geométrica y radiométrica a las imágenes finales) y a la propia rectificación (a partir de las imágenes nadirales los desplazamientos debido al relieve representan valores muy bajos).

7. REFERENCIAS

Beisl, U., (2006). Absolute spectroradiometric calibration of the ADS40 sensor. *Proc. ISPRS Comm. I Symposium*, Paris, July 2006, 21 p.

Hinz, A.; Dröstel, C.; Heier, H. (2000). Digital Modular Camera: System Concept and Data Processing Workflow. *IAPRS, Vol. XXXIII*, Amsterdam, 2000.

Markelin, L.; Honkavaara, E.; Peltoniemi, J.; Ahokas, E.; Kuittinen, R.; Hyypä, J.; Suomalainen, J.; Kukko, A. (2008). Radiometric Calibration and Characterization of Large-format digital photogrammetric sensors in a test field. *PE&RS*, 74(12): 1487-1500.

Saks, T.; Tempelmann, U. (2008). ADS40 system with new sensor heads – key to the simplified model for selfcalibration and extended user benefits; *EuroCOW 2008*, Barcelona.

Sandau, R.; Braunecker, B.; Driescher, H.; Eckardt, A.; Hilbert, S.; Hutton, J.; Kirchofer, W.; Lithopoulos, E.; Reulke, R.; Wicki, S. (2000). Design principles of the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. *IAPRS, Vol. XXXIII*, Amsterdam, 2000.