Reconocimiento de materiales y deterioros en fachadas arquitectónicas

José Luis Lerma

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
Universidad Politécnica de Valencia

RESUMEN: La fotogrametría se viene utilizando en tareas de documentación y restauración arquitectónica desde hace más de un siglo. Sin embargo, la extracción automática y el análisis de los materiales que constituyen las fachadas, así como de las patologías inherentes a las mismas, es inusual en la mayoría de equipos multidisciplinares que gestionan proyectos de documentación, conservación y restauración.

Este artículo muestra la ventaja de aplicar la fotogrametría digital y el análisis de imagen en monumentos arquitectónicos con tal de proporcionar información exhaustiva, global y precisa a partir de fotografías en el espectro visible e infrarrojo cercano. Los resultados son imágenes rectificadas y clasificadas por métodos automáticos a partir de las cuales es posible obtener las posiciones precisas de los materiales y de las patologías sobre las fachadas, medidas de distancias y áreas de entidades arquitectónicas, y documentos estadísticos que verifican la precisión alcanzada en el proceso de reconocimiento automático, entre otros. Las imágenes métricas clasificadas y los datos extraídos a partir de las mismas se pueden utilizar directamente como capas o niveles de información en sistemas SIG/CAD, y en bases de datos de nuestro legado cultural.

ABSTRACT: *Photogrammetry has long been used in the field of architecture for documentation and restoration tasks. However, the automatic extraction and analysis of facade features, i. e. materials and alterations, is unusual in most of multidisciplinary teams involving documentation, conservation and restoration projects.*

This paper shows the profitability of applying digital photogrammetry and image analysis on stone monuments, in order to provide exhaustive, global and accurate information from visible and near-infrared photographs. Output data are rectified and automatically classified images from which it is possible to obtain, among others, detailed positions of materials and degradations on facades, real measures of distances, areas of architectural features, as well as statistical documents of the accuracy achieved in the whole process of automatic recognition. The metric classified images and data can be used directly as input layers for GIS/CAD systems, and in databases of our cultural heritage.

PALABRAS CLAVE: fotogrametría arquitectónica, tratamiento digital de imágenes, reconocimiento de patrones, clasificación multiespectral.

KEYWORDS: *architectural photogrammetry, digital image processing, feature recognition, multispectral classification.*

1. INTRODUCCION

Una cuestión fundamental antes de acometer trabajos de conservación y restauración es la recopilación de toda la información alfanumérica y gráfica existente sobre el monumento. Los monumentos interaccionan continuamente con factores internos y externos que contribuyen a su degradación. La actuación o intervención presente/futura más adecuada al monumento, independientemente de su estado, depende básicamente de los estudios multidisciplinares realizados ad hoc. Adicionalmente, el diagnóstico final será más efectivo cuanto más completo y de mayor calidad sean los análisis o estudios previos desarrollados.

El reconocimiento de los materiales y la evolución de sus deterioros en el tiempo es una cuestión importante en los trabajos de documentación (Rossi-Doria, 1996). El inventario del estado del monumento suele ser un proceso lento, sobre todo si se efectúa mediante métodos directos, que además pueden ser destructivos (en el peor de los casos). Asimismo, la adquisición de los datos depende de múltiples factores, entre los que encontramos la accesibilidad, el emplazamiento, las dimensiones, y el modo de inspección y análisis. En este contexto, el cartografiado automático del estado actual de materiales y deterioros en el monumento a través de procesos fotogramétricos es una herramienta de gran valor, que facilita la toma de decisiones, las actuaciones a realizar y, en caso de existencia de múltiples imágenes, la evolución de las patologías en el tiempo.

Este artículo presenta una forma de análisis -objetivo, global y no destructivo- basado en la automatización de tareas mediante fotogrametría digital y tratamiento digital de imágenes. Concretamente, se aplican clasificaciones espectrales sobre imágenes visibles e infrarrojas, tal y como apuntan Grunicke et al (1990) y Lerma (1999), aunque la metodología sigue las directrices de éste último. Adicionalmente, la aplicación de análisis espectrales y de texturas (Lerma et al, 2000), así como multibanda (Lerma, 2001), fueron innecesarios ante la homogeneidad de materiales de las fachadas que a continuación tratamos. Los datos de salida son imágenes métricas rectificadas (ortoimágenes) e imágenes clasificadas que muestran los distintos materiales y alteraciones en monumentos pétreos.

2. MONUMENTO, MATERIALES Y PATOLOGIAS

El monumento objeto del trabajo es la Iglesia de San Agustín sita en el centro histórico de la ciudad de Valencia. El material más relevante en sus fachadas es la roca caliza. Las dos fachadas estudiadas son la principal y una parte de la fachada lateral. Tras un análisis visual de la fachada principal se pueden identificar los siguientes materiales y patologías: (1) roca lavada; (2) roca contaminada; (3) roca muy contaminada con pátina negra; y (4) zonas oscuras, a excluir (postes de luz, partes interiores y sombras).

Con respecto a la fachada lateral se encontró: (1) roca lavada; (2) roca contaminada; (3) roca blanca; (4) roca húmeda; (5) mancha sobre roca; (6) pintura sobre roca; y (7) plantas, delante de la fachada.

3. METODOLOGIA

3.1. Adquisición de los datos

La adquisición de los datos hace referencia tanto a la toma fotográfica multiespectral como al apoyo topográfico. La fachada principal se fotografió con una

cámara digital convencional de 832x608 píxeles, requiriendo tres imágenes para cubrir la fachada principal (véase el mosaico de las tres en la Fig. 1). La fachada lateral se fotografió con dos cámaras, la digital anterior y otra analógica de 35 mm. Esta última se utilizó exclusivamente para la captura de la fotografía en el espectro infrarrojo cercano.

Figura 1. Mosaico de imágenes (sin rectificar) de la fachada principal.

Para la toma de la fotografía infrarroja se utilizó película B/N sensibilizada en el espectro infrarrojo, un filtro de gelatina Kodak Wratten número 87 (Kodak, 1990), así como montura de filtros de gelatina y portafiltros. La fotografía infrarroja se digitalizó con una resolución de 600 puntos por pulgada y un nivel de cuantización de 8 bits/píxel.

3.2. Preprocesamiento

En la etapa de preprocesamiento las tareas que se realizaron son: mejora de las imágenes (con modificación de los histogramas), rectificación de las imágenes (en visible e infrarrojo), extracción del conjunto de imágenes por bandas (azul, verde, roja e infrarroja) y, finalmente, generación del mosaico de imágenes rectificadas que presentan recubrimiento. La Fig. 2 muestra el mosaico de imágenes visibles rectificadas, así como el origen de cada una de las partes que integran la imagen final. Nótese la diferencia de calidad geométrica y radiométrica entre el mosaico de imágenes originales -sin procesamiento alguno (Fig. 1)- y el mosaico de imágenes rectificadas corregidas (Fig. 2). La diferencia entre ambas imágenes es sustancial: la segunda es métrica, permite medir magnitudes de interés (áreas, distancias, etc.) y está homogeneizada toda ella, mientras que la primera presenta poco valor en sí misma.

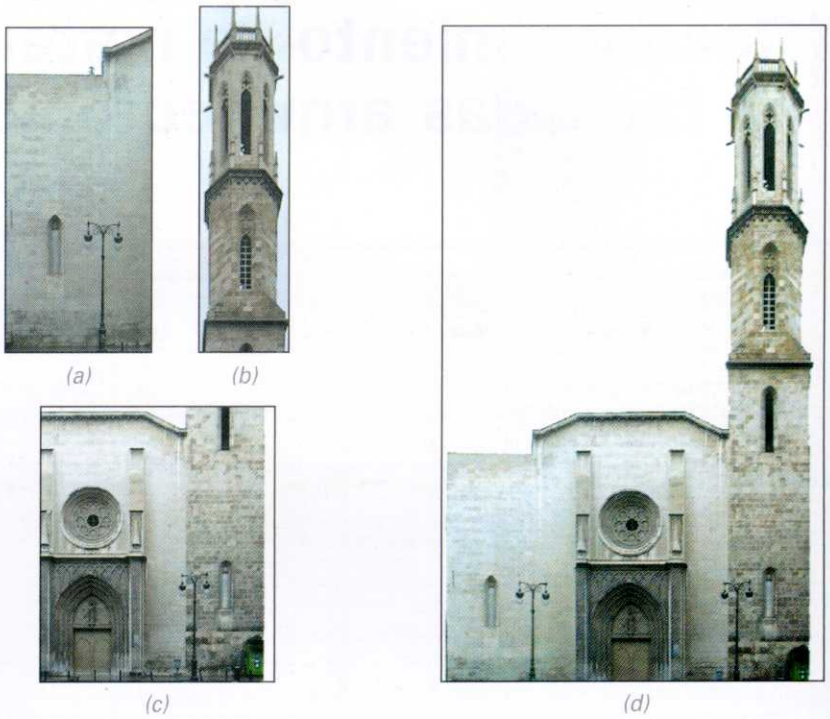

Figura 2. Imagen (mosaico) de la fachada principal (d) formada a partir de las imágenes rectificadas (a, b, y c).

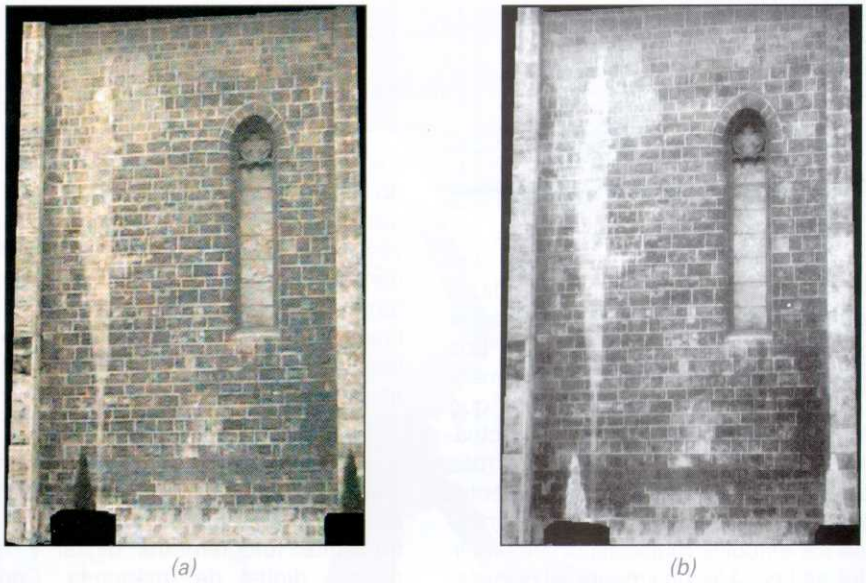

Figura 3. Imágenes rectificadas de la fachada lateral visible (a) e infrarroja (b).

En la fachada lateral, las imágenes visible e infrarroja se tomaron con distinta cámara y desde emplazamientos no coincidentes. Consiguientemente, la rectificación proyectiva bidimensional de ambas imágenes, primero la visible sobre la fachada (plana) y después la infrarroja sobre la imagen visible rectificada, permitió la correspondencia geométrica entre las mismas. La Fig. 3 muestra las imágenes visible e infrarroja rectificadas.

3.3. Clasificación multiespectral

En ambas fachadas se efectuaron clasificaciones multiespectrales supervisadas. Las clases espectrales se asignaron a los cuatro tipos de alteraciones de la fachada principal y a las siete de la fachada lateral. Las muestras de entrenamiento se seleccionaron bien distribuidas y separadas por toda la zona de la imagen. El clasificador utilizado fue el de máxima probabilidad con un nivel de significación del 95% (Niblack, 1996); los píxeles no clasificados se asignaron a la clase nula. Las imágenes clasificadas de las fachadas principal y lateral aparecen en la Fig. 4.

(a) (b)

Figura 4. Imágenes clasificadas de las fachadas lateral (a) y principal (b).

4. RESULTADOS

La valoración de la precisión entre las clases "verdaderas" (zonas inspeccionadas y seleccionadas manualmente) y las clases "clasificadas" en la fachada lateral se presenta en forma de matriz de error (Tabla 1); la clase nula no se tomó en cuenta a la hora de analizar la precisión. Las precisiones de usuario y de productor aparecen en la matriz de error, siendo posible a partir de dichos parámetros analizar la precisión alcanzada en cada una de las clases. La precisión total alcanzada ronda el 96%. El mismo procedimiento se siguió en la fachada principal, alcanzándose una precisión total de aproximadamente el 84%.

True ▶ Image ▼	R. contaminada	R. lavada	R. blanca	Plantas	R. húmeda	Pinturas	Manchas	Subtotal	P.U. (%)
R. cont.	76449	11	9	26	476	368	250	77589	98,5
R. lavada	0	7495	0	0	0	0	1136	8631	86,8
R. blanca	0	604	18546	0	0	0	476	19626	94,5
Plantas	1	0	0	1675	0	0	0	1676	99,9
R. húmeda	127	0	0	0	9161	337	0	9625	95,2
Pinturas	116	0	0	0	210	7925	0	8251	96,0
Manchas	8	1104	20	0	0	0	15033	16165	93,0
Subtotal	76701	9214	18575	01701	9847	8630	16895	141563	
P.A. (%)	99,7	81,3	99,8	98,5	93,0	91,8	89,0		
	Precisión Total = 96,3%								

Tabla 1. Matriz de error de la clasificación multiespectral de la fachada lateral. P.U.= Precisión de usuario; P.P.= Precisión del productor; R.= Roca

Con respecto a la precisión de usuario, la mayoría de clases alcanzaron una precisión que ronda el 95%. Solo la precisión de usuario de la clase Roca lavada estuvo por debajo del 90%, aunque esto no es preocupante por la cercanía espectral entre dicha clase y la clase Mancha. Además, la precisión del productor de Roca lavada fue del 80% aproximadamente, debido a los excesos de error provenientes de las clases Mancha y Roca blanca.

La precisión total de la fachada principal es mejor que la precisión alcanzada en la fachada lateral. Esta circunstancia se debe principalmente a la ausencia de la banda infrarroja en la clasificación. En esta clasificación, los errores de omisión de la clase Roca lavada son los que más afectan a la precisión final, independientemente de que la precisión de usuario sea alta. Otro factor importante es la similitud en la respuesta espectral entre las Zonas oscuras y Roca muy contaminada. No obstante, estas áreas nos indican que requieren ser inevitablemente restauradas.

5. CONCLUSIONES

Este estudio muestra que el reconocimiento y la caracterización de materiales y patologías en monumentos por medio de herramientas de procesamiento digital de imagen no sólo es posible sino que ofrece un alto grado de compleción y precisión. No obstante, estas últimas variables dependen en gran medida del número de bandas espectrales utilizadas y de la escala de trabajo. A mayor número de bandas y menor distancia cámara-objeto mayor nivel de detalle y más materiales y patologías se pueden apreciar. Además, el uso de técnicas fotogramétricas permite crear fotografías métricas con las que podemos medir y determinar posiciones precisas.

La imagen infrarroja cercana es esencial a la hora de distinguir perfectamente las distintos elementos de la fachada lateral. Los resultados de la fachada lateral podrían haber sido incluso mejores utilizando más imágenes espectrales (no solo visibles).

Las imágenes de salida rectificadas posibilitan el sustento métrico de sistemas de información geográfica adaptados a la arquitectura, i. e. sistemas de información arquitectónicos, sistemas de CAD o bases de datos histórico-técnicas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado parcialmente por la Conselleria de Cultura, Educació i Ciéncia de la Generalitat Valenciana, código GV00-091-6.

BIBLIOGRAFIA

- *J. M. Grunicke, G. Sacher and B. Strackenbrock, 1990. Image processing for mapping damages to buildings. CIPA International Symposium, Cracow, pp. 257-263.*
- *Kodak, 1990. Photographic Filters Handbook. Kodak Publication No. B-3. Eastman Kodak Company.*
- *J. L. Lerma García, 1999. Metodología de Clasificación Multiespectral para el Reconocimiento y Caracterización de Materiales y Patologías en Fachadas Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.*
- *J. L. Lerma, L. A. Ruiz, F. Buchón, 2000. Application of spectral and textural classifications to recognize materials and damages on historic building facades. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5A, pp. 480-483.*
- *J. L. Lerma, 2001. Multispectral versus Multiband Classification of Architectural Images. Photogrammetric Record, Vol. 17, No. 97, pp. 89-101.*
- *W. Niblack, 1986. An introduction to digital image processing. Prentice/Hall International.*
- *P. Rossi-Doria, 1996. Mortars for restoration: basic requirements and quality control. Materials and Structures. Vol. 19, No. 114, pp. 1-8.*