

# Principios y Aplicación

## de la fotogrametría convergente en la fotogrametría arquitectónica

Departamento de Expresión gráfica de la Universidad de Extremadura  
**Autora:** Josefina García León, Departamento de Arquitectura y Tecnología de  
 la Edificación de la Universidad Politécnica de Cartagena  
 Año de Lectura de la Tesis Doctoral: 2007

**Directores:** Ángel Manuel Felicísimo Pérez y Juan José Martínez García.

### Introducción

# LOS

avances en fotogrametría han sido espectaculares en los últimos años, debido principalmente a la automatización de los procesos que antes debían hacerse

manualmente. Sin embargo, las estaciones fotogramétricas digitales (EFD) están diseñadas esencialmente para realizar con eficacia un proceso concreto: el originado en fotogramas aéreos, organizados en pasadas con superposición parcial, con toma normal, y con la posible asistencia de datos tomados con métodos GPS (que permiten conocer de modo aproximado los centros de proyección de cada fotografía) y datos angulares provenientes de los sistemas inerciales de navegación (*Inertial Navigation Systems*, INS), que aportan los datos angulares de balanceo, cabeceo y guiñada (Steinbach, 2004; Cramer, 2003). La automatización del proceso en las EFD está optimizada para este tipo de tomas y el conjunto del proceso fotogramétrico se ha mostrado realmente eficaz en estas condiciones.

Los problemas surgen cuando se varían las restricciones de la toma en distancias, ángulos y diseño geométrico. Las restricciones anteriores suponen un objeto estático, aproximadamente perpendicular a los ejes ópticos de las tomas, que deben ser paralelos.

En otros casos, estas restricciones no pueden cumplirse o, si se cumplen, conducen a diseños no óptimos. Por ejemplo, si el objeto es la fachada de un edificio, la toma se realizará a unas decenas de metros y con la cámara próxima a la superficie del suelo (menos de 2 m). Si se realiza una toma normal, el diseño físico de la toma es complejo por la necesidad de grúas o plataformas y pueden existir obstáculos que la dificulten o la impidan, como edificios próximos. Es fácil que la condición de paralelismo de las tomas genere zonas ocultas, ya que las formas arquitectónicas son muy diferentes de las del terreno y existen recovecos, ángulos rectos, etc., infrecuentes en la superficie terrestre.

En este punto, definiremos la *fotogrametría arquitectónica* como el conjunto de técnicas cuyo objetivo es la construcción de modelos digitales de superficie (MDS) de edificios a partir de fotogramas. Como en el caso general, estas técnicas se basan en el cálculo del paralaje<sup>1</sup> a partir de fotogramas del objeto tomados desde orígenes diferentes. La característica diferencial de la fotogrametría arquitectónica es el objeto analizado, cuyas propiedades nos aconsejan modificar las restricciones habituales en la fotogrametría aérea.

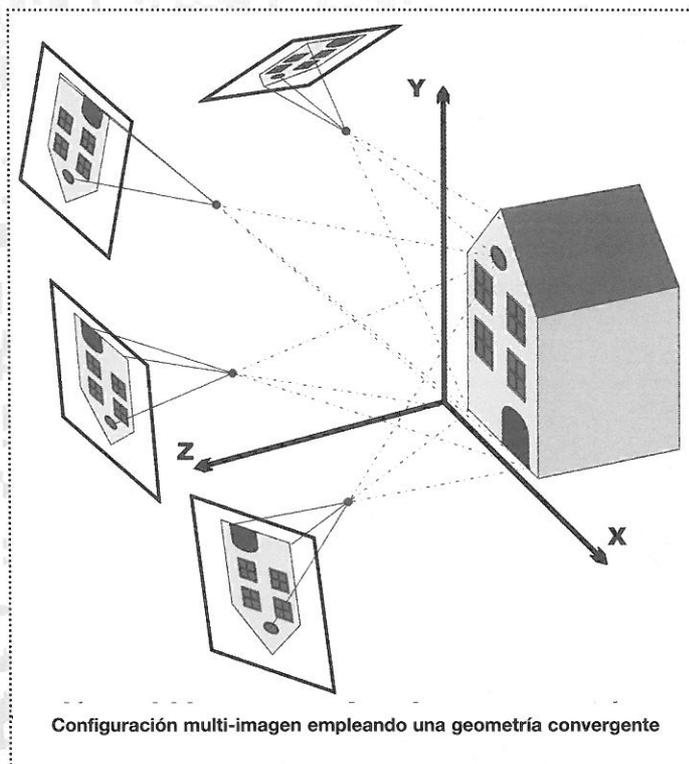
<sup>1</sup> Paralaje, palabra proveniente del griego παραλλαξίς (cambio, diferencia), se reconoce en el diccionario de la RAE como nombre femenino y así se usa con alguna frecuencia en topografía. Nosotros hemos optado por usarlo como masculino por ser una pronunciación más habitual.

Estas restricciones afectan principalmente al diseño de la toma de los fotogramas y muy especialmente a su normalidad respecto al objeto y al paralelismo de los ejes ópticos: las restricciones de espacio alrededor del objeto y la dificultad de movimiento vertical de la cámara, aconsejan el diseño de tomas oblicuas tanto respecto al objeto como entre sí. Las tomas oblicuas permiten reducir el número de fotogramas, adaptarse mejor al espacio físico disponible y eliminar la necesidad de plataformas elevadoras para el movimiento vertical de la cámara. Dentro de la modalidad general de toma oblicua, puede definirse una variante que es la *toma convergente*. En esta, los ejes ópticos de las tomas convergen en un punto concreto de la fachada, lo que conforma un diseño general radial.

Estas modificaciones plantean problemas cuando llevamos los fotogramas a la EFD, optimizadas para el esquema más convencional antes descrito, y empiezan a surgir las preguntas: ¿es factible la toma oblicua? ¿Hay límites angulares en la convergencia? ¿Es posible realizar el proceso con 3 o más fotogramas simultáneamente? ¿Funciona el reconocimiento automático de puntos homólogos en imágenes tomadas con perspectivas diferentes?

Los algoritmos teóricamente utilizados en el método de ajuste de haces, utilizados en las orientaciones tanto internas como externas, no parecen plantear, en principio, ningún problema teórico en la resolución de las cuestiones anteriores. Sin embargo, la automatización del proceso de reconocimiento de puntos homólogos para la resolución de la orientación relativa y la extracción masiva de puntos para la restitución del objeto (generación del MDS) no se ha conseguido, por lo que el trabajo de restitución se convierte en una tarea manual tediosa y de enormes dimensiones (Wiedemann & Rodehorst, 1997).

El análisis de estos problemas es, de forma general, el objetivo de este trabajo. A las cuestiones anteriores añadiremos otras que



Configuración multi-imagen empleando una geometría convergente

Figura: Configuración multi-imagen

han surgido en el planteamiento del trabajo y que no parecen estar resueltas satisfactoriamente. Entre ellas está la influencia en la calidad de los resultados de decisiones que hay que tomar a lo largo del proceso; por ejemplo: las características de la película fotográfica, la resolución espacial de la digitalización mediante escáner, etc.

Finalmente, podemos comentar otros aspectos que aunque quedan fuera de nuestros objetivos tienen interés y apenas se ha abordado en la literatura sobre fotogrametría; por ejemplo, el cambio de focal entre fotogramas o el aprovechamiento real del color para aumentar la fiabilidad del reconocimiento de puntos homólogos.

## 1.1. Objetivos

El *objetivo general* de esta tesis es explorar las posibilidades actuales del tratamiento digital de tomas múltiples convergentes en fotogrametría arquitectónica.

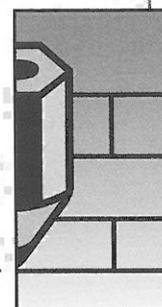




Figura. Imágenes 1, 3, 5, 7 y 9 tomadas en la plaza

Esto se realizará mediante la generación de MDS de una fachada utilizando técnicas de correlación automática y mediante el control de exactitud de los datos obtenidos. El objetivo general puede desglosarse en los siguientes *objetivos específicos*:

- analizar la influencia de algunos factores en la exactitud del MDS, entre otros:
  - tipo de película fotográfica.
  - número de imágenes utilizadas.
  - ángulos de convergencia.
  - número de puntos de apoyo.
  - distribución de los puntos de control.

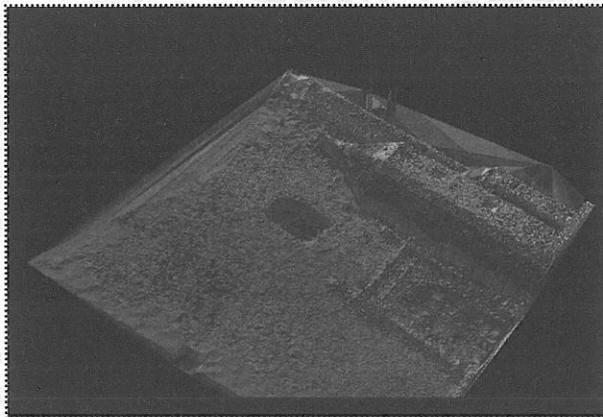


Figura: Uno de los MDS obtenidos

- proponer un método de fusión de MDS parciales en un MDS general.

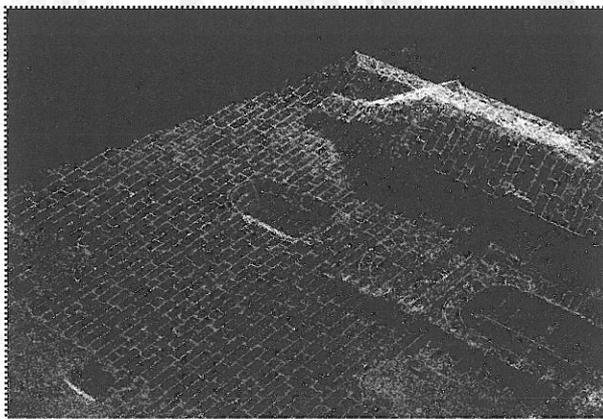


Figura: Nube de puntos que forman el modelo digital de superficie

- proponer un método de depuración y simplificación del MDS masivo.

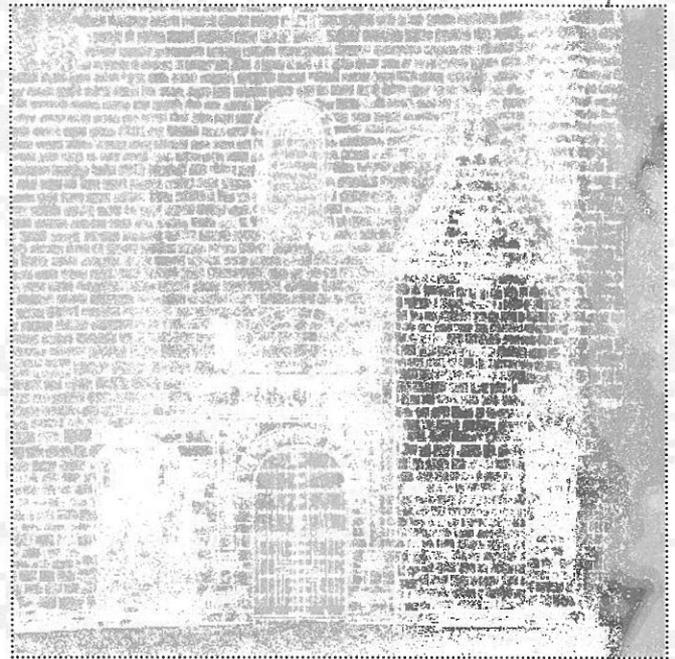
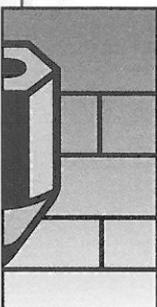


Figura: MDS final formado por la nube de puntos correlados automáticamente procedente de la fusión de modelos Pan.

- proponer un método de depuración y simplificación del MDS masivo. discutir las posibilidades y carencias de las EFD actuales para el tratamiento automático de tomas múltiples convergentes.

## 1.2. Relevancia de la tesis

En la actualidad los trabajos de fotogrametría terrestre arquitectónica se realizan mediante métodos analíticos, realizando una restitución vectorial del elemento o mediante métodos digitales proyectando sobre una superficie que puede ser un plano, un cilindro o un MDS. En el caso de necesitar un MDS, éste se tiene que generar mediante interpolación a partir de un conjunto de puntos con coordenadas tridimensionales conocidas que se obtienen generalmente de un modelo estereoscópico mediante fotogrametría. Sin embargo, este modelo se genera manualmente con un número moderado de puntos, ya que la generación automática por correlación de las EFD no es eficaz debido al enorme trabajo manual



de edición que necesita (Albertz & Wiedemann, 1995).

Si se consigue generar el MDS de un modo automático, el trabajo en la fotogrametría terrestre digital habrá dado un paso de gigante en velocidad y calidad, evitando el tedioso trabajo del operador. La complejidad de esta tarea y la escasez de soluciones ofrecidas por patrones de reconocimiento clásicos y análisis de imágenes hacen que la automatización del proceso sea difícil (Li *et al.*, 1997).

Si además podemos demostrar que la generación automática se puede realizar con imágenes convergentes se habrá superado la exigencia de toma normal, que en fotogrametría terrestre es de planificación y ejecución muy incómoda, y se abrirá paso a tomas de geometría más flexible, que permitirán un trabajo más Conclusiones

### 1.3. Conclusiones generales

Según la metodología empleada y los resultados obtenidos podemos llegar a las siguientes conclusiones

- En el proceso de orientación de las imágenes mediante ajuste de haces, permite mucha flexibilidad, tanto en el diseño de la red (número de imágenes y posición de las mismas) como en el tamaño del píxel.
- Al construir la nube de puntos mediante correlación automática, el ángulo de convergencia entre las imágenes que forman la red está restringido y es el mínimo posible.
- Los puntos correlados automáticamente se localizan sólo en dos imágenes con el mínimo grado de convergencia. El programa puede identificar puntos homólogos con un gran ángulo de convergencia, pero usa el menor ángulo posible según la red utilizada.
- Respecto al MDS, su ECM aumenta con el ángulo de convergencia, llegando a formarse modelos incoherentes.
- La elección de la película es un factor a tener en cuenta ya que los resultados son diferentes, tanto por el número de puntos bien correlados como por el ECM.
- Es necesario eliminar los errores groseros mediante un método adecuado.
- El tamaño de píxel de las imágenes es un factor fundamental, ya que al aumentar el

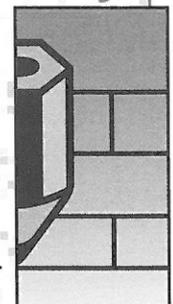
tamaño del píxel el error cuadrático del modelo generado también aumenta y la apreciación visual se ve mermada.

- Las características del objeto a modelar son determinantes para elegir el método y condicionantes del trabajo con el fin de obtener una exactitud determinada.
- Las características del objeto son sensibles al tamaño del píxel utilizado. Las zonas más complejas son más exigentes que las zonas más planas.
- El coeficiente de correlación es un factor decisivo en la exactitud de los modelos obtenidos, por lo que es aconsejable filtrar los puntos con un valor umbral de este coeficiente.
- La unión de MDS procedentes de pares diferentes aumenta el número de puntos bien correlados y mejora el ECM del modelo.
- El filtrado de la nube de puntos masiva debe realizarse con un método adecuado; las pruebas efectuadas han aconsejado usar el más simple, IDW, que se ha mostrado el que mejores valores de error da y el más robusto ante cambios de parámetros.
- En cuanto al análisis estadístico, los resultados han mostrado que los métodos utilizados son útiles para realizar un filtrado eficaz de las nubes masivas de puntos que se generan mediante fotogrametría automática. Los valores de exactitud son razonables para el modelo estudiado aunque los métodos dan resultados diferentes. Es interesante que el método más simple (IDW) es también en que alcanza menores valores de ECM, de apenas 2.5 cm.
- Se ha conseguido la reconstrucción de la superficie a partir de una nube de puntos desorganizada obtenida mediante métodos fotogramétricos, un problema no estaba resuelto (Remondino, 2003)(Jacobsen, 2001)

### 1.4. Problemas encontrados

La mayoría de los problemas que han surgido a lo largo de la investigación (oclusiones, textura muy regular, diferencias radiométricas) que dificultan la correlación automática de una nube de puntos se han solucionado con la redundancia de datos que aporta la multitud de imágenes obtenidas del mismo objeto.

El mayor problema se da cuando se producen fallos en la correlación, la mayoría producidos



por la gran diferencia entre la ventana patrón y la de búsqueda, (en el techo de la torre, la cara más oculta de la torre), esto es debido a geometría convergente de las cámaras y a la forma del edificio a modelar.



Figura: Ortoimagen generada con del MDS de un par de imágenes realizadas con la película APX 100 sin corrección de errores ni depuración de puntos.

Otro problema fundamental es que un mismo punto con coordenadas (x, y) pueda tener diferentes z. Este problema es inherente al método utilizado lo que impide que puedan modelarse correctamente elementos perpendiculares al plano XY.



Figura: Ortoimagen recortada de la foto 11 proyectada sobre el modelo unión filtrado de la película Pan

## 1.4. Líneas futuras de trabajo

Tras la finalización de este trabajo de investigación, queda abierta una serie de líneas futuras de trabajo, que se comentan a continuación:

- Utilización de cámaras de fotográficas o de vídeo digitales para comparar el resultado obtenido.
- Uso de algoritmos que permitan la detección y uso de líneas de rotura para incorporarlas al modelos.
- Mejoras en el control de errores groseros, detección y eliminación de los mismos de modo automático, estableciendo un modelo formado por planos sencillos de la fachada, que podría generarse a partir de las líneas de rotura localizadas y supervisadas.
- Utilización de un escáner láser terrestre (Böhm, 2005) (Alshawebkeh, 2005) para la toma de datos en campo de una nube de puntos, comparar metodologías y resultados.
- Inclusión de los datos gráficos con datos alfanuméricos de la fachada para la generación de un sistema de información geográfica (Haala, 2005), que permita un análisis y toma de decisiones posteriores, en futuros trabajos de restauración.

