



# DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LA TORRE VALLFEROSA DE TORÀ

## GEOMETRIC DOCUMENTATION OF THE TORRE VALLFEROSA OF TORÀ

Rafael Tortosa Garcia<sup>a</sup>, Josep Blasco i Senabre<sup>a</sup>, Oscar Aparicio González<sup>a</sup>, Luis Gimeno Martínez<sup>a</sup>, Andrea Vilaplana Sellés<sup>a</sup>, Joan Menchón i Bes<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Global Geomática s. l., C/ Santiago Rusiñol, 32, 46019 Valencia, España. [rtortosa@globalgeomatica.es](mailto:rtortosa@globalgeomatica.es); [jblasco@globalgeomatica.es](mailto:jblasco@globalgeomatica.es); [fotogrametria@globalgeomatica.es](mailto:fotogrametria@globalgeomatica.es); [arqueologia@globalgeomatica.es](mailto:arqueologia@globalgeomatica.es); [avilaplana@globalgeomatica.es](mailto:avilaplana@globalgeomatica.es)

<sup>b</sup> Ajuntament de Tarragona, Pl. de la Font 1, 43003 Tarragona, España. [jjmb@tinet.cat](mailto:jjmb@tinet.cat)

### Abstract:

The Architecture and Archaeology depends on Geomatics to document Cultural Heritage in the best way, especially in the most complex situations or with those that present particular specifications. In this particular case, the Project of *Torre de Vallferosa (Torà, Catalonia)* has solved the way of representing indoor and outdoor tower's Surface (cylindrical and conical shape). The solution provided to this is to develop and expand the surface through *ad hoc* software.

**Key words:** digital archaeology, documentation, laser scan, cylindrical and conic structures, digital photogrammetry, surface development

### Resumen:

Los campos de la Arquitectura y de la Arqueología necesitan de la Geomática para poder resolver la mejor forma de documentar el Patrimonio, sobre todo en los casos más complejos o que presenten unas características específicas o extraordinarias. En el presente trabajo presentamos el caso particular de la Torre Vallferosa (Torà, Catalunya), un proyecto donde se ha tenido que resolver la forma de representar la superficie de la torre, tanto la interior como la exterior, de aspecto cilíndrico y cónico, respectivamente. La solución adoptada ha sido la de desarrollar y desplegar la superficie mediante una aplicación realizada *ad hoc* para la ocasión.

**Palabras clave:** arqueología digital, documentación, láser escáner, estructuras cilíndricas y cónicas, fotogrametría digital, desarrollo de superficies

## 1. Introducció

En abril de 2014, se encargó a Global Geomática el proyecto de *Documentación gráfica y geométrica de alta definición de la Torre Vallferosa* por parte del *Servei de Patrimoni Arquitectònic* de la *Direcció General d'Arxius, Biblioteques, Museus i Patrimoni* del *Departament de Cultura* de la Generalitat de Catalunya.

La Torre Vallferosa (Fig. 1), está situada en Catalunya, en el término municipal de Torà, perteneciente a la comarca de la Segarra y a la provincia de Lleida. Su posición responde a la latitud 41,8616° y longitud 1.4454°.

Esta torre de vigilancia construida hacia el año 970 d. C., se encuentra situada en el camino que va de Solsona a Torà, cerca de la riera tributaria de Llanera que lleva las aguas hacia el río Llobregós. Declarada

Bien Cultural de Interés Nacional (BCIN), por sus características, la hacen única siendo considerada la obra maestra de la arquitectura militar del siglo X (Menchon 2011 y 2014).

Su estructura exterior es similar a la de un tronco de cono, con un radio inferior de 6.30 m y una altura de unos 31 m aproximadamente. La puerta de acceso está ubicada a unos 10 m de altura y por debajo de esta altura se encuentra un depósito de aspecto cilíndrico. Por el interior se accede hasta la parte superior mediante una escalera de madera. Destacar que en la cuarta planta se conserva parte del techo original de la época románica.

La documentación de la Torre Vallferosa, como apreciamos en su descripción, tiene el hándicap de su geometría, que responde a una forma cónica en su parte exterior y cilíndrica en el interior, aparte de la

\* Corresponding Author: Rafael Tortosa Garcia, [rtortosa@globalgeomatica.es](mailto:rtortosa@globalgeomatica.es)

dificultad que conlleva el uso de aparatos de medición y de cámaras fotográficas en el entorno de la misma edificación así como en su interior.

Para su representación se propuso el despliegado o desarrollo de la superficie que puede ser aproximada analíticamente, en parte o totalmente. Para ello se necesitaba una aplicación que fuera capaz de realizar este despliegado o desarrollo, teniendo como datos de partida un modelo 3D texturizado y los parámetros de la figura teórica que mejor se aproximara a la real.



Figura 1: Vista de la Torre Vallferosa. GLOBAL GEOMÁTICA

La solución adoptada fue la realización de una nueva aplicación, denominada DESENREC 3D 1.0, que es capaz de desarrollar modelos cilíndricos o desplegar modelos cónicos. Esta aplicación es una evolución de DESENREC 2.0 (Tortosa 2003), de la cuál se mantiene la base matemática y el proceso de utilización.

La principal característica de la nueva aplicación, respecto a la anterior versión, es que el proceso metodológico propuesto para la aplicación fotogramétrica no parte de una imagen sino de un modelo tridimensional texturizado al cual se le aplica una transformación de acuerdo con los parámetros de definen la figura teórica, que responde a la primitiva que mejor se aproxima a la real. Los parámetros de la figura —cónico o cilíndrico—son obtenidos mediante el análisis y cálculo por mínimos cuadrados de la nube de puntos que define la superficie de la torre. La transformación, partiendo de un modelo tridimensional, puede generar otro modelo tridimensional, donde la tercera dimensión se corresponde con el error de ajuste en cada punto (discrepancia entre la figura teórica del objeto real), o bien generar un modelo bidimensional (plano) —la tercera dimensión es nula en todos sus puntos—, que se corresponde con el desarrollo ortofotográfico de la superficie de la torre de forma desplegada.

## 2. Procesos de documentación

### 2.1. Toma de datos

Para la toma masiva de puntos de la geometría de la torre se ha utilizado un Láser Escáner Terrestre (TLS), en concreto el FARO FOCUS 3D, un instrumento que nos ofrece gran versatilidad y rapidez en la adquisición

de datos. En el exterior se han realizado dos anillos alrededor de la torre, uno más próximo al paramento y otro más alejado. Para el interior, se han realizado diversos escaneados en los distintos forjados y espacios. En total se han realizado 96 posicionamientos para definir la torre: 53 en la parte exterior y 43 en la interior.

Para las tomas fotográficas se ha utilizado una cámara convencional digital de calidad óptima, en concreto, la CANON EOS 600D, con una focal fija de 18 mm. Se han tomado fotografías de todas las partes de la torre con un recubrimiento entorno al 60 % entre imágenes contiguas.

Las imágenes de la parte inferior de la torres se realizaron a pie de campo y para la realización de las imágenes del paramento exterior, en las partes media y elevada, se ha utilizado un sistema que consiste en suspender la cámara con la consideración de que la disposición del plano focal sea el más paralelo a la superficie de la torre. Al extremo de un perfil metálico, dispuesto en horizontal, se ha desplegado un cable metálico que engancha la cámara y con la ayuda de dos cables la cámara es redireccionada desde la base de la torre. Para el cálculo se han seleccionado para el cálculo 640 imágenes.

Para el interior, la toma de las fotografías se realiza de forma convencional. La suma total de las fotografías del interior es de 1492, a las que hay que sumar las 252 realizadas al depósito.

### 2.2. Procesos de edición y cálculo

En primer lugar se realiza la correspondencia de los escaneados mediante la identificación de referencias y el cálculo del mejor ajuste posible de las referencias homólogos, obteniendo la posición relativa de todos los posicionamientos en un mismo sistema de coordenadas. Las nubes son exportadas para la generación del modelo digital de la superficie.

En otra línea de trabajo, las imágenes son introducidas en el software AGISOFT PHOTOSCAN, donde el primer paso es calcular la orientación relativa de todas las imágenes. Para darle métrica a esta orientación, además de trabajar en el mismo sistema de coordenadas que el modelo 3D obtenido a partir del TLS, introducimos los puntos de apoyo. Realizada la orientación absoluta, introducimos el modelo obtenido anteriormente. Este modelo es texturizado con una calidad óptima, mediante 25 texturas de una dimensión de 4096 x 4096 píxeles, a partir de las imágenes georientadas.

Como se ha explicado anteriormente, a consecuencia de la forma geométrica de la torre, la mejor forma de representarla es mediante el *desplegado* de la superficie. Así, de esta forma, se puede medir directamente sobre esta proyección ya que se mantiene la escala en ambos ejes y se corresponde con un producto que no presenta discontinuidades y facilita el estudio de patologías y deformaciones además de posibilitar zonas de actuación, gestión y mantenimiento.

Para la realización del despliegado se ha utilizado la aplicación DESENREC 3D 1.0, descrita en el apartado anterior. En primer lugar se necesitan calcular los parámetros que definen la figura que mejor se asimila la

superficie de la torre para poder realizar la transformación entre el sistema de coordenadas tridimensional y su desplegado o desarrollo en un plano en su debido sistema bidimensional.

A partir del modelo 3D, seleccionando sólo las partes que pertenecen a la superficie lisa de la torre, hemos testeado la superficie con la conclusión de que la figura responde a un tronco de cono (Fig. 2), con un radio inferior de 6.27 m, un radio superior de 4.81 m y una altura de 30.70 m. Esta aproximación tiene una desviación estándar de 0.19 m y un valor máximo de 0.72 m



**Figura 2:** Mejor ajuste de la superficie exterior con un cono.  
GLOBAL GEOMÁTICA

Respecto al interior de la torre, la superficie responde a un cilindro tanto en el cuerpo principal como en el depósito ubicado en la zona inferior. El interior tiene un radio de 2.05 m con altura de 18.99 m y los datos estadísticos responden a una desviación estándar de 0.17 m y un valor máximo de 0.43 m, mientras que el depósito tiene un radio de 1.08 m y altura 5.25 m con una desviación estándar de 0.072, con error máximo de discrepancia de 0.26 m

La aplicación DESENREC 3D 1.0, cuando genera el modelo resultante da opción a que el valor de la coordenada Z sea nulo para cada punto o se corresponda con la diferencia del ajuste entre el valor real y la superficie teórica. En caso de elegir la primera opción, automáticamente habremos generado la proyección ortofotográfica que hemos pretendido obtener mediante la generación de una imagen ráster

con la relación métrica (píxel/m) conocida (Fig. 3). Si se elige la segunda opción, nos genera un modelo que es la base del mapa de discrepancias donde apreciamos las desviaciones respecto al modelo teórico, una cartografía básica e imprescindible, que se debe adjuntar siempre con el desplegado ortofotográfico.



**Figura 3:** Desplegado ortofotográfico de la superficie exterior de la torre. GLOBAL GEOMÁTICA

### 3. Conclusiones

Los trabajos de documentación geométrica mediante técnicas fotogramétricas necesitan continuamente apoyarse en las nuevas tecnologías digitales y en la programación informática, que nos pueden aportar soluciones a proyectos con características específicas, como ha sido el caso de la Torre Vallferosa. El producto final ha cumplido con las especificaciones iniciales de calidad y precisión, con la obtención de planos de precisión centimétrica y unas ortofotos con resolución de 2 píxeles por milímetro. Respecto al desplegado ortofotográfico, somos conscientes de que el ajuste —principalmente en el exterior—, presenta diferencias de aproximación de hasta 72 cm, pero con la ayuda del mapa de discrepancias somos capaces de localizar estas máximas diferencias, destacando en todo momento la discontinuidad de la ortofoto, considerando en todo momento, que esta ha sido la mejor solución de documentación gráfica y geométrica posible.

### Agradecimientos

Agradecer al Ayuntamiento de Torà y al *Departament de Cultura* de la Generalitat de Catalunya todas las facilidades dadas en la gestión y en los procesos de elaboración del proyecto.

### Referencias

- MENCHON BES, J., 2011. La torre de Vallferosa (Torà, Segarra). Aproximació a la seva arquitectura i datació radiocarbònica, *Actes del IV Congrés d'Arqueologia Medieval i Moderna a Catalunya. Tarragona 10 al 13 de juny de 2011*, Ajuntament de Tarragona, TAU 3, vol. 2, pp. 769-782.
- MENCHON BES, J., 2014. La torre de Vallferosa (Torà, Segarra): cronología i construcció, *Tribuna d'Arqueologia 2011-2012*, Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, pp. 264-294.
- TORTOSA, R., 2003. *Programari de Fotogrametria Digital: Rectificació i Desenvolupament*. PFC, ETS Geodèsica, Cartogràfica i Topogràfica. Universitat Politècnica de València.