



VNIVERSIDAD  
SALAMANCA

GRUPO TIDOP

Dpto. de Ingeniería Cartográfica y del Terreno  
Escuela Politécnica Superior de Ávila



EXCMO. AYUNTAMIENTO DE AVILA

INFORME TÉCNICO



# LEVANTAMIENTO LÁSER Y NAVEGADOR VIRTUAL

para la documentación métrica y catalogación de la

## MURALLA DE ÁVILA

*Abril, 2009*

*El trabajo que a continuación se presenta ha sido fruto del Convenio suscrito con la Universidad de Salamanca por el Excmo. Ayuntamiento de Ávila en materia de "Patrimonio y Nuevas Tecnologías". En concreto, se ha realizado el levantamiento láser y navegador virtual para la documentación métrica y catalogación de la Muralla de Ávila.*

La puesta en valor de la muralla como monumento turístico y su rehabilitación arquitectónica son el resultado de un esfuerzo permanente a lo largo del tiempo de la ciudad. Este esfuerzo ha recibido notables impulsos en los últimos años. La utilización de la muralla como un producto cultural y turístico ha contribuido a la diversificación y a la articulación de la oferta turística. Las actuaciones para su conservación y rehabilitación han respondido a diferentes planes y han supuesto la implicación de diferentes entidades públicas y privadas.

La documentación métrica del Patrimonio ha sido una pieza fundamental para la planificación de cualquier intervención. A tal efecto se habían realizado trabajos parciales sobre diversos lienzos, puertas y cubos, pero se carecía, dadas las grandes dimensiones del trabajo, de una documentación gráfica precisa, integral y exhaustiva, acorde con las posibilidades de las nuevas tecnologías en la materia.

El producto que se presenta responde a esa necesidad, y es fruto del trabajo desarrollado, desde el Departamento de Ingeniería Cartográfica (adscrito a la Escuela Politécnica Superior de Ávila) durante dos años mediante la integración de información digital procedente de varios sensores: cámara digital desde soporte terrestre y aéreo (zeppelin cautivo), cámara digital con objetivo panorámico, y barridos con láser escáner.

La información obtenida aúna el rigor métrico, exigible desde el ámbito de la ingeniería y la arquitectura, con las posibilidades de explotación turística y de difusión a través de la Web. A su vez contribuye a mejorar la accesibilidad, al posibilitar la realización de visitas virtuales a través del adarve o del exterior de la muralla.

Los resultados, que se adjuntan bajo una **Plataforma Web**, se componen de dos productos, articulados entre sí, pero también accesibles de forma independiente:

- **Producto Científico**, que consiste en una **documentación métrica** densa y exhaustiva de la totalidad del lienzo externo de la Muralla de Ávila, así como diversos productos gráficos derivados en forma de ortofotos, secciones, videos láser y vistas aéreas imposibles. Esta documentación procede de múltiples barridos métricos efectuados mediante un láser escáner junto con tomas fotográficas capturadas desde un zeppelin cautivo.
- **Producto Divulgativo** en forma de **navegador virtual**, que permite la exploración visual interactiva de toda la parte transitable de la Muralla de Ávila. Asimismo, se han articulado dentro del navegador virtual gran parte de los productos derivados láser resultantes de la parte científica, de forma que presente un carácter multiescalable susceptible de ser explotada por un amplio abanico de usuarios.

La potencia de la articulación de estos dos elementos confiere al producto el nivel de un “Sistema de Información Espacial 3D”. En este informe se describe:

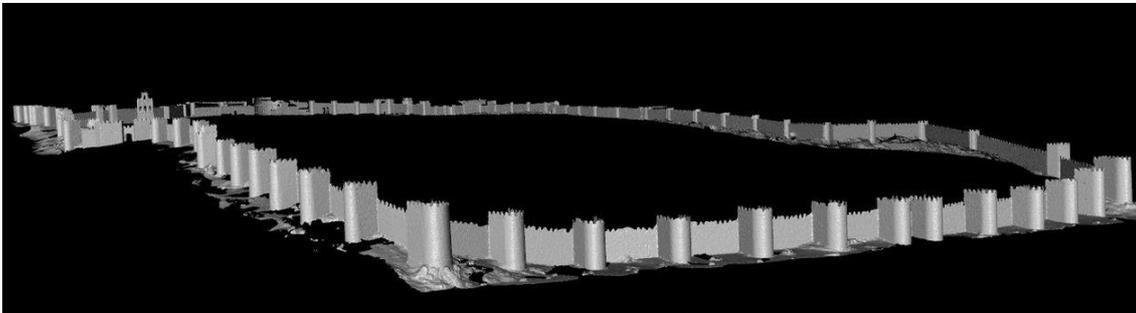
- a) Las características básicas de los componentes del producto.
- b) Las posibilidades actuales de uso del producto.
- c) Las posibilidades de desarrollo potencial del producto.

## LEVANTAMIENTO LÁSER

Los rasgos de este trabajo son los siguientes

### 1. EXHAUSTIVIDAD:

Se ha escaneado la totalidad de los 2526 m que componen el perímetro del lienzo exterior de la muralla. Considerando una altura media de 12 metros, la superficie barrida es superior a los 30.000 metros cuadrados. Se han requerido unas 83 estaciones láser para su documentación métrica, obteniendo un total de 240 millones de puntos y un volumen de información de 200Gb. Como resolución media se ha adoptado el centímetro, al considerarse suficiente para satisfacer la demanda de productos gráficos de carácter métrico con posible utilización para la documentación patrimonial y de gran valor para las labores de restauración arquitectónica.



Modelo Láser 3D de toda la Muralla de Ávila

### 2. MODELOS 3D FOTO-REALISTICOS

Se han generado modelos láser métricos con el objetivo de modelizar en tres dimensiones la superficie exterior de la muralla. Además estos modelos han sido dotados de información de color procedente de las imágenes fotográficas de alta resolución.



Modelo Láser métrico del Lienzo Norte

### 3. INTERACTIVIDAD:

Estos documentos son explorables por el usuario de forma parecida a como lo son los del navegador virtual de la Muralla: pueden simularse giros a izquierda y derecha, arriba y abajo y para conseguir un mayor nivel de detalle de las superficies. Pero, además, en la medida en que estamos hablando de modelos tridimensionales, el usuario puede simular que se mueve por el interior y por el exterior de la estancia y este movimiento no está restringido: puede abandonarse el suelo y las paredes y techos pueden atravesarse.

Estos modelos pueden permitir además:

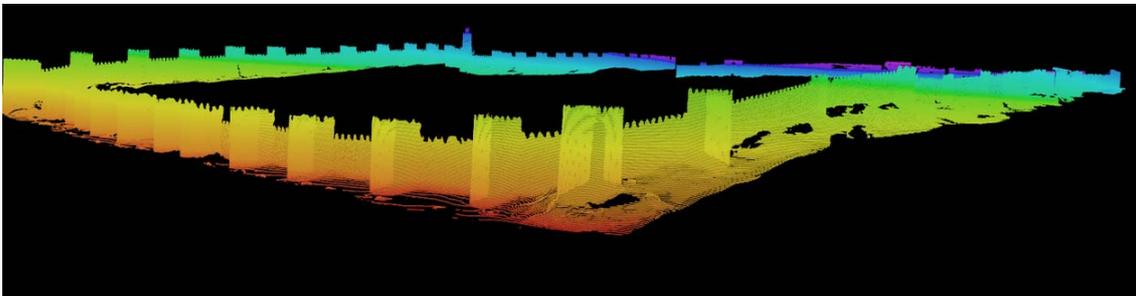
### 4. MEDIDAS:

Puede medirse la distancia entre dos puntos cualesquiera del objeto. Puede asimismo derivarse áreas, ángulos, perímetros y volúmenes.

### 5. GENERACIÓN DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Pueden generarse productos cartográficos derivados tales como:

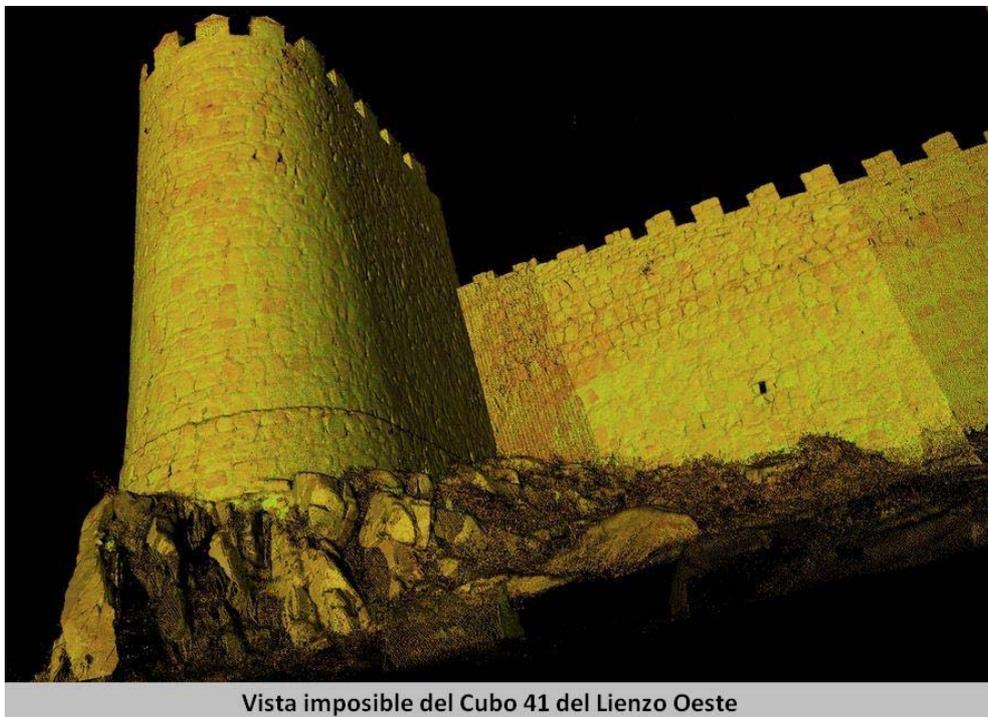
- proyección en planta, alzado, perfil, secciones.
- productos elaborados como planos de curvas de nivel (mapas de alturas).
- planos con textura fotográfica (ortofotos).



Mapa de Alturas de toda la Muralla de Ávila

## 6. GENERACIÓN DE PELÍCULAS Y VISTAS IMPOSIBLES

Puede obtenerse secuencias animadas y vistas imposibles de exploración de cualquier zona de la muralla.



Todos estos resultados están incluidos en las carpetas *LIENZOS* y *MURALLA AVILA*.

Para acceder a la visualización de esta serie de documentos abrir la carpeta correspondiente y acceder dentro de cada uno de los lienzos a las subcarpetas *Modelos 3D*, para posteriormente hacer doble clic sobre cada uno de los ficheros con extensión “*rwp*” que están en las carpetas. El resto de productos derivados científicos resultantes del levantamiento láser se encuentran en la carpeta *PRODUCTOS DERIVADOS MURALLA*.

Se requiere tener previamente instalado el software visualizador de modelos 3D “*Realworks Viewer*”, el cual se encuentra en la carpeta *SOFTWARE VISUALIZADOR*.

## NAVEGADOR VIRTUAL

Las características principales de este navegador son las siguientes:

### 1. EXHAUSTIVIDAD:

Se ha documentado la totalidad del contorno del Adarve, tanto en su recorrido visitable como en las zonas pendientes de rehabilitación. Del mismo modo se ha actuado sobre cada una de las 9 puertas desde el interior y desde el exterior.

### 2. IMÁGENES PANORÁMICAS:

Sobre los cubos más significativos y sobre las puertas (interior y exterior) se han generado imágenes panorámicas, es decir, imágenes que cubren la totalidad de las vistas capturables desde una determinada posición. Estas imágenes deben ser analizadas con la ayuda del correspondiente visualizador.

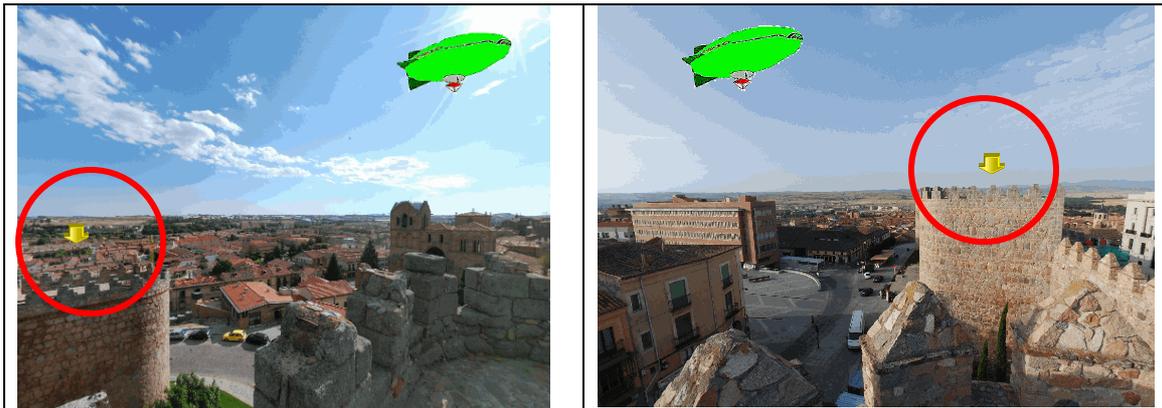


### 3. INTERACTIVIDAD:

La exploración de las imágenes panorámicas está en manos del usuario que puede simular giros horizontales y verticales así como acceder a diversos niveles de “zoom”.

### 4. ENLACES ENTRE IMÁGENES:

La secuencia de imágenes panorámicas se ha enlazado dinámicamente (“links”) entre sí de manera que es posible realizar un recorrido completo alrededor de la muralla a través de ellas.



### 5. PLANO INTERACTIVO:

El producto se acompaña de un plano guía en planta. Este plano no sólo sitúa al usuario respecto de qué cubo y qué parte del mismo se está visualizando, sino que es activo: a través de él se puede controlar la exploración virtual de la muralla.

### 6. MULTIMEDIA:

Se ha incorporado sonido, películas e información literal.

### 7. IMÁGENES DE DETALLE:

Se han añadido imágenes fotográficas de detalle de los elementos más relevantes de la muralla.

### 8. IMÁGENES IMPOSIBLES SOBRE LA DOCUMENTACIÓN LÁSER:

Se ha incorporado enlaces que muestran resultados estáticos de los diversos documentos generados con el escáner láser. Estas imágenes ofrecen combinaciones de vistas imposibles (p.e. desde el cielo) con vistas en la que se muestra la estructura geométrica de las superficies (p.e. mapas de alturas o curvas de nivel).

## 9. PELÍCULAS DE EXPLORACIÓN DE LOS MODELOS LÁSER:

Se ha incorporado enlaces que muestran resultados dinámicos de los modelos láser. Estas películas muestran pequeñas exploraciones animadas sobre los modelos métricos, tanto en su versión realista como en su versión cartográfica.

## 10. IMÁGENES A VISTA DE PÁJARO.

Se ha enriquecido la información del navegador con la adición de una secuencia de imágenes aéreas captadas desde un zepelín cautivo. Estas imágenes, con un alto nivel de detalle, presentan desde perspectivas inéditas una visión distinta de la muralla.



Para activar el Navegador Virtual, acceder a la carpeta *VISITA VIRTUAL* y a continuación hacer doble clic sobre el archivo: *VVirtual\_Muralla.html*

## POSIBILIDADES ACTUALES DE USO

El producto desarrollado en su estado actual permite:

- Visita virtual, acceso remoto: el producto generado permite difundir y socialmente y contribuir a la preservación del principal activo patrimonial de Ávila. La documentación generada satisface, por una parte las necesidades del técnico cumpliendo la finalidad de catalogación y facilitando la planificación de contingencias. Por otra parte puede tener en su explotación un uso turístico, cultural, divulgativo, recreativo, etc. Además posibilita que personas con discapacidades puedan tener un acceso remoto a zonas que de otra forma nunca podrían conocer.
- Documentación métrica: los documentos métricos tienen un nivel de detalle en torno a 1 cm. Cualquier necesidad de tomar medidas puede efectuarse directamente sobre los modelos generados en lugar de sobre la realidad, con las ventajas asociadas: rapidez, comodidad, seguridad, toma de medidas en y sobre zonas inaccesibles. Asimismo, puede derivarse, con la finalidad que se establezca, y, en consecuencia, con el nivel de detalle que corresponda, planos en papel con plantas, alzados, secciones, perfiles, etc.
- Catalogación: puede emplearse el producto con fines de inventario para registrar sistemáticamente cualquier problemática o incidencia (patologías de la piedra, obras a acometer, acciones de protección, anomalías estructurales, etc). Como se ha indicado, esta catalogación puede hacerse con carácter métrico, además de gráfico.
- Modelo virtual: los documentos generados garantizarían en caso necesario la reconstrucción rigurosamente métrica del aspecto y de las formas y posiciones de los mismos.
- El Navegador Virtual, permitiría su difusión con objeto de dar a conocer la muralla de Ávila desde una perspectiva novedosa e inédita.

## POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN

A partir del producto desarrollado, y a través de la colaboración con los técnicos y especialistas correspondientes, puede elaborarse una serie de aplicaciones de mayor complejidad y riqueza:

- Documentación histórico-artística: con el añadido de la correspondiente información literal (en forma de narración o en forma de textos escritos) o de la densificación de la información gráfica (p.e. Catedral o Iglesias adyacentes y extramuros) puede generarse, con el nivel de complejidad que se desee, diversos documentos especializados para el experto en historia, documentación, arquitectura, arte, etc.
- Divulgación y uso docente: de forma semejante, puede generarse productos divulgativos o productos docentes, con el nivel que se desee. Puede incrementarse (o reducirse) el nivel de interactividad y multimedia para sintonizar con el nivel de motivación del destinatario.
- Mantenimiento, diagnóstico e intervención técnica: en manos del correspondiente técnico, los documentos generados, son una herramienta básica para establecer diagnósticos o para establecer planes de mantenimiento, reforma, intervención, rehabilitación, etc.
- Realidad Aumentada: con el asesoramiento correspondiente, puede acometerse la evolución histórica del edificio (su animación a lo largo del tiempo). Puede recrearse el aspecto del edificio en diversos momentos del pasado. Esto puede resultar especialmente interesante en el caso de la evolución que ha experimentado el cubo de la Catedral.

## INFORMACIÓN TÉCNICA:



**Escáner láser Trimble GX**



**Rótula giratoria Manfrotto 400**

### RENDIMIENTO

- Alcance típico: 200 m1; ampliado: 350 m
- Desviación típica: 1,4 mm @ ≤50 m: 2,5 mm @ 100 m
- 3,6 mm @ 150 m: 6,5 mm @ 200 m
- Precisión de punto único: posición = 12 mm @100 m distancia = 7 mm @ 100 m
- Ángulo Hz = 12" (60 μrad): ángulo Vt = 14" (70 μrad)
- Precisión de superficie modelada: ± 2 mm (dependiendo del método)2
- Nivelación: nivel circular en plataforma nivelante: 8'
- Compensador de doble eje ±6'
- Compensación de nivelación automática en tiempo real
- Integridad de los datos calibración periódica de índice cero, termocompensación en tiempo real
- Resolución de escaneo tamaño de área : 3 mm @ 50 m
- Espaciado de puntos: hasta un mínimo de 3,2 mm @ 100 m;

### ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

- Láser tipo: 532 nm de pulso, verde
- Clase: IEC 60825-1 – Clase 3R; 21 CFR §1041.10: Clase 2
- Campo de visión 360° x 60° en un solo escaneo continuo
- Imagen digital video a color integrado en tiempo real con zoom óptico 5.5x



### Cuerpo de cámara digital Nikon D80. Características técnicas.

- Resolución Máxima 10,0 megapíxeles - 3872x2592 píxeles efectivos
- Tamaño del sensor 23,60 x 15,80mm
- Visor LCD TFT 2,5" color
- Balance de Blancos Automático, Enfoque Manual y Automático
- Tiempo de Exposición de 1/4000 a 30 - B segundos



### Cuerpo de cámara digital Nikon D60. Características técnicas.

- Resolución Máxima 10,2 megapíxeles - 3872x2592 píxeles efectivos
- Tamaño del sensor 23,60 x 15,80mm
- Visor LCD TFT 2,5" color
- Balance de Blancos Automático, Enfoque Manual y Automático
- Tiempo de Exposición de 1/4000 a 30 - B segundos

	<p><b>Objetivo Nikkor ojo de pez AF DX 10.5 f/2.8 G</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud Focal 10.5mm</li> <li>• Máxima apertura f/2.8</li> <li>• Mínima apertura f/22</li> <li>• Mínima distancia de enfoque 0.14m.</li> <li>• Angulo de visión 180º</li> <li>• Autofocus</li> </ul>
	<p><b>Objetivo Nikkor zoom AF 28-80</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud focal 28-80 mm</li> <li>• Apertura máxima f/3.3 – f/5.6</li> <li>• Mínima distancia de enfoque 0.35 m</li> <li>• Autofocus</li> </ul>
	<p><b>Izquierda:</b> detalle de la cámara digital acoplada al globo</p> <p><b>Abajo:</b> dispositivo Picavet de estabilización y sistema de control de tomas</p>  

En Ávila, Abril de 2009

### Grupo TIDOP

Javier Gómez Lahoz  
 Diego González Aguilera  
 Jesús Herrero Pascual  
 Juan Mancera Tabuada  
 Ángel Luis Muñoz Nieto  
 Inmaculada Picón Cabrera  
 Pablo Rodríguez González