

# La fotogrametría digital: una herramienta para la recuperación de arquitecturas perdidas. Torre del Homenaje del Castillo de Constantina

Roque Angulo Fornos

Miembro del grupo PAI de la Universidad de Sevilla:  
HUM 799-ESTRATEGIAS DE CONOCIMIENTO PATRIMONIAL.  
Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica. ETS de Arquitectura de Sevilla. España

## Resumen

*En los últimos tiempos, el continuo desarrollo de las técnicas de levantamiento arquitectónico basadas en la captura de nubes de puntos mediante escaneo láser ha revolucionado el campo de la documentación previa a la intervención, gestión o investigación en el patrimonio. Sin embargo es precipitado aventurar que dichas técnicas han desbancado a otras que, como la fotogrametría, han desempeñado un importante papel en el ámbito del levantamiento. Entre otras ventajas, la fotogrametría ofrece la posibilidad de capturar realidades ya desaparecidas, carentes de la materialidad necesaria para el uso del escáner láser. En esa línea, esta comunicación describe los trabajos de levantamiento fotogramétrico, localización de piezas y anaparástasis gráfica del estado previo al derrumbe de la Torre del Homenaje del Castillo de Constantina.*

**Palabras Clave:** LEVANTAMIENTO, FOTOGAMETRÍA, ANAPARASTASIS, TORRE, CASTILLO

## Abstract

*In recent years, the continuing development of architectural survey techniques based on point clouds captured by laser scanning has revolutionized the field of documentation prior to intervention, management or research in heritage. No clutch, affirming that these techniques have displaced others, such as photogrammetry, that have played an important role in the field of architectural survey, is a precipitated guess. Among other advantages, photogrammetry offers the ability to capture missing realities, lacking the materialness required for the use of laser scanner. In that vein, this paper describes the work of photogrammetric survey, location of parts and graphical anaparástasis of prior state to collapse of the Keep of the Castle of Constantine.*

**Key words:** SURVEY, PHOTOGRAMMETRY, ANAPARASTASIS, KEEP, CASTLE



## 1. Introducción

El 12 de abril de 2010 contactaron con nosotros para establecer un primer acercamiento con la dantesca situación en la que se encontraba el Castillo de Constantina unos días después del colapso de su Torre del Homenaje (fig. 1, 2 y3).

Existía un proyecto de conservación del castillo, redactado por el estudio del arquitecto Fernando Vilaplana Villajos y por encargo de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Las obras descritas en el mismo no llegaron a tiempo para evitar que las presiones hidrostáticas debidas al defectuoso drenaje de la plataforma interior del recinto produjeran una gran pérdida de material en la base del torreón, lo que finalmente precipitó su colapso.



Figuras 1, 2 y 3. Estado previo y posterior al colapso de la Torre del Homenaje

La Torre del Homenaje<sup>12</sup>, dada su privilegiada posición elevada, formaba parte indisoluble de la imagen del municipio, y su desaparición implicaba una enorme pérdida en la identidad cultural de la comarca. Existía, por tanto, un razonable y poderoso argumento en el interés por parte del ayuntamiento de reconstruir el edificio.

<sup>12</sup> Pertenece al castillo del Cerro del Castillo de Constantina, declarado BIC en 1985, y descrito más ampliamente en HERNÁNDEZ, 1943:345.

En ese sentido, y con el respaldo de la Junta de Andalucía, la mencionada oficina de arquitectura obtuvo el encargo de redactar el proyecto de reconstrucción. Éste debía responder a la Ley de Patrimonio Histórico de Andalucía, la cual en su artículo 20.4 recoge explícitamente que “(...) se evitaren los intentos de reconstrucción, salvo cuando en su reposición se utilicen algunas partes originales de los mismos o se cuente con la precisa documentación y pueda probarse su autenticidad. Si se añadiesen partes o materiales indispensables, las adiciones deberán ser reconocibles y evitar las confusiones miméticas (...)”. Estas condiciones implicaban la necesidad de estudiar de forma pormenorizada los restos con objeto de incorporar en la reconstrucción las piezas recuperables que hicieran legalmente viable una reconstrucción de la torre. Es ahí donde radicó nuestra colaboración en el proceso.

Tras el colapso, y la necesaria intervención de consolidación de los restos por motivos de seguridad, todavía existían grandes fragmentos susceptibles de ser restituidos en su posición original, para lo cual se hacía imprescindible realizar la anaparátasis<sup>13</sup> del estado original de la torre. Así, los objetivos fijados para estos trabajos fueron los siguientes:

- Definir gráficamente la Torre del Homenaje en su estado previo al colapso, tanto en sus características geométricas como en su caracterización material.
- Definir gráficamente las piezas que tras el derrumbe serán susceptibles de ser utilizadas en la reconstrucción del edificio. Restitución de su configuración masiva y de su materialidad.
- Localizar gráficamente dichas piezas en el levantamiento del edificio realizado como primer objetivo, para facilitar la reubicación de las mismas en el proceso de reconstrucción.

Estos objetivos se fueron alcanzando a través las fases de trabajo que se describen a continuación.

## 2. Toma de datos

La toma de datos efectuada estuvo directamente condicionada a los métodos utilizados para la restitución de los distintos objetos de intervención. En ese sentido, como respuesta a las características especiales de los elementos a levantar y con objeto de obtener unos resultados de suficiente calidad y precisión dentro de unos plazos razonables, se optó por un tipo de levantamiento basado en métodos indirectos: levantamiento fotogramétrico.

### 2.1. Objeto de estudio: estado original del edificio

Al tratarse éste del levantamiento de un objeto ya inexistente no ha sido posible realizar una toma de datos in situ de utilidad. En este caso hubo que recurrir a documentación preexistente.

Gracias a diversas campañas arqueológicas y a las labores de estudio previo al proyecto de conservación del recinto amurallado, existían tomas fotográficas realizadas en fechas

<sup>13</sup> “Reconstrucción gráfica pero científica de los restos de una arquitectura, que llega a concluir en el resultado más próximo a un estado original, en un determinado momento, del edificio sobre el que se trabaja” (MONTERO, 1993: 173)

anteriores al derrumbe y un levantamiento topográfico de todo el recinto amurallado (fig. 4) realizado en 2006 por Técnicas Documentales Tecnológicas S.L.

Este levantamiento carecía de datos suficientes para caracterizar la materialidad de los paramentos de la torre, pero fue imprescindible para apoyar un levantamiento fotogramétrico que sí los proporcionara.

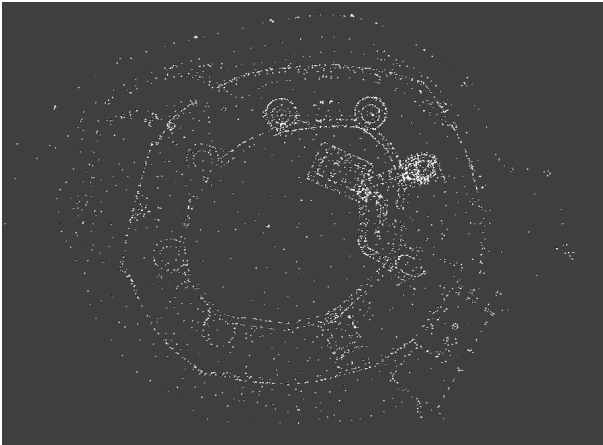


Figura 4. Nube de puntos del levantamiento topográfico de 2006.

## 2.2. Objeto de estudio: piezas recuperables

La toma de datos se enfocó hacia la elaboración de un levantamiento fotogramétrico de cada fragmento, por lo que la toma de datos se realizó en el siguiente orden de fases:

### Tomas fotográficas

El tipo de tomas realizadas (fig. 5), en cuanto a su posicionamiento y ángulo relativo, estuvo directamente relacionado con el tipo de software de restitución empleado: en este caso una aplicación de fotogrametría digital con módulo de correlación automática de puntos. Este método obligaba a establecer posiciones en las que las tomas resultantes fueran pareadas, con una separación entre ellas de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de la distancia al objeto y una cierta convergencia de sus direcciones principales de proyección.



Figura 5. Algunos de los fragmentos conservados.

Se tomaron pares fotográficos suficientes para el barrido completo de las partes visibles de las piezas a recuperar buscando ángulos relativos reducidos en cada par y ángulos mayores entre distintos pares con objeto de facilitar la posterior orientación de las tomas en la aplicación informática.

Para las tomas se empleó una cámara réflex digital con objetivo EF-S 18-55 IS, calibrada para el software de restitución empleado, cuyas características principales se detallan a continuación:

- Sensor CMOS de 10,1 Megapíxeles.
- Procesador de imagen DIGIC III.
- Enfoque automático tipo TTL-CT-SIR con sensor CMOS. 7 puntos de enfoque.
- Enfoque manual.
- Control de exposición: Medición TTL a plena apertura con SPC en 35 zonas. Sensibilidad ISO Auto (100-800), 100-1600 ISO (en incrementos de 1 punto).
- Obturador electrónico de plano focal.
- Balance de blancos automático con el sensor de imágenes.
- Tipo de imagen fija: JPEG y RAW. Tamaño máximo: 3888 x 2592 píxeles.

### Puntos de control

Las tomas fotográficas se apoyaron en puntos de control para garantizar el correcto posicionamiento y orientación de las restituciones. En este caso, dado que no era necesario obtener un resultado vinculado a un sistema de coordenadas general, se optó por ubicar una serie de marcas de forma previa a la toma de fotografías, que posteriormente servirían de base para la orientación relativa de las mismas. La medición de un par de distancias entre dichas marcas sirvió para dotar de una escala precisa al resultado final.

## 3. Restitución gráfica

### 3.1. Levantamiento del estado original del edificio

Se realizó a partir de la orientación y restitución de un grupo de tomas fotográficas recopiladas con fechas anteriores al derrumbe, y utilizando como referencia una serie de puntos de control obtenidos del levantamiento topográfico antes mencionado. De esta forma se obtuvo un único modelo tridimensional del objeto (fig. 6), formado por mallas mapeadas con texturas reales, y referenciado y escalado dentro del sistema universal de coordenadas UTM.

Debido a que las tomas fotográficas corresponden a cámaras no calibradas previamente, las únicas características conocidas son las almacenadas en sus metadatos EXIF. Estos datos eran en todo caso insuficientes para obtener un resultado final de gran precisión. A esa circunstancia, se unió la falta de información relacionada con la ubicación exacta de los puntos de control extraídos del levantamiento topográfico, necesaria para la correcta orientación de las fotografías. En cualquier caso, se obtuvo un modelo restituído con un error medio de 2,5 cm. respecto a la “desaparecida” realidad del edificio y que

consideramos más que suficiente para la finalidad del levantamiento.

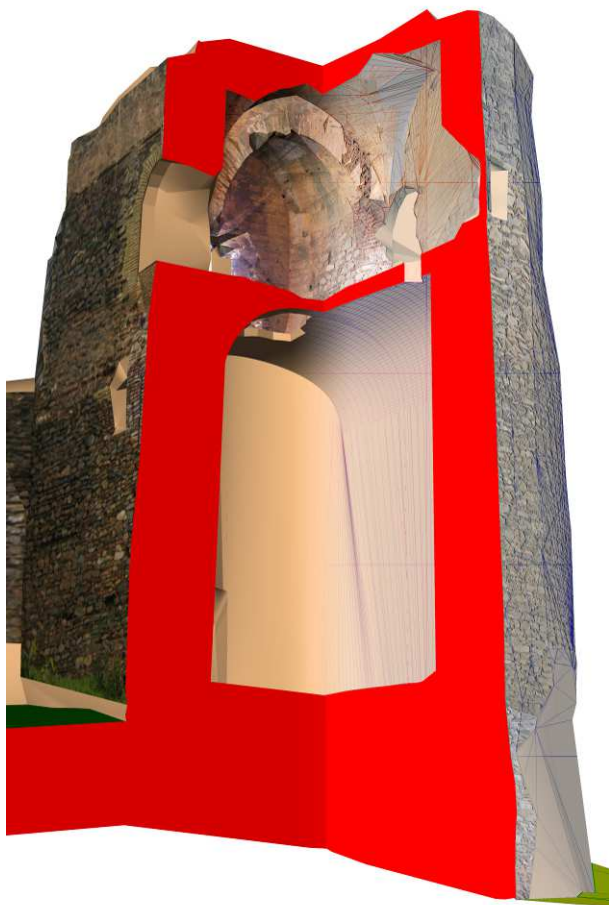


Figura 6. Modelo 3D del estado previo al colapso.

Para el levantamiento se empleó un software de fotogrametría digital con las siguientes características:

- Se trata de un paquete de fotogrametría digital con un potente núcleo de ajuste algorítmico que optimiza todos los datos introducidos (información de la cámara, puntos de control aportados por el usuario, sistema de marcado automático, etc.) para determinar con exactitud las posiciones y ángulos de cada toma fotográfica en el momento de la exposición, así como las coordenadas 3D de todos los puntos restituídos.
- Está provisto de un sistema de calibración automática de la cámara a partir de un mínimo de ocho tomas de un damero de calibración proporcionado por el fabricante.
- Permite la restitución de líneas, curvas, superficies y volúmenes primarios, la exportación fragmentos fotográficos rectificadas de paramentos o solerías, así como la correlación automática de nube de puntos para la obtención de escaneados parciales de objetos.

### 3.2. Levantamiento de piezas recuperables

Se realizó mediante el software de fotogrametría digital antes descrito, a través del cual se orientaron y restituyeron las tomas fotográficas realizadas in situ utilizando como referencia las marcas referidas en apartados anteriores. En este caso, debido a la irregularidad de los fragmentos, se recurrió al módulo de correlación automática del mismo software fotogramétrico para la obtención de los modelos superficiales tridimensionales texturizados de cada una de las piezas recuperables a escala real (fig. 7).

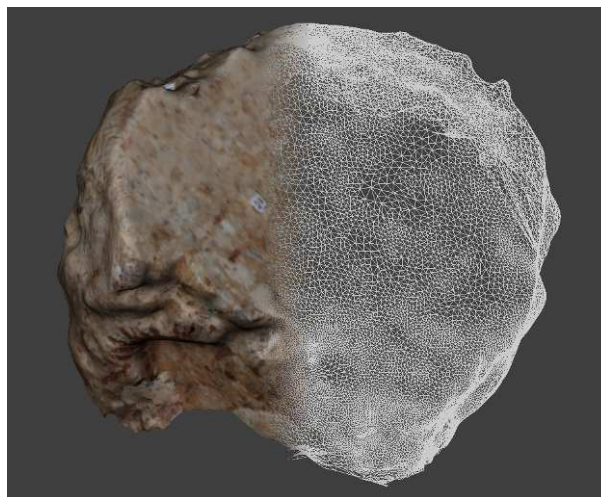


Figura 7. Representación en textura/malla del modelo tridimensional del fragmento #1.

En este caso, dado que las tomas fotográficas se realizaron mediante cámara calibrada, los errores de levantamiento se han reducido a un máximo de 0,5 cm. de medición en cualquier longitud máxima por pieza.

### 4. Localización gráfica de piezas recuperables

Utilizando los modelos elaborados en fases anteriores y mediante la comparación en un medio gráfico tridimensional, de sus propiedades dimensionales y de sus texturas reales, se localizaron de forma unívoca y precisa cada una de las piezas recuperables restituídas sobre la base del levantamiento gráfico de la Torre del Homenaje en su estado original (fig. 8).

La caracterización geométrica y formal contenida en la información gráfica generada sirvió de base para la redacción del proyecto de reconstrucción por parte de la oficina de arquitectura, y permitió a su vez resolver las incógnitas relativas al volumen, masa y posición de los fragmentos para poder realizar el cálculo y análisis estructural que garantizaran la viabilidad de la reconstrucción.

Estos trabajos, fundamentalmente de carácter instrumental, no han servido para establecer las bases de un posicionamiento crítico frente al uso indiscriminado de las últimas técnicas de documentación del patrimonio arquitectónico. Así, entendemos que todo proceso de documentación patrimonial debe generarse a partir de un proyecto previo de revisión de las herramientas

disponibles y de planificación de las distintas fases del trabajo, encaminado en todo caso a la búsqueda de la mayor adaptación posible de los medios a los objetivos buscados y a la obtención de unos resultados científicamente rigurosos y susceptibles de ser revisados. Por último, consideramos que dicho proceso ha de someterse a posteriori a un examen crítico que dé lugar a la formulación de mejoras que garanticen el perfeccionamiento de la metodología seguida

Dicha información fue volcada en la correspondiente planimetría generada como resultado final de todo el proceso (fig. 9).



Figura 8. Localización gráfica de fragmento #1 en modelo tridimensional del estado original.

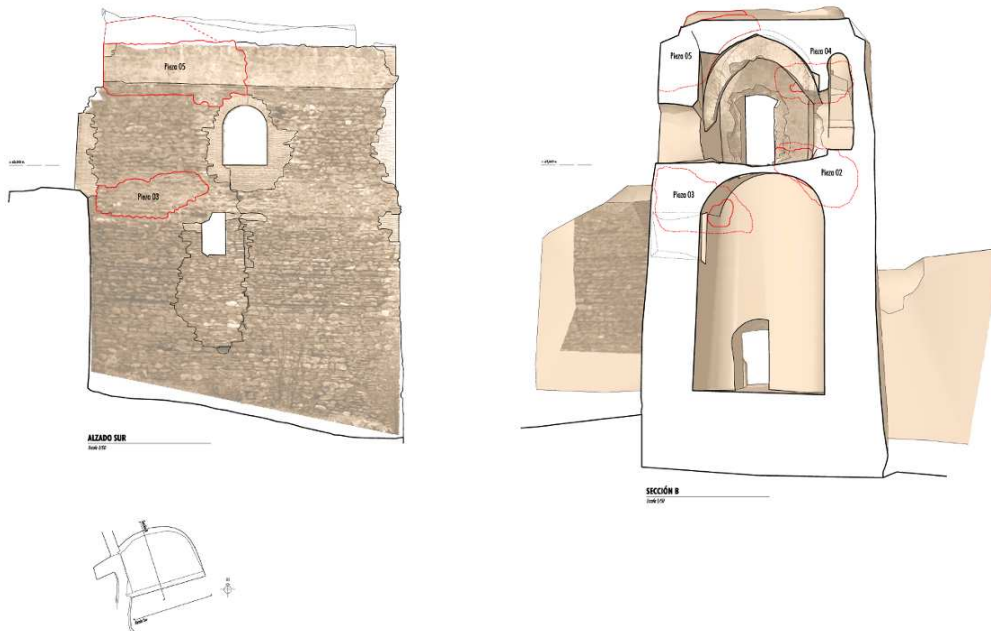


Figura 9. Alzado sur y sección transversal con la localización exacta de los fragmentos recuperables.

### Agradecimientos

Sirvan estas líneas para agradecer a la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía, en concreto al arquitecto jefe de Dpto. de Conservación del Patrimonio Histórico, Juan Antonio Fernández Naranjo, y a Fernando Vilaplana Villajos la confianza y la apuesta mostrada por nuestro método de trabajo. Junto a ellos a Manuel Angulo García, por su inestimable ayuda.

### Bibliografía

HERNÁNDEZ, J. et al. (1943): Catálogo Arqueológico y Artístico de la Provincia de Sevilla. Tomo II. Diputación de Sevilla.

MONTERO, F. J. (1993): “Continente para un contenido II: la restauración del teatro romano de Itálica”, en *Teatros Romanos de Hispania. Cuadernos de Arquitectura Romana*, Vol. 2, pp. 173-181.

PINTO, F., et al. (2011): “Anastilosis de la scaenae frons del teatro romano de Itálica”. *III Internacional de Arqueología, Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación*.