

# Restauración de cartografía antigua mediante procesado de imagen. Producción Ortofotografía Histórica.

Silverio García Cortes<sup>(1)</sup>, Oscar Cuadrado Méndez<sup>(2)</sup>, David Díaz Álvarez<sup>(1)</sup>, Diego González Méndez<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Explotación de Minas. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós. 3360.0 Mieres. [sgcortes@uniovi.es](mailto:sgcortes@uniovi.es)

<sup>(2)</sup> Servicio de Cartografía, Gobierno del Principado de Asturias (SCPA). C/Coronel Aranda S/N. 33071. Oviedo.

## Resumen

Desde mediados del siglo pasado, las diferentes administraciones públicas han venido realizando diferentes vuelos fotográficos, con el objeto de cubrir todas aquellas necesidades de los diferentes departamentos en los que se estructuran dichas administraciones [1][2]. El gran valor que tiene dicha documentación, de cara a salvaguardar tanto los intereses de la administración pública como los del administrado está suficientemente demostrada y avalada por diferentes proyectos autonómicos y nacionales como puede ser el proyecto PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) Histórico.

El objetivo de este proyecto ha sido desarrollar una metodología que permita la producción asistida de ortofotografía histórica con herramientas fotogramétricas de última generación, minimizando el personal implicado en las fases manuales del proyecto, así como la reducción de tiempos de producción.

Se han realizado diferentes ensayos de nuevas herramientas fotogramétricas basadas fundamentalmente en técnicas SFM (structure from motion), con sus orígenes en la visión por computador, haciendo que se abran nuevas posibilidades que agilicen los procesos de producción de ortofotografía histórica. Herramientas comerciales como Smart3DCapture, 3DFlow, Autodesk 123D, Photoscan Pro, Pix4d, o herramientas de software libre como Bundler, VisualSFM, paquetes como OpenCV o librerías de Matlab [3] permiten acelerar los procesos de producción, al menos en la fase de orientación relativa, pero seguimos teniendo el problema de la identificación manual de puntos de control con el objeto de controlar todas las variables de un ajuste en bloque: aberraciones de la cámara desconocida, deformaciones de película y de escaneado, entre otras.

Gracias al procesado digital de los productos cartográficos históricos ya existentes, generados a partir de los vuelos fotogramétricos objeto de ortorectificado, se facilitan las tareas de identificación de puntos de control en productos cartográficos actuales de mayor resolución, permitiendo agilizar dichos procesos, así como la mejora en la determinación de los parámetros de calibración de las cámaras, en muchas ocasiones desconocidos.

Mediante la metodología desarrollada se pretende iniciar procesos de producción más ambiciosos de cara a completar los productos cartográficos disponibles en los diferentes organismos cartográficos.

## Summary

Since the middle of the last century, public administrations have been conducting photographic flights in order to meet the needs of a variety of different departments. The great value of such documentation is safeguarded and supported by a number of regional and national projects such as the PNOA (National plan of Aerial Orthophotography) Historical Project

The aim of this project was to develop a methodology for the production of orthophotographs based on historical photographs using the latest photogrammetric tools in order to minimize the personnel involved in the manual phases of the project as well as to reduce production times.

There have been several tests of new photogrammetric tools based mainly on techniques such as SFM (structure from motion), with its origins in computer vision, creating new possibilities to streamline the production process as a whole. Commercial tools like Smart3D capture, 3D flow, Autodesk 123D, Photoscan Pro, Pix4d, in addition to free software tools like Bundler, VisualSFM, OpenCV or Matlab libraries allow for the acceleration of the production process in the relative orientation phase. However, the problem of manual identification of control points in order to control all of the variables of an adjustment block, camera aberrations, film deformation and scanning, among others, still remain.

Thanks to the digital processing of existing historical cartographic products generated from photogrammetric flights using orthorectified lenses, the task of identifying checkpoints in current cartographic products of higher resolution are provided which help determine the calibration parameters of unknown cameras.

Using this methodology, our intention is to initiate an ambitious project in order to complete the cartographic products available from different cartographic agencies.

## Palabras clave

Tratamiento digital de imagen (TDI), Structure from motion (SFM), nubes de puntos densas, Open Source, reconstrucción 3D, INSPIRE

## Antecedentes

Desde mediados del siglo pasado se han venido realizando en nuestro país diferentes vuelos fotográficos, con fines fotointerpretativos inicialmente y fotogramétricos más tarde, con el objeto de cubrir las diferentes necesidades administrativas. Los fines militares iniciales (vuelo USAF) fueron sustituidos por otra serie de necesidades de una España que estaba recuperándose tras la guerra civil, con numerosas lagunas en lo que a cartografía se refería.

Catastro [4], medio ambiente, minería e industria, concentraciones parcelarias, explotaciones forestales, trazados de carreteras, planeamiento urbanístico, ordenamiento costero bancos de tierras, cartografía topográfica, todos estos ámbitos requerían de una cartografía de base, que a su vez necesitaba de un vuelo fotogramétrico para la restitución y posterior edición de la correspondiente cartografía.

Cada uno de estos vuelos ha estado depositado en diferentes archivos de la administración, incluida la asturiana, siendo la recuperación, archivo y distribución de todos ellos uno de los objetivos principales en la actualidad del Servicio de Cartografía del Principado.

El gran valor histórico que tiene esta documentación [5] ha sido la razón fundamental por la que, se esté intentando escanear todos los negativos (o positivos en el caso de que no existieran los primeros) poniendo toda esta información a disposición de los ciudadanos y Administraciones Públicas que lo puedan necesitar. Este esfuerzo no es exclusivo de esta administración regional [1], [2]. A través del Consejo superior Geográfico se lleva trabajando desde hace unos años en lo que ha pasado a denominarse PNOA Histórico, proyecto en el que también se encuentra involucrada esta administración autonómica. En una segunda fase se pretende afrontar la producción de ortofotografía histórica de todos y cada uno de estos vuelos, de manera que facilite otro tipo de tareas como el análisis de la evolución del territorio, la publicación en los diferentes geoportales autonómicos y nacionales y sobre todo, el libre acceso a la información espacial, siguiendo las directrices europeas de INSPIRE.

Este tipo de proyectos son más complejos de lo normal, dado que en la mayoría de las ocasiones no disponemos de datos de partida como son el certificado de calibración de las cámaras empleadas, los originales no se conservan en un estado adecuado para su digitalización, se ha perdido algún negativo, el escáner empleado para la digitalización de los fotogramas no era fotogramétrico con la estabilidad y control de distorsión de este tipo de instrumentos, metodologías de escaneado empleadas (normalmente realizadas por personal no cualificado), etc.

En la mayoría de las pruebas previas realizadas, bien por otros grupos de trabajo [6], en esta misma universidad o en el propio Servicio de Cartografía [7] se ha podido comprobar que con un número elevado de puntos de apoyo fotogramétrico (puntos obtenidos a partir de cartografía con mayor resolución de la que queremos generar) es posible corregir gran parte de estas deficiencias.

Sin embargo este aumento de puntos de apoyo, siendo en ocasiones un número similar a los necesarios en los albores de la fotogrametría (zonas de Von Gruber) hace que los trabajos requieran de un esfuerzo humano considerable, lo que nos coloca en una situación completamente desfavorable, dado que las administraciones públicas en estos momentos no disponen de los medios humanos necesarios para poder asignar a este tipo de proyectos, a la par que unos presupuestos recortados que imposibilitan la contratación de asistencias técnicas externas.

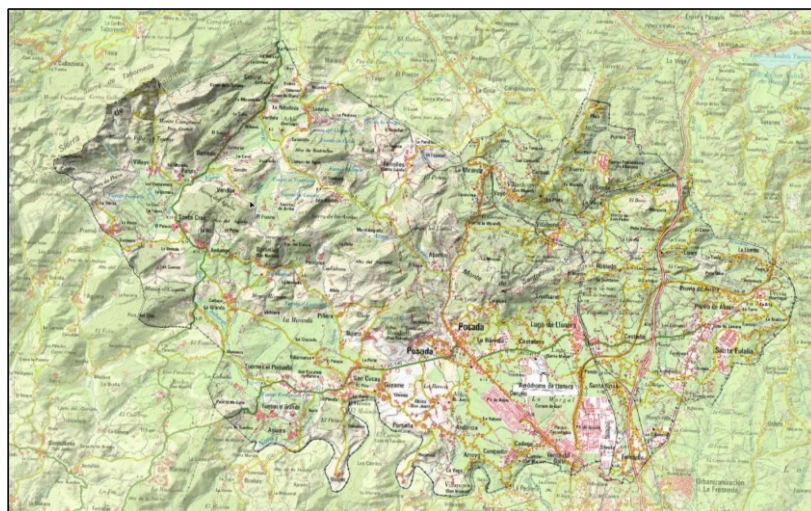
La aparición de nuevas herramientas fotogramétricas empleando técnicas como la SFM (structure from motion) con sus orígenes en la visión por computador hacen que se abran nuevas posibilidades que agilicen los procesos de producción de ortofotografía histórica. Herramientas comerciales como Smart3DCapture, 3DFlow, Autodesk 123D, Photoscan Pro, Pix4d, o herramientas de software libre como Bundler, VisualSFM, paquetes como OpenCV o librerías de Matlab permiten acelerar los procesos de producción, al menos en la fase de orientación relativa, pero seguimos teniendo el problema de la identificación manual de puntos de control con el objeto de controlar todas las variables de un ajuste en bloque: aberraciones de la cámara desconocida, deformaciones de película y de escaneado, entre otras.

## Objetivos

El objetivo fundamental de este proyecto es proponer una metodología de trabajo, en la que a partir de los productos cartográficos existentes en el Servicio de Cartografía (SCPA), resultantes del vuelo fotográfico encargado por el Servicio Hidroeconómico de la antigua Diputación Provincial de Oviedo (imágenes originales de 1968 y producto derivado, cartografía 1:5.000 en soporte analógico) se pudiera agilizar el proceso de selección de puntos de control. Igualmente contamos con un vuelo PNOA actual (2009) sobre el que obtener puntos de control para la aerotriangulación del vuelo de 1970. En una primera fase se ha conseguido avanzar un paso en lo que respecta a la automatización de zonas de búsqueda asistida de puntos de control, quedando pendiente el desarrollo de software que permita una identificación asistida entre los puntos de control en la nube densa y los fotogramas del vuelo, así como la gestión de una base de datos de puntos de control.

Como resultado de los trabajos se ha obtenido una serie de imágenes a través del filtrado y tratamiento digital de imágenes de la cartografía 1:5.000 existente, así como la creación de una nueva serie de ortofotomapas a escala 1:10.000,

El estudio realizado se ha centrado en un área coincidente con la superficie del Concejo de Llanera, en la zona central de Asturias



*Fig. 1 Área de trabajo*

## Metodología

Como fase previa, se ha realizado la digitalización de las hojas correspondientes a la cartografía 1:5.000 producida por el Servicio Hidroeconómico de la Excelentísima Diputación Provincial de Oviedo del año 1970. A partir de dichas imágenes se ha procedido a la extracción de información de interés en la que nos queremos apoyar para la producción de nuestras ortofotografías. En nuestro caso se trata de las edificaciones existentes en el concejo de Llanera, resultantes de la

restitución (realizada manualmente por operador) de los fotogramas de dicho vuelo fotogramétrico y representadas el mapa topográfico de 1970.

Para ello se ha realizado un trabajo de tratamiento digital de imágenes (TDI) en el cual obtenemos de forma automática la información de interés (en nuestro caso serán las edificaciones) de la cartografía 1:5.000 del año 1970. En este proceso se realiza una restauración y georreferenciación de dicha cartografía de forma automática y se obtiene un archivo en formato vectorial de las edificaciones, el cual usaremos para la focalización de búsqueda de puntos de control (denominamos punto de control al punto obtenido sobre producto cartográfico, no directamente sobre el terreno) que serán utilizados en la aerotriangulación del vuelo de 1970.

Finalizada la fase de digitalización de las hojas, y obtenido los archivos en formato “.jpg” de cada una de ellas, hemos buscado la forma de automatizar una restauración del color puesto que, a consecuencia de tratarse de unas hojas de más de cuarenta años, éstas han sufrido el desgaste del tiempo.

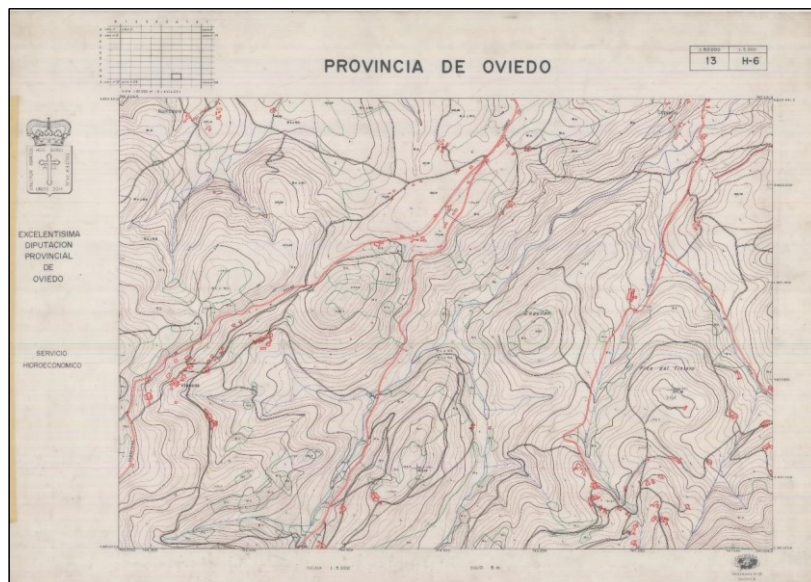


Fig. 2 H0013\_H6.JPG original

Para la restauración del color se crea la función de Matlab ‘RestRGB’, se trata de un script que separa la imagen original en los tres canales de color, el rojo (Red), el verde (Green) y el azul (Blue). Posteriormente crea cuatro imágenes con las cuales, generaremos los nuevos tres canales para la composición de una imagen más limpia y que mantenga la mayor información posible.

Estas cuatro imágenes están formadas por la combinación de los tres canales originales en función del color que se busque con un umbral para cada color, rojo, verde, azul y negro, de esta última se elimina la información correspondiente a las otras tres.

Creamos tres nuevas imágenes (rojo, verde y azul) en las que a cada imagen correspondiente de color le sumamos la imagen en negro para mantener toda la información posible. Con estas tres

nuevas imágenes creamos los nuevos tres canales de la imagen final, siendo el canal rojo la negación de las imágenes verde y azul, el canal verde la negación de las imágenes rojo y azul y por último el canal azul estar formado por la negación de las imágenes rojo y verde, obteniendo así la imagen restaurada.

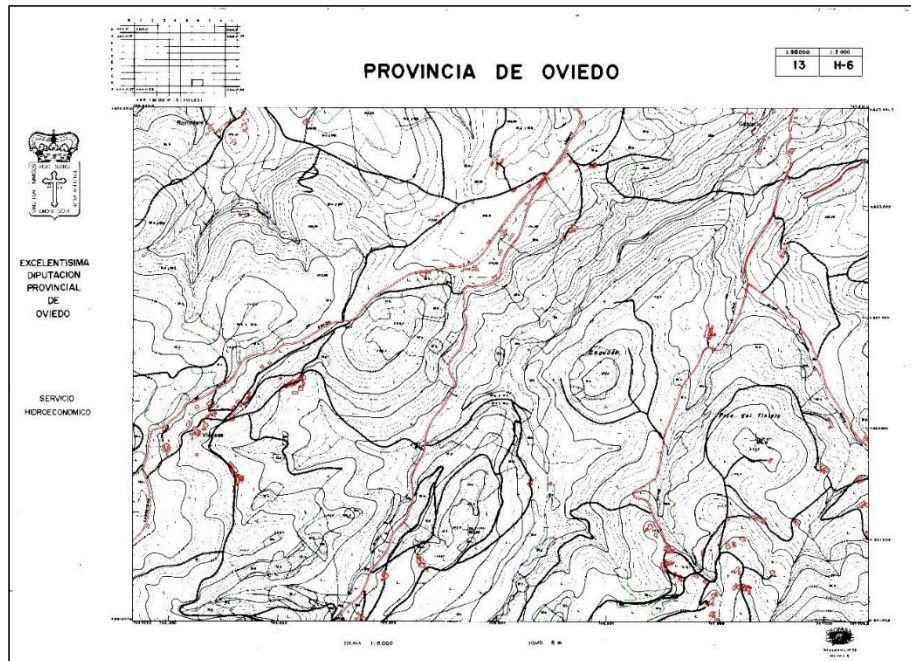
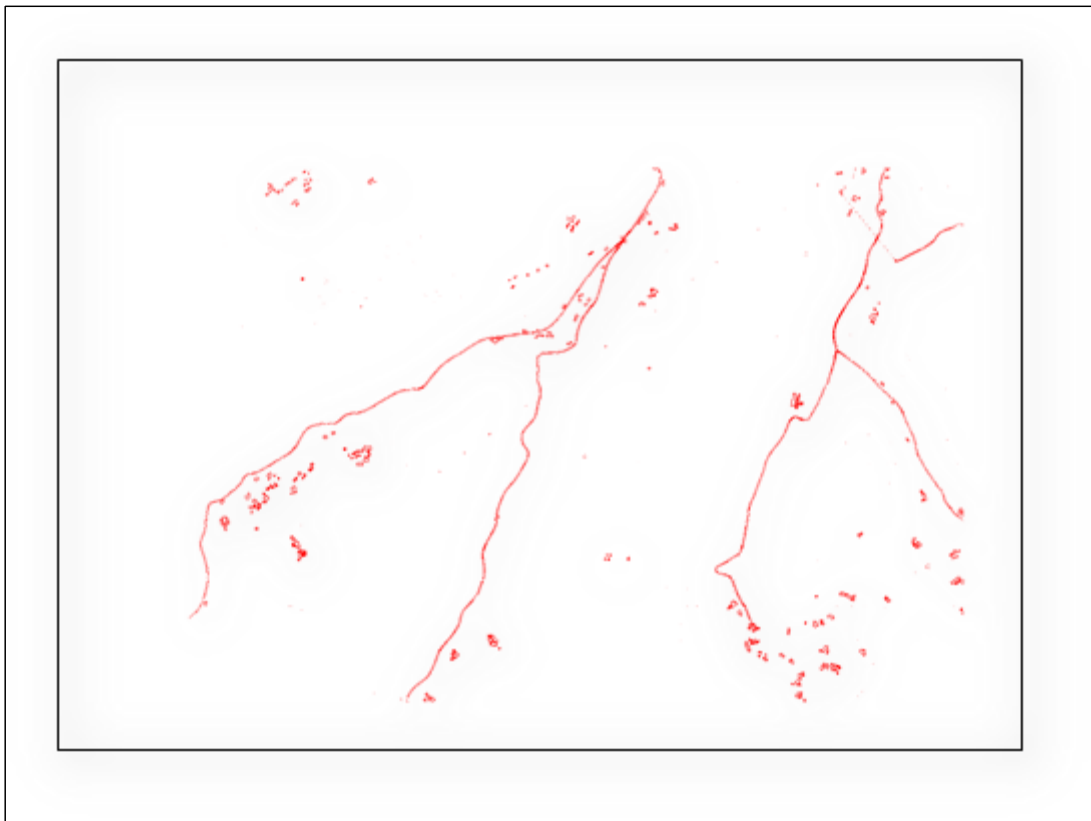


Fig. 3 H0013\_H6\_RGB.JPG restaurada

Como se puede observar la mejora es más que considerable y nos ayudará a la hora de la extracción de información.

Ahora debemos definir cuál será nuestra información de interés, en nuestro caso buscamos todos aquellos elementos que en su mayoría se mantengan en la actualidad desde 1970 por eso buscaremos las edificaciones (casas, hórreos...) que existen en estas hojas. Esta información está representada en color rojo, y tratándose de edificaciones son polígonos cerrados a no ser que se éstas se encuentren en la división de las hojas. Sabiendo las características de la información que buscamos creamos dos nuevas funciones, una para toda la información en rojo (carreteras, edificios...) y otra sólo para los polígonos rojos cerrados.

La primera de las funciones se denomina 'rojo2alfa', realiza un proceso parecido al utilizado en la restauración para separar la imagen en canales y creando un nuevo canal rojo (R) en función de unos umbrales. Posteriormente, este nuevo canal rojo sufre una erosión y una dilatación para la eliminación de posible ruido en la imagen, tras esto se crea una nueva imagen en blanco en la que se sustituirá el canal rojo por el que hemos creado, obteniendo así una imagen RGB en la cual solo veremos la información en rojo de la original.



*Fig. 4 H0013\_H6\_red.png*

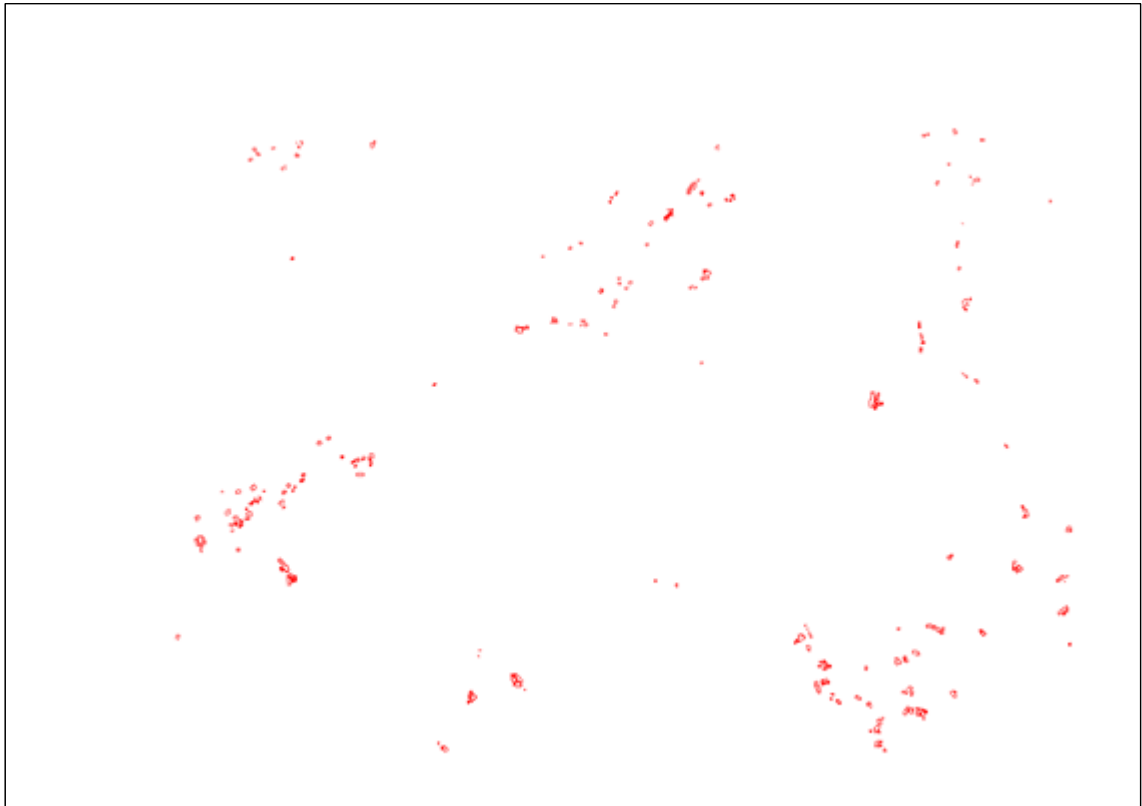
La segunda función se llamó 'Extredf' y es la que más información extrae de la imagen, parte justo del resultado de la función anterior por lo que debemos tener en cuenta que sin aplicar 'rojo2alfa' no podremos aplicar ésta.

Con ésta función queremos eliminar toda la información extraída que no sean edificaciones, por lo que, si partimos de que una edificación está representada por un polígono cerrado, por ejemplo, una casa, eliminaremos toda información que no cumpla esta condición.

Esta función realiza una detección de bordes en la imagen generada por 'rojo2alfa', mediante el comando 'edge' de Matlab y aplicando el filtro 'sobel' identificamos todos los que aparecen en la imagen, se le aplica una dilatación y posteriormente hacemos que todos los recintos cerrados sean rellenados, una vez hecho esto, se elimina toda la información que no es un polígono cerrado y rellenado (líneas, puntos...) y mediante una erosión y una dilatación limpiamos los bordes de las edificaciones.

Ahora localizamos en la imagen todos estos polígonos con el comando 'regionprops' de Matlab el cual, entre múltiples opciones sobre las propiedades de los elementos de la imagen, nos devuelve el BoundingBox de donde se encuentra cada edificación. Con esta información creamos una nueva imagen recortando cada edificación de la imagen creada por 'rojo2alfa' y obtenemos una imagen solo con las edificaciones.

Se aprecia perfectamente como las carreteras que también estaban representadas en color rojo han desaparecido.



*Fig. 5 H0013\_H6\_edificaciones.png*

También queremos buscar la georreferenciación de las edificaciones para que nos ayude a crear zonas de búsqueda, para ello hemos optado por una georreferenciación automática.

Para realizar la georreferenciación, utilizaremos dos funciones creadas en Matlab. La primera de ellas obtiene las coordenadas pixel de las esquinas de la hoja, y la segunda crea los archivos mundo asociados a las imágenes anteriormente creadas.

Mediante la función 'cordpicesq' localizaremos las coordenadas pixel pertenecientes a las esquinas de las hojas. Para ello, el primer paso es una segmentación de la imagen separando cada canal y formando una imagen con toda la información correspondiente al color del marco de la hoja, en nuestro caso en negro, con una combinación de los canales especificando que éstos han de ser menor o igual a un umbral dado, por defecto 75%.

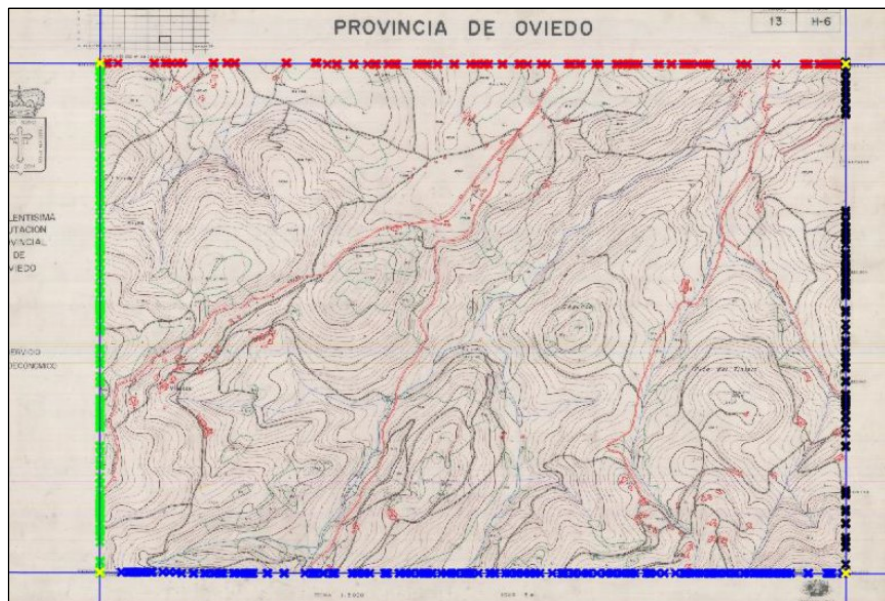


Fig. 6 Localización automática de esquinas de hojas

Tras la creación de la imagen en negro, la erosionamos y la dilatamos para la eliminación de ruido, crearemos un espacio de búsqueda mediante dos máscaras que nos delimitarán la zona dentro de la hoja en la cual se encontrarán los marcos del mapa, esto se consigue detectando las líneas y creando unos márgenes de seguridad.

El siguiente paso es reducir el grosor de la línea a un pixel, esto se consigue mediante una operación morfológica denominada esqueletonización, para ello aplicaremos el comando de Matlab 'bwmorph', que nos permite realizar diversas operaciones morfológicas, y en concreto utilizaremos la operación 'skel' la cual nos permitirá realizar dicha esqueletonización a todas las líneas de la imagen. Seguidamente aplicamos un filtrado para la detección de bordes.

A continuación, se procederá a la detección de las líneas que conforman el marco del mapa, y cuya intersección nos dará las esquinas que buscamos. El primer paso es usar la función de Matlab 'hough', la cual se basa en la transformada de Hough. Ésta función además de identificar las rectas del marco nos devuelve una estructura en la que se incluyen los puntos que las forman.

Una vez que la función 'hough' nos ha devuelto los puntos que pertenecen a las rectas del marco, realizaremos un ajuste para determinar la ecuación de la recta que pasa por esos puntos mediante la función de Matlab 'tlsqline' que implementa una solución de mínimos cuadrados totales para el ajuste de la recta mínimo cuadrática que pasa por esos puntos y que es válida para rectas de cualquier pendiente. Como condición hemos añadido que este ajuste se realice en función de si las rectas tienen un ángulo mayor o menor de 45° para definir si la recta del marco encontrada corresponde con la vertical o la horizontal.

Posteriormente, al tener identificadas cuales son las rectas horizontales y verticales solo tendremos que calcular el producto vectorial entre ellas, el cual nos da como resultado sus

intersecciones, las cuales son las coordenadas pixel de las esquinas del marco del mapa que buscamos.

La segunda función de la que anteriormente hablamos, se trata de 'Worldfile', ésta parte del fichero con las coordenadas pixel resultante de la función anterior y de otro fichero '.txt' creado manualmente, en el que se han introducido las coordenadas terreno de las esquinas del marco y que han sido obtenidas de las hojas. Esta función extrae de los archivos las coordenadas pixel y terreno de las esquinas y mediante una transformación afín, calcula los parámetros de transformación, los cuales serán incluidos en los ficheros mundo.

Una vez generadas todas estas funciones de Matlab hemos buscado la automatización del proceso en una sola función la cual hemos llamado 'Automatic', esta función se encarga de seleccionar el directorio donde estarán ubicadas las hojas de la cartografía del servicio Hidroeconómico de 1970 una vez obtenidas esta función ejecutara hoja por hoja las funciones creadas anteriormente en el orden antes descrito.

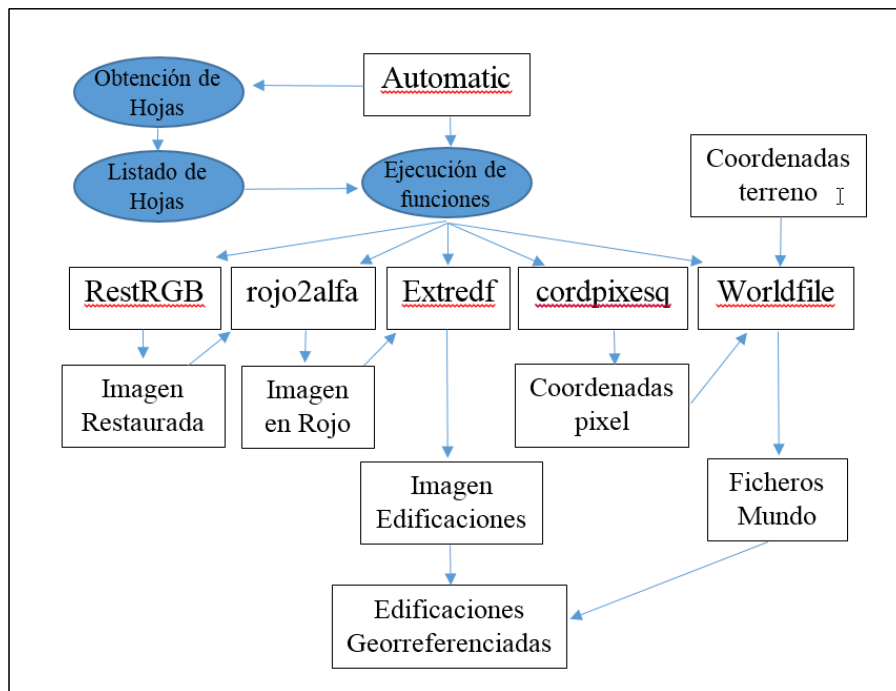


Fig. 7 Automatización del proceso

El último paso en el proceso del tratamiento de imágenes es la vectorización de la imagen de edificaciones, para ello nos ayudaremos del software Qgis. procederemos a importar todas las imágenes creadas mediante la función 'Extredf', las cuales gracias a los archivos mundo creados anteriormente para cada hoja, hacen que éstas ya estén georreferenciadas, por lo que solo tendremos que importarlas en su sistema de referencia correspondiente, en este caso ETRS-89 husos 29 y 30 zona Norte.

Para convertir las imágenes en formato vectorial utilizaremos el complemento poligonizar de GDAL incluido en Qgis. Para automatizar el proceso, realizaremos la vectorización por lotes, de esta forma podremos seleccionar todas las imágenes de edificaciones de una sola vez, indicamos



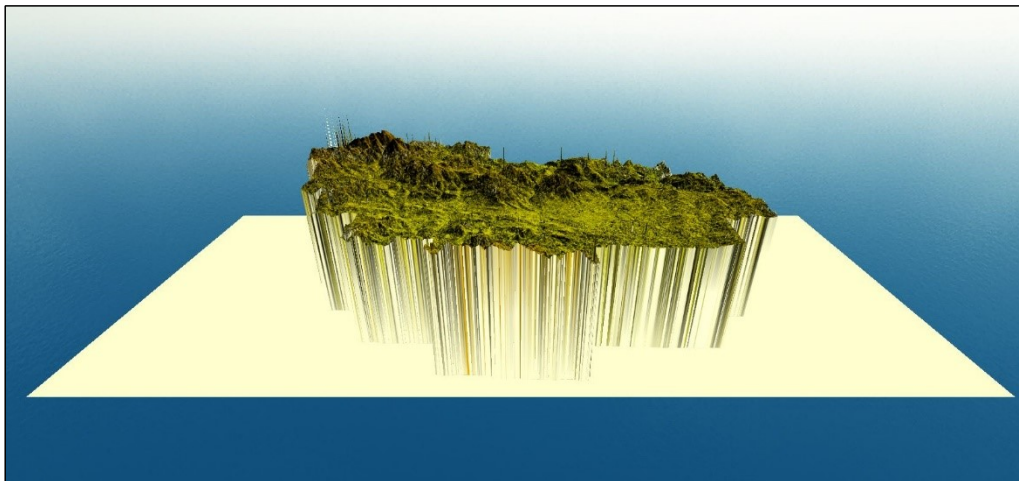
Las coordenadas de los puntos de apoyo en campo se han obtenido mediante la técnica RTK, una vez se ha conseguido una cantidad de puntos lo suficientemente densa, en gabinete con la ayuda del software PhotoScan Pro (SFM) [9] procedemos a hacer una nueva aerotriangulación del vuelo de 2009 y obtenemos una nube densa de puntos que nos servirá de ayuda para más tarde obtener la orto del 70 que buscamos. En este proceso pretendemos mejorar la precisión de la aerotriangulación del vuelo 2009, intentando minimizar los residuos finales.

A partir del esquema de vuelo de 2009 (en formato '.kml') seleccionamos las imágenes que nos van a interesar para la aerotriangulación.

A partir de estas imágenes y los puntos de apoyo realizamos la carga en la aplicación Photoscan Pro. Una vez cargadas las imágenes de 2009 definimos una cámara nueva a partir del certificado de calibración de la cámara fotogramétrica, en nuestro caso una Vexcel de la firma Microsoft.

Se define el sistema de referencia geodésico a emplear y las precisiones a priori esperadas en el ajuste. Posteriormente se ha realizado una identificación de puntos de apoyo en todas y cada una de las imágenes en las que aparecen estos puntos.

Una vez identificados los 140 puntos de apoyo medidos en campo, se ha realizado el correspondiente ajuste, hasta llegar a un residuo acumulado de 0.18 m en su totalidad, por lo que en ese momento se da por bueno el ajuste y se procede a la obtención de la nube densa de puntos y la posterior ortofotografía de 2009 con un GSD de 20 cm. Las alturas de este vuelo permiten en esta zona una salida de 20 cm sin interpolar.



*Fig. 10 Modelo 3D 2009*

En el siguiente paso procedemos a realizar una valoración de los residuos existente en altura ortométrica entre el MDE generado y los puntos de apoyo medidos en campo.

Ahora estamos en disposición de realizar la aerotriangulación del vuelo de 1970. En este caso se ha procedido de manera similar a la del vuelo de 2009, con la salvedad de que las orientaciones aproximadas iniciales se han obtenido del escaneado y georreferenciación del esquema de vuelo

en papel, determinando una altura de vuelo a partir de la escala aproximada indicada por la dirección del proyecto.

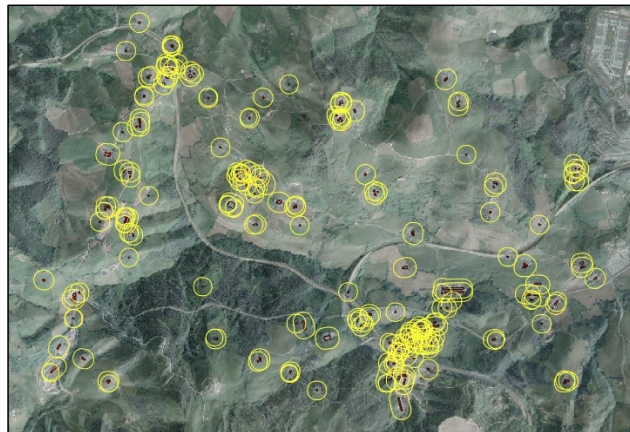
Esta georreferenciación del esquema de vuelo es realizada con el software Qgis. Se trata de una georreferenciación manual con el georreferenciador del programa. El primer paso es crear un fichero XY de las coordenadas de los fotocentros, con este fichero creamos un shape vectorial el cual usaremos de apoyo para la georreferenciación.

Una vez tenemos este archivo empezaremos con la georreferenciación de los fotocentros una a una con el georreferenciador de Qgis estableciendo los parámetros de transformación pertinentes.

Una vez se procesa la georreferenciación, se obtiene una nueva capa raster en Qgis en la que tendremos los fotocentros en su posición original.

Una vez cargadas las imágenes se lanza un proceso de identificación de puntos de paso (orientación interna automática).

Posteriormente se seleccionan puntos de control sobre la nube densa de puntos, centrándonos en las zonas de especial interés obtenidas en el apartado de tratamiento de imágenes.



*Fig. 11 Búsqueda de zonas de interés*



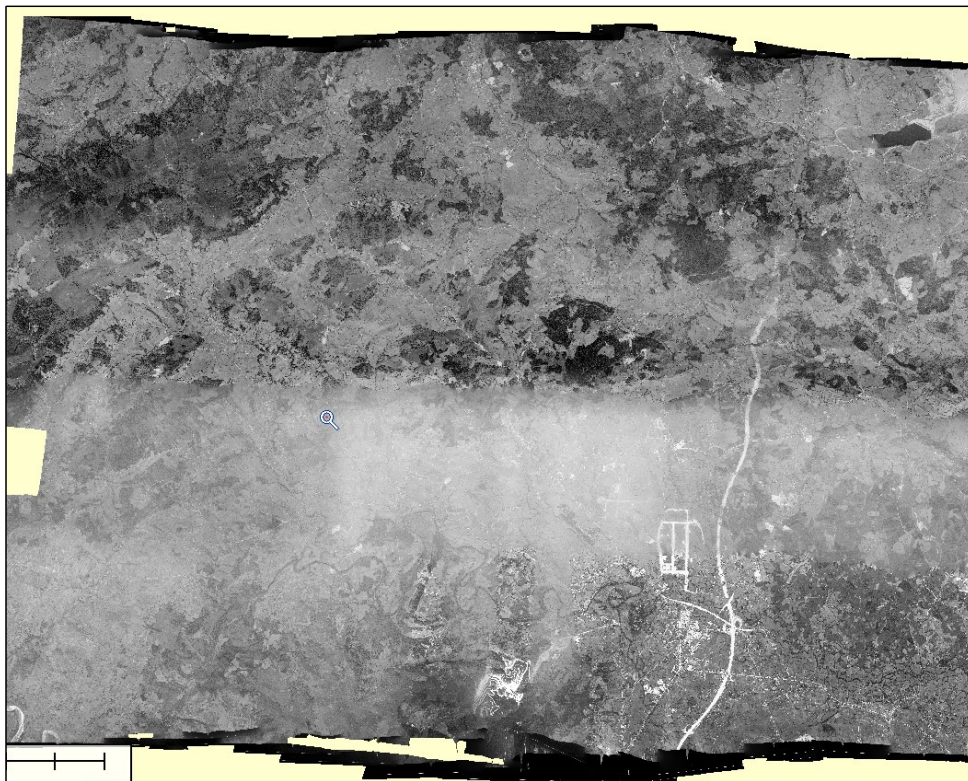
*Fig. 12 Detalle búsqueda de zonas de interes*

Se procede a realizar una identificación de estos puntos sobre las imágenes pasando posteriormente a aerotriangular el vuelo. Los parámetros de calibración de la cámara se han estimado, dado que eran desconocidos salvo la focal.

Se han empleado algunos puntos de apoyo previos en este vuelo que con total certeza no habían cambiado, por ejemplo los hórreos, ya que se trata de figuras de protección especial dentro de los planeamientos y que se mantienen a lo largo del tiempo.

Finalmente, se considera como válido un ajuste del bloque con residuales de 1.45 m, teniendo en cuenta que nuestra ortofotografía de salida tendrá una escala de 1:10.000 ( $0.2\text{mm} \times 10.000 = 2\text{ m}$ ).

Por último, generamos la nube de puntos densa para el vuelo de 1970 y la correspondiente ortofotografía.



*Fig. 13 Ortofoto de 1970*

Como con el modelo de 2009, realizamos una valoración de los residuos existentes en altura procediendo de manera idéntica que en el anterior apartado.

Estas discrepancias serán admisibles siempre y cuando cumplan la tolerancia exigida para una cartografía 1:10.000.

La tolerancia para la componente altimétrica viene dada por la equidistancia, en nuestro caso para la escala de 1:10.000 serán 10 metros multiplicada por 0,3.

$$\text{Tolerancia} = \text{Equidistancia (10 m)} \times 0,3$$

## Conclusiones

Se puede observar que existen diferencias radiométricas importantes, achacables a las diferencias existentes en los fotogramas de partida. Estas diferencias se localizan a nivel de pasada. Por otro lado, se puede detectar una diferencia de calidad entre las pasadas que podrían ser achacables al diferente estado de conservación de los negativos.

Debido al gran volumen de los datos con los que hemos trabajado, el procesado de los mismos con el software ha sido una labor muy lenta, aunque a la vez productiva ya que se han conseguido los resultados esperados.

Gracias a la metodología utilizada en el proceso de aerotriangulación del vuelo de 1970, hemos podido obtener de forma satisfactoria la nube de puntos densa de 1970, que nos ha servido de apoyo en la creación de nuestro producto final. Al analizar las discrepancias que hemos obtenido en el proceso de comparación de la nube con los puntos de apoyo, hemos observado que la tolerancia está muy lejos de los tres metros exigidos para la cartografía, por lo que llegamos a la conclusión de que muchos de los puntos de apoyo medidos no existían en 1970. Para subsanar este problema, hemos optado por desechar todos aquellos puntos cuya diferencia en altura excedía los diez metros, ya que con toda seguridad no existían en 1970. Aun así, todavía tenemos un error medio-cuadrático de 4,537 metros, valor que se encuentra fuera de la tolerancia. Esto puede deberse a varios factores, que se hayan mantenido puntos con diferencias en altura inferior a los diez metros, pero que aun así no existían en 1970, que no haya una densidad lo suficientemente alta de puntos de control o a la falta de definición en la calibración de la cámara, por lo que damos el resultado obtenido de la nube como bueno.

## Bibliografía

- [1] F. Fernández García, «Las primeras aplicaciones civiles de la fotografía aérea en España: el Catastro y las Confederaciones Hidrográficas», *Ería Rev. Cuatrimest. Geogr. ISSN 0211-0563, N° 46, 1998, págs. 117-130, n.º 46, pp. 117-130, 1998.*
- [2] F. Quirós Linares y F. Fernández García, «Los archivos de fotografía aérea sobre Asturias», *Astura Nuevos Cart. d'Asturies, ISSN 0212-727X, N° 11, 2001, págs. 145-162, n.º 11, pp. 145-162, 2001.*
- [3] «File Exchange - MATLAB Central». [En línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/>.
- [4] L. J. Santos Pérez, «Los fondos de cartografía histórica de la Dirección General del Catastro», *CT Catastro, ISSN 1138-3488, N° 76, 2012, págs. 41-64, n.º 76, pp. 41-64, 2012.*
- [5] J. A. Suárez, P. González-Pumariega, R. J. Argüelles, y A. López, «Importancia y utilidad de la documentación cartográfica y fotográfica histórica para el inventariado de caminos públicos: Una visión desde el casco de Oviedo», *Rev. Catalana Geogr.*, vol. 19, n.º 50, 2014.
- [6] M. Parrizas Siles, «Modelización tridimensional mediante técnicas SFM de vuelos fotogramétricos antiguos. Evaluación de posibilidades aplicadas al vuelo de 1957.» 28-jul-2016.
- [7] O. Cuadrado Méndez y J. Martínez Rubio, «Fotogrametría histórica como fuente de información en el análisis métrico de la evolución en espacios costeros», *Geotemas*, vol. 14, 2013.
- [8] O. Cuadrado Méndez, «Recomendaciones técnicas para la planificación y ejecución de redes geodésicas de ámbito regional o local en el Principado de Asturias.» 2006.
- [9] «Photoscan Pro. Distribuidor: Geobit consulting SL». [En línea]. Disponible en: [www.agisoft.es](http://www.agisoft.es).