



# ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF  
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de proyectos fin de carrera / Undergraduate master  
projects section

1

Información general / General information		
AUTOR:	Sergio GUTIÉRREZ ALONSO	:AUTHOR
TUTOR:	José Manuel VALLE MELÓN Ane LOPETEGI GALARRAGA	:TUTOR
TITULACION:	Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (UPV-EHU)	:DEGREE
TITULO:	Estudio comparativo del láser escáner aplicado a patrimonio	:TITLE
FECHA:	Marzo 2007 / March 2007	:DATE
NUMERO:	LDGP_pfc_001	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

<b>Resumen</b>	
TITULO:	Estudio comparativo del láser escáner aplicado a patrimonio
RESUMEN:	Se analizan las posibilidades del láser escáner para la obtención de dibujos vectoriales mediante el uso de Kubit PointCloud® y una metodología monoscópica que consiste en generar imágenes 2D a partir de la nube de puntos (el color se obtiene por la intensidad del pulso), dibujar sobre estas imágenes en Autocad® y proyectar estas líneas 2D sobre la nube de puntos para obtener el volumétrico tridimensional. Estos productos se comparan con la restitución fotogramétrica estereoscópica. La zona de comparación es parte de la fachada del Palacio de los Condestables de Casalarreina (La Rioja)
DESCRIPTORES NATURALES:	Documentación geométrica del patrimonio, escáner láser tridimensional, nubes de puntos, fotogrametría estereoscópica
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesoro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ]) Patrimonio Cultural, Ingeniería de la Construcción, Fotogrametría

<b>Abstract</b>	
TITLE:	Comparative study about the laser scanner applied to the Heritage
ABSTRACT:	This project analyses the obtention of 3D line drawings from point clouds. This 3D sets are obtained by means of the software Kubit PointCloud® and a monoscopic methodology that genetates a 2D image over which the lines are drawn in Autocad®, then these 2D lines are projected in the point cloud to obtain the 3D lines. These products are compared with the stereplotting obtained by photogrammetry. The test area is a part of the main front of the Palacio de los Condestables in Casalarreina (La Rioja).
NATURAL KEYWORDS:	Geometric documentation of heritage, 3D laser scanner, point clouds, stereoscopic photogrammetry
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ]) Cultural Heritage, Construction engineering, Photogrammetry

<b>Derechos / Rights</b>		
DERECHOS:	<p>Está permitido citar y extraer el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada (respecto a la consideración de “no comercial” ver el apartado “otros derechos”). / <b>Permission is granted to quote ant take excerpts from this text, provided that the source of such material is fully acknowledged (for the “non commercial” label see below in “others rights”).</b></p> 	:RIGHTS
OTROS:	<p>Algunas imágenes y planos corresponden a proyectos de documentación realizados por encargo y, en consecuencia, su uso comercial puede infringir derechos de explotación de los promotores. / <b>Some pictures and plans come for the documentation of commissioned projects, therefore, their use for comercial purposes may be an infringement of the promoters rights.</b></p>	:OTHERS

<b>Renuncia de responsabilidad / Disclaimer</b>		
DESCARGO:	<p>El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / <b>The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.</b></p>	:DISCLAIMER

Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	<a href="http://hdl.handle.net/10810/8319">http://hdl.handle.net/10810/8319</a>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ldgp_pfc001_SergioGA.pdf</b>: este documento (incluye 4 planos en alzado) / <b>this document (4 elevation plans enclosed)</b>.</li> <li>• <b>ldgp_pfc001_fot_(?).jpg</b>: 4 fotografías de documentación / <b>4 photographs of documentation</b>.</li> </ul>	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	GUTIÉRREZ ALONSO, Sergio. <i>Estudio comparativo del láser escáner aplicado a patrimonio</i> . Proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU). 2007.	:CITATION

- 1. INTRODUCCIÓN.**
  - 1.2. Inciso histórico sobre la documentación geométrica**
- 2. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.**
  - 2.1. Objetivos.**
  - 2.2. Antecedentes.**
- 3. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.**
  - 3.1. Topografía.**
  - 3.2. Fotogrametría**
  - 3.3. Láser-escáner terrestre.**
  - 3.4. Modelos de escáneres tridimensionales.**
    - **De medida láser.**
      - **Terrestres.**
      - **De corto alcance.**
    - **Otros tipos.**
- 4. DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PALACIO DE LOS CONDESTABLES.**
  - 4.1. Localización.**
  - 4.2. Breve reseña histórica**
  - 4.3. Estado actual.**
  - 4.4. Proceso seguido por Topografía.**
    - **Fase de campo.**
    - **Fase de gabinete.**
    - **Resultados.**
  - 4.5. Proceso seguido por Fotogrametría.**
    - **Fase de campo.**
    - **Fase de gabinete.**
      - **Restituidor digital.**
      - **Orientación de los pares.**
      - **Restitución.**
    - **Resultados.**
  - 4.6. Proceso seguido por Láser-escáner.**
    - **Fase de campo.**
      - **Apoyo topográfico.**
      - **Toma de datos.**
      - **Características del equipo FARO 880.**
    - **Postproceso**
      - **Orientación de los escaneos**
      - **Filtrado y edición**
      - **Coloreado**
    - **Resultados.**

**5. ESTUDIO DE LAS APLICACIONES DEL LÁSER ESCÁNER A PATRIMONIO.**

- 5.1. Creación de un modelo volumétrico a partir de la nube de puntos.**
- 5.2. Generación de un plano de detalle.**
- 5.3. Calidad de la nube de puntos orientada con FaroScene.**
- 5.4. Precisión de la nube de puntos orientada sin apoyo topográfico.**
- 5.5. Tratamiento de la nube de puntos. Aplicación de textura fotográfica.**
- 5.6. Utilidades de la nube de puntos coloreada. Digitalización y creación de modelos virtuales.**
- 5.7. Secciones.**
- 5.8. Conclusiones.**

**6. PRESUPUESTO.**

- 6.1. Certificados de calibración.**

**7. ANEXOS DEL PROYECTO.**

- 7.1. Certificados de calibración.**
  - **Certificado de calibración de la cámara.**
- 7.2. Planos.**
  - **Ejemplo de secciones.**
  - **Muestra de digitalización con el Escáner.**
  - **Muestra de restitución fotogramétrica.**

## **1. INTRODUCCIÓN:**

Resulta cada vez más evidente la concienciación de todos los ciudadanos en la labor de conservación del patrimonio. Actualmente, por donde quiera que se vaya no es nada extraño encontrarse con un antiguo edificio en restauración, un yacimiento arqueológico, o algún festejo popular rescatado oportunamente del olvido. Y lo cierto es que muchos organismos apuestan decididamente por esta tarea, entendiendo que es algo de lo que la sociedad obtendrá un gran beneficio, ahora, y en el futuro. Por ello, Estado, administraciones públicas y universidades entre otros, invierten esfuerzo y dedicación para la conservación del patrimonio histórico. Y son numerosas las especialidades que trabajan para el patrimonio: la arqueología; la arquitectura, o incluso la antropología son las más comunes. Pero también la topografía juega un importante papel, y son cada día más numerosos los profesionales que trabajan en este ámbito.

Tal es el caso del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (LDGP), integrante del Grupo de Investigación de Arqueología de la Universidad del País Vasco. El laboratorio nació en 1997 con la convicción de la labor de conservación, a la que ha contribuido hasta ahora realizando numerosos proyectos de documentación geométrica de las más diversas características, con un denominador común para todos ellos: siempre se ha intentado innovar en cada uno. Investigando nuevas técnicas, o bien con nuevos aparatos, o desarrollando aplicaciones informáticas propias. Sea como fuere siempre se hace honor al calificativo de “grupo de investigación” y se intenta desarrollar esta faceta al máximo sin menguar por ello la calidad final del resultado. Muchos de estos proyectos de investigación son llevados a cabo por los propios alumnos de la universidad al final de sus estudios, como proyectos de fin de carrera.

Sobre la documentación de Patrimonio se puede definir como *aquellas intervenciones sobre el patrimonio que requieren de su medición, catálogo, e inventario, para que de este modo puedan ser identificados, individualizados, reproducidos, investigados y difundidos*<sup>1</sup>. Si hablamos de documentación geométrica nos referiremos por tanto a aquellas intervenciones que utilizando técnicas de medida pretenden definir geoméricamente la forma y dimensiones del objeto patrimonial.

Las razones que mueven a la documentación geométrica también son diversas. Es muy común que se realice antes de que se vaya a acometer una restauración o un

---

1. J.M.VALLE MELÓN. *Reflexiones sobre la Documentación Geométrica del Patrimonio. Papeles del Patal nº3, Academia del Patal, Valencia.*

proyecto de rehabilitación sobre el elemento patrimonial, o bien un estudio arqueológico o arquitectónico. Pero lo más frecuente es que se haga con el ánimo de preservar fidedignamente la información geométrica del edificio o de la entidad, facilitando así su posible reconstrucción en el caso que sea dañado ó, dios no lo quiera, sea destruido.

### 1.2. Inciso la historia de la Fotogrametría y su paso a los sensores:

Para entender mejor este trabajo merece la pena echar una mirada retrospectiva en el tiempo para conocer a los pioneros de este arte, que todavía en estos tiempos tienen mucho que aportar si les prestamos la debida atención. Así pues en este apartado repasamos rápidamente la historia de la documentación geométrica deteniéndonos en los hechos y personajes más notables.

Parece una perogrullada decirlo pero la documentación existe desde que existe la arqueología, la arquitectura o el arte. Si nos paramos a pensar todos los arqueólogos, más si cabe los de la antigüedad, realizan sus propios dibujos o croquis en lo que se puede llamar un primer estadio de la documentación. Cualquiera de nosotros ha visto alguna vez un grabado de la antigüedad en el que se mostraba un monumento que en la actualidad ha sido destruido. Existen numerosos ejemplos: del coliseo de Roma numerosos dibujos han mostrado su continua decadencia a lo largo de los siglos. Y más cerca por ejemplo, del castillo de Burgos también existen varios grabados antes que fuera destruido durante la ocupación francesa. Todos estos dibujos sólo son documentación, pero no métrica, precisamente porque no se trata de planos, sino de dibujos en los que el autor muestra su propia abstracción del monumento. Por mucho empeño que pusiera el autor en ser objetivo, al fin de al cabo las proporciones del monumento las tendría que calcular a ojo porque, qué otra cosa podría hacer. Es cierto que antiguamente también existían medios con los que medir con precisión, pero en lo que a monumentos se refiere lo más habitual eran los dibujos artísticos. Pero aún así, podemos dar gracias si conservamos alguno de estos grabados, porque en el peor de los casos, que son muchos, no disponemos de nada, y solo podremos hacer especulaciones de cómo era el monumento.

Si buscamos los antecedentes de la documentación geométrica moderna los comenzamos a encontrar en el siglo XIX., más concretamente cuando apareció la fotografía. En esta época los más adelantados vieron la posible aplicación de las fotografías para obtener medidas, y así nació la fotogrametría de la mano de Aimé Laussedat en la segunda mitad del siglo XIX. Claro que la fotogrametría de entonces, no era como la conocemos hoy, se trataba de un proceso gráfico fundamentado en la perspectiva cónica de las fotografías. Pero al fin y al cabo consistía en obtener medidas a partir de una imagen. Sin embargo, en lo que a Patrimonio se refiere el auténtico precursor es sin duda el arquitecto alemán Albrecht Meydenbauer, que también es contemporáneo de Laussedat. Meydenbauer era un fanático de la nueva técnica y ya desde joven experimentó con ella, sobre todo cuando vio que podría tener excelente aplicación en el campo de la arquitectura. De este modo Meydenbauer comenzó a medir importantes edificios por toda Prusia, atreviéndose incluso con iglesias y catedrales. Con el paso de los años el éxito fue rotundo y a principios del siglo XX Meydenbauer dirigía ya un importante instituto dedicado a la documentación del patrimonio, y que realizó a lo largo de su existencia una ingente cantidad de proyectos. Tanto es así que posiblemente no haya habido hasta el momento ninguna institución dedicada a la documentación geométrica con parangón a la creada por Meydenbauer. Él creía con firmeza en la fotogrametría y estaba verdaderamente convencido de la importancia de la documentación del patrimonio, desgraciadamente el tiempo le daría la razón. Llegó el periodo de las guerras y la Segunda Guerra Mundial fue especialmente destructiva para Alemania. Eventos como el bombardeo que redujo a escombros la ciudad de Dresde, llamada “La Florencia del Elba” por su importante patrimonio arquitectónico, pusieron de manifiesto la importancia de la documentación geométrica llevada a cabo por Meydenbauer.

Dejando de lado las avatares de la historia, poco a poco la técnica fotogramétrica se fue sofisticando hasta llegar a lo que todos conocemos hoy en día. Sin duda el mayor impulso para la fotogrametría vino del cielo. Más concretamente sucedió en 1903, que ya es una fecha clave en la historia de la ciencia y muy especialmente de la fotogrametría. Y es que en ese año los hermanos Wright echaron a volar con el primer avión de la historia que realmente funcionaba. A partir de ese momento la aviación vivió un vertiginoso avance, y con ella otras muchas ciencias, por supuesto también la fotogrametría. Anteriormente ya se habían utilizado globos aerostáticos para realizar fotos aéreas, pero con la fotogrametría aérea realizada con los aviones las posibilidades

que se vislumbraban eran inmensas. Y así se desarrolló el método general de la fotogrametría tal y como lo conocemos hoy en día. Y con ello se pudieron abarcar campañas cartográficas de mucha más envergadura que lo que se hacía hasta aquel entonces.

Posteriormente, durante todo el siglo XX, coincidiendo con el nacimiento de las computadoras se logró automatizar cada vez más los procesos fotogramétricos. Primero apareció la fotogrametría analítica, en los años 60 y 70, a la vez que las primeras computadoras. Y más tarde llegó el turno de la fotogrametría digital, fase en la que nos encontramos actualmente. Aunque ya podemos ver en algunos trabajos el siguiente estadio de la fotogrametría: el sistema LIDAR.

De igual modo, toda la evolución que ha sufrido la fotogrametría aérea también ha pasado por ella su hermana menor, la fotogrametría terrestre. Otro tanto si hablamos del LIDAR, que también dispone de un hermano menor dedicado a levantamientos terrestres, el láser-escáner. Que también se estudiará en este proyecto.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO:**

Con este documento se pretende mostrar una parte interesante del presente de la topografía en el ámbito de la documentación geométrica. Se estudian las técnicas topográficas más usuales que se utilizan para el registro geométrico del patrimonio, en efecto: la topografía clásica; la fotogrametría y el láser escáner. Cada una de ellas con sus propias características; sus procesos y sus aplicaciones que se explicarán y analizarán en muchos de sus aspectos. Y para ilustrar mejor este estudio se utilizará un único proyecto realizado en el LDGP y en el que se han utilizado las tres técnicas. Este hecho le hace convertirse en un buen campo de pruebas para este tipo de estudio. Se trata del proyecto de documentación geométrica del Palacio los Condestables de Casalarreina.

Con esta intención se aborda el presente proyecto, teniendo en cuenta que éstas técnicas, y más si cabe, en lo que se refiere a la aplicación de patrimonio no son muy conocidas para muchos de los estudiantes de topografía. Mucho más si hablamos del sistema de láser escáner, ya que dada su relativa novedad y su elevado precio no resulta fácil de encontrar en los trabajos topográficos.

Así pues, respetando estas primeras premisas se pueden plantear los siguientes objetivos para el proyecto.

### **2.1. OBJETIVOS:**

- *Estudiar las utilidades del escáner en diversas aplicaciones de la Documentación Geométrica del Patrimonio .*

Aprovechando que en el proyecto de Casalarreina se van a emplear varias técnicas diferentes se presenta una gran ocasión para realizar un estudio comparativo en el que se chequee a la nueva herramienta para generar diversos productos .

- *Ilustrar brevemente la metodología de trabajo real en los proyectos de documentación geométrica similares al que sirve de ejemplo.*

Tomando como ejemplo el trabajo de Casalarreina se mostrará, en un principio, el análisis que se lleva a cabo para determinar la manera más ventajosa de acometer el

proyecto. Y luego se narrará cómo se realizó realmente este proyecto, prestando especial atención en los aspectos más interesantes.

- *Mostrar el funcionamiento del láser escáner terrestre.*

Al tratarse esta una herramienta desconocida mayormente para muchos topógrafos, y teniendo en cuenta que anteriormente nunca se había usado en ningún proyecto fin de carrera. Por esta razón se hará especial hincapié en la utilización del escáner, que incluya: descripción del sensor; la toma de datos en campo; el tratamiento en gabinete y el resto de los pasos a seguir para realizar un levantamiento con este instrumento. De igual modo al final se analizarán los resultados y se obtendrán unas conclusiones razonadas.

## 2.2. ANTECEDENTES

Antes de entrar en materia se ha de nombrar una serie de antecedentes a este proyecto y que le han servido al redactor para documentarse sobre este trabajo:

- Documentación geométrica del Palacio de los Condestables de 1992: Cartografía elaborada por el estudio del arquitecto Julio Sabrás en el citado año, y que se encuentra depositada en el Ayuntamiento de Casalarreina:

Esta cartografía carece de soporte informático, se encuentra solamente en papel. Característica que, aunque es importante en los tiempos actuales, tampoco le resta utilidad a los planos a la hora de consultarlos. Por otra parte, aunque si se trata de una cartografía extensa, en cuanto que prácticamente la totalidad de los alzados y plantas del edificio tienen representación en la veintena de planos con los que cuenta este estudio. Sin embargo, se ha comprobado que algunas medidas de los planos son erróneas, sobre todo en lo que se refiere a elementos como ventanas, columnas o similares.

Otra característica muy importante de esta cartografía es que se realizó cuando el Palacio todavía se encontraba en pie. Lo que convierte a la información de estos planos en un vestigio de suma importancia para el estudio de este edificio.

- *“Informe sobre la condición del Palacio de los Condestables incluyendo las alteraciones de sus materiales y recomendaciones para su conservación”*. Elaborado por GeoNorte en Noviembre de 1995:

Este documento es un informe técnico sobre el estado de conservación de los materiales con los que se construyó el Palacio. No tiene más utilidad para este proyecto que la de constatar el avance de la ruina sobre el Palacio, apenas 3 años después de haberse medido sin problemas.

- *“Documentación geométrica del Palacio de los Condestables de Casalarreina”*.

Proyecto realizado por el Laboratorio de Documentación Geométrica en Septiembre de 2006.

En este trabajo el redactor participó activamente y forma la base argumental de este proyecto. En dicha documentación geométrica se utilizaron diversas técnicas topográficas, entre ellas el escáner y la fotogrametría, además de aprovecharse a su vez de la cartografía de 1992. El proyecto se realizó por encargo de la Consejería de Cultura de La Rioja estableciendo previamente un “pliego de condiciones”. Todo esto se explicará con más profundidad durante el desarrollo del proyecto.

- Fondos documentales del LDGP:

Asimismo, toda la experiencia recabada anteriormente en el Laboratorio se encontraba disponible, compuesta por los numerosos proyectos similares al de Casalarreina que se habían realizado anteriormente. Por ejemplo el proyecto llevado a cabo en el Cubo del Revellín, en Logroño, donde se utilizó exitosamente el láser escáner. O los muchos levantamientos fotogramétricos que se han realizado como el de la basílica de Armentia por ejemplo. Todo ello ha servido también al presente redactor a versarse en la materia.

### **3. ANÁLISIS PREVIO DEL PROYECTO Y DE LAS TÉCNICAS DE DOCUMENTACIÓN:**

La justificación de utilizar el proyecto de Documentación Geométrica del Palacio de los Condestables para cimentar este proyecto fin de carrera, viene de la experiencia acumulada por este redactor puesto que formó parte activa del mismo en todas sus fases. Por esta razón, considero de recibo ilustrar esta comparativa con un ejemplo que conozco de primera mano y que además, salvando cierta particularidades, se trata de un caso relativamente habitual en documentación geométrica.

Este apartado parte directamente de lo planteado en un principio como objetivos del proyecto de Casalarreina. Y luego intenta plasmar la misma dialéctica de análisis que se estableció en este proyecto, y que se establecería en otros en los que también se dispusiera de un elenco de técnicas para llevarlo a cabo.

Por ello, para comenzar correctamente con el esquema propuesto es preceptivo definir los objetivos marcados en un principio para el proyecto de Casalarreina. Con el que se planteó lo siguiente:

- Documentación geométrica de detalle de la fachada principal. Por constituir la parte del Palacio de mayor interés arquitectónico.
- Definición de las formas y volúmenes del conjunto del palacio y de su entorno. Excepto en aquellas zonas que por su mal estado no fuesen aconsejable trabajar en ellas. Como se explicó en la memoria de campo.
- Reconstrucción, a partir de la cartografía de 1992, (consultar el apartado de antecedentes) de aquellas zonas que no se hayan podido medir correctamente.

Éstos eran los objetivos que se debían satisfacer, ordenados por importancia. Digamos que el primer objetivo era de imperativo cumplimiento, el segundo también pero venía condicionado por el estado del edificio, y el tercero serviría para completar el trabajo que no pudiera realizarse en el anterior. Además de esto, había que sumar otros condicionantes, tales como:

- La situación de Casalarreina, a unos 65 km de Vitoria.
- La fecha de entrega del proyecto establecida con el cliente para 3 meses después del comienzo del proyecto.

El paso siguiente, por lo tanto, es barajar las herramientas que se pueden utilizar para acometer el proyecto, y para ello es necesario conocer todas las herramientas, así como, los pros y contras que ofrecen cada una. Por un lado, están las herramientas disponibles en el propio laboratorio, y si éstas no satisfacen totalmente los objetivos buscados se puede recurrir a otras, alquilándose.

- Topografía: disponemos de 2 estaciones totales de medida directa sin prisma, revisadas y calibradas, dispuestas perfectamente para realizar cualquier trabajo topográfico.
- Fotogrametría: el LDGP dispone de 2 cámaras digitales calibradas y de 3 estaciones con restituidores digitales aptos para fotogrametría de objeto cercano.
- Escáner tridimensional: si bien el LDGP no posee uno propio se puede alquilar. En este caso, el uso del escáner se planteó con motivo de testear la nueva herramienta en este tipo de proyectos, en los que sus posibilidades, aunque se podían intuir, las desconocíamos. Y de esta forma adquirir experiencia sobre este instrumento que nos sirva para proyectos futuros.

Sabiendo esto, y salvando la particularidad del escáner, es el momento de cotejar las ventajas y desventajas, analizando las posibilidades de cada herramienta y comparándolas con las condicionantes que se derivan de los objetivos.

Así se hizo y, como se ha explicado en las páginas anteriores, al final se acabaron utilizando las tres herramientas. Pero, eso sí, cada una con una razón de ser y desempeñando una función dentro del proyecto.

A continuación se explican las características de cada técnica, de las que seguidamente se pueden deducir sus ventajas y su posible aplicación a los objetivos propuestos:

### 3.1 TOPOGRAFÍA:

De todos los métodos topográficos que podríamos utilizar en este tipo de trabajos destacaríamos el de radiación. El de bisección no supone alternativa hoy en día.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN TOPOGRÁFICA</b>
<b>En Campo.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe establecerse previamente una red topográfica antes de comenzar con la radiación. Sin embargo esta red sería necesaria de todas formas para los puntos de apoyo de fotogrametría.</li> <li>- Es una técnica de medida directa<sup>1</sup>. Cada punto debe ser registrado individualmente por el operador, que puede llegar a medir unos 100 puntos a la hora en este tipo de trabajos. Esta característica hace que el trabajo de campo sea muy tedioso y lastra en gran medida el tiempo de trabajo.</li> </ul>
<b>En Gabinete.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ya se dispone igualmente de todo lo necesario para la fase de gabinete: ordenadores de trabajo y programa CAD.</li> <li>- Se deben calcular las coordenadas de la red topográfica. Dibujar y editar los datos de la radiación, y confeccionar los planos. Todo ello nos llevará un tiempo variable según el proyecto, pero podría decirse que sería unas 4 o 5 veces el tiempo empleado en campo.</li> </ul>
<b>En los resultados.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ofrece precisión, no tiene por qué ser mayor a la fotogrametría pero habitualmente se emplea para corroborar a esta última. Y fiabilidad, puesto que el operador observa los puntos directamente en campo, atendiendo a su criterio.</li> <li>- El aspecto final suele ser simple y austero, y muchos detalles de menor importancia no aparecen en los dibujos.</li> </ul>

<sup>1</sup> Descripción de las técnicas de medida directas e indirectas:

- *Técnicas de medida Directa:*

*En el presente proyecto se aplica dicho calificativo a aquellas técnicas de medida en las que el operador registra directamente sobre el elemento objeto de la medida, la información determinante para conformar su levantamiento. Y reduciendo de esta forma, la posterior fase de gabinete, a la acción de ordenar y editar la información tomada en campo.*

- *Técnicas de medida Indirecta:*

*Del mismo modo, técnicas de medida indirecta serían aquellas en las que la información objetiva del elemento se extrae en la fase de gabinete, relegando la fase de campo solamente a la toma de datos.*

Analizando estas características lo primero que nos damos cuenta es lo fácil que tenemos la aplicación de la radiación a este proyecto de entrada, puesto que ya disponemos del material e incluso se puede compartir la primera fase de campo con el levantamiento fotogramétrico. Y si recordamos los objetivos propuestos al principio vemos que la radiación casa muy bien con el segundo: determinar la forma y volúmenes del conjunto del palacio. Excepto de la fachada principal, del resto del palacio no se requiere una documentación exhaustiva, cosa que se puede realizar a la perfección con la topografía.

Por último, aunque no parece apropiado utilizar la topografía en el levantamiento de la fachada principal por el nivel de detalle que se precisa. Ésta, sin embargo, nos puede servir para comprobar la precisión del otro método utilizado, ya sea la fotogrametría o el escáner, aprovechando su precisión y exactitud.

### 3.2. FOTOGRAMETRÍA:

<b>CARACTERÍSTICAS DEL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO</b>
<p><b>En Campo.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe establecerse previamente una red topográfica para medir los puntos de apoyo. Sirve perfectamente la utilizada para el levantamiento topográfico.</li> <li>- Es una técnica de medida indirecta. La información queda registrada en las fotografías y el proceso de campo sólo se limita a la toma de los pares por lo que suele resultar muy rápido. Más que el levantamiento topográfico.</li> <li>- Para la realización de los pares hay que respetar unas condiciones espaciales que hay que tener en cuenta, y que pueden provocar que queden zonas ocultas a causa de algún obstáculo.</li> </ul>
<p><b>En Gabinete.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- También se dispone de todo lo necesario para la fase de gabinete: una estación de restitución digital, programas CAD, etc.</li> <li>- El proceso de restitución es muy laborioso y suele tardar bastante. Supera con mucho, el tiempo empleado para la toma de datos en campo, y puede suponer un porcentaje muy amplio del total del trabajo, del orden del 90 o 95%.</li> </ul>
<p><b>En los resultados.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Podemos obtener tanta precisión como con topografía, sin embargo, se puede ver afectada por cierto error cuando se trata de pares diferentes, aunque en condiciones favorables no tiene por qué ser así .</li> <li>- El nivel de detalle que se consigue al final supera con creces al del levantamiento topográfico.</li> <li>- Se pueden generar otros productos como ortofotografías.</li> </ul>

De igual modo que con la topografía podíamos utilizar dos metodologías diferentes, también ocurre lo mismo con la fotogrametría. Tenemos la opción de utilizar fotogrametría estereoscópica o fotogrametría monoscópica. Las características de la primera son las que aparecen en el cuadro, y las de la segunda coinciden excepto que:

- La fotogrametría monoscópica utiliza pares convergentes.
- No se utilizan sistemas de visión estereoscópica por lo que no se puede percibir la profundidad en las fotografías. La profundidad se define por medio de planos, por lo que no resulta útil con objetos irregulares.

- Por lo general, la precisión que ofrece es inferior a la fotogrametría estereoscópica.

En efecto, en el Laboratorio disponemos también de un programa de fotogrametría monoscópica: Photomodeler. Pero también es cierto que debido al mal estado del Palacio de los Condestables no podíamos considerarlo como un objeto regular, puesto que las fachadas presentaban pandeo y numerosas deformaciones. Es esta razón, entre otras, lo que nos motivaría a descartar la fotogrametría monoscópica.

Por tanto, nos quedamos con la fotogrametría estereoscópica. Repasando el cuadro anterior vemos como el levantamiento fotogramétrico tiene unas características bastante diferentes a la topografía. Tanto que en algunos de sus casos parecen antagonistas, por ejemplo:

- Si acudimos a la diferencia más básica es que la topografía es una técnica de medida directa, y la fotogrametría es una técnica de medida indirecta.
- La fotogrametría concentra su mayor carga de trabajo en la fase de gabinete mientras que en la topografía se hace en campo.
- Alcanzar con la topografía el nivel de detalle de la fotogrametría supondría una cantidad de trabajo ingente, que en la práctica no es abarcable.

Pero no se trata ni mucho menos de técnicas enfrentadas, perfectamente se pueden utilizar las dos. Ya hemos visto incluso cómo la fotogrametría necesita de la topografía en la momento de dar coordenadas a los puntos de apoyo. Y por otra parte si se disponemos a la vez de levantamiento topográfico y fotogramétrico tenemos la posibilidad de contrastar ambos resultados. Por otro lado, el primer objetivo de todos nos exige una documentación de detalle de la fachada principal, lo que necesariamente pasa por la utilización en esa parte de la fotogrametría u otra herramienta que ofrezca el mismo nivel.

Así pues, habiendo analizado estas características la fórmula que más sentido tiene es la de utilizar la topografía para medir todo el palacio, y además utilizar otra técnica como la fotogrametría para levantar la fachada principal.

### 3.3. LÁSER-ESCÁNER TERRESTRE:

El láser escáner comparte muchas características con la fotogrametría, si bien algunos aspectos resultan más ventajosos otros no lo son tanto. En buena parte estas características también dependen del tipo de escáner con el que se trabaje, que en el caso al que nos referimos, el modelo de FARO, se trata de un escáner panorámico de Diferencia de Fase. En otro apartado se explicarán los diferentes tipos de escáner, pero las características del que nos ocupa y que se presentan a continuación, se refieren a supuestos previos sacados de algunas experiencias previas con este escáner. Pero teniendo en cuenta que no se había utilizado anteriormente para proyectos de las características de este, lo que limita nuestro conocimiento de la herramienta.

<b>CARACTERÍSTICAS DEL LEVANTAMIENTO POR LÁSER-ESCÁNER</b>
<p><b>En Campo.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es una técnica de medida indirecta. En este caso la información queda registrada en forma de nubes de puntos que se obtienen a partir de los barridos del escáner. El proceso de toma de datos muy rápido, más incluso que con la fotogrametría.</li> <li>- La situación de los barridos es indiferente, solamente se debe tener en cuenta que aparezcan suficientes esferas de apoyo dentro del barrido. Esto permite más versatilidad que la fotogrametría y si una zona queda oculta al barrido es porque resulta inaccesible.</li> <li>- Con el escáner los puntos quedan registrados sistemáticamente, no tienen que coincidir con una esquina o con un punto en particular.</li> <li>- Aunque podamos salvar los obstáculos y zonas ocultas fácilmente la calidad de los barridos se ve muy afectada por la lejanía del objeto en cuestión, o por la geometría en que se encuentre.</li> <li>- Las esferas o puntos de apoyo pueden medirse topográficamente o no.</li> </ul>
<p><b>En Gabinete.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para tratar los datos disponemos de un módulo especial para autocad, el Pointcloud, y de un programa de gestión de nubes de puntos proporcionado por la empresa que suministra el escáner, FaroScene.</li> <li>- A pesar de la tremenda cantidad de datos que se manejan con las nubes de puntos la mayoría debe ser desechado, lo que exige un proceso previo de edición y filtrado.</li> <li>- Digitalizar sobre las nubes de puntos se hace más difícil que restituir pares.</li> </ul>

**En los resultados.**

- Ofrece una precisión aceptable excepto en puntos que tienen pocas propiedades de rebote. Igualmente ocurre con la precisión absoluta de la nube de puntos puesto que el sistema de orientación de las nubes de puntos mediante esferas resulta bastante eficaz.
- El nivel de detalle que podemos conseguir no llega por lo general al que se obtiene con la fotogrametría invirtiendo el mismo esfuerzo.
- Podemos generar una amplia gama de productos secundarios como modelos tridimensionales virtuales, u ortofotografías, secciones.

Lo más interesante del cuadro anterior para nuestros objetivos es el hecho de que con el escáner no logremos alcanzar el mismo nivel de detalle que con el levantamiento fotogramétrico. O que para hacerlo tengamos que realizar más esfuerzo. Aunque el escáner se trate de una herramienta de toma de datos masiva, no quiere decir que estos datos sean de mucha calidad. Para empezar el escáner no obtiene barridos en color (por lo menos los que son de “Diferencia de Fase”), lo que implica ya cierta pérdida de información, además de tener una particularidad con su resolución (véase en el apartado de “resolución útil del escáner”).

El problema que plantean estas circunstancias recae sobre todo en la interpretación de los elementos del objeto escaneado, que al carecer de color, o al tener menos resolución por zonas, resultan menos definidos, y por lo tanto menos visibles. Ciertamente es, que por lo menos con el software que se utilizaría, tenemos la posibilidad de colorear la nube de puntos a partir de fotografías insertadas encima de la nube.

Sabiendo esto, no vemos razón para usarlo en lugar de la fotogrametría y tampoco en lugar de la topografía para levantar el resto del edificio, por la misma razón que afectaba a la fotogrametría. Son motivos de otra índole lo que nos empujarían a usar el escáner en este proyecto, y como hemos dicho se trata de razones didácticas. Suponemos el uso del escáner un experimento para comprobar su funcionalidad en proyectos de este tipo, sobre este estudio versará el presente proyecto principalmente.

Obviando la anterior motivación, podríamos justificar la utilización del escáner aprovechando la versatilidad que nos proporciona a la hora de salvar objetos que sí entorpecen la visión de los pares fotogramétricos. Si tuviéramos la certeza en los pares fotogramétricos no van a verse afectados de zonas ocultas el uso del escáner no sería necesario.

Por otro lado, aunque no es el caso de este proyecto, con un levantamiento con escáner tendríamos la posibilidad de generar fácilmente otros productos secundarios como modelos virtuales u ortofotografías. También, una utilidad muy buena de las nubes de puntos es la facilidad con la que se pueden hacer secciones, en cualquier dirección, y con gran precisión y densidad de puntos. Esto último, por ejemplo, se podría realizar mejor con el escáner que utilizando topografía o fotogrametría. Más adelante nos extenderemos en estas acciones del escáner.

Otras aplicaciones ajenas a la documentación geométrica en las que se puede utilizar el escáner son, por ejemplo: la ingeniería inversa, la industria, las obras, y otra multitud de ciencias.

### **3.4. MODELOS DE ESCÁNERES TRIDIMENSIONALES:**

#### **DE MEDIDA LÁSER:**

Este tipo de escáneres tridimensionales son, con diferencia, los más comunes hoy en día y sigue siendo la línea más investigada. Muchas compañías se han volcado en estas investigaciones y fruto de ello tenemos gran variedad de estos aparatos y de múltiples aplicaciones, la más conocida de ellas es la del LIDAR.

Todo comenzó, como muchas otras cosas, a partir de una investigación militar en la que se pretendía diseñar un sistema por el que un vehículo pudiera moverse por un terreno con obstáculos sin necesidad de ser tripulado. El sistema que utilizaría para reconocer el terreno sería parecido a un escáner láser. No sabemos si la investigación sobre este vehículo ha llegado a buen puerto o si el prototipo ha terminado en el fondo del barranco, pero sí, que esta investigación derivó en seguida el sistema LIDAR y sus hermanos menores los láser escáner terrestres.

El LIDAR es una herramienta que se encuentra en pleno despegue y es hacia donde camina el futuro de la producción cartográfica porque se plantea seriamente como el relevo de la fotogrametría aérea. El LIDAR se trata de un escáner aerotransportado con un Láser de gran potencia, que según la aeronave va sobrevolando el terreno, éste realiza un barrido del mismo. De tal forma que se obtiene un MDT del terreno instantáneo con el que trabajar. El problema del LIDAR es que utiliza un láser tan potente que no conviene que se utilice en áreas pobladas.

Los hermanos menores del LIDAR son los láser escáner terrestres. Que del mismo modo que el anterior despunta ya como sustituto de la fotogrametría aérea, con estos otros sucede lo mismo pero con la terrestre. A diferencia del LIDAR, utilizan un haz láser menos potente y que prácticamente resulta inocuo para las personas, aunque no es recomendable mirar hacia el aparato cuando está trabajando. Este tipo de escáneres trabajan con frecuencias de onda láser con grandes propiedades de rebote. Un código de salida propio de cada pulso para identificar posteriormente su respuesta y unido a un potente discriminador. Sumado todo obtenemos el láser escáner.

Además de los escáneres terrestres también se han desarrollado otros manuales. Y también existen otro tipo de escáneres con ingeniosas alternativas al láser, como palpadores o ópticos, que también merece la pena describir.

### Láser escáneres terrestres<sup>2</sup>:

Desde unos años atrás a esta parte estos aparatos han irrumpido en el mercado, no con mucha fuerza es cierto, pero sí con una amplia lista de aplicaciones. En todas las que abarca la fotogrametría terrestre, y alguna más se le puede encontrar utilidad a esta herramienta que hasta hace muy poco, tenía una presencia testimonial en esos trabajos. Es actualmente cuando ha comenzado a arrancar en serio y su uso se está extendiendo sobre todo en el territorio de la fotogrametría. Y buena parte del mérito lo tiene el empeño de muchos fabricantes en desarrollar esta herramienta. Y que lo han llevado a cabo por diferentes vías atendiendo a su propio concepto de escáner tridimensional. Fruto de estos trabajos podemos encontrar en el mercado varios tipos de escáneres diferentes por construcción, y que podemos clasificar según las dos acciones más importantes que realiza el escáner: el barrido y la medida del punto. Veamos:

Según el sistema de barrido:

- *Cámara:* El haz láser es dirigido a los diferentes puntos por medio de unos espejos sincronizados y se proyecta a partir de una ventena que generalmente no suele comprender mucho campo de visión, como mucho 60° x 60°.
- *Panorámico:* El aparato consta de dos alidadas horizontal y vertical por medio de las cuales el haz puede rotar y abarcar prácticamente todo el horizonte excepto el que oculta el propio aparato.
- *Híbrido:* Se trata de un escáner de cámara pero que puede realizar el giro horizontal de la misma forma que el panorámico.

Según el sistema de medida:

- *Tiempo de vuelo:* Mide el retardo del haz desde el momento de emisión hasta el de recepción. Es la forma que permite mayores alcances de hasta 1000 metros y con una precisión inferior a los 2 cm.

---

2. J.M.Pons y J.L.Lerma. “El láser escáner terrestre: Una potente herramienta de digitalización 3D”. (Artículo publicado en el núm. 129 de Topografía y Cartografía)

- *Diferencia de fase*: mide el desfase entre la onda emitida y la recibida para varias longitudes de onda diferentes. Permiten una velocidad de barrido fulgurante pero no tienen un gran alcance, generalmente nunca superior a 100 metros.

Varias compañías comercializan este tipo de aparatos la mayoría lo son también de aparatos topográficos como Leica o Trimble . Otras sin embargo son compañías dedicadas a aparatos industriales tales como FARO o Riegl. Sea como fuere, las marcas que incluyen el láser escáner entre su oferta además de los citados son: Callidus, Optech, Zoller+Fröhlich y Leica. Algunas compañías han optado por la tecnología de Tiempo de vuelo y otras por la medida de fase, incluso por las dos, en cualquier caso los modelos de escáneres son muy diversos y es difícil generalizar. cada modelo cuenta con sus propias características, ventajas e inconvenientes.

Tabla resumen:

Fabricante	Modelo	Sistema de barrido	Sistema de medida	Software
Leica Geosystems	HDS6000	Panorámico	Diferencia de fase	Cyclone
	HDS 4500	Panorámico	Diferencia de fase	
	HDS 3000	Panorámico	Tiempo de vuelo	
	HDS 2500	Cámara	Tiempo de vuelo	
Callidus	CP 3200	Híbrido	Tiempo de vuelo	3D - extractor
Trimble	GS200	Híbrido	Tiempo de vuelo	RealWorks-3D
Optech	ILRIS3D	Híbrido	Tiempo de vuelo	Polyworks
Riegl	LMS-Z420i	Híbrido	Tiempo de vuelo	RISCAN PRO
	LMS-Z360i	Híbrido	Tiempo de vuelo	
	LMS-Z210i	Híbrido	Tiempo de vuelo	
Zoller+Fröhlich	IMAGER 5003	Panorámico	Diferencia de fase	Z+F LaserControl
FARO	LS 880 HE40	Panorámico	Diferencia de fase	FAROscene
	LS 880 HE80	Panorámico	Diferencia de fase	

(Fuente: J.M.Pons y J.L.Lerma. “El láser escáner terrestre: Una potente herramienta de digitalización 3D”. Artículo publicado en el núm. 129 de Topografía y Cartografía)

Escáneres de corto alcance:

**FARO láser scanarm:**

Se trata de un láser escáner manual, posee un brazo telescópico que es dirigido por un operario. Sirve para escanear objetos relativamente pequeños y a corta distancia y está enfocado a aplicaciones industriales.

### Escáneres de triangulación óptica:

#### **Minolta vivid 3d:**

La investigación en materia del escáner incluso ha llevado a la compañía Minolta por otro camino diferente como lo es la tecnología de la triangulación óptica. La propia compañía Minolta llama cámaras 3d a estos aparatos puesto que quizás no sea conveniente considerarlos láser escáneres propiamente dichos. Con esta tecnología la posición del punto se calcula mediante un haz láser colimado sobre el objeto y registrado por una o dos cámaras. Conocidas la base y los ángulos extremos se obtiene la posición de cada punto.

Podemos conseguir una precisión superior al resto de escáneres que se sitúa por debajo del milímetro. Por el contrario este instrumento debe situarse cerca del objeto, a no más de 5 metros de distancia, lo que limita su utilización a objetos pequeños como bustos o esculturas.

#### **OTROS TIPOS DE ESCÁNERES:**

Los escáneres de medida por láser son los de más han calado en el mercado, pero también se han desarrollado otras tecnologías para obtener nubes de puntos o modelos tridimensionales. Por ejemplo:

#### **Palpadores / M.M.C.S.:**

Se tratan de instrumentos de medida directa, de hecho es que tocan al objeto físicamente por medio de unos brazos extensibles, mecánicos y extremadamente precisos. Estos instrumentos ya se llevan utilizando en industria de mucho antes que el láser escáner, siempre para auscultación de piezas que no sean de gran tamaño. En cuanto a precisión no tienen rival y es difícil que el láser escáner llegue a alcanzar los rangos de micras en los que se mueven los palpadores.

#### **Sistemas ópticos:**

Ya se ha hablado anteriormente de ellos, es el caso de el escáner Minolta vivid 3d, pero no se trata del único escáner de este tipo, sino que hay alguno más en investigación, o ya en el mercado como el sistema DEIOS: Este sistema se basa en la propiedad de moiré, primero se proyecta un patrón de líneas o mallas de puntos sobre el

objeto en varias posiciones diferentes, las cuáles son recogidas por una cámara y posteriormente se compara con el patrón real. Cuantificando esa diferencia se obtiene el relieve del objeto con precisión. Este sistema tiene aplicaciones en arqueología principalmente y está pensado en trabajar para en distancias cercanas.

## **4. DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PALACIO DE LOS CONDESTABLES DE CASALARREINA**

### **4.1.- Localización:**

La villa de Casalarreina se encuentra en la comarca de Rioja Alta, situada en una extensa llanura aluvial y bañada por las aguas del río Oja. Dista 7 kilómetros de Haro y 48 kilómetros de Logroño. Casalarreina cuenta con una población de 1.257 habitantes (INE 2005), cifra que se quintuplica en la época estival.



Fig. -1- Localización de Casalarreina dentro de La Rioja. Imagen obtenida de

El palacio se encuentra situado en una plaza justo al otro lado de la calle en donde se encuentra el Ayuntamiento, la Avenida de la Paz, junto al puente y en la margen derecha del río Oja.



#### 4.2. Breve reseña histórica

##### Historia de la Villa de Casalarreina<sup>3</sup>:

Anteriormente denominada como Naharruri (Villa de los navarros) se tiene referencia de su pertenencia al fuero de Cerezo en el año 1142.

En 1404, el monasterio de Cañas vendió la villa a Haro, reservándose el monasterio el señorío directo sobre el lugar.

En 1511 pasó a pertenecer a los Fernández de Velasco (Condes de Haro), año en el que la villa fue morada algún tiempo de la reina Doña Juana I de Castilla (Juana la Loca), madre de Carlos I, alojándose esta en el palacio de los Condestables y motivo por el que se aprovechó para cambiar el nombre de la villa "en el Lugar de Naharruri, ques llamado de la Cassa de la Reyna..." a su denominación actual "Casalarreina".

En esas fechas los Velasco fundaron el convento de las Dominicas con advocación de la Piedad, al que en el año 1522 asistió el Papa Adriano VI a su inauguración invitado del Obispo de Calahorra hijo del Conde de Haro, y que había sufragado los gastos.

En 1671 logró independizarse de Haro y obtener la condición de villa independiente con el nombre oficial de Casalarreina.

Entre los años 1820 y 1830 se construyó el actual puente de piedra sobre el río Oja, obra del ingeniero militar Bolaños.

#### El Palacio de los Condestables:

En lo que se refiere al Palacio de los Condestables se construyó entre finales del siglo XV y comienzos del XVI. Precede por unos años a la adquisición de la villa por parte del Conde de Haro, Condestable de Castilla en ese momento. Título que regentaba el noble que dirigía a los ejércitos de este reino, y suponía la máxima autoridad en ausencia del Rey. El vocablo “Condestable” se refiere a que además este título era hereditario, en lugar de vitalicio y otorgado por el Rey como el resto de condados. El Condestable, era por tanto, una institución importantísima en aquella época.

El estilo del Palacio es gótico tardío con rasgos muy asimilados del renacimiento. Al ser un edificio residencial posee una arquitectura sobria pensada en sostener la mirada del observador sobre el frente, efecto que se consigue utilizando los arcos escarzos o rebajados. En contraposición, la arquitectura gótica de las catedrales tiene el fin de impresionar al observador atrayendo su mirada hacia arriba por medio de arcos ojivales y otros medios que buscaban la sublimación.

El rasgo más destacable del edificio es el semiclaustro del cuerpo central compuesto por arcos escarzos, columnas con decoración de estrías rectas y espirales; y una balaustrada. Guarda cierto parecido con otro de los palacios de los Condes de Haro: La casa de los Condestables de Burgos o “Casa del Cordón”, obra del mismo estilo arquitectónico del arquitecto Juan de Colonia.

#### **4.3. Estado actual del Palacio:**

En cualquier caso, y pese a la gloria que pudo tener el palacio en tiempos pretéritos, actualmente se encuentra en un estado deplorable. Por este motivo la Comunidad Autónoma de La Rioja, entidad responsable de su restauración, encargó la documentación geométrica al LDGP. Dado el estado del edificio parece más factible una reconstrucción del edificio que una rehabilitación, por que son tantos y tan significativos los defectos y patologías del edificio que es difícil hacer balance, pero podemos empezar contraviniendo lo usual; por el tejado.

---

<sup>3</sup> Diccionario geográfico histórico de España. Govantes 1856.

El problema del tejado es que no hay. Se derrumbó. Y en algunas partes se llevó consigo los pisos de debajo. Esto sucedió hace pocos años, porque en unas fotos realizadas en 1999 todavía aparece el tejado, no se sabe en que estado, pero por lo menos se ve que está entero. Sea como fuere, está claro que habiéndose caído el tejado el resto del edificio se encuentra expuesto a un deterioro acelerado.

Si echamos un vistazo a los tabiques vemos que ninguno está exento de padecer grietas, humedades u otras patologías. Y la mayoría no mantiene la verticalidad ni por asomo. El estado de las vigas, escaleras y techumbres de madera no es mucho mejor y muchas se encuentran en fase de putrefacción.

Por último, y para nombrar otro defecto notable de la enorme lista que se ve aquejado el edificio. Decir que los forjados del primer y segundo piso en vez de mantenerse en pie, más bien parecen que hacen equilibrio sobre los apoyos que las sustentan, lo que procura una gran inseguridad si se pretende caminar sobre ellas. Viendo esto, se puede vaticinar que el primer y segundo piso acabarán por venirse abajo. En resumen: una ruina.



Fig. - 3 - Las vigas que sujetan la techumbre del primer se sustentan en precario equilibrio sobre sus apoyos.



Fig. - 4 - En el piso inferior, los puntales que se habían colocado para sostener la estructura sirvieron de poco ante el avance de la ruina.

#### **4. 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SEGUIDO POR TOPOGRAFÍA.**

El estado del edificio nos supuso un gran inconveniente para realizar el levantamiento por topografía. La precaución nos hizo evitar muchas de las estancias del interior del palacio y nos restringimos solamente a las que presentaban un aspecto seguro. Y éstas sólo se encontraban en la planta baja. Se especuló con medir parte de la segunda planta, pero al subir por las escaleras una serie de grotescos crujidos disuadían de proseguir en el intento. Otro tanto sucedió con la estancia contigua al salón, pero en esta ocasión, se trataba de amenazantes escombros que colgaban de los pisos superiores.

Eso en el interior, pero es que el exterior del edificio también presentaba numerosos impedimentos para la toma de datos. De los dos edificios contiguos, en uno se había montado un andamiaje para remodelar la fachada que ocultaba una pequeña parte del palacio. Ese fue el problema más leve; porque el otro edificio, de nueva construcción, estaba tan pegado al palacio que ocultaba casi por completo su fachada sur. Y sabemos por los planos de J. Sabrás que esa fachada sí contiene ventanas y otros elementos destacables que ahora se encuentran cegados. Y por último la fachada posterior, que se encontraba libre de otros edificios eso sí, había sido invadida por una frondosa hiedra que la cubría en buena parte. Se puede decir, que de todo el palacio, solamente se pudo medir en buenas condiciones la fachada principal.



Fig. - 5 - Detalle de la fachada posterior, que presentaba un aspecto selvático.

Con este panorama se midió lo que se pudo por topografía y para completar las partes que no se tomaron, se tuvo que recurrir a la documentación anterior de J. Sabrás del año 1992. De esta forma se ha podido reconstruir el palacio virtualmente, aunque sin

contar con el rigor que las mediciones por topografía le hubieran otorgado. Pero todo esto es motivo de estudio de otro proyecto.



*Fig. - 6 - Detalle del plano de la fachada principal correspondiente a la documentación de J. Sabrás realizada en 1992.*

### **Fase de Campo:**

Previo al levantamiento topográfico, se dedicó un día a establecer una red de estaciones distribuidas por las zonas que se iban a medir. Es decir, se materializaron unas estaciones desde donde se veían las fachadas principal y posterior, las bodegas y la zona central de la planta baja. Las estaciones se observaron por poligonal. La mayoría de estas estaciones integran un itinerario cerrado que atravesaba el edificio y luego daba la vuelta detrás del inmueble contiguo (Fig. - 7 -). Sin embargo las estaciones situadas en la bodega pertenecen a un itinerario abierto que pende de la poligonal principal, en el que no se pudo comprobar el cierre directamente porque acababa en una estancia sin salida. Sin embargo si que se radió desde esta última estación a un punto visible desde las estaciones exteriores, para comprobar que efectivamente sus coordenadas no difirieran demasiado como para desechar las mediciones realizadas desde este itinerario colgado.

Además de las estaciones de poligonal, también se radiaron una serie de clavos y dianas con objeto de poder estacionarse posteriormente por medio de intersección inversa.

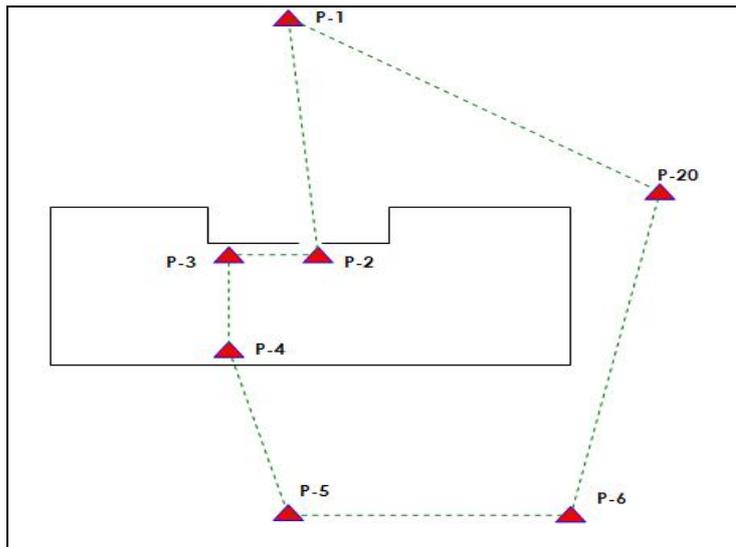


Fig. - 7 - Croquis del itinerario principal.

En otra jornada se midió el edificio por medio de estaciones totales con sistema de medida sin prisma, esta característica, permite documentar zonas inaccesibles siempre que tengan visibilidad directa.

### **Fase de Gabinete:**

Una vez en gabinete se editan los datos obtenidos en campo, organizando la información en niveles de información o capas, y diferenciando el tipo de objetos medidos por colores. A continuación se presentan algunas vistas del modelo vectorial.

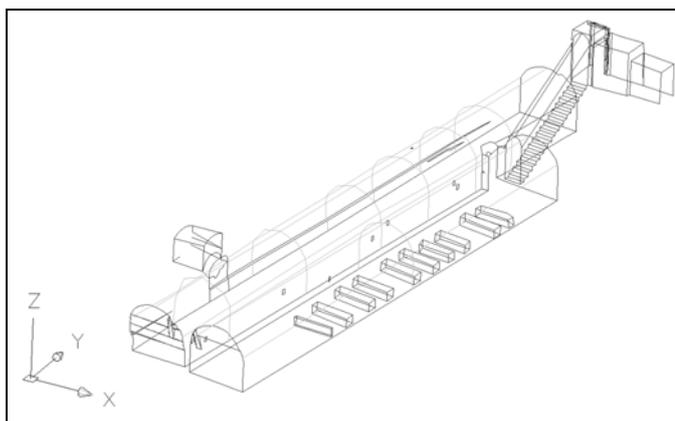


Fig. - 8 - Vista de la bodega.

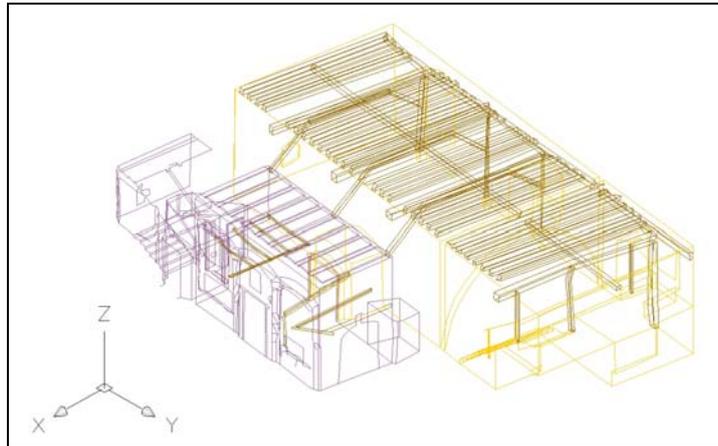


Fig. - 9 - Vista de la planta baja. En colores se ven los diferentes elementos que lo componen.

### **Resultados:**

El resultado responde fielmente al objetivo que se estableció para la medición topográfica que, como analizamos al principio, era el de definir las formas y volúmenes del conjunto del Palacio. Es decir, crear un modelo alámbrico de todo el palacio, o al menos la parte que se pudiera medir, y de su entorno. Y eso se obtuvo. El modelo resultante puede tener un aspecto sencillo, porque por las propias características de la medición topográfica se tiende a generalizar muchos detalles. Pero eso sí, la medición topográfica, si se hace debidamente, asegura también un modelo preciso.

Para los trabajos de documentación geométrica digamos que el levantamiento topográfico es lo más básico. Esto es porque por topografía generalmente solo se establecen la forma y dimensiones del objeto, obviando por razones de tiempo, muchos de los detalles menos importantes. Siendo sólo aquellos detalles singulares que definen el objeto, los que mide el operador en campo. Llegados a un punto en que interesa captar mayor información del objeto, es aconsejable prescindir de la topografía e ir pensando en aplicar otro método.

#### **4.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SEGUIDO POR FOTOGRAMETRÍA:**

La fachada principal es la parte más importante del palacio, aunque como el resto del edificio también presenta un aspecto muy deslucido. Sobre todo, sus balconadas compuestas por unos estilizados arcos y columnas destacan sobremanera del resto del conjunto, a pesar del deterioro. Es por este motivo por lo que se decidió realizar el levantamiento por fotogrametría en esta parte. Y también con el escáner. En efecto, se pensó que esta fachada requería una documentación más exhaustiva que el resto del palacio.

##### Fase de campo:

El levantamiento de la fachada se planificó en 5 pares diferentes, tal y como se ve en el croquis de la Fig - 10 -. Para obtener una mejor perspectiva en vez de realizar las tomas desde la altura del operador, se elevó la cámara por medio de un jalón telescópico para realizarlas a media altura. Éste se colocó manteniendo la correcta relación de base y alejamiento a la pared de forma que los pares obtenidos permitan crear el modelo estereoscópico. El mayor problema que tuvimos al realizar las fotos en esta posición, es que nos encontramos algunos obstáculos que ocultaban partes de la fachada. En uno de los pares fueron unos montones de arena que estaban colocados justo delante, pero que no supusieron mayor contratiempo porque los apartamos fácilmente. Pero en otra ocasión los obstáculos si que eran inamovibles. En el par situado más al norte quedaba oculto en una parte por la valla de entrada a la casa contigua, y por el andamiaje de las obras de restauración que también se apoyaba en al palacio.

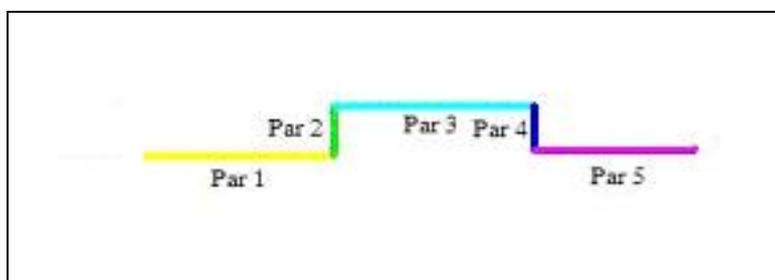


Fig. - 10 - Esquema de las partes de la fachada que abarca cada par.

Para realizar las fotografías se utilizó una cámara digital de gran resolución con el objetivo calibrado. Todas las características de la cámara y del objetivo se especifican en el apartado de la orientación interna.

### **Fase de gabinete:**

Realmente la cámara digital y el objetivo utilizados no tienen nada de especial, solamente son aparatos convencionales pero de muy buena calidad. La cámara se trata de una Canon EOS 350D del año 2005 con 10,5 megapíxeles de resolución. El objetivo es más antiguo, y se encuentra amordazado de forma que no permite realizar movimientos de enfoque y de cambio de focal. Con esto conseguimos que permanezca estable, para que así se pueda calibrar la cámara, con lo que obtenemos los parámetros que posteriormente son necesarios para la orientación interna, como ya sabemos: distancia focal; posición del punto principal y los parámetros de la función de distorsión. Toda esta información aparece detalladamente en el certificado de calibración de ésta cámara y éste objetivo (ver el anexo) expedido por el LDGP, y realizado con métodos propios.

### **Restituidor digital:**

A partir de esta fase, y para el resto del proceso utilizamos ya el software del restituidor digital. Se trata del programa Softplotter 4.0 del año 2001, y que comercializa la conocida multinacional Boeing. En realidad se trata de un programa pensado para fotogrametría aérea, pero que también permite trabajar con fotogrametría terrestre si se usan unas pequeñas argucias que veremos más tarde. Este programa está instalado en un potente ordenador que tiene montado un sistema de visión estereoscópica. Todo ello forma la estación de restitución.



Fig. - 11 - Imagen de la estación digital de restitución Softplotter.

El programa softplotter se encuentra dividido en módulos. Cada uno de ellos es un subprograma que realiza una de las fases del proceso fotogramétrico. Así que entre otros módulos, hay uno para la orientación interna; otro para la externa; y otro para la restitución

### **Orientación de los pares:**

#### Orientación interna:

Conocemos las fases del Método General de la fotogrametría y ya sabemos que éste proceso por el que se obtiene información métrica de las fotografías comienza por la orientación interna. Explicado de manera sencilla esta fase consistiría en recomponer a la inversa el haz de rayos que plasmó la imagen en el momento de realizar la toma. En los tiempos que corren ya no tenemos el privilegio de verlo físicamente tal y como se hacía con los antiguos restituidores analógicos. Ahora esta fase se limita a introducir en el ordenador los parámetros de la cámara, es decir, la información que tenemos en el certificado de calibración: focal; posición del punto principal y de las marcas fiduciales (en caso que las tenga); y el valor de la distorsión radial y tangencial.

De igual modo se hace con softplotter. Eso sí, al tratarse de imágenes obtenidas por una cámara digital carecen de marcas fiduciales físicas, serán los píxeles de las cuatro esquinas de la imagen los que harán de las mismas. Por eso introduciremos el

tamaño de la imagen, o mejor dicho, las coordenadas, en píxeles, de las cuatro esquinas de la imagen, a partir de su centro. Otro tanto con la posición del punto principal, también en píxeles desde el centro de la imagen.

#### Orientación externa:

Atendiendo a los preceptos de la fotogrametría. Posteriormente a la orientación interna se continúa con la orientación relativa y absoluta, o bien, si se integran estas dos en un solo paso, con la orientación externa.

Para determinar simultáneamente todos los elementos de orientación será necesario disponer de las coordenadas terreno de los puntos de apoyo, y por supuesto, también medirlos en la propia imagen. Una vez hecho esto con un determinado número de puntos no inferior a 6 por par, aplicaremos la consabida condición de colinealidad. Que obliga a que se encuentren en la misma recta: el centro de proyección, el punto imagen y el punto del terreno proyectado.

Como softplotter es un restituidor aéreo, y lo que queremos restituir es una fachada, es necesario abatir en un plano vertical las coordenadas de los puntos de apoyo. Realizada esta operación lo siguiente es identificar cada punto en la imagen (ver anexo de puntos de apoyo). Para facilitar este trabajo, en campo se distribuyeron y señalaron los puntos de apoyo con dianas excepto en la parte superior del edificio puesto que no nos era posible colocarlas a esa altura.

En algunos de los pares costó conseguir una orientación aceptable para continuar con el trabajo, pero tras varios intentos, finalmente se logró satisfactoriamente.

#### Restitución:

Una vez hecha la orientación externa ya tenemos el modelo listo para ser restituido, y lo más común es hacerlo mediante un sistema de visión estereoscópica. Para este proyecto se montó en el ordenador un sistema de gafas activas del estilo a las usadas para recrear los efectos visuales de los videojuegos. Proporcionan una clara visión en 3d, pero por contra incrementan la fatiga del operador en comparación con el otro sistema de gafas pasivas, que resultaba inocuo y proporcionaba una visión muy clara, pero que en ese momento no estaba operativo. Además, con el paquete de softplotter venía un timón ergonómico especial para restituir. El módulo de restitución de softplotter trabaja con el programa de dibujo asistido Microstation.



#### **4. 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SEGUIDO POR LÁSER ESCÁNER.**

Por último, para finalizar con el elenco de técnicas que se utilizaron en este proyecto, hablaremos del levantamiento por láser escáner ó, “escanometría”. El término “escanometría” no es de nuevo cuño, se utiliza en medicina en el campo de los escáneres TAC, pero todavía no está introducido en el mundo del láser escáner. Si nos remitimos a la etimología de la palabra está bien empleada puesto que al igual que fotogrametría indica obtener medidas a partir de fotografías, escanometría indica la medición a partir de un escáner, que define exactamente lo que se va a hacer. Si leemos a otros autores también denominan a esta forma de medida “Lasergrametría”, sobre todo si se trata de fuentes francesas, puesto que en el país galo se ha generalizado este término. De todas formas también se trata de un vocablo muy parecido a fotogrametría, el caso es que no hay consenso a la hora de encontrar un denominativo para esta nueva técnica. La verdad, el hecho de que para nombrar ambas técnicas se utilicen vocablos parecidos ayuda bastante a relacionarlas, porque ciertamente las analogías que encontramos entre las dos son muy abundantes, como veremos.

##### **Fase de campo:**

La toma de datos en campo, es la fase más breve de todo el proceso, pero claro, de cómo se lleve a cabo dependerá el resultado final. Por eso, antes de lanzarse a escanear sin criterio, merece la pena esmerarse en planificar la sesión.

Lo primero de todo es valorar los posibles emplazamientos de cada escaneo atendiendo: al campo que abarcará el escaneo; al alejamiento del escáner al elemento y al resto de escaneos. Después, dependiendo de donde hayamos decidido ubicar los escaneos mediremos los puntos de apoyo en caso de que queramos hacerlo. Matizo. Como el escáner ya realiza medida de todos los puntos, si en su campo de barrido aparecen los puntos de apoyo, ya los tiene medidos y no es necesario que se midan topográficamente, pero sí conveniente.

##### **El apoyo topográfico:**

Dependiendo del modelo de escáner que se utilice se podrán utilizar diferentes objetos de puntos como apoyo. En concreto los escáneres FARO utilizan unas esferas blancas de unos 14 cm de diámetro. La ventaja de estos puntos de apoyo tan voluminosos es que al tratarse de esferas se puede calcular su centro a partir de los

puntos que el escáner haya medido en su superficie. Y esto es así porque el escáner mide puntos de forma masiva y carece de ningún operador consciente que le señale dónde debe medir. Si por ejemplo se tratara de dianas sería mucha casualidad que algún punto del barrido cayera justo en el centro de la diana. Lo que introduce cierta ambigüedad a la hora de determinar su centro, puesto que a no ser que lo interpolemos, debemos considerar que se trata de algún punto lo más cercano a él.

Para dar las coordenadas de las esferas se coloca previamente a la esfera un miniprisma, especialmente diseñado para que se pueda medir con la estación total.



Fig. - 12 - Vista del miniprisma utilizado para determinar las coordenadas de las esferas con la estación total.



Fig. - 13 - Vista de una esfera atornillada a un andamio.

La distribución de las esferas en el escaneo debe ser lo más homogénea posible. Y el número de esferas que deben aparecer por escaneo variará si a dichas esferas les hemos dado coordenadas o no. En caso afirmativo como mínimo para poder orientar el escaneo hacen falta 3 esferas que no tienen porqué aparecer en el resto de escaneos. En caso que no tengan coordenadas se debe cumplir este requisito de visibilidad desde varios escaneos.



Fig. -14- Muestra de la distribución de las esferas de apoyo durante los barridos del escáner.

#### Toma de datos con el escáner:

Una vez estén las esferas colocadas en su sitio ya podemos poner en funcionamiento el escáner. El FARO se maneja por medio de un interface instalado en un ordenador portátil al que debe estar conectado. Y no sólo es esto a lo que debe estar conectado el escáner, también debe estar enchufado a unas potentes y pesadas baterías ya que este aparato consume mucha energía.

Desde el interface del ordenador le debemos indicar el horizonte que queremos que cubra en cada barrido, generalmente serán los 360°. Y con esto ya se puede dar el pistoletazo de salida. El barrido dura apenas un minuto. Sorprende por la rapidez con la que el escáner mide millones de puntos, y también, por la sutileza con lo que lo hace, apenas se puede escuchar un murmullo cuando está en funcionamiento.

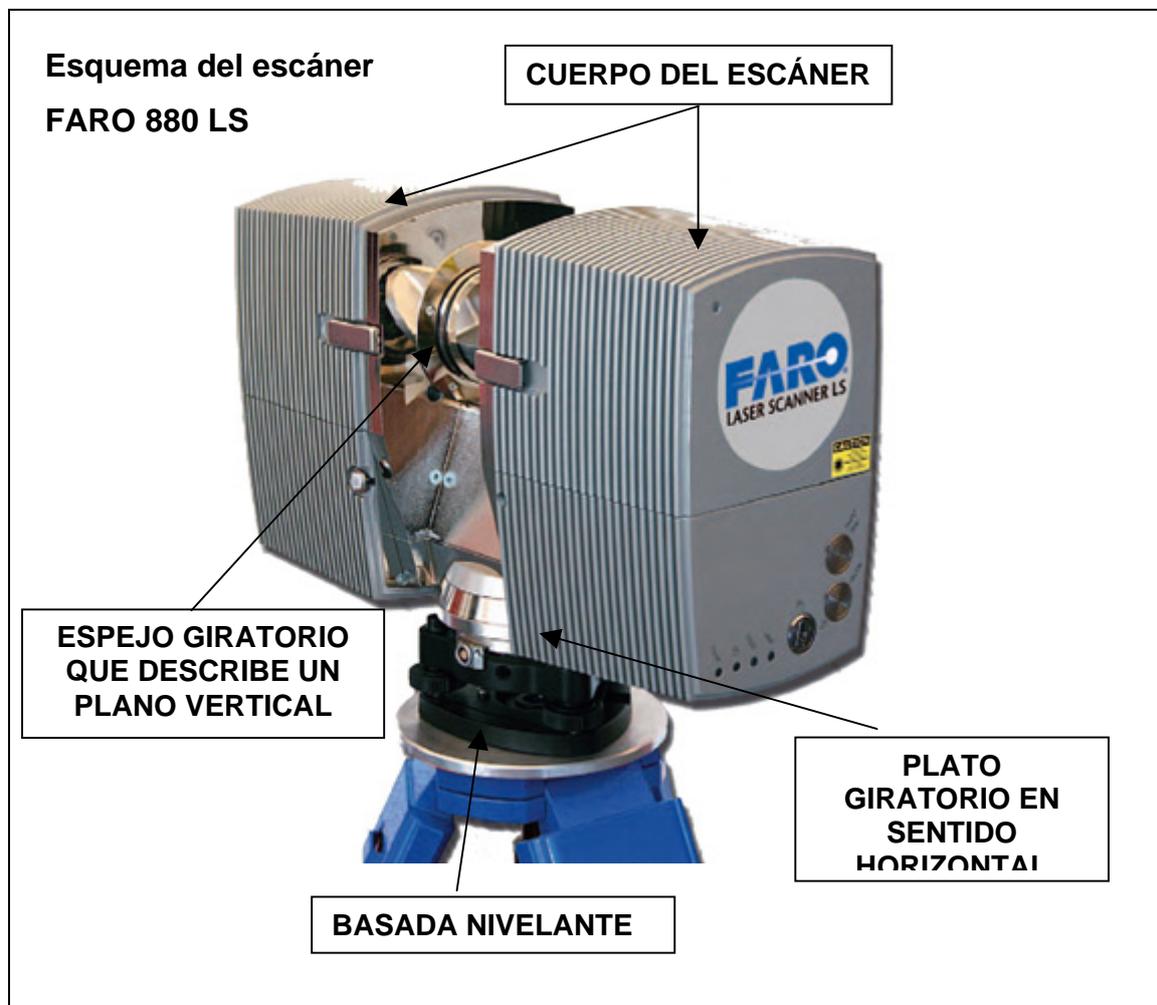
En el proyecto de Casalarreina se realizaron en total 8 barridos, útiles realmente 5 de ellos, y se enlazaron por medio de 10 esferas.

#### Características del equipo FARO 880:

Cada barrido recoge millones de puntos repartidos regularmente según incrementos angulares horizontales y verticales. Para ello el escáner cuenta con un espejo rotatorio en el eje horizontal que toma un perfil entero de medidas láser y, mediante un leve y constante movimiento de la plataforma cubre todo el horizonte.

Durante todo este proceso el aparato recoge las coordenadas tridimensionales de cada punto y su valor de intensidad de rebote en una escala de 1 a 2000.

El alcance del láser en este modelo ronda los 35 metros. Faro también comercializa otro modelo con 75 metros de alcance. Estas cifras se derivan del propio sistema de medida del escáner FARO y que es el sistema de “Phase sift” o medida de fase, en lugar del otro sistema de “tiempo de vuelo”, ya vimos ambos anteriormente. Mediante el sistema de medida de fase el escáner envía por cada pulso tres longitudes de onda infrarroja diferentes de 7,6; 9,6 y 1,2 metros. Acto seguido cuando el sensor recibe el rebote un cálculo de fase de la onda le permite obtener la distancia del punto medido con precisión. Y sobre todo la gran ventaja de este sistema es la rapidez con la que permite realizar el barrido.



Otra característica destacable de este escáner, en principio, es su gran campo de visión y su resolución (ver en el anexo la ficha con las características del escáner). En concreto abarca los 360° de horizonte para los que emplea 0,00076° de incremento entre cada punto en su resolución máxima. Y 320° y 0,009° de resolución vertical. Con estas características la cantidad de puntos que obtiene por cada barrido resulta ingente. Hasta tal punto que ni siquiera el ordenador con el propio software del aparato puede cargar esa cantidad de datos. Y no sólo es eso, esa enorme resolución no es fidedigna, si no que en realidad obtendremos la misma información con una resolución diez veces menor. Por las razones que ahora explicaremos.

#### Resolución útil del escáner Faro <sup>4</sup>:

Con “resolución útil” me refiero a aquella resolución con la que podemos aprovechar enteramente la información que proporciona el escaneo, a partir de la cual, más puntos no significa más información.

Esta resolución viene dada por el ángulo de divergencia del haz láser a la salida y que tiene un valor de 0.014°. Si unimos esta divergencia a que por defecto el grosor del rayo a la salida ya es de 3 mm, nos saldrá un área del punto de incidencia del escáner bastante considerable. Es por esta razón por lo que aplicar menos incrementos angulares que la divergencia, es decir, más resolución, implica que estaremos midiendo los puntos varias veces. Porque realmente la mayor parte del haz estará incidiendo en el mismo lugar que el haz de los puntos de alrededor. En la ilustración siguiente se explica este hecho.

Por tanto si hacemos el cálculo de la resolución útil del escáner obtendríamos: unos 26000 puntos en horizontal (360°), y 23000 en vertical (320°). O dicho de otro modo, unas 20 veces menos de lo que la marca estipula como resolución máxima del aparato.

El trabajo de Casalarreina se realizó con este nivel de resolución, y de ahora en adelante serán estas cifras de resolución las que rijan a la hora de realizar el estudio del escáner. Atendiendo a lo explicado anteriormente, entendemos que éstas son más fiables y también más prudentes.

---

<sup>4</sup> . Derek D. Lichti, Sonam Jamtsho. *Angular resolution of terrestrial laser scanners. (The Photogrammetric record págs 140-160, June 2006)*

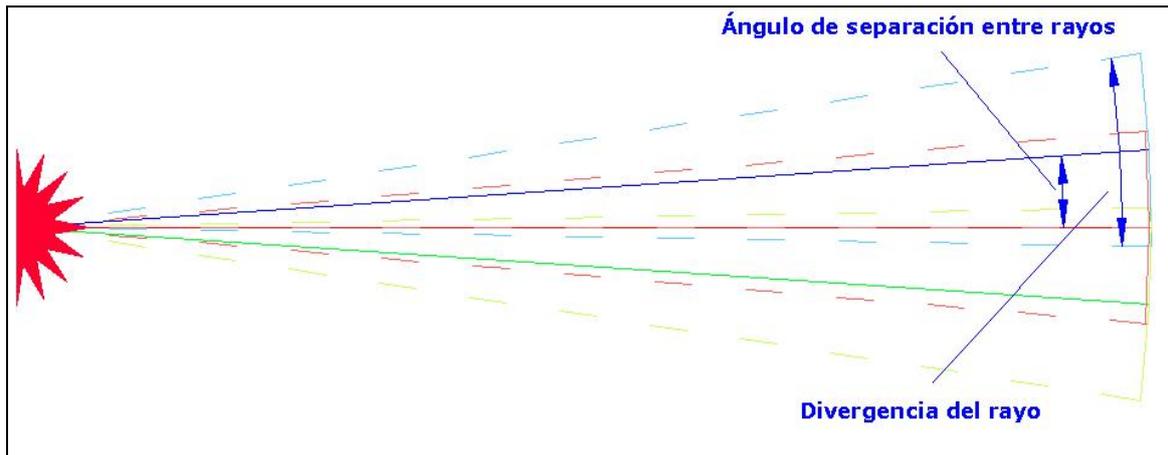


Fig. - 15 - Muestra del efecto de divergencia del haz láser. En este caso se ve cómo se podría prescindir del haz en color rojo puesto que los haces anterior y siguiente ya cubren todo el área donde incide el rojo. Este solape sólo provoca la recurrencia de información innecesaria.

### Alcance del escáner

Puede parecer que el alcance de este escáner cuya versión más potente llega a 76 metros, se queda un poco corto, en comparación con las estaciones totales actuales que tranquilamente alcanzan hasta los 400 metros en medida sin prisma. Sin embargo si hacemos cálculos con el conocido valor de  $0,014^\circ$  de divergencia angular, veremos como para los lugares situados a cierta distancia el haz incidirá de forma grosera. Para 75 metros, por ejemplo, el haz tendrá un diámetro de 2 cm. Lo que provocará que los elementos más pequeños que ese valor no queden reflejados en el escaneo. Cosas tan importantes en elementos patrimoniales, como por ejemplo las líneas de los sillares, no se verían. Todo esto además, si contamos con que el ángulo con que incide el haz láser sobre el objeto alejado es perpendicular. Por último, más tarde, cuando se visualiza la nube de puntos para obtener información de ella, en las zonas alejadas, además de ser puntos de mala calidad, aparecen muy dispersos. La densidad de puntos que presentan esas zonas alejadas no aporta nada de información la mayoría de las veces y se suele desechar. Pero esto, claro está, también dependerá de la aplicación para la que utilizemos el escáner.

Ciertamente un alcance de 35 metros para la resolución útil del escáner ya resulta muy adecuado para que no aumente demasiado el problema de la divergencia del haz. Y un alcance, por ejemplo mayor de 76 metros que es el máximo para la marca Faro, no sería tan útil en principio, por la misma razón. Tal vez sea por este motivo por lo que el alcance de los escáneres láser de otras marcas que también se basen en la tecnología de medida de fase, rondan también estas cifras.

### **Fase de gabinete:**

Llegado el momento de trabajar con los datos de campo hemos de habilitar un potente ordenador y con un disco duro de gran capacidad para descargar las nubes de puntos obtenidas de los barridos.

El formato estándar de los ficheros de nube de puntos es el denominado XYZ, que es un fichero ASCII en el que se especifica en un listado: fila y columna del punto, sus coordenadas respecto del centro del escáner, y el valor de intensidad de 1 a 2047. Este formato estándar puede ser importado por cualquier programa de nubes de puntos. Por supuesto FARO también dispone de su propio formato, con el que trabaja el programa de esta marca, el FaroScene.

### **Software de gestión de nubes de puntos:**

FaroScene visualiza, gestiona, edita y orienta, las nubes de puntos. Y luego permite exportarlas en diversos formatos, por ejemplo Dxf ó Vrml. Además de FaroScene existen en el mercado otros programas que no dependen de ningún fabricante de escáneres, y que también están diseñados para realizar estas acciones. Por ejemplo: Polyworks, Rhinoceros o Rapidform, todos ellos permiten por lo menos visualizar, editar y exportar las nubes de puntos y incluso también orientarla como Polyworks.

De todos modos, no todos los programas están orientados para lo mismo. Por ejemplo FaroScene en principio está diseñado para gestionar y editar las nubes de puntos, después permite colorear y exportarlas a multitud de formatos, pero no puede generar otros productos que no sean nubes de puntos. Algo que si se puede hacer con programas como Z-map, de Mencisoftware, que permite digitalizar y mallar la nube, o Pointcloud y, Polyworks y 3DReshaper que respectivamente también pueden realizar estas acciones. Se puede decir que estos últimos continúan la manipulación de las nubes de puntos en la fase donde lo deja FaroScene.

En cualquier caso el repertorio de software es extenso y cada programa complejo por lo que supone un largo trabajo probarlos todos. Para este menester disponemos en el LDGP de FaroScene y PointCloud, y la información del resto de programas la he adquirido leyendo sus manuales de uso, por lo que al hablar de ellos se hace referencia a sus utilidades sin hacer evaluación de las mismas.

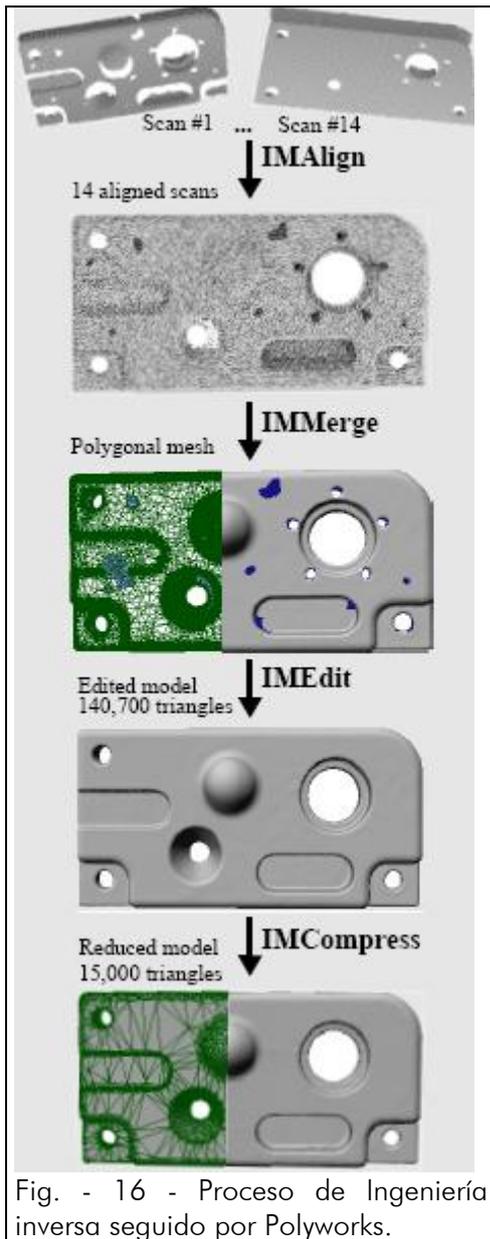


Fig. - 16 - Proceso de Ingeniería inversa seguido por Polyworks.

Algunos programas como Polyworks o 3DReshaper están orientados a la “Ingeniería Inversa”. El concepto de Ingeniería inversa es la manera de nombrar a los procesos que avanzan en dirección opuesta a lo usual en ingeniería. Así, en vez de partir de unos planos y datos técnicos con unas medidas determinadas para posteriormente fabricar el producto. Estos programas parten del producto escaneado para posteriormente extraer sus medidas y cotas, y llegar a los planos técnicos. Es decir, se va simplificando sucesivamente la nube de puntos en mallas primero y luego en una serie de planos o figuras geométricas. Estos programas aprovechan el potencial del escáner para este tipo de ingeniería, lo que resulta muy útil para piezas, u objetos fabricados por el hombre pero que no casa bien con las formas irregulares. Y tampoco lo hace la ingeniería inversa tomada al pie de la letra, con la filosofía seguida por la Documentación geométrica porque tiende a generalizar las formas para configurar el boceto, aunque éste no coincida con el estado real del

objeto. Aunque es verdad que estos programas de ingeniería inversa se pueden incorporar a los trabajos de patrimonio, y de hecho algunos profesionales<sup>5</sup> lo han hecho con buenos resultados (todavía no se ha hecho en el laboratorio). Algunos como Polyworks nos permiten singulares métodos de orientación en los que el programa obtiene los valores de rotación y traslación de los escaneos sin necesidad de puntos de control, con el consiguiente ahorro de tiempo. Es una aplicación es muy interesante pendiente de estudio y valoración por parte del LDGP.

<sup>5</sup> A.MARAMBIO, P.GARCÍA ALMIRALL. *Láser escáner, modelo 3d y ortoimágenes arquitectónicas de la iglesia de Santa María del Mar en Barcelona.*(ACE, 2006)

PointCloud por ejemplo es un programa que funciona en el entorno de Autocad y que también sirve para extraer información a partir de la nube de puntos, pero no del mismo modo que Polyworks. Con PointCloud no se puede gestionar ni editar las nubes de puntos, sino que trabaja con las nubes ya procesadas por otros programas, y lo que permite es digitalizar polilíneas 3d sobre ella o interpolar figuras primitivas sobre la nube. Ya se hablará sobre ello en el proceso de digitalización. PointCloud sirve por tanto para Ingeniería inversa como para Documentación geométrica.

### **Postproceso del Escáner con FaroScene:**

Como éste es el programa propio del escáner FARO y el que nosotros disponíamos, se muestra a continuación su metodología de trabajo, que en líneas muy generales será la misma para todos los programas. De vez en cuando también se hará un inciso para describir a modo de curiosidad cómo se realizan estos procesos con otros escáneres.

### **Orientación de los escaneos:**

El método de orientación de los escaneos es muy similar a la orientación externa de la fotogrametría. Por ello, se necesita identificar una serie de puntos comunes en cada escaneo. Éstos pueden ser con apoyo topográfico, ó carentes de él, puesto que lógicamente con el escaneo también se recogen las coordenadas de los puntos de apoyo. Sin embargo el dotar a los puntos de apoyo de coordenadas topográficas nos servirá para mejorar la precisión de la orientación y sobre todo para poder configurar mejor la red de los puntos de apoyo. Me explico. Para orientar un escaneo con el contiguo al menos 3 puntos de apoyo deben ser comunes, si no los hemos medido topográficamente. Es decir, haciéndolo de esta forma todos los escaneos deben tener puntos de apoyo comunes. Cosa que no es necesario si se les da coordenadas topográficas a los puntos de apoyo. Podemos tener escaneos separados entre sí y orientados, con el único nexo en común de tener cada uno sus puntos de apoyo en el mismo sistema de coordenadas.

En este proyecto hemos utilizado el programa FaroScene que, como hemos dicho utiliza esferas blancas de 14 cm de diámetro como puntos de apoyo. La ventaja de utilizar esferas viene de que con seguridad quedarán plasmados varios puntos de su superficie en el barrido, con los que fácilmente podremos calcular el centro de la misma. Si por el contrario utilizáramos dianas o puntos singulares para la orientación, que también lo permite el programa, introduciríamos una pequeña ambigüedad al localizar

el punto, puesto que seguramente no estaría bien plasmado, dado el barrido sistemático que realiza el escáner.

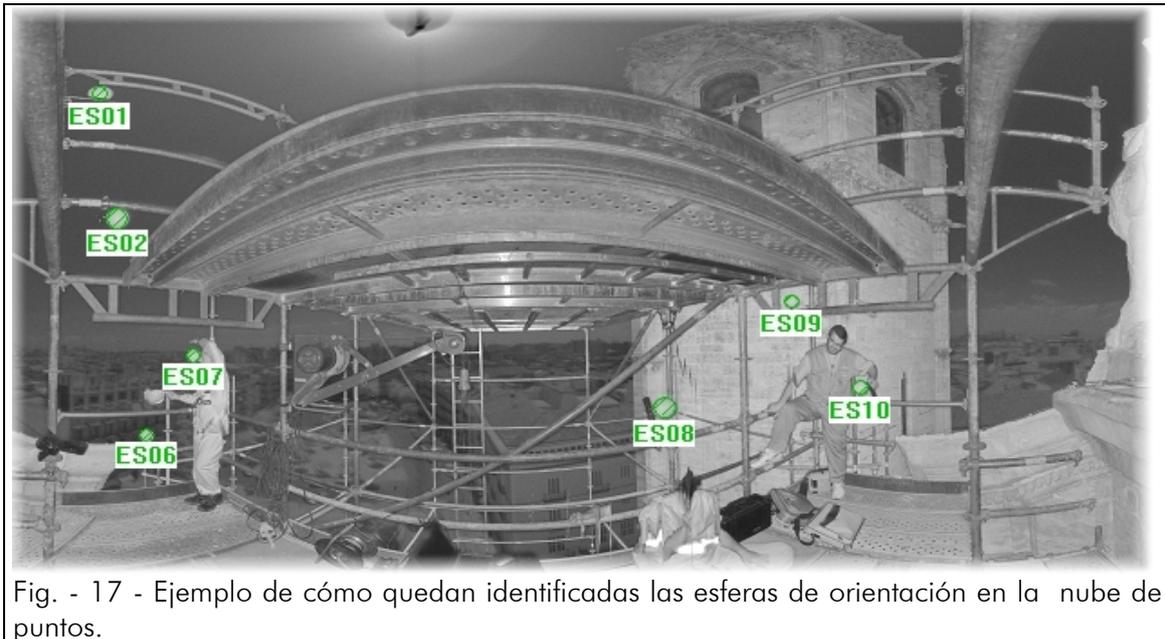


Fig. - 17 - Ejemplo de cómo quedan identificadas las esferas de orientación en la nube de puntos.

Las esferas se identifican manualmente en cada escaneo, delimitando el área que abarcan cada una. Dependiendo del número y de la posición de los puntos que compongan la esfera elegida, el programa la pondrá de color rojo: si no es válida; de color amarillo: si no es de buena calidad; o de color verde: si sirve perfectamente. Para poder orientar un escaneo con el FaroScene hacen falta como mínimo 3 esferas por cada escaneo. Al final del proceso el programa calcula los errores de orientación, que por lo general suelen ser bastante reducidos, del orden del milímetro si tenemos condiciones favorables, es decir, si disponemos de varias esferas en verde.

Un factor a tener en cuenta es que la distribución del apoyo con el escáner no suele ser como con la fotogrametría, si no más irregular. Generalmente dispondremos muchos puntos por el suelo y donde nos podamos subir, y las partes más altas pueden quedar huérfanas (si vemos la fotografía de la distribución del apoyo en Casalarreina se ve claramente). Esto provocará que la precisión de la orientación tampoco será homogénea, afectando en mayor medida a aquellas zonas que carecen de apoyo.

Otros escáneres con sus programas asociados, utilizan una metodología diferente para la orientación. Algunos realizan los barridos por fases: En una primera fase se hace un barrido general de baja resolución sobre el que el operador identifica los puntos de apoyo. Luego el escáner realiza un barrido de detalle donde se encuentren los puntos, y finalmente el barrido definitivo. De esta forma el escáner registra los puntos de apoyo

con gran precisión lo que repercutirá beneficiosamente en la orientación aunque supondrá una mayor inversión de tiempo por cada escaneo. Otra forma ya comentada para la orientación de los escaneos es la realizada por Polyworks y algunos otros programas, en la que el programa compara y posteriormente superpone los escaneos sin necesidad de tener puntos de apoyo.

#### Filtrado y Edición de la Nube de Puntos:

El escáner también se ve afectado por una serie de errores propios que nada tienen que ver con la orientación sino que están provocados por razones físicas, o por la propia construcción del escáner. Un fuente de error sistemática presente en todos los escaneos con cualquier escáner es el ruido, que puede aparecer a veces como puntos situados en la nada, o de manera más leve situando los puntos erróneamente. Estos errores se deben a varias causas como:

- Partículas de polvo en suspensión sobre las que rebota el láser y quedan registradas como puntos que realmente no existen. Estos puntos son claramente, ruido.
- El propio diámetro del haz láser hace que en ocasiones una parte de él incida en un objeto y otra parte incida detrás. Esto puede suceder en las esquinas de los objetos y provoca que el escáner reciba dos señales diferentes de un mismo haz, lo que puede inducir a un error en el cálculo de las coordenadas del punto.
- Las leyes de la física establecen que el haz láser no rebota igual en todas las superficies. Así cuanto más rugosa y oscura es la superficie más energía absorbe, y peor rebota el láser, incluso puede que la superficie lo absorba todo, como el agua. Las superficies de poca reflectividad afectan a la medida e introducen un error sistemático en aquellos puntos con las mismas características. Por eso es posible que en superficies lisas pero con cambios de color aparezcan los más oscuros algo resaltados.
- El escáner FARO para abarcar 360° realiza un giro de 180° solamente, pero hace el barrido describiendo un meridiano completo por lo que queda todo el horizonte completo. Debido a que el eje de giro horizontal del escáner no describe

perfectamente la vertical se comete un pequeño desfase en vertical al engarzar los dos segmentos del barrido de 180°. Es un error provocado por la propia construcción del escáner pero de muy poca magnitud.

Será necesario, por tanto, corregir en la medida de lo posible estos errores. Lo que dará lugar a la fase de filtrado, en la que aplicaremos una serie de algoritmos y condicionantes destinados a remuestrear la información para suprimir la errónea. Nunca conseguiremos eliminar estos errores del todo por muchos paliativos que apliquemos, pero si podremos deshacernos fácilmente de parte del ruido. Los filtros que utiliza el FaroScene son:

- Outlier → Este filtro sirve para eliminar los puntos que devuelven doble señal por incidir en dos objetos diferentes.
- Stray → Sirve para filtrar el mismo tipo de puntos que el anterior pero cuando se encuentran situados en bordes o esquinas.
- Dark Scan Points → Elimina aquellos puntos que tengan un bajo valor de reflectividad, es decir, que sean oscuros. Debido a que la medida de distancia puede tener un error en estos puntos donde el láser rebota con dificultad.
- Smooth → Alisa los puntos que se toman sobre una superficie. Puede afectar a la información medida, puesto que altera puntos que en su mayoría están correctamente medidos. Por eso este algoritmo corresponde más a un algoritmo de edición que de filtrado.
- Distance based → Simplemente elimina los puntos que estén más alejados de una determinada distancia del escáner. Está pensado en que como vimos anteriormente, los puntos más alejados del escáner debido a la divergencia del haz, inciden sobre un mayor área y aparecen más alejados unos de otros, por lo que resultan de menor calidad y aportan poca información.

Posteriormente después del filtrado se debe editar la nube de puntos para quedarnos sólo con la información que nos interese, la fase de limpieza (hay que tener

en cuenta que el escáner hace un barrido de todo el horizonte). Con esto conseguiremos que la nube de puntos ocupe menos memoria y ganaremos rapidez a la hora de manejarla con el ordenador.

#### Coloreado de la nube de puntos:

Una potente aplicación de FaroScene es la de poder dotar a la nube de puntos del color procedente de fotografías. Esta acción, si se realiza correctamente permite mejorar enormemente la calidad visual de la nube puesto que sustituye el anodino color gris que por defecto tiene la nube, por color real.

En un principio el escáner puede llegar a discriminar hasta 2047 niveles de intensidad en los barridos, los cuáles remuestrea a 256 de gris cuando presenta u exporta la imagen. Asimismo los valores de intensidad de cada punto dependen del reflejo del haz láser, que no sólo depende a su vez del color de la superficie o textura. Si no también de factores menos objetivos como el ángulo de incidencia y la distancia a la de que se encuentra el elemento. Esto hace a la posibilidad de colorear la nube muy atractiva a efectos de mejorar, no solo su calidad visual si no su objetividad puesto que transformándolo a color real ganaremos en capacidad de interpretación. Este apartado se abordará más adelante porque es motivo de pruebas en las que se evaluarán las ventajas e inconvenientes de esta herramienta.

#### **Resultados:**

En el proyecto de Casalarreina los datos obtenidos del escáner sólo se llegaron a utilizar para digitalizar una pequeña parte de la fachada principal que no se pudo realizar por fotogrametría porque quedaba oculta. Estos datos servirían principalmente para analizarlos en el presente proyecto.

## **5. ESTUDIO DE LAS APLICACIONES DEL LÁSER ESCÁNER A PATRIMONIO**

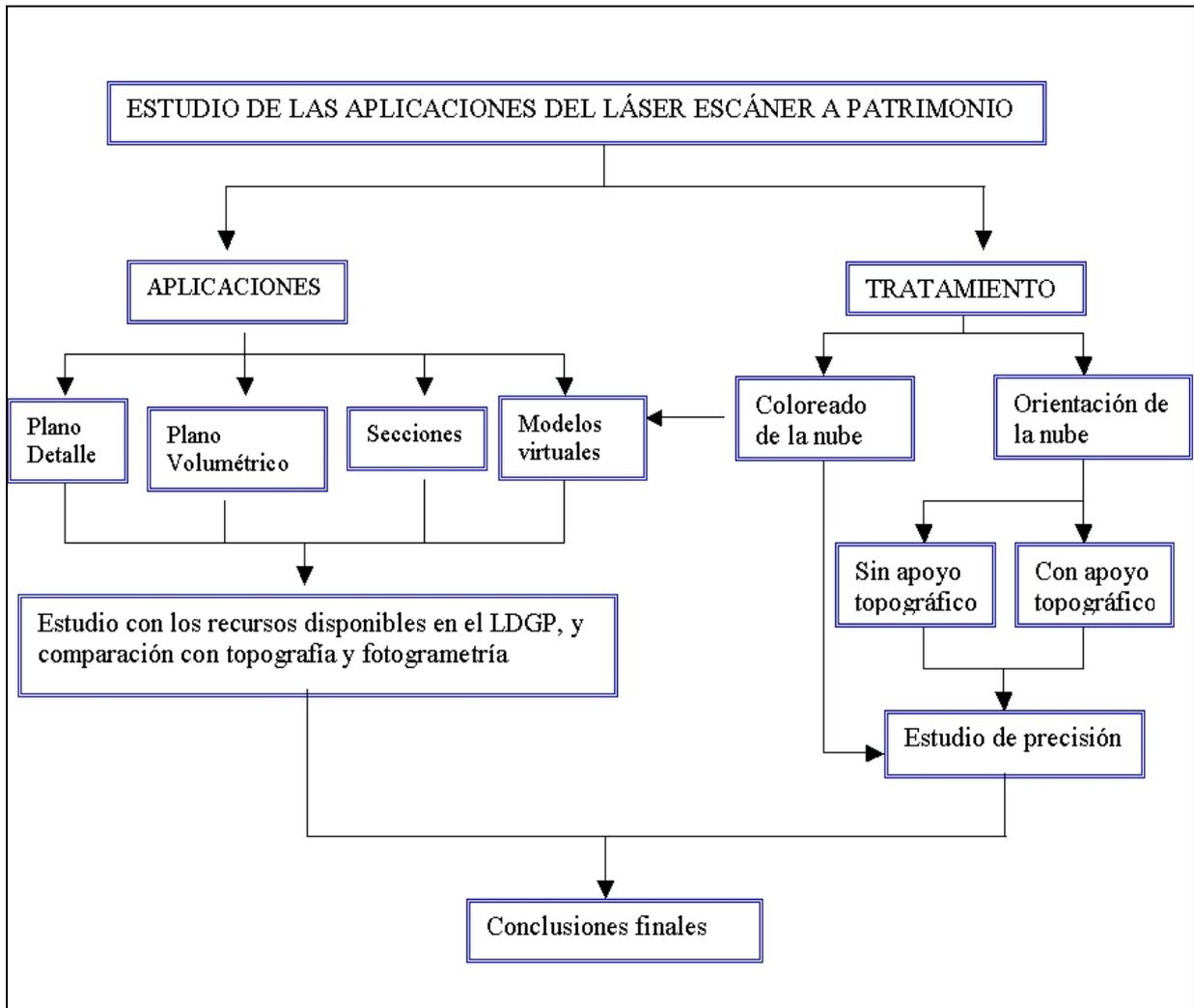
Tras describir el trabajo que se realizó en el proyecto de Casalarreina por las tres técnicas diferentes (en el último apartado vimos cómo se realizó el trabajo con el escáner). Seguidamente se da comienzo a la parte esencial de este proyecto que trata de responder fielmente al objetivo principal marcado al principio:

- Estudiar, comprobar y comparar las posibilidades de la nueva herramienta en diversas aplicaciones a la Documentación Geométrica del patrimonio.

Este estudio se realizó en el ámbito del LDGP utilizando sus recursos disponibles. Estos fueron en efecto dos programas de gestión de nubes de puntos, además de programas propios desarrollados por el personal del LDGP. Un potente ordenador con 4 GB de memoria en el que se podía ejecutar dicho software. Y por último aunque es algo más difícil de cuantificar se contó con la experiencia obtenida con anteriores proyectos en los que se utilizó el escáner.

Puede considerarse este estudio vinculante en lo que a proyectos del LDGP se refiere puesto que con esta motivación se ha realizado, pero en absoluto se ha de generalizar a otros proyectos que no tengan relación con la Documentación Geométrica, o en los que se utilice otro escáner. Esto es así porque los medios con los que se ha contado para realizar el estudio, aunque son representativos, son sólo una mínima parte de lo que hay en el mercado. Otro tanto se puede decir con la aplicación en la que se ha realizado el estudio: La Documentación Geométrica del Patrimonio, las conclusiones que obtengamos de este estudio pueden ser representativas de este campo, pero no necesariamente extrapolables a otros.

El estudio constará de varias partes en las que se realizarán pruebas y test con resultados que se mostrarán, así como unas conclusiones en las que se compararán dichos resultados con lo obtenido mediante otras técnicas. Todo ello se puede resumir de forma esquemática como en la página siguiente.



En el esquema se muestran dos ramas diferentes pero que en el estudio se entremezclan otorgando mayor importancia a la de “aplicaciones” a la que se adhiere la de “tratamiento”. Así, el coloreado de la nube y del estudio de precisión de las orientaciones, por ejemplo, tienen como fin incorporar estos tratamientos a las aplicaciones estudiadas, y constatar si resultan o no válidos.

Por último, se expondrán unas conclusiones extraídas de las pruebas que se han realizado, a modo de recapitulación de los resultados más importantes que se han obtenido.

### **5.1. Creación de un Modelo volumétrico a partir de la nube de puntos:**

Se entiende por modelo volumétrico en este proyecto a aquel plano que refleja las formas y volúmenes del elemento levantado, obviando detalles del objeto que por su poca entidad no resulta interesante reflejarlos. Cosa que si haríamos por ejemplo, si de un plano de detalle estuviésemos hablando.

Partimos de la nube de puntos formada con los escaneos orientados y editados, de la forma que hemos explicado anteriormente. Y el objetivo de esta prueba es saber si con estos datos podemos dibujar un modelo volumétrico de la misma forma que si se hiciera por topografía. Es decir, pretendemos saber si por ejemplo podríamos utilizar el escáner en lugar del levantamiento topográfico para una tarea que es más usual que se realice de esta última forma.

Para tal menester, existe una aplicación de Autocad llamada Pointcloud, que permite cargar y visualizar las nubes de puntos en este entorno. En su defecto Autocad no puede cargar tanta información y desborda por la ingente cantidad de puntos que componen las nubes de puntos. PointCloud, a pesar de solventar este problema exige una gran cantidad de memoria al hardware del ordenador, del orden de 65 mb por cada millón de puntos que consta la nube. Esto hecho nos obliga a trabajar con los datos provenientes de uno o dos escaneos solamente, si no se dispone de un ordenador potente, como sucedió en nuestro caso particular. La nube de puntos completa de Casalarreina constaba de 13 millones de puntos que dejaban escasos los 512 megas de memoria que disponía el ordenador en el que se encontraba instalado el PointCloud. En cualquier caso con un potente ordenador no sería necesario dividir la nube de puntos en diferentes partes para manejar este programa.

La característica más importante de PointCloud es que las nubes de puntos se gestionan independientemente y forman un conjunto único cada una, es decir, no permite eliminar o modificar unos puntos aislados. Es por este motivo que con PointCloud no se pueden editar las nubes de puntos, es preciso haberlas editado anteriormente. Por el contrario, la aplicación más útil en principio, de este programa, es la de digitalización. Teniendo en cuenta que ya nos encontramos en el entorno de Autocad podemos trabajar con polilíneas 3d dibujando punto por punto sobre la propia nube de puntos y gestionando el dibujo como si de un trabajo normal de Autocad se tratara.

Digitalizar de esta forma no resulta muy complicado si se interpreta bien la nube de puntos. El problema es que la cantidad de puntos es tan densa que hace que la nube de puntos sea poco legible, sin contar con otro problema serio de interpretación que se nos presentó a nosotros en el momento de visualizar la nube con PointCloud, y que no sabemos si deriva del propio PointCloud o de Autocad. Dicho “imprevisto” provoca que cuando carguemos la nube de puntos, esta se visualice con unos valores de color que no le corresponden, tanto para las imágenes en blanco y negro como para las imágenes en color. No supimos como corregir este desarreglo de la nube pero sí que se consiguió paliarlo importando la nube de puntos en formato ASCII y haciendo que el programa buscara los valores de gris mínimo y máximo (tiene una opción para ello) y posteriormente remuestreará el intervalo.

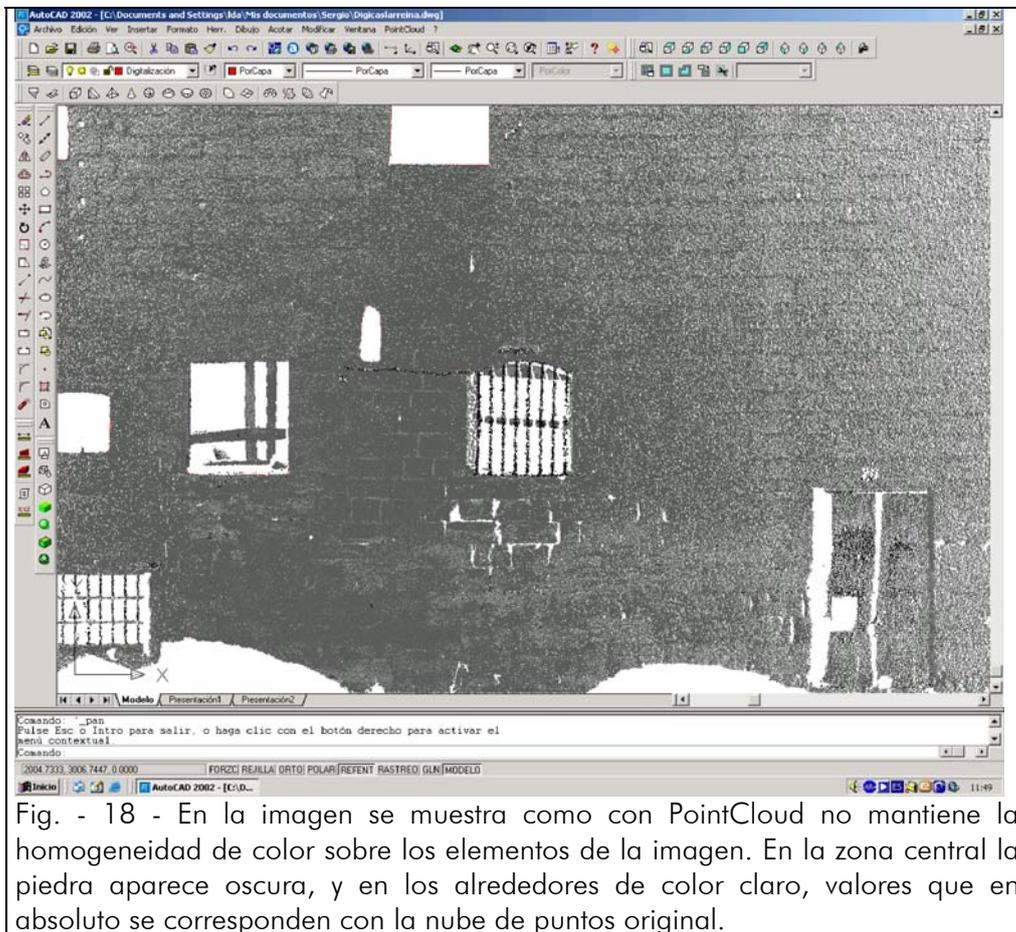


Fig. - 18 - En la imagen se muestra como con PointCloud no mantiene la homogeneidad de color sobre los elementos de la imagen. En la zona central la piedra aparece oscura, y en los alrededores de color claro, valores que en absoluto se corresponden con la nube de puntos original.

Otro error muy frecuente que se comete al digitalizar de esta forma, aunque esta vez se trata de algo de lo más normal, se produce al interpolar por error un punto que no se encuentra en el mismo plano del elemento que estamos digitalizando. Esto sucede muy habitualmente y sólo con la práctica, buscando aquellas vistas en las que no

se produzca el solapamiento de la nube, conseguiremos evitarlo. Las primeras veces que se realiza esta tarea, la enorme cantidad de puntos abruma al operador, y le dejará indeciso a la hora de digitalizar sobre un punto, o sobre los contiguos, cuando en realidad esto no supone apenas diferencia. Superada esta fase la tarea se hace más dinámica y se realiza más rápido.

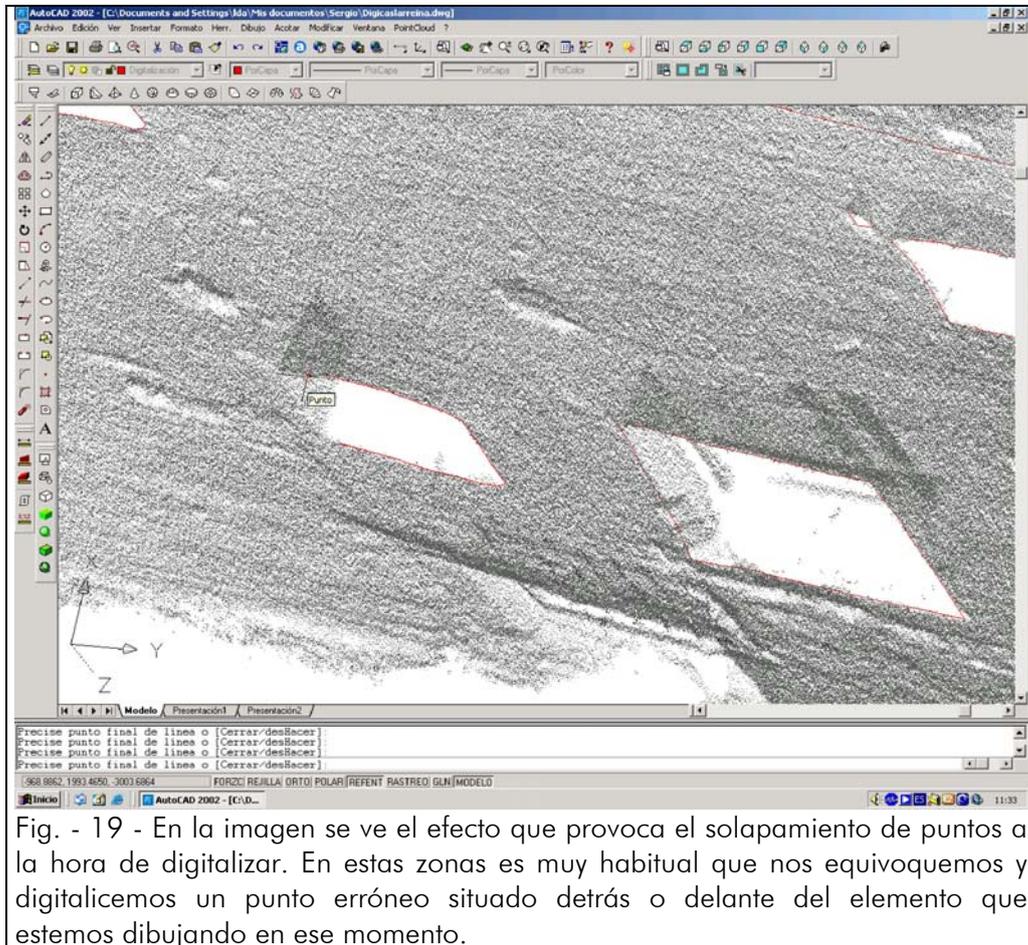


Fig. - 19 - En la imagen se ve el efecto que provoca el solapamiento de puntos a la hora de digitalizar. En estas zonas es muy habitual que nos equivoquemos y digitalicemos un punto erróneo situado detrás o delante del elemento que estemos dibujando en ese momento.

### Resultados:

Al final el resultado es satisfactorio, siempre que el escaneo este bien hecho podemos obtener resultados parecidos a los obtenidos con topografía, puesto que es imperativo que la nube de puntos alcance todas las partes del documento que queremos reflejar en el volumétrico.

Sin embargo a pesar de ser esto posible, debemos tener presente el tiempo que se emplea en digitalizar sobre la nube de puntos. Que además de lo que se tarda en la propia digitalización, le debemos sumar: por un lado la posterior edición de esta digitalización, que repito lleva casi tanto como la propia digitalización. Y por otra parte

el tiempo que empleemos en orientar y en editar los escaneos. Todo ello hace que, con este método de digitalización, se pierda bastante tiempo en gabinete.

Teniendo en cuenta todo esto, y si nos atenemos a razones prácticas, no compensa realmente utilizar el escáner en sustitución de la topografía para generar el modelo volumétrico. Cierto es que obtendremos una ganancia de tiempo en el fase de campo pero no será así para la fase de gabinete

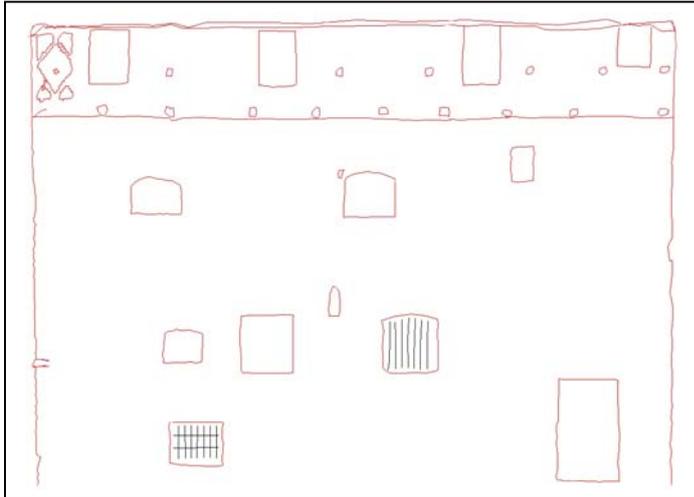


Fig. - 20 - Muestra del resultado obtenido con la digitalización a partir de la nube de puntos

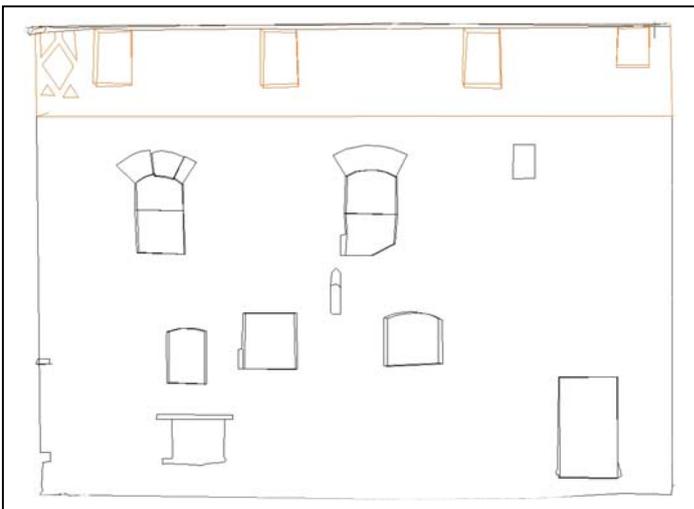


Fig. - 21 - Muestra del resultado obtenido a partir de los datos topográficos.

## **5.2. Generación del plano de Detalle:**

Si en el anterior apartado probábamos la utilidad del escáner para realizar el modelo volumétrico y lo comparábamos con el obtenido por topografía. Esta vez, se hará lo mismo con el llamado “plano de detalle” que es un producto típico de la restitución fotogramétrica. Es decir, se intentará conseguir con el escáner un resultado similar al de la restitución fotogramétrica, y si es así, analizar las ventajas e inconvenientes encontrados, con el fin de determinar si es posible utilizar el levantamiento por escáner en lugar de la fotogrametría.

Al igual que en el caso anterior partimos de la nube de puntos editada y orientada, y podríamos realizar esta tarea con PointCloud. Digitalizando sobre la nube de puntos, con una salvedad. En esta ocasión no se trata de digitalizar formas y volúmenes, sino elementos menos singulares de la propia fachada como la sillería y que no se encontrarán bien definidos por su geometría en la nube de puntos, será el valor digital de los puntos de la nube los que definan la forma de estos elementos. Y como dijimos PointCloud no visualiza correctamente el nivel digital de la nube de puntos, lo mismo para nubes de puntos sin colorear (en escala de gris) como coloreadas. Esto supone un enorme lastre para digitalizar aquellos elementos que sólo se definen por su nivel digital puesto que si aparecen trasmutados se hace difícil reconocerlos sobre la nube de puntos. Sin embargo repito que este efecto se nos ha presentado a nosotros con una determinada versión de Autocad y de PointCloud, lo que no quiere decir que suceda siempre. En cualquier caso este hecho tira por tierra la posibilidad de utilizar PointCloud que, de no ser así, sería totalmente válido para realizar esta tarea.

De todas formas PointCloud no es la única herramienta con la que podemos realizar este trabajo. El personal del LDGP desarrolló también una aplicación informática destinada a la digitalización a partir de la nube de puntos pero de una forma más ingeniosa. Así en vez de digitalizar sobre la nube de puntos en 3D con la complicación que eso conlleva, se pensó, que sería más sencillo digitalizar sobre una imagen plana obtenida a partir de la nube de puntos, para posteriormente pasar a coordenadas tridimensionales los puntos capturados en la digitalización. Estas imágenes planas pueden ser ortoimágenes o imágenes proyectadas desde el punto de vista del escáner. Se insertan en Autocad, y en este entorno se digitaliza la imagen por medio de

líneas 2D que, más tarde, se extraen para volverlas a procesar en sentido inverso y convertirlas en líneas 3d.

La principal ventaja de esta aplicación es que el proceso de digitalización se simplifica, puesto que resulta más fácil digitalizar en 2D que en 3D. Sin embargo esto también conlleva que los errores que cometamos durante la digitalización, como capturar un punto solapado, y sobre todo, capturar un punto que no tenga su homólogo en la nube de puntos, no los podamos detectar hasta transformar la digitalización a 3D.

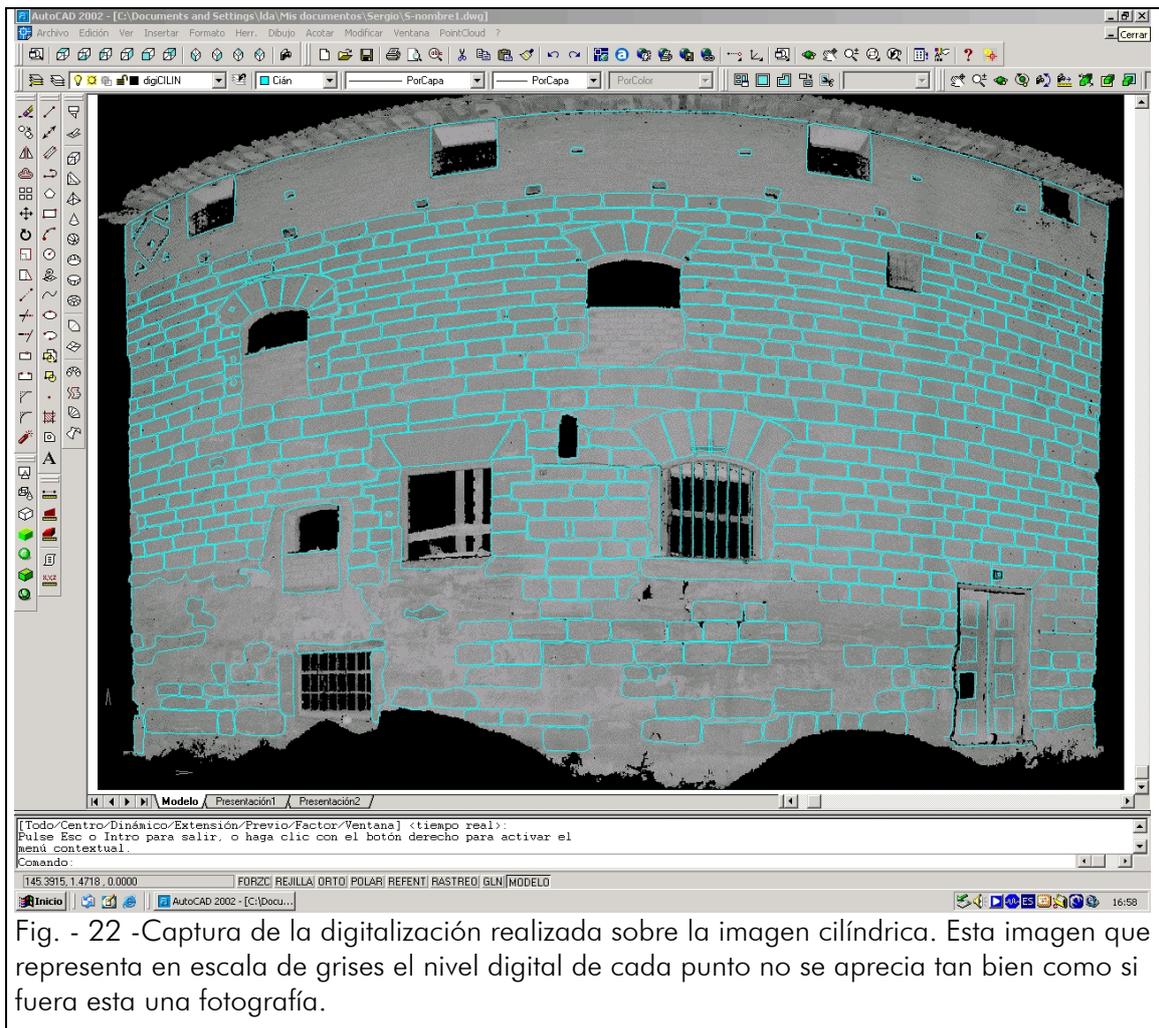


Fig. - 22 -Captura de la digitalización realizada sobre la imagen cilíndrica. Esta imagen que representa en escala de grises el nivel digital de cada punto no se aprecia tan bien como si fuera esta una fotografía.

Cuando se utilizan imágenes de proyección cilíndrica es preciso que la nube de puntos de origen este constituida con los datos de un solo escaneo, porque en caso contrario correremos riesgo de cometer multitud de errores sobre puntos solapados a la hora de digitalizar.

Otro pequeño problema es que Autocad no visualiza las imágenes con buena calidad, lo que puede mermar ligeramente la capacidad de interpretación del operador. Esto no se debe relacionar con problema comentado anteriormente del nivel digital de las nubes de puntos porque estas últimas presentan un error mucho mayor, nada que ver con las imágenes, en las que el problema es menos acusado. En cualquier caso la resolución que tendrá la imagen vendrá dada por la resolución de la nube de puntos, que en el caso que nos ocupa no es la suficiente como para poder apreciar elementos de pequeño tamaño o los que por su valor de intensidad respecto de los contiguos, no se pueden diferenciar. Una desventaja de las imágenes que representan el nivel digital respecto de las imágenes en color es que en efecto se diferencian peor todos los elementos. También se puede pegar una fotografía sobre la nube de puntos dotando así a los puntos de color, pero a expensas de que la coincidencia entre foto y nube de puntos no sea perfecta introduciendo un error para la digitalización. La precisión de la proyección de fotografías sobre la nube ya se estudiará en otro capítulo.



Fig. - 23 -Captura de del proceso de digitalización sobre una misma orto en escala de grises y a color.

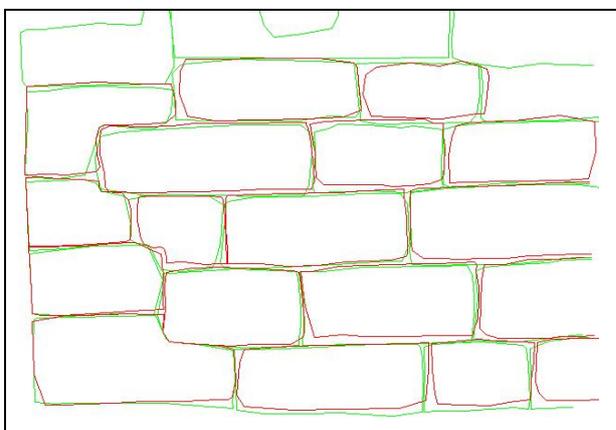


Fig. - 24 -Captura en la que se muestran superpuestas las digitalizaciones sobre la orto en escala de grises y coloreada en rojo y verde respectivamente. Se ve una pequeña diferencia entre ambas correspondiente a unos pocos centímetros que más adelante se corroborará en otro prueba.

Resultados:

El resultado de esta prueba aunque si es aceptable no es del todo satisfactorio en cuanto a que no se ha llegado al nivel del plano de detalle realizado por fotogrametría.

En el apartado de la precisión por ejemplo sí que se han obtenidos muy buenos resultados, y lo mismo diríamos en lo que se refiere a recursos invertidos. Podría decir sin temor a equivocarme que digitalizar sobre las imágenes 2D se hace más rápido que sobre el restituidor digital. Incluso sumándole a este el tiempo que dedicáramos después a la edición de la digitalización el balance de tiempo caería a favor del escáner.

Sin embargo, cuando hablamos del detalle que podemos llegar a conseguir de esta forma hay que decir que anda un paso por detrás de la fotogrametría a este respecto. Motivado principalmente por dos razones:

- Los valores de nivel digital de la nube de puntos no pueden compararse con la calidad visual de una imagen fotográfica. Y en caso de aplicar ésta sobre la nube perderemos cierta precisión importante para la calidad final del dibujo.
  
- La resolución de la nube de puntos en algunas zonas alejadas no es suficiente para que queden bien reflejados los elementos que allí aparecen. Esto se debe a las características del propio escáner y la única solución sería realizar abundantes escaneos.

De nuevo repito que estas conclusiones son particulares para las herramientas utilizadas en este proyecto.

### **5.3. Calidad de nube la puntos orientada con FaroScene:**

Los escaneos se orientaron con el programa Faro utilizando para ello esferas como se explicó anteriormente. Dichas esferas pueden tener coordenadas topográficas como en este caso, o no. La primera forma es la manera más precisa en principio, puesto que el programa ajustará la orientación a las coordenadas topográficas directamente, sin necesidad de encadenarse a los escaneos contiguos. De la otra forma los escaneos se encadenaran continuamente apoyándose cada uno en el anterior y arrastrando sucesivamente los errores de orientación, aunque este error puede ser inadmisibles.

Cuando se realiza esta operación, el programa por supuesto da unas desviaciones que supone el error de orientación del escaneo, y en el caso de este proyecto siempre arrojó cifras por debajo del centímetro. Sin embargo para corroborar esto empíricamente mediremos las coordenadas de determinados puntos sobre la nube y las compararemos con las coordenadas medidas por topografía.

Los puntos que se utilizaron para esta comparativa fueron puntos singulares que se podían identificar fácilmente sobre la nube y sobre todo dianas. El problema que presentan esta clase de puntos, correspondientes sobre todo a esquinas, es que no aparecen bien definidos en la nube de puntos en aquellas zonas donde la resolución comienza a menguar. Lo mismo sucede con las dianas, dado que el carácter indiscriminado de la toma de datos en forma de barrido que realiza el escáner, hace que sea casualidad encontrar un punto que justo se corresponda con el centro de la diana. Esto provoca que al medir las coordenadas de la diana sobre la nube no lo podamos hacer exactamente sobre su centro si no sobre puntos muy cercanos.

Teniendo en cuenta estos factores que repercutirán ligeramente sobre las coordenadas que extraigamos de la nube de puntos, es razonable considerar como admisible una diferencia de 1 cm para las dianas y un poco más para el resto de puntos.

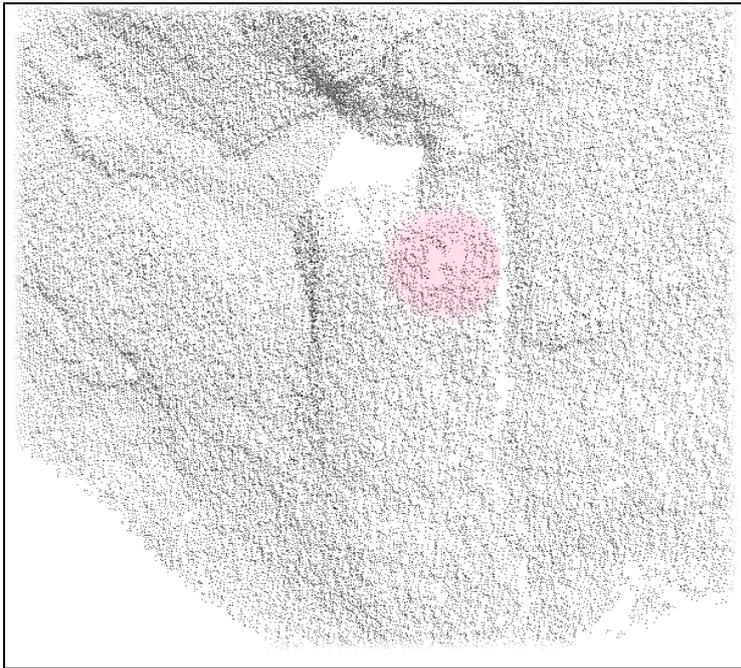


Fig. - 25 - Muestra de cómo se ve una diana bien definida sobre la nube de puntos. En otros casos la identificación resultaba más complicada.

Los datos que se presentan a continuación son los que se obtuvieron con los puntos mejor definidos que corresponden todos a dianas, tanto situados en la zona baja del edificio, como en la zona media. Para la zona alta se utilizaron puntos singulares debido a la ausencia de dianas. La distribución de las dianas es la que se muestra en la imagen.



Fig. - 26 - Captura de la nube de puntos en donde se muestra la posición de las dianas. Impares las de la zona baja y pares las de la zona media. En la parte superior no se pudieron colocar , por lo que la comprobación se hizo por medio de puntos singulares, tales como esquinas y aristas.

A continuación se presentan los datos de varias dianas correspondientes a la zona baja:

	<b>DIFERENCIAS</b>		
<b>DIANAS</b>	X	Y	Z
<b>D01</b>	<b>+0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,009</b>
<b>D03</b>	<b>+0,007</b>	<b>-0,004</b>	<b>+0,001</b>
<b>D05</b>	<b>-0,005</b>	<b>-0,005</b>	<b>-0,004</b>
<b>D07</b>	<b>+0,004</b>	<b>+0,006</b>	<b>+0,007</b>

Como vemos apenas existen discrepancias entre ambas coordenadas manteniéndose siempre por debajo del centímetro. Diferencia que no se puede considerar como tal puesto que al obtener las coordenadas del punto ya cometemos un error de esas magnitudes.

Seguido se muestran los datos correspondientes a las dianas de la zona media:

	<b>DIFERENCIAS</b>		
<b>DIANAS</b>	X	Y	Z
<b>D04</b>	<b>+0,016</b>	<b>+0,019</b>	<b>-0,01</b>
<b>D08</b>	<b>+0,016</b>	<b>+0,007</b>	<b>-0,008</b>
<b>D14</b>	<b>+0,012</b>	<b>+0,018</b>	<b>+0,006</b>
<b>D16</b>	<b>-0,002</b>	<b>+0,002</b>	<b>+0,001</b>

Aquellas dianas que poseen una diferencia más significativa aparecen resaltadas en rosa. Parece ser que las dianas de la zona media como era de prever acumulan una diferencia mayor que las de la zona baja, esto es así porque las esferas utilizadas de puntos de apoyo en la orientación se encontraban situadas en el suelo, quedando por tanto, las zonas más altas huérfanas de apoyo. Igualmente sucede con los puntos elegidos a falta de dianas para la zona más alta, que mostraban unas diferencias un poco más notables de 2 o 3 centímetros. Pero a los que se les debe aplicar con mucha más razón todavía el paliativo de que ya cometemos un error considerable al tratarse de puntos no bien definidos sobre la nube.

De todas formas se puede considerar que la nube de puntos orientada posee una precisión más que aceptable incluso no contando con la distribución de esferas de apoyo adecuada.

#### **5.4. Precisión de la nube de puntos sin apoyo topográfico:**

Efectivamente en caso que no dispusiéramos de un aparato topográfico, o que por ahorrar tiempo no nos interese realizar el apoyo topográfico, el escáner nos permite orientar sin necesidad de contar con puntos de coordenadas conocidas. Esta característica se presenta en principio como ventajosa, respecto a la fotogrametría por ejemplo, en la que el apoyo topográfico es imperativo ya sea en mayor o menos medida.

Sin embargo no utilizar el apoyo topográfico plantea unos inconvenientes provenientes de la metodología de orientación, porque de esta forma los escaneos se orientan respecto de los demás, y es necesario que un escaneo, y el siguiente tengan puntos de apoyo comunes. Si por ejemplo, los puntos de apoyo tuvieran todos coordenadas en un mismo sistema, cada escaneo se orientaría respecto de estas coordenadas y no de las medidas provenientes de los escaneos contiguos.

Otro hecho para tener en cuenta es la precisión de la orientación careciendo de los puntos de coordenadas conocidas, que en principio no es mejor ni peor, sólo se debe atender a las características de cada orientación. En el proyecto de Casalarreina se dispuso el apoyo y las esferas pensando en realizar el apoyo topográfico, en caso de no haberlo hecho se hubiera utilizado una mayor abundancia de esferas localizadas en lugares comunes para los escaneos contiguos con objeto de mejorar así la orientación. De todos modos en la prueba que se realizó para obtener los siguientes datos se orientó la nube de puntos prescindiendo de todos los puntos de apoyo con coordenadas conocidas excepto de tres, los utilizados para dotar a la nube del sistema de coordenadas adecuado para poder comparar con la nube de puntos con apoyo topográfico. Estos tres puntos con apoyo se encontraban sólo en el primer escaneo, de forma que sirvieran de arranque para la orientación sin apoyo con unas coordenadas idénticas a los de la orientación con apoyo. El resto de la orientación se hizo identificando las esferas homólogas en cada escaneo de forma que los sucesivos escaneos se verán afectados por la concatenación de los errores de la orientación. El último escaneo será por tanto el que mayor error acumule y en el que apreciaremos unas diferencias más significativas respecto de otra nube de puntos. Así se hizo y se obtuvieron los siguientes resultados:



Fig. - 27 - Muestra de la distribución de las dianas en el escaneo más extremo, en el que el error es mayor por el encadenamiento.

<b>DIFERENCIAS ORIENTACIÓN CON APOYO Y SIN</b>			
<b>DIANAS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>D01</b>	<b>+0,007</b>	<b>+0,014</b>	<b>-0,012</b>
<b>D02</b>	<b>+0,079</b>	<b>+0,004</b>	<b>+0,047</b>
<b>D03</b>	<b>-0,001</b>	<b>+0,001</b>	<b>-0,001</b>
<b>D04</b>	<b>+0,070</b>	<b>+0,006</b>	<b>+0,013</b>
<b>D05</b>	<b>-0,012</b>	<b>+0,001</b>	<b>+0,009</b>
<b>D06</b>	<b>+0,058</b>	<b>+0,014</b>	<b>-0,012</b>

Las diferencias entre las dianas utilizadas, que repetimos, pertenecen al escaneo más extremo ya comienza a ser notable para algunas de ellas en las que se llega a los 7 cm. Tampoco es un dato alarmante si suponemos que la distribución de las esferas no se pensó para prescindir del apoyo topográfico, y si así fuera, la diferencia seguramente hubiera sido más reducida. Por otra parte, no sólo se pueden utilizar esferas como puntos de control, sino cualquier punto determinado, por ejemplo dianas, aunque de esta forma si el punto no aparece con buena resolución no resulta tan bueno como las esferas. Pero siempre será mejor esto que carecer de apoyo en zonas importantes, en este caso por ejemplo, si se hubiera podido completar el apoyo de las partes más altas del Palacio con algunas de las dianas.

En cualquier caso de esta prueba se pueden extraer ciertas conclusiones y principalmente que: El uso del apoyo topográfico cobra más importancia a medida que aumenta el número de escaneos encadenados, y se hace imperativo llegados a un determinado número, que dependerá de la precisión de nuestro levantamiento.

### **5.5. Tratamiento de la nube. Aplicación de textura fotográfica:**

Esta interesante herramienta esta enfocada a incrementar la mediocre calidad visual que tienen las nubes de puntos provenientes de los escaneos originales. Para ello FaroScene colorea la nube de puntos a partir de fotografías, y lo puede hacer de dos formas diferentes:

- Existe un accesorio adicional al escáner que consiste en una cámara digital adosada que toma fotografías panorámicas a medida que el escáner realiza la vuelta de horizonte. Posteriormente FaroScene puede aplicar las fotografías así obtenidas sobre la nube de puntos directamente, sin necesidad de señalar puntos homólogos. Esta opción se comprobó y no ofreció buenos resultados.
- Se puede aplicar una fotografía cualquiera identificando puntos homólogos sobre la fotografía y sobre la nube. De esta forma el programa calcula la posición de la cámara y posteriormente proyecta la fotografía sobre la nube de puntos realizando una transformación dimensional con los puntos señalados. Este método da mejores resultados que el anterior y será el escogido para esta prueba.

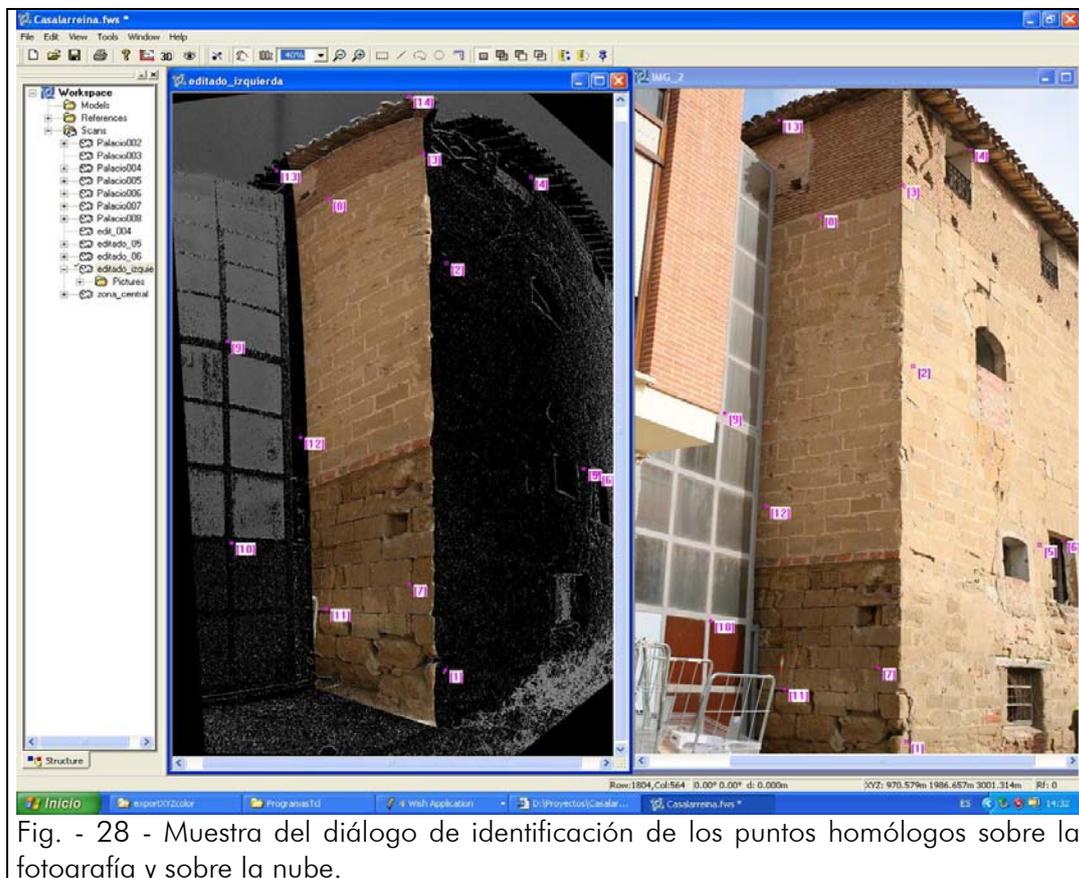


Fig. - 28 - Muestra del diálogo de identificación de los puntos homólogos sobre la fotografía y sobre la nube.

Para realizar la identificación ayuda que las fotografías estén tomadas desde una posición similar a la del escáner. Después se debe escoger una distribución homogénea de los puntos homólogos e intentar que recubran todo el área que queremos colorear. Harán falta un mínimo de seis, y con una decena serán suficientes porque a partir de esas cifras, aunque se insista en la recurrencia se obtendrán resultados similares.

Es recomendable posicionar los puntos homólogos en planos diferentes porque en ocasiones cuando se intenta aplicar las fotografías a objetos similares a un plano, como en este proyecto que se hace sobre un muro, el programa no puede calcular la posición de la cámara. Asimismo reiterando lo dicho anteriormente, también es recomendable que las fotografías estén tomadas desde una posición similar a la del escáner, no solo para la identificación de los puntos. Esto es importante también porque una vez posicionada la cámara, el programa proyecta un haz y colorea todos los puntos con los que se encuentre. Si utilizamos fotografías tomadas desde un lugar alejado al escáner, la proyección cónica de ambos provocará que los elementos que no estén situados en primer plano aparezcan de forma muy dispar en uno y otro. Esto hace que en determinadas zonas la textura proyectada se repita o no corresponda con su aspecto real, restando vistosidad a la misma (Fig. - 29 -).

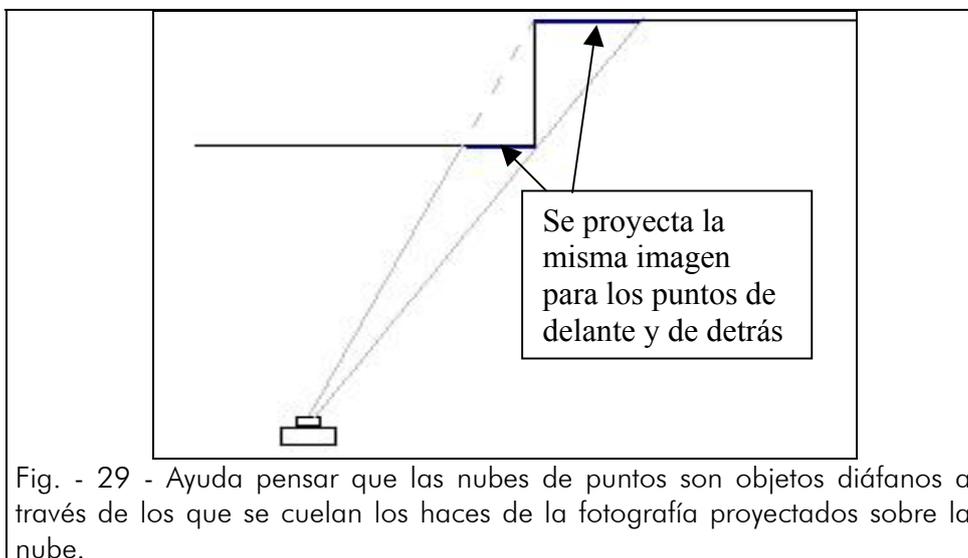


Fig. - 29 - Ayuda pensar que las nubes de puntos son objetos diáfanos a través de los que se cuelan los haces de la fotografía proyectados sobre la nube.

El resultado es una nube de puntos con textura fotográfica y que supera con creces la calidad visual de la original, por lo que le hará idónea para crear un modelo virtual. Esto no será así si hablamos en términos de precisión puesto que el ajuste de la textura que realice el programa no será exacto. Se deberá por tanto comprobar esta precisión y valorar si la nube de puntos coloreadas sirve también para digitalizar sobre

ella o sólo para crear un modelo virtual sin escala. Para ello a continuación se presentan las diferencias encontradas entre varias dianas extraídas de varios escaneos coloreados y sus coordenadas en la nube original. Estas dianas estaban situadas siempre sobre el muro, y a su vez no se utilizaron como puntos de referencia para aplicar la imagen a la nube, de forma que estos datos son independientes a los puntos elegidos para la transformación:



Fig. - 30 - Esquema de las dianas utilizadas en la tabla de diferencias entre la nube original y la nube coloreada. Los tres primeros puntos comenzando por la izquierda corresponden a un escaneo coloreado, los dos siguientes a otro, y el siguiente a otro.

	<b>DIFERENCIAS NUBE COLOR Y NUBE GRIS</b>		
<b>DIANAS</b>	X	Y	Z
<b>D02</b>	<b>+0,002</b>	<b>+0,002</b>	<b>+0,004</b>
<b>D04</b>	<b>+0,024</b>	<b>+0,035</b>	<b>-0,001</b>
<b>D06</b>	<b>-0,001</b>	<b>+0,000</b>	<b>+0,026</b>
<b>D07</b>	<b>+0,003</b>	<b>+0,006</b>	<b>+0,004</b>
<b>D08</b>	<b>-0,004</b>	<b>-0,001</b>	<b>-0,007</b>
<b>D14</b>	<b>-0,002</b>	<b>+0,025</b>	<b>-0,036</b>

En color rosa se resaltan las diferencias más notables entre la nube original y la coloreada de los puntos consultados. Si nos fijamos en las diferencias por el signo de sus coordenadas vemos que no se repite ninguna traslación en puntos correspondientes al mismo escaneo, ni se puede apreciar algún patrón que rijas estas diferencias. Esto es así porque el programa realiza, según los puntos homólogos, una suave transformación diferencial.

### **5.6. Utilidades de la nube de puntos coloreada. Digitalización y creación de modelos virtuales:**

Efectivamente la utilidad más interesante es la de crear modelos virtuales pero también se podrá utilizar esta nube para digitalizar sobre ella, aunque siempre con alguna reticencia proveniente de la precisión que se puede obtener.

Por ejemplo el plano de uno de los muros de la fachada del Palacio que se presenta en los anexos tiene una escala de 1:50. Atendiendo al límite de percepción visual que le corresponde una precisión de 1 cm, por lo que se descartaría una digitalización obtenida a partir de la nube coloreada a esa escala. Los planos obtenidos de la nube coloreada tendrían del orden de 2 o 3 centímetros de imprecisión, y por tanto sólo servirían para escalas más pequeñas, de 1:100 o menores. Esto va en contrapartida del beneficio que supone incorporar la nube coloreada para que el operador pueda distinguir mayor detalle a la hora de la digitalización. Ésta es, por tanto la paradoja: aunque con la nube coloreada podemos llegar a digitalizar con mayor detalle y aumentar la escala en este sentido, la precisión que obtendremos con esta digitalización no nos permitirá otra cosa que no sea reducirla.

Por otra parte, el uso que mejor aprovecha la calidad visual de la nube coloreada y para el que solo es necesaria una precisión ordinaria, es la generación de un modelo virtual. Para este caso se generaron varios un modelos vrml<sup>6</sup> de diferente tamaño para buscar una buena relación entre la resolución de modelo y la velocidad con la que el ordenador podía visualizarlo. A este respecto parece que no se debe conservar la resolución original sino que es conveniente reducirla puesto que los modelos vrml de nubes de puntos consumen mucha memoria.

A favor de los modelos creados con nubes de puntos tenemos la textura que posee un aspecto más real que si por el contrario se utilizaran mallas, aunque siempre dependiendo del tamaño de las mallas con las que lo comparemos. Sin embargo con las nubes de puntos a medida que nos acercamos con el visualizador comienzan a difuminarse puesto que los puntos en el espacio poco a poco van dispersándose. Cosa que no sucede si utilizando un modelo de mallas. Las modelos de nubes por lo tanto tendrían un rango de zoom ideal en un término medio, es decir, cuando la ampliación es suficiente como para apreciar la textura de la nube pero no como par que el objeto se

---

<sup>6</sup> VRML (*Virtual Reality Modeling Language*): Formato normalizado para la representación de gráficos interactivos tridimensionales.

vuelva transparente. En este caso por ejemplo, este intervalo estaría aproximadamente cuando nos situamos a una distancia del objeto, en la que lo apreciamos entre 1/10 y 1/50 de su tamaño real

Es cierto que en muchos programas mencionados anteriormente se recurre al mallado de la nube de puntos para simplificar la enorme cantidad de información que contiene la nube. Ésta práctica no es válida en todas las ocasiones porque en el proceso de mallado también se “tapan” zonas carentes de puntos a las que no se ha llegado con los escaneos, asumiendo de esta forma una superficie que no coincide con la real. En cualquier caso el proceso de mallado aporta la ventaja de que aligera el tamaño del modelo virtual, lo cual es importante para la posterior visualización del modelo que requiere que se pueda navegar por él con soltura, pues esa es su función.

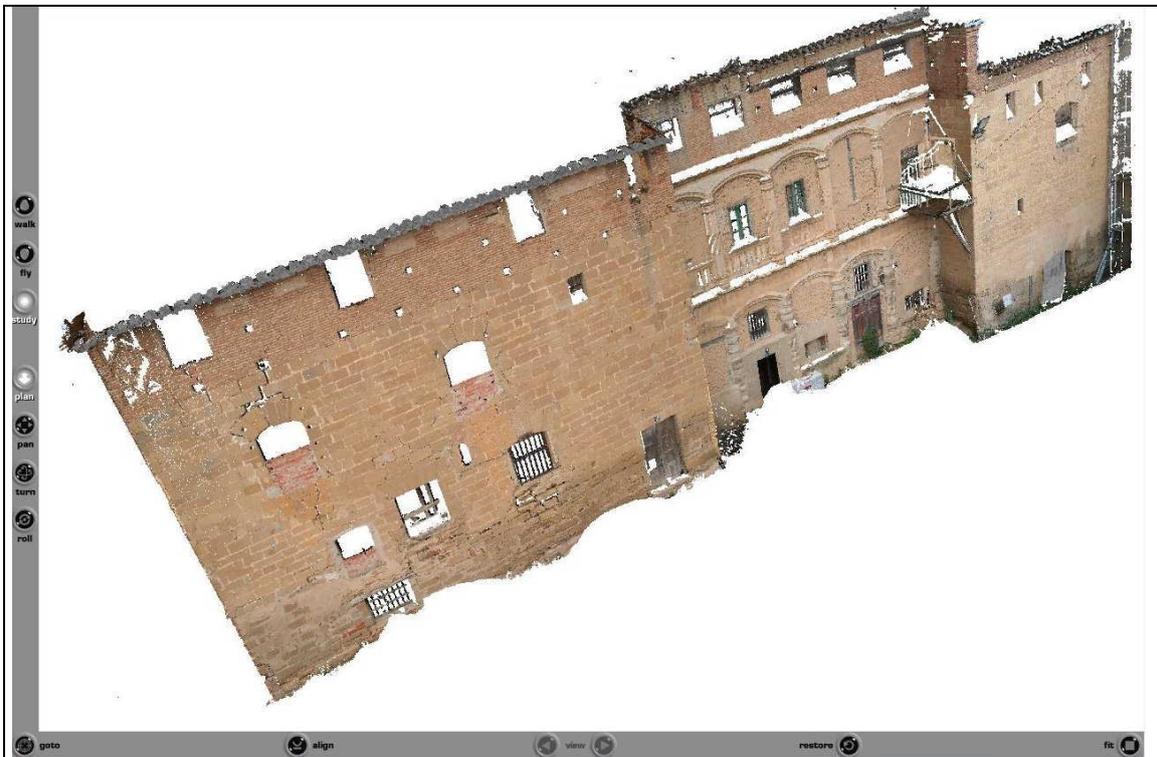


Fig. - 31 - Captura del visualizador vrmf interactivo Cortona. ([www.parallelgraphics.com](http://www.parallelgraphics.com))

Si comparamos con otras metodologías para obtener modelos virtuales utilizadas en el LDGP, el escáner les supera en líneas generales. Por partes:

- De otra manera el modelo virtual se generaría a partir de un modelo volumétrico 3d, realizado a su vez a partir de un levantamiento topográfico. Esto significa que no tendremos un registro masivo de puntos sino unos pocos definitorios de la forma del objeto, a partir de los cuales se malla formando un modelo de superficies al que posteriormente podremos aplicar textura fotográfica. Haciendo esto el modelo adquirirá un aspecto real en cuanto a su color, también en cuanto a su geometría, pero que será algo más simple comparado con el escáner. Las mallas obtenidas de esta forma tendrán una superficie lisa, y no crearán ese perceptible efecto de rugosidad que tiene la nube de puntos, y que le da un vistoso aspecto al modelo.
- Con la nube de puntos tenemos un mayor elenco de posibles modelos virtuales para generar. Por un lado simplemente se puede generar uno formado por la propia nube a la que se aplica la textura fotográfica con la resolución que queramos. Y por otro lado, podemos adoptar la misma solución que se haría por topografía, y mallar la nube con más o menos detalle, con un programa de mallado automático o manualmente. Esto se podría hacer en caso que nos interese reducir el tamaño del archivo si
- En cuanto a los recursos invertidos a la hora de generar el modelo de una forma u otra la diferencia también es significativa. Obviamente con el material utilizado, de una forma se utiliza un aparato topográfico y de la otra un escáner. Pero también existe diferencia en cuanto al tiempo que se invierte en generar el modelo virtual. Por lo general, mientras que con la nube de puntos el proceso tanto de aplicar la textura como de generar el vrml es sencillo, de la otra forma el proceso resulta más lento, tanto, como para crear las superficies, como para aplicar la textura

Se puede concluir por tanto que en la mayoría de los casos el uso del escáner nos facilitará la tarea de generar modelos virtuales con un resultado muy satisfactorio.

### **5.7. Secciones:**

En este apartado se analizará la utilidad de la nube de puntos a la hora de realizar secciones y su funcionalidad otras técnicas. Para esta prueba se utilizó nuevamente el programa PointCloud que permite generar múltiples secciones de manera muy práctica.

La posibilidad de hacer secciones y de poder confeccionar con ellas un plano en el entorno de Autocad es una de las aplicaciones más potentes de este programa. Las secciones se pueden realizar del grosor que se desee y en una dirección determinada, individuales, o bien, con un intervalo regular, todo automáticamente. Para gestionar las secciones Pointcloud posee un administrador propio pero es conveniente que se guarden en capas diferentes. En el plano anexo se muestra un ejemplo de plano de secciones: Plano N3.

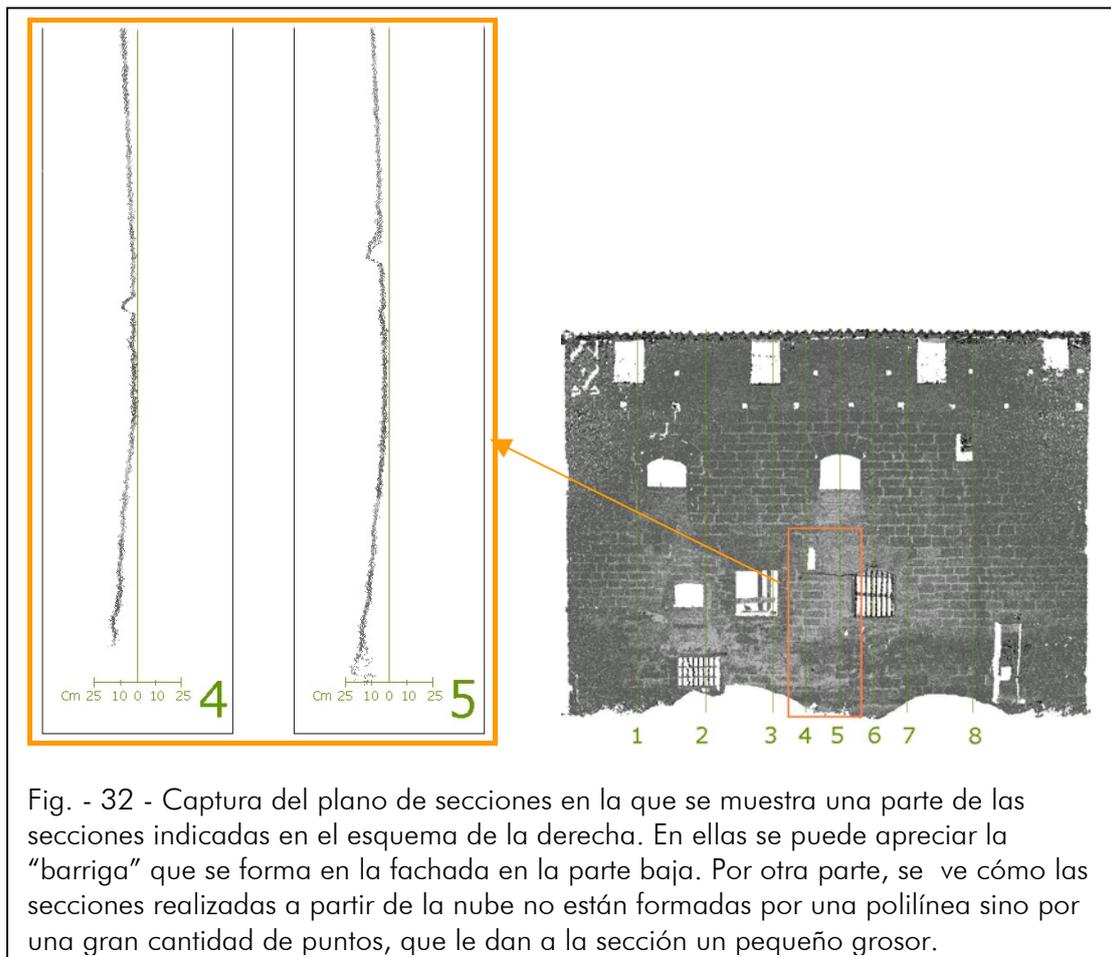


Fig. - 32 - Captura del plano de secciones en la que se muestra una parte de las secciones indicadas en el esquema de la derecha. En ellas se puede apreciar la "barriga" que se forma en la fachada en la parte baja. Por otra parte, se ve cómo las secciones realizadas a partir de la nube no están formadas por una polilínea sino por una gran cantidad de puntos, que le dan a la sección un pequeño grosor.

Este tipo de secciones, lógicamente, están constituidas por puntos, a diferencia de si las hubiéramos realizado por topografía o fotogrametría, que entonces serían vectorizadas, constituidas por una polilínea. Sin embargo, como son tantos los puntos que contiene la nube, se puede “cortar” un pequeño filamento que ya contendrá seguramente los puntos suficientes para generar una sección. Con fotogrametría en cambio, las secciones se deben restituir lo que nos obliga a posarnos en los puntos más singulares para definir el relieve de la sección. Y si hablamos de topografía este trabajo lo tendríamos que realizar además en campo, Pero en el fondo, las secciones así obtenidas no serán el mismo producto, y si somos rigurosos, editaríamos las secciones obtenidas de la nube interpolando los puntos para que se asemejen a las obtenidas por topografía y fotogrametría. Si nos decantamos por esta última opción, gastaríamos el tiempo que hemos ahorrado generando las secciones automáticamente a partir de la nube, y estaríamos en similares condiciones que con otras técnicas.

En resumen, definir las secciones sobre la nube de puntos supone, en principio, una ventaja en lo relativo a que se pueden definir cuantas se quieran, de la forma que se desee y automáticamente. De por sí, las secciones realizadas de esta forma reflejan bien el relieve del objeto seccionado, por lo que adquieren un importante valor si con ellas se pretende realizar algún estudio estructural o de deformación. Por ejemplo, el caso de la fachada (Fig. - 32 -) que se presenta en el plano de secciones en el anexo, en las que se aprecia el pandeo que hace la fachada, pudiéndose cuantificar.

### **5.8. Conclusiones:**

Por tanto, a modo de recapitulación de lo anteriormente expuesto se presenta este apartado que sintetiza básicamente el objetivo primordial buscado por este proyecto fin de carrera.

Después de haber realizado este estudio se puede tener una idea relativamente clara de cuáles pueden llegar a ser las utilidades más favorables del escáner en patrimonio, y cuáles no lo son tanto. Por otro lado, también se pueden extraer algunas conclusiones acerca de ese enfrentamiento que mantiene el escáner con otras técnicas como la fotogrametría en materia de patrimonio.

Repito nuevamente que el ámbito de este estudio afecta al escáner de FARO, y no es preciso generalizar estas conclusiones a todos los escáneres. Porque, aunque sí que es cierto que todos los escáneres basados en la “medida de fase” tienen prestaciones similares, también presentan características propias sujetas a un estudio particular. Teniendo presente todo esto, a continuación se exponen las conclusiones:

- ▶ *El Escáner no ofrece garantías para sustituir al levantamiento fotogramétrico a la hora de realizar un plano de detalle:*

En este aspecto el escáner no alcanza a la fotogrametría. Los planos que realicemos de este modo serán más costosos en lo que a tiempo se refiere y el resultado no será tan bueno, por lo general. A no ser que se haga un especial hincapié en ello realizando escaneos abundantes y una rigurosa digitalización. En casos en donde por oclusiones u otros motivos no se pueda utilizar la fotogrametría se puede recurrir al escáner como segunda opción.

- ▶ *En cambio el escáner sí que puede utilizarse sin problemas en lugar de la topografía para realizar un modelo volumétrico:*

Esto si se puede afirmar sin riesgo a equivocarse, pero por lo general no compensará realizar el levantamiento con escáner en lugar de topografía sólo para obtener esta clase de planos. Sino que éstos deberán formar parte de un proyecto más extenso que incluya también otros productos derivados del escáner. En ese caso sí que puede recomendarse el uso del escáner.

- ▶ *El escáner ofrece la posibilidad de generar un elenco de productos secundarios como secciones, ortofotos o modelos virtuales :*

La gran cantidad de información que se obtiene el escáner puede ser tratada de muchas formas y sin dedicar mucho esfuerzo en ello, para obtener diversos productos muy interesantes. Muchas veces estos productos son de carácter secundario y lo primordial serán los planos, pero en otras ocasiones serán el objeto principal del proyecto y para las cuales se recomienda encarecidamente el uso del escáner.

- ▶ *Por las características del escáner existen elementos y lugares más adecuados para que otros para su uso:*

Estas consideraciones valdrían tanto para el escáner FARO como para el resto de escáneres de medida de fase de similares características.

El campo de pruebas elegido en este proyecto no resulta el más adecuado para el uso de este tipo de escáner puesto que destapa algunas de sus carencias, tales como su alcance, o el influjo del ángulo de incidencia sobre el elemento. Y sucederá lo mismo cuando se utilice en elementos exteriores en los que será preciso recurrir a una superabundancia de escaneos.

Los lugares más propios para utilizar este escáner serían los interiores en los que se pueda aprovechar todo el potencial de esta herramienta. El escenario ideal sería un estancia abovedada, pero si no es así en cualquier estancia la productividad por escaneo sería superior a un lugar exterior. En primer lugar porque el escáner se ve rodeado siempre por el elemento a documentar, y en segundo lugar porque al tratarse de un lugar cerrado el alcance del escáner y el ángulo de incidencia de los haces se ven limitados por la estancia, controlando de esta forma los errores provocados por estas causas. En estas circunstancias en las que el escáner se muestra más práctico, suponen además un punto débil para la fotogrametría y tal vez, sea más recomendable el uso del primero. Claro que, esta última afirmación, también se encuentra sujeta a estudio.

### PRESUPUESTO:

Para terminar este proyecto se presenta un sencillo presupuesto orientativo pensado para servir de referencia en proyectos similares. Los datos que se utilizan, por tanto, son aproximados en su mayoría, así como tampoco se es riguroso en la relación de las unidades de obra.

Se supone un proyecto parecido al de Casalarreina en el que se utiliza el únicamente el escáner para obtener todos los productos que han sido objeto de estudio, es decir: Modelo volumétrico con impresión de planos, modelo virtual, secciones, etc. Igualmente se supone que los trabajos en los que interviene la topografía se subcontratan.

### MEDICIONES

#### Topografía:

- Nº de puntos de apoyo (dianas y esferas): 26 → 1 día de trabajo en campo.

#### Escáner Campo:

- Nº de posicionamientos: 10 → 1 día de alquiler.

#### Hardware:

- Ordenador PC: 1 → 20 días de uso.

#### Software escáner:

- FaroScene: 1

#### CAD:

- Autocad: 1
- PointCloud: 1

#### Postproceso del escáner:

- Edición y orientación de los escaneos: 2 días.
- Digitalización: 6 días.
- Generación de productos secundarios (Modelo virtual, secciones): 5 días.

#### Impresión planos con plotter a color:

- Nº de planos y copias:  $5 \times 3 = 15$

#### Recursos humanos

- Ingeniero técnico en topografía (realizando los trabajos de gabinete): 20 días

**CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS:**

<u>Designación de unidades de proyecto:</u>	<u>Precios unitarios:</u>
Alquiler del escáner.....	1000 €
Topografía.....	450 €
Hardware.....	3.5 €
Software escáner.....	450 €
CAD.....	110 €
Edición y orientación de los escaneos.....	240 €
Digitalización.....	240 €
Generación de Productos secundarios.....	240 €
Impresión Planos con plotter a color.....	10 €

**JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS:**

- Hardware:

Coste de compra del hardware: 1.500 €.  
Período de amortización: 2 años. Cada año se amortizan 750 €.  
Si se utiliza 210 días al año: 3.5€/día.

- Software del escáner:

Coste de compra del software: 9000 €.  
Período de amortización: 4 años. Cada año se amortizan 2250 €.  
Si se realizan 5 proyectos al año en los que resulta necesario: 450 €/proyecto.

- CAD:

Coste de compra del software. Autocad: 3000 €. PointCloud: 300€.  
Período de amortización: 6 años. Cada año se amortizan 550 €.  
Si se realizan 5 proyectos al año en los que resulta necesario: 110 €/proyecto.

- Coste horario de la mano de obra:

Hora de gabinete del Ingeniero Técnico en Topografía<sup>7</sup>: 18€/hora.  
Coste por día: 144 €.

---

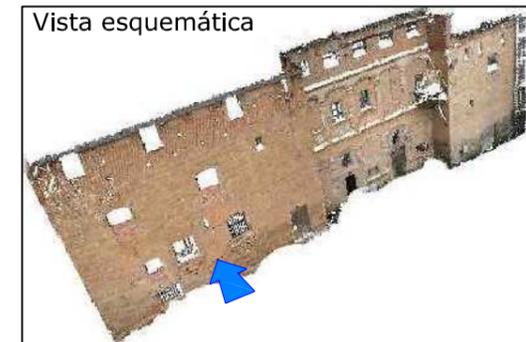
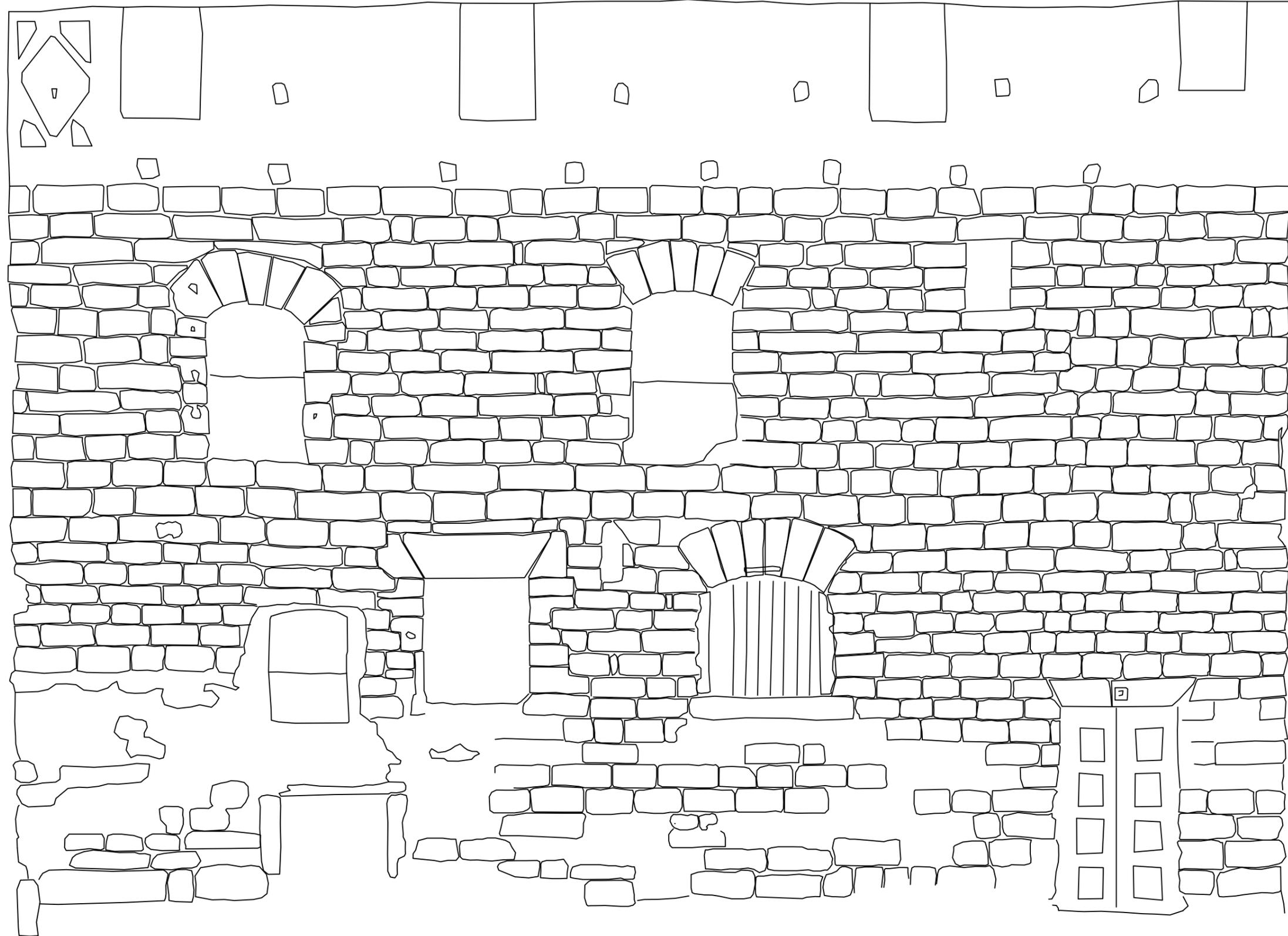
<sup>7</sup> Obtenido de los Honorarios orientativos del COITT, 2004.

PRESUPUESTO:

<u>Unidades de proyecto:</u>	<u>Precios parciales:</u>
Alquiler del escáner.....	1000 €
Topografía.....	450 €
Hardware.....	70 €
Software escáner.....	450 €
CAD.....	110 €
Postproceso del escáner.....	2880 €
Impresión Planos con plotter a color.....	150 €
<b>TOTAL.....</b>	<b>5110 €</b>

## REFERENCIAS

- J.M. Pons, J.L. Lerma. “El láser escáner terrestre: una potente herramienta de digitalización 3D”. Topografía y Cartografía, num.129.
- D. D. Lichi, S. Jomtsho. “Angular resolution of terrestrial laser scanners”. The Photogrammetric Record, June 2006 (pp. 140-160).
- A. Marambio, P. García Ajamil. “Láser escáner, modelo 3d y ortoimágenes arquitectónicas de la iglesia de Santa María del Mar en Barcelona” (AEC 2006).
- FaroScene, manual de usuario, 2006.
- Polyworks 8.0, manual de usuario, 2006.
- Diccionario geográfico histórico de España. Govantes 1856.



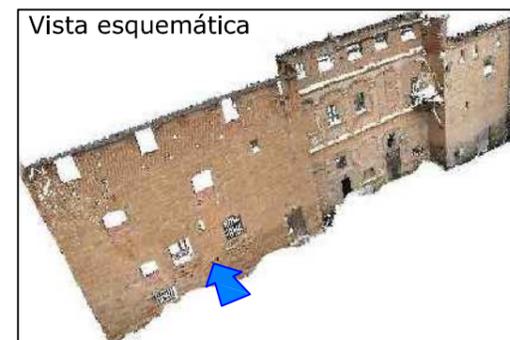
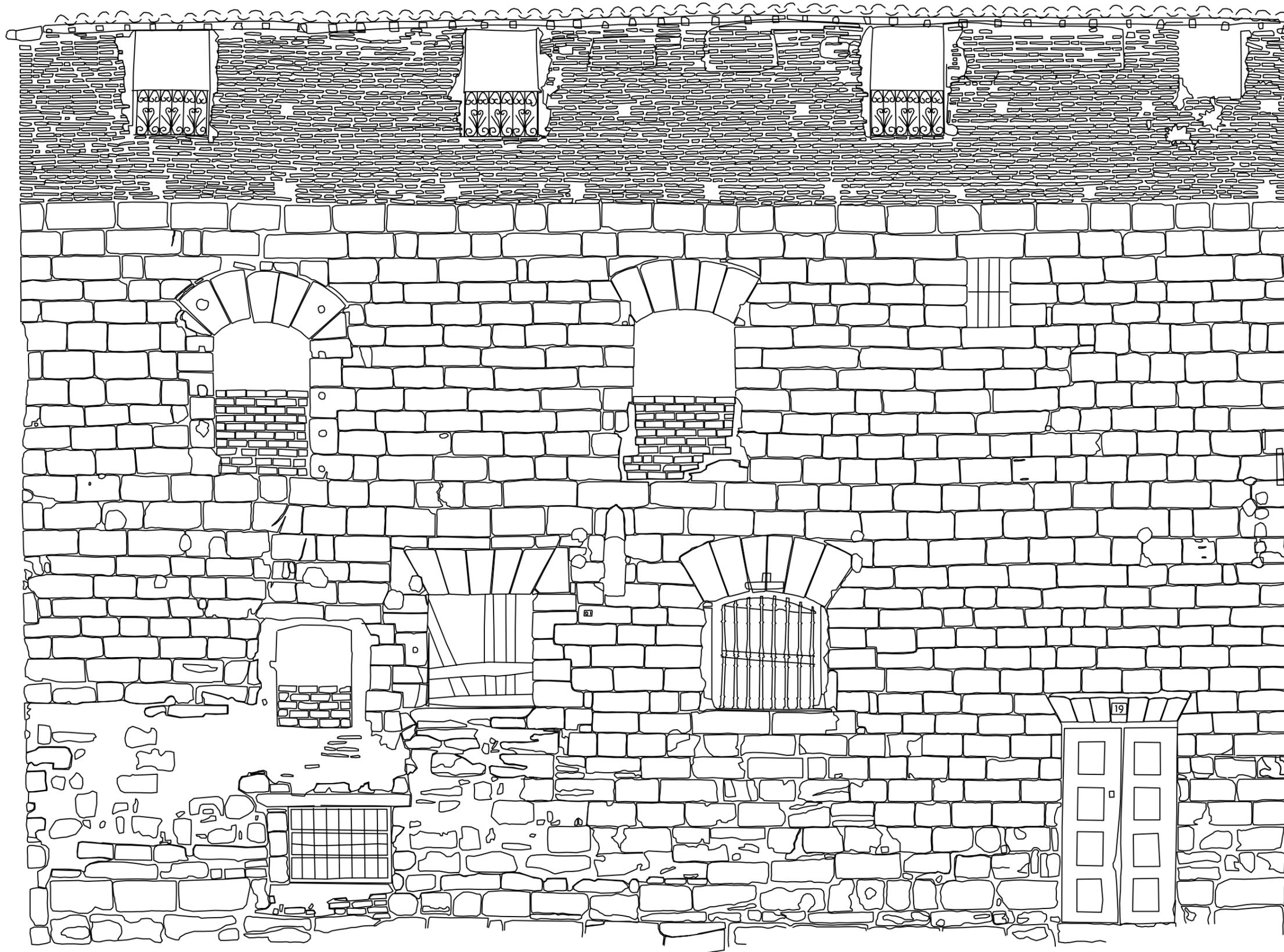
ESCALA 1/50  
0 m 0.5 m 2.5 m 5 m



**Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio**  
Grupo de investigación en Arqueología de la Arquitectura (UPV-EHU)

Título:

**Ejemplo de digitalización sobre la nube de puntos.**

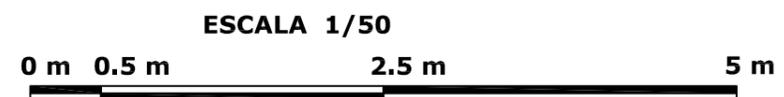
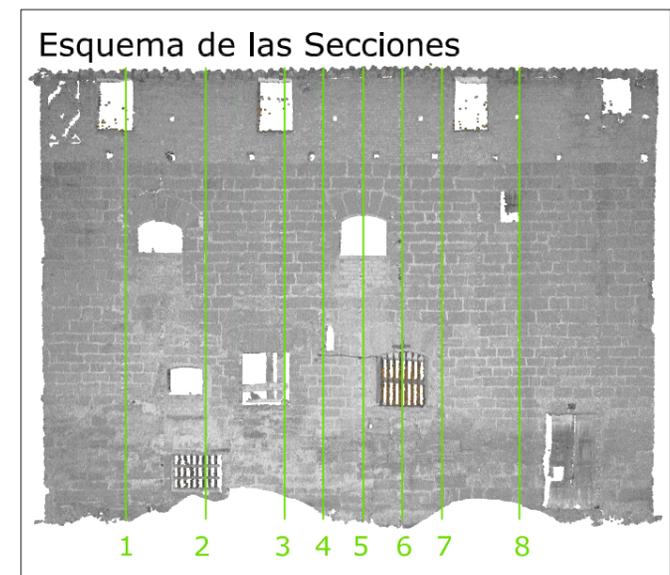
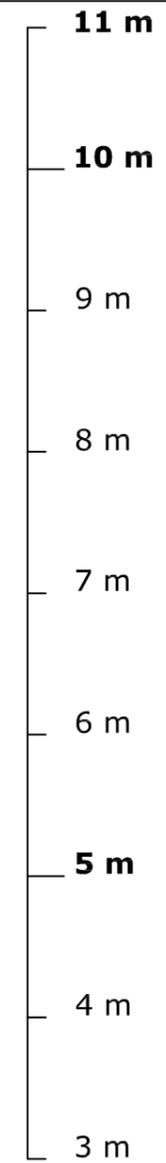
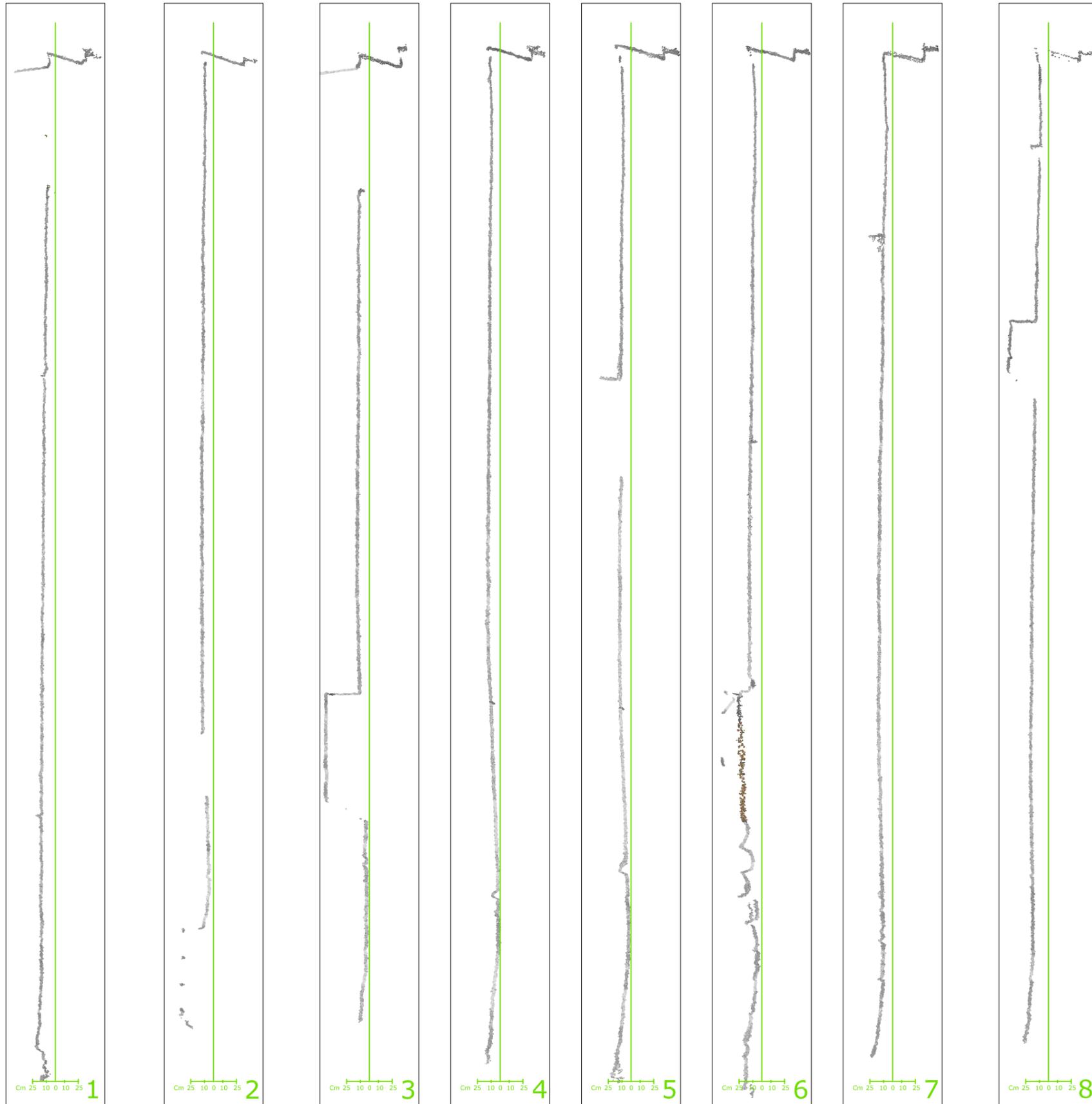


ESCALA 1/50  
0 m 0.5 m 2.5 m 5 m



**Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio**  
Grupo de investigación en Arqueología de la Arquitectura (UPV-EHU)

Título: **Muestra de la restitución fotogramétrica de parte del Palacio de los Condestables**



**Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio**  
 Grupo de investigación en Arqueología de la Arquitectura (UPV-EHU)

Título:

**Muestra de secciones de la nube de puntos.**



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura (UPV-EHU)



UPV EHU

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarias  
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).  
Tfno: +34 945 013222 / 013264  
e-mail: [jm.valle@ehu.es](mailto:jm.valle@ehu.es) web: <http://www.ldgp.es>

---