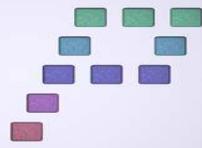


**PFC**



**Gestión del Patrimonio Cultural  
Nuevas Tecnologías**

**Año de realización:**

Mayo 2007

**Método/Equipo**

Topografía Clásica/ Láser Escáner

**TITULO:** Levantamiento topográfico del "Castillo de Villavellid" con métodos tradicionales y sistemas láser escáner 3D.



## ÍNDICE

1- Introducción .....	3
1.1.- Objetivos .....	3
1.2.- Localización .....	3
1.3.- Reseña histórica .....	4
2- Red GPS .....	4
2.1.- Red básica .....	4
2.2.- Red secundaria .....	5
3- Densificación de la red secundaria .....	5
4- Red de puntos de referencia .....	6
5- Levantamiento del terreno .....	7
6- Levantamiento con el equipo láser escáner-estación .....	8
6.1.- Tratamiento de los datos .....	9
7- Generación del modelo tridimensional .....	10
7.1.- Modelado del castillo .....	10
7.2.- Modelado del terreno .....	12
7.3.- Visualización del modelo .....	12
8- Diseño y edición de la cartografía .....	16
8.1.- Dibujo de los planos .....	17
9- Conclusiones .....	18
10- Bibliografía .....	19
Anexo I: Ejemplo reseña de vértice .....	19
Anexo II: Presupuesto	
Anexo III: Características técnicas láser escáner LS 880 HE de Faro	

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Objetivos del proyecto

Este proyecto tiene por objetivo utilizar diferentes técnicas de toma de datos para el levantamiento topográfico del castillo de Villavellid y la elaboración del plano de planta detallada a escala 1/200 y de los alrededores del mismo a escala 1/500.

Se han empleado mediciones con estación total (topografía clásica), con equipos GPS y con el sistema láser escáner LS 880 HE de la casa FARO.

Los trabajos consistieron en la integración de técnicas de adquisición de datos para el análisis y estudio de la posibilidad de aplicación de las mismas en levantamientos de elementos patrimoniales.

Todo el proyecto se realiza en colaboración con la Hafencity Universität Hamburg, Departamento de Geomática y la Asociación Restauradores Sin Fronteras.

### 1.2. Localización

El castillo, a 65 kilómetros de Valladolid, se encuentra a caballo entre las comarcas naturales de Tierra de Campos y los Montes Torozos.

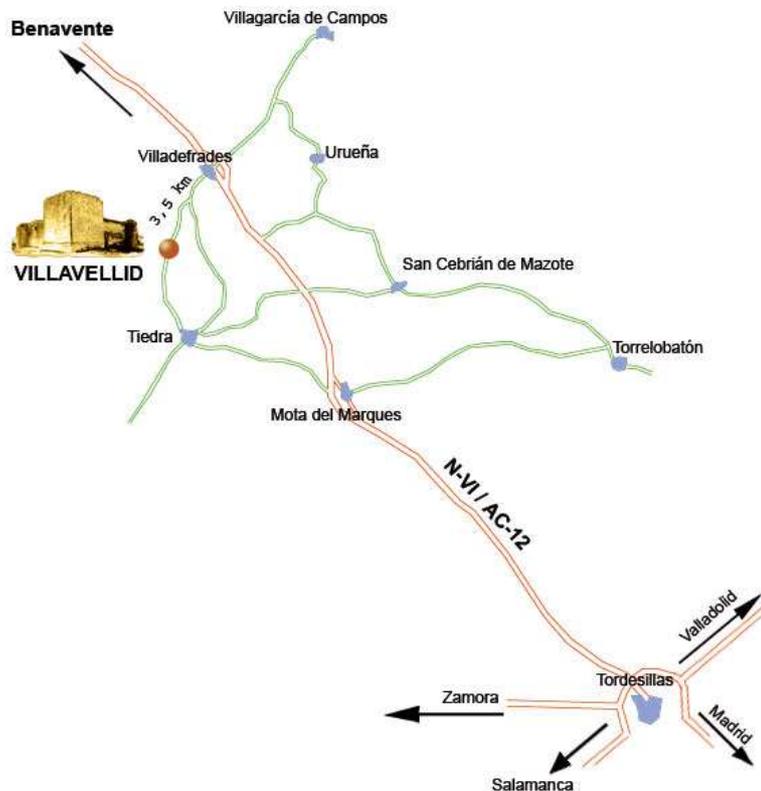


Fig. 1: Localización del Castillo de Villavellid

### 1.3. Reseña histórica

El castillo de Villavellid se encuentra apartado del núcleo urbano de Villavellid a 65 kilómetros de Valladolid. Su situación en la ladera de un promontorio facilita una visión de la región.

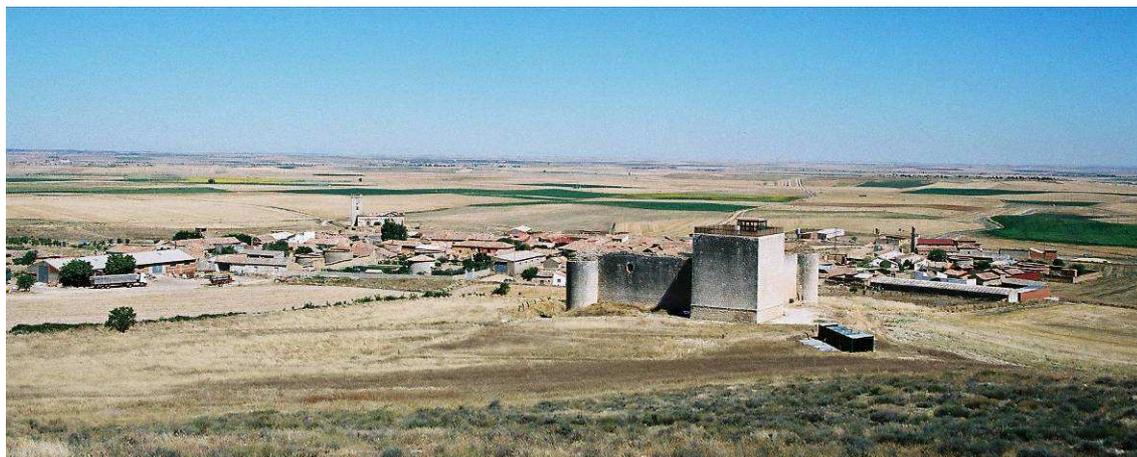


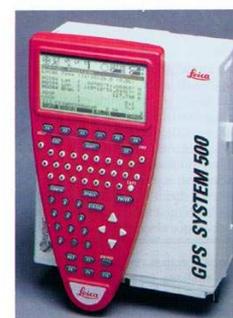
Fig. 2: Vista aérea del Castillo de Villavellid

El castillo muestra un marcado carácter sobrio y discreto sin detalles decorativos aparentes. Este proyecto pretende realizar una investigación histórica tanto del castillo de Villavellid como de la zona, región esta donde se encuentran numerosos emplazamientos fortificados.

## 2. REDES GPS

Se implantó una red de vértices observados por el método de observación estático rápido, que enlazaba con la red REGENTE y repartía unos vértices en la cercanía del castillo disponibles para los siguientes trabajos topográficos: unos vértices más alejados como enlace a la red oficial, otros más cercanos como red secundaria. Se utilizó un equipo GPS Leica 500 formado por tres receptores. Las características técnicas de los equipos son:

- Mediciones L1.12 canales..
- Postproceso: 5mm+ 0,5 ppm.
- Tiempo real: 10mm+2ppm.



### 2.1. Red básica

El proceso consistió en dejar un receptor en el vértice 34165 – Montemata de la red REGENTE y estacionar en otras dos bases de referencia: Ref 1 y Ref 2, materializadas anteriormente.

Mediante el programa Leica Ski-Pro se calcula el enlace y la transformación para el paso de WGS-84 a ED-50 utilizando los cuatro vértices REGENTE más próximos a la zona. El

residuo máximo de un vértice en esta transformación fue de 10 cm en planimetría y de 2 cm en altimetría.

## 2.2. Red secundaria

El objetivo de la creación de esta red secundaria es tener en las cercanías de las paredes del castillo una serie de puntos con coordenadas conocidas que han de servir de base para la observación y cálculo de la red de puntos de referencia que el levantamiento con láser escáner necesita.

La red secundaria la formaron 9 puntos en el exterior y 5 en el interior del patio de armas. En el exterior se colocaron a unos 30 metros aproximadamente de los muros, procurando que hubiera intervisibilidad entre ellos. La observación se efectuó de manera análoga a la red básica, tomándose como punto fijo el Ref 2.

Se introdujeron las coordenadas ajustadas de la red básica al punto de control Ref 2 y se efectuó el cálculo de las líneas base. Después se calcularon todas las líneas base entre los puntos de la red secundaria que fueron posibles y se aplica la transformación a ED-50.

Hubo problemas en las bases del interior de la muralla debido al apantallamiento, por lo que se decidió realizar una densificación de la red por métodos clásicos que se explicará a continuación.

Las coordenadas calculadas de los puntos del exterior de la red secundaria, sí resultaban precisas, dentro de la tolerancia establecida en el anteproyecto, resultando de unos 13mm.

## 3. DENSIFICACIÓN DE LA RED SECUNDARIA

El objetivo de esta fase del trabajo es densificar la red secundaria y dotar de nuevas coordenadas a aquellos vértices de la red secundaria en los que no se pudieron realizar observaciones suficientes de GPS, realizando las observaciones mediante topografía clásica.

Se utilizó una estación total Leica TCRA 1105, que permite realizar medición de distancias sin prisma. Las características técnicas del instrumental son:

Desviación típica en la medida de ángulos	1.5 mgon
Desviación típica en la medida de distancias	
Con prisma reflector	$\pm ( 2\text{mm} + 2\text{ppm} )$
Sin prisma reflector	$\pm ( 3\text{mm} + 2\text{ppm} )$
Aumentos	30x
Correcciones automáticas	Error de índice vertical Error de colimación



Compensador de dos ejes	
Sensibilidad de los niveles:	
Nivel esférico	6`/2 mm
Unidad mínima en pantalla	1"

Como instrumental complementario se utilizó:

- Flexómetro,
- Trípodes de madera y metal,
- Bases nivelantes de instrumentos Leica,
- Jalones con prismas reflectores Leica.

Las observaciones de densificación de la red se realizaron en el mismo estacionamiento y conjuntamente con la observación de las visuales a la red de puntos de referencia. Se aplicó el método de vueltas de horizonte, en círculo directo e inverso. Los prismas fueron estacionados sobre trípode con ayuda de las basadas, sustituyendo en ocasiones a la alidada de la estación total.

Esta metodología se empleó también en la densificación de la red secundaria en el exterior. Las nuevas bases fueron situadas en lugares idóneos para observar la red de puntos de referencia con el mejor ángulo posible, ya que desde estas bases se observarían además los puntos de referencia en cada muralla.

Estas nuevas estaciones (en número de ocho en total) se observaron de la misma manera que las del interior. Se realizaron visuales como mínimo a tres vértices de la red secundaria desde cada una de ellas.

Todos los ajustes y cálculos se realizaron con un sistema local de coordenadas. Tanto la densificación de la red secundaria como el cálculo de la red de puntos de referencia están destinados a dotar de coordenadas los trabajos con el equipo láser escáner. Este equipo solamente emplea sistemas locales de coordenadas sin proyección. Las coordenadas de los vértices de la red secundaria, sobre los que se apoyan estos puntos, se transformaron a este sistema local sin proyección antes de proceder a su ajuste mínimo cuadrático.

#### 4. RED DE PUNTOS DE REFERENCIA

La forma y dimensiones de las señales de los puntos de referencia vienen determinadas por el escáner empleado. El láser escáner FARO LS 880 HE y las aplicaciones informáticas que lo acompañan, definieron el tipo de señal de puntería. Se utilizaron dianas de papel pegadas a las paredes y esferas blancas adheridas por imanes a elementos metálicos.

Para darles coordenadas a las esferas, eran sustituidas durante la medición por *miniprismas* cuyo centro coincidía con el de las esferas. Para dotar de coordenadas a las dianas se media a su centro.



Fig. 3a: Miniprisma



Fig. 3b: Esfera

Estas dianas de puntería fueron dispuestas en la parte inferior del castillo y a mitad de altura en las murallas. De manera que recubrieran la superficie que iba a ser escaneada. Las esferas se fijaron en lo alto de la torre y también se colocaron sobre elementos metálicos móviles alrededor del escáner y en las cercanías del castillo, de modo que el equipo de láser escáner tuviese puntos de coordenadas en toda su captura.

Las observaciones se realizaron mediante vueltas de horizonte en círculo directo y círculo inverso desde los vértices de la red secundaria y desde las estaciones de la densificación, eligiéndose las posiciones que pudieran tener mejor ángulo de intersección con los puntos.

Se realiza el cálculo de la red y se aplica una transformación de semejanza tridimensional, con tres traslaciones y tres giros, para transformar las coordenadas ajustadas al sistema original.

A la red del interior no se aplica esta transformación, ya que las coordenadas originales de las bases de la red secundaria provenientes de las observaciones con GPS no ofrecen garantía de estar en el mismo sistema que la del exterior. Se trabajó con los dos conjuntos de coordenadas separadamente en las siguientes fases del proyecto.

## 5. LEVANTAMIENTO DEL TERRENO

Se realiza el levantamiento alrededor del castillo, para situarlo en un contexto topográfico. En la zona circundante al castillo se trabajó con topografía clásica debido a que las murallas de este no permiten una buena cobertura de satélites para el método RTK; y el resto de la zona mediante RTK.

## 6. LEVANTAMIENTO CON EQUIPO LÁSER ESCÁNER

Para la realización de este proyecto, la casa FARO nos proporcionó el equipo FARO Láser Scanner LS 880 HE.

Para el levantamiento del castillo se necesitaba la colocación del escáner en varias posiciones distintas alrededor de él, tratando que se pudieran escanear por completo los lienzos del castillo desde cada una de las posiciones. El escáner se situó a una distancia entre 20 y 30 metros con una densidad de la nube de puntos de entre 3 y 5 milímetros con resolución completa.

Se dividió el castillo en distintas zonas de estudio:

- Una zona por cada pared exterior, con tomas de ellas desde distintos puntos de vista y resoluciones.
- El interior del patio de armas. Aunque era posible recoger los detalles en un barrido de 360°, los ficheros resultantes eran demasiado grandes para el sistema informático. Se dividió en sectores angulares para realizar tomas con resolución completa.
- La parte superior de las murallas y de la torre de homenaje.
- El interior de la torre, de modo que fuera más fácil modelar su estructura.

El orden de observación en las distintas zonas de estudio lo determinó su orientación con el Sol. Se descubrió que en las paredes más expuestas al calentamiento solar, las imágenes en blanco y negro de la escena estaban difuminadas; y más tarde se comprobó en gabinete cómo el calor había alterado la medición.

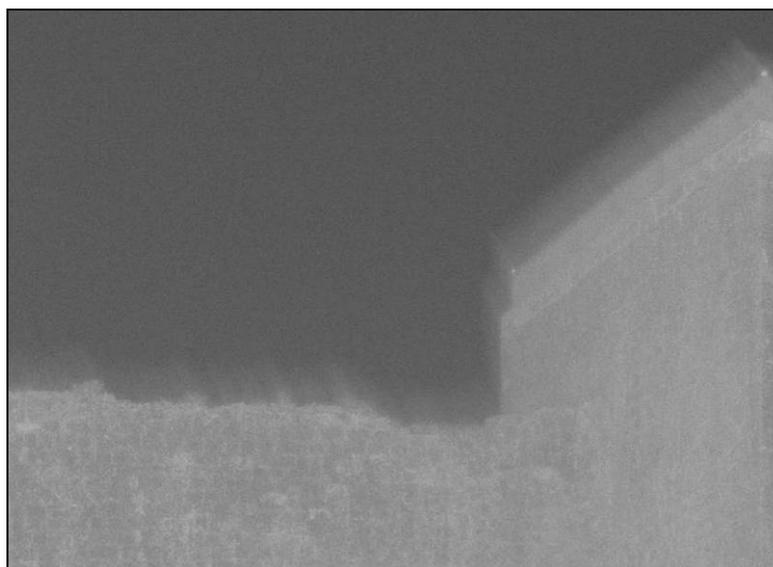


Fig. 4: Alteración en la imagen en blanco y negro de la muralla sur

Se realizaban las observaciones procediendo en este orden:

- Barrido de 360° horizontal con baja resolución y toma de fotografías.

- Selección de la ventana angular con información que interesaba escanear con resolución completa.
- Escaneado de la selección con resolución completa y con otras resoluciones.
- Cambio de estacionamiento a otro punto de vista de la zona de estudio.

En total se grabaron 55 tomas, comprobando como la velocidad de adquisición de puntos decrecía considerablemente al serle exigida mayor resolución.

### 6.1. Tratamiento de los datos

El procesamiento de los datos recogidos por el láser escáner se efectuó con el programa asociado FARO Scene 3.0. Con él se procedió al registro de los ficheros del escáner.

Las dianas de papel y las esferas blancas fueron dotadas de coordenadas en el cálculo de la Red de Puntos de Referencia. En cada una de las nubes de puntos escaneadas se tuvo que determinar la posición del centro de todas las señales de referencia en el sistema instrumental. El programa determina la posición de cada tipo de señal de forma interactiva.

Una vez se selecciona el área de la nube de puntos donde está el objeto de referencia, se analiza la posición de los puntos claros contrastados con el fondo oscuro, para definir el centro, en el caso de las dianas de papel. En la medición de las esferas, se analiza la posición de todos los puntos seleccionados de la esfera para calcular el centro de la misma.

Completada la medición de objetos, se importaron las coordenadas de la red de puntos de referencia y se procedió al registro de todos los ficheros del escáner. En cada toma, la situación del escáner se determina con la que mejor ajusta los objetos medidos en el sistema local con las coordenadas importadas de los objetos en el sistema global. En esta transformación se calculan coordenadas del escáner (x, y, z) y su orientación queda definida con tres ángulos. Este sistema de registro requiere al menos tres puntos de referencia, o un plano de referencia y dos puntos. La calidad de este ajuste puede ser medida por la desviación en distancia entre los puntos de referencia en el sistema local y en el sistema global. Se desechan los ajustes que tengan una desviación mayor de 20mm.

Una vez que todas las nubes de puntos se encuentran en el mismo sistema global de coordenadas se puede modelar el objeto de estudio. El programa Faro Scene permite el modelado y la extracción de ciertas geometrías, pero no permite exportarlas en el formato adecuado al programa que se usó en la reconstrucción del modelo digital tridimensional y en su visualización. Se decidió, exportar directamente las nubes de puntos para ser modelado el objeto de estudio.

En este proceso es posible reducir la cantidad de número de puntos si es excesiva, exportando un punto de cada cierto número de filas y columnas. También en este paso, se aplican filtros a la selección que va a ser exportada, de modo que se eliminen puntos erróneos, como pueden ser puntos aislados en el vacío o puntos que reflejaron poca energía y que podrían haberse medido erróneamente.

La exportación de la nube de puntos se realiza en el formato PTC. Con este formato la aplicación con la que se trabaja después, Autocad-PointCloud, puede manejar la nube de puntos realizando cortes y secciones, intersección de planos, etc.; además de

reducirse el tamaño de los ficheros (por ejemplo, una nube de dos millones de puntos genera un fichero DXF de 196 MB en cambio en formato PTC es tan sólo de 61MB).

## 7. GENERACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL

El levantamiento del castillo de Villavellid se planteó como la obtención de la forma y dimensiones de la edificación y su entorno partiendo de distintos métodos topográficos. Se decidió que la mejor manera de representarlo fuese a través de un modelo digital tridimensional y de éste obtener todas las salidas gráficas necesarias, planos de planta o alzados. Se procedió a la creación de un modelo digital del terreno (MDT) para la superficie de la zona radiada con GPS y estación total, y a la elaboración de un modelo tridimensional del propio castillo.

### 7.1. Modelado del castillo

Para el modelado del castillo se partió de los ficheros PTC exportados desde la aplicación Faro Scene del equipo láser. Se cargaron estas nubes de formato PTC, una a una, en la aplicación PointCloud. Fue necesario el desplazamiento de las nubes del interior del patio, ya que fueron registradas con las coordenadas de su red de puntos de referencia en otro sistema global. Este desplazamiento se realizó ajustando las zonas comunes entre las nubes del interior y del exterior.

Las superficies verticales de las murallas se crearon como superficie de malla definida por cuatro lados, seleccionando el eje inferior, el contorno superior y dos líneas que unieran ambos. En algunos detalles irregulares, como huecos de ventana y el límite superior derruido de las murallas, se procedió a la digitalización de polilíneas 3D uniendo sus puntos.

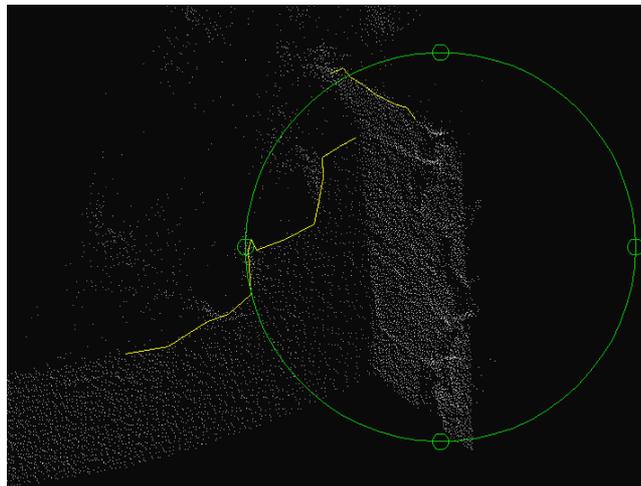


Fig. 5: Digitalización polilínea 3D

Las superficies derruidas de las murallas se modelaron de distintas maneras. Primero se digitalizaron líneas sobre las rocas en los dos extremos de cada muralla, y se creó una superficie definida por lados. El resultado no fue satisfactorio.

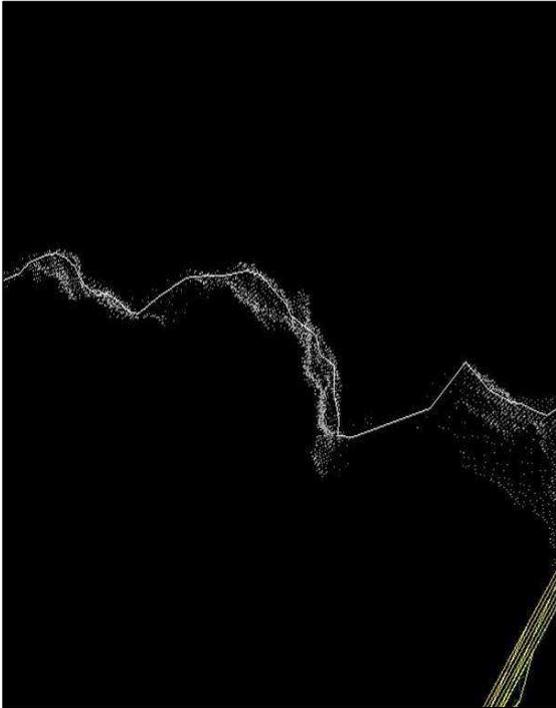


Fig. 6a: Digitalización sobre rocas

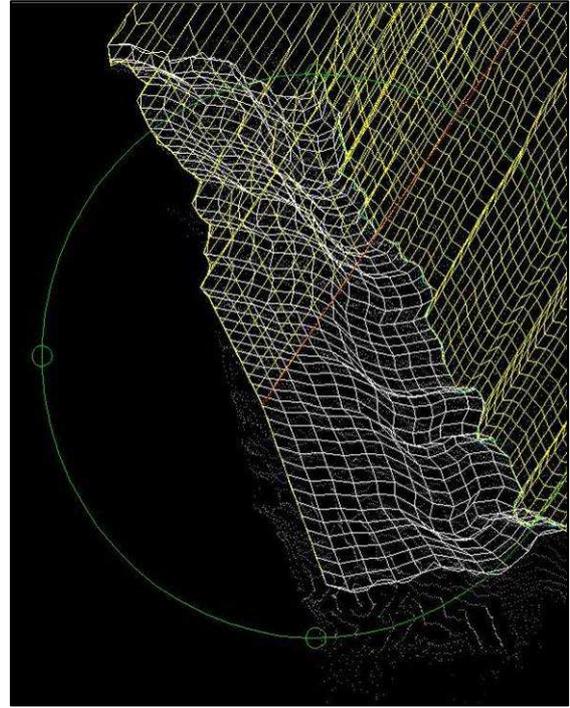


Fig. 6b: Definición de superficies

Se optó por generar un modelo digital de terreno en malla irregular TIN, extrayendo con Autocad los puntos que definieran estas superficies. Después se importaron al programa Cartomap 5.6 donde se crearon los modelos digitales y las superficies fueron exportadas como caras 3D. Se tuvo en cuenta que cuando las superficies tomaban una pendiente cercana a la vertical, no se obtenía un buen resultado. Por tanto, se separaron estas partes verticales del resto de la superficie, se rotaron en el espacio convenientemente para que ofrecieran un aspecto sensiblemente horizontal y después se triangularon. Una vez obtenida la superficie tridimensional se deshicieron los giros y se añadieron al resto de las superficies. Una vez importadas estas superficies al modelo tridimensional del castillo, se necesitó una edición manual para corregir errores y ajustar los bordes de las superficies al borde de las murallas.

En ciertos elementos como las vigas del tejado del porche o el interior de la torre, se recurrió a medir directamente en el fichero del escáner las distancias necesarias para construir cada elemento. Se seleccionan los dos puntos a medir y en la pantalla se muestra la distancia o bien las componentes horizontal y vertical. Después se construye el elemento y se coloca sobre la nube de puntos. Es un trabajo complicado y lento, cuya dificultad radica en el análisis espacial de los distintos elementos entre sí y su identificación dentro de la nube de puntos. La edición de unos pocos elementos puede llevar horas. En bastantes ocasiones fue necesario recurrir a las fotografías para poder interpretar adecuadamente la nube de puntos.

El interior de la torre se modeló con las últimas sesiones de toma de datos realizadas con el equipo láser escáner. De esta manera se tenía la posibilidad de incluirlo en algún recorrido virtual que se generase. En esta reconstrucción se partió de la cota de la primera planta, medida con la ayuda de la estación total, desde la red del interior del patio de armas. En planimetría se construyó un prisma cuadrado de 7m de base (medido en la nube de puntos) y situado paralelo a las superficies del exterior de la

torre. Con este inicio se fueron construyendo los distintos elementos, ayudándonos también con medidas efectuadas con cinta métrica de la altura de las escaleras en las 4 plantas que componen la vivienda en la torre.

Una vez construidas todas las estructuras del castillo se separaron en cada capa para facilitar la aplicación de materiales y texturas en la fase siguiente de visualización del modelo digital completo.

## 7.2. Modelado del terreno

Para completar el modelo digital se elaboró el modelo digital del terreno circundante al castillo, utilizando el programa Cartomap 5.6. En él se importaron los puntos radiados del terreno y las líneas de ruptura, y con estos datos se creó un modelo digital del terreno. Desde este programa se exportó la superficie generada del terreno al fichero DWG del modelo digital del castillo.

Ambos modelos integrados aportan toda la información necesaria para obtener las salidas gráficas de este proyecto: planos, alzados y además algunos recorridos virtuales y tomas visuales del modelo tridimensional con texturas.

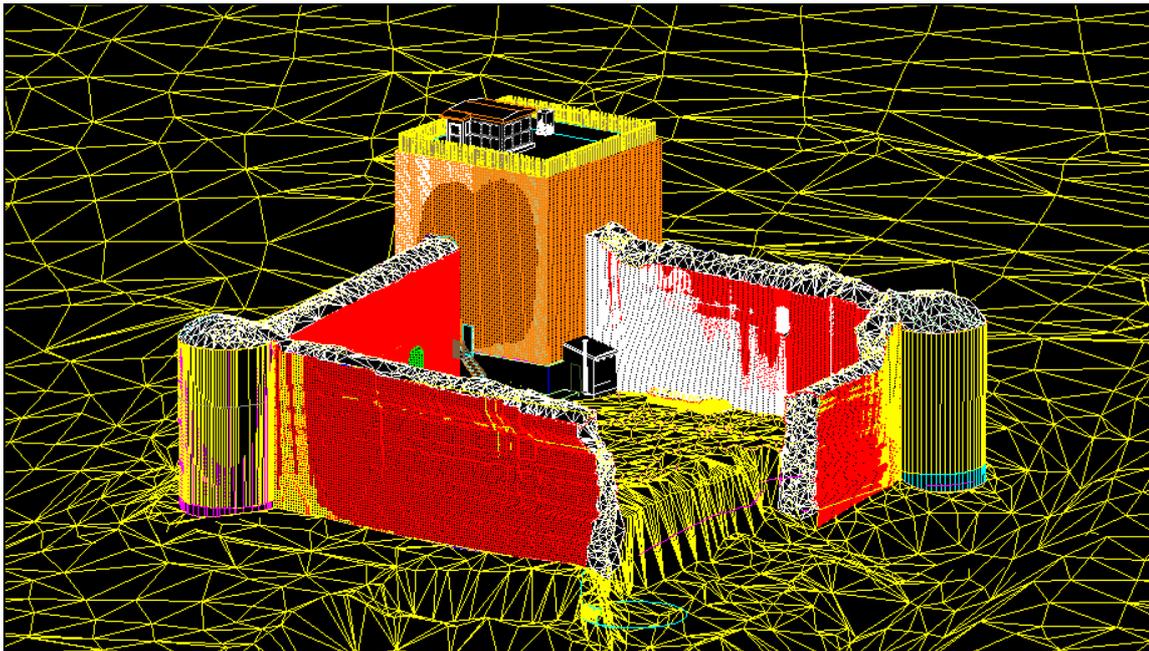


Fig. 6: Modelo del castillo

## 7.3. Visualización del modelo

Concluida la construcción del modelo digital del castillo y sus alrededores, se pasó a la edición del mismo para ser presentado adecuadamente al usuario. Este paso se realizó con el programa AutodeskVIZ 2005. Desde el modelo se exportaron uno a uno los distintos objetos y superficies en formato 3D.

### Asignación de materiales y luces

Se aplicó a cada objeto un material para controlar atributos tales como el color, el brillo, la opacidad y el relieve, por ejemplo. Estos valores junto con las luces aplicadas a la escena tienen que llegar a ser capaces de provocar una percepción evocadora de la realidad en los espectadores.

Estudiando las características del elemento representado, así como las condiciones del entorno que lo rodea, se intentó simular dichas situaciones en nuestro modelo. Para la creación de materiales se recurrió a las numerosas fotografías realizadas del castillo. Se seleccionaron las fotografías tomadas perpendicularmente a la superficie y se editaron con Corel PHOTOPAINT 10 para poder usarlas de patrón sobre los objetos. También se utilizaron materiales definidos por el programa para determinados objetos como la madera, el metal o el cristal.



Fig. 7: Reconstrucción de materiales

Para conseguir dar relieve aparente a determinadas superficies como murallas, tejas... el programa permite la aplicación de un mapa de bits de relieve. En este mapa los píxeles blancos manifiestan toda la intensidad del efecto de relieve sobre la superficie a la que se aplican, los píxeles negros no provocan nada, mientras los píxeles grises afectan en alguno de los 236 niveles intermedios. Estos mapas de relieve fueron obtenidos modificando los mismos patrones empleados en el material pero aumentando el contraste y extrayendo bordes:



Fig. 7a: Mapa de material



Fig. 7b: Mapa de relieve

Se configuró después de numerosas pruebas un sistema de luces compuesto por una luz diurna (correspondiente al día 30 de enero a las 15:40) y un conjunto de luces de relleno que iluminase las zonas de sombra.

Para el fondo del modelo se optó por la inclusión de una imagen de cielo despejado. La apariencia en los límites del modelo digital del terreno no resultaba idónea; por lo que se intentó mejorar el acabado incorporando un modelo digital del terreno más extenso proveniente del Mapa Topográfico Nacional 1:25000, pero el tamaño de los ficheros resultantes en los primeros intentos era demasiado grande para su manejo. Se desestimó esta mejora; y se limitó el modelo final a la zona levantada en la radiación, aunque esto supusiese la visión del fondo celeste por *debajo* del terreno.

### **Imágenes del modelo y secuencias animadas.**

Se generó una serie de imágenes de distintas zonas representativas del modelo. Este paso se realiza con el renderizador de la aplicación, que procesa los objetos, los materiales, la iluminación y los efectos para conseguir imágenes impactantes. También se generó con el mismo programa una secuencia animada diseñando un recorrido por el castillo con una cámara.

A continuación se muestran una serie de imágenes representativas del modelo final a distintas horas del día:

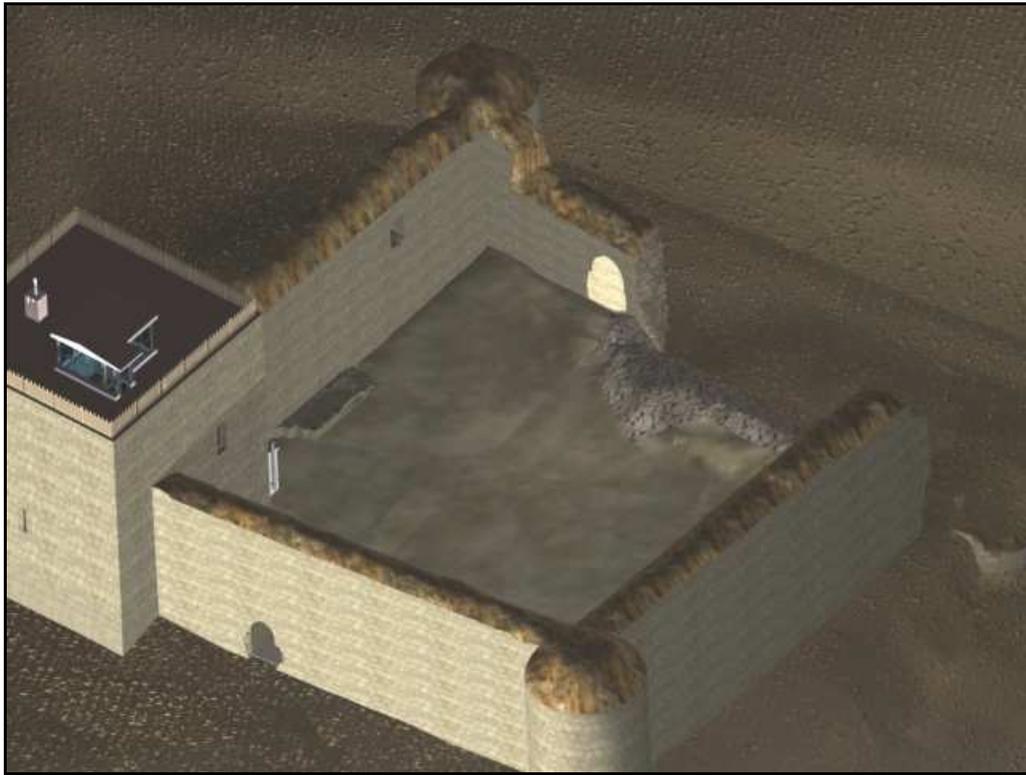


Fig. 8: Vista aérea de un amanecer

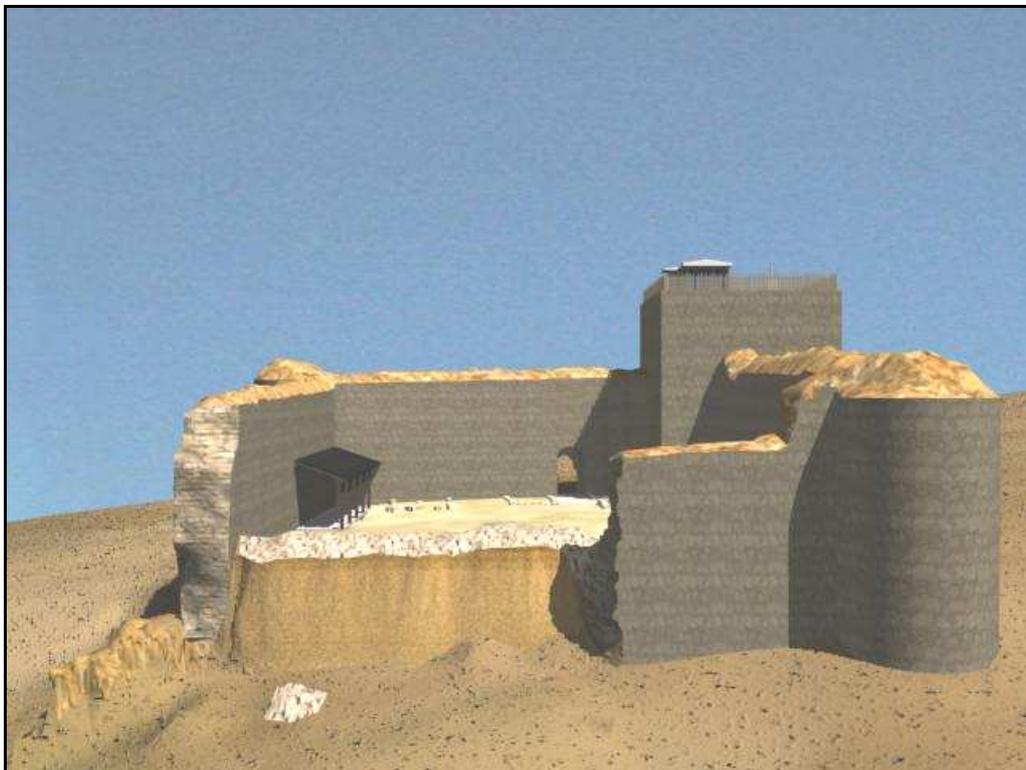


Fig. 9: Vista de la muralla oeste



Fig. 10: Vista del patio



Fig. 11: Vista del patio

## 8. DISEÑO Y EDICIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

En esta última fase del proyecto se realiza la cartografía del castillo y su entorno. Los datos necesarios para la elaboración de esta cartografía tuvieron su origen en las anteriores fases de captura y tratamiento de datos:

- Radiación de los alrededores con metodología GPS.
- Radiación del entorno cercano al castillo con estación total.
- Levantamiento de los muros del propio castillo con el equipo láser escáner.

De las dos primeras fuentes se obtuvo una nube de puntos sobre la que se digitalizaron las líneas de ruptura y el resto de los elementos de la cartografía: entidades puntuales y lineales.

De la última se obtuvo el modelo digital y de éste se extrajo la línea inferior de cada muralla que define un contorno de la construcción en planta, al que se añadieron otros elementos captados por el escáner y reflejados también en el modelo tridimensional digital, como columnas del porche, rocas delimitadoras de zonas ajardinadas y pavimentos.

### 8.1. Dibujo de los planos

Se procedió al curvado de la triangulación con la equidistancia deseada y al suavizado de las curvas de nivel generadas.

En las zonas de difícil acceso, los resultados obtenidos de la triangulación no reflejaban bien la realidad. Fue preciso obtener las curvas de nivel de la siguiente manera: en la nube de puntos procedente del láser escáner, se realizaron cortes horizontales a las alturas correspondientes con las curvas de nivel. Sobre estas secciones se digitalizaron líneas que unían puntos de igual altitud.

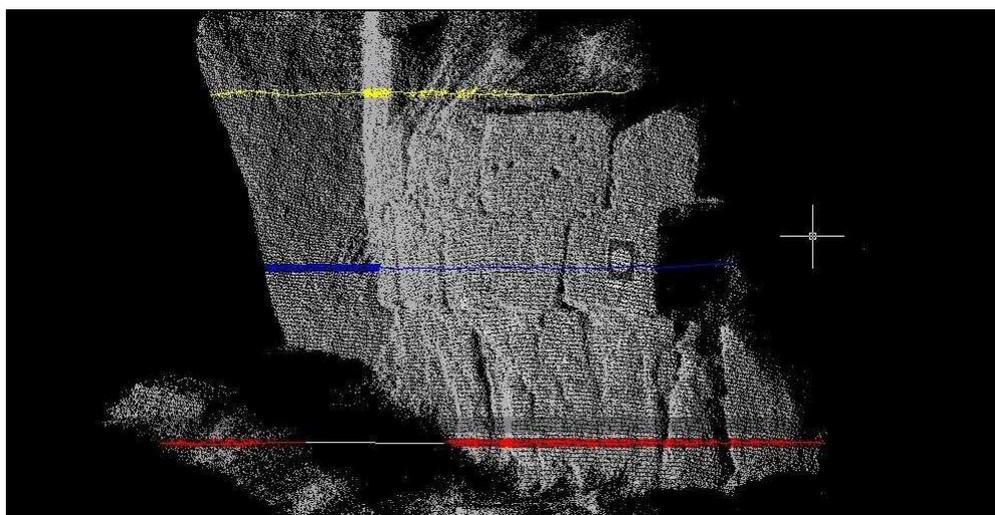


Fig. 12: Cortes horizontales

En esta cartografía el relieve del terreno se representó con curvas de nivel de equidistancia 1 m para el plano de escala 1:500 y de 0,5 m para la escala 1:200. Esta

equidistancia define suficientemente bien la ladera donde se asienta el castillo; además se intercalaron curvas auxiliares de equidistancia menor en aquellas zonas llanas que precisaban mejor definición.

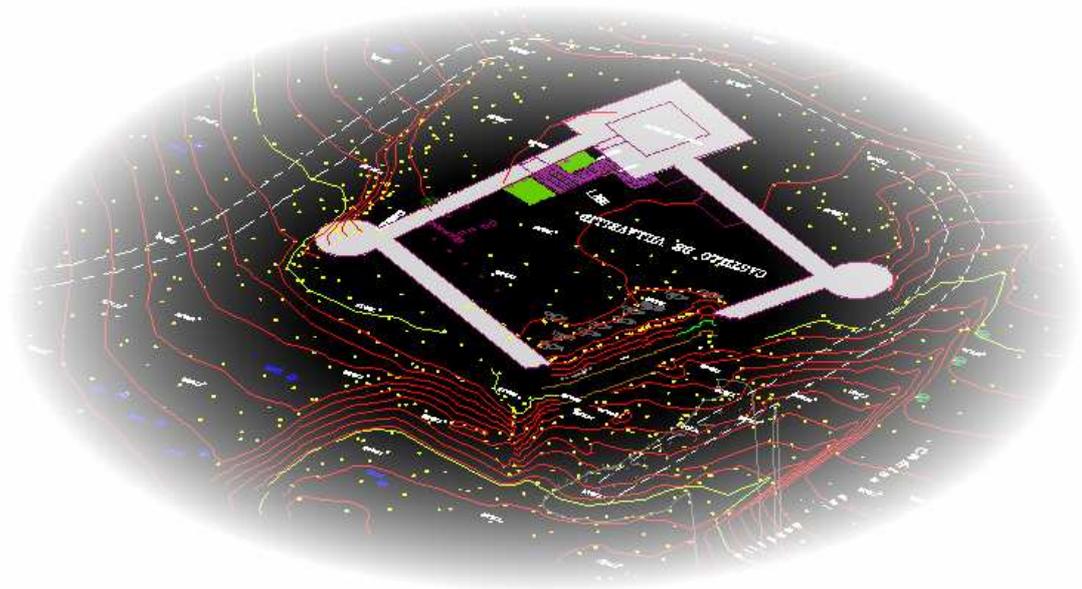


Fig. 13: Imagen de la cartografía resultante

## 9. CONCLUSIONES

La utilización de equipos GPS facilita los trabajos de levantamiento y el enlace con un sistema referencia de coordenadas, sin embargo la aparición de problemas por apantallamiento de señales, hace necesario todavía el uso de estación total.

En trabajos de poca extensión, como el presente proyecto, hubiera sido posible la utilización de métodos de topografía clásica para observar y calcular toda la red alcanzando las precisiones requeridas.

Los problemas detectados en el barrido con el equipo láser escáner y el tratamiento de los ficheros obtenidos, puso de manifiesto la importancia de la calibración y comprobación del instrumental y del software. Se puede diseñar pruebas de calibración específicas a los dos equipos (láser escáner y estación total).

La novedad del sistema láser escáner se pone en evidencia al utilizar unos equipos informáticos que aún no son capaces de manejar la gran cantidad de datos obtenidos. Esta falta de recursos informáticos provocó que en ocasiones no se pudiera trabajar con la nube de puntos en máxima resolución. Fue preciso descartar cierto número de puntos antes de poder someterlos a análisis.

Modelar sobre una nube de puntos es considerablemente difícil para un operador inexperto; fue muy útil recurrir a la ayuda de fotografías realizadas al castillo. La mejora del software específico del equipo láser escáner con algoritmos de reconocimiento de estructuras y ajuste de superficies a elementos geométricos mejorará los tiempos de

modelado. La relación entre tiempo de trabajo en campo y en gabinete fue de 1/5 (6 días de campo / 28 días de gabinete) que se mantiene dentro de las relaciones habituales entre 1/5 y 1/10, a pesar de ser principiantes los operadores.

#### Agradecimientos

A Manuel Barrio Martínez, y a todos los tutores y alumnos que han hecho posible el proyecto y la redacción de este informe.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

**Javier Bernard Remón, 1997:** "Castillos de España. Tomo II". Everest.

**Javier Bernard:** "Castillos de Valladolid". Ediciones Lancia, León.

**Edward Cooper:** "Castillos señoriales de Castilla. Siglos XV y XVI".

**Carlos María Martín Jiménez, 2003:** "Castillos y fortalezas de Castilla y León". Ámbito Ediciones.

**Fernando Cobos Guerra y José Javier de Castro Fernández:** "Castillos y fortalezas de Castilla y León". Ed. Edilesa.

**Revista Topografía y Cartografía. N°129 (julio-agosto 2005). José María Pons y José Luis Lerma:** "El láser escáner terrestre: Una potente herramienta de digitalización 3D".

**Revista Topografía y Cartografía. N°131 (noviembre-diciembre 2005). Thorsten Schulz y Hilmar Ingensand:** "El escaneado por láser terrestre: Investigaciones y aplicaciones del escaneado de alta precisión".

#### Direcciones de internet

[http://aulaweb.topografía.upm.es/webaula/privado/alum\\_asignat\\_recursos\\_actualiza\\_d\\_escargas.asp?documento=tema\\_1\\_Observaciones\\_topográficas](http://aulaweb.topografía.upm.es/webaula/privado/alum_asignat_recursos_actualiza_d_escargas.asp?documento=tema_1_Observaciones_topográficas)

[http://aulaweb.topografía.upm.es/webaula/privado/alum\\_asignat\\_recursos\\_actualiza\\_d\\_escargas.asp?documento=tema\\_2\\_Incertidumbre\\_Observaciones\\_topográficas](http://aulaweb.topografía.upm.es/webaula/privado/alum_asignat_recursos_actualiza_d_escargas.asp?documento=tema_2_Incertidumbre_Observaciones_topográficas)

[http://aulaweb.topografía.upm.es/webaula/privado/alum\\_asignat\\_recursos\\_actualiza\\_d\\_escargas.asp?documento=Teoría\\_GPS](http://aulaweb.topografía.upm.es/webaula/privado/alum_asignat_recursos_actualiza_d_escargas.asp?documento=Teoría_GPS)

#### Manuales

Leica Geosystems AG, 1999: "Manual / Programa SKI-Pro".

3DS Max 6

## **ANEXO I**

### **Ejemplo reseña de vértice**

## RESEÑA VÉRTICE RED DE OBSERVACIÓN

**Nombre:** E1

**Número:** 1003

**Tipo de señal:** ferralla con granetazo en taco de mortero.

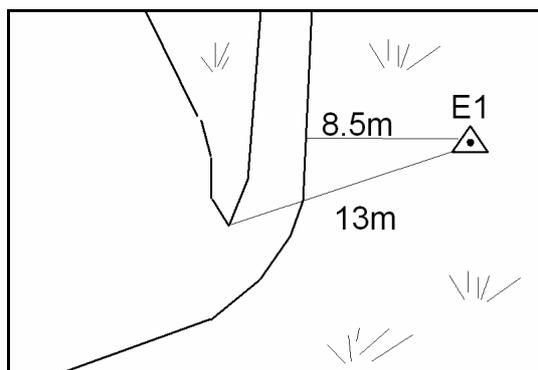
**Coordenadas UTM** (huso 30) sistema ED-50, con altitudes ortométricas referidas al nivel medio del mar en Alicante.

**X:** 310775.267 m

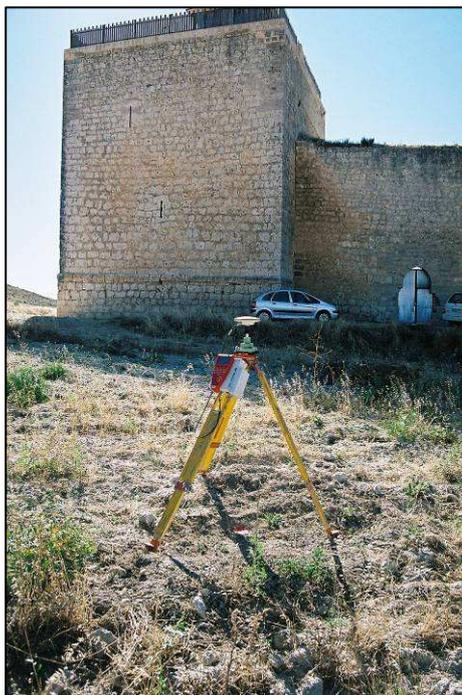
**Y:** 4618072.517 m

**Descripción :** Esta señal se encuentra al este del castillo, en un campo de barbecho. Desde el castillo se sigue el camino de salida, a unos 3 metros hay una marca de pintura rojo cereza; saliendo a la derecha a unos 8,5 metros está el vértice marcado con pintura.

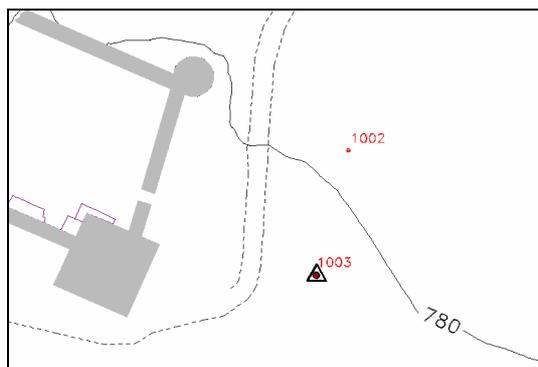
**Croquis :**



**Fotografía :**



**Situación :**



## **ANEXO II**

### **Presupuesto**

# PRESUPUESTO

ACTIVIDADES		días	Equipo Humano				Instrumental		Material	Transporte	Dietas		C. Indirectos		COSTE TOTAL POR ACTIVIDAD
			ITT	Auxiliar	C. Unit.	C. Total	C. Unit.	C. Total	C. Total	C. Total	C. Unit.	C. Total	C. Unit.	C. Total	
Fase Previa	Preparación de equipos	1	1	150	150	345	345	3.5				17	17		
					150 €		345 €	3.5 €	0		0		17 €	516 €	
GPS	Desplazamiento	1	1	1	225	225			55	54	108	17	17		
	Señalización y observación	1	1	1	225	225	345	345	61.35	15	54	108	17	17	
	Levantamiento RTK	1	1	1	225	225	345	345		15	54	108	17	17	
	Cálculo	1	1		150	150	19	19					17	17	
					825 €		709 €	61.35 €	85 €		324 €		68 €	2 072 €	
Levantamiento del castillo	Desplazamiento	1	2	1	375	375			110	54	162	17	17		
	Preparación de equipos	1	2	1	375	375	244	244		30	54	162	17	17	
	Señalización y observación redes	4	1	1	225	900	90	360	150	30	54	108	17	68	
	Radiación en cercanías	1	1	1	225	225	97	97		30	54	108	17	17	
	Observación con láser escáner	5	1		150	750	154	770			54	54			
					2 625 €		1 471 €	150 €	200 €		594 €		119 €	5 159 €	
Cálculo de redes	Conocimiento programa	1	1		120	120	19	19				17	17		
	Obtención de coordenadas	5	1		120	600	19	95				17	85		
					720 €		114 €	0	0		0		102 €	936 €	
Tratamiento datos escáner	Conocimiento del programa	4	1		120	480	19	76				17	68		
	Proceso de las nubes de puntos	4	1		120	480	19	76				17	68		
					960 €		152 €	0	0		0		136 €	1 248 €	
Reconstrucción tridimensional	Modelo digital	20	1		120	2400	19	380				17	340		
	Asignación de texturas y salidas gráficas	22	1		120	2640	19	418				17	374		
					5 040 €		798 €	0	0		0		714 €	6 552 €	
Edición cartografía	Diseño de los planos	9	1		120	1080	19	171				17	153		
	Impresión	2	1		120	240	49	98	60			17	34		
					1 320 €		269 €	60 €	0		0		187 €	1 836 €	
Memoria del proyecto	Redacción e impresión	18	1		120	2160	20	360	166.8			17	306		
					4 560 €		760 €	166.8 €	0		0		646 €	6 133 €	
<b>COSTES TOTALES</b>					<b>16 200 €</b>		<b>4 618 €</b>	<b>442 €</b>	<b>285 €</b>		<b>918 €</b>		<b>1 989 €</b>	<b>24 452 €</b>	
														Coste del proyecto :	24 452 €
														Beneficio del 15% :	3 667.7 €
														I.V.A. 16% :	4 499.1 €
														<b>COSTE TOTAL :</b>	<b>32 618.50 €</b>

**ANEXO III**  
**Características técnicas**  
**del equipo láser escáner LS 880 HE de Faro**