



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

5

Información general / General information		
AUTOR:	Miguel Moreno González	:AUTHOR
TUTOR:	José Manuel VALLE MELÓN Álvaro RODRIGUEZ MIRANDA	:TUTOR
TITULACION:	Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (UPV-EHU)	:DEGREE
TITULO:	Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la iglesia de San Juan de Laguardia	:TITLE
FECHA:	julio 2011 / July 2011	:DATE
NUMERO:	LDGP_pfc_005	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

Resumen	
TITULO:	Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la iglesia de San Juan de Laguardia
RESUMEN:	<p>Este proyecto, desarrollado en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio de la UPV/EHU (LDGP), es un estudio acerca de las nuevas técnicas fotogramétricas y sus posibilidades de aplicación en la cuantificación geométrica de alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Para ello, se diseña una metodología con el objetivo de aunar sencillez, precisión y bajo coste. Esta metodología se aplica a la Portada Sur de la Iglesia de San Juan de Laguardia, concretamente al óculo situado en su parte superior.</p> <p>El proyecto parte de las labores de documentación de dicha iglesia realizadas por el LDGP en el año 2008. Éstas concluían en un levantamiento de la Portada Sur de la iglesia, obtenido mediante fotogrametría estereoscópica. Se decide reutilizar los datos de estos trabajos anteriores, fotografías y red de control, estableciéndolos como referencia para la comparación con datos adquiridos posteriormente, en 2010, para la elaboración de este proyecto.</p> <p>Tanto los nuevos como los anteriores datos se procesan con los programas informáticos fotogramétricos <i>Topcon Image Master</i> y <i>PhotoModeler Scanner</i>, con los cuales se generan nubes de puntos densas en un mismo espacio tridimensional que hacen posible la comparación. Con el fin de mostrar una cuantificación alternativa de volúmenes, se desarrolla una serie programas en <i>Visual Basic 6.0</i> a los que se introducen las nubes para obtener una imagen métrica.</p> <p>Finalmente, se evalúa tanto el proceso seguido durante la metodología como los productos finales.</p>
DESCRIPTORES NATURALES:	patrimonio, degradación, auscultación
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesouro UNESCO [http://databases.unesco.org/thessp/]) Patrimonio Cultural, Ingeniería de la Construcción, Fotogrametría

Abstract	
TITLE:	Photogrammetric methodology for the measure of the degradation on stone walls of historic buildings. Case study at San Juan's church in Laguardia (Álava, Spain)
ABSTRACT:	<p>This thesis presents a study on new photogrammetric techniques applied to the determination of the degree of decay and degradation on stone walls of historical buildings and undertakes a test at the Southern façade of San Juan's church in Laguardia.</p> <p>Data from the documentation project (carried out by the LDGP in 2008) is recovered and compared with new data taken two years later. Then, data is processed with the software packages <i>Topcon Image Master</i> and <i>Photomodeler Scanner</i> so as to obtain three-dimensional point clouds. Afterwards, the comparison is performed using new software specifically developed by the author in <i>Visual Basic 6.0</i>.</p>
NATURAL KEYWORDS:	heritage, degradation, monitoring
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [http://databases.unesco.org/thesaurus/]) Cultural Heritage, Construction engineering, Photogrammetry

Derechos / Rights		
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”). / Permission is granted to quote and 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”).</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. / Some pictures and plans come for the documentation of commissioned projects, therefore, their use for commercial purposes may be an infringement of the promoters rights.</p>	:OTHERS

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

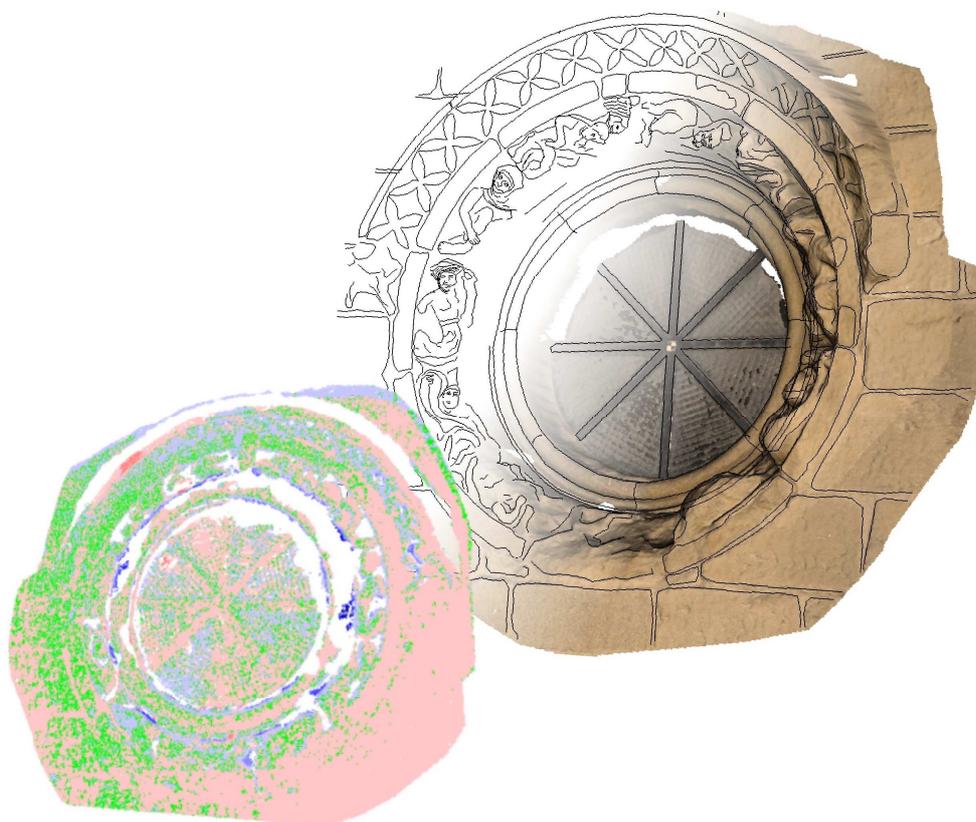
Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	http://hdl.handle.net/10810/7086	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> • ldgp_pfc005_MiguelM.pdf: este documento / this document. • ldgp_pfc005_fot_(?).jpg: 6 fotografías de documentación / 6 photographs of documentation. • ldgp_pfc005_fmet01_2008d.jpg / ldgp_pfc005_fmet01_2008d.tif / ldgp_pfc005_fmet01_2008i.jpg / ldgp_pfc005_fmet01_2008i.tif: fotografías métricas del año 2008 (imagen derecha e izquierda) en dos formatos JPEG y TIF / Metric photographs taken in 2008 (right image “d” and left image “i”) in two formats JPEG and TIF. • ldgp_pfc005_fmet07_2010(??).jpg: 6 fotografías métricas del año 2010 en formato JPEG / 6 metric photographs taken in 2010 (JPEG format). 	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	<p>MORENO GONZÁLEZ, Miguel. <i>Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la iglesia de San Juan de Laguardia.</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). 2011.</p>	:CITATION

METODOLOGÍA FOTOGRAMÉTRICA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LAS ALTERACIONES EN PARAMENTOS PÉTREOS PATRIMONIALES. APLICACIÓN A LA IGLESIA DE SAN JUAN DE LAGUARDIA

- PROYECTO FIN DE CARRERA-

Miguel Moreno González
Vitoria-Gasteiz, 5 de Julio de 2011



Tutores:
José Manuel Valle Melón
Álvaro Rodríguez Miranda

LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

Grupo de Investigación en Patrimonio Construido (UPV/EHU)

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz. Tfno. 945-013222/013264
e-mail: jm.valle@ehu.es <http://www.ldgp.es>



AGRADECIMIENTOS

No quiero comenzar este proyecto final de carrera sin acordarme de todas las personas que han estado a mi lado durante todo este periodo universitario.

Han sido muchos los meses que han pasado desde que entre por primera vez en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. A lo largo de este tiempo he conseguido no solo aprender más sobre este gran mundillo de la topografía, sino también a apreciar mucho más nuestro entorno más cercano. Esto no hubiera sido posible sin todas las personas que me han rodeado.

José Manuel y Álvaro, gracias por acogerme en el laboratorio en su día. Desde entonces no habéis parado de ayudarme en cada momento, con cada duda que tenía, con cada tema nuevo que aparecía. Gracias sobre todo por la paciencia que habéis tenido conmigo, a pesar de lento avance que ha tenido este proyecto. Seguid con vuestro empeño en el trabajo, vosotros sois culpables de gran parte de los conocimientos por todas las oportunidades que me habéis dado.

Gracias a Francisco Madrid por aceptar se parte del jurado, por sus consejos y lecciones anteriores.

Chiara, Pablo (Ibáñez) y Christina, estos últimos meses hemos aprendido mucho juntos, compartiendo momentos, alegrías, agobios... Gracias por estar ahí, ocupando el laboratorio y ayudándome cuando lo necesitaba.

Es costumbre olvidar a aquellos que no se ven tan a menudo, pero no puedo dejar de agradecerlos, Pablo (Pérez) y Andrés, el apoyo y la ayuda que me habéis dado.

Gracias también a todos mis compañeros de clase y amigos con los que estos años se han hecho tan cortos y que, por supuesto, son parte de este proyecto.

Por último, pero no menos importante, gracias a mi familia por ofrecerme todo lo que he necesitado para centrarme en los estudios y apoyarme en las decisiones que he tomado.

Η ζωή είναι υπέροχη!

Miguel Moreno González

RESUMEN

Este proyecto, desarrollado en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio de la UPV-EHU (LDGP)¹, es un estudio acerca de las nuevas técnicas fotogramétricas y sus posibilidades de aplicación en la cuantificación geométrica de alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Para ello, se diseña una metodología con el objetivo de aunar sencillez, precisión y bajo coste. Esta metodología se aplica a la Portada Sur de la Iglesia de San Juan de Laguardia, concretamente al óculo situado en su parte superior.

El proyecto parte de las labores de documentación de dicha iglesia realizadas por el LDGP en el año 2008. Éstas concluían en un levantamiento de la Portada Sur de la iglesia, obtenido mediante fotogrametría estereoscópica. Se decide reutilizar los datos de estos trabajos anteriores, fotografías y red de control, estableciéndolos como referencia para la comparación con datos adquiridos posteriormente, en 2010, para la elaboración de este proyecto.

Tanto los nuevos como los anteriores datos se procesan con los programas informáticos fotogramétricos *Topcon Image Master* y *PhotoModeler Scanner*, con los cuales se generan nubes de puntos densas en un mismo espacio tridimensional que hacen posible la comparación. Con el fin de mostrar una cuantificación alternativa de volúmenes, se desarrolla una serie de programas en Visual Basic 6.0 a los que se introducen las nubes para obtener una imagen métrica.

Finalmente, se evalúa tanto el proceso seguido durante la metodología como los productos finales.

¹ Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio del Grupo de Investigación en Patrimonio Construido de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU). Página Web: www.ldgp.es.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....	6
1. ANTECEDENTES.....	7
2. OBJETIVOS	12
3. IGLESIA DE SAN JUAN DE LAGUARDIA.....	14
4. DEGRADACIÓN DE FACHADAS	16
4.1. Descripción y causas	16
4.2. Consecuencias.....	16
4.3. Métodos de estudio	18
4.3.1. Detección.....	19
4.3.2. Visualizaciones a partir de fotografías no métricas.....	21
4.3.3. Geométricos	23
4.3.4. Otros.....	29
5. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA EN ÉPOCAS DIFERENTES.....	30
5.1. Estado de la cuestión.....	30
5.2. Estudio del óculo.....	30
5.3. Documentos disponibles del trabajo de 2008.....	31
5.3.1. Pares fotogramétricos.....	32
5.3.2. Modelo alámbrico tridimensional	33
5.3.3. Colección de planos.....	34
5.3.4. Nube de puntos tridimensional.....	34
5.4. Introducción a la metodología utilizada	37
5.5. Desarrollo y estudio de la metodología.....	40
5.5.1. Planificación del trabajo de campo	40
5.5.2. Toma de fotografías y apoyo.....	43
5.5.3. Calibración de la cámara fotográfica	44
5.5.4. Corrección de fotografías.....	47
5.5.5. Orientación externa.....	48
5.5.6. Generación del modelo tridimensional.....	53
5.5.7. Comparación de los modelos.....	66
5.6. Otros productos susceptibles de comparación siguiendo la metodología.....	67
5.6.1. Modelo alámbrico tridimensional	67
5.6.2. Secciones.....	68
5.6.3. Ortoimágenes.....	69

5.7. Alternativa a la metodología. Imagen métrica coloreada. Resultado gráfico de comparaciones.....	70
5.7.1. Objetivos de la propuesta	70
5.7.2. Metodología propuesta.....	70
5.7.3. Evaluación de la imagen	78
5.7.4. Posibles optimizaciones	82
5.7.5. Valoración económica	83
5.8. Valoración general y conclusiones.....	84
6. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	86
7. GLOSARIO.....	87
8. BIBLIOGRAFÍA	89

ANEXOS

I. Instrumentación para la toma de datos

- A. Cámara fotográfica.**
- B. Instrumentos topográficos**
- C. Material auxiliar**

II. Programas informáticos comerciales

- A. Image Master**
- B. Photomodeler Scanner**

III. Programas informáticos desarrollados

- O. Lenguaje de programación Visual Basic 6.0**
 - A. Extracción de puntos de DXF**
 - B. Eliminación de puntos duplicados**
 - C. Giro del Punto de Vista**
 - D. Extracción de profundidades**
 - E. Cálculo de diferencias de profundidades**
 - F. Generación de imagen a partir de profundidades**

IV. Tabla de alteraciones y degradaciones

V. Diagrama de representaciones y métodos de registro

VI. Justificaciones del presupuesto

VI. Planos

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ICOMOS	Consejo Internacional de Monumentos y Sitios
ICOMOS-ISCS	Comité Científico Internacional para la Piedra de ICOMOS
IPCE	Instituto del Patrimonio Cultural de España
ISPRS	Sociedad Internacional para Fotogrametría y Teledetección
LDGP	Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UPV-EHU	Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea

METODOLOGÍA FOTOGRAMÉTRICA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LAS ALTERACIONES EN PARAMENTOS PÉTREOS PATRIMONIALES. APLICACIÓN A LA IGLESIA DE SAN JUAN DE LAGUARDIA

1. ANTECEDENTES

En la actual sociedad hay una palpable tendencia a descuidar ciertos bienes como obras arquitectónicas, esculturas o pinturas monumentales, estructuras arqueológicas, inscripciones o cavernas, aquello con un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte, de la ciencia o antropológico, en definitiva, aquello a lo que llamamos Patrimonio Cultural (UNESCO, 1972), y cuya historia pretérita dejaría asombrada a gran parte de aquellos que los ignoran. Es habitual ver cómo desaparecen o se destruyen gran cantidad de ejemplos, algunos cercanos y otros más remotos. En la ciudad en que nos encontramos, Vitoria-Gasteiz, son ampliamente conocidas la Catedral Santa María o las murallas de la ciudad medieval por sus obras de restauración, las cuales se han utilizado como reclamo turístico llegando a obtener una difusión internacional. El gran éxito conseguido por ellos ha hecho posible la continua inyección económica para estos proyectos. Sin embargo, dado el gran número de bienes históricos existente, no es posible realizar este nivel de inversiones en todos los casos, ya que no se garantiza un retorno como el de los ejemplos, algo que, actualmente, con la compleja situación económica, resulta un factor decisivo.

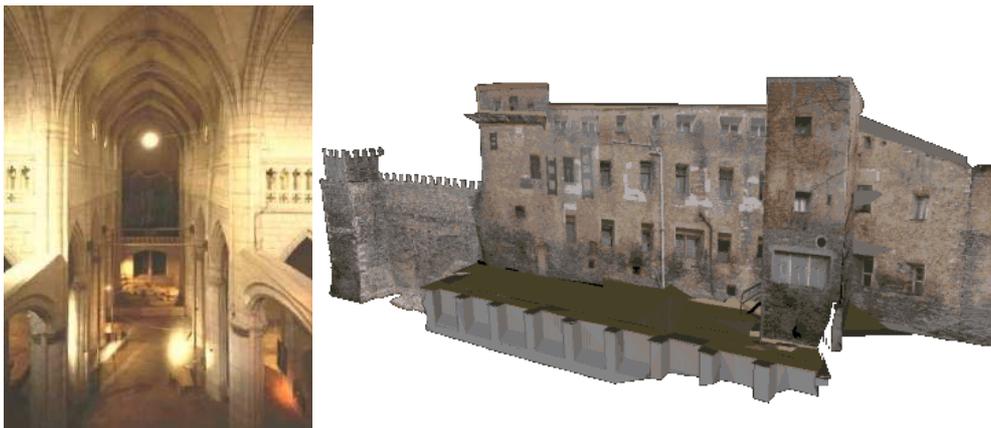


Figura 1.1. Trabajos de restauración acometidos en la Catedral de Santa María (izq.) (LDGP,2003) y modelo tridimensional de las murallas de Vitoria (dcha.) (LDGP, 2004).

Así pues, paseando por las calles de la ciudad, vemos edificios, con alto valor arquitectónico o histórico, abandonados y maltratados por el paso del tiempo. Más lejanos a nuestros ojos, pero con gran importancia en sus momentos de esplendor, se encuentran grandes construcciones como por ejemplo, el Castillo de Portilla,

símbolo del escudo del territorio histórico de Álava, actualmente en ruina progresiva y cubierto en su mayor parte por vegetación; o el Monasterio de San Prudencio en el Monte Laturce¹ (Clavijo, La Rioja), de importante trascendencia económica, social y cultural en la región durante casi el millar de años de historia que posee, y actualmente totalmente olvidado por la mayor parte de la comunidad riojana y alavesa.



Figura 1.2. Estado de las ruinas del Monasterio de San Prudencio en Clavijo, La Rioja.



Figura 1.3. Castillo de Portilla, Álava (LDGP, 1999).

La degradación de fachadas, tallas y ornamentos expuestos a la intemperie propias de estos elementos patrimoniales arquitectónicos, junto con la conservación de la estructura general del edificio, es una de las principales preocupaciones a la hora de protegerlos y preservarlos tal y como se construyeron en su día. Son varios los factores, naturales y humanos, que provocan el deterioro a lo largo del tiempo, perceptible de diferentes formas en función de sus características; la cada vez mayor contaminación existente en la atmósfera (hecho ya reflejado en La Carta de

¹ El Monasterio de San Prudencio en el Monte Laturce es actualmente objeto de estudio por parte del LDGP.

Atenas del año 1931¹), golpes accidentales, una mala elección en la metodología aplicada en la restauración o, incluso, el vandalismo, son ejemplos entre las causas.

Por todas estas razones se hacen necesarios los estudios periódicos y constantes que monitoricen el deterioro y degradación. Los trabajos de conservación, de restauración y de excavación irán siempre acompañados de la elaboración de una documentación precisa, en forma de informes analíticos y críticos, ilustrados con dibujos y fotografías, de manera que abarquen todas las ciencias y todas las técnicas que puedan contribuir al estudio y la salvaguarda del patrimonio (Venecia, 1964). Por ello, es necesaria la colaboración de diferentes ramas del conocimiento, como la arqueología, la química, la física, la arquitectura o la geomática. Estos estudios permiten conocer, además, algo muy importante como es la evolución de los objetos, siendo posible la previsión y prevención de daños.

Parte imprescindible de estos estudios se centra en la inspección de las formas en las que se muestra el deterioro de los elementos, las cuales, como se ha dicho, variarán en función del origen. En consecuencia, se presenta una cuestión básica: **cómo detectar estos cambios.**

Para la ejecución del proyecto partimos de los trabajos realizados en el año 2008 por el LDGP en la Portada de los Abuelos, o Sur de la Iglesia de San Juan de Laguardia (Álava) (LDGP, 2008). Éstos consistían en la elaboración del levantamiento fotogramétrico de dicha portada. El trabajo se realizó por encargo del servicio de Patrimonio Histórico Arquitectónico de la Excma. Diputación Foral de Álava debido a que *“el estado de deterioro aconsejaba la intervención para su restauración, consolidación y protección”*. El levantamiento se obtuvo mediante la toma de pares fotogramétricos con su respectivo apoyo y la posterior orientación, restitución y edición. Como añadido al objetivo principal de conseguir el modelo vectorial 3D, también se registraron datos con láser escáner.

Aquella documentación condujo, en conjunto con diferentes disciplinas como historiadores del arte (Martínez de Salinas, F.²), restauradores (Sanz, D.³) y arquitectos (Reinares, O.⁴), a un estudio integral de la portada con el objetivo de poner en valor al conjunto, documentarlo exhaustivamente, analizar las causas de su degradación y subsanar sus efectos en el material, solucionar el problema de conservación del Monumento y lograr su mantenimiento a largo plazo (Pardo, 2008).

¹ La Carta de Atenas fue aprobada en el Primer Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos desarrollado en dicha ciudad en 1931.

² Martínez de Salinas, F.: Licenciada en Historia del Arte en la Universidad de Valladolid, doctora por la misma Universidad. Docente e investigadora en la Universidad del País Vasco, en la Facultad de Filología, Geografía e Historia del campus de Álava.

³ Sanz, M^a D.: Licenciada en Bellas Artes y diplomada en conservación/restauración de Bienes Culturales. Restauradora de la empresa de restauración Petra S. Coop.

⁴ Reinares, Ó.: Arquitecto.

Según el informe de 2008 la portada se ve “afectada por humedades” y destaca la “pérdida de material pétreo en la zona de contacto con el pavimento y hasta una altura próxima al metro y medio, junto con el grado de deterioro de las dos imágenes descritas y la falta del resto de las columnas o imágenes que debió haber, a la vista de los engarces que permanecen en la parte superior de contacto de la base de los arcos”.



Figura 1.4. Fotografía tomada entre 1900 y 1920¹.

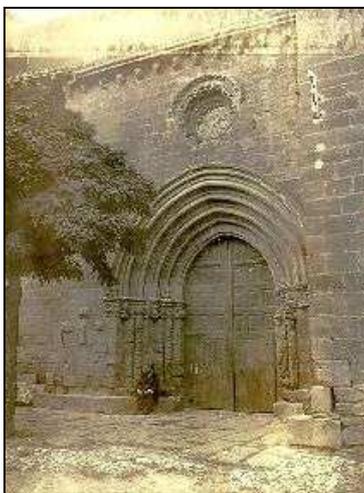


Figura 1.5. Fotografía tomada entre 1910 y 1930¹.



Figura 1.6. Fotografía tomada en 2010.

El área de trabajo de este proyecto se limitará al óculo de la parte superior. Esta decisión viene dada por las singulares características del mismo. Se trata de un elemento de un alto nivel decorativo de complicada morfología en el que, además, se pueden encontrar superficies de diferente naturaleza (sillares regulares, cristal, etc.). Todo ello supone una buena prueba para comprobar las posibilidades de la metodología.



Figura 1.7. Detalle del óculo, tomado en 1986¹.

¹ Imágenes obtenidas en la página Web de Euskomedia, Kultura Topagunea, [<http://www.euskomedia.org/>]. Las correspondiente a la figura 1.4 está tomada por Enrique Guinea, la 1.5 por Lorenzo Elorza, mientras que la 1.7, es obra de Mikel Garikoitz Estornés Zubizarreta.



Figura 1.8. Detalle del óculo, tomado en 2010.

Realizando una inspección somera en estas imágenes, es posible detectar variaciones en el óculo de la portada, principalmente debidas a actuaciones de conservación llevadas a cabo durante el periodo 1986-2008. Entre ellas destaca en mayor medida la labor efectuada en la parte derecha de la visera, la cual presenta una mayor irregularidad en su forma en 1986 (figura 1.7.). Se observa también una mayor heterogeneidad en el color antes de la intervención, en la que se limpiaron las manchas aparecidas sobre la superficie.

Así pues, fijando como fondo el Patrimonio Arquitectónico en general, y el óculo de la fachada de la Iglesia de San Juan en particular, se comienza el proyecto *“Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la Iglesia de San Juan de Laguardia”*.

2. OBJETIVOS

Es evidente que una fachada como la de la Iglesia de San Juan está en constante evolución por los factores que le afectan. Las razones que han empujado a realizar este estudio se basan principalmente en el interés por facilitar el seguimiento a lo largo del tiempo de los elementos patrimoniales arquitectónicos para la toma de decisiones y planificación de su conservación y restauración, sin olvidar la prevención del deterioro, mediante la detección de variaciones con respecto a estudios pasados y sirviendo como referencia para posteriores estudios. Será posible determinar los momentos en los que se produjeran los daños en caso de que sean puntuales, o la velocidad de degradación en el caso de daños progresivos.

Para cualquier documentación, es necesario un proyecto previo que identifique el objetivo y la manera de actuar. Los factores que condicionan estas decisiones son el estado y morfología del objeto y el establecimiento de unas consideraciones técnicas adecuadas para la buena representación de ellos (Valle, 2007). En este caso, se estudiarán nuevas técnicas, consistentes en fotogrametría digital estereoscópica y convergente, y además se plantearán y desarrollarán otras alternativas de bajo coste. Con estas herramientas se buscará definir una nueva metodología.

No hay que despreciar otros métodos como el registro con láser escáner, las ortofotografías generadas a partir de fotogrametría o las técnicas topográficas. Pero no se entrará tan en profundidad en ellas en este proyecto, sobre todo con el último caso, que ya está estudiado en el proyecto *“Análisis comparativo entre diversos métodos para la documentación geométrica del patrimonio arquitectónico”*, realizado por compañeros del LDGP en años anteriores (Aizpitarte e Irizábal, 2004), y cuyas conclusiones se utilizan en éste.

Se ha propuesto determinar que productos serían útiles para el control de degradaciones. Asimismo, se recopilará la documentación existente de los trabajos realizados en 2008 con el fin de tratar estos datos para obtener nuevos productos y, además, recogerán nuevos datos en campo para conseguir información de la misma portada en otra época. De esta forma se podrán comparar no solo los productos, sino que también se podrá evaluar la evolución de los elementos patrimoniales a lo largo del tiempo. Conocer la evolución permitirá medir el deterioro en este tiempo, tendencia del mismo, movimientos cíclicos, etc. Este proceso permitirá llegar a unas conclusiones acerca de la metodología seguida.

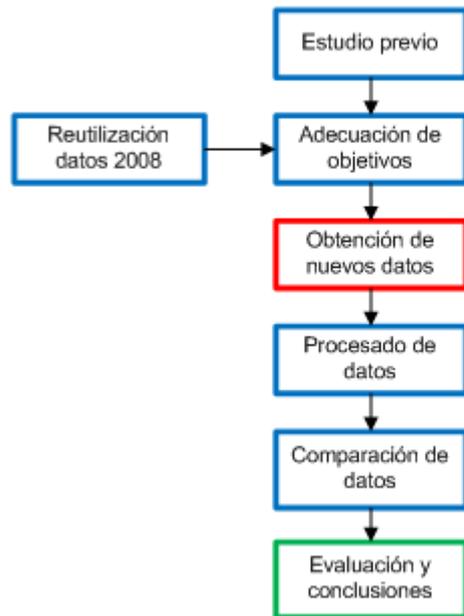


Figura 2.1. Propuesta general de ejecución del proyecto. En rojo se han marcado los trabajos de campo, en azul los de gabinete y en verde los trabajos realizados con anterioridad al presente proyecto.

No se estudiará el movimiento de estructuras, es decir, el movimiento general de los edificios, lo que entraría dentro del campo de las auscultaciones, aspecto ya abordado en el proyecto *“Optimización del proyecto de auscultación, dirigido al estudio de deformaciones de un elemento patrimonial, mediante técnicas topográficas clásicas”* (Pérez, 2009), también desarrollado en el LDGP. Aquí se dará por supuesto que la estructura no se mueve, manteniendo una red de referencia fija, por lo que habrá que asegurar que esta red sea uniforme y que no varíe su geometría interna. La ubicación de los puntos de referencia utilizados deberá ser estudiada con cuidado. En el caso de movimientos se deberá estudiar el origen del movimiento y verificar si afecta a una zona limitada o no. Para este proceso se recomienda seguir la metodología planteada por (Pérez, 2009) en el proyecto mencionado.

3. IGLESIA DE SAN JUAN DE LAGUARDIA

El lugar de actuación, la Iglesia de San Juan, ubicada en la villa de Laguardia, provincia de Álava, más concretamente en la comarca de la Rioja Alavesa, conocida por su importante industria vinícola. De los 15 municipios que conforman Rioja Alavesa, Laguardia destaca por ser la cabecera de la comarca. Situada en un altozano, fue de gran importancia militar y comercial en la Edad Media. Hoy en día, conserva algunos lienzos de la muralla y puertas de acceso a la villa, así como numerosas casas señoriales de los siglos XVI, XVII y XVIII. No está lejos de capitales de provincia, como Vitoria-Gasteiz (Álava), a 62 kilómetros, y Logroño (La Rioja), a 18.

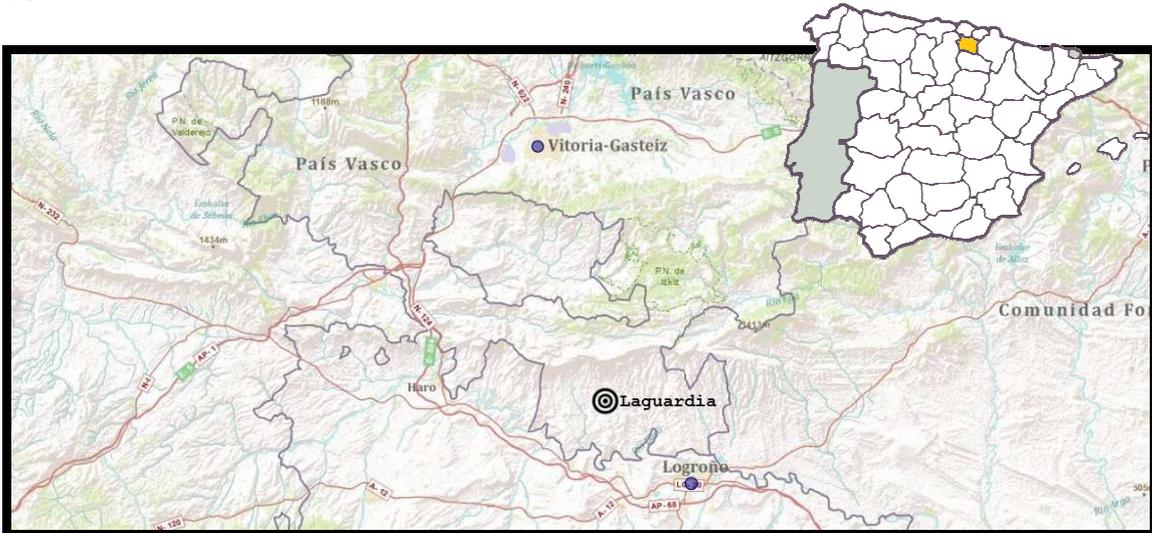


Figura 3.1. Ubicación de la localidad de Laguardia.



Figura 3.2. Ubicación en Laguardia de la Iglesia de San Juan.

San Juan, cuya construcción se inició en el siglo XII y no terminó hasta el XVI, es en su mayoría de factura gótica, con elementos neoclásicos y renacentistas. Tiene además una capilla adosada, del siglo XVIII, consagrada a la Virgen del Pilar. Dada

la situación de la iglesia, forma parte del entramado defensivo en una de las partes más accesibles de la villa.

La portada de los abuelos, de finales del s. XII, conserva restos de pasado románico como las dos estatuas-columna en representación del Arcángel Gabriel y la Virgen. Consta de cinco arquivoltas, que aún conservan piezas de decoración vegetal. Encima de la Virgen se encuentra un capitel donde se puede ver la muerte de la Virgen y la ascensión de su alma a los cielos. Además de algún otro elemento escultórico más deteriorado, sobre la portada destaca un óculo ornamentado con pequeñas figuras y rematado en la parte superior por una cornisa sobre canecillos.

4. DEGRADACIÓN DE FACHADAS

4.1. DESCRIPCIÓN Y CAUSAS

La alteración de las fachadas viene originada por agentes tanto naturales como antrópicos. La afección varía en forma y magnitud en cada caso, por ello, para facilitar la identificación del deterioro de los materiales pétreos que forman la superficie exterior de los edificios, existen cuadros en los que se resumen los principales tipos de degradación.

En la tabla del anexo IV se plasman las alteraciones y degradaciones identificadas por el "*Raccomandazione NorMal - 1 / 88. Alteraciones macroscópicas de los materiales pétreos: vocabulario.*" (CNR-ICR, 1990, Roma), de la legislación italiana. Se incluye su descripción, las principales causas, una muestra fotográfica y la simbología gráfica para su correcta documentación. Según la *Raccomandazione NorMal* por alteración se entiende "una modificación del material que no implica necesariamente un deterioro de sus características en términos de conservación", mientras que el término degradación se define como una modificación que "siempre implica un deterioro".

Para más detalle en la información, se recomienda la consulta del *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*, publicado por (ICOMOS-ISCS, 2008).

4.2. CONSECUENCIAS

Con los datos recopilados en el punto anterior a causa de alteraciones y degradaciones en las fachadas, se extraen los tipos de consecuencias posibles, que coinciden con las fuentes consultadas (Matteini, 2008).

- a) Alteraciones morfológicas: deformaciones dimensionales (expansión, contracción, abultamiento), pérdida de materia (formación de brechas, pérdida de continuidad (fisuras).
- b) Alteraciones físico-mecánicas: disminución de la cohesión, adhesión, elasticidad o resistividad.
- c) Alteraciones químico-físicas: variación de la porosidad, densidad, del carácter hidrófilo¹ o hidrófugo², etc.
- d) Alteraciones de las propiedades ópticas: color, brillo.

Este proyecto está basado en técnicas fotogramétricas, las cuales permiten combinar dos de estas consecuencias: el cambio morfológico, al que se le puede denominar como geométrico, y las alteraciones ópticas, permitiendo, por ejemplo, el estudio radiométrico. No obstante, serán los cambios morfológicos los que se estudiarán más en profundidad ya que no se cuenta con estudios radiométricos

¹ Hidrófilo: que absorbe el agua con gran facilidad (RAE).

² Hidrófugo: que evita la humedad o las filtraciones (RAE).

anteriores. En la tabla 4.1 se clasifican los tipos de alteración o degradación en función de sus consecuencias.

Consecuencia	Cambio de color	Cambio de geometría	Ambas
Tipo de alteración o degradación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alteración cromática ✓ Mancha ✓ Pátina ✓ Pátina biológica 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alveolización ✓ Deformación ✓ Degradación diferencial ✓ Disgregación ✓ Erosión ✓ Fractura o fisura ✓ Falta ✓ Pitting ✓ Pulverización ✓ Abultamiento ✓ Laminación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Concreción ✓ Costra ✓ Depósito superficial ✓ Desprendimiento ✓ Eflorescencia ✓ Exfoliación ✓ Incrustación ✓ Brecha ✓ Película ✓ Presencia de vegetación

Tabla 4.1. Relación de consecuencias de alteraciones y degradaciones en fachadas.

Concretando todavía más en el caso del cambio de geometría, si nos atenemos a la tendencia de cambio del elemento, se pueden diferenciar los casos en los que existe un aumento de volumen o, al contrario, pérdida del mismo. Por supuesto, no todos los fenómenos presentes en la tabla suponen el mismo grado de alteración o degradación, magnitud que es interesante cuantificar en la medida de lo posible. Normalmente hay zonas más afectadas debido a su mayor exposición a los diversos agentes. La mayor parte de las alteraciones y degradaciones son perceptibles al ojo humano en meras inspecciones, pero es necesaria una documentación periódica que las plasme gráfica y métricamente, de modo que se consiga una valoración no sólo visual sino también cuantitativa y relacionada con el transcurso del tiempo.

Pérez (2009) clasifica los tipos de movimientos que se dan en la estructura de edificios y son susceptibles a ser medidos: movimientos puntuales, cíclicos y de tendencia progresiva. Estas alteraciones también se pueden aplicar a la degradación de fachadas y ornamentos.

- a) Alteraciones puntuales, causadas principalmente por desastres naturales (desde terremotos hasta tormentas) o vandalismo, son apreciables a simple vista.
- b) Alteraciones cíclicas, debidas al cambio de las condiciones atmosféricas como la temperatura y la humedad, son movimientos con retorno a un punto inicial. Es conveniente cuantificar sus valores a lo largo del año para poder diferenciarlos de alteraciones dañinas. El rango de magnitudes de estos movimientos varían mucho en función del material. En el caso de la Portada de Laguardia se estima una variación de milímetros, imperceptibles en la metodología utilizada.
- c) Alteraciones de tendencia progresiva, como las grietas o la erosión, son producidos por problemas estructurales, agentes y contaminantes atmosféricos, etc. Se deben detectar a tiempo, antes de que exista una degradación crítica. Es aquí dónde se ve la importancia de los estudios periódicos que den a conocer la velocidad con la que evolucionan. La precisión

de las medidas y los productos que se obtengan a partir de ellas determinará el grado de movimiento que se podrá detectar y, por tanto, el tipo de variación.

En la siguiente tabla (tabla 4.2.) se muestra el grado de variación previsto para las alteraciones más comunes.

Tipo de variación	Variación/año (Arenisca)
Dilatación	mm
Deformaciones	mm - cm
Deposiciones	submm - mm
Erosión	submm - mm
Desprendimientos	mm - m
Grietas	mm - m

Tabla 4.2. Grado de variación previsto en algunas variaciones.

4.3. MÉTODOS DE ESTUDIO

El estudio de las fachadas, como se ha visto, puede estar dirigido a diferentes objetivos, dependiendo del tipo y grado de degradación que presenten. Asimismo, cada objetivo suele ser alcanzable con varias metodologías, siendo normalmente una de ellas la más adecuada. La decisión de la forma cómo se llevará a cabo se debe tomar en el proyecto.

De acuerdo con lo planteado por (Valle, 2007), en el proyecto se han de tener en cuenta las características y circunstancias propias del elemento a documentar, como la forma, disposición, tamaño, accesibilidad, estado de conservación, etc., además del tiempo disponible para acometer los trabajos. Del mismo modo, se tienen que presentar las consideraciones técnicas, las cuales estarían supeditadas a las necesidades de documentación (objetivos). Se requiere también un estudio de resultados previstos, es decir, determinar cómo se quiere representar la información. Por consiguiente, se podrán establecer los métodos e instrumentos más adecuados. La viabilidad temporal, técnica y económica de esta elección deberá estar asegurada antes de iniciar trabajo alguno.

En el anexo V se incluye un diagrama que muestra la relación entre los métodos de registro y las representaciones posibles (Valle, 2007). Este documento resulta muy útil a la hora de proyectar el proceso del trabajo.

En la Carta de Venecia de 1964¹ se impuso la fotogrametría como la técnica más adecuada para documentación geométrica de elementos arquitectónicos de forma precisa y detallada sobre las demás fuentes de datos. Actualmente, los avances tecnológicos e informáticos han abierto muchas vías en la documentación, dando lugar a nuevas metodologías tanto en el campo de la fotogrametría como en los

¹ La Carta de Venecia es el documento N° 1 de los acuerdos y resoluciones del Segundo Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos desarrollado en 1964. Ver glosario.

escáneres láser. De acuerdo con las últimas cuestiones planteadas por el IPCE¹ (Lodeiro y Jiménez, 2010), la pregunta está en cuál es el método idóneo de trabajo. Sin embargo, quizás sea más adecuado identificar en primer lugar las consideraciones técnicas requeridas para cada caso, así como el tiempo disponible, y establecer la metodología que se adapte en mayor grado a ellas y satisfaga las necesidades iniciales.

A continuación se presentan algunas de las técnicas más utilizadas para la documentación de alteraciones y degradaciones. Aunque este proyecto se centra en el aspecto geométrico, no se pueden limitar a él todos los estudios, por lo que se mencionan también otras fuentes de información interesante.

4.3.1. DETECCIÓN (Matteini, 2008)

a) RAYOS X

- **Radiografías y gammagrafías (rayos gamma)**

Las radiografías permiten obtener imágenes del interior de las estructuras mediante los rayos X. Con la gammagrafía el rango de la radiación se ha ampliado a la región de máxima energía (rayos gamma), que ofrece de forma potente, un rendimiento similar a los de los rayos X, aumentando la posibilidad de investigación de las estructuras internas, de un mayor espesor (estatuas de mármol, terracota, etc.) y de materiales compuestos por elementos pesados (especialmente hierro y bronce).

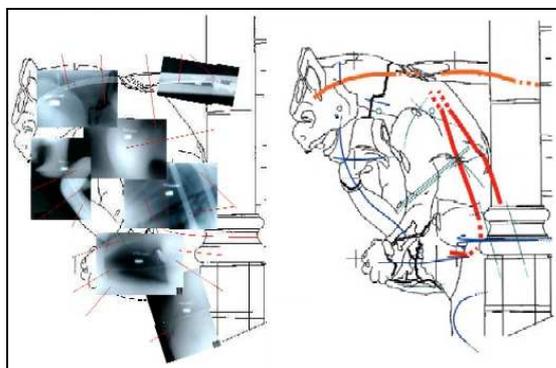


Figura 4.1. Serie de gammagrafías de una gárgola
(www.thasa.com)

- **Tomografía axial computarizada (TAC)**

Se trata de una técnica de visualización por rayos X consistente en la obtención de imágenes de secciones de algún objeto. Esta técnica, tan importante en el campo de la medicina, tiene gran potencial en el patrimonio cultural. Busca convertirse en un instrumento más simple, económico y portátil para poder ser adoptada en laboratorios de restauración, como medio de diagnóstico para el análisis estructural de los objetos tridimensionales tales como estatuas y esculturas en general. Como

¹ Instituto del Patrimonio Cultural de España.

apoyo a los rayos X, la región UV y, especialmente, en la fluorescencia UV, ha desempeñado un papel fundamental en la investigación del Patrimonio Cultural, gracias a la intensa fluorescencia en el rango visible de los materiales orgánicos envejecidos cuando están expuestos a la luz UV.

b) INFRARROJO (IR)

- **Infrarrojo cercano (IR blanco y negro, reflectografía IR e IR falso color)**
Con el IR, gracias a la menor "dispersión" del campo de radiación que en el rango visible, se puede "atravesar" parte de las capas exteriores del elemento.
- **Termografías (infrarrojo térmico)**
En longitudes de onda mayores se encuentra el infrarrojo térmico. Es una técnica muy utilizada en el campo arquitectónico para investigar estructuras internas, invisibles al ojo, como arcos modificados, texturas diferentes, etc. basándose en la respuesta de los materiales a los cambios térmicos. Es una manera para localizar potenciales lesiones o anomalías.

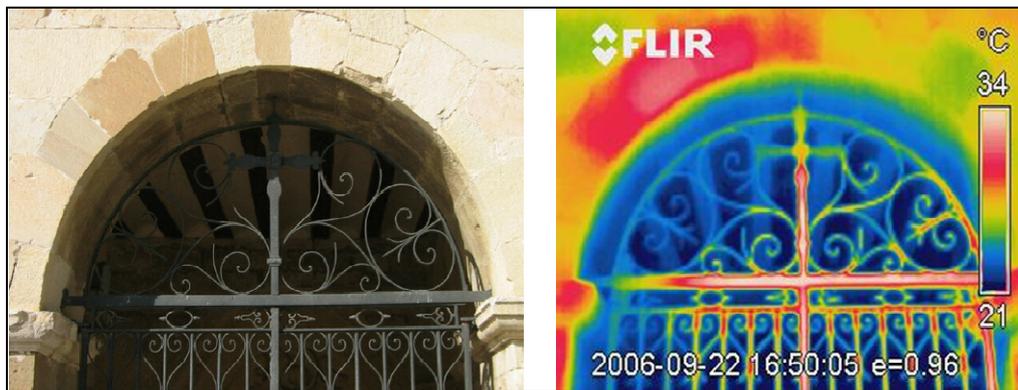


Figura 4.2. Registro fotográfico y termográfico de una puerta de la Basílica de Armentia (Vitoria-Gasteiz) (LDGP, 2004).

c) GEORADAR (GROUND PENETRATION RADAR, GPR)

Es una herramienta de prospección no destructiva del subsuelo, en un rango de profundidades que oscila entre los pocos centímetros y los treinta metros. Básicamente, esta técnica consiste en el análisis de las reflexiones de la radiación que se producen cuando hay variaciones en los materiales. Se pueden detectar objetos, estructuras o estratigrafías del terreno diferentes al medio circundante, incluyendo bolsas de humedad. En la toma de medidas se obtienen perfiles del "subsuelo", los cuales, si fuera necesario, se podrían extrapolar y conseguir modelos tridimensionales.

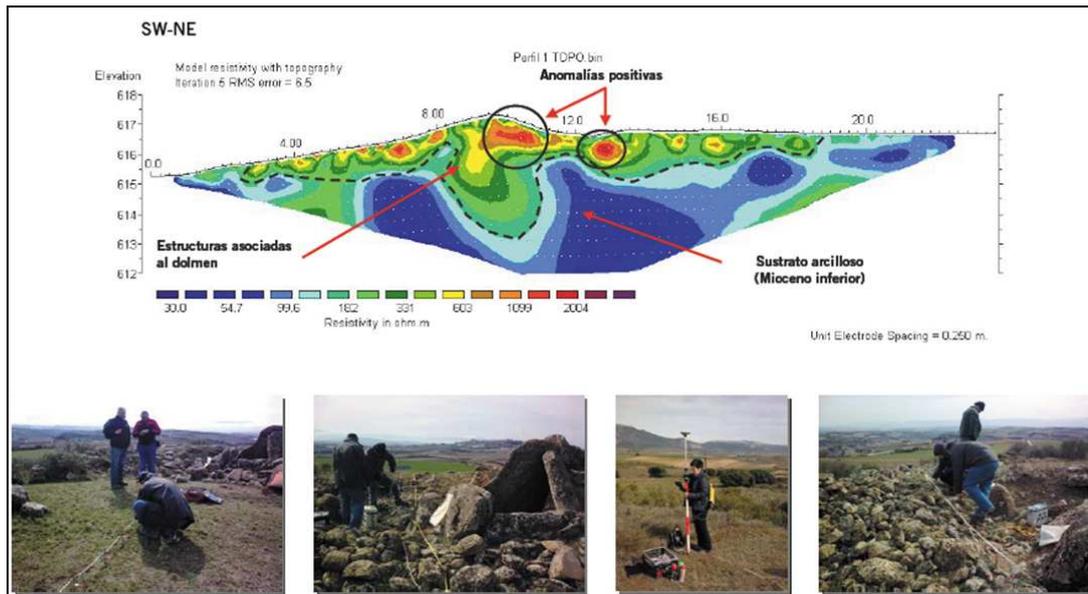


Figura 4.3. Georadar realizado en el dolmen de La Huesera en Laguardia (Álava).

d) OTROS

Además de los citados, existen otros estudios, fuera del espectro magnético, que utilizados para la detección bajo las capas superficiales. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, la detección de anomalías magnéticas, estudios de microgravedad, sísmicos o eléctricos (Rodríguez, 1988).

4.3.2. VISUALIZACIONES A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS NO MÉTRICAS

Las fotografías convencionales son una forma rápida y barata de documentación. No requieren conocimientos previos. Se pueden manejar tanto en formato digital como en papel, según necesidades, y es posible marcar sobre ellas cualquier dato de interés como puntos y zonas afectadas o grietas existentes. Se puede ir más allá en las posibilidades de las fotografías si además se posee práctica en algunas aplicaciones informáticas de tratamiento de imágenes, no solo variando los parámetros comunes como *contraste*, *brillo* e *intensidad*, sino incluyendo metadatos que completen la información de cada imagen o colección. Entre estos datos extra puede haber desde la descripción del elemento fotografiado, el autor, hasta coordenadas geográficas que georeferencien la foto. Los documentos gráficos, si se realiza una correcta labor de contextualización, gestión y preservación, estarán disponibles para futuros usos, como por ejemplo se plantea en (Rodríguez y Valle, 2010).

Existen otras opciones como crear mosaicos, panorámicas, anaglifos, etc., disponibles con diferentes programas descargables de Internet, que utilizando las imágenes permiten ampliar el rango de aplicaciones de las mismas.

a) MOSAICOS Y PANORÁMICAS

Estas opciones, generalmente generadas mediante la composición de varias fotografías, permiten visualizar un área mayor que una foto simple en una sola imagen.

b) VISUALIZACIONES ESTEREOSCÓPICAS

Combinando dos imágenes en un anaglifo se puede obtener rápidamente una visualización en 3D con las gafas correspondientes.

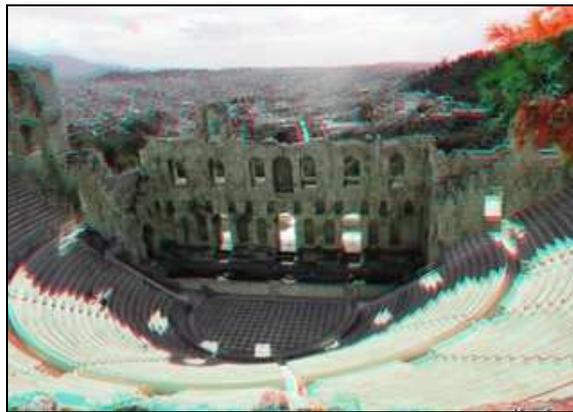


Figura 4.4. Anaglifo del Odeón de Herodes Ático (Atenas), construido en 161 d. C.

c) CARTAS DE COLOR

El color es una de las principales fuentes de información a la hora de detectar cambios en los elementos. Una carta de color es una herramienta que permite el control preciso de un proceso fotográfico. Estas cartas tienen un conjunto de "parches" de color o grises cuidadosamente escogidos que están impresos sobre algún tipo de soporte en papel que a menudo está pegado sobre una base acartonada que las mantiene más o menos rígidas. Para hacer uso de ellas, típicamente se incluyen dentro de la propia foto, junto al sujeto cuyo color es importante reproducir. Así el fotógrafo tiene una referencia bien clara del aspecto real del sujeto, y el editor y el impresor, que también conocen la carta, saben cuál debe ser el aspecto final de la imagen¹. De esta forma es posible comparar dos imágenes tomadas en un mismo sitio y realizar un seguimiento del color a lo largo del tiempo.

¹ Información obtenida en [http://hugorodriguez.com/index_cartas-color.php. Consulta: Junio 2011].

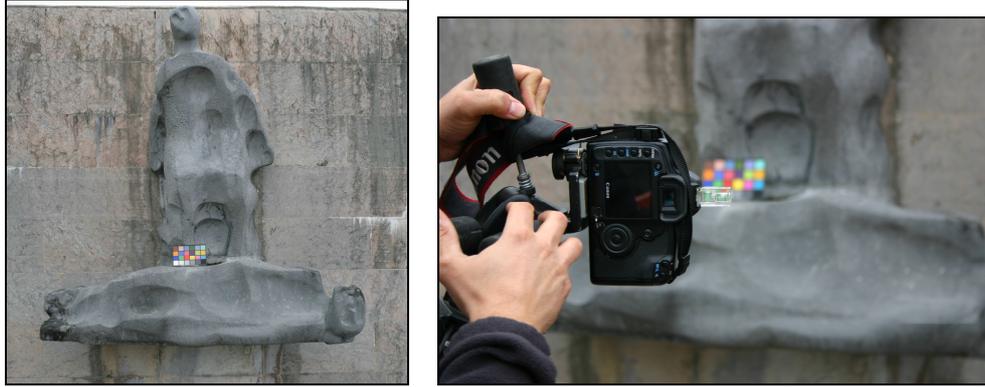


Figura 4.5. Toma fotográfica con carta de color de La Piedad en la fachada principal del Monasterio de Aránzazu, Gipuzkoa (LDGP, 2009).

4.3.3. GEOMÉTRICOS

Como se ha comentado en anteriores puntos, existen variados modos de registro de la geometría. En primer lugar, la **fotogrametría**, debido a su buena precisión y grado de detalle alcanzable, y a pesar del volumen de trabajo que conllevaba se posicionó como la más adecuada y utilizada en estudios arquitectónicos, diseños de restauraciones y labores de documentación en general.

En estas primeras décadas, previas a los 90, tampoco se habían desarrollado técnicas capaces de mejorar su rendimiento, quedando como alternativa la medida de **intersecciones con teodolitos angulares**. Sin embargo, esta técnica, aún utilizada en algunos casos concretos, resulta muy limitada en cuanto a la percepción de los puntos significativos. Esta afirmación se basa en dos aspectos básicos: (1) el aumento excesivo del objetivo para puntos cercanos y (2) la dificultad a la hora de diferenciar profundidades en puntos lejanos; ambos complican la elección del punto exacto que se quiere medir. Esto, añadido a la necesidad de un minucioso proyecto para elegir la ubicación de las estaciones (se hace necesario visualizar cada punto desde dos estaciones diferentes, formando una buena geometría) y el elevado coste temporal del trabajo de campo, forma un cúmulo de desventajas a tener en cuenta.

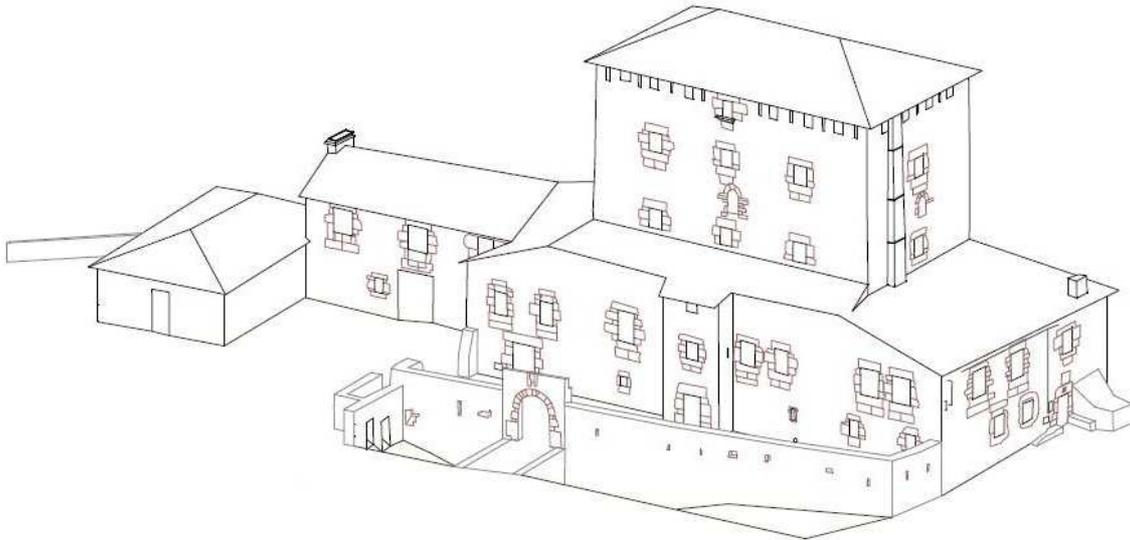


Figura 4.6. Levantamiento por intersecciones de la Casa Torre de Martioda (Álava) (LDGP, 1988)

La aparición de las **medidas de distancias láser sin necesidad de reflectores** (prismas) se presentó como un gran avance para la medición en campo con estaciones totales. La rapidez y sencillez de la captura en campo aumentó de tal manera que fue posible reemplazar la fotogrametría en elementos que no requiriesen un gran detalle o que estuvieran muy bien definidos. No obstante, seguía existiendo el inconveniente de la difícil percepción de los puntos debido a los aumentos del objetivo.

Más recientemente, las **estaciones totales robóticas** han posibilitado la elección de los puntos a medir mediante la pantalla, a modo de imagen fotográfica, pudiendo acercar o alejar el punto con el zoom, con lo que es más fácil elegir el correcto. Algunas de ellas, incluso, dan la posibilidad medir nubes de puntos en un área determinada.

Paralelamente a estas estaciones, otro instrumento que se está desarrollando rápidamente en los últimos años son los digitalizadores tridimensionales, como el **láser-escáner o el LIDAR**¹. Este instrumento de toma de datos masiva no permite la selección de los puntos significativos, en su lugar, obtiene la localización de puntos del área elegida en función de una densidad preestablecida. Esta falta de puntos singulares puede provocar problemas en la edición. Existen varios tipos de escáner (tiempo de vuelo, diferencia de fase, triangulación, luz estructurada), pero el producto final de ellos poco difiere. Se trata de nubes de puntos 3D muy densas (configurables), las cuales requieren un tratamiento posterior de orientación, filtrado de puntos erróneos (ruido) y extracción de los datos deseados.

Actualmente, la **fotogrametría digital** está creciendo a gran velocidad en trabajos de pequeña extensión, proporcionando nuevas herramientas de gran interés para el control preventivo de la degradación física de las superficies (micro-grietas,

¹ LIDAR: acrónimo del inglés *Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*.

levantamientos, deformaciones, etc.). Esta técnica, al igual que los escáneres, da la posibilidad de obtener nubes de puntos y mallados.

A continuación, se muestran algunos de los productos (Valle, 2007) que se pueden obtener mediante los métodos de registro arriba comentados.

a) MODELOS ALÁMBRICOS

Estos modelos se pueden obtener por diferentes métodos ya mencionados: trabajos topográficos (estaciones totales, GNSS¹), fotogrametría o láser-escáner, a elegir en función del producto necesitado. En ellos sólo tienen representación las líneas y puntos del objeto. Cuando no existe un gran número de puntos y es necesario que estos estén seleccionados por el técnico (alzados, dibujos en planta) los métodos topográficos son los más indicados. De esta manera el modelo se obtiene prácticamente del trabajo de campo, mientras que empleando otras técnicas es necesario un proceso de cálculo y edición. La fotogrametría es muy recomendable si se requiere un producto más detallado (**portadas de iglesias, retablos**) dado el provecho que se puede tener de su información geométrica, radiométrica y temporal. Los escáneres 3D, por su parte, cuentan con la desventaja de que no determinan los puntos significativos del modelo por lo que necesitan de edición manual o algorítmica para poder extraer esos puntos.

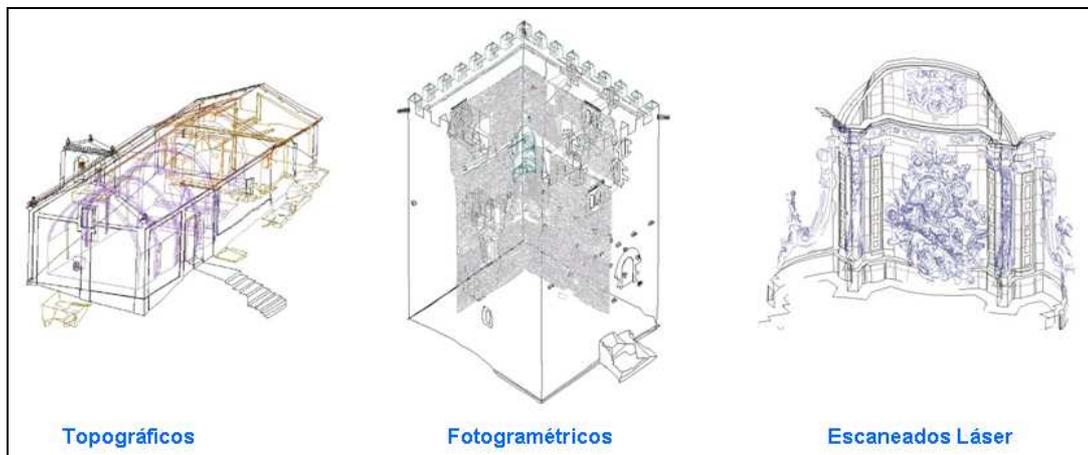


Figura 4.7. Modelos alámbricos generados por las diferentes técnicas (Valle, 2007).

b) NUBES DE PUNTOS

Tienen su origen tanto en fotogrametría como en la digitalización tridimensional, en la que no solo se incluyen los láser-escáner, sino también algunas estaciones totales de última generación. Representan el objeto de una manera densa, con lo que consiguen una buena representación de superficies irregulares, pero discontinua. Esto suele propiciar la necesidad de unir los puntos mediante mallas, que se explicarán en el siguiente punto. Aun así, si la

¹ GNSS: Sistemas Globales de Navegación por Satélite, siglas en inglés de **Global Navigation Satellite System**.

nube es muy densa, puede llegar a dar sensación de continuidad, como es el caso de la figura 4.8.



Figura 4.8. Nube de puntos del óculo (LDGP, 2008).

	Ventajas	Desventajas
Escáneres 3D	<ul style="list-style-type: none"> • Gran libertad de disposición en cuanto a la toma de datos. • Un único punto de vista • Volcado inmediato de la nube de puntos bruta y previsualización tridimensional. • Independiente de la textura 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de puntos muy elevada, que aumenta cuando se combinan varias nubes. • Tratamiento posterior intensivo para obtener nubes adecuadas: con procesos diezmoado, sombreado, coloreado.
Fotogrametría (correlación automática)	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de puntos predefinida y adecuada a las necesidades del modelo. • Estimación de la precisión en cada punto. • Mejor resultado en escenas con textura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos elevados y muy restrictivos en la toma de datos: iluminación, distancia al objeto, escala máxima de la imagen, disponibilidad del apoyo,... • Procesos de orientación y tratamiento previo a la obtención de la nube de puntos. • Depende de la textura para proceder correctamente. • Necesita dos o más imágenes.

Tabla 4.3. Ventajas y desventajas de la Fotogrametría y los Escáneres tridimensionales para la generación de nubes de puntos (Valle, 2007).

La tabla anterior refleja las ventajas y desventajas entre los registros fotogramétricos y de láser-escáner. Quizás, cabría añadir a ambos el problema de los ocultamientos, los cuales suponen uno de los grandes inconvenientes a la hora de completar el modelo de una figura. Además, en los escáneres 3D se podrían destacar también aspectos como los la reflectividad de los materiales, que supone gran parte del ruido existente en las nubes.

Respecto a las estaciones totales capaces de obtener nubes de puntos, hay que mencionar la gran similitud con los escáneres en el modo de operar. Sin embargo, hasta el momento no alcanzan sus niveles de rapidez.

c) **MODELOS DE SUPERFICIES**

La principal diferencia de los modelos de superficie respecto a los alámbricos consiste en que el elemento a representar toma forma como un único elemento, continuo, y no como una suma de líneas y puntos cuya comprensión se complica en tanto en cuanto existe una cantidad excesiva de líneas, superposiciones u ocultamientos, comunes en el patrimonio arquitectónico. Este problema puede reducirse creando mallas que se adapten de manera fiel a la realidad. Gracias a esta opción, también es posible la extracción de perfiles y curvas de nivel (o contornos) o su texturización, por ejemplo.

Estas mallas pueden ser de diferentes características, como se explica a continuación:

- **Mallas**

Los polígonos que forman las mallas son muy importantes a la hora de representar un objeto. Los tipos de mallas más comunes son las TIN¹ y las mallas regulares. Las TIN, como su nombre indica, están formadas por triángulos irregulares, mientras que las regulares, se componen de cuadrículas. Estas últimas, a veces se dividen en triángulos, por lo que pueden confundirse con las TIN.

- **Texturizados**

La aplicación de texturas a estas mallas supone una mejor y más clara representación del objeto. Existen dos opciones para realizar una texturización: introducir color artificial o aprovechar fotografías para aproximar el modelo a la realidad. Se pueden dar por separado o combinadas, en función de necesidades y fines concretos.

¹ TIN: **T**riangulated **I**rregular **N**etwork

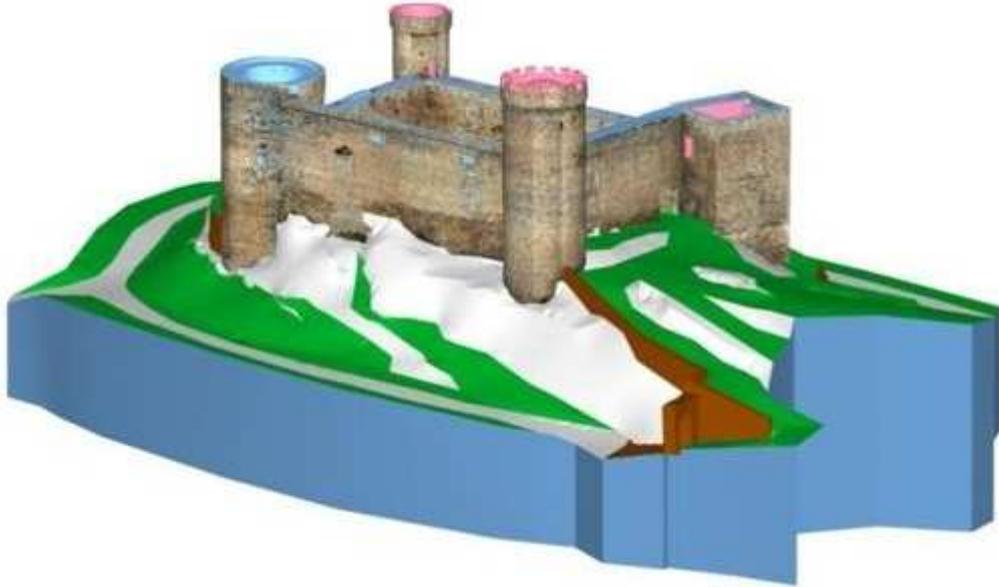


Figura 4.9. Modelo del Castillo de Cornago (La Rioja), en el cual se mezclan las texturas fotográficas con las de color artificial, (LDGP, 2006).

○ **Color artificial**

De este modo es posible diferenciar materiales o, incluso, se pueden enfocar hacia una temática predeterminada, como puede ser la datación, diferenciación de fuentes documentales (medida directa, planos antiguos, fotografías, etc.) mediante modelos de verosimilitud o la localización de lesiones o deterioros de zonas concretas. Este último aspecto resulta digno de tener en cuenta para el presente proyecto.

○ **Fotorrealistas**

Existen diferentes formas para aplicar una textura fotográfica a las superficies, entre ellas, se encuentran la rectificación o técnicas fotogramétricas avanzadas. La elección de una u otra técnica vendrá condicionada por la morfología del elemento.

La **rectificación** de fotografías permite obtener una imagen métrica de elementos cuya forma se pueda definir matemáticamente para, posteriormente, acoplarla al modelo tridimensional. Resulta una solución rápida para objetos simples.

Otra vía para tener este tipo de textura es mediante **técnicas fotogramétricas o láser-escáner con cámara acoplada**. Con ellas es posible tener textura de cualquier recoveco si se dispone de pares completos, es decir, que recubran la totalidad del elemento.

d) ORTOFOTOGRAFÍAS

Las ortofotografías son imágenes métricas obtenidas a partir de un modelo tridimensional proyectado, como su nombre indica, ortogonalmente sobre el plano elegido. Son conocidas sus utilidades en cartografía, pero también se presentan como un importante documento en elementos arquitectónicos debido a su conexión entre la medida y la fotografía. Ejemplos claros de sus aplicaciones son, entre otros, los estudios estratigráficos o de lesiones en las estructuras.

4.3.4. OTROS

Además de las técnicas explicadas, existen otras de diferentes características como las que se numeran a continuación:

- **Microscopía óptica**
- **Medida de radiometría puntual**
- **Espectrofotometría de absorción infrarroja**
- **Medida de capacidad de absorción de agua** (Método de la esponja de contacto)
- **Etc.**

5. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA EN ÉPOCAS DIFERENTES

5.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En los apartados anteriores se han expuesto dos necesidades principales:

- a) Que es necesario un estudio de degradaciones periódica con el fin de conocer la evolución de la forma de los elementos patrimoniales, en este caso fachadas.
- b) Que una de las manifestaciones más palpables de las degradaciones es la geométrica.

Esto lleva a las siguientes cuestiones: ¿qué se debe medir?, ¿cómo?, ¿con qué precisión?, ¿qué instrumental hay que utilizar?, ¿cómo se presentan?, ¿con qué periodicidad?. Todas ellas son de difícil solución, ya que no existen estándares o normalizaciones en el campo. Uno de los medios para intentar responder a éstas y otras preguntas es la experiencia, que hace conocer las técnicas posibles, su éxito en cada aplicación, las limitaciones y posibilidades de cada una, y que impulsa a nuevas vías de investigación. Por ello, se aprovecharán las herramientas de las que disponemos para adquirir conocimientos que sirvan de precedente para futuros trabajos.

En los siguientes apartados se darán a conocer los estudios realizados con el fin de plantear la nueva metodología. Se hará una relación de productos posibles y se propondrá una alternativa, la cual se desarrollará para el caso concreto de la Portada de los Abuelos de Laguardia.

Para el tratamiento de los datos se utilizarán las aplicaciones informáticas comerciales *Topcon Image Master* y *Photodeler Scanner*, mientras que también se harán pruebas con el programa *Rapidform* para el manejo y gestión de nubes de puntos y mallas 3D. En el anexo II se presenta una descripción de ellos.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL ÓCULO

El óculo es una de las partes más representativas de la Portada Sur de la iglesia de San Juan de Laguardia. Está situado a una altura de unos ocho metros, sobre el portón, por lo que es inaccesible sin instrumental auxiliar. Una toma de fotografías o de cualquier otro método de registro como el láser-escáner no tendría la visibilidad necesaria para completar el modelo si se realiza desde el nivel del suelo.

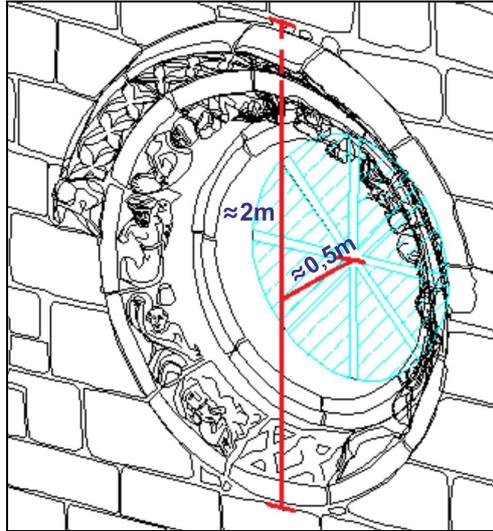


Figura 5.1. Dimensiones del óculo.

En cuanto a las dimensiones hay que decir que no se trata de un óculo de grandes dimensiones. Su diámetro mide unos dos metros, mientras que tiene una profundidad de algo más de medio metro.

Sin ser un elemento patrimonial grande, sí posee un buen número de figuras ornamentales. Debido al transcurso del tiempo, entre ellas se aprecian zonas mal conservadas, sobretodo en la “visera” y en la parte inferior del óculo.

5.3. DOCUMENTOS DISPONIBLES DEL TRABAJO DE 2008

Los trabajos del LDGP en el año 2008, que tenían como fin el levantamiento fotogramétrico, es el punto de partida de este proyecto, ya que se trata de la primera referencia que se tiene disponible. Es por ello importante conocer el contenido de los documentos que se produjeron, tanto en el registro (fotografías, mediciones) como en el proceso de elaboración y edición del levantamiento (modelos, planos). Hay que comprobar la forma en la que están archivados para poder hacer uso de ellos otra vez.

En un principio, se prevé la reutilización de los pares fotogramétricos y de la red de puntos de referencia fijada en aquel momento, en conjunto con sus respectivos croquis (figura 5.2.). Además, se podrá utilizar el dibujo alámbrico a modo de comparación.

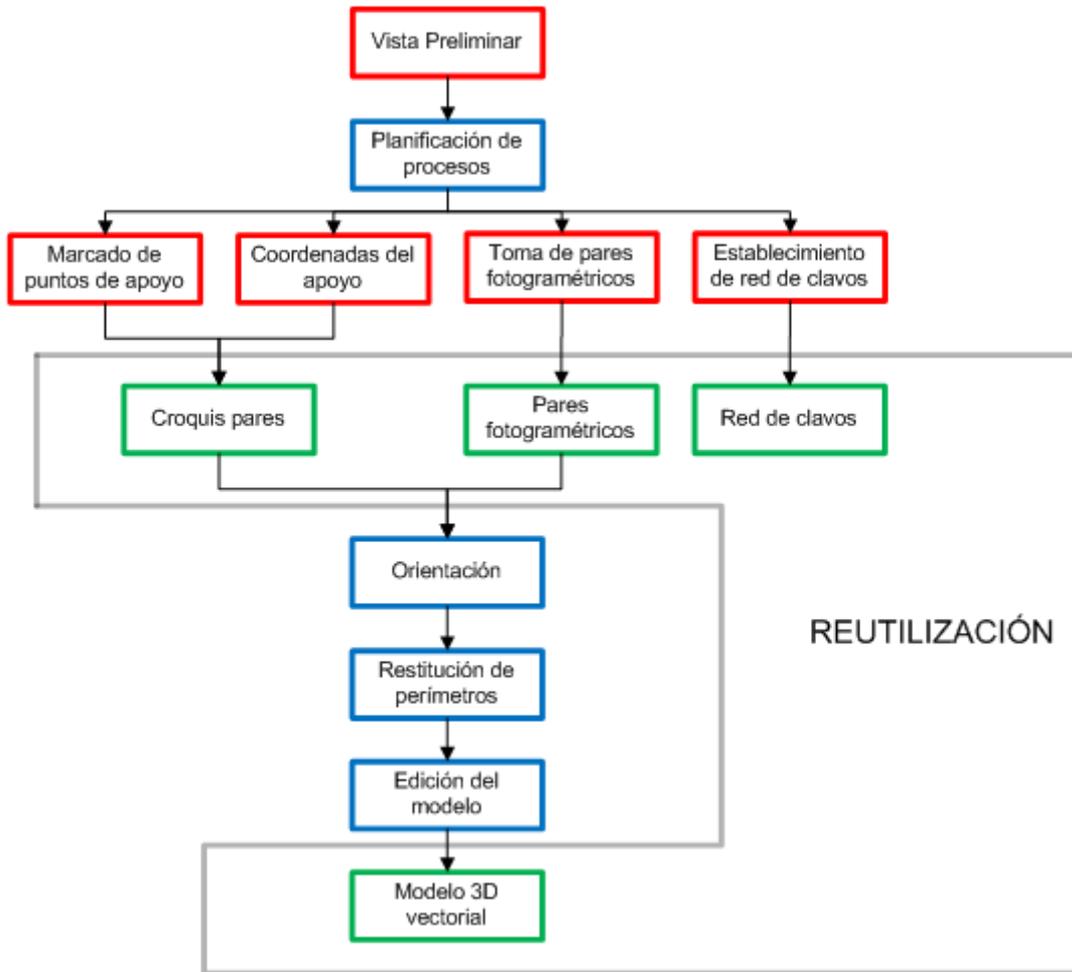


Figura 5.2. Organigrama de los trabajos de 2008 (LDGP, 2008).

5.3.1. PARES FOTOGRAMÉTRICOS

En 2008 se realizó el levantamiento de toda la portada, por lo que cuenta con hasta 12 pares estereoscópicos. En este proyecto, al haber delimitado la zona de estudio, solo se hará uso de los de la zona correspondiente (óculo, par 3, fig. 5.3).

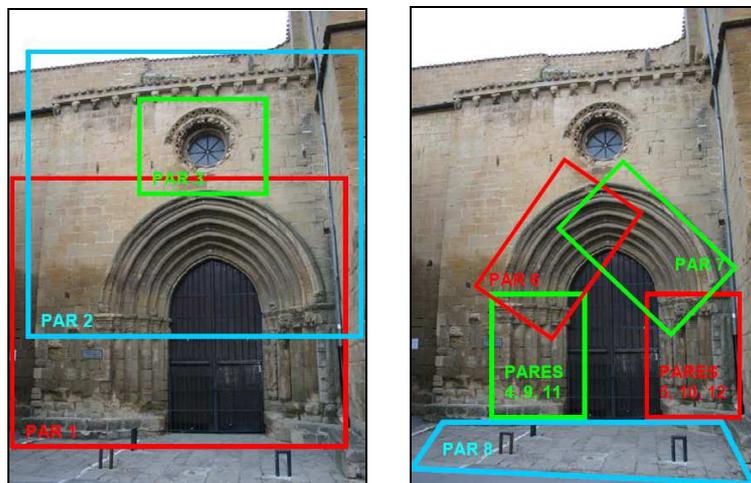


Figura 5.3. Posición de los pares realizados en 2008 (LDGP, 2008).

Las fotografías se almacenaron en los formatos digitales JPEG¹, PNG² y TIFF³, utilizando una nomenclatura en su nombre que diera la posibilidad de reconocer los pares a los que pertenecían, lo cual es de gran ayuda para un trabajo posterior como este. Están tomadas con una cámara de 12 megapíxeles y una focal de 35mm.

Para alcanzar la altura del óculo, y así evitar los ocultamientos que se producirían tomando las fotos desde el suelo, se utilizó un jalón telescópico que permite elevar la cámara hasta 15 metros. La distancia respecto al óculo fue de 4m, mientras que la base fue de 1,4.

Los pares serán útiles para generar ortofotografías y una nube de puntos 3D del área de estudio. Además, es posible usar las fotografías individualmente para evaluar su utilidad y, en caso necesario, para incluir texturas a los modelos.

5.3.2. MODELO ALÁMBRICO TRIDIMENSIONAL

A partir de los pares estereoscópicos se dibujó el modelo alámbrico por restitución digital. Está disponible tanto en las coordenadas relativas en las que se realizaron los trabajos como en coordenadas absolutas, en el sistema de referencia ED-50, proyección UTM (huso 30). La razón de la referenciación a este Sistema y no a ETRS89, reside en que la cartografía base de la Diputación Foral de Álava (corresponde a la hoja 170-47-A-IV-D) en 2008 aún no había sido actualizada. Así pues, se recomienda su transformación en un futuro próximo. Los modelos se encuentran en ficheros de dibujo AutoCAD 2000 (DWG⁴) y de intercambio del mismo programa (DXF⁵), lo que permite su tratamiento en los programas a utilizar en este proyecto.

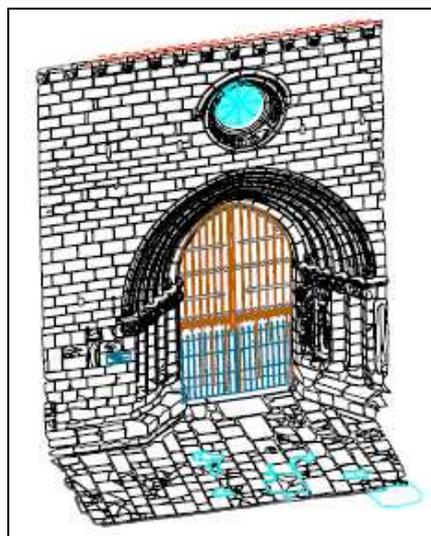


Figura 5.4. Modelo alámbrico dibujado en 2008 por fotogrametría estereoscópica (LDGP, 2008)

¹ JPEG: *Joint Photographic Expert Group*. Ver glosario.

² PNG: *Portable Network Graphics*. Ver glosario.

³ TIFF: *Tagged Image File Format*. Ver glosario.

⁴ DWG: *Drawing*. Ver glosario.

⁵ DXF: *Drawing eXchange File*. Ver glosario.

Este modelo contiene el dibujo de los sillares y el detalle de la ornamentación del óculo. Es decir, no están reflejadas posibles afecciones, como pueden ser humedades. Algunas de las afecciones se encuentran reflejadas en la figura 5.5. Por consiguiente, no es posible utilizar este modelo como referencia en ese sentido. No obstante, y a pesar de no contener superficies, sí se podría utilizar como referencia geométrica y como elemento de comparación con los modelos alámbricos generados mediante las nuevas herramientas informáticas.

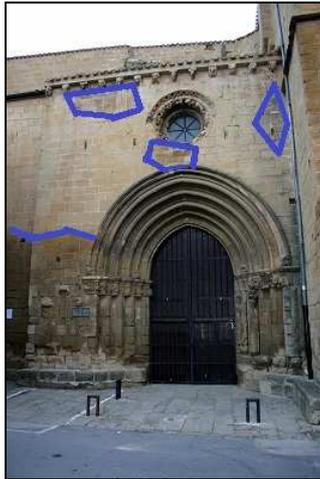


Figura 5.5. Afecciones sin representación en el modelo de 2008.

5.3.3. COLECCIÓN DE PLANOS

La colección está compuesta por:

- Alzado a escala 1:50.
- Planta de los suelos a escala 1:50.
- Alzado y planta a escala 1:20.

Son subproductos del modelo alámbrico por lo que no se plantea el uso de ellos.

5.3.4. NUBE DE PUNTOS TRIDIMENSIONAL

a) Ficheros disponibles

Además de los documentos anteriores también se dispone de una nube de puntos de la portada obtenida con un con láser escáner Leica ScanStation 1. La nube se encuentra en un fichero PTX¹. Se trata de un fichero difícil de tratar debido a su elevado peso (casi 1GB). Asimismo, no es posible abrir este formato con cualquier programa de edición de nubes de puntos, por lo que se ha considerado oportuno transformarlo a otros formatos con el fin de abrir el abanico de posibilidades para

¹ PTX: Formato de fichero Leica.

futuras utilizaciones. Los formatos elegidos para la exportación son ASC y VRML¹ (.wrl).



Figura 5.6. Detalle de la nube obtenida con el escáner (LDGP, 2008).

Se ha estudiado una pequeña parte del fichero PTX (figura 5.7.) para conocer la estructura de éste. A simple vista se distinguen dos apartados. El más claro es el listado de puntos, en el que se guardan las coordenadas XYZ y el RGB de cada uno de ellos. Es destacable en este punto la cantidad de decimales con las que han sido exportadas las coordenadas. Es obvio que el instrumento de medida no alcanza tales precisiones, por lo que sería conveniente dejar únicamente tres decimales. Estas coordenadas espaciales tienen como origen la posición del escáner, que aparece en el primer grupo de datos (recuadro azul). Encuadradas en verde están las matrices de transformación, como la de rotación.

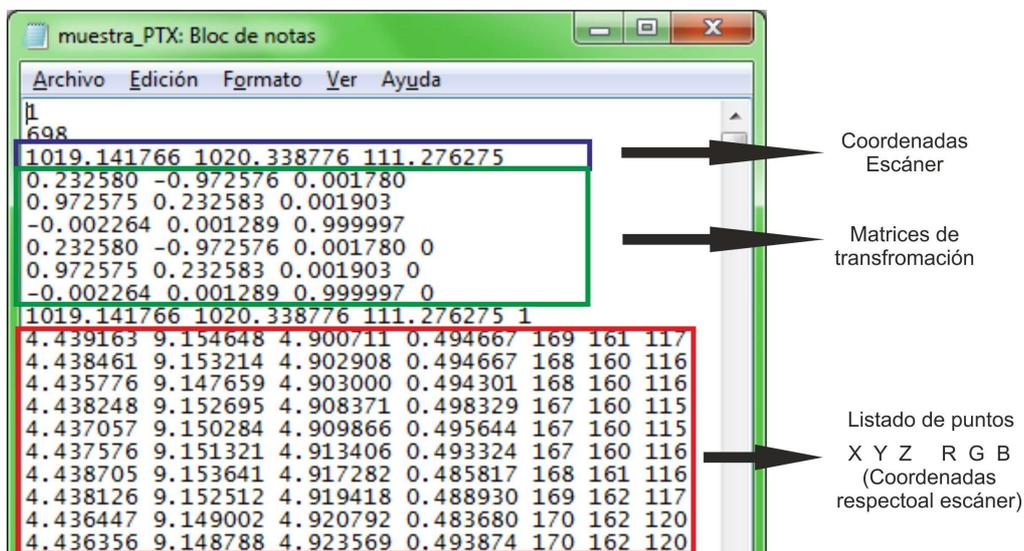
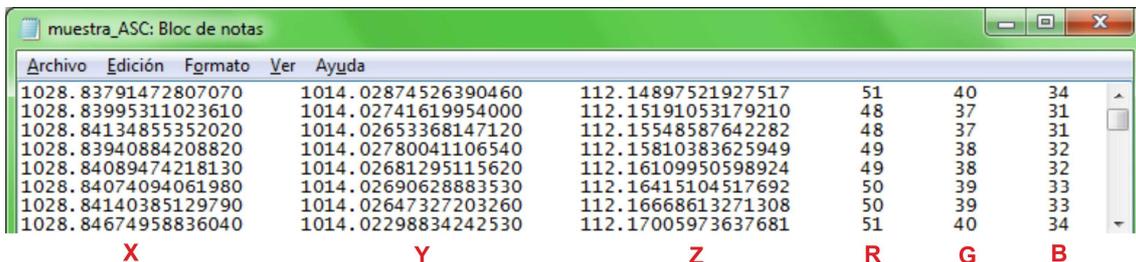


Figura 5.7. Muestra de la estructura de un fichero PTX.

ASC es un fichero que permite conservar la información de manera comprensible, ya que contiene igualmente tanto información geográfica (coordenadas XYZ) como

¹ VRML: *Virtual Reality Modeling Language*, traducido, Lenguaje de Modelado de Realidad Virtual. Ver glosario.

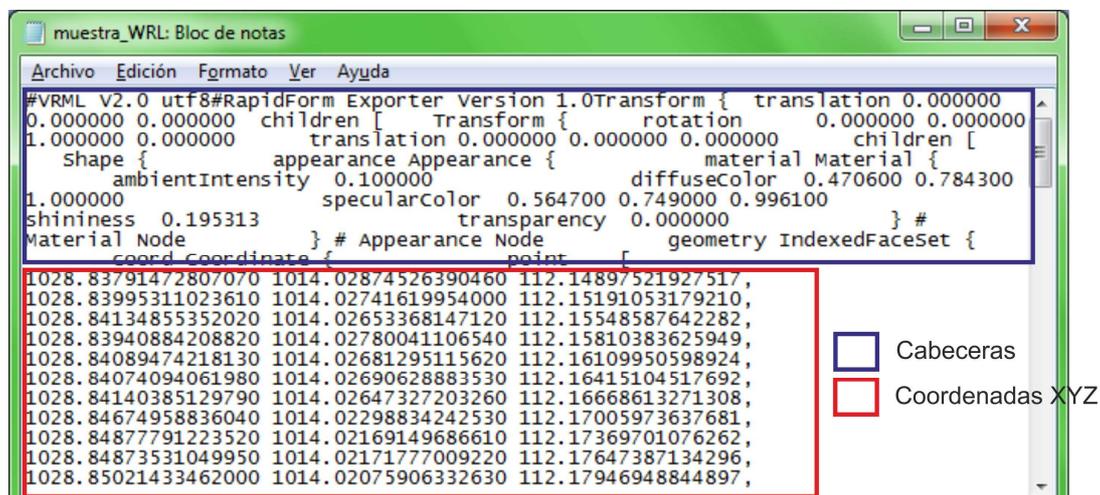
radiométrica (valores RGB) en codificación ASCII¹. Sin embargo, es un formato en el que se simplifican las nubes de puntos existentes en el PTX, convirtiéndolas en una sola. Por ello, es recomendable orientar todas las nubes previamente al sistema de referencia del trabajo en cuestión.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda			
1028.83791472807070	1014.02874526390460	112.14897521927517	51	40	34		
1028.83995311023610	1014.02741619954000	112.15191053179210	48	37	31		
1028.84134855352020	1014.02653368147120	112.15548587642282	48	37	31		
1028.83940884208820	1014.02780041106540	112.15810383625949	49	38	32		
1028.84089474218130	1014.02681295115620	112.16109950598924	49	38	32		
1028.84074094061980	1014.02690628883530	112.16415104517692	50	39	33		
1028.84140385129790	1014.02647327203260	112.16668613271308	50	39	33		
1028.84674958836040	1014.02298834242530	112.17005973637681	51	40	34		

Figura 5.8. Muestra de la estructura de un fichero ASC.

El formato VRML, por su parte, es un estándar dirigido a la generación de escenas tridimensionales. Es posible la visualización del modelo de forma gratuita en cualquier navegador de Internet, con el único requerimiento de instalar un visor adecuado, como por ejemplo *Cortona*, *Cosmo* o *FreeWRL (Linux)* (LDGP, 2003). En cuanto a la información que recoge, se puede ver en la figura 5.9 una división similar al PTX. Por un lado, cabeceras como matrices de rotación y traslaciones, entre las que se incluyen también la versión del formato y algunos parámetros referidos al color. En este caso las rotaciones y traslaciones son nulas porque las coordenadas ya se encuentran en el sistema del trabajo. Por otro lado está el listado de puntos con coordenadas XYZ. Se echa en falta en esta captura la información RGB de ellos, que esta guardada más adelante.



```
#VRML V2.0 utf8#RapidForm Exporter Version 1.0
translation 0.000000 0.000000 0.000000
rotation 0.000000 0.000000 0.000000
children [
  translation 0.000000 0.000000 0.000000
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        material Material {
          ambientIntensity 0.100000
          specularColor 0.564700 0.749000 0.996100
          shininess 0.195313
          transparency 0.000000
        }
      } #
    } # Appearance Node
  } # geometry IndexedFaceSet {
    coord Coordinate {
      point [
        1028.83791472807070 1014.02874526390460 112.14897521927517,
        1028.83995311023610 1014.02741619954000 112.15191053179210,
        1028.84134855352020 1014.02653368147120 112.15548587642282,
        1028.83940884208820 1014.02780041106540 112.15810383625949,
        1028.84089474218130 1014.02681295115620 112.16109950598924,
        1028.84074094061980 1014.02690628883530 112.16415104517692,
        1028.84140385129790 1014.02647327203260 112.16668613271308,
        1028.84674958836040 1014.02298834242530 112.17005973637681,
        1028.84877791223520 1014.02169149686610 112.17369701076262,
        1028.84873531049950 1014.02171777009220 112.17647387134296,
        1028.85021433462000 1014.02075906332630 112.17946948844897,
```

Figura 5.9. Muestra de la estructura de un fichero VRML.

Como se ve en las figuras 5.7, 5.8 y 5.9, todos ellos son ficheros ASCII y, por tanto, comprensibles en su lectura. Esto hace mucho más sencillo un posterior tratamiento de ellos.

¹ ASCII: *American Standard Code for Information Interchange*. Ver glosario.

En el desarrollo de este proyecto también es de utilidad esta nube de puntos si se selecciona la parte del óculo. Al igual que con la nube completa, esta zona se exportará a los formatos citados con el objetivo de incluirlos en el estudio.

Para mostrar otras posibilidades de las nubes de puntos, gracias a programas desarrollados en el LDGP, se ha generado una imagen de iluminación artificial (figura 5.10). Éstas se forman según la orientación de un píxel y sus adyacentes. Como se ve en la figura, este procedimiento simula un efecto de sombreado dando sensación de relieve a la portada.

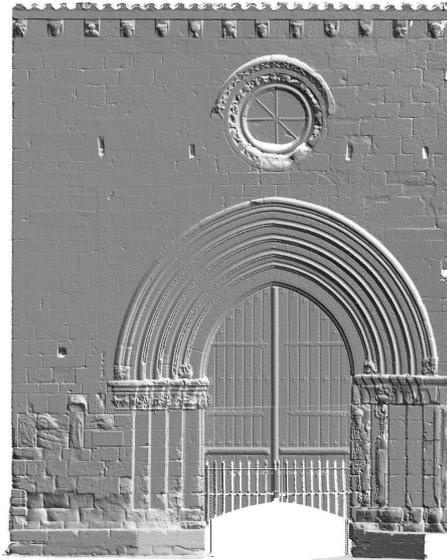


Figura 5.10. Imagen de iluminación artificial (LDGP).

b) Precisión del escáner

Precisión de medición simple	Posición*	6 mm
	Distancia*	4 mm
	Ángulo (horizontal/vertical)	60 μ rad/60 μ rad (3,8 mgon/3,8 mgon) **

* A 50 m de alcance, un sigma

** Un sigma

Tabla 5.1. Precisión del escáner (hoja de especificaciones técnicas de Leica)

5.4. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología seguida en este proyecto se basa en los programas fotogramétricos digitales que en los últimos años se están asentando en los trabajos de este campo. Los avances tecnológicos que han experimentado, concretamente en los aspectos de orientación y correlación automática, permiten generar, entre otras cosas, nubes de puntos de forma más rápida y sencilla. Destacados ejemplos de esto son los anteriormente mencionados *Topcon Image Master* y *Photodeler Scanner*. Son estos programas de fotogrametría convergente los que se han utilizado durante el proceso para llegar a objetivo final. El trabajo con ellos se ha complementado con otros programas como Autocad y otros desarrollados por el propio LDGP, así como por el autor.

Como se indica previamente (figura 2.1) y se profundiza en la figura 5.11, los trabajos parten de los estudios del óculo y del trabajo realizado en 2008, presentados en los puntos 5.2 y 5.3. El análisis tanto de la morfología como de la localización en el espacio del objeto y de las soluciones adoptadas en aquel momento es clave en la planificación de la nueva toma de datos, en la que se aplican los aciertos y se tienen en cuenta los nuevos requerimientos.

La planificación de los trabajos de campo permitirá minimizar los problemas causados por las fotografías y las mediciones realizadas en los posteriores procesos. Éstos consisten en la orientación de pares y generación de modelos tridimensionales, para lo que se necesita de las calibraciones de las correspondientes cámaras, obtenidas de forma paralela.

Todo ello se procesará en los mencionados programas informáticos de fotogrametría digital convergente. Cada uno de ellos tiene su procedimiento. Tan importante como conseguir un resultado satisfactorio para la documentación, siendo el objetivo dar con una metodología sencilla, es evaluar el funcionamiento de los programas, así como la facilidad en la ejecución de los procesos.

En la fase de comparación del elemento en épocas distintas, como alternativa a la ofrecida por los programas, se desarrollará un método basado en imágenes ráster aplicando conocimientos adquiridos durante la estancia en el LDGP. De esta manera se busca visualizar la posible variación de volúmenes en el objeto.

En último lugar se presentarán las conclusiones en torno a la metodología planteada. Por un lado se valorará la utilidad de los resultados obtenidos en cuanto a precisión e información representable y, por otro, aspectos temporales, económicos y relacionados con la dificultad.

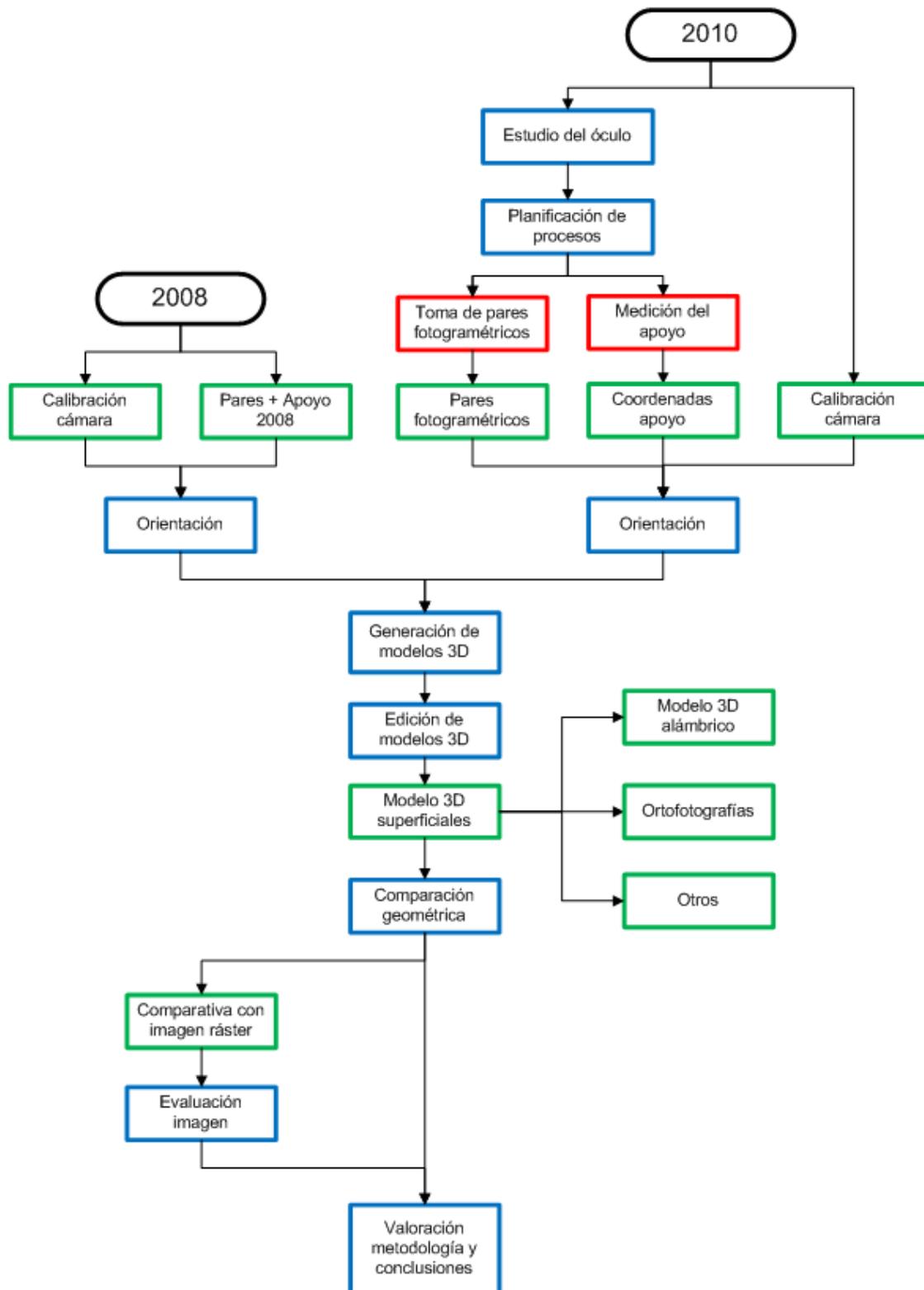


Figura 5.11. Organigrama planteado para la fase práctica del proyecto.

5.5. DESARROLLO Y ESTUDIO DE LA METODOLOGÍA

5.5.1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

El estudio de los documentos de los trabajos anteriores permite observar ciertos problemas en su utilización para este proyecto, cuyos requerimientos están más focalizados hacia el detalle del óculo. Su compleja morfología hace particularmente necesaria una planificación en la que se decidan cuestiones referidas a la toma de fotografías y la situación del apoyo. Con ello se busca minimizar problemas en los posteriores procesos, principalmente, ocultamientos (grandes en las fotografías de 2008) y orientaciones.

a) APOYO

A pesar de trabajar con cinco dianas (una en el centro y las otras cuatro en forma de cruz a la derecha, izquierda, abajo y arriba del óculo) en los trabajos de 2008, el LDGP incrustó una serie de clavos alrededor del óculo y mantuvo en su posición la diana del centro, cuya localización se señala en la figura 5.4., en previsión de futuros proyectos.

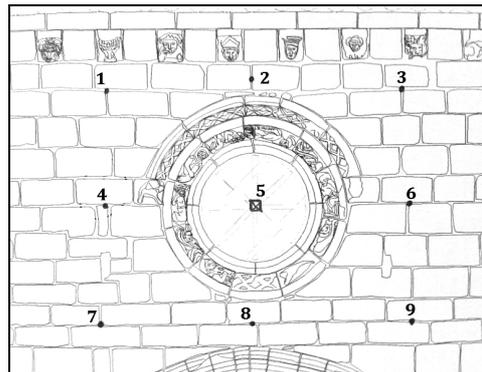


Figura 5.12. Localización del apoyo dejado en 2008.

El reparto de los clavos, unido a la diana, parece suficiente apoyo para la orientación de las fotografías, por lo que se opta por no incluir más puntos de control de ningún tipo.

Aspecto importante en este proyecto es el de la conservación de los puntos de apoyo, ya sean clavos, dianas, o cualquier otro elemento de puntería como pudieran ser placas o puntos naturales. Esta conservación no solo implica su presencia física, sino también su inmovilidad con respecto al resto de puntos y su independencia respecto al objeto a estudiar. ¿Qué significa esto? Que esta red que se ha establecido actúe como un solo elemento, por tanto, sus movimientos serán iguales, y que las posibles variaciones que se den en el elemento, las cuales son el objetivo del estudio, no afecten lo más mínimo. Se trata del mismo caso que, por ejemplo, los vértices geodésicos de control en la auscultación de una presa o un edificio. El fin de esto es poder mantener las coordenadas de los puntos de control a lo largo del tiempo y así evitar la

acumulación de errores derivada de su medida en cada campaña. Con esto se limita el error posible únicamente al proceso fotogramétrico.

Para la referenciación de estos clavos en un sistema común a los trabajos de 2008 (sistema local del propio trabajo o ED-50_UTM30) se dispone de tres puntos del catastro y la propia diana (D_5) (tabla 5.1).

Punto	ED-50, UTM30			Sistema Referencia Local 2008		
	X	Y	Z	X	Y	Z
D_5	534242.107	4711424.505	639.900	1008.758	2000.717	506.375
CA_41	534248.17	4711391.13	630.11	1002.338	1999.391	498.415
CA_42	534245.30	4711418.78	631.94	975.096	2004.958	496.583
CA_43	534201.40	4711407.69	631.75	1004.945	2044.614	498.225

Tabla 5.2. Coordenadas de los puntos para la referenciación del proyecto.

Conocer estas coordenadas da la posibilidad de realizar una intersección inversa con el fin de posicionar el estacionamiento. Para ello se debe estacionar en un punto desde el cual se vean al menos 3 de las referencias, tal y como se indica en la figura 5.5 (zona verde).

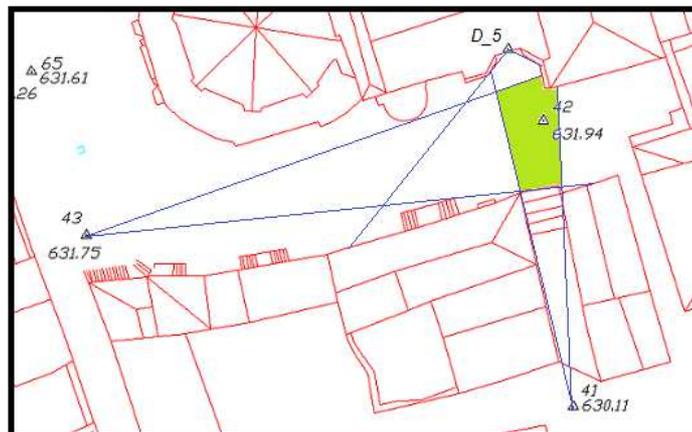


Figura 5.13. Zona posible para realizar los estacionamientos.

b) TOMA DE FOTOGRAFÍAS

Después de analizar el óculo y ver las zonas problemáticas de las fotografías de 2008 se decide la disposición siguiente:



Figura 5.14. Posición de la cámara para las tomas de 2010.

Se planea tomar fotografías en forma de pares a tres alturas diferentes, lo que minimiza los ocultamientos. Al igual que en 2008, es necesario utilizar el jalón telescópico que permite llegar a la altura del óculo. Del mismo modo, buscando la mayor resolución espacial posible se decide reducir la distancia al objeto respecto a 2008, estableciéndola en 3m, siempre tratando que aparezcan todos o la mayor cantidad posible de los puntos de apoyo.

Al sacar las fotografías se ha de conocer el tipo de programas con los que se procesarán éstas. En este caso, se necesita obtener nubes de puntos a partir de los pares, para lo que se aplica la correlación automática. Por tanto, la geometría más adecuada es la de los pares estereoscópicos.

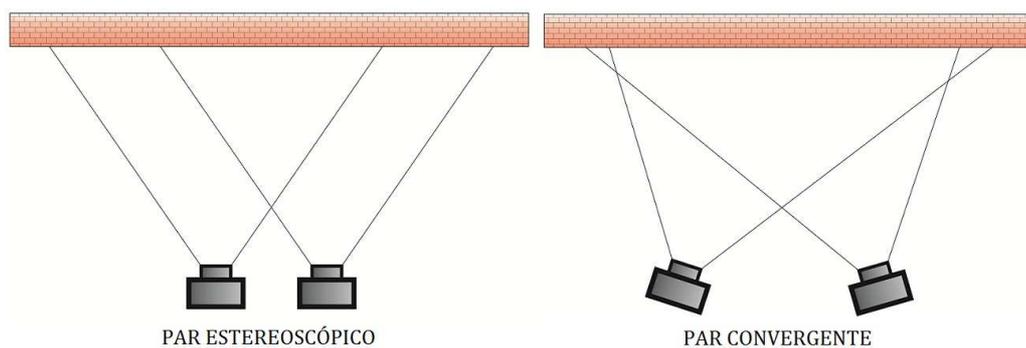


Figura 5.15. Diferentes geometrías para la toma de los pares.

Se debe tener en cuenta la luminosidad y sombras en el objeto a la hora de tomar las fotos. La Portada de los Abuelos es, además, especialmente sensible a variaciones en este aspecto por su orientación sur, por lo que se recomienda hacerlas a primera hora de la mañana, cuando el sol no le incide de manera directa.

5.5.2. TOMA DE FOTOGRAFÍAS Y APOYO

Se siguen las indicaciones de la planificación de campo (apartado 5.3.1.). Para la toma de fotografías se utiliza una Canon EOS 5D de 12 megapíxeles (anexo I. A) incorporada a un jalón telescópico. Debido a movimientos (balanceo) del jalón se toman varias fotografías desde cada posición para garantizar que al menos una sea aceptable para el cálculo. Sin embargo, no se consigue recubrir todo el óculo con todas las fotografías, por lo que no aparecen todos los puntos de apoyo, lo que repercutirá en la calidad de la orientación posterior.



Figura 5.16. Toma de fotografías con el jalón telescópico.

La medición de los puntos de apoyo y la referenciación se realizó con una estación total Leica 1205 (anexo I. B).

5.5.3. CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA

En la toma de fotografías intervienen tanto la cámara como el objetivo, con lo que se establecen un modelo geométrico (focal y coordenadas del punto principal) y un modelo del efecto distorsionador de las lentes (distorsiones radial y tangencial).

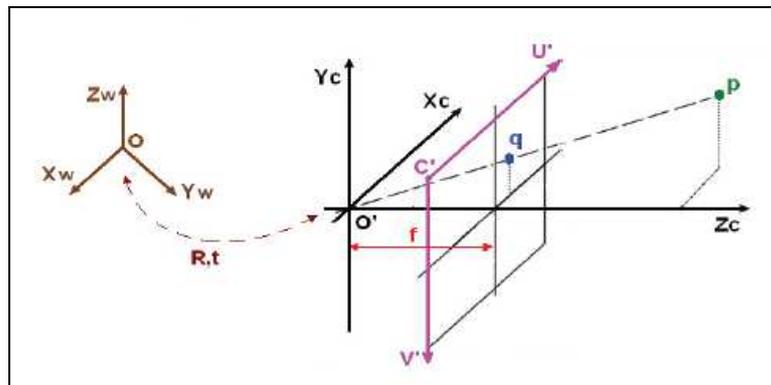


Figura 5.17. Modelo geométrico de la cámara (Ricolfe, 2008).

El modelo geométrico básico obedece las leyes de la proyección perspectiva, en la que los rayos de luz procedentes del objeto pasan a través del centro de proyección o centro óptico de la cámara y se plasman en el sensor. Esta formulación matemática (ecuación 5.1), básicamente, trata de relacionar linealmente las

coordenadas tridimensionales del punto en el mundo real $(X,Y,Z)_w$ con sus coordenadas 2D en el plano imagen (U,V) (Sánchez, 2004).

$$q_i = \lambda \cdot K \cdot [R \ t] \cdot p = \lambda \cdot K \cdot [r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \cdot p_i \quad \text{Ecuación 5.1.}$$

(Ricolfe, 2008)

Donde $q_i = (u_i, v_i, h_i)$ representa las coordenadas en la imagen de un punto del terreno $p_i = (x_i, y_i, z_i, l)$. La orientación de la cámara se expresa con una matriz de rotación R y un vector de traslación $t = (t_x, t_y, t_z)$. La matriz K contiene los parámetros intrínsecos de la cámara: focal y coordenadas del punto principal.

Sin embargo, las lentes del objetivo producen distorsiones que no son lineales y que afectan a la precisión de la transformación. La distorsión radial desplaza los puntos de la imagen radialmente a partir del centro, mientras que la tangencial o descentrada los desplaza perpendicularmente a la línea radial. Se resume, por tanto, que el valor de la distorsión se define en función de la posición del punto en la imagen (ecuación 5.2).

$$\begin{aligned} u_d &= u_p - \delta_u(u_p, v_p) \\ v_d &= v_p - \delta_v(u_p, v_p) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 5.2.}$$

(Ricolfe, 2008)

Generalmente, la distorsión radial se modela con los coeficientes $k_1, k_2, k_3...$ y la tangencial con $p_1, p_2, p_3...$. A partir de ellos es posible representar el modelo no lineal que provocan las distorsiones.

$$\begin{aligned} \delta_u(u_p, v_p) &= u_p \cdot k_1 \cdot r^2 + p_1(3u_p^2 + v_p^2) + 2p_2 \cdot u_p \cdot v_p + \dots \\ \delta_v(u_p, v_p) &= v_p \cdot k_1 \cdot r^2 + 2p_1 \cdot u_p \cdot v_p + 2p_2(u_p^2 + 3v_p^2) + \dots \end{aligned} \quad \text{Ecuación 5.3.}$$

(Ricolfe, 2008)

Siendo r la distancia del píxel al punto principal de la imagen, c .

$$\begin{aligned} c &= (u_0, v_0) \\ \Delta u &= u_p - u_0 \\ \Delta v &= v_p - v_0 \\ r^2 &= \Delta u^2 + \Delta v^2 \end{aligned}$$

Concretando en la distorsión radial, que es la que mayores problemas causa, se pueden mencionar varios modelos para su determinación. Entre ellos, el modelo "balanceado" (ecuación 5.4), recomendado por la ISPRS¹, o el modelo Gaussiano (ecuación 5.5). Ambos son modelos polinomiales dependientes de la distancia focal, la cual es desconocida (Sánchez, 2004).

¹ ISPRS: *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*.

$$\delta = k_{B1} \cdot r(r^2 - r_0^2) + k_{B2} \cdot r(r^4 - r_0^4) \quad \text{Ecuación 5.4.}$$

$$\delta = k_{G1} \cdot r^3 + k_{G2} \cdot r^5 \quad \text{Ecuación 5.5.}$$

(Sánchez, 2004)

δ es la distorsión a lo largo del radio con origen en el punto principal y r_0 el valor escogido del radio en el cual la distorsión se anula, siendo este arbitrario, asumiendo que algún punto de la imagen coincide con su posición matemática. De este modo, el modelo “balanceado” obtiene una distorsión más suave.

Por ejemplo, el programa *Photodeler Scanner* utiliza el modelo Gaussiano, partiendo de parámetros aproximados obtenidos del Exif¹ de las fotografías o introducidos por el usuario. Para solucionar las incógnitas planteadas en el modelo, tanto este programa como el *Topcon Image Master* siguen la técnica propuesta por Zhang (Zhang, 1999), basada en la toma de una serie de fotografías a una plantilla plana, proporcionada por los propios programas, desde varias posiciones. La plantilla contiene una nube de puntos, en forma de cuadrícula, de la cual los programas hacen un reconocimiento automático. Con ella se establecen unas restricciones geométricas que se utilizarán en el cálculo. Esta técnica supone una gran ventaja respecto a otras anteriormente utilizadas como la aplicación de puntos de coordenadas reales conocidas mediante técnicas ajenas a la fotografía puesto que no es necesario conocer las posiciones de los puntos de la nube ni de las de la cámara.

Una vez hecha la calibración, ambos programas generan un fichero (*.cmr y *.cam) con la información de la misma que se utiliza para la posterior corrección y orientación interior de las fotografías pertenecientes al proyecto.

En este proyecto se están utilizando fotografías tomadas con la misma cámara y con un mismo objetivo (35mm). Sin embargo, al estar tomadas con una diferencia de unos dos años, es conveniente tener una calibración para cada fecha, con sus correspondientes valores. Cabe reseñar que estos programas no utilizan los mismos parámetros, por lo que es necesario bien realizar la calibración con el programa que se vaya a usar posteriormente o bien corregir directamente la fotografía como se explicará en el próximo apartado (5.5.4. Corrección de fotografías). Esto último ocurre con las fotografías tomadas en 2008, que no tienen una calibración procesada con *Image Master*, por lo que es necesario corregirlas antes de trabajar con ellas.

En la figura 5.18 se pueden ver los resultados obtenidos en una de las calibraciones, concretamente en la correspondiente a las fotografías de 2008, realizada en Febrero de 2009. Este desfase en el tiempo es debido a que los trabajos fotogramétricos no se realizaron con estos programas, así pues, se ha decidido utilizar la calibración más cercana.

¹ Exif: **Ex**changeable **I**mage **F**ile format, formato de fichero donde se guardan los metadatos de las fotografías digitales.

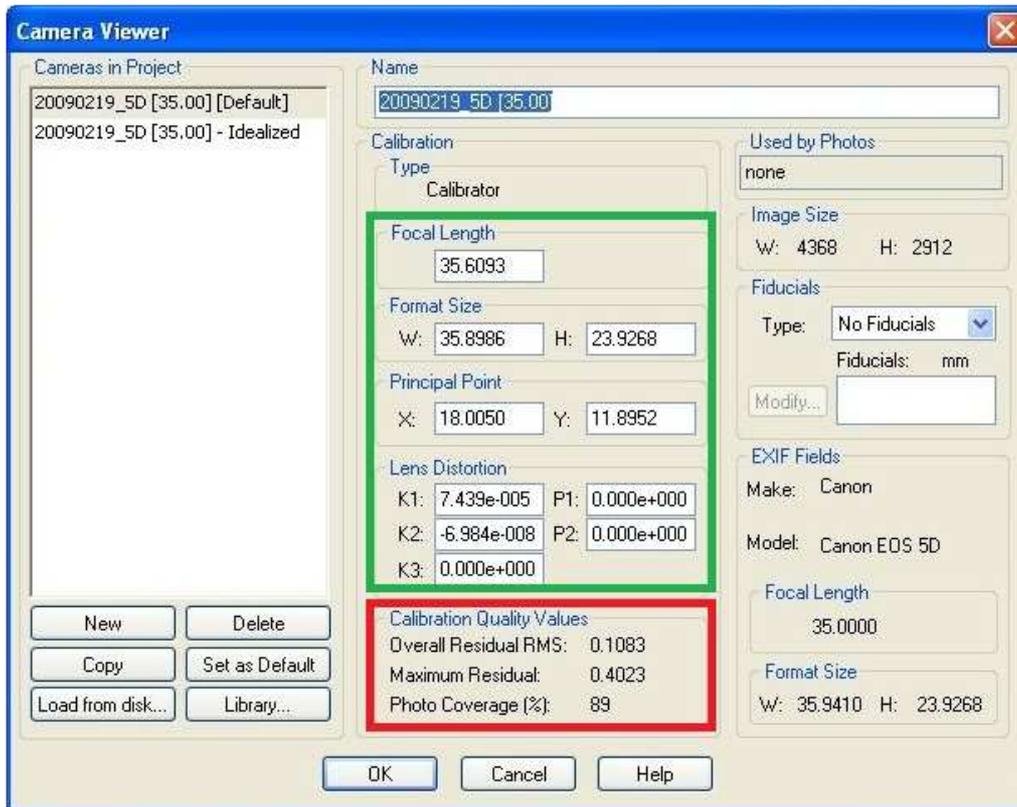


Figura 5.18. Imagen con los parámetros obtenidos en la calibración de *PhotoModeler* para las fotografías de 2008. En verde los parámetros para la orientación interna: focal, tamaño de la imagen, coordenadas del punto principal y parámetros de distorsión. En rojo los valores de calidad obtenidos por el programa.

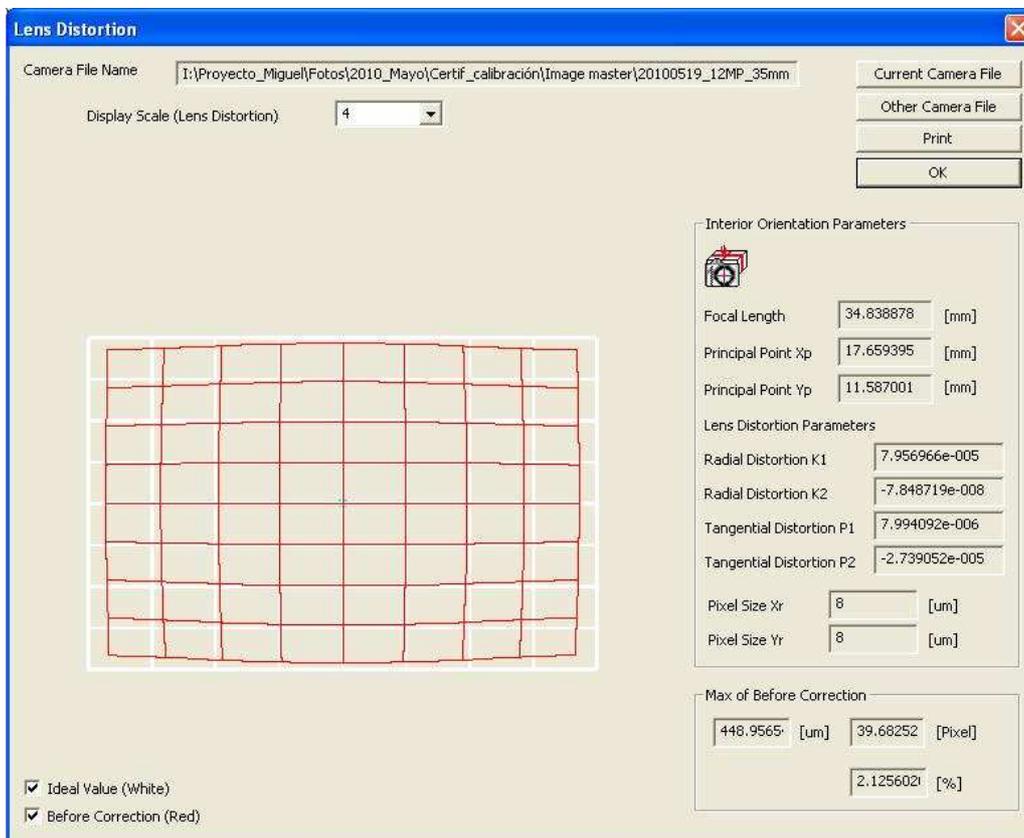


Figura 5.19. Captura con los resultados de una calibración con *Image Master*.

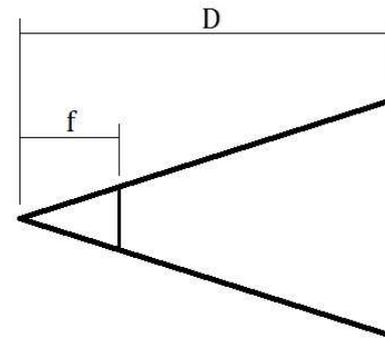
La exactitud de la calibración determinará posteriormente la precisión de las medidas que se realicen a partir de las imágenes. Es por este motivo imprescindible cuantificar el grado de afección sobre las fotografías. Seguidamente se calcula este grado correspondiente al residuo máximo de la calibración para las fotografías de 2008 en concreto.

Escala aproximada de las fotografías:

$$D = 4\text{m}$$

$$f = 35,6093$$

$$\frac{1}{e} = \frac{f}{D} = \frac{35,6093\text{mm}}{4000\text{mm}} \rightarrow E = \frac{1}{112}$$



Tamaño de los píxeles:

$$\frac{\text{mm}}{\text{píxeles}} = \frac{35,8986}{4368} = 0,0082\text{mm}$$

Diferencia máxima debida a la calibración a escala terreno:

$$R_{\text{máx}}(\text{mm}) = R_{\text{máx}}(\text{píxel}) * \text{TamañoPixel} = 0,0032\text{mm}$$

$$\frac{1}{e} = \frac{R_{\text{máx}}(\text{mm})}{R_c} \rightarrow R = R_{\text{máx}}(\text{mm}) * e = 0,4\text{mm}$$

$$R_c = 0,4\text{mm}$$

Viendo este valor R_c , residuo de la calibración, se asegura que éstas no repercuten significativamente en el trabajo. Si se analizan las calibraciones utilizadas en este proyecto se aprecia una precisión similar (no existe calibración con *Image Master* para las fotografías de 2008).

Fecha	Programa	Cámara	Focal (mm)	Escala aprox. foto	Residuo RMS ¹ (píxel)	Residuo máximo (píxel)	R _c (mm)
02-2009	<i>PhotoModeler</i>	EOS-5D 12mp	35	1:112	0,1083	0,4023	0,4
-	<i>Image Master</i>	EOS-5D 12mp	35	1:112	-	-	-
07-2009	<i>PhotoModeler</i>	EOS-5D 12mp	35	1:84	0,1854	0,7848	0,5
05-2010	<i>Image Master</i>	EOS-5D 12mp	35	1:84	0,1121	0,3363 ⁽²⁾	0,2

Tabla 5.3. Calibraciones utilizadas en este proyecto

5.5.4. CORRECCIÓN DE FOTOGRAFÍAS

En este punto ya se dispone de todos los datos para comenzar a generar el modelo: fotografías, calibración y apoyo. El primer paso consiste en realizar la orientación interna de las fotografías. En ella se corrige la distorsión y se refieren las coordenadas al punto principal.

¹ Residuo RMS: Raíz cuadrática media del residuo (**Root Mean Square**)

² Este valor no se ha obtenido directamente del programa de calibración. En su lugar, se ha determinado como 3 veces el RMS ($R_{\text{máx}} = 3 * \text{RMS}$) atendiendo a la probabilidad estadística.

Para esta corrección existen dos vías: (1) introducir las fotografías tal cual están tomadas en los programas fotogramétricos con el fichero de calibración correspondiente, siguiendo el método tradicional, o (2) corregir las fotografías en el programa de calibración, obteniendo unas imágenes transformadas libres de distorsión. Esta última opción tiene la ventaja de disponer unas imágenes útiles en ambos programas, con el único requerimiento de conocer la focal y las coordenadas del punto principal, que debería coincidir con el centro de la imagen ($X = n^{\circ} \text{ columnas}/2$; $Y = n^{\circ} \text{ filas}/2$).

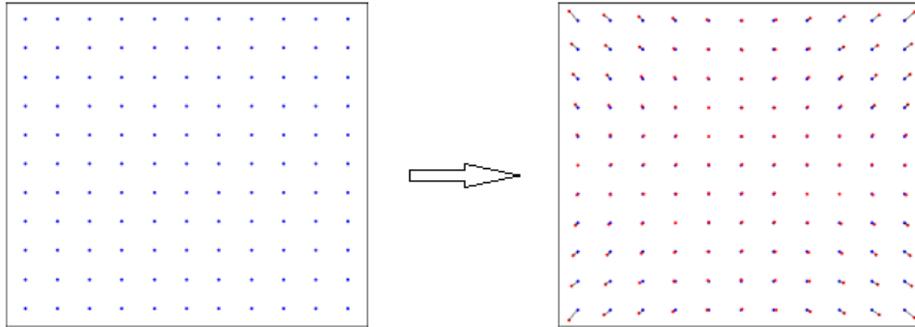


Figura 5.20. Efecto de la corrección de una imagen en toda su superficie, con las dimensiones aumentadas.

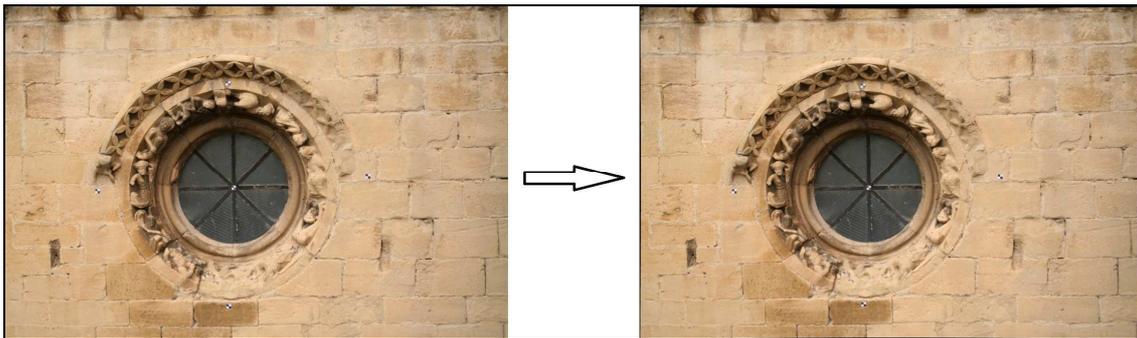


Figura 5.21. Imagen sin corregir (izq.) e imagen corregida (dcha.) mediante *PhotoModeler*.

En el anexo I.A se muestran los datos de las calibraciones utilizadas en este proyecto.

5.5.5. ORIENTACIÓN EXTERNA

En lo que respecta a la orientación externa, los dos software utilizados permiten realizarla en un solo paso. Es decir, la orientación relativa y la orientación absoluta se hacen conjuntamente, obteniendo directamente coordenadas en el sistema con el que están definidos los puntos de control. Una vez se han corregido las imágenes, se podría pensar que se vuelve a tratar con un modelo lineal. Sin embargo, la falta de exactitud en las coordenadas del apoyo complica esta linealidad, debiendo recurrir a operaciones de aproximación. Así pues, cuantos más puntos de control mayor (puntos con coordenadas) y menor (puntos de paso) se dispongan, más robusto será el sistema y mejor será la precisión de la orientación externa.

En la precisión de la orientación externa no solo influye el número de puntos, sino que existen otros factores tan importantes o más:

- **Número de puntos de control.**

Tanto *Image Master* como *PhotoModeler* piden un mínimo de seis puntos de apoyo para realizar la orientación. Hay que destacar también la obligatoriedad en *Image Master* de incluir al menos tres de coordenadas conocidas. A raíz de las pruebas realizadas se puede decir que el aumento de puntos marcados en las fotografías (en un rango de hasta 15 puntos por fotograma) no significa un incremento grande en la precisión de la orientación o lo que es lo mismo, un descenso de los residuos. Según los resultados presentados por *PhotoModeler*, la precisión de los puntos ronda los dos milímetros, quedando el residual máximo por debajo del píxel. (Anexo II).

- **Ubicación de los puntos.**

Es importante que los puntos seleccionados estén distribuidos por toda la superficie del objeto, procurando recubrir el mayor espacio posible. No obstante, los modelos de distorsión utilizados no garantizan una buena corrección en los bordes de las imágenes, por lo que tampoco es conveniente arrimarlos demasiado. Al mismo tiempo, en objetos con grandes diferencias de profundidades o planos, es aconsejable hacer una distribución de los puntos entre ellos, de modo que estén lo mejor definidos posible.

- **Calidad de la imagen.**

Otro de los aspectos importantes a la hora de determinar la precisión es la fotografía y el modo en el que se aprecia el apoyo (dianas). Esto está condicionado por la resolución y nitidez de las fotos. La resolución geométrica condiciona la apreciación mínima en la fotografía, por lo que es necesario haber asegurado en la planificación una resolución adecuada a las precisiones que se requieren. La nitidez, por su parte, viene dada por la pericia del fotógrafo y la calidad de la cámara. Estos factores juegan un papel importante no solo en la buena definición de las dianas, sino que también facilitan la labor de selección de puntos naturales si fueran necesarios.

- **Interpretación del operador**

Desde que existe la necesidad de marcar una serie de puntos sobre la fotografía, existe una interpretación del operador. Al igual que ocurre en un trabajo de restitución, la última decisión sobre dónde está el punto a marcar la tiene el operador. Esta interpretación, además de estar influenciada por la calidad de la imagen, depende también de los aumentos que se utilicen para visualizarla. La habilidad para realizar un buen marcado de puntos mejora con la experiencia.

- **Precisión de la medición topográfica del apoyo**

En ocasiones, cuando se ha utilizado un apoyo medido con técnicas externas (topografía), el valor de precisión que dan este tipo de programas es especialmente grande, mayor incluso que la precisión obtenida en dichas mediciones. Es necesario hacer un control de esta situación para evitar

resultados equivocados. En *Image Master* son necesarias unas coordenadas terreno de estos puntos, mientras que *PhotoModeler* es capaz de hacer la orientación en coordenadas relativas. Existe también una opción interesante mediante la que se define la precisión los puntos de apoyo introducidos, dando cierta holgura a la orientación sin forzar el ajuste a unas coordenadas que pueden tener error. Se ha probado que estas dos últimas opciones reducen en gran manera los residuos en la orientación (anexo II).

- **Geometría de los pares**

Como se ha mencionado antes, se está tratando con fotogrametría convergente. No obstante, un proceso que conlleve correlación automática siempre será más simple de completar con un modelo estereoscópico. Desde el punto de vista teórico, esto deriva en dos cosas. La primera, que el ángulo que forman las imágenes deberá tener un mínimo para que el punto de intersección de las rectas que pasan por los puntos homólogos se defina con la menor ambigüedad posible. Y la segunda, que habrá que facilitar la labor del correlado tomando unas imágenes sin grandes diferencias angulares.

En las fotografías de 2008 se encuentran visibles las cinco dianas con coordenadas conocidas utilizadas en su momento, para la mejor definición en la orientación se han utilizado algunos puntos naturales como puntos de paso. De manera que se consigue mayor precisión y, al mismo tiempo, se recubre mayor superficie.

Con las de 2010, como se ha mencionado anteriormente, ha habido un problema de recubrimiento en las fotos que ha afectado al número de puntos de apoyo (clavos) visibles en ellas. Así pues, han sido necesarios un mayor número de puntos de paso.

Point table - Quality															
Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	Photo Largest Residual	Photos	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightnes (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Control Name	Type	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.0127...	0.0129...	2	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	2.4638...	19.921...	yes	PA_B151	Control	1008.165...	1999.583...	506.442...
2	0.0050...	0.0057...	2	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	7.7885...	20.379...	yes	PA_B152	Control	1008.251...	2000.741...	505.380...
3	0.0055...	0.0056...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	2.0682...	18.713...	yes	PA_B153	Control	1008.758...	2000.716...	506.375...
4	0.0451...	0.0468...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	8.5194...	19.585...	yes	PA_B154	Control	1008.279...	2001.849...	506.350...
5	0.0823...	0.0859...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	0.0001...	20.729...	yes	PA_B157	Control	1008.212...	2000.726...	507.248...
6	0.0292...	0.0310...	1	1,2	0.0004...	0.0002...	0.0002...	5.4895...	17.636...	yes		Regular	1008.273...	2002.142...	507.560...
7	0.0287...	0.0287...	2	1,2	0.0004...	0.0002...	0.0002...	5.3255...	18.709...	yes		Regular	1008.133...	1999.156...	507.542...
8	0.0246...	0.0258...	1	1,2	0.0003...	0.0002...	0.0002...	4.4293...	18.527...	yes		Regular	1008.304...	2002.254...	505.666...
9	0.0199...	0.0202...	2	1,2	0.0003...	0.0002...	0.0002...	3.8609...	18.675...	yes		Regular	1008.196...	1999.410...	505.499...

Tabla 5.4. Resultados de la orientación en el control utilizado en el par de 2008 con *PhotoModeler*.

Orientation Results

Result List | Y-Parallax | Image Coordinates | **Calculated Coordinates** | Camera Locations | Ground Resolution

Standard Deviation [m] SX: 0.0003 SY: 0.0009 SZ: 0.0009

Maximum Residuals [m] DX: 0.0004 DY: 0.0012 DZ: 0.0014

Calculated Coordinates and Residuals Control Points : 5

Point Name	X [m]	Y [m]	Z [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
PA_B151	1008.1657	1999.5822	506.4422	-0.0003	-0.0008	0.0002
PA_B152	1008.2516	2000.7411	505.3798	-0.0004	0.0001	-0.0012
PA_B154	1008.2802	2001.8479	506.3506	0.0002	-0.0011	0.0006
PA_B157	1008.2124	2000.7266	507.2481	0.0004	0.0006	-0.0009
PP_1	1008.2786	2002.1375	507.5575			
PA_B153	1008.7581	2000.7182	506.3764	0.0001	0.0012	0.0014
PP_2	1008.1339	1999.0968	507.5480			
PP_3	1008.2012	1999.5799	505.5663			
PP_4	1008.3234	2002.4889	505.5027			

Tabla 5.5. Resultados de la orientación en el control utilizado en el par de 2008 con *Image Master*.

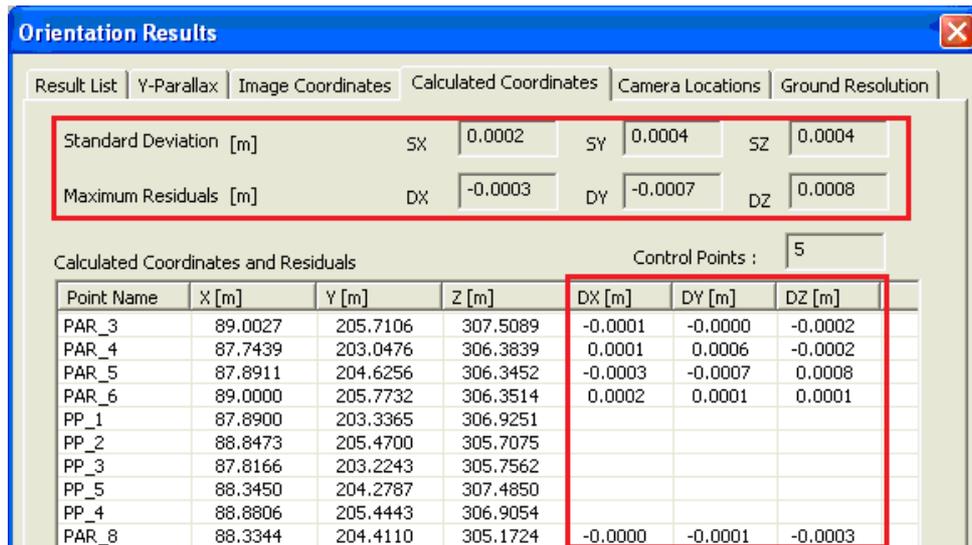
Table Windows

Point table - Quality

Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	Photos (used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tightness (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Type	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	n/a	n/a	3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	yes	Regular	n/a	n/a	n/a
2	0.2842...	0.3612...	3,4,6	0.0010...	0.0006...	0.0004...	0.0004...	15.127...	yes	Regular	1008.1...	1999.2...	507.53...
3	0.3888...	0.4965...	2,3,4,6	0.0007...	0.0003...	0.0001...	0.0005...	22.173...	yes	Regular	1008.2...	2002.2...	506.41...
4	0.3805...	0.5751...	1,2,3,4,6	0.0009...	0.0001...	0.0002...	0.0008...	22.704...	yes	Regular	1008.7...	2000.7...	506.37...
5	0.3861...	0.4740...	1,3,6	0.0008...	0.0005...	0.0001...	0.0005...	22.807...	yes	Regular	1008.1...	1999.2...	506.38...
6	n/a	n/a	2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	yes	Regular	n/a	n/a	n/a
7	0.4398...	0.4413...	1,2	0.0016...	0.0003...	0.0004...	0.0005...	11.936...	yes	Regular	1008.2...	2000.7...	505.20...
8	0.5547...	0.7924...	1,2,3,4,6	0.0008...	0.0002...	0.0002...	0.0007...	24.639...	yes	Regular	1008.2...	2001.9...	505.81...
9	0.6116...	0.8366...	1,2,3,4,6	0.0008...	0.0003...	0.0001...	0.0006...	22.494...	yes	Regular	1008.1...	1999.5...	505.74...
10	0.3839...	0.6052...	1,2,3,4,6	0.0006...	0.0002...	0.0002...	0.0005...	22.879...	yes	Regular	1008.2...	2002.1...	506.92...
11	0.1942...	0.2739...	2,3,4,6	0.0007...	0.0004...	0.0002...	0.0002...	19.803...	yes	Regular	1008.1...	1999.4...	507.03...
12	0.1784...	0.2160...	1,2,3,4,6	0.0006...	0.0004...	0.0001...	0.0002...	23.141...	yes	Regular	1008.1...	1999.2...	506.85...
13	0.2991...	0.3583...	3,4,6	0.0010...	0.0002...	0.0003...	0.0004...	15.619...	yes	Regular	1008.2...	2001.8...	507.29...
14	0.5533...	0.8631...	1,2,3,4,6	0.0007...	0.0001...	0.0002...	0.0010...	23.673...	yes	Regular	1008.5...	2001.1...	506.82...
15	0.3003...	0.4224...	1,2,3,4,6	0.0007...	0.0002...	0.0001...	0.0004...	23.482...	yes	Regular	1008.4...	2000.0...	506.42...
16	0.1948...	0.2664...	1,2,3,4,6	0.0008...	0.0001...	0.0002...	0.0002...	23.343...	yes	Regular	1008.5...	2000.7...	505.82...
17	0.1163...	0.1731...	1,2,3,4,6	0.0006...	0.0002...	0.0002...	0.0001...	25.717...	yes	Regular	1008.1...	2001.6...	506.84...
18	0.2184...	0.2813...	2,3,4,6	0.0007...	0.0004...	0.0002...	0.0002...	21.538...	yes	Regular	1008.0...	1999.8...	506.94...

Tabla 5.6. Resultados de la orientación en el control utilizado para los pares de 2010 con *PhotoModeler*.

En la anterior tabla (tabla 5.6.) se observa que han sido necesarios más puntos de control que en el resto de proyectos. Esto es debido al problema de recubrimiento antes mencionado.



Point Name	X [m]	Y [m]	Z [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
PAR_3	89.0027	205.7106	307.5089	-0.0001	-0.0000	-0.0002
PAR_4	87.7439	203.0476	306.3839	0.0001	0.0006	-0.0002
PAR_5	87.8911	204.6256	306.3452	-0.0003	-0.0007	0.0008
PAR_6	89.0000	205.7732	306.3514	0.0002	0.0001	0.0001
PP_1	87.8900	203.3365	306.9251			
PP_2	88.8473	205.4700	305.7075			
PP_3	87.8166	203.2243	305.7562			
PP_5	88.3450	204.2787	307.4850			
PP_4	88.8806	205.4443	306.9054			
PAR_8	88.3344	204.4110	305.1724	-0.0000	-0.0001	-0.0003

Tabla 5.7. Resultados de la orientación en el control utilizado para los pares de 2010 con *Image Master*.

Como añadido, una vez hechas las orientaciones, se pueden extraer datos como las posiciones de las cámaras en el momento de la toma o la geometría de los pares. Las siguientes capturas (tablas 5.8 y 5.9) son unos ejemplos de ello, correspondientes al trabajo realizado con *Image Master*.

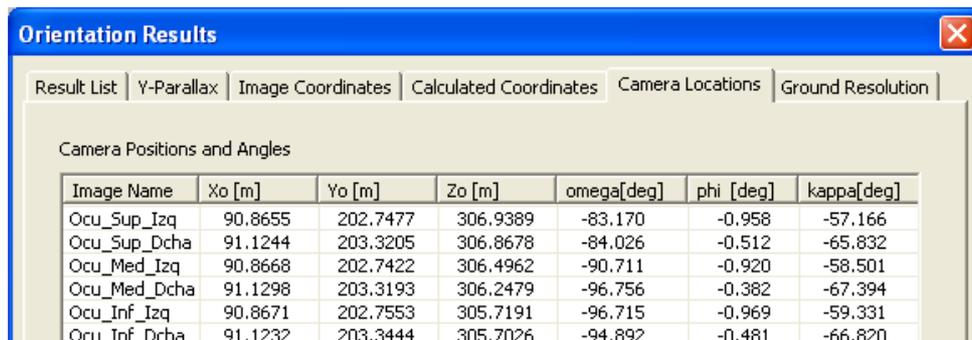


Image Name	Xo [m]	Yo [m]	Zo [m]	omega[deg]	phi [deg]	kappa[deg]
Ocu_Sup_Izq	90.8655	202.7477	306.9389	-83.170	-0.958	-57.166
Ocu_Sup_Dcha	91.1244	203.3205	306.8678	-84.026	-0.512	-65.832
Ocu_Med_Izq	90.8668	202.7422	306.4962	-90.711	-0.920	-58.501
Ocu_Med_Dcha	91.1298	203.3193	306.2479	-96.756	-0.382	-67.394
Ocu_Inf_Izq	90.8671	202.7553	305.7191	-96.715	-0.969	-59.331
Ocu_Inf_Dcha	91.1232	203.3444	305.7026	-94.892	-0.481	-66.820

Tabla 5.8. Posiciones de las cámaras en los trabajos de 2010, extraído de *Image Master*.



Pair Name	Base Length[m]	Height[m]	B/H Ratio	Plane Res[m]	Depth Res[m]
Ocu_Sup_Izq - Ocu_S...	0.6326	3.1238	0.20	0.0007	0.0035
Ocu_Med_Izq - Ocu_M...	0.6811	3.0440	0.22	0.0007	0.0031
Ocu_Inf_Izq - Ocu_Inf...	0.6426	3.1065	0.21	0.0007	0.0034

Tabla 5.9. Geometría de los pares de 2010 en *Image Master*.

En el estudio de la metodología es importante cuantificar el tiempo de ejecución de los trabajos. La orientación externa está dividida en dos partes: el marcado de los puntos de control y el cálculo de parámetros. Aun así, se trata de un proceso iterativo en el que es habitual remedir, añadir o quitar puntos en función de los resultados obtenidos.

Generalmente, el marcado de los puntos requiere más tiempo ya que el cálculo es instantáneo. No obstante, cada vez más aparecen algoritmos que facilitan el marcado e, incluso, lo automatizan. Entre ellos se pueden destacar la detección automática de dianas normalizadas, la detección de bordes, la visualización de líneas epipolares, etc.

En el caso del óculo, siendo éste un elemento con poco apoyo (alrededor de diez puntos) y pocas fotos, el tiempo de la orientación no ha llevado más de media hora.

	2 fotos	6 fotos
Tiempo (min.)	10	30

Tabla 5.10. Tiempo aproximado necesitado para la orientación.

5.5.6. GENERACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL

Siguiendo la metodología, una malla TIN con textura fotográfica como la que permiten obtener estos programas se puede considerar como el primer producto capacitado para dar información. Es decir, se trata de un elemento útil tanto para consultas geométricas o radiométricas (en el caso de haber utilizado las cartas de color antes mencionadas), como para exposición y divulgación. Los principios básicos para la generación del modelo son la correlación automática y la intersección de rectas. Sin embargo, antes de poder utilizarlo para estos fines, es totalmente necesario analizar el resultado y comprobar posibles deformaciones o vacíos de información. Cada programa tiene sus propias condiciones que varían el resultado que se obtiene. Por ello, se diferencian los modelos generados con ellos.

a) OBTENCIÓN POR *PHOTODELER*

El proceso a seguir en este programa está bastante estructurado, siendo necesario completar correctamente cada paso. En el momento de generar el modelo 3D, existe la posibilidad de crear nubes de puntos y mallarlas al mismo tiempo. Sin embargo, esta manera de intentar ahorrar tiempo no da ningún resultado, pues el ruido que aparece en los modelos es imposible de filtrar. Así pues, es conveniente generar en primer lugar una nube de puntos y, una vez filtrada, mallarla. El proceso no es complicado pero sí muy laborioso, como se verá a continuación.

Para generar una nube el programa pide unos parámetros de los cuales dependerá el resultado final. Estos parámetros se determinan en función de las características del objeto (morfología, textura, etc.), por lo que en ocasiones resulta difícil acertar con los adecuados. La razón principal es la descripción de los parámetros que, aun aportando una idea de sus funciones, no define suficientemente clara la influencia de variar los valores. Tampoco se da una idea previa del resultado que se obtendrá, haciendo necesario ordenar un proceso que puede durar horas sin garantías de un resultado aceptable. En definitiva, no se trata de una selección de parámetros intuitiva. Una decisión errónea en este paso tiene varias consecuencias como las que se muestran a

continuación. Éstas pueden alargar en gran medida el tiempo de edición posterior o, incluso, hacer inutilizable la nube de puntos.



Figura 5.21. Muestra de una nube densa generada por *PhotoModeler*. En azul, los vacíos dejados por los ocultamientos.

Ruido

Uno de los principales puntos negativos achacables al programa es el elevado nivel de ruido generado en todas las pruebas realizadas. A pesar de incorporar una opción de eliminar estos puntos aislados, no obtiene un resultado totalmente limpio. Existen dos tipos de ruido, el que se encuentra fuera de la zona de trabajo y, por tanto, fácil de eliminar, y el existente entre el objeto. Este último es el que conlleva un gran trabajo manual de filtrado, siendo en ocasiones extremadamente complicado.

En el caso del óculo (ver ejemplo en figura 5.21.), el lugar con mayor ruido es la ventana aunque ésta no ocasionaría mayor problema que el dificultar la apreciación del resto del modelo. El ruido que merece mayor atención es el existente sobre la estructura de piedra.

Vacíos de información

Observando el mismo ejemplo (figura 5.21.), se distinguen huecos en algunas zonas del óculo. Para darle una respuesta a este hecho hay que observar que destacan sobre todo en una parte en particular: la superior izquierda de la ventana. Este ejemplo se ha generado a partir de un solo par, el obtenido en los trabajos de 2008, por lo que es susceptible de sufrir ocultamientos, así que este será uno de las principales causas. Además, esta zona es particularmente sombría, con tonos más oscuros que el resto de la piedra, reduciendo la visibilidad y capacidad del programa para realizar la correlación.

A parte de la zona de sombra, citada también, aparecen otros huecos más pequeños. Se trata de los producidos por no verse el punto en las dos fotografías debido a ocultamientos. Este problema podría solucionarse haciendo un estudio para determinar los puntos de toma de las futuras fotografías y aumentando el número de las mismas, de modo que todos los puntos del objeto a representar sean visibles desde al menos dos imágenes.

Precisión

La determinación de la precisión mediante este programa, con los parámetros disponibles, ha sido complicada debido al reducido número de puntos con coordenadas conocidas con los que se contaba. Normalmente se ha trabajado utilizando todos los puntos de apoyo en la orientación. Esta forma de operar es el camino para obtener un modelo robusto, sin embargo, es interesante poder comprobar los resultados con unos puntos de control que no hayan intervenido en el cálculo y no conformarse con los valores de precisión dados por este tipo de programas.

Como solución se ha decidido orientar los pares en coordenadas relativas para, posteriormente, escalarlo, trasladarlo y girarlo con solo tres puntos. De esta manera se puede hacer una comprobación con puntos no utilizados en el cálculo. En las siguientes tablas se muestra el resultado.

	Coordenadas de referencia			Resultados <i>PhotoModeler</i>					
	X	Y	Z	Prec. X	Prec. Y	Prec. Z	X	Y	Z
TPAR_1	1008.274	2002.189	507.554	-	-	-	-	-	-
TPAR_2	1008.206	2000.779	507.691	-	-	-	-	-	-
TPAR_3	1008.139	1999.292	507.540	0.001	0.001	0.000	1008.140	1999.297	507.533
TPAR_4	1008.295	2002.234	506.415	0.001	0.000	0.000	1008.290	2002.230	506.415
TPAR_5	1008.757	2000.717	506.375	0.001	0.000	0.000	1008.748	2000.720	506.377
TPAR_6	1008.166	1999.236	506.382	0.001	0.001	0.000	1008.170	1999.240	506.382
TPAR_7	1008.316	2002.266	505.205	-	-	-	-	-	-
TPAR_8	1008.265	2000.748	505.203	0.002	0.000	0.000	1008.269	2000.749	505.208
TPAR_9	1008.209	1999.300	505.223	-	-	-	-	-	-

Tabla 5.11. Coordenadas de referencia (medidas con ET) y coordenadas calculadas por *PhotoModeler*.

	Diferencia de coord.			
	dX	dY	dZ	dDG
TPAR_1	-	-	-	-
TPAR_2	-	-	-	-
TPAR_3	0.001	0.004	-0.007	0.008
TPAR_4	-0.005	-0.004	0.000	0.007
TPAR_5	-0.009	0.003	0.002	0.010
TPAR_6	0.005	0.004	0.000	0.006
TPAR_7	-	-	-	-
TPAR_8	0.003	0.001	0.005	0.006
TPAR_9	-	-	-	-

Tabla 5.12. Diferencia de las coordenadas.

Viendo la diferencia calculada (Coordenadas *PhotoModeler* – Coordenadas referencia) y la precisión que muestra el programa se puede dudar de la fiabilidad de estos últimos los valores. Si tenemos en cuenta que las coordenadas de referencia tienen cierta ambigüedad debido a que son medidas realizadas por estación total, es lógico indicársela al programa, dándole así una holgura para hacer el cálculo. Como resultados, lo que *PhotoModeler* muestra son los residuos de las coordenadas obtenidas por el cálculo, siendo comprensibles los resultados obtenidos.

En este caso, a las diferencias calculadas respecto a las coordenadas de referencia (d_{PM}) se les acumula (ecuación 5.6.) el margen de error de éstas (e_A), el cual se ha determinado como $0,5\text{cm}^1$. De esta manera se obtiene la precisión estimada del modelo (σ_{PM}).

$$\sigma_{PM} = \sqrt{e_A^2 + d_{PM}^2} = \sqrt{0,005^2 + 0,010^2} = 0,011m \quad \text{Ecuación 5.6.}$$

Tiempo

El tiempo que necesita *PhotoModeler* para generar una malla es muy variable. En este aspecto entran en juego tanto los parámetros introducidos como las prestaciones del ordenador². En el anexo II se muestra un pequeño estudio realizado introduciendo diferentes parámetros con un mismo objeto. Para generar los modelos finales del óculo con una densidad de 3mm han sido necesarias entre tres y cuatro horas.

¹ Este valor es variable en función del tipo de medición que se haya realizado. En este caso, el apoyo está medido con una estación total Leica 1205 mediante el método de radiación. Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del instrumento (anexo I) y que no es necesaria la referenciación a otras redes, se considera que la precisión de la geometría interna de este apoyo es coherente con el valor establecido.

² La estación de trabajo utilizada en este proyecto tiene las siguientes características técnicas: Intel(R) Xeon(R) CPU, 2.27GHz, 2.93 GB de RAM, con sistema operativo Microsoft Windows XP.

b) OBTENCIÓN POR *IMAGE MASTER*

Image Master, al contrario que *PhotoModeler*, no da la posibilidad de crear una nube de puntos, sino que genera directamente una superficie en forma de TIN.

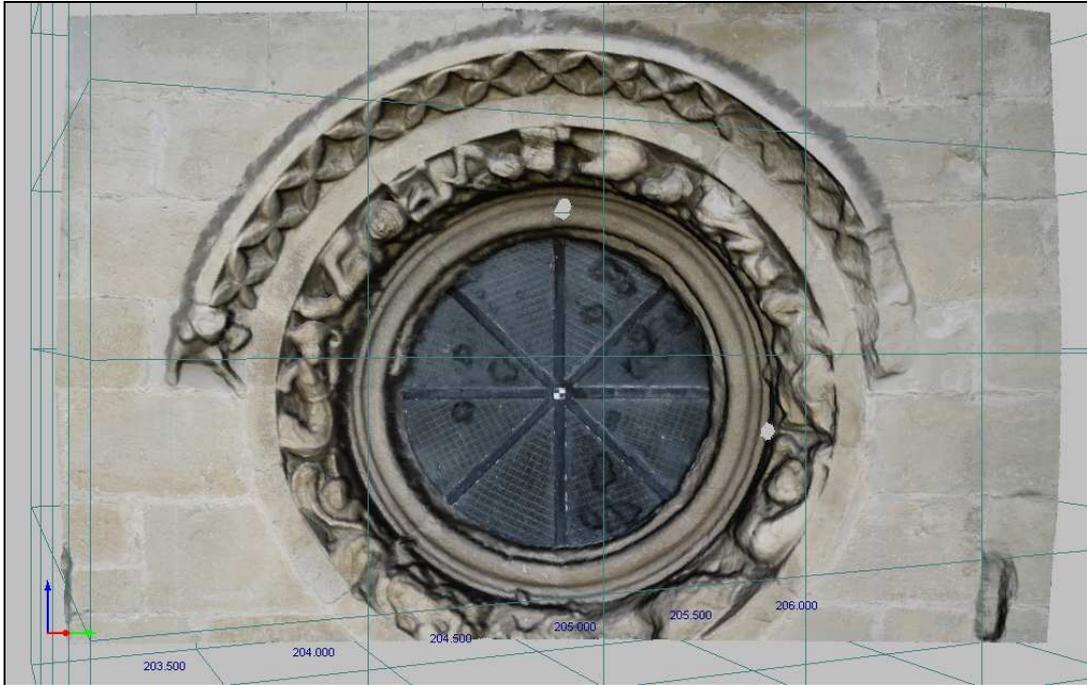


Figura 5.22. Malla con textura fotográfica generada automáticamente por *Image Master*.

Deformaciones en la malla

Analizando la malla obtenida con *Image Master* (figura 5.22) se han encontrado una serie de errores, de los que se estudian sus diferentes fuentes.

- **Abultamientos**

Empezando con lo que más puede llamar la atención: las marcas y sombras sobre el cristal de la ventana. Es posible acercarse más y, al mismo tiempo, girar el modelo para ver de que se trata de unos destacados abultamientos sobre el plano que debería ser una ventana (figura 5.23.), por lo que no es aceptable el resultado. Además de estos “bollos”, desde esta vista es muy apreciable también que toda la ventana ha tomado forma ondulada, con continuos montículos. La realidad del elemento sí que tiene esta apariencia, pero no se puede determinar si el grado de la ondulación es igual.

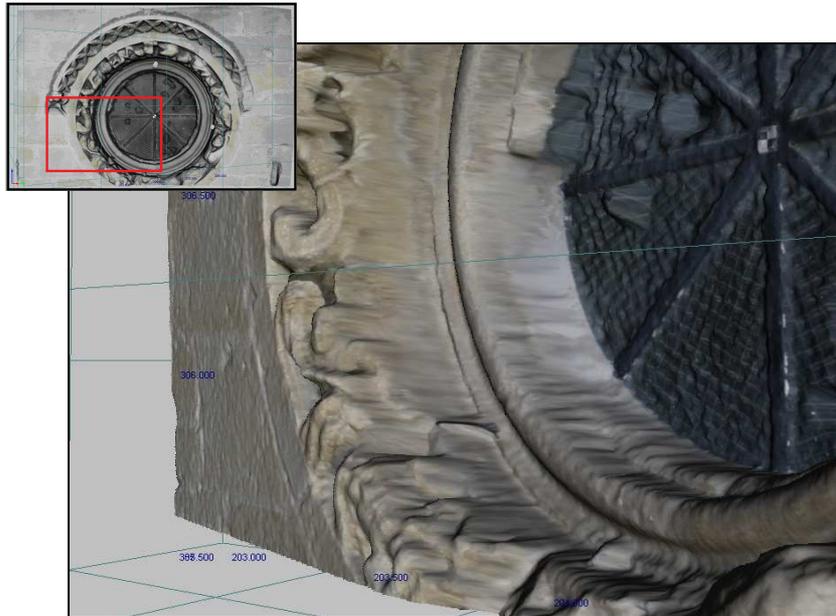


Figura 5.23. Imagen en detalle de la ventana.

Este contratiempo sería peligroso si se extendiese por todo el modelo, si actuara igual sobre todas las superficies. Esto no es así, por lo que para descubrir la causa el primer paso es analizar las diferencias entre este tipo de superficie y el resto. Las características principales de la ventana son las siguientes:

- La **superficie** es **ligeramente ondulada** de por sí. A pesar de no llegar al nivel de ondulación del modelo, es un punto de partida para explicar el resultado obtenido.
 - **Tonalidad oscura.** El color oscuro de la ventana dificulta la diferenciación de los puntos homólogos. En contraposición a esto encontramos que la estructura metálica de la ventana, la cual es aún más oscura, esta bien definida en el modelo. Por tanto no se puede tomar la tonalidad de la imagen como definitiva a la hora de determinar el origen de los errores.
 - **Textura repetitiva.** La cristalera presenta una cuadrícula igual en toda su extensión, así que es posible que haya errores al relacionar el mismo punto en las diferentes imágenes.
- **Ocultamientos**
Los ocultamientos se dan al producirse el efecto perspectivo desde el punto de vista de la toma fotográfica, en definitiva, al tratarse de una proyección cónica. Es un problema corriente en fotogrametría. Es imposible encontrar dos puntos homólogos en dos fotografías si en una de ellas directamente no existe. Por lo tanto, es algo con lo que se cuenta al principio de cualquier proyecto de este estilo, en las que las fotografías son la base. Es importante realizar una buena planificación para evitar los ocultamientos en la medida de lo posible. Pero es imposible lograrlo en su totalidad. Más aún cuando se

trata de elementos irregulares, con continuas formas y figuras en relieve, como es el caso.

Sin embargo, existen formas de actuar frente a estos ocultamientos. La de *Image Master* no es la más adecuada. El programa, una vez calcula y determina toda la nube de puntos, procede a crear la malla triangular directamente sobre ellos, sin analizar previamente posibles zonas de riesgo, es decir, zonas en las que la superficie no este fielmente representada por falta de puntos, dejando espacios vacíos. Esto provoca que se formen superficies irreales que habrá que eliminar. Este problema se puede apreciar perfectamente en la visera del rosetón (figura 5.24.) o en la hendidura de la parte inferior derecha del mismo (figura 5.25).



Figura 5.24. Imagen en detalle de la visera del rosetón.



Figura 5.25. Imagen en detalle de la hendidura de la parte inferior derecha del rosetón.

En las imágenes se compara la malla generada con *Image Master* con una fotografía real. Como se observa, el programa une las superficies situadas a dos niveles diferentes mediante un plano inclinado que nada tiene que ver con la realidad. En la visera, la parte exterior se “abre” demasiado, mientras que en la hendidura, se ve como la pared interior izquierda no está tan perpendicular a la fachada como debiera. Estos casos son otro ejemplo claro de deficiencias que hay que eliminar.

Con relación a los ocultamientos, sin llegar a crear superficies tan exageradas, también se pueden incluir consecuencias como obtener triángulos demasiado agudos. Debido a ellos puede haber una mala

definición de las esquinas, que provoca que la textura fotográfica de la malla no coincida con la forma.

- **Ondulamiento de superficies planas.**

Hay que destacar el efecto que se produce en las zonas con escasa diferencia de profundidad. En la figura 5.26 se observa como la superficie tiene numerosas y pequeñas hendiduras. Algunas de ellas, las más grandes, corresponden a hendiduras reales de la pared en las juntas de las piedras o producidas por golpes. Preocupan más los hoyos existentes en las piedras, que no se ha podido determinar si existen en realidad o vienen producidos por problemas al generar el modelo.

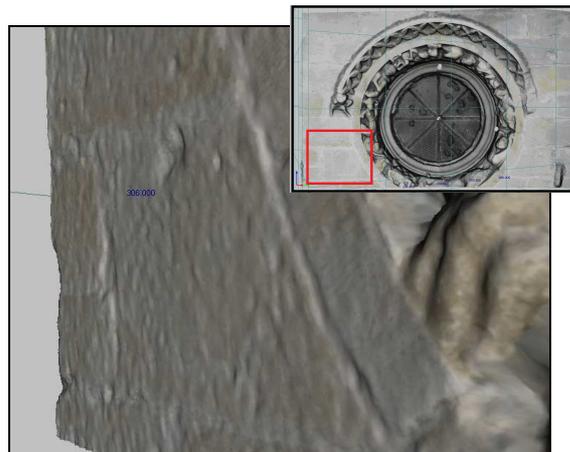


Figura 5.26. Imagen de detalle de la pared.

- **Objetos con morfología discordante.**

Por último, se incluyen en este grupo los objetos que, por alguna causa, no forman parte del grueso del elemento a documentar y provocan fallos en la generación del modelo. Sus principales causas son su reducido tamaño, sus cambios bruscos de forma, etc. Entre ellos están las piedras sueltas o clavos incrustados sobre el elemento, como el que se aprecia en la figura 5.27.



Figura 5.27. Imagen cercana a un clavo incrustado en el rosetón.

A modo de resumen de las deformaciones encontradas tras el análisis se presenta la siguiente tabla (tabla 5.13).

Errores	Causa	Ejemplo
Ondulamiento de superficie. Abultamientos.	¿Textura repetitiva?	Cristalera. Sillares de la fachada.
Superficies irreales.	Ocultamientos	Visera del rosetón. Hendidura en la pared.
Triángulos muy agudos. Textura degradada.	Ocultamientos	Junta de la ventana con la piedra.
Superficies irreales	Objetos discordantes	Clavos incrustados.

Tabla 5.13. Resumen de deformaciones encontradas en una malla generada por *Image Master*.

Precisión

Al igual que ocurría con *PhotoModeler*, el apoyo disponible es escaso para poder realizar una comprobación de la precisión conseguida con la cual comparar la mostrada por el programa. Admitiendo que se trata de trabajos diferentes y, en consecuencia, no pueden ser tomados como referencias exactas, se ha optado por incluir estudios desarrollados en proyectos que se están realizando en el LDGP paralelamente al presente. Estos estudios, llevados a cabo por los alumnos Gkintzou e Ibáñez de Elejalde¹, se encuentran localizados en el Monasterio de San Prudencio (La Rioja). Los modelos utilizados en ellos son de morfología compleja, por lo que dan una aproximación de las precisiones que se tienen en Laguardia.

	Puntos usados en la orientación	Puntos no usados en la orientación
Número	107	40
dDG medio	0.007m	0.010m

Tabla 5.14. Promedios de la diferencia entre las coordenadas de puntos de control y sus homólogos en los modelos (Gkintzou e Ibáñez de Elejalde, 2011).

Recordando la tabla de resultados de orientaciones mostrado en el apartado 5.5.5 y comparando con las precisiones obtenidas con un programa similar como es *PhotoModeler*, se puede decir que son unos valores coherentes y previstos en este caso.

Del mismo modo que se ha hecho anteriormente, a estos valores se les acumulará la ambigüedad de las mediciones del apoyo.

$$\sigma_{IM} = \sqrt{e_A^2 + d_{IM}^2} = \sqrt{0,005^2 + 0,010^2} = 0,011m \quad \text{Ecuación 5.7.}$$

Tiempo

El tiempo de procesado es algo menor que con *PhotoModeler*. Concretamente, para la generación de mallas similares de 3mm han sido necesarias entre dos y tres horas.

¹ Alumnos de las universidades National Technical University of Athens (NTUA) y Universidad del País Vasco (UPV-EHU), respectivamente.

c) FILTRADO DEL MODELO

Con todo ello, a la vista queda la necesidad de realizar un filtrado de estas mallas o nubes de puntos, eliminando cualquier zona que no represente correctamente la realidad. Como es sabido, estos ficheros generados contienen dos tipos de datos, la información geométrica y el color RGB de cada punto. Apoyándose en ellos se podría complementar la filtración manual.

- **Filtrado por geometría:** Además de los puntos exteriores al área de estudio que se puede delimitar con las coordenadas extremas en los ejes, es posible limpiar una superficie con definición matemática (plano, esfera, cilindro, etc.). Para ello solo es necesario determinar esta definición con sus parámetros (plano \rightarrow 3 puntos; esfera \rightarrow centro y radio; cilindro \rightarrow centro de la base, radio y altura, por ejemplo) o, incluso, estos parámetros se pueden obtener con algoritmos estadísticos más desarrollados a partir de la nube de puntos. Este procedimiento tiene el problema de suponer que el objeto se adapta a la superficie, creando modelos irreales. Sin embargo, si se define un rango de incertidumbre, es posible eliminar la mayoría del ruido conservando las irregularidades propias del objeto.

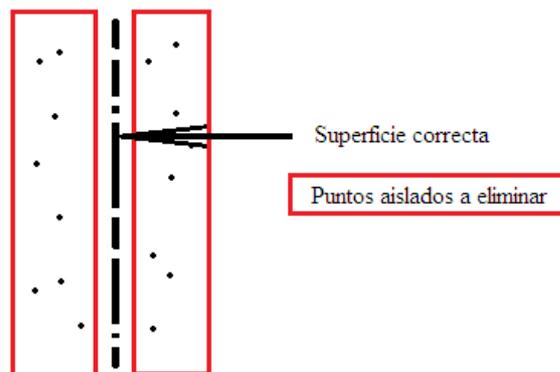


Figura 5.28. Perfil de una superficie plana con ruido.

- **Filtrado por radiometría:** En el caso del óculo de Laguardia existe un factor, ya mencionado, que puede ser de gran ayuda para realizar el filtrado de ruido. No es otro que la diferenciación de color entre la piedra y la ventana, siendo las primeras de color claro y la segunda de tonos oscuros, así que se podría descomponer la nube por el RGB, quedando separadas ambas superficies. Este método puede ser aplicado en casos en los que no interesen puntos de un determinado color o rango de colores.

Cualquier software informático utilizado durante este proyecto permite realizar fácilmente un filtrado manual, seleccionando los puntos o triángulos no deseados y eliminándolos. Para seleccionarlos se puede escoger la opción de seleccionarlos de uno en uno o, si se quiere una mayor rapidez, escoger un área de cualquier tamaño.

La imagen 5.29 muestra el resultado de dos procesos de filtrado manual con *Image Master*. A la izquierda el obtenido de los datos de 2008, con un único par. A la derecha, el modelo resultante de las fotografías de 2010. En ellas se aprecia como el operador ha eliminado las partes mencionadas anteriormente, como son la parte exterior de la visera, las zonas ocultas o la zona que rodea los clavos. La cristalera se ha dejado ya que, de momento, no se hará uso métrico de ella y, al no tener los bultos encontrados en otras mallas, sirve como presentación. Observando estas imágenes una al lado de la otra es claramente comprobable también la reducción de ocultamientos gracias a la decisión tomada de aumentar el número de fotografías.

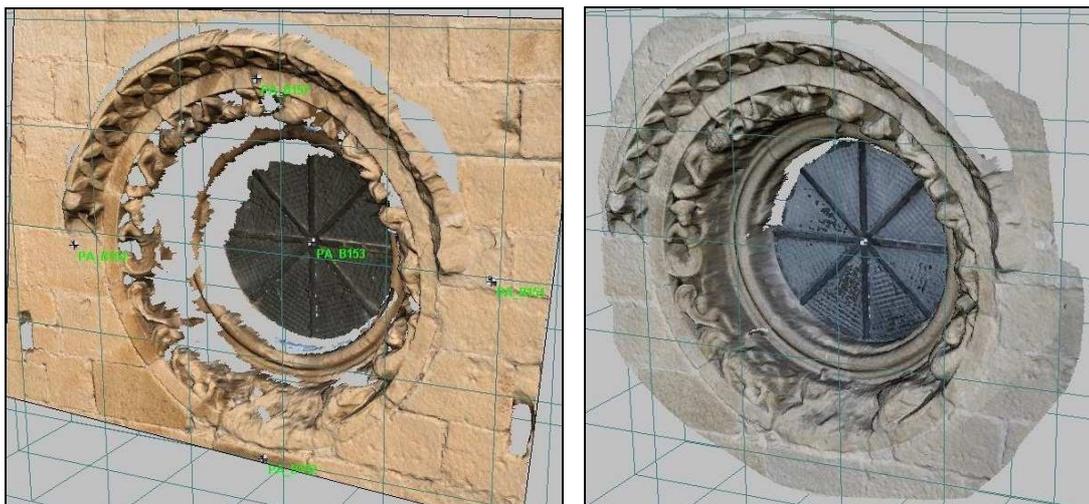


Figura 5.29. Mallas correspondientes a las fotografías de 2008 (izq.) y 2010 (dcha.) después del filtrado.

Al realizar este filtrado, sin embargo, se corre el peligro de eliminar tantas zonas que dejen el modelo incompleto. Es por ello importante obtener tantos pares como sea necesario, con el fin de conseguir que lo que se elimine en una malla, se complete con otra.

El filtrado manual es un trabajo delicado. En ocasiones, por la complejidad de la figura, es posible que el tiempo que se debe invertir en él sea superior al de la generación de la nube o malla. El óculo de la Iglesia de San Juan ha requerido entre una y dos horas de trabajo.

d) UNIÓN DE MALLAS

En este punto encontramos uno de los grandes problemas en todo el proceso. Después del proceso de filtrado, las mallas no recubren la totalidad del elemento de estudio. Generalmente, es necesario completar estos modelos. Para ello, en teoría, hay dos caminos por los que resolver este problema:

1. Generar una malla a partir de varios pares.
2. Generar una malla por cada par fotogramétrico, filtrar y, finalmente, juntarlas.

En un principio, lo lógico sería utilizar la primera vía, ya que conlleva menos acumulación de errores y los ocultamientos son menores por lo que necesitaría un menor tiempo de filtrado, pudiendo llegar a completarse el modelo con una sola malla. Sin embargo, los programas utilizados no dan el resultado deseado, dejando problemas como:

- **Image Master (vía 1):**
 - Saltos de plano en algunas zonas (figura 5.20), puede ser debido a un problema de orientación.
- **PhotoModeler (vía 1):**
 - Sigue siendo una nube de puntos, requiere un mallado posterior.
 - No se ve claramente cuando se ha eliminado completamente el ruido, por lo que no da excesiva confianza).

Por el otro camino, en el proceso de juntar las mallas para que se forme un solo elemento, los resultados también presentan algunos problemas, que varían según el programa:

- **Image Master (vía 2):**
 - Largo proceso en el que compara cada malla con cada una de las demás. Esto es particularmente problemático cuando el modelo está compuesto por tres o más mallas. El tiempo para su cálculo llega hasta dos horas por par de mallas que se quieren unir.
 - Se unen extremos opuestos del óculo mediante triángulos muy agudos.
 - Se pierde la textura fotográfica.
- **PhotoModeler (vía 2):**
 - Mismos problemas que con el anterior método (vía 1).

Vistos los modelos obtenidos, se decide por utilizar otro programa comercial, *Rapidform XOS3*, para unir las mallas y nubes y comparar el resultado con los anteriores. Éste es un programa de tratamiento de mallas y nubes de puntos, en definitiva, de modelos 3D, con gran variedad de funciones.

En este momento que se comienza a trabajar con más de una aplicación informática a la vez es importante tener presente la compatibilidad de formatos, es decir, el programa destino (*Rapidform*) debe ser capaz de leer el archivo generado por el programa origen (*Image Master* o *PhotoModeler*). De la misma forma, una vez hecho el correspondiente trabajo en el programa destino, hay que tener en cuenta si hay necesidad o no de extraer los datos generados de nuevo. Por supuesto, tampoco hay que olvidar que cada formato de archivo puede contener un tipo de información diferente. Por ejemplo, el conocido formato de intercambio DXF es capaz de almacenar cualquier tipo de estructura alámbrica, incluyendo los triángulos que forman una malla, sin embargo, no es posible conservar las texturas fotográficas, algo que limita las

posibilidades del trabajo. Con todo, es imprescindible conocer qué formatos sirven para los objetivos planteados sin perder la información necesaria y, después, verificar su disponibilidad en los programas.

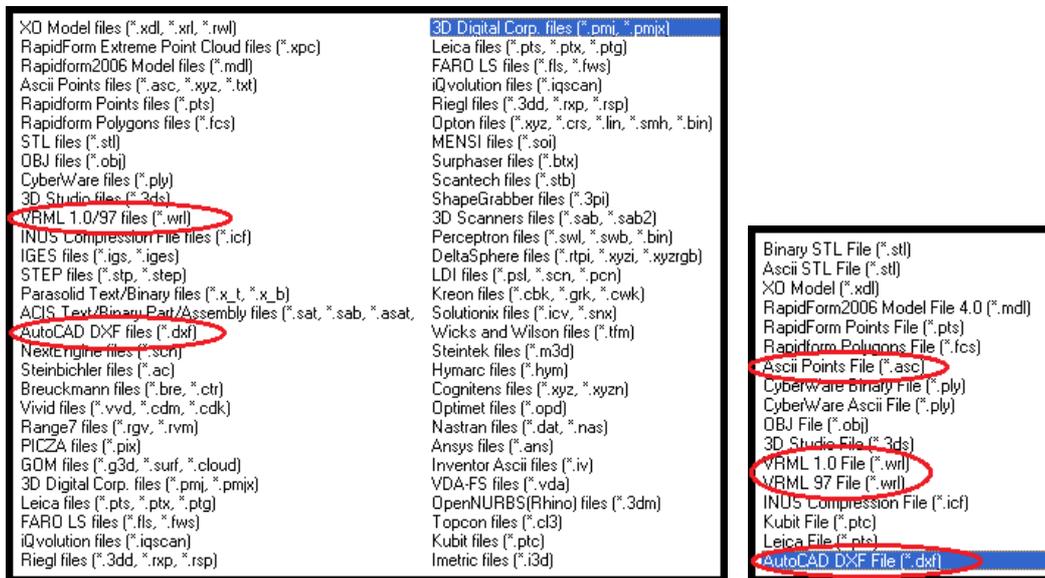


Figura 5.30. Formatos aceptados por Rapidform, importables (izq.) y exportables (dcha).

El primer paso para trabajar con Rapidform es, como se ha dicho, comprobar el tipo de ficheros que acepta y buscar compatibilidades con los programas anteriores. En los listados de la figura 5.30 se han marcado los más comunes, que son los utilizados durante el proyecto: VRML, DXF y ficheros ASCII.

e) ELECCIÓN DEL MODELO MÁS ADECUADO

Hasta ahora se han visto las mallas y nubes de puntos que se pueden obtener gracias a estos programas. Todas ellas tienen sus ventajas como desventajas, las cuales hay que valorar para seguir adelante con el trabajo utilizando una sola de ellas.

	PhotoModeler	Image Master
Nube de puntos	Sí	No
Mallado	Sí	Sí
Tiempo de procesado	3-4h + 1h (filtrado)	2-3h + 1h (filtrado)
Nivel de ruido	Alto	Medio
Tiempo de filtrado	1-2h	1h
Precisión	1cm	1cm
Formatos importables	dxf, txt, obj, 3ds, stl, ply, byu, iv, facet	txt, csv, pts, ptx, dxf, clr, tin,...
Formatos exportables	txt, stl, ply, byu, iv, facet	dxf, vrml, tin, ...
¿Permite alámbrico?	Sí	Sí
¿Permite ortofoto?	Sí	Sí
Otros	Video-animación 3D	-

Tabla 5.15. Factores importantes a la hora de elegir un modelo.

En este caso se otorga más importancia a la limpieza del modelo y a la compatibilidad del mismo al intentar importarlo en otros programas como puede ser *Rapidform*. Los productos generados por *PhotoModeler* requieren mayor tiempo de edición para eliminar los errores y el ruido. Así pues, se opta por las mallas generadas por *Image Master*.

5.5.7. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS

Las mallas generadas son un elemento superficial que representa geoméricamente al objeto en un momento determinado. Como se ha explicado, el tiempo influye en él y, fundamentalmente, en su forma, ya sea por causas naturales o artificiales, por lo que, si se comparan dos mallas generadas en dos fechas diferentes es posible evaluar los cambios que haya podido sufrir.

En el desarrollo del proyecto se han utilizado varios programas informáticos. De ellos dos, *PhotoModeler* e *Image Master*, están enfocados a la generación de modelos y tratamiento o dibujo sobre ellos, mientras que *Rapidform* en principio sí permite realizar comparaciones entre dos diferentes. El programa pide una malla de referencia y otras como elemento a comparar. Como resultado se obtiene una imagen de las mallas coloreadas en función de la distancia entre ellas con la paleta de colores que el usuario elija. Este documento sería de mucha utilidad y, quizás, el que supondría haber encontrado la solución al problema planteado en este trabajo, si no fuera porque la versión disponible del programa no da opción a guardarlo.

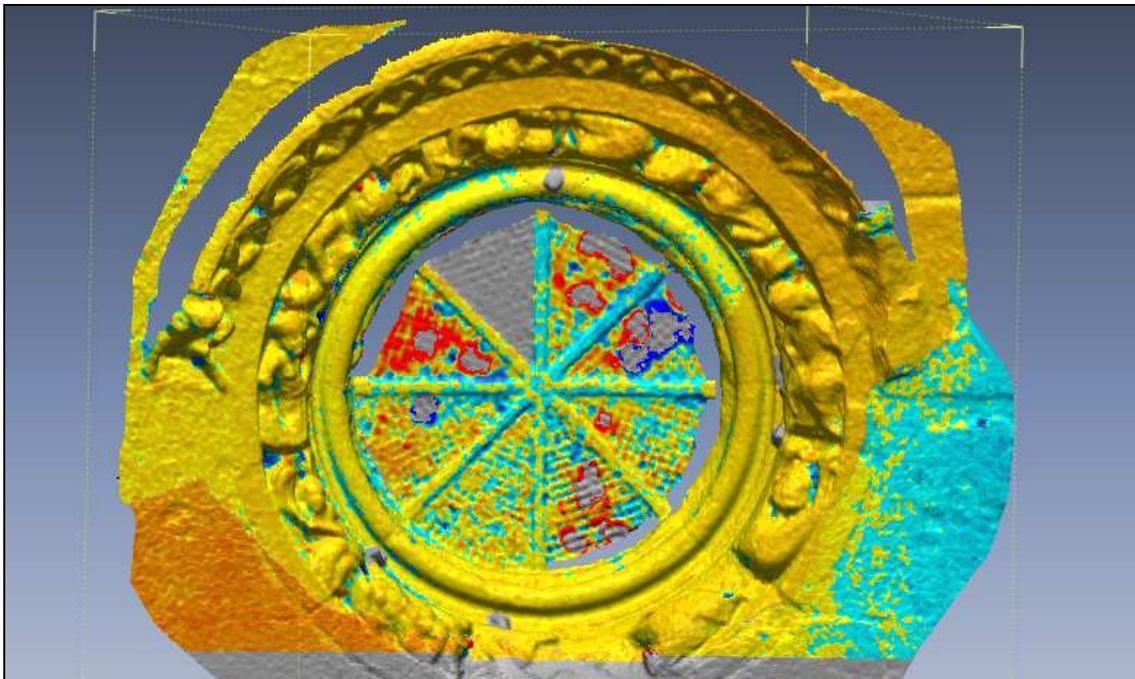


Figura 5.31. Captura de pantalla de la comparación de mallas en Rapidform.

Las ventajas que este documento aportaría son las siguientes:

- El elemento seguiría siendo un modelo tridimensional.
- La posibilidad de girar el punto de vista para facilitar la comprensión de la figura.
- Se mantendría el sistema de referencia utilizado durante todo el trabajo. Además de poder transformar el modelo a otro sistema mediante puntos de apoyo.
- Poder variar en cualquier momento y para cualquier elemento la paleta de colores con el fin de mejorar la distinción de las distancias.
- Conocer el valor de la precisión calculada por el programa para el resultado mostrado.
- El método de cálculo de distancias entre mallas no está limitado por ningún punto de vista, por lo que podría analizar figuras con planos perpendiculares entre sí sin problema aparente.

Sin embargo, el hecho de no poder guardar el documento, y tener la limitación de una captura de pantalla, hace que la mayoría de estas ventajas se disipen. Quedaría un fichero de imagen ráster, con un punto de vista determinado. En caso de poder reconocer puntos de apoyo en la imagen cabría la posibilidad de rectificar estas imágenes de alguna manera para conseguir acercarse a una fiabilidad y precisión necesarias desde el punto de vista geométrico.

Así pues, se ha optado por desarrollar otra vía. Tomar mallas de épocas distintas y, a partir de ellas, crear unas imágenes métricas coloreadas según el resultado de una comparación geométrica. De éstas se conocerán de primera mano los sistemas de referencia que se utilizan, dónde se pierde precisión y la cuantía de esta pérdida. Evidentemente una imagen de este estilo puede no ser el producto perfecto, aun así, si se lleva un buen control de ella, se podría tomar incluso como un producto similar a una ortofotografía. En el apartado 5.7. se explica todo el proceso planteado y cómo se ha abordado.

5.6. OTROS PRODUCTOS SUSCEPTIBLES DE COMPARACIÓN SIGUIENDO LA METODOLOGÍA

5.6.1. MODELO ALÁMBRICO TRIDIMENSIONAL

En fotogrametría, el proceso para generar un modelo digital del terreno siempre ha requerido de la restitución de las líneas de rotura mediante el posado. Sin embargo, los programas que se tratan en este proyecto dan la posibilidad de dibujar estas líneas tanto al modo tradicional -bien por visión estereoscópica o bien por identificación de los puntos homólogos en las fotografías de un mismo par- como por interpolación sobre el modelo, una vez generado éste. Esto es posible gracias al gran avance que han supuesto estas plataformas en las técnicas de correlación automática.

Las ventajas que otorga este segundo método son (1) que evita el laborioso trabajo de posado (con visión estereoscópica) o de determinación de los puntos homólogos en dos fotografías, ya sea manual o semi-automáticamente (posibilidad de estos programas), y (2) que tiene una visibilidad clara de la forma tridimensional del objeto, agilizando sobremanera el proceso de dibujo. En contraposición a esto, se debe tener especial cuidado en la generación y filtrado del modelo puesto que cualquier fallo se traspasa al dibujo.

A continuación se muestra el modelo alámbrico resultado de dibujar sobre una malla generada anteriormente.

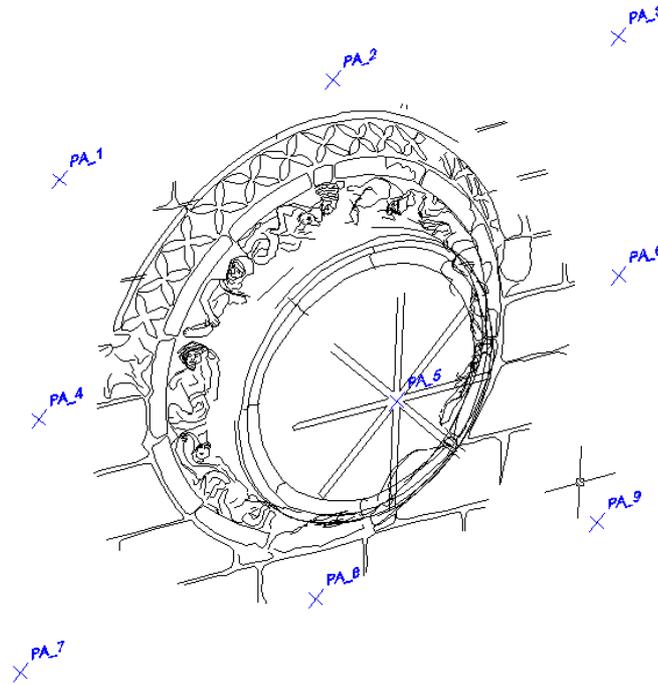


Figura 5.32. Dibujo realizado sobre la malla.

5.6.2. SECCIONES

Otra de las posibilidades de estos programas es la generación automática de secciones, también llamadas líneas de contorno en algunos casos. La definición de éstas puede considerarse equivalente a las curvas de nivel de los mapas topográficos si consideramos que las líneas son paralelas a un plano de referencia que se haya elegido.

Aunque no son un producto superficial, las secciones dan cierta representación de la forma del elemento evitando archivos muy pesados. Pueden usarse para estudiar la evolución del mismo en un plano, por lo que esta opción puede ser muy útil para aspectos concretos.

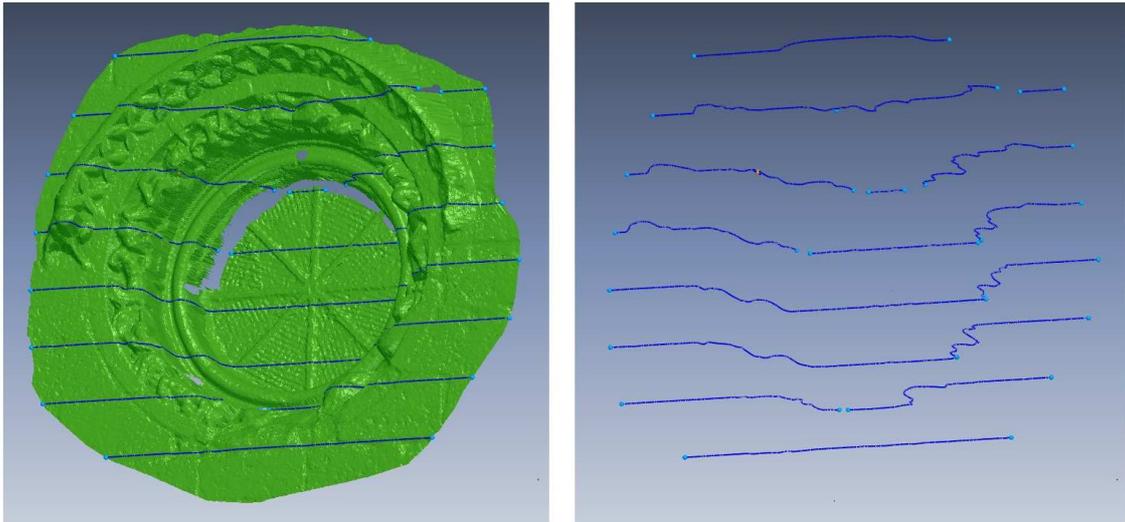


Figura 5.33. Secciones generadas a partir de los mallados del óculo.

5.6.3. ORTOIMÁGENES

A partir del modelo tridimensional obtenido, el cual tiene textura fotográfica, se generan las ortofotografías. Antes de ello se debe definir el plano de proyección que se quiere utilizar. En algunos casos, sobre todo en objetos de complicada morfología, es posible que haya que editar la malla para evitar ocultamientos producidos por partes de la misma insignificantes para el resultado final.



Figura 5.34. Ortofotografía correspondiente al trabajo de 2010 con *Image Master*.

5.7. ALTERNATIVA A LA METODOLOGÍA. IMAGEN MÉTRICA COLOREADA. RESULTADO GRÁFICO DE COMPARACIONES

5.7.1. OBJETIVOS DE LA PROPUESTA

Vistas las diferentes vías para comparar geoméricamente dos mallas y que los programas hasta ahora utilizados no aportan el producto deseado, en este proyecto se propone una alternativa con el fin de reducir la dependencia de ellos. El lenguaje de programación *Visual Basic 6.0* es una herramienta útil mediante la cual se pueden crear una serie de procedimientos con los que aproximarse al objetivo.

La idea es obtener una imagen ráster similar a una ortofotografía en la que se pueda apreciar la diferencia de profundidad de las mallas. Para ello, se tiene que definir un plano de proyección paralelo a las superficies que se quieren comparar, transformar las coordenadas de las mallas si fuera necesario y extraer diferencias de profundidades de cada punto de la malla. Posteriormente, estas diferencias se muestran en el archivo de imagen, que se puede complementar con archivos de texto que incluyan información acerca de la misma (dirección del punto de vista, GSD¹, etc.).

Estas dos mallas, que representan el estado de un objeto o figura concreta en dos épocas distintas, han sido exportadas desde el programa *Image Master* y se encuentran disponibles en los siguientes formatos:

- Fichero de intercambio de AutoCad (.dxf).
- Formato TIN (.tin).
- Formato VRML (.wrl).

5.7.2. METODOLOGÍA PROPUESTA

En el siguiente diagrama se muestra, paso a paso, el proceso de la solución propuesta (figura 5.35). En azul los datos disponibles, tanto en formato de fichero como numéricos, y en verde el proceso de cálculo que se realiza sobre o con ellos. Más adelante se incluyen las respuestas dadas a los problemas planteados en metodología general. Además, en el anexo III, se encuentran más detallados los programas específicos que se han desarrollado para la misma, explicando los algoritmos y procedimiento utilizados en ellos.

¹ GSD: *Ground Sample Dimension*, dimensión de un píxel en el terreno.

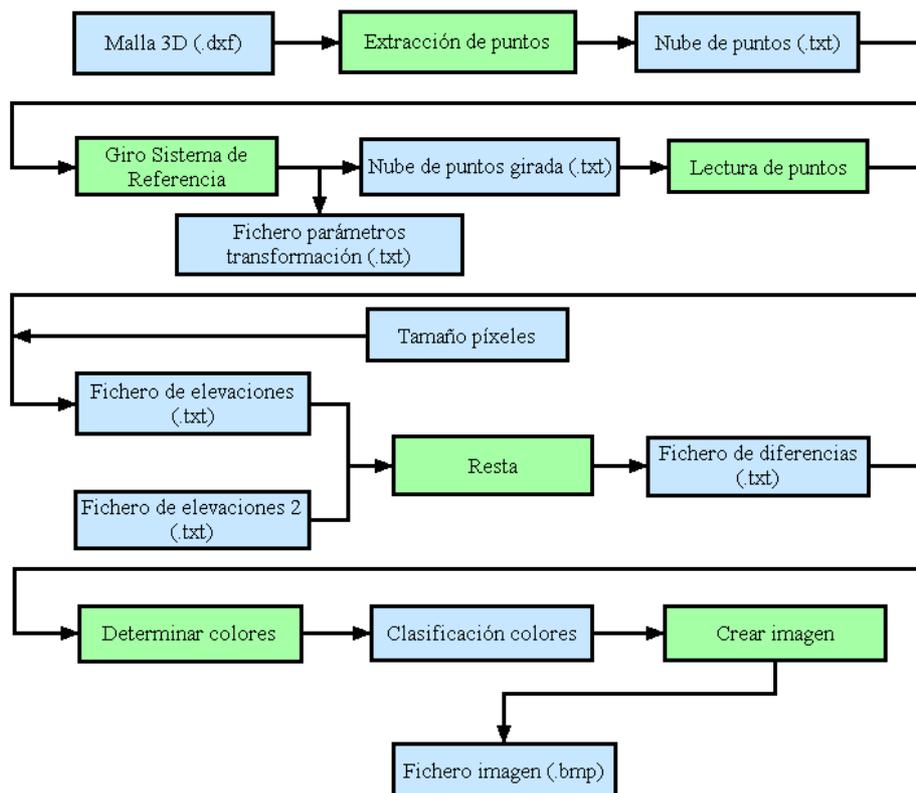


Figura 5.35. Diagrama de la solución planteada.

o) Establecimiento del apoyo y cómo tomar las fotografías

Como se ha indicado anteriormente, la precisión del apoyo es una de las fuentes de incertidumbre importantes en el proceso, para evitarlo, se propone crear una red de control alrededor del objeto. Ésta debe tener asegurada su estabilidad a lo largo del tiempo. Las coordenadas de la red se medirán una única vez, en una primera campaña, con una precisión acorde con el objeto de estudio. Se pueden seguir las indicaciones de Pérez (Pérez, 2009) para obtener una alta precisión.

En cuanto a la toma de las fotografías, el requisito fundamental es hacer un estudio pormenorizado del objeto en cuestión, determinando el detalle que se quiere obtener. Con ello se establece la escala fotográfica, distancia al objeto y base entre las imágenes. Es importante hacer un análisis de las posibles zonas de ocultamientos y decidir la posición de la cámara de forma que se eviten.

Si esta planificación se realiza correctamente, salvo circunstancias extrañas, será aplicable en todas las campañas que se realicen. Así pues, el trabajo de campo se limitará a la toma de una serie de fotografías cumpliendo cuatro condiciones básicas:

- Conocer el funcionamiento de una cámara, dando especial importancia a la iluminación y nitidez de las fotografías.
- Respetar la planificación de las fotografías.

- Adjuntar las fotografías realizadas a la plantilla de calibración, en número y geometría adecuada.
- Codificar coherentemente todas fotografías, preferentemente con una nomenclatura acordada previamente.

a) Generación de modelos 3D

Siguiendo la metodología indicada se disponen de modelos en los formatos DXF, VRML y TIN. De ellos, los dos primeros están en lenguaje ASCII, por lo que son legibles en cualquier editor de textos, mientras que el formato TIN se encuentra en un lenguaje codificado que imposibilita su tratamiento en este proyecto. Entre los legibles, por el conocimiento del lenguaje se ha decidido tratar con el DXF.

b) Alineación de modelos en un mismo espacio 3D

Parece obvio, pero es importante recordar que para poder realizar la comparación satisfactoriamente los modelos se deben encontrar en un mismo sistema de referencia. Por eso conviene trabajar desde un principio con el mismo en el proyecto. Si se decide trabajar en coordenadas relativas, independientes entre los modelos, hay que conocer el grado de precisión que se pierde al realizar la transformación posterior.

c) Proceso de comparación de modelos

1. Extraer la nube de puntos.

Con un fichero DXF de intercambio de AutoCad se puede visualizar la malla en Autocad o en otras aplicaciones informáticas, pero además, una de las grandes ventajas que aporta es que permite extraer los vértices que la conforman. Se debe tener en cuenta, en este sentido, que la estructura de este tipo de archivo va variando en cada nueva versión.

A partir de la estructura de este archivo se ha desarrollado una aplicación informática (anexo III.A), que almacena todos los vértices en un fichero de texto (TXT). De este modo, y a partir de este momento, se trabajará con una nube de puntos, de los cuales son conocidas sus coordenadas espaciales XYZ en el sistema de referencia adaptado para el proyecto. Trabajar con un fichero de texto implica un manejo sencillo con los únicos datos que se necesitarán de ahora en adelante.

Esta forma de actuar, sin embargo, tiene algunos inconvenientes como la pérdida de continuidad de los datos. Es decir, se pierde la superficie que se había creado. Por tanto, también se pierde cualquier textura que tuviera la malla. No obstante, es posible volver a incluir texturas en nubes de puntos importándolas de nuevo en *Image Master*.

Existe un problema al extraer todos los vértices de una malla de un fichero DXF con el procedimiento seguido para este proyecto (captura secuencial de todos los puntos del archivo de formato DXF, anexo III.A.), y es que esta malla se encuentra archivada como superficies triangulares individuales. Por consiguiente, es prácticamente seguro que más de un vértice se encuentre repetido en el fichero de texto generado. Esto obliga a eliminar todos los puntos duplicados (anexo III.B.). Con esta acción se reduce el peso del fichero para agilizar posteriores procedimientos.

2. Establecimiento del punto de vista

Los elementos patrimoniales poseen una tipología y morfología heterogénea, por lo que resulta complicado tener una vista completa y clara del área de estudio. Al trabajar con coordenadas propias del proyecto, las cuales pueden estar orientadas hacia cualquier punto, es probable que sea necesario determinar el punto de vista en el que se pueda mostrar la pérdida o aumento de volumen de la figura. Por lo que este punto de vista estará fuertemente ligado a la geometría del objeto. Pudiendo ser necesario en algunos casos más de uno.

El punto de vista se determina con una dirección sobre la cual se pueden cuantificar profundidades respecto a un plano perpendicular a aquella. Como se explica en el anexo III.C, la dirección se define tomando la perpendicular al plano que forman tres puntos elegidos por el operador.

En los casos que sean necesarios más de un punto de vista es posible que, si se toma todo el elemento en el cambio de orientación, se produzcan ocultamientos de las zonas de interés. Esta contingencia puede ser evitada visualizando y editando el elemento en la plataforma informática adecuada.

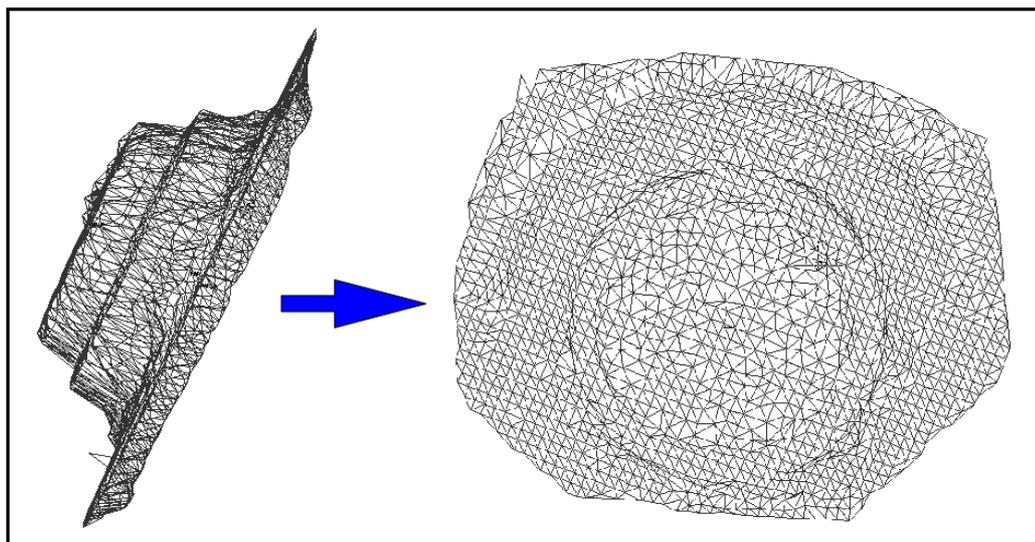


Figura 5.36. En la malla de la izquierda la dirección de los ejes no permite una visualización óptima del elemento, por lo que se ha rotado a una orientación más adecuada (dcha.).

El ejemplo (figura 5.36) que muestra este proceso es una malla triangular generada por *Image Master* (los triángulos presentados en esta imagen tienen un lado mayor al utilizado en el proyecto para una visualización más fácil).

Una vez se ha decidido el punto de vista adecuado en función de las necesidades y la forma del objeto, se procede a transformar las coordenadas de las mallas a un sistema cuyo eje Z coincida con el punto de vista indicado (anexo III.C). Así se obtiene un sistema XY paralelo a los ejes de una imagen, siendo las coordenadas Z las referidas a la profundidad de los puntos. La transformación de las coordenadas se reduce a transformaciones angulares (Rodríguez Miranda y otros, 2008) con los ángulos H (acimut desde el eje Y en dirección directa, que es antihoraria) y V (colatitud, ángulo desde el eje Z) desde el vector *u* (dirección del punto de vista) (figura 5.37).

$$tgH = \frac{X_0}{Y_0} \qquad tgV = \frac{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2}}{Z_0}$$

Ecuaciones 5.8.

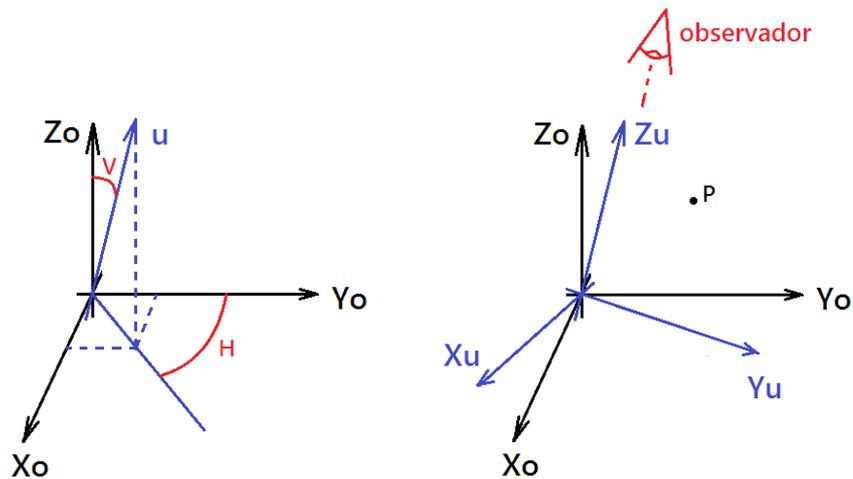


Figura 5.37. Representación de los giros necesarios en la transformación (Rodríguez Miranda y otros, 2008).

Los parámetros utilizados en este cambio del sistema de referencia deberán ser conservados. Con ellos se garantiza el conocimiento de la ubicación real del elemento en el espacio y, además, permiten posteriores transformaciones en sentido inverso con las cuales se recuperan las coordenadas en el sistema inicial.

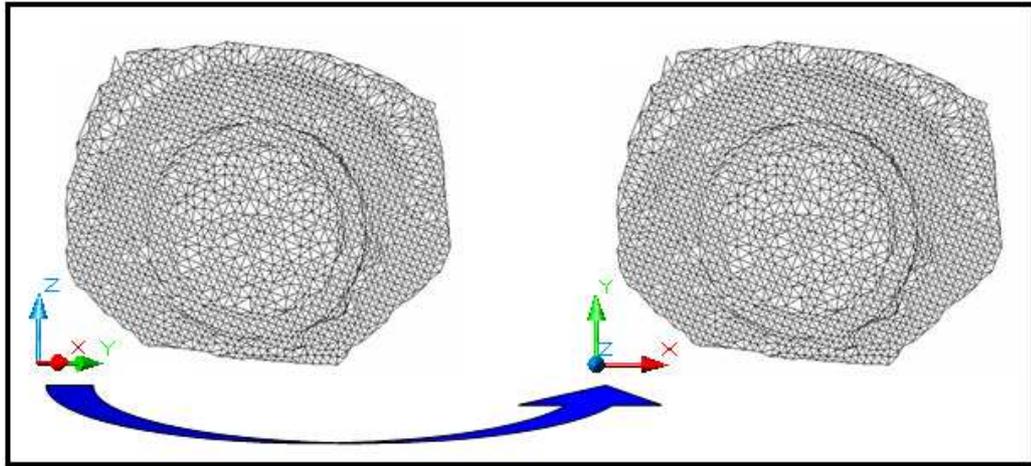


Figura 5.38. Representación del giro del sistema de referencia.

3. Obtención de las profundidades

El objetivo es obtener una forma de representación simple de la información requerida para ser comparada. Como se ha adelantado, la opción elegida es una imagen ráster, cuyos píxeles contendrán esa información.

Existen otras formas de poder comparar mallas. Uno de los métodos más comunes trata de obtener los vectores normales de cada triángulo que forma la malla. Estos vectores permiten relacionar los triángulos correspondientes a la misma parte de superficie en dos mallas diferentes y, al mismo tiempo, calcular la distancia entre ellos. De esta forma también se podría respetar la visualización de las diferencias en modo tridimensional, dando color a los triángulos en función de la distancia calculada. Este modelo es el utilizado por el programa *Rapidform*. Como ya se conoce el resultado a partir de este método, se procede a la generación de las imágenes ráster.

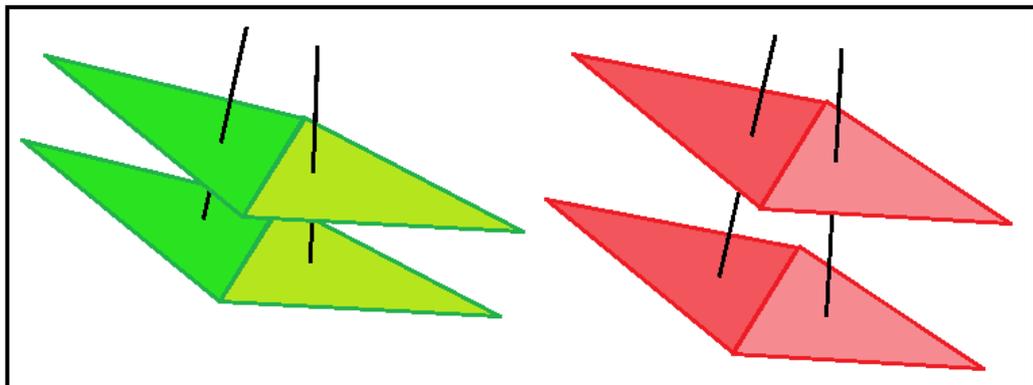


Figura 5.39. Con la comparación de mallas por normales se conserva la continuidad del elemento.

La solución planteada en este proyecto (anexo III.D), por su parte, forma un fichero a partir de los puntos y el tamaño de los píxeles de la imagen que

quiera obtener el operador. Este tamaño de píxel debe ser determinado en función de las precisiones con las que se hayan trabajado hasta el momento y la escala final que se desee. Este tamaño nunca podrá sobrepasar la precisión de los datos anteriores. Este fichero contendrá la profundidad de cada píxel con una estructura de [Fila del píxel (F), Columna del píxel (C), Profundidad (Z)]. De este modo se podría comparar con cualquier otro fichero que tuviera el mismo origen de coordenadas, es decir, que las coordenadas XY de los píxeles extremos coincidan. La figura 5.40 representa un ejemplo de imagen que definiría este fichero, con un valor de Z para cada píxel.

F	C	Z
1	1	34
1	2	56
1	3	57
1	4	36
1	5	25
1	6	53
2	1	47
2	2	68
2	3	85
2	4	89

F C	1	2	3	4	5	6
1	34	56	57	36	25	53
2	47	68	85	89	54	45
3	36	63	63	35	43	45
4	76	54	57	97	89	75
5	54	57	76	87	76	57

Figura 5.40. Simulación de la información contenida en el fichero.

4. Comparación: cálculo de diferencias de profundidades

La comparación de dos ficheros de este tipo da lugar a otro fichero de diferencias, en el que se muestra la profundidad reducida o aumentada (anexo III.E). La comparación consiste en la resta de los valores Z de los píxeles. Para ello se debe definir una de las nubes de puntos como referencia y otra como elemento a comparar, de modo que:

$$\text{Diferencia} = \text{Nube a comparar} - \text{Nube de referencia}$$

Como resultado se obtienen unos valores que pueden ser positivos, nulos o negativos. Un resultado positivo significa un aumento en el volumen de la figura a estudiar, un resultado nulo (cero) equivale a que el volumen en ese espacio se ha mantenido, mientras que un resultado negativo viene dado por una pérdida de material. Por tanto, de este fichero se puede cuantificar aproximadamente el total de pérdida o aumento de volumen, ya que se conoce el tamaño de los píxeles (elegido por el operador) y la “altura” del cambio existente. No obstante, la precisión de este cálculo es muy dependiente del tamaño de los píxeles, existiendo la posibilidad de que los valores varíen mucho.

d) Representación de los resultados de la comparación

1. Gráfica

Se puede transformar el valor de las diferencias a unos valores RGB, con los cuales mostrar gráficamente la evolución de la figura a través del tiempo (anexo III.F.). Este documento gráfico BMP¹ -por limitaciones del lenguaje de programación- (figura 5.41), además de mostrar las diferencias entre nubes de puntos en forma de cuadrícula, será un documento geométrico, ya que conocemos las coordenadas XY de los extremos, al tiempo que conocemos los parámetros para transformarlas a las coordenadas del proyecto, que bien podrían ser absolutas. Es decir, se trata de un archivo con características geométricas similares a una ortofotografía, ya que conserva las propiedades métricas. Del mismo modo, es capaz de mostrar la información de forma muy simple y perceptible.

Sin embargo, como también se ha apuntado, Este tipo de imagen tiene sus limitaciones en cuanto a su escalado, ya que pierde claridad a medida que se aplica zoom en la imagen. En contraposición a lo que ocurre con imágenes vectoriales.

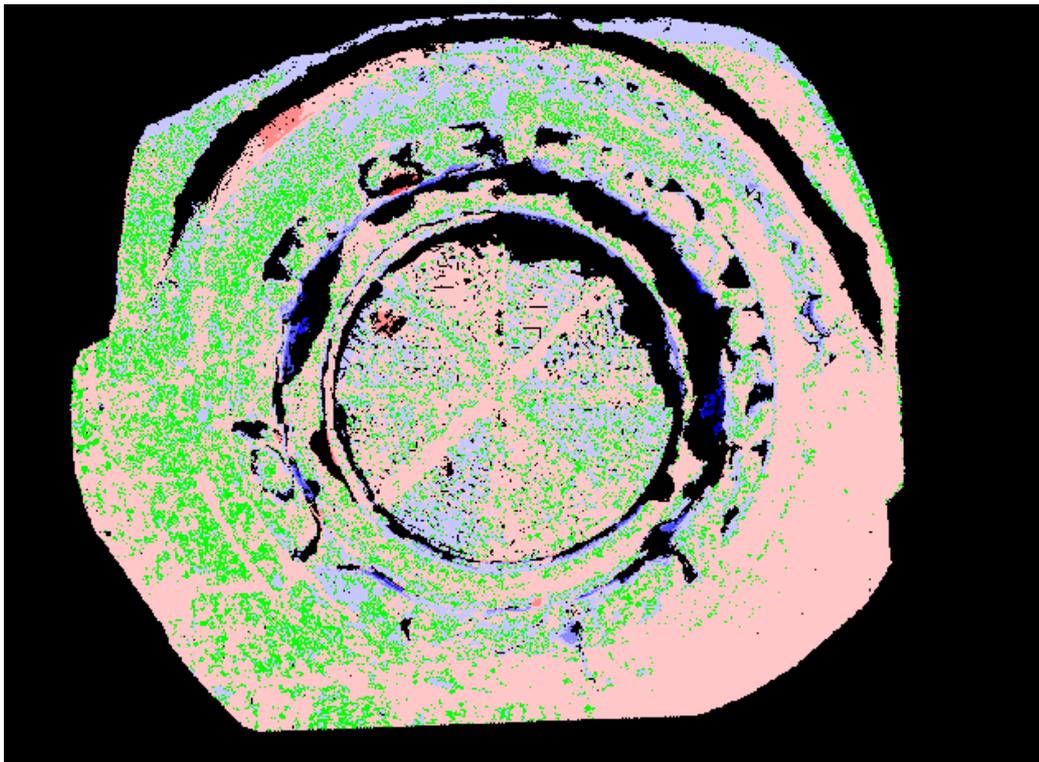


Figura 5.41. Imagen final de comparación de los promedios de profundidad de los puntos situados en cada píxel. Tamaño del píxel: 5mm.

¹ BMP: *Windows BitMap* o *Bit Mapped Picture*. Ver glosario.

2. Numérica

Como se ha explicado anteriormente, es posible extraer la cuantía de la variación del volumen, por lo tanto, es posible también mostrar este valor de forma legible para el operador a través de un fichero de texto. Pero no es esta la única información que se puede mostrar. De hecho, En todo el proceso se han ido obteniendo diferentes parámetros que han ayudado a calcular el resultado final. De forma secuencial, se dispone de:

- Nube de puntos en fichero de texto. Información espacial (XYZ) de los puntos.
- Parámetros de transformación para el cambio del punto de vista. Matriz de rotación que incluye los ángulos H y V.
- Fichero de profundidades de cada píxel.
- Fichero de diferencias de profundidades en cada píxel.
- Variación total (pérdida y aumento) del volumen en el elemento.
- Rango o paleta utilizada para la determinación del color en la imagen.

5.7.3. EVALUACIÓN DE LA IMAGEN

El resultado obtenido con los datos utilizados muestra la diferencia de profundidades (figura 5.42.).

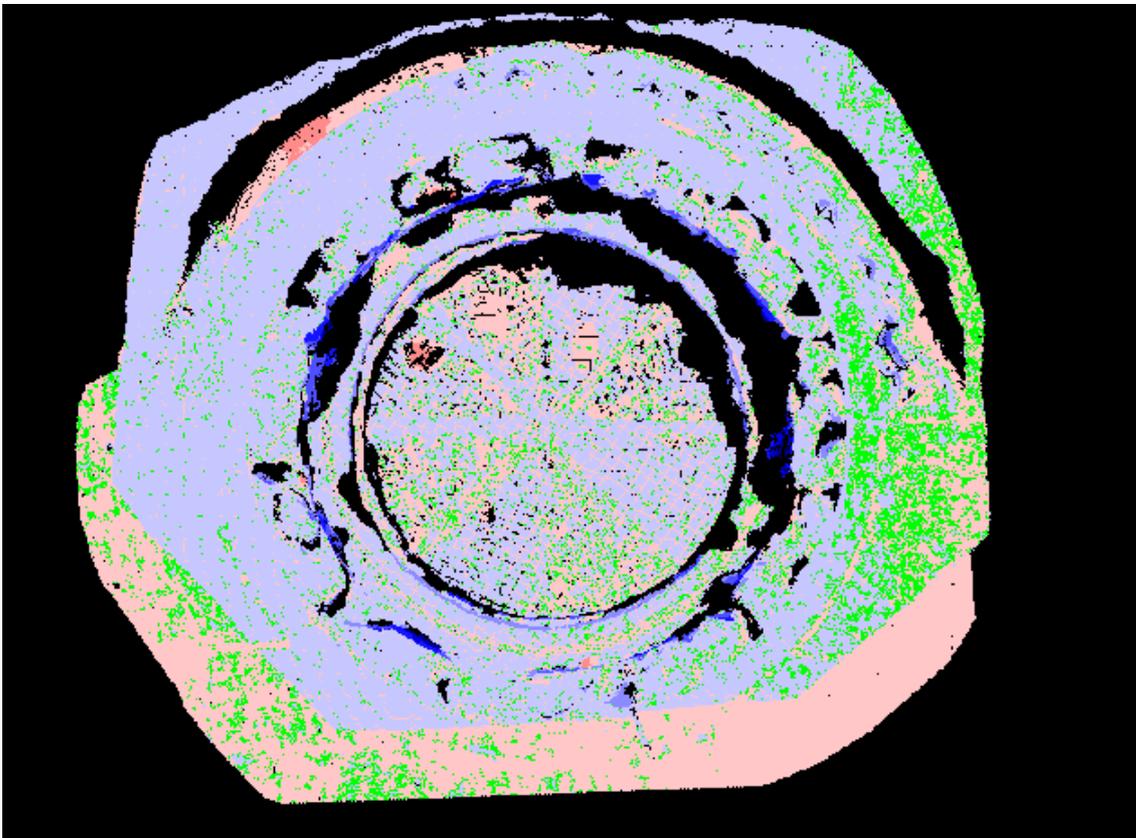


Figura 5.42. Imagen resultante de la comparación de profundidades máximas de los puntos situados en cada píxel. Tamaño de píxel: 5mm.

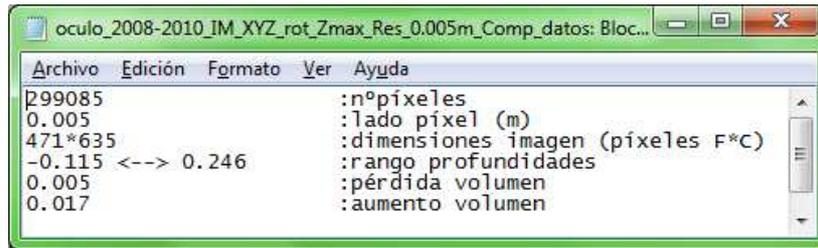


Figura 5.43. Fichero de datos que acompaña a la imagen resultante.

En la imagen 5.42 se pueden apreciar algunos inconvenientes que hacen que de momento no se pueda dar valor a la imagen, aunque si se puede apreciar en algunas partes una variación de volúmenes real, como en la visera.

- A pesar de tratarse de imágenes georreferenciadas, no se puede apreciar la figura del óculo, por lo que es complicado asociar cada píxel de la imagen con su respectivo punto en la realidad y concretar las zonas dónde se producen las alteraciones. Se debe buscar una forma de incluir una referencia geométrica, como puede ser la inclusión de los puntos de control o la sobreposición de modelos alámbricos (ver apartado 5.7.4.).
- Se detectan errores cometidos en la orientación de las mallas utilizadas. En la parte inferior de la imagen se nota un cambio brusco en el color (rojo-azul). Esto significa que una de las nubes sufre un cambio de profundidad, quedando una parte por encima de la otra nube, y otra parte por debajo. Se considera un error grave en el alineamiento de las mallas de una misma época, que puede ser un giro o un desplazamiento. Esto puede ser debido a la indeterminación de las medidas del apoyo.
- Atendiendo también al fichero de datos que se muestra junto con la imagen, destacan los valores referidos al rango de profundidades: 11,5cm en negativo y 24,6 en positivo. En el proyecto se preveían valores milimétricos y hasta de unos pocos centímetros, derivados de la posible degradación. Sin embargo, el rango obtenido tiene unos niveles que se considerarían como grandes desprendimientos o restauraciones (que no es el caso).
Esta diferencia de profundidades viene de las ambigüedades en el cálculo de coordenadas, que produce un desplazamiento entre las nubes de puntos de las diferentes campañas. Al realizar una comparativa "pixelada", que únicamente depende de la geometría (no hay comprobación de colores como puede haber en la correlación automática), existe una desviación que provoca la comparación de puntos que no son homólogos. De este modo, por ejemplo, se podría estar relacionando la parte saliente de la visera del rosetón con la superficie a nivel de la fachada, tal y como se puede ver en la sección horizontal de la figura 5.45 (la figura 5.46 es una representación simplificada de los valores de los píxeles para cada nube).
Este error se minimizaría si, como se ha propuesto, se utiliza una red de control permanente en el tiempo.

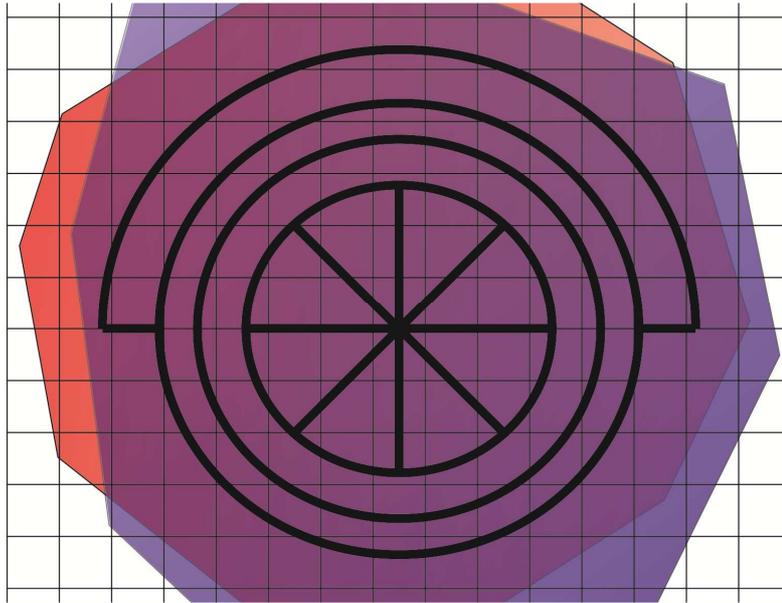
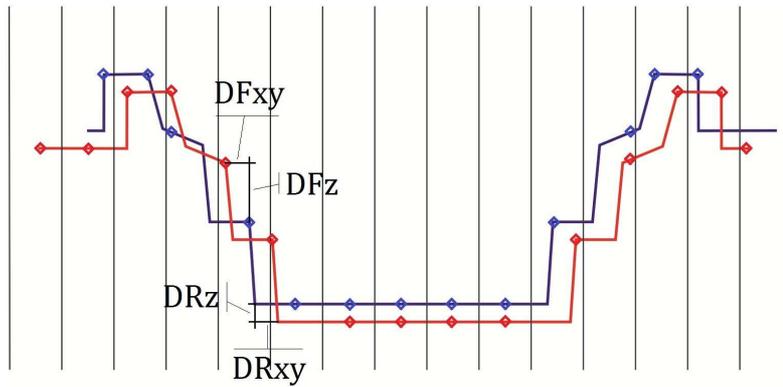
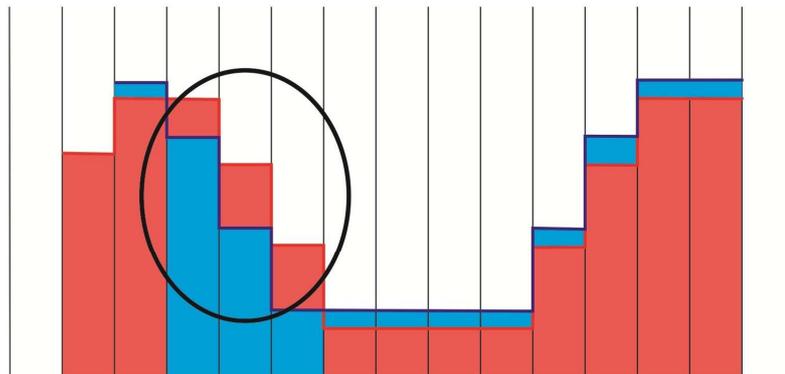


Figura 5.44. Ubicación de las nubes en la cuadrícula de la imagen.



Z₀

Figura 5.45. Sección simplificada del óculo en el que se aprecia la desviación de las nubes.



Z₀

Figura 5.46. Discretización del valor de profundidad de los píxeles.

Estudiando las consecuencias de este tipo de errores, se ve que resulta especialmente problemático debido a la transmisión de estos valores a la imagen. El algoritmo de elección del color se basa en el rango de profundidades mencionado anteriormente, por lo que la definición de los intervalos se verá afectada. Estos intervalos están calculados mediante modelos lineales, así pues, la percepción de las alteraciones no se representará fielmente. Una alternativa para evitar este problema es la utilización de modelos exponenciales, en los que los valores problemáticos vean reducida su influencia sobre la determinación de los intervalos (figuras 5.47 y 5.48).

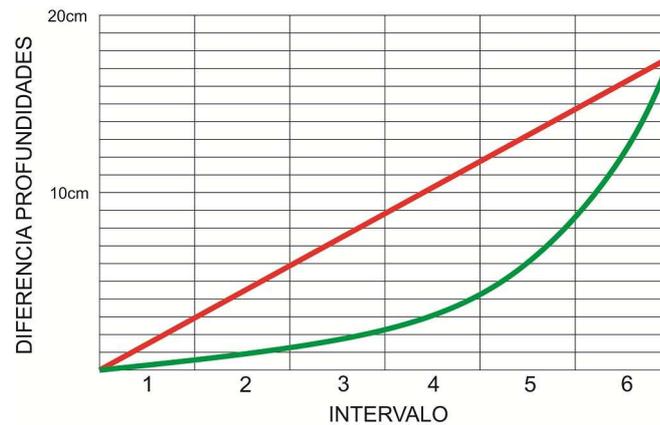


Figura 5.47. Diferencia de la determinación de los intervalos. Línea roja, modelo lineal actual; línea verde, modelo exponencial propuesto para la mejora de la representación.

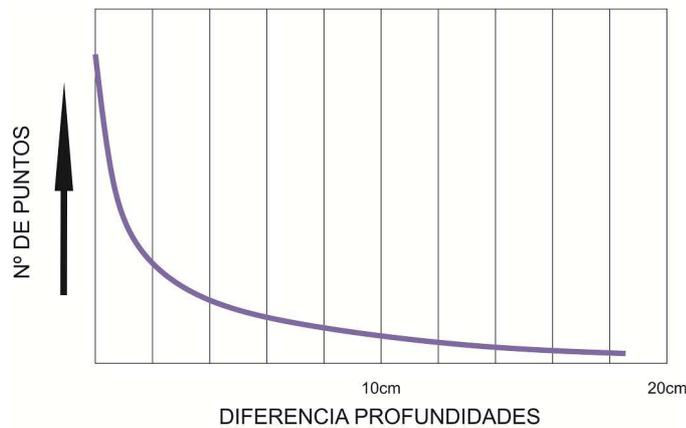


Figura 5.48. Muestra de la relación entre nº de puntos y sus diferencias de profundidades.

Con estos desajustes corregidos, la estimación de la precisión que se puede llegar a alcanzar si se elimina la ambigüedad que genera la utilización de diferentes redes de control, no se puede decir que mejore las técnicas que actualmente se utilizan en este aspecto. Por lo tanto, este resultado se tiene que tomar como un complemento a éstas que aporta:

- Una aproximación de los volúmenes del objeto.
- Un resultado libre de interpretaciones del operador.
- Rapidez en la ejecución.

La explicación al segundo punto reside en que el resultado no depende de interpretaciones que pueda hacer el operador con respecto al objeto, como sucede en una restitución, por ejemplo.

La rapidez con la que se llega a este resultado también es de destacar. Admitiendo que se trata de productos totalmente diferentes, rebaja el tiempo de trabajo respecto a la restitución en un 35%.

Otro de los problemas que se pueden presentar en la generación de estas imágenes es la adecuación del tamaño del píxel a las características de las nubes disponibles, más allá de la precisión de estas. Al estar directamente relacionadas con las nubes de puntos, si el tamaño de píxel es demasiado pequeño, el espaciado de los puntos de la nube también estará reflejado en la nube resultando imágenes de difícil comprensión. Por el contrario, si el tamaño es demasiado grande, se pierde el detalle conseguido con las nubes (figura 5.49).

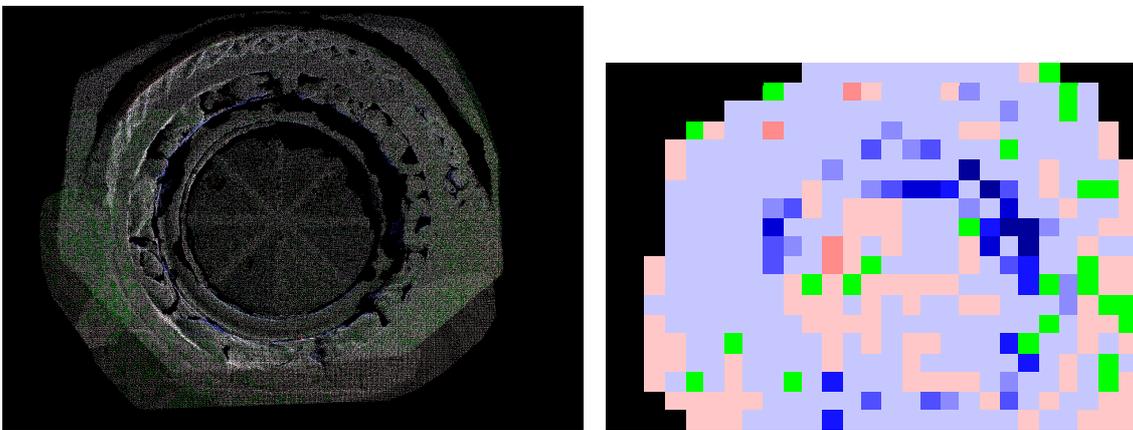


Figura 5.49. Imágenes creadas a partir de la misma comparación, pero con diferente tamaño de píxel: 2mm (izq.) y 10cm (dcha.).

No hay que olvidar tampoco que todo el ruido que no se haya eliminado en las nubes de puntos se transmitirá al resultado.

5.7.4. POSIBLES OPTIMIZACIONES

Con el fin de corregir o mejorar la presentación del resultado, se explican algunas técnicas existentes que se pueden aplicar a las imágenes resultantes de la comparación.

- **Relleno de huecos en la imagen.**

La elección del tamaño del píxel puede ser un factor determinante para la imagen final obtenida como se aprecia en la figura 5.49. Debe existir una relación lógica entre este tamaño y la densidad de puntos de la que disponemos, pues una dimensión incorrecta causa, por un lado, falta de definición del objeto y, por el otro, espacios vacíos de información, representados en negro en la imagen. En algunos casos es interesante

rellenar estos huecos, lo cual se puede realizar mediante algoritmos (Georgopoulos y Natsis, 2008). Es importante verificar la fiabilidad del proceso y resultado final.

- **Dibujo vectorial sobre la imagen y paso a 3D.**

Si se dispone de un dibujo alámbrico del objeto, este se puede acoplar a la imagen eliminando la dificultad de relacionar las zonas de la imagen con el objeto real. Del mismo modo, también es posible crear la opción de importar la imagen a un programa CAD y marcar sobre ella las zonas conflictivas. De esta manera se consigue vectorizar la información de la imagen. Al conocer todos los parámetros utilizados en el proceso se podrán transformar estas líneas dibujadas en 2D a coordenadas 3D propias del proyecto (Rodríguez y otros, 2008).

5.7.5. VALORACIÓN ECONÓMICA

A continuación se hace una estimación del coste de la metodología empleado para el caso de Laguardia. La justificación de los resultados se encuentra en el anexo VI. En el gráfico 5.50 se presentan los costes de diferentes procedimientos: siguiendo la metodología propuesta, tanto utilizando *Rapidform* para realizar las comparaciones (azul) como usando los programas desarrollados para tal fin (verde); y midiendo en cada campaña la red de control por topografía (amarillo).

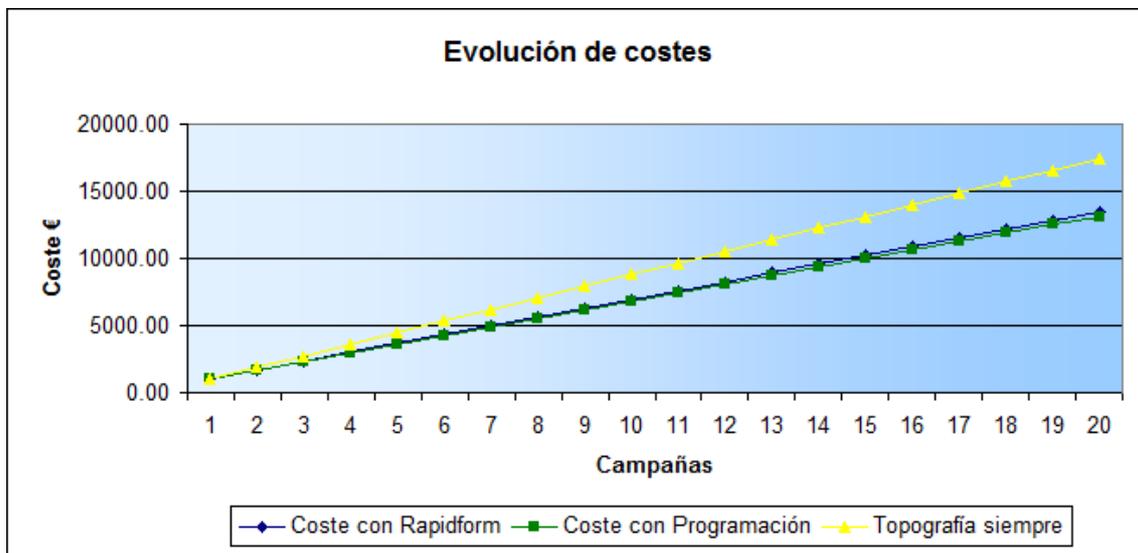


Figura 5.50. Evolución de los costes siguiendo diferentes procedimientos.

	Con Rapidform (€)	Con programación (€)
TOTAL (con IVA 18%)	2540,43	2466,41

Tabla 5.15. Presupuesto del proyecto de Laguardia.

Con los cálculos realizados no se observan diferencias significativas entre las dos opciones. Sin embargo, estos valores sí suponen una reducción respecto a las técnicas tradicionales.

5.8. VALORACIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

Al inicio de este proyecto se definía como objetivo principal el diseño de una metodología de documentación de la degradación en patrimonio mediante programas de fotogrametría convergente y estereoscópica. Después de un largo recorrido de documentación, pruebas y cálculos se ha llegado a proponer una metodología diferenciada en dos partes. Una primera que tiene mucho que ver con las técnicas fotogramétricas hasta ahora utilizadas llegando a obtener un modelo tridimensional (de nubes de puntos o superficiales) y, otra, en la que se aprovecha este resultado para extraer información geométrica libre de interpretaciones.

En el comienzo se ha definido un trabajo de campo simple y rápido. Para el cual el único requerimiento es el de una buena planificación con el fin de conseguir importantes ahorros tanto económicos como temporales. Estos vienen dados por la limitación de las medidas de una red de control a la primera campaña. A partir de entonces solo será necesaria la toma de fotografías en la época deseada.

Las fotografías necesitan una calibración. La posibilidad que otorgan estos programas estudiados de realizarla para cualquier cámara abre muchas posibilidades. Hasta ahora se recomienda utilizar cámaras métricas o semimétricas, no obstante, el avance de las tecnologías y automatismos, puede llevar a la apertura de caminos para las cámaras convencionales. Por otro lado, se cree interesante comparar calibraciones hechas con un mismo objetivo en un periodo de pocos días. Así se podría evaluar la estabilidad de las cámaras o la fiabilidad de los programas de calibración.

El proceso para llegar a los productos deseados, no resulta complicado a excepción de casos puntuales. El mayor problema quizás sea lo poco intuitivo de los parámetros utilizados por *PhotoModeler* para la generación de la nube de puntos. No obstante, si se siguen las condiciones de geometría y se tienen una fotos de calidad, los problemas potenciales se reducen considerablemente.

En cuanto a la compatibilidad de los programas hay que decir que es complicado encontrar unos formatos de fichero adecuados. Sin embargo, un problema que en un principio parecía crítico, se ha resuelto positivamente en cuanto la familiarización con los programas se incrementó. Es importante destacar que, una vez se dispone de la nube de puntos final, en el proceso de generación de la imagen comparativa se trabaja con ficheros comprensibles y, por tanto, se podrían reutilizar en función de nuevas necesidades.

Otro punto que no se puede olvidar es la necesidad de un ordenador cuyas características se explican en el siguiente cuadro (tabla 5.16) para realizar los procesos tan pesados como los que se dan con estos programas fotogramétricos.

Procesador	2 GHz
Memoria RAM	2 GB
Disco duro	20 GB
Sistema operativo	Windows

Tabla 5.16. Requisitos mínimos para el desarrollo del trabajo

Los resultados finales tienen precisiones similares a las que se trabaja actualmente con otras técnicas, por lo que el mayor factor diferencial es el temporal, tanto en el trabajo de campo como en el de oficina. Siendo esto así, el económico también se ve directamente afectado positivamente.

6. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
COSTES DIRECTOS	Unidades	Coste/día	Días	Coste total €
Mano de obra (nivel 2)	1	132.58	211	27974.16
Instrumental		68.96	1	68.96
Material auxiliar		2.24	1	2.24
Transporte				59.50
Dietas				10.00
CD Totales				28114.86
GASTOS GENERALES				
Oficina (todo)		88.42	211	18656.62
CD + GG				46771.48
Imprevistos (10%)				4677.15
TOTAL				51448.62
Beneficio Industrial (15%)				7717.29
TOTAL (sin IVA)				59165.92
IVA				10649.87
TOTAL (con IVA 18%)				69815.78

Tabla 5.17. Presupuesto.

Justificación en anexo VI.

7. GLOSARIO

ASCII: *American Standard Code for Information Interchange* en sus siglas en inglés, traducido como Código Estándar Americano para el Intercambio de Información. Es un código normalizado para la representación de datos en ordenadores cuyo origen está en el ANSI (*American National Standards Institute*). Está formado por 128 caracteres -256 en su versión extendida-, entre letras, números y símbolos.

BMP: Archivo de imagen cuyas siglas responden a *Windows BitMap* o *Bit Mapped Picture* propio de los sistemas operativos Windows. Se caracteriza por ser muy poco eficiente en su uso de espacio en disco, pero puede mostrar un buen nivel de calidad. Al tratarse de una imagen ráster, pierde calidad al ser reescalado a un tamaño mayor. El lenguaje de programación con el que se han desarrollado las aplicaciones informáticas en este proyecto, Visual Basic 6.0, solo da la posibilidad de crear imágenes en este formato. En posteriores versiones de Visual Basic sí que es posible la creación de otros formatos como JPEG o PNG, más adecuados para la conservación y difusión.

Carta de Venecia: Carta Internacional sobre la Conservación y Restauración de los Monumentos y los Sitios en la que se recogen los acuerdos y resoluciones del II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos desarrollado en 1964. En un segundo documento del congreso se propuso la creación del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, en sus siglas en inglés), que tuvo su Asamblea General Constitutiva, un año después, en Varsovia. [http://www.international.icomos.org/charters/venice_sp.htm - Consulta: abril de 2011]

DWG: *Drawing*, archivo de dibujo de AutoCad.

DXF: *Drawing eXchange File*, traducido fichero de intercambio de dibujo. Es el formato estándar de intercambio de información del programa AutoCad.

ICOMOS: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, es una organización no gubernamental fundada en 1965 con el objetivo de promover la aplicación de la teoría, la metodología y las técnicas científicas a la conservación del patrimonio arquitectónico y arqueológico. Su labor se basa en los principios de la Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (la Carta de Venecia) de 1964. [Fuente: ICOMOS]

ICOMOS-ISCS: Comité Científico Internacional para la Piedra de ICOMOS (siglas en inglés) creado con la finalidad de promover el conocimiento y la preservación de materiales constructivos inorgánicos porosos, como la conservación de piedras naturales y artificiales.

ISPRS: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección. Es una organización no

gubernamental dedicada al desarrollo de la cooperación internacional para el avance de la fotogrametría, la teledetección y sus aplicaciones [<http://www.isprs.org/>].

JPG o JPEG: Formato de imagen comprimido creado por el *Joint Photographic Expert Group*, cuyas siglas dan nombre al formato, para la distribución rápida de datos en vista de los problemas existentes al cargar imágenes de gran peso en la Web. JPEG es actualmente el estándar de comprensión más común. No obstante, hay que tener en cuenta que al tratarse de un formato de comprensión, se pierde calidad y cambia la información de los píxeles.

PNG: *Portable Network Graphics*, es un formato de imagen de libre uso que no requiere licencias en aplicaciones que las usen, creen o editen. Fue publicado en 1996 por el *World Wide Web Consortium* [<http://www.w3.org/Graphics/PNG/>] con el fin de reemplazar el más antiguo y simple GIF y, al mismo tiempo, el mucho más complejo TIFF en el intercambio de información y su almacenamiento a largo plazo.

TIFF: *Tagged Image File Format*, es un formato de archivo basado en etiquetas para el almacenamiento e intercambio de imágenes ráster, cuya primera versión fue publicada por *Aldus Corporation* en 1986 y fue revisada por última vez en 1992. Actualmente es propiedad de Adobe Systems. Las etiquetas, entre otros, describen el tipo de compresión aplicado a cada imagen, el formato interno de almacenamiento de la imagen o permiten crear extensiones para finalidades de sectores concretos, como el GeoTIFF, utilizado con fines cartográficos. Un aspecto muy práctico del formato *TIFF* es que permite almacenar más de una imagen en el mismo archivo.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, es un organismo especializado de las Naciones Unidas. Se fundó el año 1945 con el objetivo de contribuir a la paz y a la seguridad en el mundo mediante la educación, la ciencia, la cultura y las comunicaciones. Actualmente, la UNESCO cuenta con 193 Estados miembros y 7 Miembros asociados. [<http://es.wikipedia.org/wiki/Unesco>]

VRML: Virtual Reality Modelling Language. Es un estándar dirigido a la generación de escenas tridimensionales. Es posible visualización del modelo de forma gratuita en cualquier navegador de Internet, con el único requerimiento de instalar un visor adecuado, como por ejemplo *Cortona*, *Cosmo* o *FreeWRL (Linux)* (LDGP, 2003).

8. BIBLIOGRAFÍA

PROYECTOS DEL LDGP CONSULTADOS

Artano, K., Martínez, P., Valle, J.M., Vicente, I. (1999). *Levantamiento topográfico de detalle y modelado informático tridimensional del Castillo de Portilla en Álava*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

Valle, J.M., Irizábal, D., Lopetegi, A., Rodríguez, Á. (2004). *Documentación Geométrica y Modelado de la Muralla de Vitoria-Gasteiz (Álava)*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

Valle, J.M., Rodríguez, Á., Lopetegi, A., Pérez, P. (2008). *Levantamiento fotogramétrico de la Portada Sur o “de los Abuelos” de la iglesia de San Juan de Laguardia (Álava)*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

Valle, J.M., Rodríguez, Á., Mesanza, A. (2003). *Documentación Geométrica de las excavaciones de la Catedral de Santa María (Vitoria-Gasteiz), Memoria Mayo 2000-Junio 2003*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

Valle, J.M., Rodríguez, Á., Moreno, M. (2009). *Documentación fotográfica del Apostolado y La Piedad del exterior del Monasterio de Arantzazu (Oñati, Gipuzkoa)*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

I Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos (1931). *The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments (Carta de Atenas)*. Atenas.

II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos (1964). *Carta Internacional sobre la Conservación y Restauración de los Monumentos y los Sitios (Carta de Venecia)*. Venecia. Adoptada por ICOMOS en 1965.

Álvarez, I., Lopetegi, A., Mesanza, A., Rodríguez, Á., Valle, J.M., Vicente, I. (2003). *Diferentes propuestas para la representación geométrica de edificios históricos*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea. En: *Arqueología de la Arquitectura*, 2-2003, págs. 9-12. [http://www.ehu.es/docarq/LDA/publicaciones/arqarq_edif.pdf. Consulta: Mayo 2011].

Buill, F. (2009). *Caracterización geométrica con técnicas ópticas 3D aplicadas al modernismo en Cataluña*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Georgopoulos, A., Natsis, S. (2008). *Evaluation of a simpler method for large scale digital orthophoto production*. En: *Digital Heritage: Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*. Limassol, Chipre. Págs.: 40-47.

Gómez, R. (2008). *Aplicación del radar de penetración en tierra (georadar) a la exploración no destructiva de yacimientos arqueológicos*.

ICOMOS-ISCS (2008). *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*. [http://www.international.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf. Consulta: Mayo 2011].

Ioannides, M., Georgopoulos, A., Scherer, M. *Standards in cultural heritage: the missing grammar for the digital documentation of the past*. [<http://www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie/download/Standards.pdf>. Consulta: Mayo 2011].

Jordá, L. (2005). *Técnicas geofísicas de reconocimiento del subsuelo: Georadar y tomografía eléctrica. Casos prácticos*. En: *Revista Subsuelo & Obra Urbana*, agosto 2005. Págs. 34-43. [http://www.demecanica.com/contribuciones/Georadar_Tomologia.pdf. Consulta: Mayo 2011].

Matteini, M. (2008). *Tecnologie per i beni culturali*. Progetto Tecnoprimi Rapporto Tecnico Finale Tecnologie di Interesse Generale. [http://progetti.airi.it/tecnoprmi/report/Allegato5_Beni_culturali.pdf. Consulta: Mayo 2011].

Pardo, D. (2008). *La portada de "los Abuelos". Iglesia de San Juan, Laguardia (Álava)*. Servicio de Patrimonio Histórico de la Diputación Foral de Álava. En: *Revista AKOBE, restauración y conservación de bienes históricos*, número 9. Págs 84-85. Fundación Catedral Santa María, Vitoria-Gasteiz.

Pérez, P. (2009). *Optimización del proyecto de auscultación, dirigido al estudio de deformaciones de un elemento patrimonial, mediante técnicas topográficas clásicas*. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

Ricolfe, C., Sánchez, A.J. (2008). Procedimiento completo para el calibrado de cámaras utilizando una plantilla plana. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Politécnica de Valencia. En: Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. ISSN: 1697-7912. Vol. 5, nº 1, Enero 2008, págs.: 93-101.

Rodríguez, Á. (1988). *Localización geográfica de la villa de Cabriana y análisis de sus características geométricas mediante técnicas topográficas y geofísicas*. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea.

Rodríguez, Á., Valle, J.M. (2010). *Methodological keys for the acquisition and long-term use of photographic collections representing elements of Heritage*. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea. En: Fusion of Cultures: Abstracts of the XXXVIII Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. ISBN: 978-84-693-0772-4. Granada, Abril 6-9. Págs.: 175-182.

Rodríguez, Á., Valle, J. M., Martínez, J. M. (2008). *3D Line drawing from point clouds using chromatic stereo and shading*. En: Digital Heritage: Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia. Limassol, Chipre. Págs.: 77-84.

Romero, R. (2001). *Ventajas del formato gráfico PNG*. Publicado originalmente en Tesalia, 20/04/2001. Unidad de Investigación ACCESO. [<http://acceso.uv.es/accesibilidad/artics/web/01-png.htm>. Consulta: Febrero 2011].

Sánchez, N., Arias, B., González, D., Gómez-Lahoz J. (2004). *Análisis aplicado de métodos de calibración de cámaras para usos fotogramétricos*. Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, Universidad de Salamanca. Actas del VIII Congreso TOPCART, Madrid. [<http://web.usal.es/~nilda/topcartANALISIS%20METODOS%20CALIBRACION%20OCAMARAS.pdf>. Consulta: Junio 2011].

UNESCO (1972). *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural*. Paris.

Valle, J.M. (2007). *Documentación Geométrica del Patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica*. Tesis doctoral. Universidad de la Rioja.

Wiggenhagen M. (2002). *Calibration of digital consumer cameras for photogrammetric applications*. Institute for Photogrammetry and GeoInformation, University of Hannover. IntArchPhRS, Com.III, Graz, Vol.XXXIV Parte 3b, págs.: 301-304. [<http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part3/papers/paper009.pdf>. Consulta: Junio 2011]

Zhang, Z. (1999). *A flexible new technique for camera calibration*. Microsoft Research, One Microsoft Way. 7th International Conference on Computer Vision.

ORGANISMOS/PÁGINAS WEB

Ayuntamiento de Laguardia. [<http://www.laguardia-alava.com/>]

Euskomedia, Kultura Topagunea. [<http://www.euskomedia.org/>]

Gobierno Vasco, Turismo. [<http://www.turismoa.euskadi.net/>]

ICOMOS, Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.
[<http://www.icomos.org/>]

ISPRS, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
[<http://www.isprs.org/>]

JPEG, Joint Photographic Expert Group Comitee. [<http://www.jpeg.org/>. Consulta: Febrero 2011].

LDGP, Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio.
[<http://www.ldgp.es/>]

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Centro de Patrimonio Mundial. [<http://whc.unesco.org/>]

RAE, Real Academia Española. [<http://www.rae.es/>]

Roelofs, G. *Portable Network Graphics, An Open, Extensible Image Format with Lossless Compression*. [<http://www.libpng.org/pub/png/>. Consulta: Febrero 2011].

W3C, World Wide Web Consortium. [<http://www.w3.org/>. Consulta: Febrero 2011].

WordReference.com, Diccionarios de Español, Inglés, Francés y Portugués.
[<http://www.wordreference.com/>]

ANEXO I.
INTRUMENTACIÓN PARA LA TOMA DE DATOS

ANEXO I. INSTRUMENTACIÓN PARA LA TOMA DE DATOS

A) CÁMARA FOTOGRÁFICA: CANON EOS 5D MARK II / OBJETIVO FIJO DE 35mm



a) Especificaciones técnicas¹

SENSOR DE IMÁGENES

Tipo	36 x 24 mm CMOS
Píxeles efectivos	Aprox. 21,1 M
Total de píxeles	Aprox. 22 MP
Relación de aspecto	3:2
Filtro de paso bajo	Incorporado/fijo
Limpieza de sensor	Sistema Integrado de Limpieza EOS con revestimiento de flúor
Tipo de filtro de color	Colores primarios

OBJETIVO

Longitud focal	Equivalente a 1,0x la longitud focal del objetivo
----------------	---

CONTROL DE EXPOSICIÓN

Rango de medición	EV 1 - 20 (a 20 °C con objetivo de 50 mm f/1.4 ISO 100)
Sensibilidad ISO*	Auto (100-3200), 100-6400 (en incrementos de 1/3 de paso o de 1 paso) La sensibilidad ISO puede ampliarse hasta H1: 12800 y H2: 25600

¹ Tabla extraída de la página Web oficial de Canon [<http://www.canon.es/>].

OBTURADOR

Velocidad	30 - 1/8000 seg. (incrementos de 1/3 de punto), Bulb (rango de velocidad del obturador total. La gama disponible varía dependiendo del modo de disparo)
------------------	---

TIPO DE ARCHIVO

Tipo de imagen fija	JPEG: fina, normal (compatible con Exif 2.21 [Exif Print]) / Regla de diseño para Camera File system (2.0), RAW: RAW, sRAW1, sRAW1 (14 bits, Canon RAW original, 2ª edición), DPOF (Formato de orden de impresión digital) compatible con la versión 1.1
Grabación simultánea de RAW+JPEG	Sí, es posible cualquier combinación de RAW + JPEG.
Tamaño de imagen	JPEG: (L) 5616 x 3744, (M) 4080 x 2720, (S) 2784 x 1856 RAW: (RAW) 5616 x 3744, (sRAW 1) 3861 x 2574, (sRAW 2) 2784 x 1856

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Baterías	Batería de ión-litio recargable LP-E6 (suministrada), 1 batería CR1616 para fecha y ajustes
Duración de la batería	Aprox. 850 (a 20 °C) Aprox. 750 (a 0°C)
Indicador de batería	6 niveles + porcentaje
Ahorro de energía	La corriente se desconecta después de 1, 2, 4, 8, 15 o 30 minutos.
Fuente de alimentación y cargadores de pila	Kit adaptador de CA ACK-E6, cargador de baterías LC-E6E/LC-E6, cargador de baterías para coches CBC-E6, cable de batería para coche CB-570

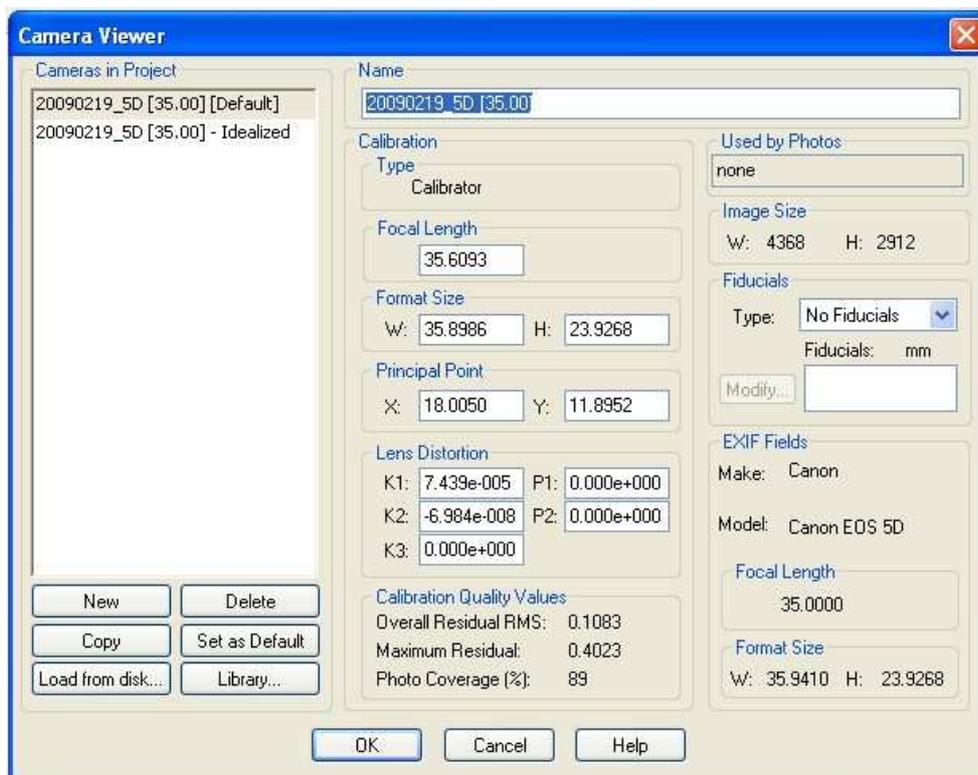
ESPECIFICACIONES FÍSICAS

Entorno de funcionamiento	0 – 40 °C, humedad relativa del 85% o inferior
Dimensiones (An x Al x F)	152 x 113,5 x 75 mm
Peso (sólo el cuerpo)	Aprox. 810 g

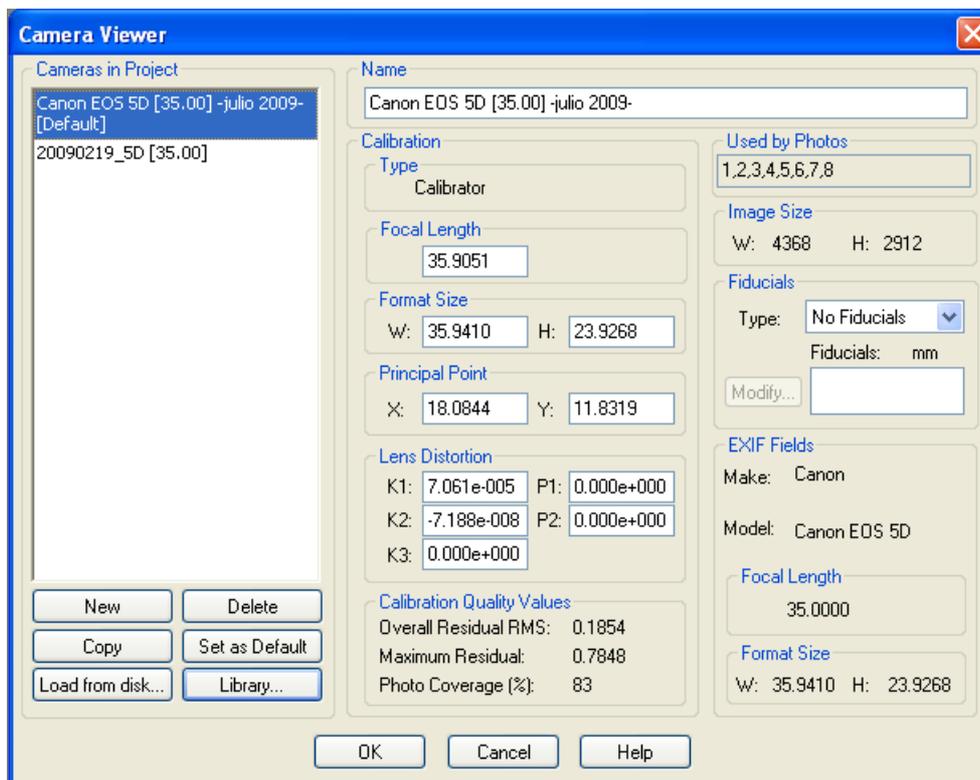
Todos los datos están basados en los métodos de prueba estándar de Canon, salvo que se indique lo contrario.

a) Calibraciones

- *PhotoModeler*. 19 de Febrero de 2009.



- *PhotoModeler*. 21 de Julio de 2009.



Status Report Tree

Project Name: Canon EOS 5D [35.00] Julio 2009

Problems and Suggestions (0)

Project Problems (0)

Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Tue Jul 21 09:44:36 2009

PhotoModeler Version: 6.2.2.596 - final,full

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: on (full calibration)

Constraints: off

Total Error

Number of Processing Iterations: 3

Number of Processing Stages: 2

First Error: 1.499

Last Error: 1.495

Precisions / Standard Deviations

Camera Calibration Standard Deviations

Camera1: Canon EOS 5D [35.00] -julio 2009-

Focal Length

Value: 35.905143 mm

Deviation: Focal: 0.002 mm

Xp - principal point x

Value: 18.084402 mm

Deviation: Xp: 0.001 mm

Yp - principal point y

Value: 11.831857 mm

Deviation: Yp: 0.001 mm

Fw - format width

Value: 35.941000 mm

Fh - format height

Value: 23.926800 mm

K1 - radial distortion 1

Value: 7.061e-005

Deviation: K1: 2.1e-007

K2 - radial distortion 2

Value: -7.188e-008

Deviation: K2: 6.1e-010

K3 - radial distortion 3

Value: 0.000e+000

P1 - decentering distortion 1

Value: 0.000e+000

P2 - decentering distortion 2

Value: 0.000e+000

Quality

Photographs

Total Number: 8

Bad Photos: 0

Weak Photos: 0

OK Photos: 8

Number Oriented: 8

Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: Canon EOS 5D [35.00] -julio 2009-

Calibration: yes

Number of photos using camera: 8

Average Photo Point Coverage: 83%

Photo Coverage

Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 0

Point Marking Residuals

Overall RMS: 0.185 pixels

Maximum: 0.785 pixels

Point 138 on Photo 4

Minimum: 0.121 pixels

Point 69 on Photo 5

Maximum RMS: 0.565 pixels

Point 138

Minimum RMS: 0.078 pixels

Point 69

Point Tightness

Maximum: 0.00074 m

Point 134

Minimum: 0.00011 m

Point 69

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 7.18e-005 m

Maximum Vector Length: 8.68e-005 m

Point 134

Minimum Vector Length: 6.99e-005 m

Point 33

Maximum X: 4.41e-005 m

Maximum Y: 3.8e-005 m

Maximum Z: 6.44e-005 m

Minimum X: 3.21e-005 m

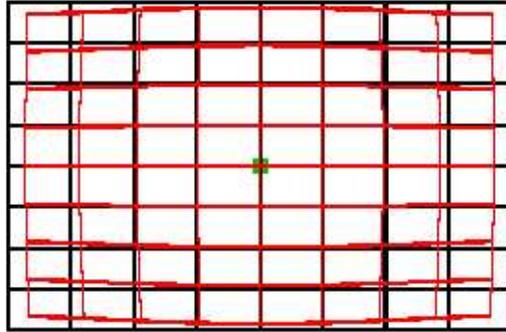
Minimum Y: 3.19e-005 m

Minimum Z: 5.29e-005 m

- *Image Master*. 19 de Mayo de 2010.

[Lens Distortion Curve]

Camera File Name: EOS5D_12MP_20100519.cmr
Display Scale (Lens Distortion): 4.0



Interior Orientation Parameters

Focal Length f: 34.838878 [mm]
Principal Point Xp: 17.659395 [mm]
Principal Point Yp: 11.587001 [mm]

Lens Distortion Parameters

Radial Distortion K1: 7.956966e-005
Radial Distortion K2: -7.848719e-008
Tangential Distortion P1: 7.994092e-006
Tangential Distortion P2: -2.739052e-005

Pixel Size Xr: 8.0 [um]

Pixel Size Yr: 8.0 [um]

Max of Before Correction: 28.060 [Pixel]

Black Line: Ideal Value

Red Line: Before Correction

B) INSTRUMENTO TOPOGRÁFICO. ESTACIÓN TOTAL LEICA 1205

Leica TPS1200

Especificaciones técnicas y características del sistema



Modelos y opciones

	TC	TCR	TCRM	TCA	TCP	TCRA	TCRP
Medición de ángulos	•	•	•	•	•	•	•
Medición de distancias (IR)	•	•	•	•	•	•	•
PuntoPreciso medición distancias sin prisma (RL)		•	•			•	•
Motorizada			•	•	•	•	•
Reconocimiento Automático de Prisma (ATR)				•	•	•	•
PowerSearch (PS)					•		•
Luces Replanteo (EGL)	◦	◦	◦	•	•	•	•
Unidad Control Remoto (RX1220)	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
GUS74 Guiado Láser				◦		◦	
SmartStation (ATX1230)	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦

• = Estándar

◦ = Opcional

Medición Angular



		Tipo 1201	Tipo 1202	Tipo 1203	Tipo 1205
Precisión	Hz, V	1" (0.3 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
(desviación estándar, ISO 17123-3)	Resolución de pantalla:	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)
Método	Absoluto, continuo, diametral				
Compensador	Rango de Trabajo	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)
	Precisión	0.5" (0.2 mgon)	0.5" (0.2 mgon)	1.0" (0.3 mgon)	1.5" (0.5 mgon)
	Método	Compensador de doble eje centrado			

Medición de distancias (IR)



Alcance	Prisma Circular (GPR1):	3000 m
(condiciones atmosféricas medias)	Prisma 360° (GRZ4):	1500 m
	Miniprisma (GMP101):	1200 m
	Diana Reflectante (60 mm x 60 mm):	250 m
	Mínima distancia medible:	1.5 m
Precisión / Tiempo Medición	Modo Estándar:	2 mm + 2 ppm / típ. 1.5 s
(desviación estándar, ISO 17123-4)	Modo Rápido:	5 mm + 2 ppm / típ. 0.8 s
	Modo Tracking:	5 mm + 2 ppm / típ. < 0.15 s
	Resolución pantalla:	0.1 mm
Método	Medición de fase (coaxial, láser infrarrojo invisible)	

Puntero R100/R300 medición distancias sin prisma (LR)



Alcance	PuntoPreciso R100:	170 m/100 m (Carta Kodak Gris reflexivo 90% / 18% reflexivo)
(condiciones atmosféricas medias)	PuntoPreciso R300:	500 m/300 m (Carta Kodak Gris reflexivo 90% / 18% reflexivo)
	Mínima distancia medible:	1.5 m
	Largo Alcance al prisma circular (GPR1):	1000 m - 7500 m
Precisión / Tiempo Medición	Sin prisma < 500 m:	3 mm + 2 ppm / típ. 3 - 6 s, max. 12 s
(desviación estándar, ISO 17123-4)	Sin prisma > 500 m:	5 mm + 2 ppm / típ. 3 - 6 s, max. 12 s
	Largo Alcance:	5 mm + 2 ppm / típ. 2.5 s, max. 12 s
Tamaño del punto láser	A 20 m:	Aprox. 7 mm x 14 mm
	A 100 m:	Aprox. 12 mm x 40 mm
Método	PuntoPreciso R100:	Medición de fase (coaxial, láser rojo visible)
	PuntoPreciso R300:	Sistema de Análisis (coaxial, láser rojo visible)

Motorizada



Velocidad Máxima	Velocidad Rotación:	45° / s
-------------------------	---------------------	---------



Reconocimiento Automático de Prisma (ATR)

Alcance Modo ATR / Modo LOCK (condiciones atmosféricas medias)	Prisma Circular (GPR1):	1000 m / 800 m
	Prisma 360° (GRZ4):	600 m / 500 m
	Miniprisma (GMP101):	500 m / 400 m
	Diana Reflectante (60 mm x 60 mm):	55 m (175 ft)
	Mínima distancia medible:	1.5 m / 5 m
Precisión / Tiempo medición	Precisión Posicionamiento:	< 2 mm
	Tiempo medición:	3 – 4 s
Velocidad máxima (Modo LOCK)	Tangencial (modo estándar):	5 m / s a 20 m, 25 m / s a 100 m
	Radial (modo tracking):	4 m / s
Método	Procesamiento Imagen Digital (haz láser)	



PowerSearch (PS)

Alcance (condiciones atmosféricas medias)	Prisma Circular (GPR1):	200 m
	Prisma 360° (GRZ4):	200 m (perfectamente alineado al instrumento)
	Miniprisma (GMP101):	100 m
	Mínima distancia medible:	5 m
Tiempo de búsqueda	Tiempo búsqueda típico:	< 10 s
Velocidad máxima	Velocidad Rotación:	45° / s
Método	Procesamiento Imagen Digital (abanico rotante láser)	



Luces Replanteo (EGL)

Alcance (condiciones atmosféricas medias)	Rango de trabajo:	5 m – 150 m
	Precisión	Precisión posicionamiento:



Datos Generales

Anteojo	
Aumentos:	30 x
Apertura libre objetivo:	40 mm
Campo de visión:	1°30' (1.66 gon) / 2.7 m a 100 m
Rango de enfoque:	1.7 m al infinito
Teclado y pantalla	
Pantalla:	LCD 1/4 VGA (320*240 pixeles), gráfica, iluminación, pantalla táctil (opcional)
Teclado:	34 botones (12 función, 12 alfanuméricos), iluminación
Ángulos mostrados:	360° ' ", 360° decimal, 400 gon, 6400 mil, v%
Distancia mostrada:	Metro, pie int., pie/pulgada, pie US, pie/pulgada US
Posición:	Posición I estándar, Posición II opcional
Almacenamiento datos	
Memoria Interna:	32 MB (opcional)
Tarjeta de memoria:	CompactFlash (32 MB y 256 MB)
Número de grabaciones:	1750 / MB
Interface:	RS232, Bluetooth® Wireless-Technology (opcional)
Nivel circular	
Sensibilidad:	6' / 2 mm

Plomada Láser	
Precisión centrado:	1.5 mm a 1.5 m
Diámetro punto láser:	2.5 mm a 1.5 m
Tornillos sin fin	
Nº de tornillos:	1 horizontal / 1 vertical
Batería (GEB221)	
Tipo:	ión-Litio
Voltaje:	7.4 V
Capacidad:	3.8 Ah
Tiempo de trabajo:	típ. 6 – 8 h
Pesos	
Estación total:	4.8 – 5.5 kg
Batería (GEB221):	0.2 kg
Base nivelante (GDF121):	0.8 kg
Especificaciones del entorno	
Rango de temperatura de trabajo:	-20°C a +50°C
Rango de temperatura de almacenamiento:	-40°C a +70°C
Polvo / Agua (IEC 60529):	IP54
Humedad:	95%, sin condensación



Unidad de Control Remoto (RX1220)

Comunicación	Vía radio modem integrado	
Unidad de Control	Pantalla:	LCD 1/4 VGA (320*240 pixeles), gráfica, pantalla táctil, iluminación
	Teclado:	62 botones (12 función, 40 alfanuméricos), iluminación
	Interface:	RS232
Batería (GEB211)	Tipo:	ión-Litio
	Voltaje:	7.4 V
	Capacidad:	1.9 Ah
	Tiempo de trabajo:	típ 10 h
Pesos	Unidad de Control RX1220:	0.6 kg
	Batería (GEB211):	0.1 kg
	Adaptador al bastón:	0.25 kg
Especificaciones del entorno	Rango de temperatura de trabajo:	-30°C a +65°C
	Rango de temperatura de almacenamiento:	-40°C a +80°C
	Polvo / Agua (IEC 60529):	IP67
	Resistencia al agua (MIL-STD-810F):	Inmersión temporal a 1 m

Certificado de Verificación y Control

Nº de Certificado 300478361
Fecha 07.01.2008

Leica Geosystems, s.l.
Ibarrekolanda, 36
48015 Bilbao - Deusto
Teléfono +34 94 447 3104
Fax +34 94 447 3393
www.leica-geosystems.com

UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
E.U.I.T. Ind. e Ing.Tec.Topog.
NIEVES CANO, 12

01006 VITORIA

Número de cliente 50198
Instrumento TCR1205 R300, taquímetro + EDM sin ref.
Nº de Serie 213379
Técnico 110336

Proceso de Verificación y Control:

El instrumento ha sido verificado y controlado conforme a los procedimientos establecidos por Leica Geosystems, S.L. según el manual del instrumento en cuestión.

Resultados:

Temperatura durante la verificación (°C): 24

	Entrada	Tolerancia	Salida	Incertidumbre
Desviación Hz (Gon)	0.0003	0.0015	0.0001	0.0004
Desviación Vt (Gon)	0.0008	0.0015	0.0002	0.0002
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro infrarrojo)	0.1	2mm + 2ppm	0.1	0.1
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro láser)	0.1	3mm + 2ppm	0.1	0.1

Patrones empleados:

Angulos:

Colimador de ejes: Wild nº 9694 (Incertidumbre asociado con el patrón: 0.0005 gon)

Distancia:

Leica DI2002 nº 181130 (incertidumbre asociada con el patrón: 0.7 mm)

Comentarios:

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones y poseen trazabilidad a patrones nacionales o a patrones extranjeros

No se permite la reproducción parcial de este certificado sin la aprobación por escrito de Leica Geosystems, s.l.

Certificado de Verificación y Control

Nº de Certificado 300647080
Fecha 19.02.2010

Leica Geosystems, s.l.
Autov.Fuencarral-Alcobendas
Km 15'700, nº 24
Edif. Europa 1, Portal 3, 1º
28108 ALCOBENDAS (Madrid)
Teléfono (+34) 91 744 0740
Fax (+34) 91 744 0741
www.leica-geosystems.com

UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
E.U.I.T. Ind. e Ing.Tec.Topog.
NIEVES CANO, 12

01006 VITORIA

Número de cliente 50198
Instrumento TCR1205 R300, taquímetro + EDM sin ref.
Nº de Serie 213379
Técnico 120003

Proceso de Verificación y Control:

El instrumento ha sido verificado y controlado conforme a los procedimientos establecidos por Leica Geosystems, S.L. según el manual del instrumento en cuestión.

Resultados:

Temperatura durante la verificación (°C): 24

	Entrada	Tolerancia	Salida	Incertidumbre
Desviación Hz (Gon)	0.0015	0.0015	0.0015	0.0008
Desviación Vt (Gon)	0.0020	0.0015	0.0015	0.0009
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro infrarrojo)	2	2mm + 2ppm	2	1.5
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro láser)	3	3mm + 2ppm	3	2

Patrones empleados:

Angulos:

Colimador de ejes: Wild n°24ncertidumbre asociado con el patrón: 0.0005 gon)

Distancia:

La base de distancias ha sido calibrada por el Centro Español de Metrología con un taquímetro electrónico de 0,01 mm de resolución, con trazabilidad a patrones nacionales

Comentarios:

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones y poseen trazabilidad a patrones nacionales o a patrones extranjeros

No se permite la reproducción parcial de este certificado sin la aprobación por Leica Geosystems, s.l. Este documento no tiene carácter de calibración.



C) MATERIAL AUXILIAR

- **Jalón telescópico de hasta 15 metros**
Utilizado para la toma de fotografías a nivel del óculo
- **Portátil**
- **Grúa**
Alquilada para alcanzar las cotas superiores de la fachada con el fin de establecer la red de apoyo en 2008.



Jalón telescópico (izq.) y grúa utilizadas(dcha.).

ANEXO II.
PROGRAMAS INFORMÁTICOS COMERCIALES

ANEXO II. PROGRAMAS INFORMÁTICOS COMERCIALES

A. IMAGE MASTER. TOPCON.

a) Descripción

Image Master es un programa fotogramétrico desarrollado por Topcon. Permite la utilización de fotografías digitales para la obtención de modelos superficiales tridimensionales texturizados, ortofotografías, secciones, etc. Además, incluye un programa de calibración para el cálculo de los parámetros de las lentes de la cámara, necesarios para la posterior corrección de la distorsión. También es posible utilizar nubes de puntos generadas por láser-escáner.

b) Flujo de trabajo

Ante todo, es necesario que la toma de fotografías respete la geometría estereoscópica, con base paralela al objeto y con la cámara orientada en la misma dirección en el momento de la toma.

Estas fotografías deberán estar tomadas con una cámara calibrada con el software que incluye Image Master para tal fin. La calibración se realiza con la toma de cinco fotos a una plantilla en papel desde ángulos específicos y procesándolas posteriormente en el programa.

Image Master sigue el tradicional procedimiento en fotogrametría. En primer lugar se les debe asignar un fichero de calibración para la posterior corrección de la distorsión y coordenadas del punto principal. El marcado de puntos del apoyo en todas las fotografías y la elección de los pares (seleccionando siempre primero la imagen izquierda y después la derecha) se realiza también en un primer momento. Con todo ello el programa calcula automáticamente la orientación interna y externa de todos los pares, resultando esta parte del proceso muy rápida.

El siguiente paso es el dibujo de líneas de rotura para facilitar la generación del modelo tridimensional. Sin embargo, esto se puede evitar en algunos casos y se posible obtener el modelo directamente.

Una vez se dispone del modelo, es obligatoria la edición del mismo para la limpieza de todos los errores que hayan surgido, bien sean causados por ocultamientos o por texturas complicadas. El modelo tiene textura fotográfica, por lo que hace muy fácil el dibujo sobre él. Además, también es posible la generación automática y exportación de perfiles, secciones y ortoimágenes.

Es un proceso que no deja opción a muchas variaciones por parte del usuario, ya que se encuentra bastante automatizado. Así, es un programa abierto a cualquier persona, aunque ésta no tenga conocimientos avanzados de fotogrametría.

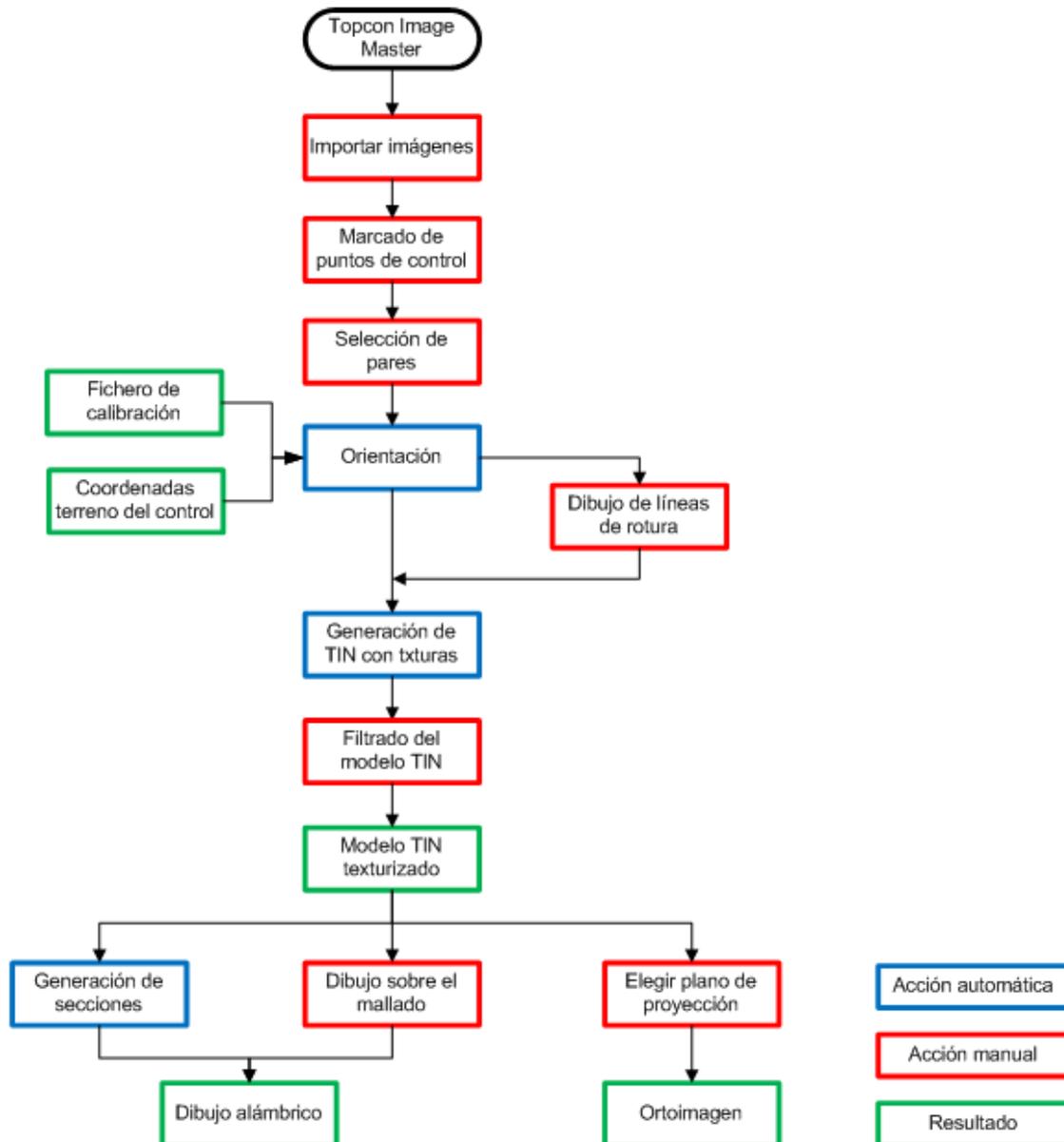


Figura I.1. Flujo de trabajo de *Image Master*.

c) Entorno de trabajo

La interfaz del programa está dividida en cinco módulos, estando cada uno de ellos orientado a un paso diferente del proceso que finaliza en el modelo.

- **Model (modelo):** Tiene las opciones de edición de los modelos tridimensionales y de dibujo sobre ellos, ya sean nubes de puntos, superficies malladas o modelos alámbricos. Aquí se encuentran también los comandos para la generación de subproductos como secciones (curvas de

nivel o contornos) y ortofotos. En el caso de ser necesario, el programa permite aplicar texturas fotográficas a superficies que no dispongan de ella.

- **Remote (a distancia):** El programa da la posibilidad de conectar la estación total de la misma marca comercial al programa.
- **Registration (registro):** En este módulo es posible la transformación de coordenadas de un sistema a otro mediante puntos de paso. Esta función es muy útil, por ejemplo, cuando no se dispone de un apoyo común en dos modelos diferentes pero se pueden divisar puntos homólogos en ellos.
- **Orientation (orientación):** Aquí se realiza el trabajo con las fotografías importadas: marcado de puntos, corrección de distorsiones y orientaciones.
- **Stereo (estéreo):** Una vez se tienen los pares orientados, este módulo permite las operaciones propias de la restitución. Por un lado es posible visualizar los pares de forma estereoscópica con gafas polarizadas y un equipo adecuado. Pero por otro lado, existe la opción de dibujar los puntos significativos sin la necesidad de visión 3D, pinchando el mismo punto en las dos fotografías. Sin embargo, dependiendo de la morfología del objeto de estudio, en algunos casos es posible generar la mallado sin líneas de rotura previas.

B. PHOTOMODELER SCANNER. EOS.

a) Descripción

PhotoModeler es un programa fotogramétrico desarrollado por EOS Systems para la obtención de nubes de puntos (DSM¹) con color a partir de fotografías digitales. Se trata de la adaptación de versiones anteriores del software que trabajaban con fotogrametría convergente. En este caso, pasa a utilizar geometría estereoscópica para el proceso de correlación automática.

Al igual que *Image Master*, incluye un módulo de calibración para el cálculo de los parámetros de las lentes de la cámara y para la corrección de las imágenes.

b) Flujo de trabajo

El proceso de trabajo con *PhotoModeler* es similar al de *Image Master*.

Las fotografías utilizadas para la obtención de las nubes de puntos deben tener una orientación paralela, a la vez que la distancia entre las cámaras deben ser de aproximadamente un cuarto respecto a la distancia al objeto. No obstante, *PhotoModeler* no permite visión estereoscópica tridimensional.

La mayor diferencia entre ambos es que el primero obtiene una nube de puntos antes de mostrar el mallado, por lo que no es un procedimiento tan automático. Además, el proceso de generación de nubes de puntos requiere la introducción de una serie de parámetros que varían en cada caso.

¹ *Dense Surface Model*



Figura I.2. Flujo de trabajo de *PhotoModeler*.

c) Pruebas realizadas con los parámetros para la obtención de DSM

Definiciones		
1	Sampling rate	Los puntos 3D están espaciados aproximadamente esta distancia sobre la superficie.
2	Depth range	Controla el rango de búsqueda de correlación. Above Surface: Distancia sobre la superficie a la que se puede crear un punto 3D. Habrá que aumentar el valor si hay ruido inesperado sobre la superficie. Below Surface: Lo mismo pero bajo la superficie.
3	SubPixel	Para conseguir superficies de mayor precisión. Se hace el proceso más lento.
4	Super-Sampling factor	Factor usado en el método SubPixel. Cuanto mayor es, la ondulación será menor pero el paso de SubPixel se hará más lento. Se suelen utilizar los valores 2 y 4.
5	Matching region radius	El tamaño de la mitad del área de correlación utilizada. Cuanto mayor es se consiguen resultados más suaves aunque más lentos, puede ser útil si las características de la textura son ¿grandes?. Cuanto menor valor más rápido será, pero con más ruido.
6	Texture type	1=La textura de las imágenes de origen son poco repetitivas. 10=La textura tiene mayor repetitividad. Un valor bajo produce un resultado más denso pero a veces con mayor ruido. Un valor alto da un resultado menos denso. Usar valores bajos cuando hay poco ruido pero muchos puntos "dropped". Usar valores altos para reducir ruido con texturas repetitivas.

Parám.	1	2	3	4	...	9	10
1	3	3	3	3		5	5
2	0.032-0.032	0.032-0.032	0.032-0.032	0.032-0.032		0.300-0.300	0.238-0.238
3	Si	Si	Si	Si		Si	Si
4	2	2	8	4		4	4
5	20	20	20	37		25	26
6	10	1	1	1		3	4
Tiempo	30'	40'				1h 27'	1h 25'

P.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	0.238-0.238	0.586-0.586	0.3-0.3	0.3-0.3	0.3-0.3	0.3-0.3	0.3-0.3	0.3-0.3	0.3-0.3	0.1-0.1
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4	2	2	4	4	4	4	8	4	4	4
5	10	10	10	14	5	2	5	5	5	5
6	3	3	3	3	3	3	3	5	1	1
T.	10'	25'	25'	40'	11'	6'	33'	32'	11'	9'

La serie de pruebas se realizó con el fin de encontrar los parámetros ideales en el caso de Laguardia. Como se observa la pruebas cuentan con valores extremos en un principio, cuyos resultados eran pésimos tanto temporal como cualitativamente. El principal problema a resolver en todos los casos es el elevado ruido resultante. Finalmente, la prueba nº 19 obtuvo un resultado aceptable.

Se ha probado esta misma combinación de parámetros en otros proyectos con buenos resultados.

d) Comparación de resultados con diferente apoyo

Proyecto sin utilizar dianas en la orientación:

Table Windows															
Point table - Quality															
Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	Photo Largest Residual	Photos (used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tightness (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Control Name	Type	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.1856...	0.1995...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	8.1132...	16.003...	yes		Regular	-0.498...	0.2923...	-1.022...
2	0.0900...	0.0905...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	3.9216...	18.906...	yes		Regular	0.2869...	0.2771...	-0.979...
3	0.0031...	0.0032...	1	1,2	n/a	n/a	n/a	1.4427...	18.037...	yes		Regular	0.3160...	-0.245...	-0.965...
4	0.2083...	0.2186...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	8.6290...	17.820...	yes		Regular	-0.472...	-0.245...	-1.002...
5	0.0117...	0.0121...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	5.1189...	19.969...	yes		Regular	-0.071...	0.3107...	-1.001...
6	0.2320...	0.2460...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	0.0001...	17.390...	yes		Regular	-0.496...	-0.037...	-1.010...
7	0.0501...	0.0517...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	2.4556...	19.318...	yes		Regular	-0.151...	0.0688...	-1.071...
8	0.2559...	0.2601...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	0.0001...	19.596...	yes		Regular	0.0293...	0.0765...	-1.059...
9	0.1552...	0.1559...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	7.6874...	19.287...	yes		Regular	0.0788...	-0.109...	-1.055...
10	0.2035...	0.2079...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	9.8526...	19.394...	yes		Regular	-0.130...	-0.149...	-1.062...
11	0.2284...	0.2313...	2	1,2	n/a	n/a	n/a	0.0001...	20.560...	yes		Regular	-0.060...	-0.234...	-0.982...
12	0.1272...	0.1290...	1	1,2	n/a	n/a	n/a	5.9109...	18.720...	yes		Regular	0.3258...	-0.023...	-0.971...

Proyecto con 5 dianas (sin fijar) + 4 puntos de paso en la orientación:

Table Windows															
Point table - Quality															
Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	Photo Largest Residual	Photos	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightne (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Control Name	Type	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.0127...	0.0129...	2	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	2.4638...	19.9217...	yes	PA_B151	Control	1008.165...	1999.583...	506.442...
2	0.0050...	0.0057...	2	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	7.7885...	20.3793...	yes	PA_B152	Control	1008.251...	2000.741...	505.380...
3	0.0055...	0.0056...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	2.0682...	18.7138...	yes	PA_B153	Control	1008.758...	2000.716...	506.375...
4	0.0451...	0.0468...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	8.5194...	19.5855...	yes	PA_B154	Control	1008.279...	2001.849...	506.350...
5	0.0823...	0.0859...	1	1,2	0.0001...	0.0001...	0.0001...	0.0001...	20.7290...	yes	PA_B157	Control	1008.212...	2000.726...	507.248...
6	0.0292...	0.0310...	1	1,2	0.0004...	0.0002...	0.0002...	5.4895...	17.6360...	yes		Regular	1008.273...	2002.142...	507.560...
7	0.0287...	0.0287...	2	1,2	0.0004...	0.0002...	0.0002...	5.3255...	18.7097...	yes		Regular	1008.133...	1999.156...	507.542...
8	0.0246...	0.0258...	1	1,2	0.0003...	0.0002...	0.0002...	4.4293...	18.5276...	yes		Regular	1008.304...	2002.254...	505.666...
9	0.0199...	0.0202...	2	1,2	0.0003...	0.0002...	0.0002...	3.8609...	18.6752...	yes		Regular	1008.196...	1999.410...	505.499...

Proyecto con 5 dianas + 4 puntos de paso en la orientación:

Table Windows															
Point table - Quality															
Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	Photo Largest Residual	Photos (used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tightness (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Control Name	Type	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.3654...	0.3665...	1	1,2	fixed	fixed	fixed	6.6831...	19.975...	yes	PA_B151	Control	1008.166...	1999.583...	506.442...
2	0.5718...	0.6279...	1	1,2	fixed	fixed	fixed	0.0001...	20.428...	yes	PA_B152	Control	1008.252...	2000.741...	505.381...
3	0.7360...	0.9051...	2	1,2	fixed	fixed	fixed	0.0004...	18.760...	yes	PA_B153	Control	1008.758...	2000.717...	506.375...
4	0.5000...	0.5907...	1	1,2	fixed	fixed	fixed	7.2306...	19.624...	yes	PA_B154	Control	1008.280...	2001.849...	506.350...
5	0.4569...	0.4595...	1	1,2	fixed	fixed	fixed	4.0861...	20.780...	yes	PA_B157	Control	1008.212...	2000.726...	507.249...
6	0.0162...	0.0174...	1	1,2	0.0028...	0.0008...	0.0008...	3.0180...	16.037...	yes		Regular	1008.279...	2002.569...	507.758...
7	0.0117...	0.0118...	1	1,2	0.0018...	0.0008...	0.0005...	2.1639...	18.939...	yes		Regular	1008.137...	1999.272...	507.643...
8	0.1529...	0.1564...	2	1,2	0.0020...	0.0010...	0.0005...	0.0002...	18.070...	yes		Regular	1008.194...	1999.179...	505.447...
9	0.1350...	0.1419...	1	1,2	0.0019...	0.0006...	0.0005...	0.0002...	17.851...	yes		Regular	1008.318...	2002.491...	505.499...

Proyecto con 5 dianas + 9 puntos de paso en la orientación:

Table Windows															
Point table - Quality															
Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	Photo Largest Residual	Photos (used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tightness (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Control Name	Type	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.3780...	0.3864...	2	1,2	fixed	fixed	fixed	0.0001...	19.963...	yes	PA_B151	Control	1008.1...	1999.5...	506.44...
2	0.5522...	0.5524...	1	1,2	fixed	fixed	fixed	3.2270...	20.415...	yes	PA_B152	Control	1008.2...	2000.7...	505.38...
3	0.7374...	0.8690...	2	1,2	fixed	fixed	fixed	0.0003...	18.749...	yes	PA_B153	Control	1008.7...	2000.7...	506.37...
4	0.4963...	0.6499...	1	1,2	fixed	fixed	fixed	0.0001...	19.612...	yes	PA_B154	Control	1008.2...	2001.8...	506.35...
5	0.4637...	0.5297...	2	1,2	fixed	fixed	fixed	0.0001...	20.768...	yes	PA_B157	Control	1008.2...	2000.7...	507.24...
6	0.1188...	0.1277...	1	1,2	0.0023...	0.0007...	0.0007...	0.0002...	16.024...	yes		Regular	1008.2...	2002.5...	507.75...
7	0.0298...	0.0298...	1	1,2	0.0017...	0.0008...	0.0005...	5.4811...	18.927...	yes		Regular	1008.1...	1999.2...	507.64...
8	0.1644...	0.1683...	2	1,2	0.0018...	0.0009...	0.0005...	0.0003...	18.058...	yes		Regular	1008.1...	1999.1...	505.44...
9	0.2889...	0.3037...	1	1,2	0.0018...	0.0005...	0.0005...	0.0005...	17.840...	yes		Regular	1008.3...	2002.4...	505.49...
10	0.0225...	0.0234...	1	1,2	0.0015...	0.0003...	0.0005...	4.1541...	19.990...	yes		Regular	1008.2...	2000.7...	507.80...
11	0.2904...	0.3081...	1	1,2	0.0017...	0.0005...	0.0003...	0.0005...	17.412...	yes		Regular	1008.3...	2002.5...	506.37...
12	0.0307...	0.0317...	1	1,2	0.0015...	0.0002...	0.0002...	6.3377...	19.340...	yes		Regular	1008.5...	2001.1...	506.81...
13	0.2300...	0.2338...	1	1,2	0.0015...	0.0003...	0.0002...	0.0004...	19.617...	yes		Regular	1008.5...	2000.3...	506.83...
14	0.0533...	0.0536...	1	1,2	0.0015...	0.0004...	0.0003...	0.0001...	19.308...	yes		Regular	1008.5...	2000.1...	506.05...
15	0.0953...	0.0973...	1	1,2	0.0015...	0.0002...	0.0003...	0.0001...	19.416...	yes		Regular	1008.5...	2001.0...	505.89...

**ANEXO III.
PROGRAMAS INFORMÁTICOS
DESARROLLADOS**

ANEXO III. PROGRAMAS INFORMÁTICOS DESARROLLADOS

O. Lenguaje Visual Basic 6.0.....	3
A. Extracción de puntos de DXF.....	6
B. Eliminación de puntos duplicados	11
C. Giro del punto de vista	14
D. Extracción de profundidades.....	21
E. Cálculo de diferencias de profundidades.....	27
F. Generación de imagen a partir de profundidades	30

Durante el desarrollo del proyecto se han planteado diferentes problemas a los que hacer frente. Generalmente, el empleo de aplicaciones informáticas comerciales satisface los objetivos de los trabajos. Sin embargo, no siempre existe el programa que sea capaz de realizar un proceso completo, lo que obliga hacer uso de varios, cada uno para un problema concreto. Por otro lado, los trabajos disponen de un presupuesto limitado que repercute directamente en la posibilidad de adquirir estos programas. Así pues, es imprescindible una valoración de las ofertas del mercado y de la economía de la empresa, siendo en algunos casos inalcanzables.

Existe una alternativa para afrontar determinados procesos. Se trata de desarrollar programas propios, obteniendo así los resultados deseados a bajo coste. Esto requiere un tiempo de aprendizaje y dedicación que no todo el mundo está dispuesto a invertir. No obstante, encontrar soluciones de este modo aporta una independencia muy provechosa.

En este proyecto se decidió buscar un modo para realizar la comparación geométrica de profundidades de dos nubes de puntos debido a diversos problemas con las aplicaciones comerciales. A continuación se detalla cómo se han programado las diferentes fases de la solución planteada.

0. LENGUAJE VISUAL BASIC 6.0

El lenguaje de programación utilizado es el *Visual Basic 6.0* (VB6 de ahora en adelante), un lenguaje visual de alto nivel orientado a eventos y basado en objetos desarrollado para *Microsoft*.

La programación orientada a eventos supone una complicación añadida con respecto a otros tipos de programación, debido a que el flujo de ejecución del software escapa al control del programador. Aun así, requiere de un proceso de aprendizaje relativamente corto y, además, gracias a que es uno de los lenguajes de uso más extendido, existe gran cantidad de documentación en la red. Hasta ahora resulta compatible con las más recientes versiones de *Windows* como *Vista*, *Server 2008* o *7*. A pesar de todo, *Microsoft* abandonó su soporte en 2008.

Desde el punto de vista del usuario, una de las mayores ventajas de este tipo de lenguajes es la interfaz gráfica, que permite interactuar con el programa de manera intuitiva y sin necesidad de grandes conocimientos.

0.1. FORMA DE TRABAJO

Un programa es una serie de instrucciones que se transmiten al ordenador para efectuar las operaciones pedidas. Antes de desarrollar un programa se deben conocer tres aspectos: el nº de diferentes operaciones y funciones que el sistema puede realizar, el procedimiento o método que deberá readucirse en instrucciones para el PC y, por último, los requisitos que han de reunirse para obtener el resultado del proceso, en este caso, los datos que se tienen de entrada (nubes de puntos) y la información de salida que se desea (imagen de diferencias de profundidades).

En el diagrama de la figura II.1 se enumeran la serie de pasos que hay que seguir para resolver el problema.

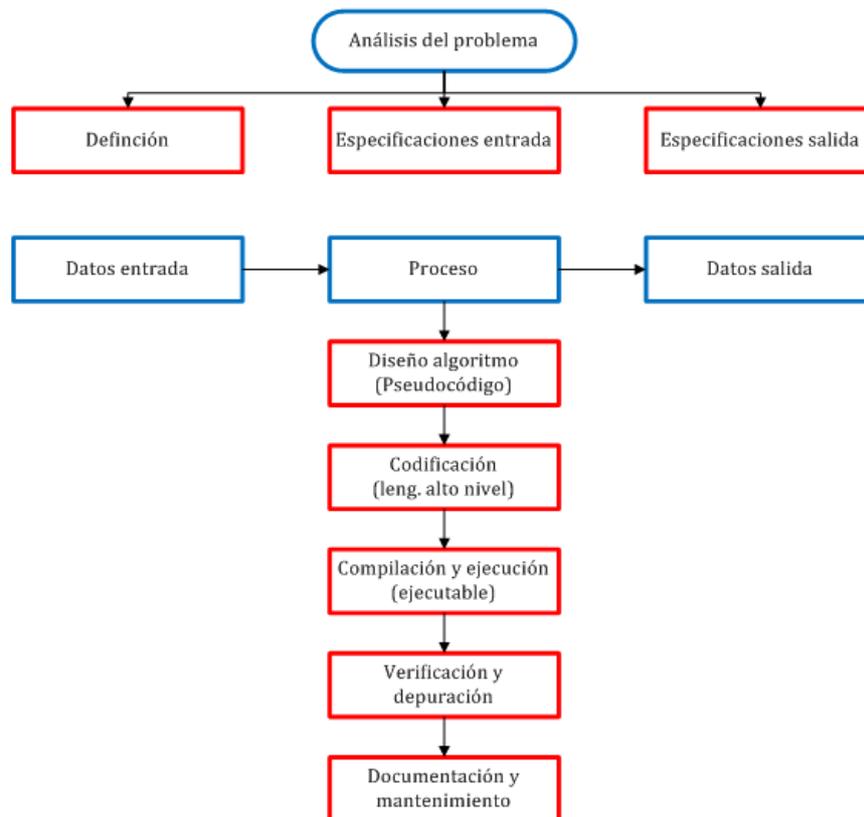


Figura II.1. Diagrama de trabajo del programador.

VB6 cuenta con dos formas de trabajo: el modo de diseño y el modo de ejecución.

En el modo de diseño el programador da forma a la aplicación insertando controles en el formulario, definiendo propiedades y desarrollando las funciones que gestionan los eventos. Por otro lado, el modo de ejecución permite verificar la respuesta del programa sentencia a sentencia, pudiendo introducir nuevos eventos para su depuración.

Siendo VB6 un lenguaje de alto nivel, su traducción a lenguaje de bajo nivel se realiza mediante intérprete. Es decir, se traduce y ejecuta línea a línea. En caso de encontrar un error, la traducción se detiene permitiendo al programador una rápida identificación del mismo.

0.1. OBJETOS EN VB6

Cada formulario, menú o control que se crea en VB6 es un módulo al que se le llama objeto. Cada objeto tiene unas propiedades, métodos o eventos propios, que será lo que les diferencie uno de otro.

Las propiedades son las características que definen el aspecto gráfico de los objetos (tamaño, posición, color, etc.) y la forma de responder a las acciones del usuario (activos/inactivos, maximizados/minimizados, etc.).

Los métodos son procedimientos llamados por el programa que no están programados por el programador. Cada tipo de objeto tiene sus propios métodos, como pueden ser “hide” o “show” (esconder o mostrar).

En cuanto a los eventos, son las acciones reconocidas por el objeto. Para activarlas hay tres vías: la acción sobre el objeto, la ejecución de una sentencia o la acción de otro objeto con el poseedor del evento.

0.2. FICHEROS EN VB6

Trabajando con este lenguaje de programación se puede tratar con tres tipos diferentes de archivos: de acceso secuencial, de acceso aleatorio y binarios.

Secuenciales	Aleatorios	Binarios
<ul style="list-style-type: none">- Cada registro puede tener diferente longitud.- Se leen o graban de forma secuencial.- Se almacenan en ASCII o UNICODE, por lo que se pueden tratar con editores de texto.- Finalizan con una marca de fin de archivo (EOF).	<ul style="list-style-type: none">- Todos los registros tienen la misma longitud.- Se pueden leer o grabar aleatoria o secuencialmente.- Algunos de los registros pueden no tener información.- Para acceder a un registro hay que tener una clave (directa o mediante un algoritmo).	<ul style="list-style-type: none">- Es una sucesión de bytes sin estructura ni formato.- Se debe introducir el número de bytes que se va a leer o escribir.

Tabla 0.1. Características de los ficheros tratables en VB6 (Bernardo, I.).

A. EXTRACCIÓN DE PUNTOS DE DXF

Lenguaje de programación: *Visual Basic 6.0*

Sistema operativo: *Microsoft Windows 7*

Programador: Miguel Moreno González

Fecha: Diciembre de 2010

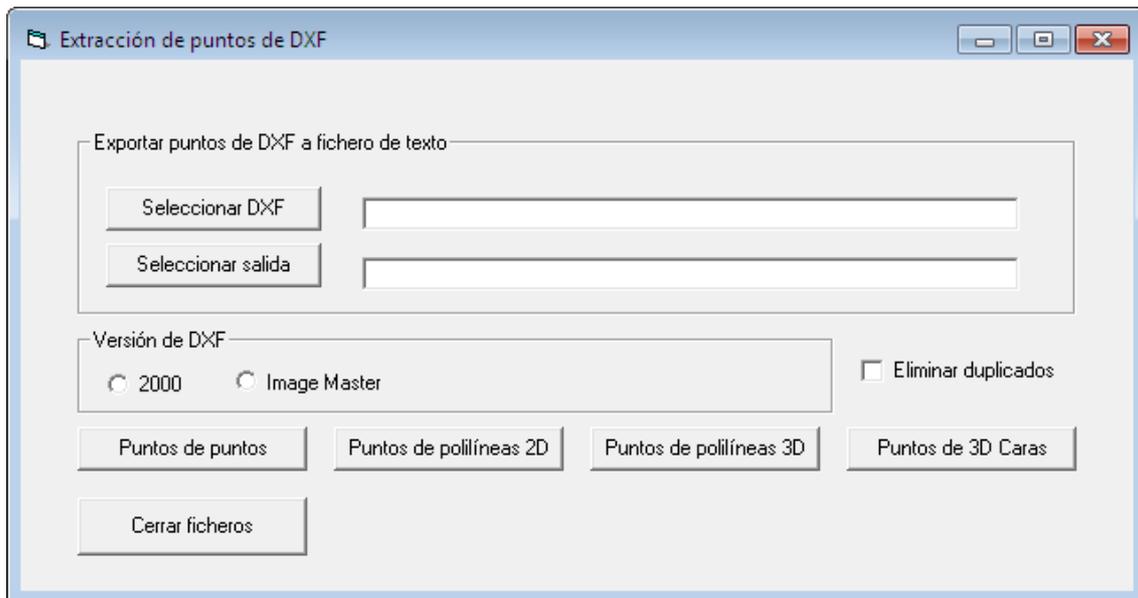


Figura A.1. Captura de pantalla de la interfaz del programa.

a) Descripción:

Este programa permite obtener las coordenadas XYZ de los puntos de diferentes elementos guardados en un fichero de intercambio *AutoCAD DXF*. Las versiones DXF compatibles son limitadas.

b) Datos entrada:

Se limitan al fichero DXF seleccionado y la acción deseada a introducir por el usuario.

- Puntos de puntos
- Puntos de polilíneas 2D
- Puntos de polilíneas 3D
- Puntos de 3D Caras

Si se desea extraer puntos de varios tipos a la vez, solo es necesario pulsar el correspondiente botón dentro de una misma "sesión" (antes de pulsar "Cerrar ficheros", acción con la que se inicializa el programa).

Todas las acciones están disponibles para la versión 2000, mientras que con la exportada de *Image Master* solo se podrán extraer "Puntos de 3D Caras".

Los ficheros DXF contienen mucha información, de la cual nos quedaremos únicamente con la referida a los puntos. La estructura de esta en un fichero DXF 2000 es la siguiente:

PUNTOS. DXF 2000.	
Registros	Código
Inicio sección	POINT
	5
	2B
	330
	1F
	100
	AcDbEntity
	8
Capa	Puntos
	100
Referencia	AcDbPoint
	10
Coordenada X	70.3216
	20
Coordenada Y	103.6848
	30
Coordenada Z	0.0
	0

POLILÍNEAS 2D. DXF 2000.	
Registros	Código
Inicio sección	LWPOLYLINE
	5
	2F
	330
	1F
	100
	AcDbEntity
	8
Capa	Polilinea2D
	100
Referencia	AcDbPolyline
	90
	5
	70
	1
	43
	0.0
	10
Coordenada X1	150.9925
	20
Coordenada Y1	96.2598
	10
Coordenada X2	137.7243
	20
Coordenada Y2	116.9437
	10
Coordenada X3	154.1769
	20
Coordenada Y3	154.0687
	0

POLILÍNEAS 3D. DXF 2000.	
Registros	Código
Inicio sección	POLYLINE 5 31 330 1F 100 AcDbEntity 8 Polilinea3D
Capa	100 AcDb3dPolyline
Referencia VERTEX AcDbVertex 100 AcDb3dPolylineVertex
Referencia V1	10 243.8702
Coordenada X1	20 107.3973
Coordenada Y1	30 0.0
Coordenada Z1	70 32 0
Referencia V2	VERTEX AcDbVertex 100 AcDb3dPolylineVertex
Coordenada X2	10 229.0098 20 126.4901
Coordenada Y2	30 0.0
Coordenada Z2	70 32 0
	SEQEND

3D Caras. DXF 2000.	
Registros	Código
Inicio sección	3DFACE 5 30 330 1F 100 AcDbEntity 8
Capa	3DCara 100
Referencia	AcDbFace 10
Coordenada X1	338.8708 20
Coordenada Y1	104.2151 30
Coordenada Z1	0.0 11
Coordenada X2	330.9099 21
Coordenada Y2	139.2187 31
Coordenada Z2	0.0 12
Coordenada X3	357.9771 22
Coordenada Y3	150.8866 32
Coordenada Z3	0.0 13
Coordenada X4	359.0386 23
Coordenada Y4	109.5187 33
Coordenada Z4	0.0 0

3D Caras. DXF Image Master.	
Registros	Código
Inicio / Ref.	3DFACE
	8
Capa	SURFACE-3
	10
Coordenada X1	87.8577
	20
Coordenada Y1	203.3087
	30
Coordenada Z1	306.0823
	11
Coordenada X2	87.8597
	21
Coordenada Y2	203.3131
	31
Coordenada Z2	306.0818
	12
Coordenada X3	87.8576
	22
Coordenada Y3	203.3093
	32
Coordenada Z3	306.0872
	13
Coordenada X1	87.8577
	23
Coordenada Y1	203.3087
	33
Coordenada Z1	306.0823
	0

c) Proceso:

El procedimiento a seguir consiste en la lectura de cada registro, uno a uno, del fichero DXF hasta encontrar la referencia correspondiente (resaltadas en azul en las tablas anteriores) y, a partir de ella, conociendo la estructura del fichero, se pueden extraer los valores de las coordenadas XY (en caso bidimensional) o XYZ (para elementos tridimensionales). Una vez extraídos estos valores, se guardan en el fichero de salida seleccionado por el usuario.

La opción “*eliminar duplicados*” no permite guardar puntos con coordenadas iguales a otros que se hayan guardado anteriormente en el fichero de salida. La solución dada compara el punto leído en último lugar con todos los guardados anteriormente. Como se puede apreciar este sistema puede ser útil para ficheros de poco tamaño, sin embargo, cuando tratamos con mucha información como es el caso de las mallas y nubes de puntos (los tipos de ficheros que se utilizan en este proyecto), el tiempo de ejecución se prolonga excesivamente. Es por ello que se ha creado otro programa con un algoritmo mejorado (ver apartado *B. Eliminar Puntos Duplicados* de este mismo anexo, pág. 12).

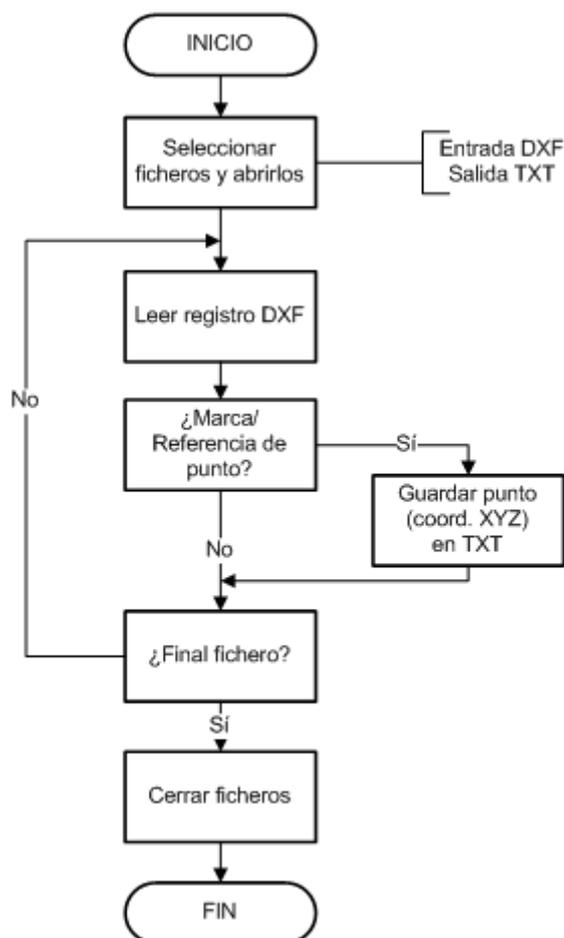
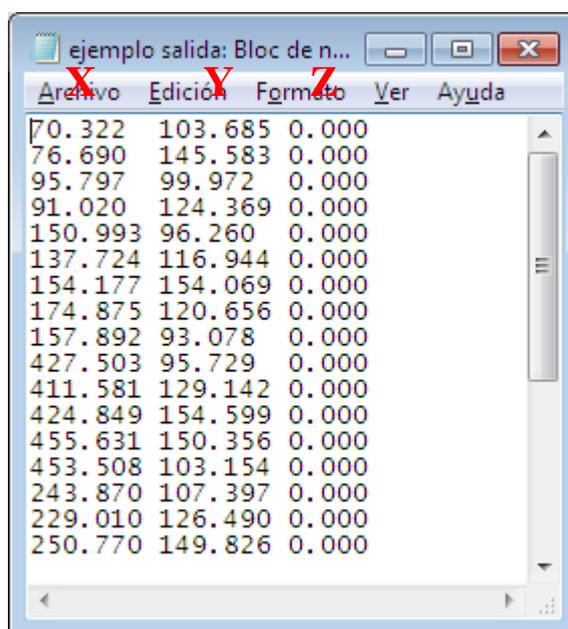


Figura A.2. Organigrama de programa Extracción de puntos de DXF.

d) Salida de datos:

La salida de los datos es fácilmente entendible a primera vista puesto que es un fichero de texto, el cual se puede leer con un procesador de textos (*MS Office Word, Bloc de Notas, WordPad, etc.*). Consiste únicamente en una lista de coordenadas XYZ estructuradas en tres columnas, refiriéndose cada registro a un punto diferente de la nube de puntos extraída.

Cuando los puntos no contienen información de cota (coordenada Z), se guardará siempre una cota 0, con el fin de mantener la misma estructura en todos los ficheros de salida. Además, cada una de las coordenadas estará redondeada al tercer decimal, siendo éste el milímetro normalmente.



X	Y	Z
70.322	103.685	0.000
76.690	145.583	0.000
95.797	99.972	0.000
91.020	124.369	0.000
150.993	96.260	0.000
137.724	116.944	0.000
154.177	154.069	0.000
174.875	120.656	0.000
157.892	93.078	0.000
427.503	95.729	0.000
411.581	129.142	0.000
424.849	154.599	0.000
455.631	150.356	0.000
453.508	103.154	0.000
243.870	107.397	0.000
229.010	126.490	0.000
250.770	149.826	0.000

Figura A.3. Ejemplo de fichero de salida.

e) Observaciones:

Debido a los constantes cambios sufridos por los formatos DXF en sus diferentes versiones, se ha optado por una codificación válida solo para las que se han utilizado en este proyecto: DXF *AutoCAD 2000* y la versión en la que exporta el programa *Image Master*. Si en un futuro se decidiera actualizar el programa incorporando la compatibilidad de nuevas versiones de DXF habría que analizar el lenguaje que utiliza para encontrar las referencias a los puntos.

Fuera de las aplicaciones del programa para este proyecto, se presenta útil para trabajos como replanteos, en los que es necesario extraer las coordenadas de *AutoCAD* para incorporarlas a la base de datos de las estaciones.

B. ELIMINACIÓN DE PUNTOS DUPLICADOS

Lenguaje de programación: *Visual Basic 6.0*

Sistema operativo: *Microsoft Windows 7*

Programador: Miguel Moreno González

Fecha: Enero de 2011

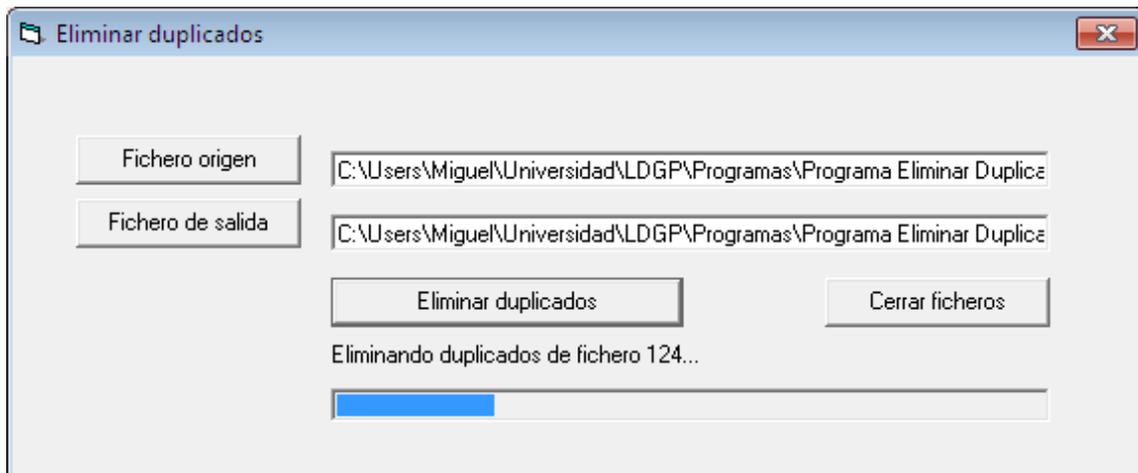


Figura B.1. Captura de pantalla de la interfaz del programa durante el proceso de eliminación.

a) Descripción:

Este programa elimina los puntos duplicados, es decir, los que cuentan con coordenadas XYZ iguales, de un fichero de texto estructurado en columnas.

b) Datos entrada:

El fichero de entrada será un fichero de texto elegido por el usuario. Éste tendrá que ser un fichero de puntos formado por tres columnas, cuyos valores serán las coordenadas XYZ. Cada registro o línea del fichero pertenecerá a un solo punto.

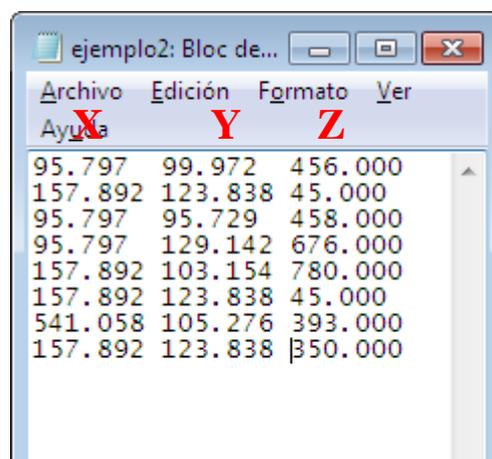


Figura B.2. Ejemplo de fichero de entrada.

c) Proceso:

El algoritmo de este programa se basa en la eliminación de puntos que sean iguales al anterior en la lista, una vez ésta se encuentra ordenada. Es decir, si tenemos una lista de números y la ordenamos de menor a mayor, los números iguales quedarán unos junto a otros. De esta forma, si posteriormente se realiza una lectura secuencial, solo queda comparar cada número con su anterior inmediato para determinar si está repetido o duplicado.

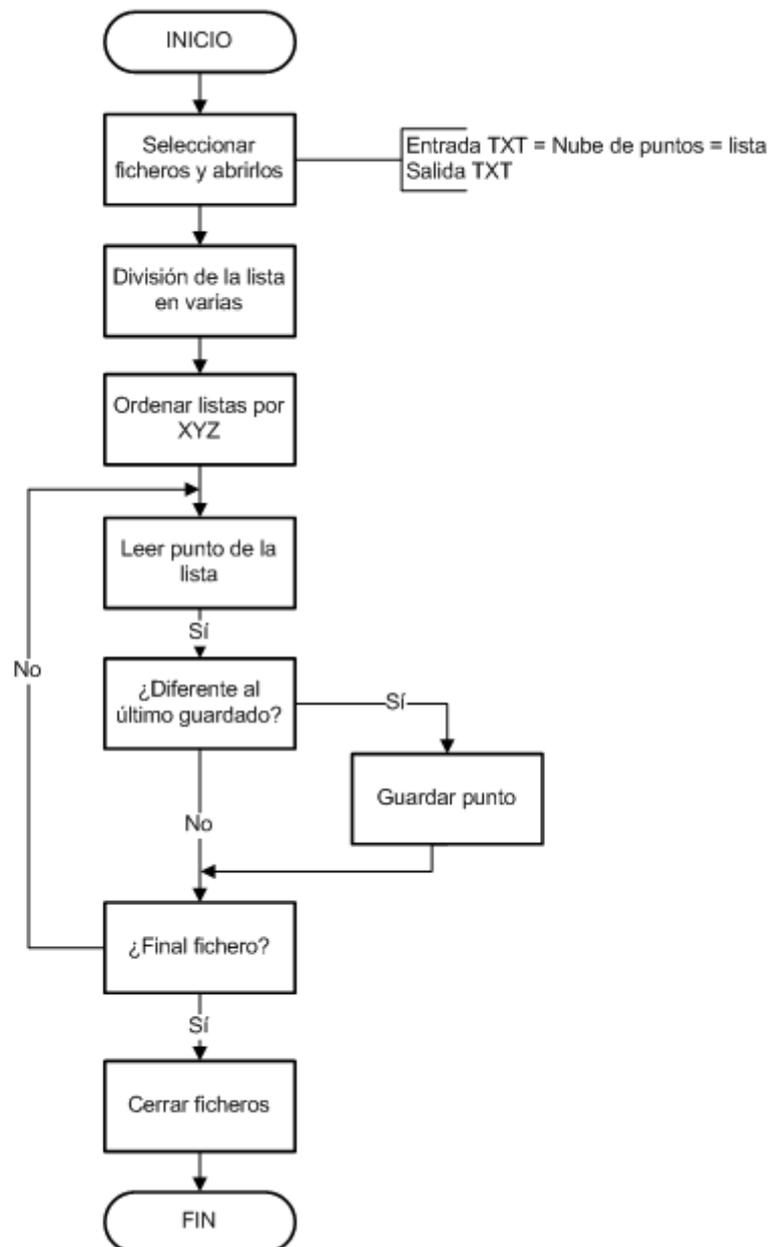


Figura B.3. Organigrama del programa Eliminación de puntos duplicados.

Con listas de reducido tamaño basta con una ordenación simple, sin embargo, cuando tratamos nubes de puntos, estas listas pueden ser de hasta millones de elementos. En estos casos es necesario repartir los elementos en varias listas, que se guardarán en ficheros, y ordenarlas por separado. Es importante cómo

determinar estas divisiones. Para determinarlas se ha seguido un procedimiento basado en el truncamiento en los valores de las coordenadas. Para ello se han seleccionado dos cifras de cada registro (punto) que definan el número de fichero en el que se almacenará. De esta forma no habrá dos puntos iguales en dos ficheros diferentes, por lo que si ordenamos y eliminamos los duplicados en cada lista habremos logrado el objetivo.

Las dos cifras que se han elegido en este programa han sido las unidades de milímetros de las coordenadas X e Y, debido a que son las de mayor variabilidad. Por supuesto, estas cifras podrían ser otras si los elementos tuvieran una naturaleza diferente.

La ordenación de los ficheros se debe hacer teniendo en cuenta los tres ejes. Es decir, una vez estén ordenados los puntos según su coordenada X, los que tengan la misma X se ordenarán según la Y, al igual que sucederá con la Z. Para ello es necesario crear tres bucles anidados.

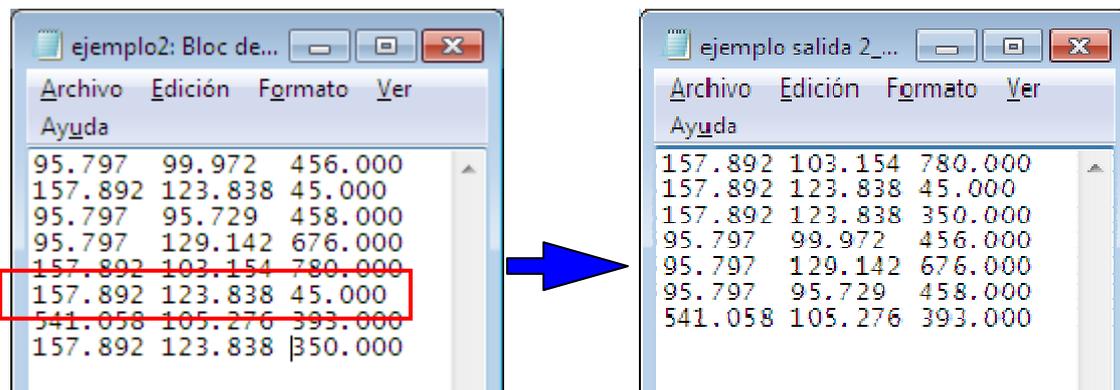


Figura B.4. En el fichero de salida (dcha.) se ha eliminado el punto marcado.

En el fichero de salida se ve como se han agrupado los puntos con la cifra de milímetros en XY iguales (segundo y tercer puntos y cuarto y quinto) además de eliminarse en punto remarcado.

d) Salida de datos:

La salida de los datos tiene exactamente la misma estructura y formato que el fichero de entrada, es decir, es un fichero TXT encolumnado en XYZ, cada uno con tres decimales. Se puede leer con un procesador de textos (*MS Office Word, Bloc de Notas, WordPad*, etc.). El proceso tiene estos resultados con una nube extraída del programa *Image Master*:

	Nº de puntos	Tamaño del fichero
Fichero de entrada	926544	21716 KB
Fichero de salida	156412	3666 KB
Eliminado	770132	18050 KB
	Duración del proceso	20 min

Tabla B.1. Datos de la eliminación de puntos duplicados de un fichero extraído de *Image Master*.

C. GIRO DEL PUNTO DE VISTA.

Lenguaje de programación: Visual Basic 6.0

Sistema operativo: Microsoft Windows 7

Programador: Miguel Moreno González

Fecha: Enero de 2011

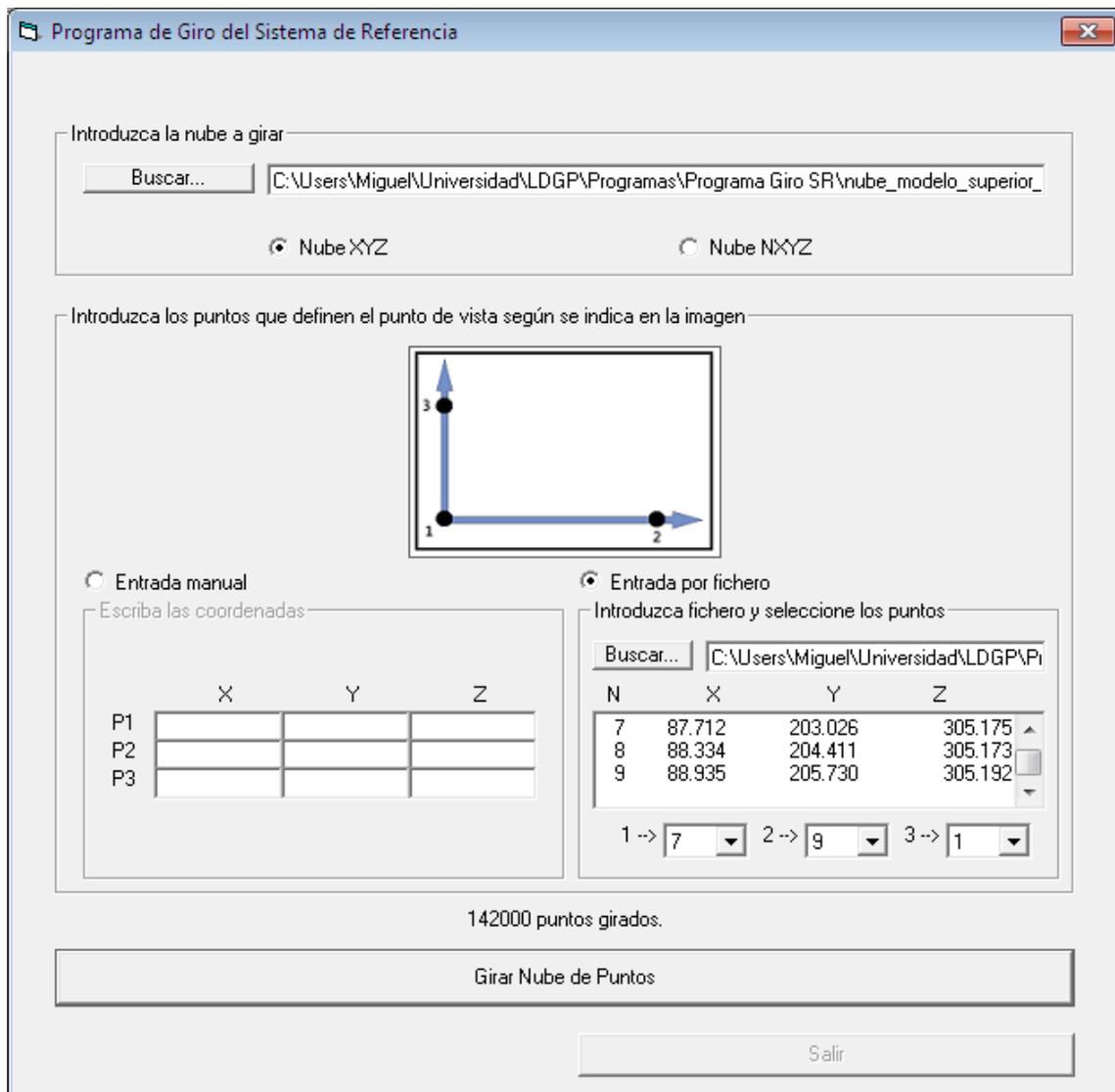


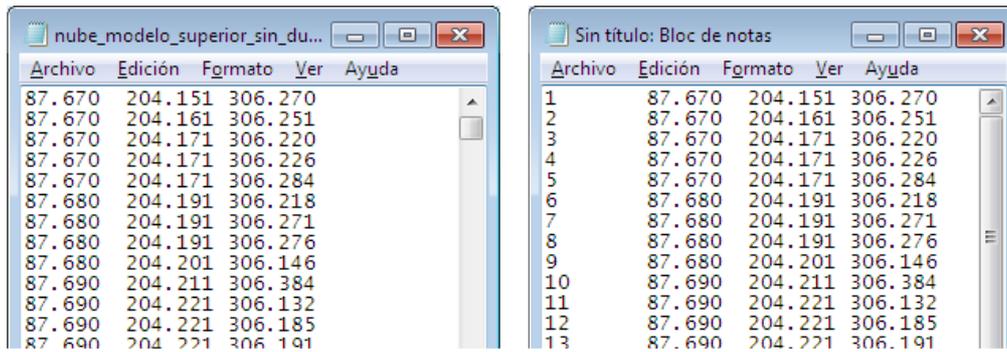
Figura C.1. Captura de pantalla de la interfaz del programa durante el proceso de creación de la imagen.

a) Descripción:

Este programa tiene como objetivo girar en el espacio tridimensional una serie de puntos, tanto un grupo pequeño como una nube densa, a partir de tres puntos de referencia. Estos tres puntos definirán el punto de vista elegido por el usuario, $\gamma(1,2,3)$ define el plano XY del nuevo sistema de coordenadas, siendo el vector (1,2) la dirección del eje X. Comparando éste con los ejes originales, será posible generar la matriz de rotación correspondiente.

b) Datos entrada:

Como dato de entrada tendremos, obviamente, el fichero de puntos que se quiere rotar. Su estructura es sencilla, pues sus datos principales, las coordenadas XYZ en el sistema de referencia original, están divididos en tres columnas sin cabeceras en su inicio. Se da la opción también de que estos puntos tengan una primera columna adicional en la que se incluya un número de punto para cada uno de ellos.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
87.670	204.151	306.270		
87.670	204.161	306.251		
87.670	204.171	306.220		
87.670	204.171	306.226		
87.670	204.171	306.284		
87.680	204.191	306.218		
87.680	204.191	306.271		
87.680	204.191	306.276		
87.680	204.201	306.146		
87.690	204.211	306.384		
87.690	204.221	306.132		
87.690	204.221	306.185		
87.690	204.221	306.191		

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	87.670	204.151	306.270	
2	87.670	204.161	306.251	
3	87.670	204.171	306.220	
4	87.670	204.171	306.226	
5	87.670	204.171	306.284	
6	87.680	204.191	306.218	
7	87.680	204.191	306.271	
8	87.680	204.191	306.276	
9	87.680	204.201	306.146	
10	87.690	204.211	306.384	
11	87.690	204.221	306.132	
12	87.690	204.221	306.185	
13	87.690	204.221	306.191	

Figura C.2. Ejemplo de ficheros de entrada, sin nº de punto (izq.) y con él (dcha.).

Como se ha adelantado en la descripción del programa, para determinar el punto de vista al cual se quieren girar los puntos, es necesario introducir las coordenadas espaciales de tres puntos. Para ello existen dos opciones: seleccionarlas de otro fichero de puntos, el cual puede ser el mismo que se ha de girar, o introducir las coordenadas manualmente en el programa. En el caso de elegir la opción de buscar en fichero éste deberá tener la estructura encolumnada de NXYZ, siendo N el número de punto (figura C.2., dcha.).

c) Proceso:

La base de este proceso es la determinación del punto de vista. El concepto de punto de vista consiste en definir una dirección, por lo que será representable con un vector $u(X_0, Y_0, Z_0)$. En el programa, para obtener ese vector u que nos dará el punto de vista, se ha optado por dar la opción al usuario de seleccionar tres puntos, los cuales formarán el plano de proyección deseado. Al mismo tiempo, este plano será perpendicular al vector u .

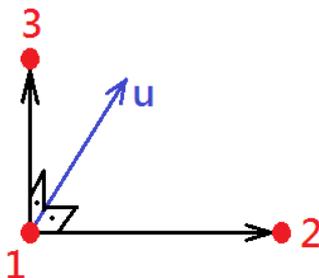


Figura C.3. Representación de la perpendicularidad entre los vectores.

Con los tres puntos se forman dos vectores de la forma en que aparece en la figura C.3, el producto vectorial (ecuación C.1) entre ambos será perpendicular al plano

que forman, por lo tanto, habremos conseguido el vector u de dirección del punto de vista.

$$\begin{aligned} \mathbf{u}(X_0) &= (Y_{P3} - Y_{P1}) * (Z_{P2} - Z_{P1}) - (Z_{P3} - Z_{P1}) * (Y_{P2} - Y_{P1}) \\ \mathbf{u}(Y_0) &= (X_{P3} - X_{P1}) * (Z_{P2} - Z_{P1}) - (Z_{P3} - Z_{P1}) * (X_{P2} - X_{P1}) \\ \mathbf{u}(Z_0) &= (X_{P3} - X_{P1}) * (Y_{P2} - Y_{P1}) - (Y_{P3} - Y_{P1}) * (X_{P2} - X_{P1}) \end{aligned} \quad \text{Ecuación C.1.}$$

Siguiendo el procedimiento empleado por (Rodríguez et al., 2008), desde el vector u los ángulos H (acimut desde el eje Y en dirección directa, que es antihoraria) y V (colatitud, ángulo desde el eje Z) son calculados con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{tg}H &= \frac{X_0}{Y_0} \\ \text{tg}V &= \frac{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2}}{Z_0} \end{aligned} \quad \text{Ecuaciones C.2.}$$

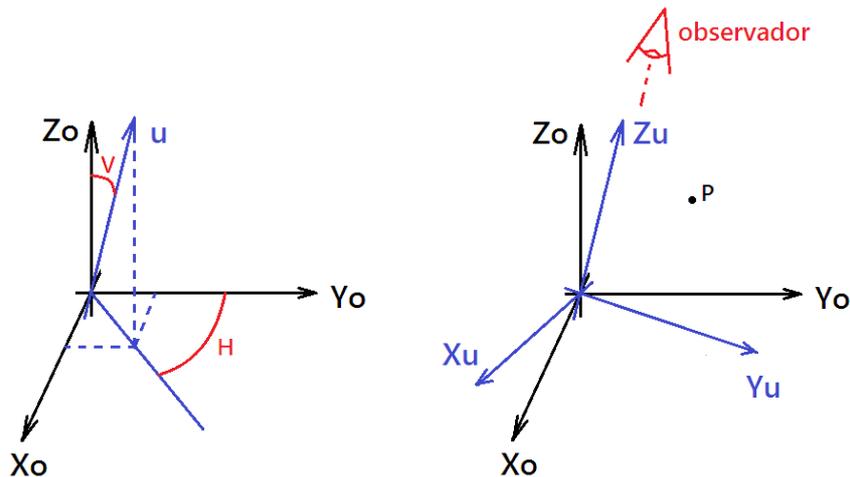


Figura C.4. Representación del paralelismo entre el vector Punto de Vista (u) y el eje Z del nuevo sistema de referencia (Z_u) (adaptado de Rodríguez et al., 2008).

De esta manera se define un nuevo sistema de referencia cuyo origen es el mismo, pero en el que el eje Z tiene la misma dirección que el vector u . Estos ángulos permiten convertir el sistema de coordenadas inicial ($X_0Y_0Z_0$) en el sistema girado ($X_uY_uZ_u$). En este nuevo sistema el observador queda situado en el infinito del eje Z_u , con lo que cuanto mayor sea el valor en Z más cerca estará el punto P del observador.

Solo queda pues aplicar estos ángulos H y V a todos los puntos del fichero. La forma más sencilla es la solución matricial, con la que multiplicando una matriz de rotación con la matriz de coordenadas iniciales obtendremos las coordenadas giradas (ecuación C.3.).

$$\begin{pmatrix} X_U \\ Y_U \\ Z_U \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación C.3.}$$

Se desarrolla la matriz R con los ángulos H y V de la siguiente manera:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos V & \sin V \\ 0 & -\sin V & \cos V \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos H & \sin H & 0 \\ -\sin H & \cos H & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación C.4.}$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos H & \sin H & 0 \\ -\cos V \cdot \sin H & \cos V \cdot \cos H & \sin V \\ \sin V \cdot \sin H & -\sin V \cdot \cos H & \cos V \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación C.5.}$$

Sustituyendo C.5 en C.3 queda como última expresión C.6, la cual se aplicará a todos los puntos de forma secuencial.

$$\begin{pmatrix} X_U \\ Y_U \\ Z_U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos H & \sin H & 0 \\ -\cos V \cdot \sin H & \cos V \cdot \cos H & \sin V \\ \sin V \cdot \sin H & -\sin V \cdot \cos H & \cos V \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación C.6.}$$

Al final del proceso se mostrará una pantalla de mensaje con alguna información instantánea, como el tiempo de proceso y otro elemento importante, la matriz de rotación utilizada. Este mensaje es puramente informativo y no es necesario guardarlo manualmente, ya que como se verá el siguiente apartado, el programa ya ha guardado estos datos en un fichero aparte.

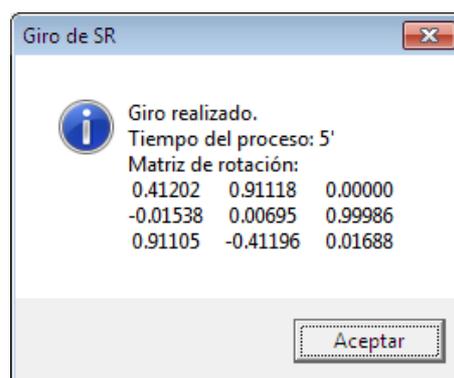


Figura C.5. Captura del mensaje informativo al finalizar el proceso.

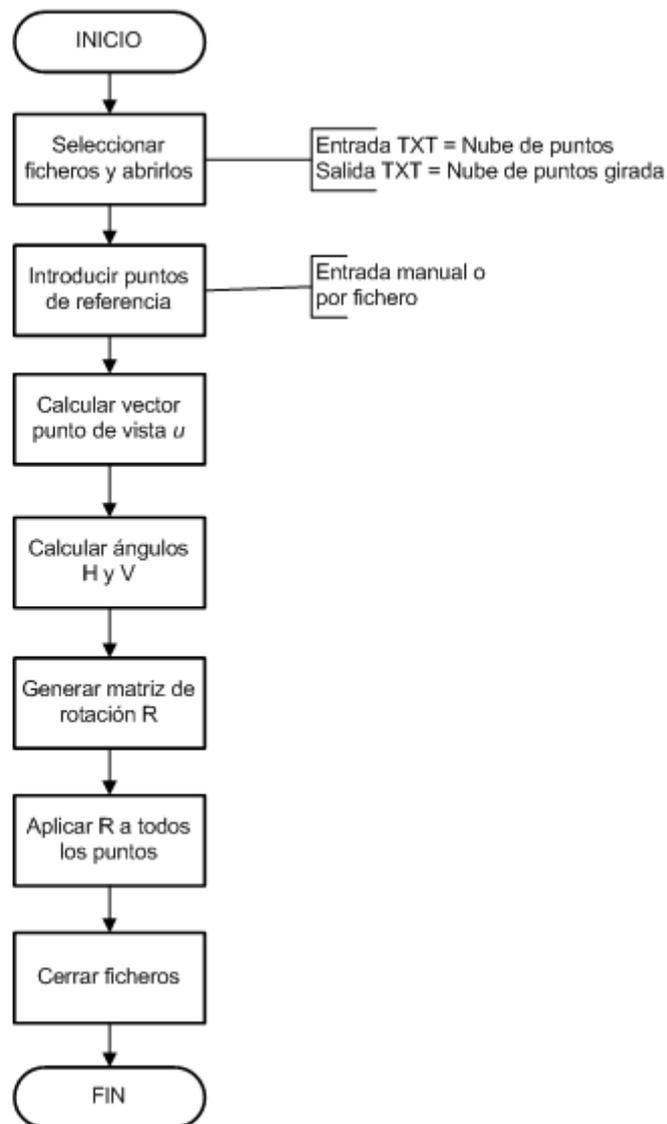


Figura C.6. Organigrama del programa Giro del Punto de Vista.

d) Salida de datos:

La salida principal de este programa es un fichero de puntos con igual estructura que el de entrada, pero con las coordenadas XYZ cambiadas. El nombre de este fichero lo elegirá el usuario, pero es conveniente que guarde cierta relación con el fichero de entrada para relacionarlos fácilmente.

Sin embargo, al haber realizado un cambio en el sistema de coordenadas es imprescindible conservar los parámetros utilizados para poder mantener la relación con las coordenadas iniciales e, incluso, poder en un futuro realizar el proceso inverso. Para guardar estos datos el programa creará un fichero ASCII TXT, legible con cualquier procesador de textos, cuyo nombre será el mismo que el del fichero de puntos de salida añadiéndole el sufijo “_matR” (p.e.: C:\...\FicheroPuntosGirados_matR.txt).

La información incluida en este archivo de datos es la siguiente:

- Ruta de los ficheros de entrada y salida en el ordenador utilizado, en el momento del proceso.
- Coordenadas de los puntos de referencia utilizados para definir el punto de vista (si se ha utilizado fichero de apoyo, también su ruta y el número de los puntos).
- Ángulos H y V calculados en radianes.
- Valores de la matriz de rotación R , referidos de la siguiente manera:

Rpv11	Rpv12	Rpv13
Rpv21	Rpv22	Rpv23
Rpv31	Rpv32	Rpv33

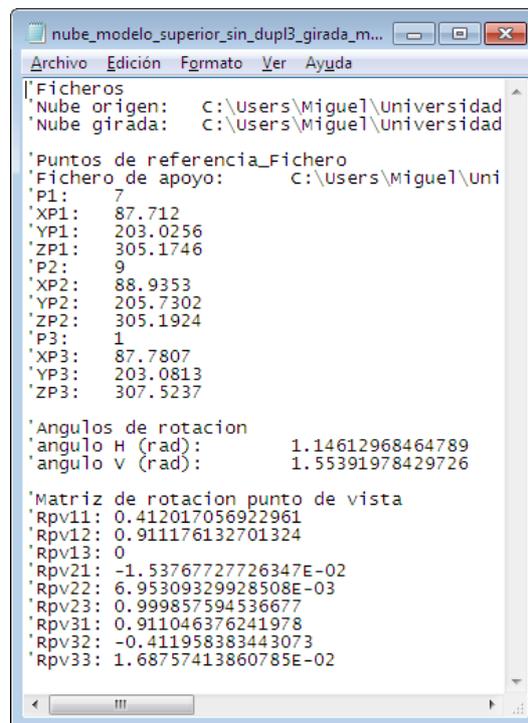


Figura C.7. Fichero de datos del proceso.

e) Observaciones:

El proceso de giro del punto de vista es interesante, como en este caso, para generar ortofotografías o similares. Además, es posible realizar el proceso a la inversa, transformando las coordenadas desde el sistema $(X_U Y_U Z_U)$ al sistema inicial. Para ello se debe transponer la matriz de rotación, quedando la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos H & -\cos V \cdot \sin H & \sin V \cdot \sin H \\ \sin H & \cos V \cdot \cos H & -\sin V \cdot \cos H \\ 0 & \sin V & \cos V \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_U \\ Y_U \\ Z_U \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación C.7.}$$

Esto, como se explica también en (Rodríguez et al., 2008), se puede aplicar para dibujar sobre una imagen generada a partir de este giro y, posteriormente, transformar estas líneas 2D a coordenadas tridimensionales.

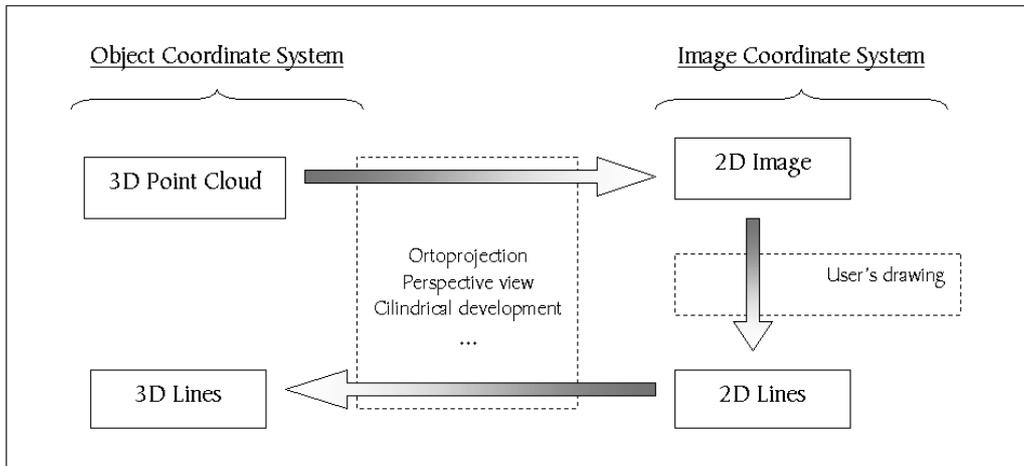


Figura C.8. Diagrama de flujo del dibujo de líneas sobre imágenes y su posterior transformación a 3D (Rodríguez et al., 2008).

D. EXTRACCIÓN DE PROFUNDIDADES

Lenguaje de programación: *Visual Basic 6.0*

Sistema operativo: *Microsoft Windows 7*

Programador: Miguel Moreno González

Fecha: Noviembre de 2010

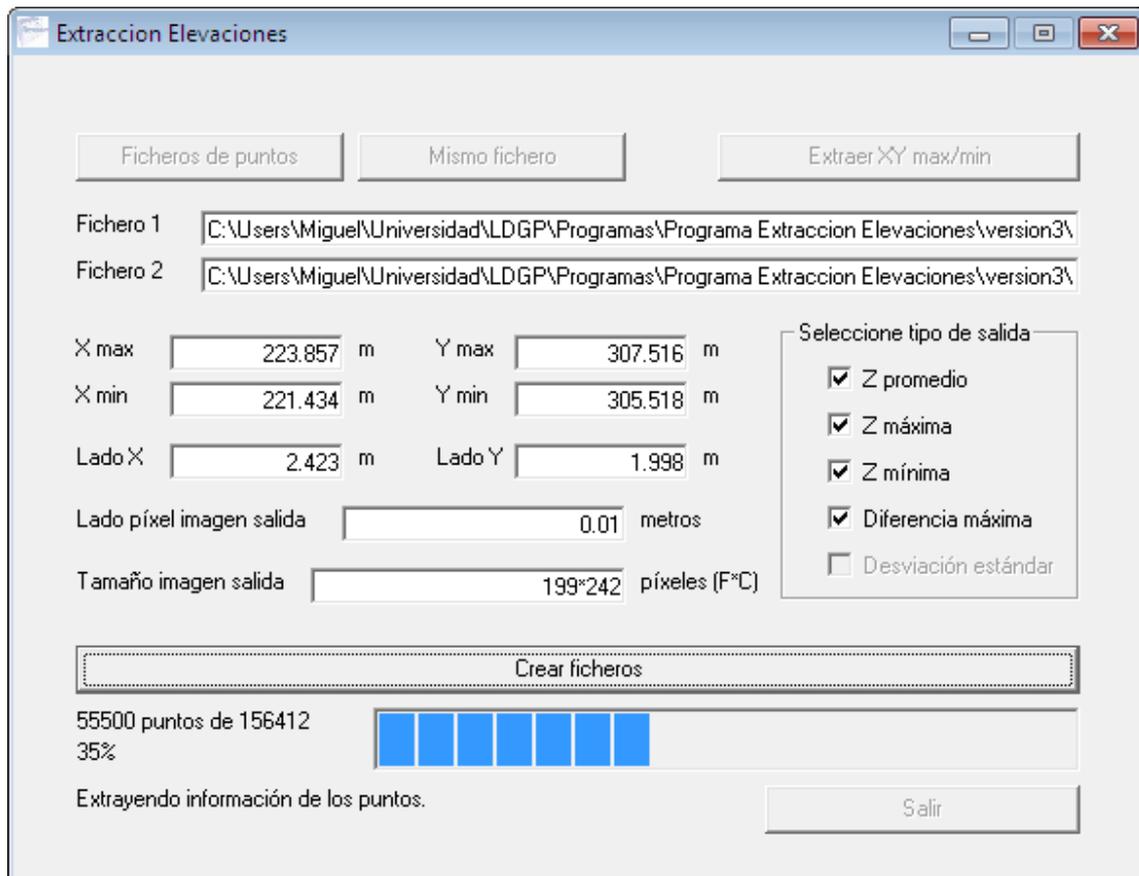


Figura D.1. Captura de la pantalla del programa.

a) Descripción:

El programa lee dos ficheros de puntos XYZ y extrae de ellos datos de las profundidades (Z) a modo de cuadrícula. Para ello toma los puntos incluidos en cada celdilla, que vendrán determinadas por la resolución introducida por el usuario, y muestra la información requerida por el usuario.

El fin de este programa es obtener un fichero con información píxel a píxel que se pueda comparar con otro proveniente de otro fichero de puntos. A partir de ahí, se podría obtener un archivo de imagen en el que se reflejen las diferencias entre una nube de puntos y otra. La información que permite extraer es la siguiente: promedio, valor máximo, mínimo, diferencia máxima y desviación estándar, todas ellas referidas a los valores Z de los puntos incluidos en cada píxel.

b) Datos de entrada:

Los ficheros de puntos deben tener una estructura XYZ, sin cabecera alguna, encolumnados los datos en dicho orden. Todos los campos deben ser numéricos, siendo el punto (.) el separador de decimales. La coma (,) se considerará como separador de campos, al igual que la tabulación y el espacio.

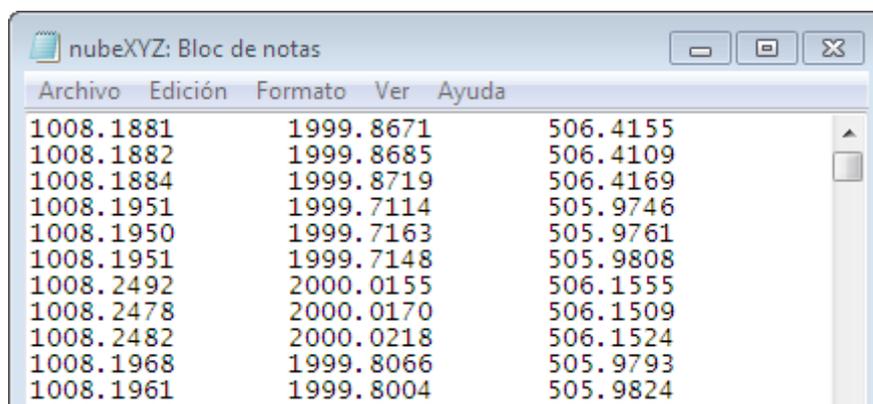


Figura D.2. Ejemplo de estructura del fichero de entrada.

c) Proceso:

Con los ficheros de puntos seleccionados, el programa da a conocer al operador los valores máximo y mínimo de las coordenadas X e Y. Estos serán los que delimitarán el área de información disponible. Con ellos se deberá determinar el tamaño de cada celda o píxel de la cuadrícula que se creará. Para ello es necesario conocer la densidad de las nubes de puntos de las que disponemos y la precisión de éstas. Es importante apuntar que este programa está estrechamente ligado a los siguientes, es por ello que se introducen dos nubes al mismo tiempo, ya que son el objeto de la comparación.

Con el tamaño fijado, se realiza una lectura de las nubes por separado en la que se incluyen los puntos en su píxel correspondiente al mismo tiempo que guardan en un fichero temporal los datos necesarios para la salida requerida.

Elección	Nº píxel	Fila	Columna	Nº pts	SumaZ	SumaZ ²	Máx	Mín	DifMáx	Promedio	Varianza	Desviación
Prom	X	X	X	X	X					X		
Máx	X	X	X	X			X					
Mín	X	X	X	X				X				
DifMáx	X	X	X	X			X	X	X			
Desv	X	X	X	X	X	X				X	X	X

Tabla D.1. Relación de información necesaria de cada píxel para cada salida.

El fichero temporal irá almacenando estos datos a medida que se leen los puntos, insertando la información en cada espacio. Los campos "Promedio", "Varianza" y "Desviación estándar" quedarán vacíos hasta el final, en el caso de que sean

pedidos, puesto que necesitan los datos finales del resto de los campos para ser calculados. Este fichero temporal contará con tantos registros como píxeles haya en la imagen. Cuando la información del fichero temporal se encuentre completada se procederá a grabar los datos en los ficheros de salida.

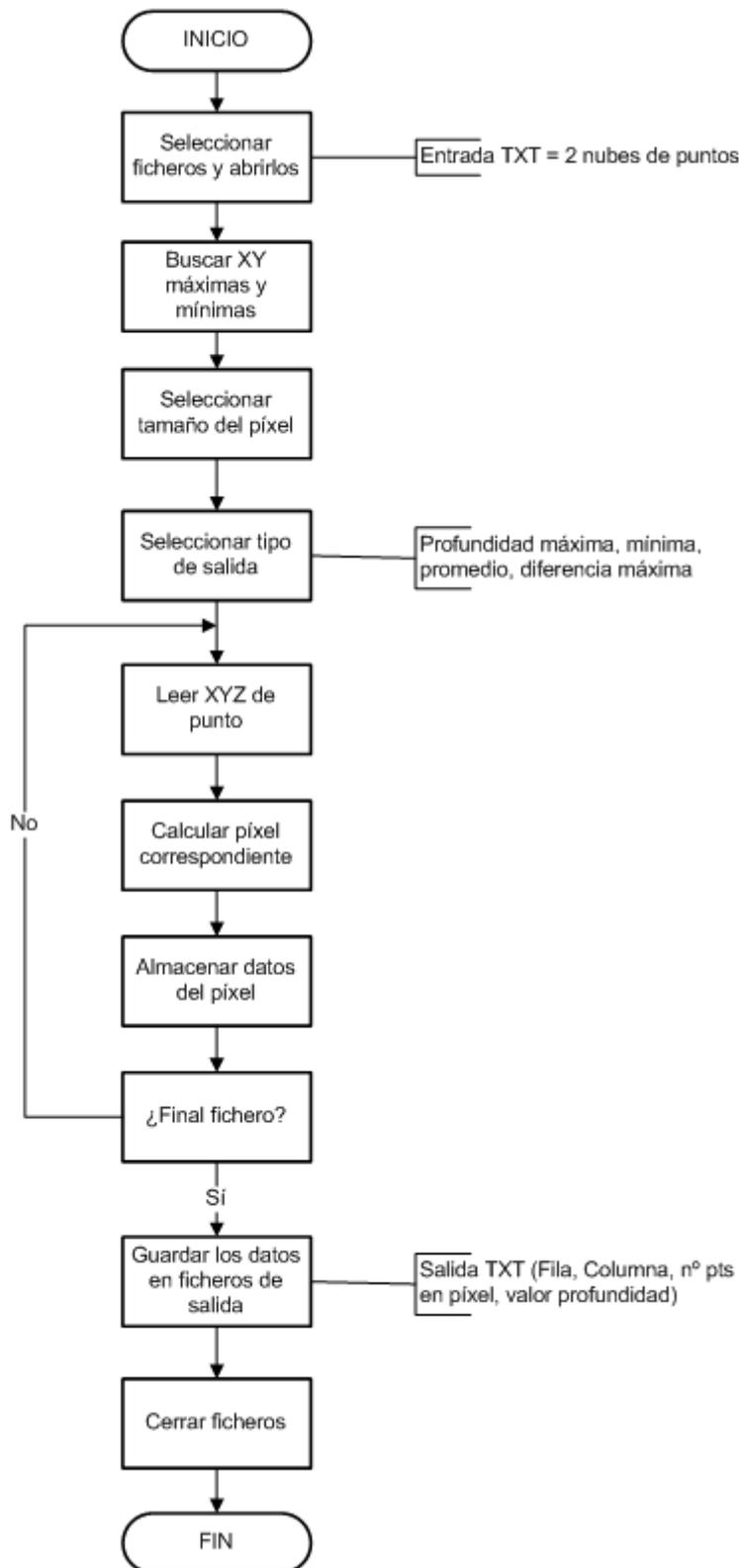


Figura D.3. Organigrama del programa Extracción de Profundidades.

Para optimizar las lecturas de los ficheros de puntos es necesario determinar directamente el píxel al que pertenece cada punto, es decir, obtener lo que denominamos como coordenadas imagen (fila, columna). Se tiene en cuenta que el origen de este sistema está situado en la esquina superior izquierda (esto no es así en todos las aplicaciones informáticas, por lo que conviene asegurarse antes). En este caso, además, el origen lo determinamos como (1, 1), es decir, no consideramos una fila o columna 0, es por ello que sumamos una unidad en las expresiones (ecuación D.1.) planteadas a continuación (Visual Basic 6.0 tiene como origen de sus imágenes en (0, 0 -columna, fila-, por lo que habría que ajustar la imagen si no queremos que aparezcan una fila y una columna vacías). En ellas, la incógnita r es el tamaño del píxel en el terreno y las coordenadas X e Y son las provenientes de los ficheros de puntos. Obviamente, todas deben estar en las mismas unidades.

$$\begin{aligned} \text{fila} &= \left(\frac{X - X_{\min}}{r} \right)_{N^{\circ} \text{Entero}} + 1 \\ \text{columna} &= \left(\frac{Y_{\max} - Y}{r} \right)_{N^{\circ} \text{Entero}} + 1 \end{aligned} \quad \text{Ecuación D.1.}$$

Cuando $(X - X_{\min})$ o $(Y_{\max} - Y)$ coinciden con los lados de recubrimiento se ha optado por no sumar la unidad de las expresiones (ecuación D.1.), ya que significaría aumentar el tamaño de la foto por encima del tamaño original de la nube de puntos.

Este sistema causa problemas cuando los píxeles de la imagen no concuerdan con el área que debería recubrir. Es decir, cuando la división entre el lado en X ($X_{\max} - X_{\min}$) y el tamaño del píxel en el terreno (r) no da un valor entero. Esto supone tener que tomar una decisión: definir el número de columnas en exceso o por defecto; se ha preferido recortar la imagen en una medida menor al tamaño de un píxel. (Ocurre lo mismo para las Y.)

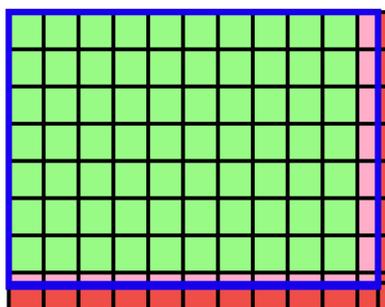


Figura D.4. La franja roja oscura sería la superficie extra añadida, la roja clara, la perdida.

En la figura D.4 se muestra de color azul el área definida por las XY máximas y mínimas. Como se ve, ésta no coincide exactamente con la cuadrícula formada por los píxeles. La franja de color rojo oscuro no contiene ningún punto de la nube, por

tanto si la incluyéramos en la imagen final estaríamos dando un resultado sin base geométrica. Así pues, y como no se pueden fraccionar los píxeles, habrá que eliminar la última fila y columna, quedándonos con la superficie verde y perdiendo la franja roja clara.

d) Salida de datos:

Los ficheros de salida de este programa son ficheros TXT con los datos elegidos para cada una de las nubes introducidas, independientemente de la otra. Estos archivos tienen una estructura general similar. Cada fila o registro contiene la información de cada celda de la imagen: nº de fila de la celda, nº de columna, nº de puntos en la celda y el dato elegido. El fichero cuenta con cabeceras informativas de la matriz de píxeles que contiene. Se dan los siguientes datos: número de píxeles y su tamaño y las filas y columnas en las que están distribuidos. Además de ellos también contiene un registro con el nombre de cada columna.

Los ficheros se nombran siguiendo un mismo patrón, comenzando por el nombre del fichero de entrada, seguido por una abreviatura del dato en cuestión y la resolución escogida para la imagen; separados entre ellos por un guión bajo (_) (p.e.: *nubeXYZ_Zmax_Res_0.02m*).

- **Z promedio (*Zprom*):** Muestra el promedio de Z en metros de los puntos dentro de los límites de cada celda.
- **Z máxima (*Zmax*):** Muestra la Z mayor de todos los puntos de cada celda.
- **Z mínima (*Zmin*):** Muestra la Z menor de todos los puntos de cada celda.
- **Diferencia máxima (*DifMax*):** Muestra la distancia en Z existente entre los puntos más alejados de cada celda.
- **Desviación estándar (*DesvEst*)¹:** Muestra la desviación estándar o típica en Z de cada celda.

Fila	Colu	nºpts	Z max
1	1	0	0
1	2	0	0
1	3	0	0
1	4	0	0
1	5	0	0
1	6	0	0
1	7	0	0
1	8	0	0
1	9	0	0
1	10	0	0

Figura D.5. Ejemplo de fichero de salida con dato de Z máxima.

¹ Actualmente esta opción todavía no se encuentra disponible.

e) Observaciones:

- 1) El objetivo principal es el de comparar la profundidad (Z) de los puntos de dos nubes diferentes. Por lo tanto, es esencial introducir ambas con un mismo sistema de coordenadas, siendo probable que haya que girarlo en función de la orientación del objeto a estudiar.
- 2) La morfología del objeto es importante a la hora de elegir el sistema de coordenadas, ya que hay que evitar las ocultaciones en la medida de lo posible. Es posible que si se quiere hacer una comparación más detallada de las nubes haya que dividir las y utilizar más de un sistema de referencia, sin olvidar que debe ser el mismo para los dos elementos a comparar.
- 3) La estructura de salida viene definida en celdillas, por lo que se pierde la continuidad de la superficie. Es decir, en cada cambio de píxel habrá un salto en el valor de la información.
- 4) La matriz resultante no tiene porque tener datos en todas sus celdas, ya que se trata de nubes de puntos las cuales no han tenido ningún tipo de filtrado en su morfología. El hecho de tomar las XY máximas y mínimas solo asegura que exista un punto en esos extremos, pudiendo estar el resto de puntos en el interior de la cuadrícula, dispersos de cualquier manera.
- 5) El origen de las coordenadas imagen en Visual Basic 6.0 es (0, 0 -columna, fila-), pero este puede variar según el lenguaje de programación utilizado, por lo que es necesario conocer este dato. En este programa se definió en (1, 1), por lo que hubo que restar posteriormente una unidad tanto en fila como en columna a todos los píxeles para obtener una imagen sin desplazamientos.

E. COMPARACIÓN DE PROFUNDIDADES

Lenguaje de programación: *Visual Basic 6.0*

Sistema operativo: *Microsoft Windows 7*

Programador: Miguel Moreno González

Fecha: Enero de 2011

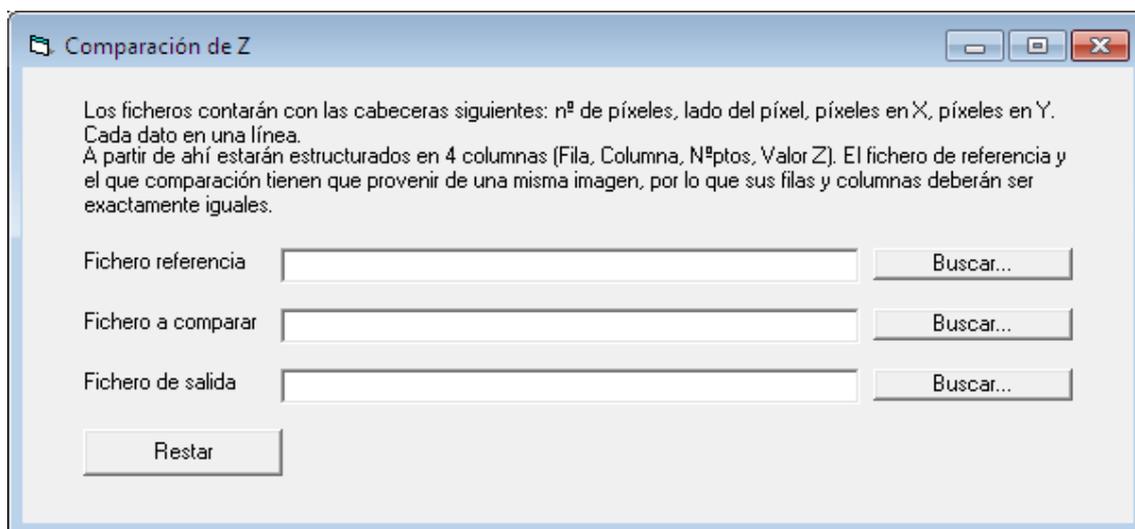


Figura E.1. Captura de pantalla de la interfaz del programa.

a) Descripción:

Este programa compara dos cuadrículas iguales generadas con el programa *Extracción de profundidades*, cuyas celdas o píxeles están definidas por fila y columna, restando la profundidad (valor Z) de cada una entre ellas.

b) Datos entrada:

Este programa necesita como datos de entrada dos ficheros TXT, que se pueden leer con un procesador de textos (*MS Office Word, Bloc de Notas, WordPad, etc.*). Uno de ellos se tomará como referencia y el otro como elemento a comparar. Ambos tienen que tener una misma estructura. Cada fila o registro contiene la información de cada celdilla de la imagen: nº de fila de la celdilla, nº de columna, nº de puntos en la celdilla y el valor Z a comparar; además, los ficheros contarán con cabeceras informativas de la matriz de píxeles que contiene (número de píxeles y su tamaño y las filas y columnas en las que están distribuidos). Entre estos datos y los registros correspondientes a las celdillas, existirá un registro con el nombre de cada columna.

Pero no solo eso, las cuadrículas de ambos ficheros deberán ser exactamente iguales. Es decir, ambas tendrán el mismo número de filas y el mismo número de columnas. Esto no tiene otra razón que poder hacer una relación exacta entre los píxeles homólogos.

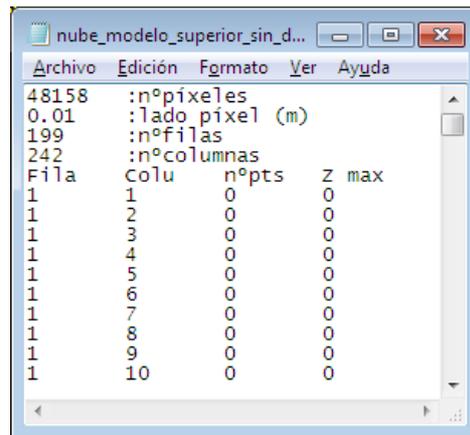


Figura E.2. Ejemplo de fichero de entrada.

c) Proceso:

Como se ha dicho, uno de los ficheros de entrada se elegirá como referencia, mientras que el otro quedara como fichero a comparar. La diferencia entre estas dos denominaciones viene dada simplemente por la ubicación en la resta, de forma que queda la siguiente solución:

$$\text{Diferencia} = \text{nube a comparar} - \text{nube referencia}$$

De esta forma, si fijamos una nube tomada en un año concreto como referencia y, posteriormente queremos comparar otras de años siguientes, el resultado dará como negativo si ha habido pérdida de valor Z y positivo en caso contrario. Es posible que en algunos píxeles no haya datos en Z, que no se encuentren puntos en alguna celdilla. En estos casos no es posible realizar la comparación, ya que daría datos totalmente incoherentes con el resto. Así pues, para diferenciar estos píxeles de los que sí tienen información válida se ha decidido darles unos valores fácilmente identificables e imposibles de confundir. Este valor es el número 99999 (valor numérico para no causar posteriores problemas de lectura del fichero).

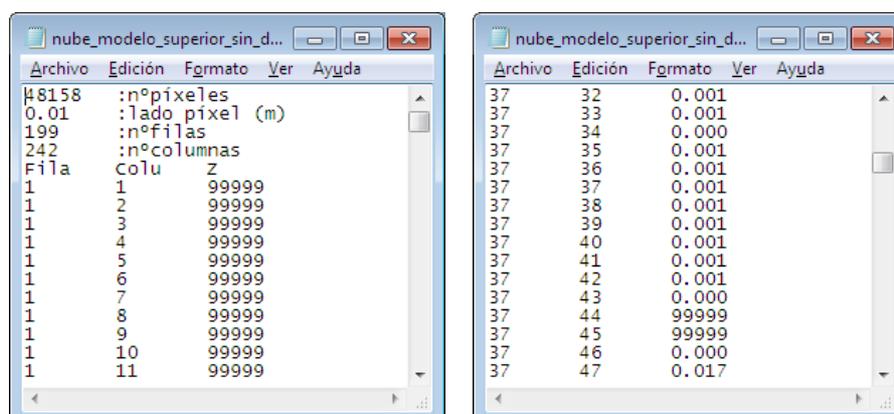


Figura E.3. Fichero de salida en el que se ven valores no válidos (izq) y válidos (dcha).

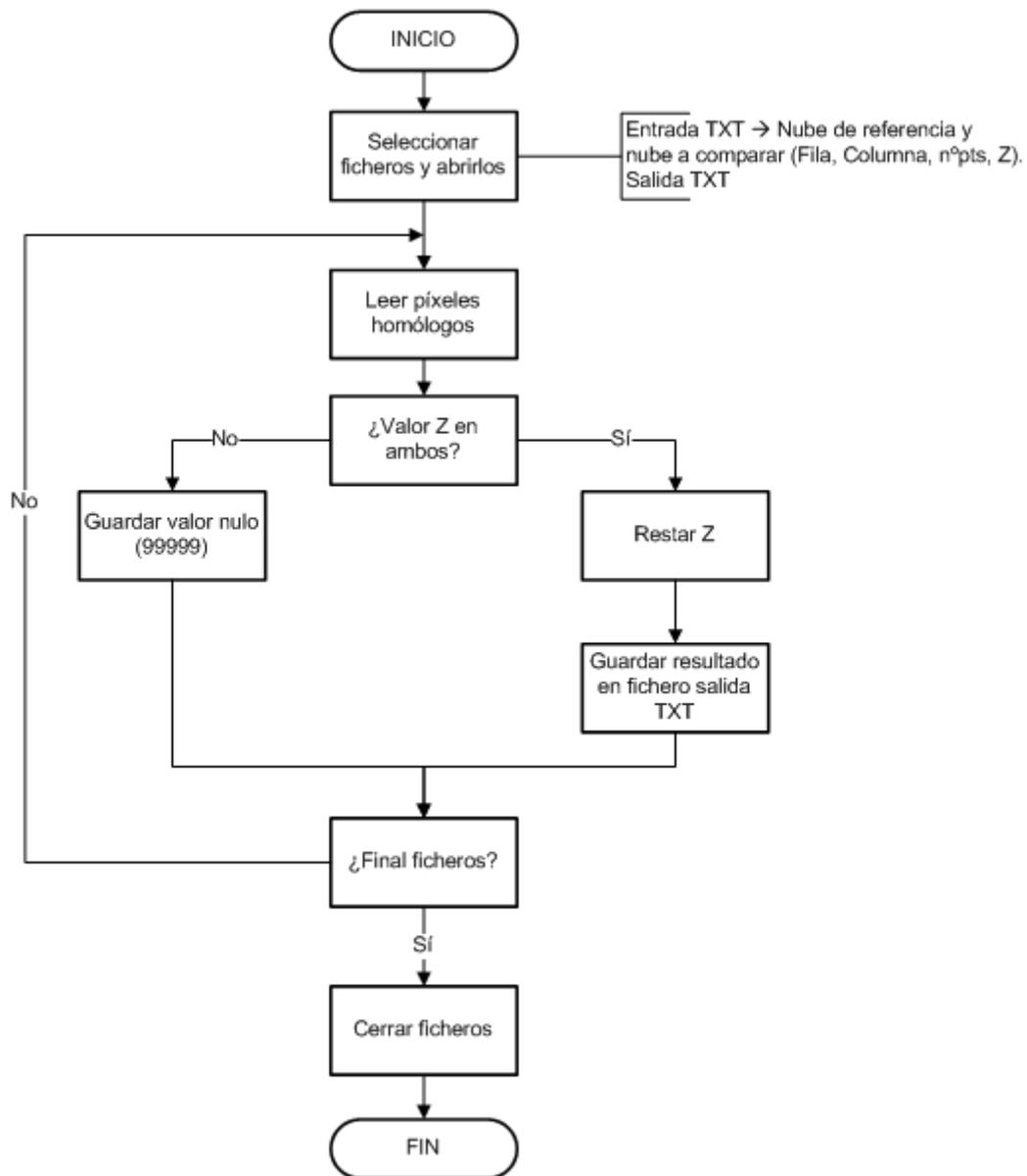


Figura E.4. Organigrama del programa Comparación de Profundidades.

d) Salida de datos:

La salida de los datos tiene la misma estructura y formato que el fichero de entrada, con la diferencia de que se elimina el dato de número de puntos incluidos en cada píxel. Por lo demás, contiene las mismas cabeceras y la misma estructura encolumnada de datos. Se puede ver un ejemplo en la figura E.3.

F. GENERACIÓN DE IMAGEN A PARTIR DE PROFUNDIDADES

Lenguaje de programación: *Visual Basic 6.0*

Sistema operativo: *Microsoft Windows 7*

Programador: Miguel Moreno González

Fecha: Enero de 2011

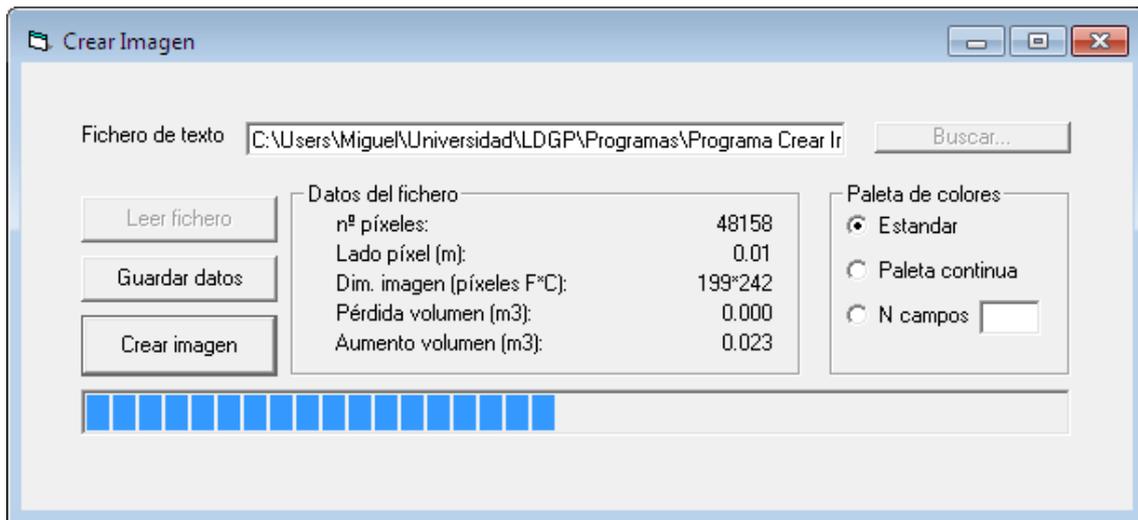


Figura F.1. Captura de pantalla de la interfaz del programa durante el proceso de creación de la imagen.

a) Descripción:

La finalidad de este programa es dar una salida gráfica a un fichero con información similar a la de una imagen, como son la fila y columna del píxel, y una profundidad (valor Z) de cada. Este valor Z será el que se utilizará para determinar el valor del color, en función del rango Z que exista. Como producto final se obtendrá un archivo de imagen BMP (*Windows BitMap*).

b) Datos entrada:

Este programa leerá un fichero TXT el cual contendrá la información de cada celdilla de la imagen: nº de fila de la celdilla, nº de columna y el valor Z. Para completar la información, el fichero comenzará con cabeceras informativas de la matriz de píxeles que contiene (número de píxeles y su tamaño y las filas y columnas en las que están distribuidos). Entre estos datos y los registros correspondientes a las celdillas, existirá un registro con el nombre de cada columna.

Los valores de Z podrán ser de dos tipos: válidos y nulos. Son fácilmente diferenciables pues los nulos tendrán un valor de 99999. El resto normalmente contendrán valores variados, con cifras decimales.

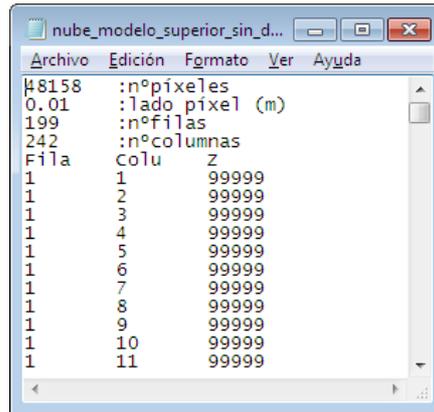


Figura F.2. Ejemplo de fichero de entrada.

c) Proceso:

Los ficheros que tenemos son útiles por dos razones, principalmente.

- Contienen información suficiente para el cálculo de volúmenes por medio de columnas. De esta forma se pueden obtener las pérdidas y aumentos de volumen de las figuras tratadas.

$$VolumenColumna = LadoPixel^2 * Z (m)$$

- El valor de Z se puede transformar a valores referidos a colores o escalas de grises con los cuales se podrá hacer una representación gráfica de estos volúmenes, con el valor añadido de tener características métricas semejantes a las de una ortofotografía.

Nos vamos a centrar en el segundo punto, ya que es interesante cómo definir un código cromático que refleje adecuadamente los datos numéricos. Como se ve en la figura F.1 (marco *paleta de colores*), en este programa se han dado tres opciones simples, denominadas como *paleta estándar*, *continua* y *N campos*.

- **Paleta estándar:** Se han fijado 6 tonalidades de azul para zonas con aumento de volumen (valor Z positivo) y otras 6 de rojo para reflejar las de pérdida, dejando el color verde para cuando no hay cambios en la superficie. Esta división de tonalidades se ha establecido de forma que se puedan diferenciar las diferentes áreas entre sí. Para determinar el intervalo en el que se encuentra cada píxel se calcula el rango que conforman los valores Z del fichero, siendo cada intervalo una sexta parte de este rango. El rango estará definido entre el 0 y el máximo entre los valores absolutos de Z.



Figura F.3. Paleta estándar utilizada en el programa.

- **Paleta continua:** Esta opción divide el rango de Z en 256 (0-255) intervalos equivalentes al RGB de 8 bits de forma inversamente proporcional. De esta forma la representación es más continua, ya que resulta imperceptible el cambio de tono de un intervalo a otro. Como consecuencia, es más complicado determinar el valor exacto de Z observando la imagen. Al igual que en la paleta estándar, se utiliza el color rojo para la pérdida de volumen y el azul para el aumento. Otro punto negativo a destacar es la dificultad para diferenciar la zona roja de la azul en sus tonos más claros.

	R	G	B
Z positiva máxima	0	0	255
Z = 0,001m	254	254	255
Z = 0	0	255	0
Z = -0,001m	255	254	254
Z negativa máxima	255	0	0

Figura F.4. Tabla de valores de RGB en la *paleta continua*.



Figura F.5. Representación de los valores de la *paleta continua*.

- **N campos:** Esta opción da la posibilidad al usuario de elegir el número de intervalos en los que se quiere dividir el rango de Z, obteniendo proporcionalmente los valores RGB de la misma escala que utiliza la *paleta continua* (fig. F.5.). En este aspecto hay que tener en cuenta las limitaciones del ojo humano al diferenciar las series de tonalidades de un color. Según estudios realizados, este límite está en unos seis tonos, por lo que el usuario tendrá que decidir que es lo que le conviene.

**Nota: No se obtendrá el mismo resultado al introducir 6 campos en la opción N campos que en la opción estándar, ya que esta última no utiliza un rango de tonos de 0 a 255, sino que se han seleccionado colores de una escala blanco-rojo-negro (512 valores).*



Figura F.6. Escala de la cual se han extraído las tonalidades rojas de la paleta estándar.

En este proyecto nos hemos limitado a discretizar los valores de Z de forma aritmética. Sin embargo, existen múltiples técnicas que posibilitan la mejora en la lectura y comprensibilidad de las imágenes. Este tema se trata en publicaciones de cartografía temática, dando soluciones como la progresión geométrica, logarítmica, desviación típica, etc. No se entrará a analizar ninguno de ellos en este proyecto, pero si es interesante conocerlas en pos de optimizar los productos en un futuro.

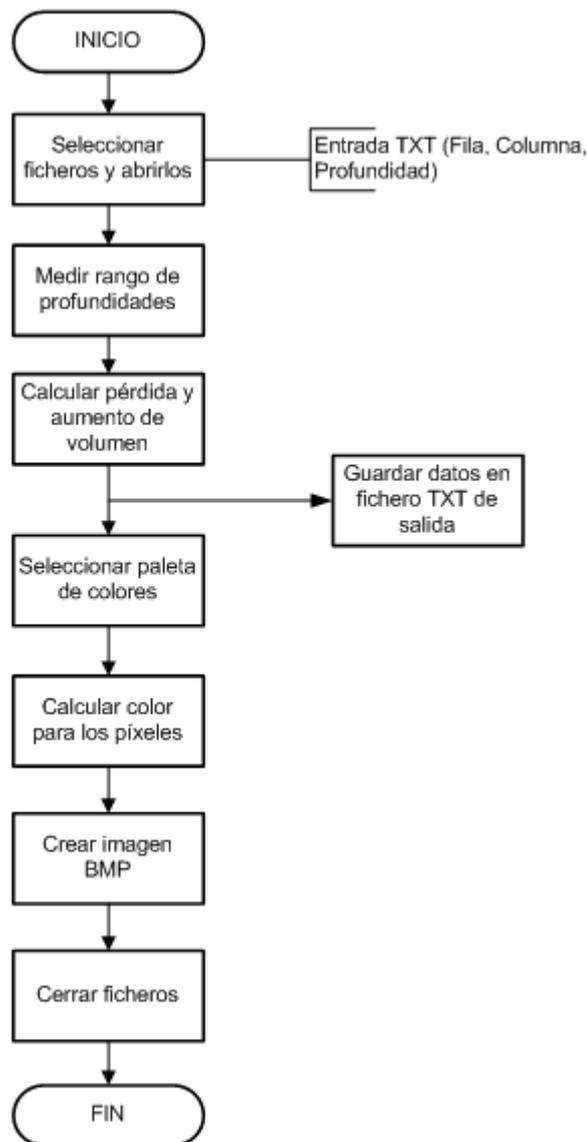


Figura F.7. Organigrama del programa Comparación de Profundidades.

d) Salida de datos:

Como se ha explicado en el punto anterior, las salidas posibles de este programa son dos:

- Archivo de datos (**_datos.txt*): Este fichero es interesante, sobretodo, por la información sobre volúmenes. Nos da el aumento y la pérdida del mismo en la el elemento tratado, dato de gran relación con el objetivo del trabajo, el seguimiento de la evolución de un elemento a lo largo del tiempo.

Su estructura es simple. Únicamente contiene información relativa a la imagen como el nº de píxeles, el tamaño del píxel y las dimensiones de la imagen, además de las ya mencionadas pérdida y aumento de volumen.

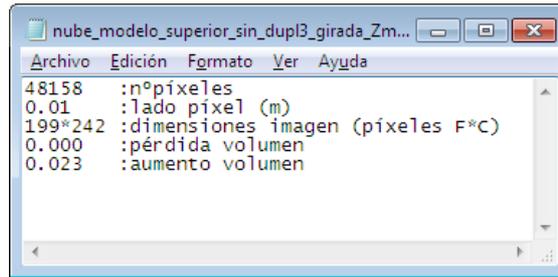


Figura F.8. Ejemplo de fichero de datos creado por el programa.

- Archivo de imagen (**imagen.bmp*): El fichero muestra de forma gráfica el valor Z del fichero de entrada, una vez estos han sido discretizados en el proceso y coloreados en función de esta discretización. Como se ha mencionado, el fichero de entrada podía contener píxeles con valores nulos (99999). Éstos son los impresos en color negro.

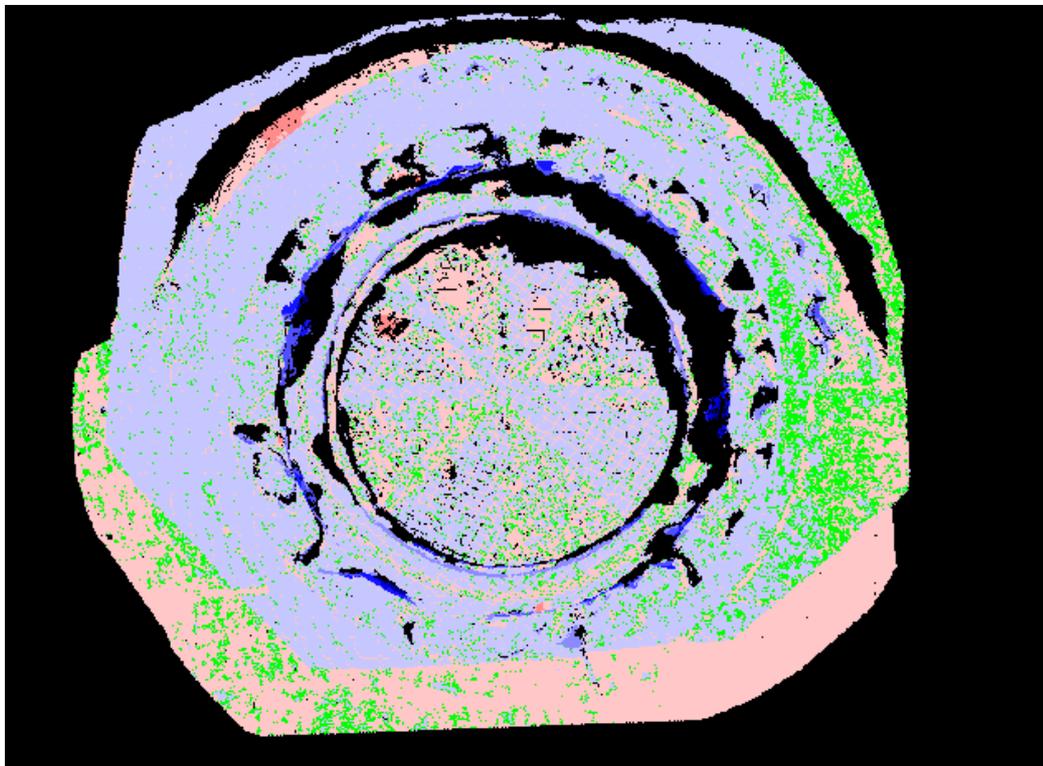
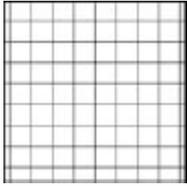
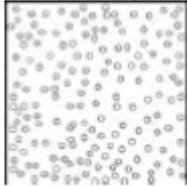


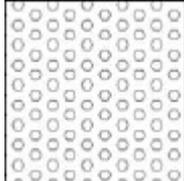
Figura F.9. Imagen generada a partir de la diferencia de profundidades.

ANEXO II.
TABLA DE ALTERACIONES Y DEGRADACIONES

ANEXO IV. TABLA DE ALTERACIONES Y DEGRADACIONES

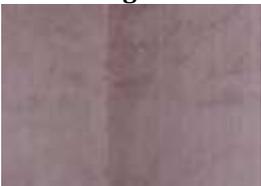
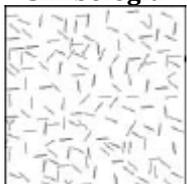
Cuadro resumen de alteraciones y degradaciones identificadas por el *Raccomandazione NorMal - 1 / 88* (CNR-ICR, 1990, Roma).

Alteración/Degradación:	ALTERACIÓN CROMÁTICA	
Descripción Alteración que se manifiesta a través de la variación de uno o más parámetros que definen el color: tono (<i>hue</i>), la claridad (<i>value</i>), la saturación (<i>chroma</i>). Se puede presentar con diferentes patrones, dependiendo del clima y puede referirse a áreas grandes o localizadas.	Causa <ul style="list-style-type: none">• Biodeteriogenos• Contaminantes atmosféricos (p.e.: depósitos de polvo y humo);• Radiación solar (p.e.: pigmentos no resistentes a la luz solar);• Afloramiento de manchas• Absorbimiento parcial del soporte;• Aparición del pigmento en fase de disgregación y sucesivos corrimientos de la superficie (en los sistemas de cal).	Fotografía  Simbología 
Alteración/Degradación:	ALVEOLIZACIÓN	
Descripción Degradación que se manifiesta con la formación de cavidades de diferentes formas y tamaños. Las cavidades están a menudo interconectadas y con una distribución desigual. En el caso particular en que el fenómeno se desarrolla principalmente en profundidad tomando una forma "de divertículos" se puede utilizar el término " <i>alveolización en forma de caries</i> ".	Causa <ul style="list-style-type: none">• Movimiento del agua en el interior del substrato;• Acción destructiva ejercida por la presión de cristalización de sales en el interior de los poros de la piedra;• Corrimientos;• Corrientes eólicas, con consiguiente evaporación rápida de la superficie.	Fotografía  Simbología 

Alteración/Degradación:		CONCRECIÓN ¹
Descripción	Depósito compacto generalmente formado de elementos tamaño reducido, desarrollada preferentemente en una sola dirección no coincidente con la superficie pétreo. A veces puede tomar la forma de estalactitas o estalagmitas.	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Infiltraciones de agua; • Presencia de costras negras; • Presencia continuada en el tiempo de humedad.
		Fotografía 
		Simbología 
Alteración/Degradación:		COSTRA ²
Descripción	Alteración de la capa superficial de material pétreo o de los productos utilizados para posibles tratamientos. De espesor variable, es sólida, frágil, distinguible de las partes subyacentes por las características morfológicas y, a menudo, por el color. Puede desprenderse espontáneamente del sustrato que, en general, aparece degradado y/o pulverulento.	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Acción de microorganismos y contaminantes; • Oxidación; • Circulación de aire escasa o nula; • Residuos de la combustión de aceite derivado del petróleo.
		Fotografía 
		Simbología 
Alteración/Degradación:		DEFORMACIÓN
Descripción	Variación de forma que afecta a todo el espesor del material y que se hace evidente en los elementos planos.	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Dilatación térmica por la radiación solar o la humedad.
		Fotografía 
		Simbología 

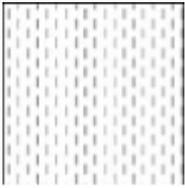
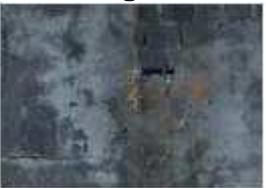
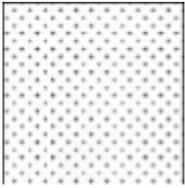
¹ La formación de concreciones se produce en los materiales calcáreos, arenisca, mármol travertino en presencia de humedad prolongada, en un ambiente protegido donde se produce migración, depósito y mineralización de sales.

² Costra Negra: *cementificación* superficial de las partículas del material contaminante.

Alteración/Degradación:		DEGRADACIÓN DIFERENCIAL
Descripción	Causa	Fotografía
Degradación que se pone en relación a la heterogeneidad de la composición o de la estructura del material, que evidencia a menudo los motivos originales de textura o estructurales.	<ul style="list-style-type: none"> • Escorrentía de aguas pluviales; • Acción mecánica y química por parte de agentes atmosféricos (descomposición de mármoles y tiza). 	
		Simbología
		
Alteración/Degradación:		DEPÓSITO SUPERFICIAL³
Descripción	Causa	Fotografía
Acumulación de materias ajenas de diversa índole, tales como, por ejemplo, polvo, tierra, guano, etc. De espesor variable y, en general, con falta de coherencia y adhesión al material subyacente.	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición, aspereza y deformación de la superficie; • Utilización de pinturas y barnices; • Contaminantes atmosféricos. 	
		Simbología
		
Alteración/Degradación:		DISGREGACIÓN⁴
Descripción	Causa	Fotografía
Falta de cohesión caracterizada por el desprendimiento de gránulos o cristales bajo tensión mecánica mínima.	<ul style="list-style-type: none"> • Biodeteriogenos; • Raíces de plantas superiores; • Infiltración de agua por capilaridad; • Reacción entre los materiales de construcción y la atmósfera; degradación de la superficie de contacto entre el ladrillo y el mortero. 	
		Simbología
		

³ Se debe anotar como pinturas a base de resinas sintéticas (acrílicas, epoxi, poliésteres, vinílicas, etc.), que forman películas, aunque sean lisas, sin espesor y granulosidad, mantienen firmemente el polvo y los contaminantes atmosféricos y, por consiguiente, las partículas contaminantes y la suciedad.

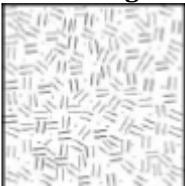
⁴ El fenómeno es particularmente evidente en areniscas sujetas a la acción directa de la congelación.

Alteración/Degradación:	DESPRENDIMIENTO	
<p>Descripción</p> <p>Solución de continuidad⁵ de los estratos superficiales del material, tanto entre ellos como con respecto al sustrato: por lo general un preludio de la caída de las propias capas. El término se utiliza en particular para mortero y mosaicos. En el caso de la piedra natural a menudo partes sueltas adoptan formas específicas en función de las características estructurales y texturales, entonces se utilizan palabras como <i>costra</i> (ver), <i>laminación</i> (ver), <i>exfoliación</i> (ver).</p>	<p>Causa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fenómeno de humedad ascendente; formación de hielo en el estrato más superficial; • Pérdida localizada de agua en las instalaciones de eliminación y/o transporte; • Abundante presencia de formaciones salinas; eflorescencia. • Soluciones de continuidad consecuentes de la presencia de fisuras y/o lesiones estructurales; • Dilatación diferencial entre materiales de soporte y acabado; • Soluciones de continuidad consecuentes del stress térmico en proximidades a materiales metálicos; • Utilización en sustratos tradicionales de pinturas y barnices que forman películas • Errores de construcción y uso de arena o mortero inadecuado. 	<p>Fotografía</p>  <p>Simbología</p> 
<p>Alteración/Degradación:</p> <p>Descripción</p> <p>Formación de sustancias, generalmente de color blanquecino y de aspecto cristalino, pulverulento o filamentoso, en la superficie del elemento. En el caso de eflorescencias, la cristalización⁶ a veces puede ocurrir en el interior del material provocando, a menudo, el desprendimiento de lo más superficial: el fenómeno en estos casos es llamado <i>cripto-eflorescencia</i> o <i>sub-eflorescencia</i>.</p>	<p>Causa</p> <p>Se debe a la presión de la cristalización de las sales. Tal fenómeno es acentuado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Humedad debida a fenómenos de capilaridad, por la condensación, por la pérdida localizada en las instalaciones de transporte de aguas; • Escorrentía de aguas pluviales; • Acción del viento que acelera la evaporización superficial del agua; • Sustancias añadidas en tratamientos de restauración (salificación de sodio cloruro, potasio y nitrato de calcio); • Degradación de la superficie de contacto entre el ladrillo y el mortero (formaciones de sulfoaluminato de calcio y grandes cristales). 	<p>Fotografía</p>  <p>Simbología</p> 

⁵ Ruptura, interrupción

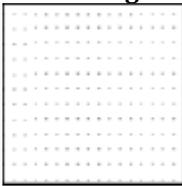
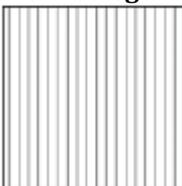
⁶ Los materiales con porosidad muy fina (yeso, ladrillo, piedras porosas) favorecen la cristalización de sales.

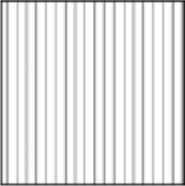
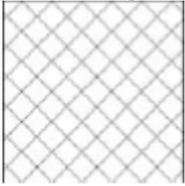
Alteración/Degradación:		EROSIÓN ⁷
Descripción	Eliminación de material de la superficie debido a procesos de diferente naturaleza. Cuando se conozcan las causas de la degradación, también se puede utilizar términos tales como: <i>erosión por abrasión</i> , <i>erosión por corrosión</i> ⁸ (causas mecánicas), <i>erosión por corrosión</i> (causas químicas y biológicas), <i>erosión por desgaste</i> (causas antropogénicas).	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Erosión mecánica de la lluvia; erosión por abrasión de estratos de la corteza provocada por el viento; • Agresión química de contaminantes (pe: productos amoníacos); • Formaciones de hielo, en los estratos más superficiales.
		Fotografía 
		Simbología 

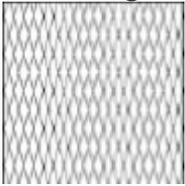
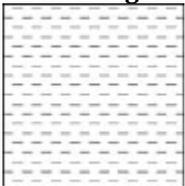
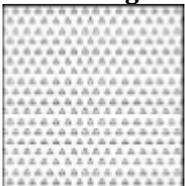
Alteración/Degradación:		EXFOLIACIÓN
Descripción	Degradación que se manifiesta con desprendimientos, a menudo seguidos por la caída de uno o más estratos superficiales (láminas).	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Movimiento del agua en el interior del sustrato; • Acción de microorganismos; • Aplicación en sustratos tradicionales de pinturas y barnices que forman películas • En ladrillos, presencia de carbonato de calcio.
		Fotografía 
		Simbología 

⁷ Esta forma de degradación material afecta a la superficie expuesta de modo más acentuado con piedra arenisca, pero también la estratigrafía del mortero sin protección superficial (yeso y pintura de acabado).

⁸ El término *corrosión*, en este contexto (aunque no se encuentra reflejado en la RAE), es el desgaste de las rocas causado por el impacto de los granitos de arena arrastrados por el viento, por lo que es un fenómeno puramente mecánico. No debe confundirse con *corrosión*, que designa un proceso de ataque químico (destrucción paulatina de los cuerpos por acción de agentes externos, persista o no su forma).

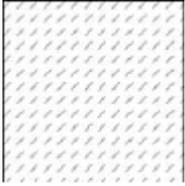
Alteración/Degradación:	FRACTURA O FISURA	
Descripción Degradación que se produce con la formación de soluciones de continuidad en el material y que puede implicar el desplazamiento recíproco de las partes.	Causa <ul style="list-style-type: none">• Ciclo de congelación y descongelación;• Inestabilidad de la pared de apoyo;• Incompatibilidad del tipo físico-mecánico entre el soporte y el acabado;• Degradación de la superficie de contacto entre el ladrillo y el mortero (formaciones de sulfoaluminato de calcio y grandes cristales);• En ladrillos, presencia de carbonato de calcio.	Fotografía  Simbología 
Alteración/Degradación:	INCRUSTACIÓN	
Descripción Depósito estratiforme, compacto y generalmente adherente al sustrato, compuesto de sustancias inorgánicas o de estructura de naturaleza biológica.	Causa <ul style="list-style-type: none">• Biodeteriogenos.	Fotografía  Simbología 
Alteración/Degradación:	BRECHA	
Descripción Caída y pérdida de parte de una pintura mural que pone a la luz las capas interiores del muro (ver también falta).	Causa	Fotografía  Simbología 

Alteración/Degradación:		MANCHA	
Descripción	Alteración que se manifiesta con pigmentación accidental o localizada en la superficie; está relacionada con la presencia de material externo al sustrato (por ejemplo: óxido, sales de cobre, sustancias orgánicas, barnices).	Causa	Fotografía
		<ul style="list-style-type: none"> • Biodeteriogenos; • Oxidación de elementos metálicos (hierro, cobre); • Actos de vandalismo. 	
			Simbología
			
Alteración/Degradación:		FALTA	
Descripción	Caída o pérdida de piezas. El término, genérico, se usa cuando la forma de degradación no es describible con otras definiciones del glosario. En el caso particular del yeso pintado se utiliza preferentemente brecha.	Causa	Fotografía
		<ul style="list-style-type: none"> • Fenómenos de humedad ascendente; • Pérdida localizada en instalaciones de eliminación y/o transporte de agua. • Consistente presencia de formaciones salinas; • Soluciones de continuidad debidas a la presencia de fisuras y/o lesiones estructurales; • Soluciones de continuidad debidas al stress térmico en proximidades a elementos metálicos; • Errores en el uso de arena o mortero inadecuado. 	
			Simbología
			
Alteración/Degradación:		PÁTINA	
Descripción	Alteración estrictamente limitada a la modificación natural de la superficie de materiales no relacionados a claros fenómenos de degradación y que se percibe como una variación del color originario del material. En el caso de alteraciones de índole artificial se usa preferentemente el término pátina artificial.	Causa	Fotografía
			
			Simbología
			

Alteración/Degradación:		PÁTINA BIOLÓGICA
Descripción	Causa	Fotografía
Estrato fino, suave y liso, adherida a la superficie y de naturaleza biológica evidente, de color variable, principalmente verde. La pátina biológica se compone principalmente de microorganismos donde puede adherirse polvo, tierra, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Acción de microorganismos autótrofos; • Presencia de humedad o agua; • Características morfológicas del sustrato (rugosidad, aspereza, muescas, etc.) 	
		Simbología
		
Alteración/Degradación:		PELÍCULA
Descripción	Causa	Fotografía
Estrato superficial de sustancias coherentes entre si y extrañas al material pétreo. Tiene espesor muy reducido y se puede separar del sustrato, el cual generalmente se presenta intacto.	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento protector del material pétreo, a la vez sujeto a la degradación por oxidación y reducción como consecuencia de las sustancias utilizadas. 	
		Simbología
		
Alteración/Degradación:		PITTING
Descripción	Causa	Fotografía
Degradación en forma de puntos que se manifiesta a través de la formación de numerosos agujeros ciegos y juntos. Los agujeros normalmente tienen forma cilíndrica con diámetro máximo de pocos milímetros.	Esta degradación afecta principalmente en piedras calcáreas, en particular el mármol.	
		Simbología
		

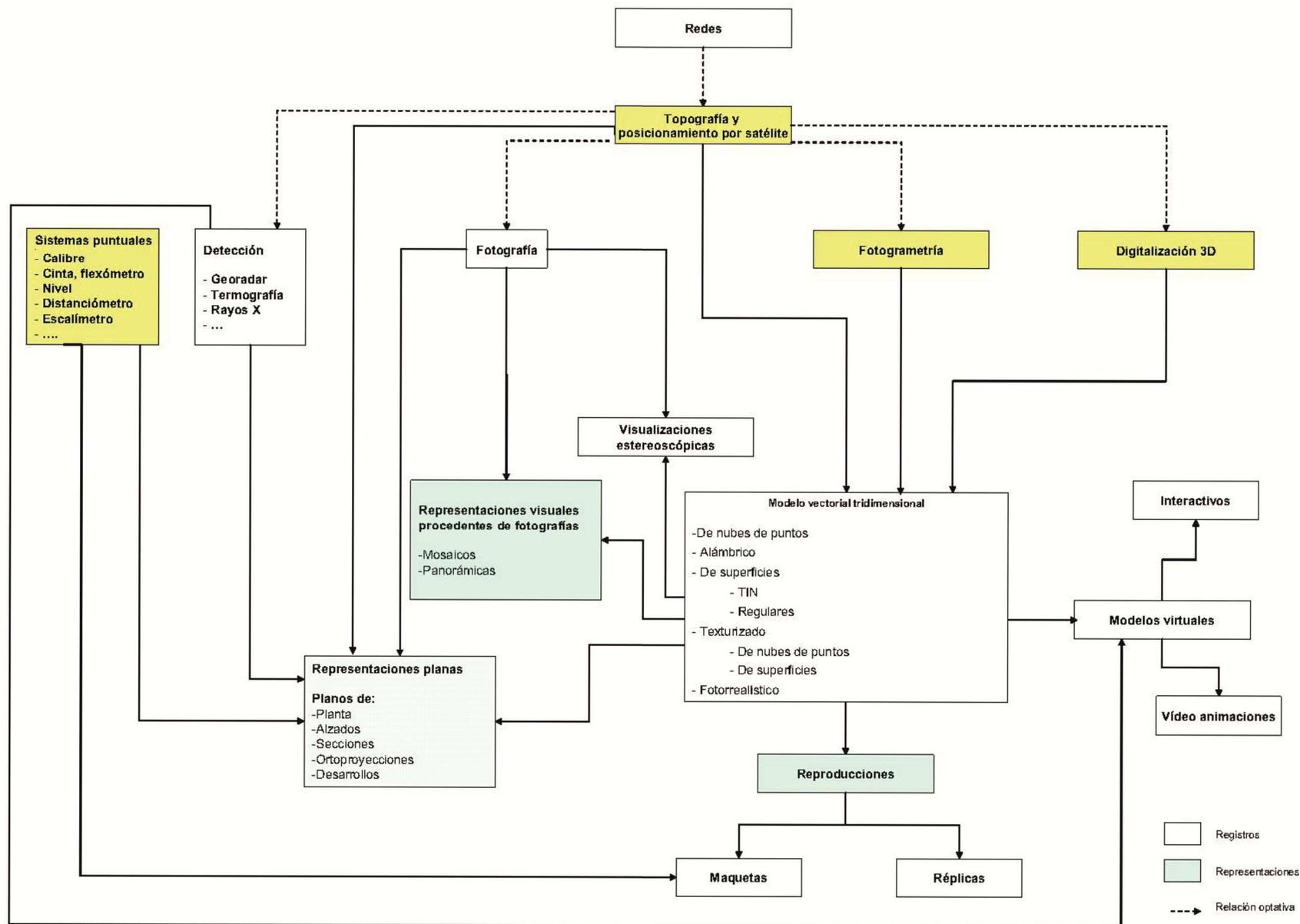
Alteración/Degradación:		PULVERIZACIÓN⁹
Descripción	Falta de cohesión que se manifiesta con la caída espontánea del material en forma de polvo o granos.	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Acción de microorganismos.
		Fotografía 
		Simbología 
Alteración/Degradación:		PRESENCIA DE VEGETACIÓN
Descripción	Término que se utiliza cuando hay líquenes, musgos y plantas.	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de humedad; • Ataque de organismos autótrofos (bacterias unicelulares, algas, líquenes, plantas superiores).
		Fotografía 
		Simbología 
Alteración/Degradación:		ABULTAMIENTO
Descripción	Levantamiento superficial y localizado de los materiales, que toman forma y textura variables.	Causa <ul style="list-style-type: none"> • Dilatación diferencial entre materiales de soporte y acabado; • Formación de hielo en los estratos más superficiales.
		Fotografía 
		Simbología 

⁹ Una forma particular de pulverización es el “desempolvamiento del color”, que afecta las tintas de base mineral (en particular, el proceso de carbonatación en las tinta a base de cal).

Alteración/Degradación:		
Descripción	LAMINACIÓN	Fotografía
Degradación que se manifiesta con desprendimiento total o parcial de piezas (láminas) a menudo en relación con soluciones de continuidad del material originario. La lámina, constituida generalmente de material en apariencia inalterado, es de forma irregular y espesor consistente y no homogéneo. Debajo puede haber eflorescencia (ver) o pátina biológica (ver).	Causa <ul style="list-style-type: none">• Exposición a los agentes atmosféricos;• Presencia de humedad en la pared (cristalización de sales solubles).	
		Simbología 

ANEXO II.
DIAGRAMA DE REPRESENTACIONES Y
MÉTODOS DE REGISTRO

ANEXO V. DIAGRAMA DE REPRESENTACIONES Y MÉTODOS DE REGISTRO



Relación entre representaciones y métodos de registro (Valle, 2007, anexo página 92, incluye mayor información entre las páginas 92-103).

ANEXO II.
JUSTIFICACIONES DEL PRESUPUESTO

ANEXO III. JUSTIFICACIONES DEL PRESUPUESTO

A) PRESUPUESTO DE METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla VI. 1. CUANTIFICACIÓN DE LA ALTERACIÓN EN LA IGLESIA DE LAGUARDIA

COSTE 1ª CAMPAÑA.

COSTES DIRECTOS	Unidades	Coste/día	Días	Coste total €
Mano de obra (nivel 2 campo)	1	132.58	1	132.58
Mano de obra (nivel 7 campo)	1	90.20	1	90.20
Mano de obra (nivel 2 oficina)	1	132.58	2	265.16
Instrumental		68.96	1	68.96
Material auxiliar		2.24	1	2.24
Transporte				59.50
Dietas				20.00
Alquiler grúa		150.00	1	150.00
CD Totales				788.63

GASTOS GENERALES

Oficina (con Rapidform)		85.55	3	256.65
Oficina (con Programación)		75.19	3	225.57
CD + GG (con Rapidform)				1045.28
CD + GG (con Programación)				1014.20

COSTE SIGUIENTES CAMPAÑAS.

COSTES DIRECTOS	Unidades	Coste/día	Días	Coste total €
Mano de obra (nivel 2 campo)	1	132.58	1/2	66.29
Mano de obra (nivel 2 oficina)	1	132.58	2	265.16
Instrumental		20.31	1	20.31
Material auxiliar		1.28	1	1.28
Transporte				59.50
CD Totales				412.54

GASTOS GENERALES

Oficina (con Rapidform)		81.36	3	244.08
Oficina (con Programación)		75.19	3	225.57
CD + GG (con Rapidform)				656.62
CD + GG (con Programación)				638.11

PRESUPUESTO PARA 2 CAMPAÑAS

	Con Rapidform (€)	Con programación (€)
CD + GG	1701.90	1652.31
Imprevistos (10%)	170.19	165.23
TOTAL	1872.09	1817.54
Beneficio Industrial (15%)	280.81	272.63
TOTAL (sin IVA)	2152.91	2090.18
IVA	387.52	376.23
TOTAL (con IVA 18%)	2540.43	2466.41

• **Mano de obra**

Tabla VI. 2. MANO DE OBRA.

Nivel		2	7
Descripción		Ing. Topógrafo	Oficial 1ª
Horas trabajadas	h. conv. - h. baja		
	h. Convenio (1)	1806	1806
	h. Baja (2)	0	0
	TOTAL (h) (3)	1806	1806
PC	sal. + ant. + plus		
	Salario (4)	17038.62	10961.53
	Antigüedad (5)	2555.79	1644.23
	Plus Convenio (6)	2048.90	2048.9
	TOTAL (€) (7)	21643.31	14654.66
PNC			
	Seguro (8)	300.00	300.00
	TOTAL (€) (9)	300.00	300.00
Cotización	CG + AyEP + (D+F+FP)		
	CG (10)	5107.82	3458.50
	AyEP (11)	1515.03	1025.83
	Desp. + FOGASA + FP (12)	1363.53	923.24
	TOTAL (€) (13)	7986.38	5407.57
Coste anual	PC + PNC + cotización		
	TOTAL (€) (14)	29929.70	20362.23
Coste/hora	coste anual / horas trabajadas		
	TOTAL (€) (15)	16.57	11.27
Coste/día	coste hora*jornada laboral (8h)		
	TOTAL (€) (16)	132.58	90.20

(1) Horas laborales pactadas en el Convenio de Ingeniería para el año 2009 (CI-2009). No se han publicado nuevos convenios.

(2) Horas de baja previstas en un año laboral (no se han considerado en categorías de campo).

(3) Total horas trabajadas = (1) - (2) (no se han considerado horas extra)

(4) Salarios pactados en el CI-2009 por categorías profesionales.

(5) Antigüedad estimada del trabajador = 9 años (media española) --> Aumento 15% de (4) según CI-2009.

(6) Plus del convenio pactado el CI-2009 por categorías profesionales.

(7) Total Partidas Cotizadas (PC) = (4) + (5) + (6)

(8) Seguro estimado para el trabajador.

(9) Total Partidas No Cotizadas (PNC) = (8) (no se han considerado dietas)

(10) Contingencias Generales (CG) = Tipo * Base

Tipo = 23.60% (todas las categorías) | Base = (7)

Tipo establecido en el Manual de Cotización (MC) de la SS.

(11) Accidentes y enfermedades profesionales (AyEP) = Tipo * Base

Tipo = 7.00% (categorías de campo - Ing. Topógrafo y Oficial 1ª -) | Base = (7)

Tipo = 1.00% (categoría de oficina - Telefonista -) | Base = (7)

Tipo establecido en MC de la SS.

(12) Desempleo + Fondo de Garantía Salarial + Formación Profesional = Tipo * Base

Tipo = 5.50% + 0.20% + 0.60% = 6.30% (todas las categorías) | Base = (7)

Tipo establecido en MC de la SS.

(13) Total Cotización = (10) + (11) + (12)

(14) Coste anual por categoría = (7) + (9) + (13)

(15) Coste por hora por categoría = (14) / (3)

(16) Coste por día por categoría = (15) * jornada laboral (8h)

Diseño de una metodología fotogramétrica para la determinación de degradación en patrimonio.
- ANEXO VI. Justificaciones del presupuesto -

• **Instrumental**

Tabla VI. 3. INSTRUMENTAL: 1ª CAMPAÑA

Instrumento / Modelo	Estación Total (1)	Trípode madera estándar (1)	Prisma / miniprisma (1)	Cargador y batería estación (1)	Cámara fotográfica (1)	Objetivo cámara (1)	Cargador y batería cámara	Tarjeta de memoria	Jalón telescópico	TOTAL € (13)
Precio compra	12000.00	177.00	175.00	339.00	2000.00	100.00	100.00	115.00	3000.00	18006.00
Precio venta (2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amort/año (3)	1799.10	26.54	26.24	50.82	299.85	14.99	14.99	17.24	449.78	2699.55
Seguro (4)	179.91	2.65	2.62	5.08	29.99	1.50	1.50	1.72	44.98	269.96
Revisión (5)	110.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.00
Certificado calibración (6)	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00
Portes (7)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reparación (8)	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Unidades (9)	1	1	1	1	1	1	1	2	1	10.00
TOTAL AÑO (10)	2207.01	29.19	28.86	55.91	329.84	16.49	16.49	37.93	494.75	3216.47
Días de func. (11)	150	150	150	150	100	100	100	100	10	1010
TOTAL DÍA (12)	14.71	0.19	0.19	0.37	3.30	0.16	0.16	0.38	49.48	68.96

(1) Datos aproximados, extraídos de catálogos Al-Top de años 2007 y 2009 / Cámara fotográfica Canon EOS 5D Mark II / Objetivo Canon 35mm

(2) Se ha decidido anular el precio de venta para evitar riesgos.

(3) Amortación al año = $((1) - (2)) / \text{Periodo mínimo de amortización (6.67 años)}$

(4) Seguro = 10% de (3)

(5) Revisión de los instrumentos (únicamente se ha considerado necesario para estación), extraído de catálogos Al-Top.

(6) Certificado de los instrumentos (únicamente es necesario para estación), extraído de catálogos Al-Top.

(7) Los portes se incluyen en (5) y (6) según los catálogos consultados.

(8) Reparación de los instrumentos (únicamente se ha considerado para estación), extraído de catálogos Al-Top.

(9) Unidades necesarias para una campaña

(10) Coste total por año = $((3) + (4) + (5) + (6) + (7) + (8)) / (9)$

(11) Días de funcionamiento = días que puede ser utilizado un instrumento al año.

(12) Coste de los instrumentos por día = $(10) / (11)$

(13) Suma total de todos los apartados.

Diseño de una metodología fotogramétrica para la determinación de degradación en patrimonio.
- ANEXO VI. Justificaciones del presupuesto -

Tabla VI. 4. INSTRUMENTAL: 2ª CAMPAÑA

Instrumento / Modelo	Cámara fotográfica	Objetivo 35mm	Cargador y batería cámara	Tarjeta de memoria	Jalón telescopico	TOTAL €
Precio compra	2000.00	100.00	100.00	115.00	3000.00	5315.00
Precio venta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amort/año	299.85	14.99	14.99	17.24	449.78	796.85
Seguro	29.99	1.50	1.50	1.72	44.98	79.69
Revisión	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Certificado calibración	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reparación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Unidades	1	1	1	1	1	5.00
TOTAL AÑO	329.84	16.49	16.49	18.97	494.75	876.54
Días de func.	100	100	100	100	30	430
TOTAL DÍA	3.30	0.16	0.16	0.19	16.49	20.31

Tabla VI. 5. AMORTIZACIÓN INSTRUMENTAL

Coficiente máximo (1)	15%	15%
Periodo mínimo (100/coef. máx) (2)	6.67 años	6.67 años

(1) Fuente: REAL DECRETO 1777/2004, Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.

(2) Años en que se amortizará = 100 / (1)

- **Material auxiliar**

Tabla VI. 6. MATERIAL AUXILIAR: 1ª CAMPAÑA

Concepto / Modelo	Precio/unidad	Unidades	Precio total	Años amort.	Amort/año
Botiquín	50.00	1	50.00	2	25.00
Chaleco reflectante	15.00	2	30.00	2	15.00
Flexómetro 5m SUPER-PRO	13.00	2	26.00	2	13.00
Cinta 50m NR50X	78.00	2	156.00	2	78.00
Mazo	40.00	2	80.00	2	40.00
Arandela de plastico rojo	0.16	5	0.80	1	0.80
Aerosol	6.00	1	6.00	1	6.00
Clavo 4cm	0.30	5	1.50	1	1.50
Portatil	1000.00	1	1000.00	4	250.00
Otros	100.00	1	100.00	1	100.00
TOTAL € AÑO					529.30
Días func.					236
TOTAL € DÍA					2.24

Tabla VI. 7. MATERIAL AUXILIAR: 2ª CAMPAÑA

Concepto / Modelo	Precio/unidad	Unidades	Precio total €	Años amort.	Amort/año
Flexómetro 5m SUPER-PRO	13.00	2	26.00	2	13.00
Botiquín	50.00	1	50.00	2	25.00
Chaleco reflectante	15.00	2	30.00	2	15.00
Portatil	1000.00	1	1000.00	4	250.00
TOTAL € AÑO					303.00
Días func.					236
TOTAL DÍA					1.28

• **Transporte**

Tabla VI. 8. VEHÍCULO.

Coche		Renault Trafic Combi	
Precio de compra	sin IVA	18275.86	
Precio de venta		5000	
Amortización (1)	(p.compra-p.venta)/per. mín		
Coste fijo (CF)	coeficiente máximo	16%	
	Periodo mínimo (100/coef. máx)	6.25 años	
	Amort/año	2124.14	
	Seguro	2000.00	
	ITV (2)	16.67	
Imp. Circulación		100.00	
Señal luminosa		100.00	
Coste variable (CV)	precio*uso*consumo/100		
	precio (€/l)	1.00	
	consumo (l/100km)	7.9	
	uso (km/año)	40000	
	Combustible	gasto/año (€)	3160.00
	Revisiones		300.00
	Neumaticos		100.00
	Reparaciones		300.00
	Unidades (3)		1
	Total año		8100.81
Días de func.		236	
TOTAL € día		34.33	
TOTAL € km		0.20	
CF día		35.94	
CV km		0.19	

(1) Fuente: REAL DECRETO 1777/2004, Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.

(2) Total ITV = 2 revisiones * 50€ / 6 años

(3) Unidades necesarias para el trabajo.

Tabla VI. 9. TRAYECTO.

Trayecto	km	Total km	horas	CF día	CV km	Coste total €
Vitoria-Laguardia	62	124	1,5	35.94	0.19	59.87

• **Gastos de oficina**

Tabla VI. 10. COSTES OFICINA (con Rapidform)

	Ordenador	I+E+F (1)	Ploter	Programas (2)	Mobiliario		
Gastos material	Concepto						
	Precio compra	1500.00	300.00	2000.00	18575.00	1000.00	
	Precio venta	0.00	0.00		0.00	0.00	
	coeficiente máximo	25%	15%	15%	33%	10%	
	Periodo mínimo (3)	4	6.67	6.67	3.03	10	TOTAL €
	Amort/año (4)	375.00	44.98	299.85	6129.75	100.00	6949.58
	Días	236	236	236	236	236	
	€/día	1.59	0.19	1.27	25.97	0.42	29.45
Gastos generales	Concepto	Alquiler	Comunidad	Seguro	Telefono	Consumibles	
	€/año	9000.00	2400.00	350.00	490.80	1000.00	13240.80
	Días	236	236	236	236	236	
	€/día	38.14	10.17	1.48	2.08	4.24	56.11
					TOTAL €/año	20190.38	
					TOTAL €/día	85.55	

(1) Impresora + escáner + Fotocopiadora

(2) Programas = Windows+Office+Autocad+PhotoModeler/Image Master+Rapidform

(3) = 100/coef. máx

(4) = (p.compra-p.venta)/periodo mínimo

Tabla VI. 11. COSTES OFICINA (con Visual Studio + Programación)

	Ordenador	I+E+F (1)	Ploter	Programas (2)	Mobiliario		
Gastos material	Concepto						
	Precio compra	1500.00	300.00	2000.00	11167.38	1000.00	
	Precio venta	0.00	0.00		0.00	0.00	
	coeficiente máximo	25%	15%	15%	33%	10%	
	Periodo mínimo (3)	4	6.67	6.67	3.03	10	TOTAL €
	Amort/año (4)	375.00	44.98	299.85	3685.24	100.00	4505.06
	Días	236	236	236	236	236	
	€/día	1.59	0.19	1.27	15.62	0.42	19.09
Gastos generales	Concepto	Alquiler	Comunidad	Seguro	Telefono	Consumibles	
	€/año	9000.00	2400.00	350.00	490.80	1000.00	13240.80
	Días	236	236	236	236	236	
	€/día	38.14	10.17	1.48	2.08	4.24	56.11
					TOTAL €/año	17745.86	
					TOTAL €/día	75.19	

(1) Impresora + escáner + Fotocopiadora

(2) Programas = Windows+Office+Autocad+Visual Studio+PhotoModeler/Image Master+Programación

(3) = 100/coef. máx

(4) = (p.compra-p.venta)/periodo mínimo

Tabla VI. 12. COSTES PROGRAMACIÓN.

	Unidades	Coste/día	Días	Coste total €
Mano de obra (nivel 2 oficina)	1	132.58	20	2651.58
Oficina (con Visual Studio)		69.54	20	1390.80
			TOTAL	4042.38

Tabla VI. 13. TABLA DE PRECIOS DE LOS PROGRAMAS INFORMÁTICOS. (€).

Microsoft Windows 7	140.00
Microsoft Office	195.00
Microsoft Visual Studio + MSDN	550.00
AutoCad	4440.00
EOS PhotoModeler	1800.00
Topon Image Master	1500.00
INUS Rapidform	9000.00
Módulo Rapidform	3000.00
Programas desarrollados	4042.38

B) PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tabla VI. 14. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

COSTES DIRECTOS	Unidades	Coste/día	Días	Coste total €
Mano de obra (nivel 2)	1	132.58	211	27974.16
Instrumental		68.96	1	68.96
Material auxiliar		2.24	1	2.24
Transporte				59.50
Dietas				10.00
CD Totales				28114.86
GASTOS GENERALES				
Oficina (todo)		88.42	211	18656.62
CD + GG				46771.48
Imprevistos (10%)				4677.15
TOTAL				51448.62
Beneficio Industrial (15%)				7717.29
TOTAL (sin IVA)				59165.92
IVA				10649.87
TOTAL (con IVA 18%)				69815.78

Tabla VI. 15. DISTRIBUCIÓN DE HORAS

	Días	Horas
Documentación	20	160
Pruebas PhotoModeler	30	240
Pruebas Image Master	30	240
Toma de datos	1	8
Procesado de datos	20	160
Desarrollo de software	60	480
Evaluación resultados	10	80
Redacción informe	40	320
TOTAL	211	1688

Mano de obra: tabla VI. 2.

Instrumental: tabla VI. 3.

Material auxiliar: tabla VI. 6.

Transporte: tabla VI. 9.

Dietas: Convenio de Ingeniería para el año 2009 (CI-2009). No se han publicado nuevos convenios.

Oficina: tabla VI.16.

Tabla VI. 16. COSTES OFICINA (todo)

		Ordenador	I+E+F (1)	Ploter	Programas (2)	Mobiliario	
Gastos material	Concepto						
	Precio compra	1500.00	300.00	2000.00	20625.00	1000.00	
	Precio venta	0.00	0.00		0.00	0.00	
	coeficiente máximo	25%	15%	15%	33%	10%	
	Periodo mínimo (3)	4	6.67	6.67	3.03	10	TOTAL
	Amort/año (4)	375.00	44.98	299.85	6806.25	100.00	7626.08
	Días	236	236	236	236	236	
€/día	1.59	0.19	1.27	28.84	0.42	32.31	
Gastos generales	Concepto	Alquiler	Comunidad	Seguro	Telefono	Consumibles	
	€/año	9000.00	2400.00	350.00	490.80	1000.00	13240.80
	Días	236	236	236	236	236	
	€/día	38.14	10.17	1.48	2.08	4.24	56.11
						TOTAL €/año	20866.88
						TOTAL €/día	88.42

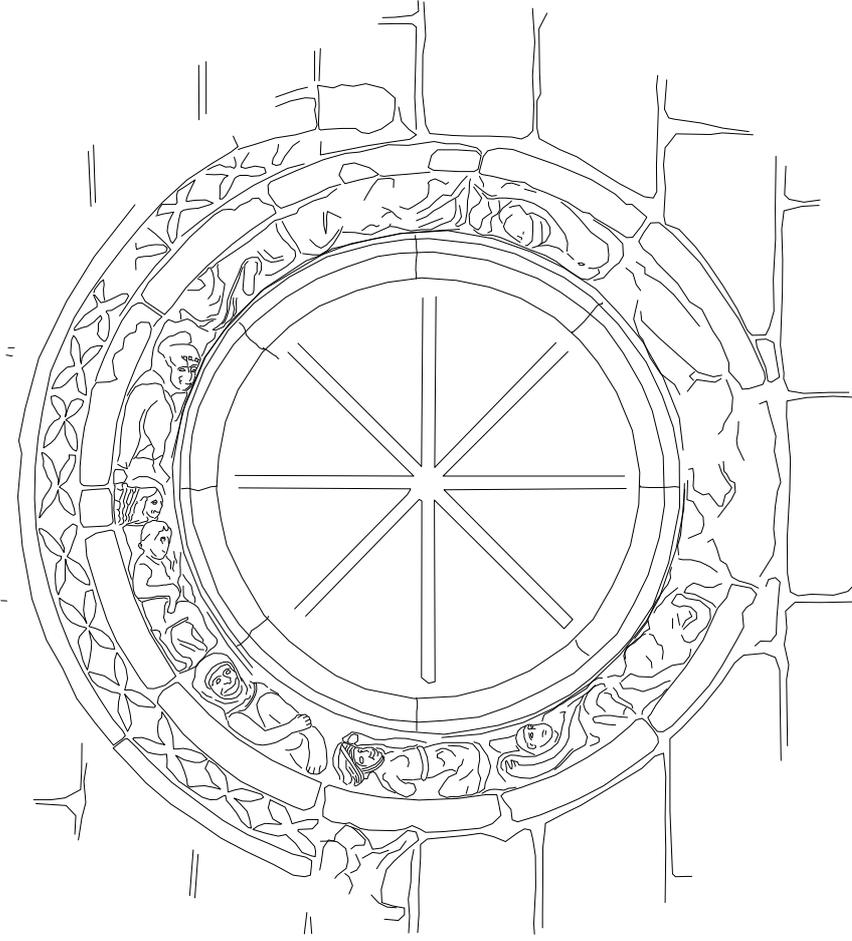
(1) Impresora + escáner + Fotocopiadora

(2) Programas = Windows+Office+Autocad+Visual Studio+PhotoModeler/Image Master+Programación+Rapidform

(3) = 100/coef. máx

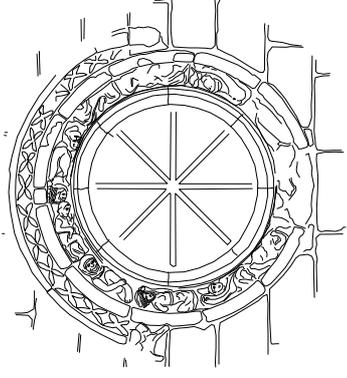
(4) = (p.compra-p.venta)/periodo mínimo

**ANEXO II.
PLANOS**



Escala: 1:20

Las precisiones obtenidas en la generación del resultado son de 1cm, correspondiente a la escala 1:50.
Se ha aumentado la imagen para una mejor lectura del modelo.



Escala: 1:50

Autor: Miguel Moreno
Tutores: José Manuel Valle
Álvaro Rodríguez

Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio.
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido.
UPV-EHU

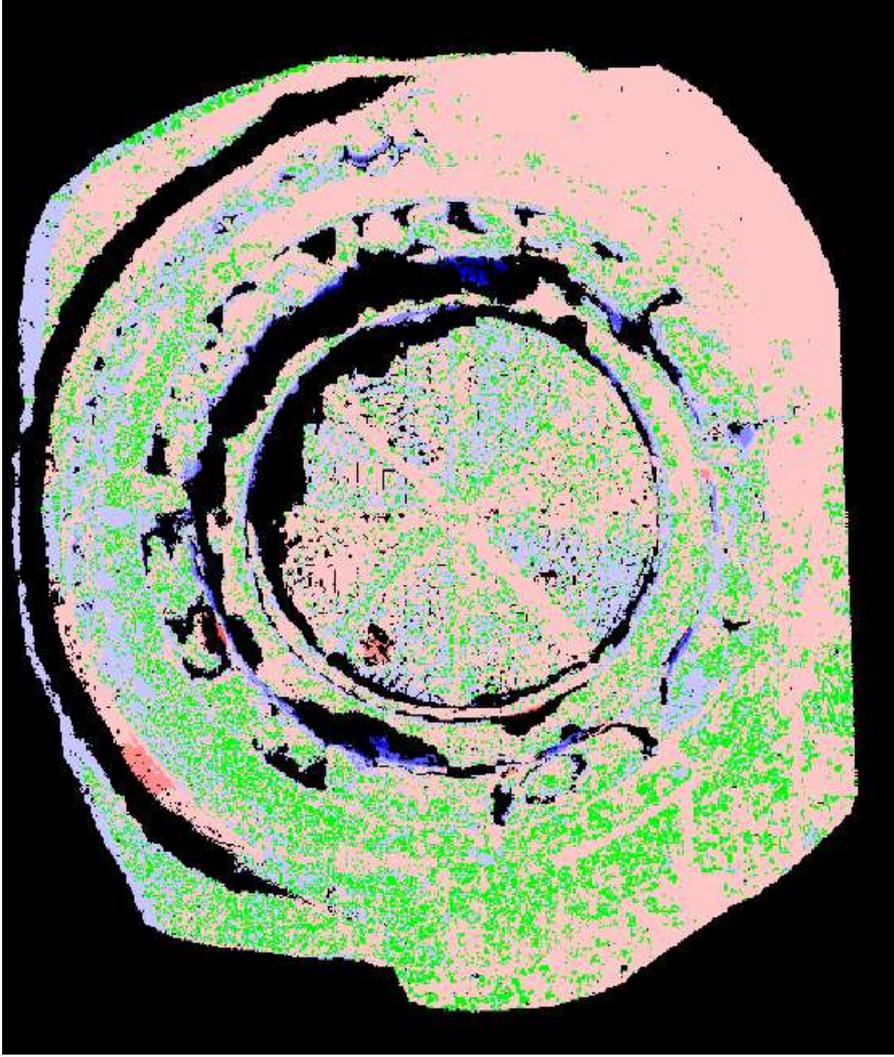


Proyecto: Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la Iglesia de San Juan de Laguardia (Alava).

Nombre del plano:
Alzado del óculo

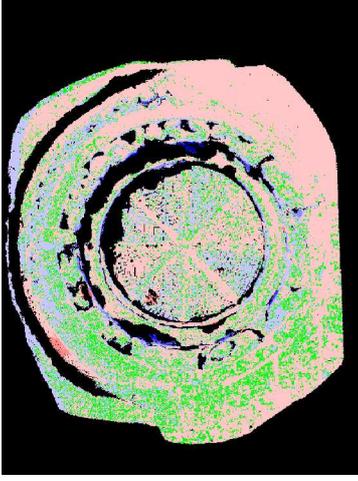
Nº del plano: 01

Fecha: Julio 2011



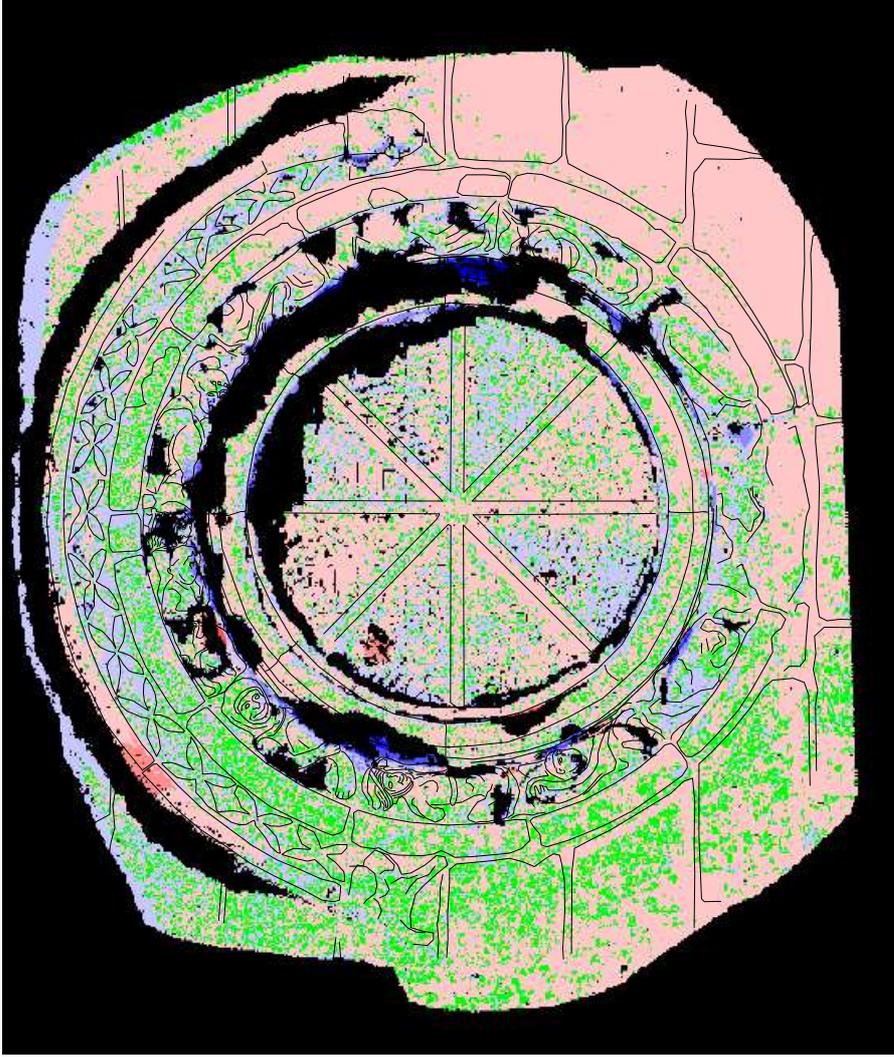
Escala: 1:20

Las precisiones obtenidas en la generación del resultado son de 1cm, correspondiente a la escala 1:50.
Se ha aumentado la imagen para una mejor lectura de la imagen.

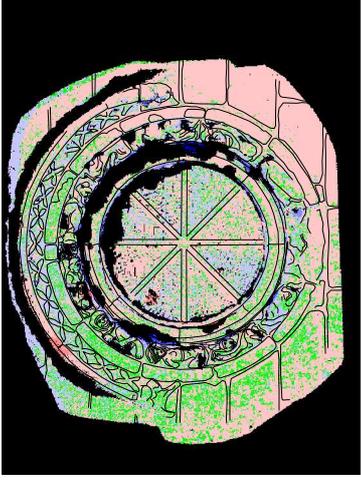


Escala: 1:50

<p>Autor: Miguel Moreno Tutores: José Manuel Valle Álvaro Rodríguez</p>	<p>Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU</p>	
<p>Proyecto: Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la Iglesia de San Juan de Laguardia (Alava).</p>	<p>Nombre del plano: Imagen métrica de comparación de profundidades</p>	<p>Nº del plano: 02 Fecha: Julio 2011</p>



Las precisiones obtenidas en la generación del resultado son de 1cm, correspondiente a la escala 1:50.
Se ha aumentado la imagen para una mejor lectura de la imagen.



0m 1.5m
Escala: 1:50

Autor: Miguel Moreno
Tutores: José Manuel Valle
Álvaro Rodríguez

Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio.
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido.
UPV-EHU



Proyecto: Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la iglesia de San Juan de Laguardia (Alava).

Nombre del plano: Imagen métrica de comparación de profundidades con el modelo alámbrico sobrepuesto

Nº del plano: 03

Fecha: Julio 2011



Escala: 1:20

Las precisiones obtenidas en la generación del resultado son de 1cm, correspondiente a la escala 1:50.
Se ha aumentado la imagen para una mejor lectura de la imagen.

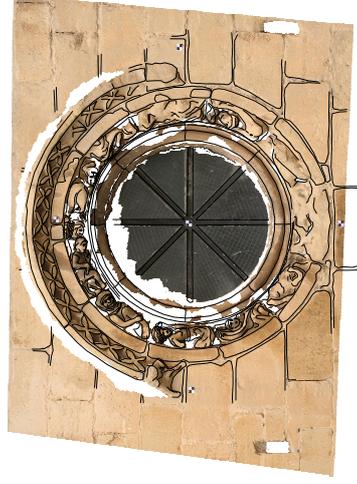


Escala: 1:50

<p>Autor: Miguel Moreno Tutores: José Manuel Valle Álvaro Rodríguez</p>	<p>Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU</p>	
<p>Proyecto: Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la Iglesia de San Juan de Laguardia (Alava).</p>		<p>Nombre del plano: Ortofotografía del óculo a partir de los datos de 2008</p>
		<p>Nº del plano: 04</p>
		<p>Fecha: Julio 2011</p>



Las precisiones obtenidas en la generación del resultado son de 1cm, correspondiente a la escala 1:50.
Se ha aumentado la imagen para una mejor lectura de la imagen.



0m 1,5m
Escala: 1:50

<p>Autor: Miguel Moreno Tutores: José Manuel Valle Álvaro Rodríguez</p>	<p>Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU</p>	
<p>Proyecto: Metodología fotogramétrica para la cuantificación de las alteraciones en paramentos pétreos patrimoniales. Aplicación a la iglesia de San Juan de Laguardia (Alava).</p>		<p>Nombre del plano: Ortografía del óculo a partir de los datos de 2008 con el modelo alámbrico sobrepuesto</p>
<p>Nº del plano: 05</p>		<p>Fecha: Julio 2011</p>



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV-EHU)



UPV EHU

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