



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

4

Información general / General information		
AUTOR:	Pablo Ibáñez de Elejalde Landa	: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:	Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja)	:TITLE
FECHA:	julio 2011 / July 2011	:DATE
NUMERO:	LDGP_pfc_004	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

Resumen	
TITULO:	Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja)
RESUMEN:	La fotogrametría ha experimentado un cambio importante por la irrupción de nuevo software de fácil manejo y coste reducido que puede favorecer su aplicación para el estudio de múltiples problemas. El presente proyecto analiza la aplicación de las técnicas de fotogrametría convergente y los programas informáticos actualmente disponibles para el estudio de muros en peligro de colapso. Se comparan diferentes opciones para la obtención de modelos de nubes de puntos, mallados con textura fotográfica y ortofotografías.
DESCRIPTORES NATURALES:	patrimonio, análisis de deformaciones, técnicas de bajo coste, auscultación
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesoro UNESCO [http://databases.unesco.org/thessp/]) Patrimonio Cultural, Ingeniería de la Construcción, Fotogrametría

Abstract	
TITLE:	Documentation and representation of unstable walls. Case study in the San Prudencio's Monastery (Clavijo, La Rioja, Spain)
ABSTRACT:	Photogrammetry is undergoing an important change due to the arrival of new software easier to use and lower in price. This thesis analyzes the application of these improvements to a the study and monitoring of unstable walls in a ruined monastery. Different software packages are compared in order to obtain point clouds, meshed three-dimensional models with photographic textures and orthophotographs.
NATURAL KEYWORDS:	heritage, deformation analysis, low-cost, 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/10810/7083	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> • ldgp_pfc004_PabloIb.pdf: este documento / this document. • ldgp_pfc004_fmnet(??)(?).jpg: 39 fotografías agrupadas en 4 conjuntos en función de la cámara utilizada (fmet05, fmet06, fmet15 y fmet16) en formato JPEG / 39 photographs in four sets gathered by the kind of camera used (fmet05, fmet06, fmet15 and fmet16) in JPEG format. • ldgp_pfc004_modelogeometrico_ArcolM.dwg / ldgp_pfc004_modelogeometrico_MuroR-IM.dwg: Modelos tridimensionales mallados en formato DWG de Autocad (versión 2000) documento / 3D Meshed models in Autocad DWG format (v.2000). • ldgp_pfc004_modelogeometrico_ArcolM.dwg / ldgp_pfc004_modelogeometrico_MuroR-IM.dwg: Modelos tridimensionales mallados en formato DWG de Autocad (versión 2000) documento / 3D Meshed models in Autocad DWG format (v.2000). • ldgp_pfc004_video_ArcolM.avi / ldgp_pfc004_video_MuroR-IM.avi: Videos de las dos zonas de estudio (formato AVI) / Videos of the two working areas (AVI format). • ldgp_pfc004_modelovirtual_ArcolM.zip / ldgp_pfc004_modelovirtual_ArcoPM.zip / ldgp_pfc004_modelovirtual_MuroR-IM.zip: Modelos virtuales VRML de las dos zonas de estudio, el sufijo IM indica que se ha realizado con el software <i>Image Master</i> mientras que el sufijo PN indica que se ha realizado con <i>Photomodeler</i>, se presentan comprimidos en formato ZIP junto a los ficheros de texturas (JPEG) / VRML virtual models, the suffixes stand for the software: IM for Image Master and PM for Photomodeler, they come compressed in ZIP files together with the photographic textures. 	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	<p>IBÁÑEZ DE ELEJALDE LANDA, Pablo. <i>Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja)</i>. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea). 2011.</p>	:CITATION

DOCUMENTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE PARAMENTOS VERTICALES EN RIESGO DE COLAPSO

APLICACIÓN EN EL MONASTERIO DE SAN PRUDENCIO (CLAVIJO, LA RIOJA)



Tutores: José Manuel Valle Melón
Álvaro Rodríguez Miranda

Alumno: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

Vitoria – Gasteiz, Julio de 2011

LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido (UPV-EHU)



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

AGRADECIMIENTOS

Es necesario comenzar la redacción de esta memoria agradeciendo su trabajo y apoyo a todas las personas de mi entorno que han sido parte activa o pasiva en el Proyecto.

Por esto agradezco a:

- José Manuel Valle Melón y Álvaro Rodríguez Miranda, tutores del presente proyecto. En primer lugar por la oportunidad brindada de formar parte y realizar el proyecto en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. Por guiarme, asistirme y orientarme durante la elaboración de todo el proyecto. Por su atención y dedicación a mí y a todos los alumnos componentes del Laboratorio de Documentación. Deseo hacer, también, una mención especial como agradecimiento a la organización del *Intensive Program ERASMUS: "Geometric Documentation of Heritage: European Integration of Technologies"*. La dedicación y trabajo necesarios para la consecución de una actividad de tal calibre resuelta, a mi juicio, de forma excelente me resulta digno de admiración y agradecimiento.
- A mi compañera del LDGP Raquel Méndiz Mateo, por su ayuda con el proyecto, en el trabajo de campo y en el aprendizaje de los programas.
- A mis padres. Por darme la vida, por los valores inculcados y por las oportunidades ofrecidas. Por apoyarme, comprenderme y sufrirme durante la toda la carrera, la elaboración del proyecto y a lo largo de mi vida. Porque su amor hacia mí es incuantificable, y en definitiva por que son los responsables de ser lo que soy y como soy.
- A todos los miembros del laboratorio por su apoyo y compañía durante las largas horas de trabajo. Y en especial a Chiara, Christina y Miguel; por todos los días vividos en el Laboratorio escuchando "la mejor música de ahora y de siempre". Por los cafés inexcusables, y porque en definitiva "i zoí ine ipéoji" (la vida es maravillosa). Siempre guardaré un excelente recuerdo de mi paso por el Laboratorio.
- Al resto de mi familia y amigos. Por su apoyo y por quererme y aceptarme tal y como soy.

PABLO IBÁÑEZ DE ELEJALDE

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	Pág. 1
1.1 Presentación	Pág. 2
1.2 Justificación.....	Pág. 2
1.3 Localización del Monasterio	Pág. 3
1.4 Historia y arquitectura del Monasterio	Pág. 5
2. ANTECEDENTES	Pág. 7
2.1 Proyecto IP.....	Pág. 8
2.2 Rasgos generales del proyecto fin de carrera (PFC)	Pág. 9
2.3 Descripción de las zonas de riesgo a estudiar	Pág. 9
3. OBJETIVOS.....	Pág. 16
3.1 Objetivos.....	Pág. 17
3.2 Productos a obtener	Pág. 18
4. MATERIAL Y MÉTODOS	Pág. 19
4.1 Instrumental	Pág. 20
4.1.1 Topografía	Pág. 20
4.1.2 Fotogrametría	Pág. 21
4.1.3 Material complementario y fungible	Pág. 21
4.1.4 Software.....	Pág. 22
4.2 Metodología	Pág. 23
4.2.1 Fotogrametría estereoscópica	Pág. 23
4.2.2 Fotogrametría convergente.....	Pág. 25
4.2.3 Orientación interna (calibración).....	Pág. 25
4.2.4 Orientación relativa	Pág. 26
4.2.5 Orientación absoluta	Pág. 27
4.2.6 Orientación externa.....	Pág. 27
4.2.7 Geometría epipolar y correlación automática.....	Pág. 28
4.2.8 Nubes de puntos.....	Pág. 29
4.2.9 Mallado (modelado de la superficie).....	Pág. 30
4.2.10 Ortofotos.....	Pág. 30
4.2.11 Edición de los productos.....	Pág. 31
4.2.12 Importación y exportación.....	Pág. 32
5. EJECUCIÓN	Pág. 34
5.1 Ejecución del trabajo	Pág. 35
5.2 Toma de datos	Pág. 35
5.2.1 Recopilación de información previa	Pág. 35
5.2.2 Salidas a campo.....	Pág. 36
5.2.2.1 Trabajos previos.....	Pág. 36
5.2.2.2 Planificación	Pág. 36
5.2.2.3 Trabajos propios del proyecto	Pág. 37
5.2.3 Fotografías	Pág. 38
5.2.3.1 Aspectos a tener en cuenta	Pág. 38
5.2.3.2 Ejecución de la toma de fotografías	Pág. 41

5.2.4 Apoyo fotogramétrico.....	Pág. 43
5.2.4.1 Aspectos a tener en cuenta	Pág. 43
5.2.4.2 Ejecución de la medición de coordenadas.....	Pág. 45
5.2.5 Adquisición y almacenamiento de datos.....	Pág. 46
5.2.5.1 Aspectos a tener en cuenta	Pág. 46
5.2.5.2 Solución tomada	Pág. 49
5.3 Calibraciones.....	Pág. 51
5.3.1 Distorsiones	Pág. 51
5.3.2 Análisis de distorsión	Pág. 53
5.3.3 Calibración Image Master	Pág. 56
5.3.4 Calibración Photomodeler	Pág. 62
5.3.5 Calibración Orthoware.....	Pág. 75
5.4 Flujo de trabajo.....	Pág. 79
5.4.1 Flujo de trabajo en Image Master.....	Pág. 79
5.4.2 Flujo de trabajo en Photomodeler Scanner.....	Pág. 93
5.4.3 Flujo de trabajo en MeshLab	Pág. 111
5.4.4 Flujo de trabajo en Rapidform XOS3	Pág. 119
5.4.4.1 Importación y combinado de mallas.....	Pág. 120
5.4.4.2 Generación de secciones	Pág. 123
5.4.4.3 Exportación de secciones a AutoCAD	Pág. 125
6. RESULTADOS	Pág. 127
6.1 Resultados obtenidos en la documentación	Pág. 128
6.1.1 Modelos 3D.....	Pág. 128
6.1.1.1 Modelo tridimensional del arco de la iglesia obtenido por Image Master	Pág. 128
6.1.1.2 Modelo tridimensional del arco de la iglesia obtenido por Photomodeler	Pág. 130
6.1.1.3 Modelo tridimensional del muro “R” obtenido por Image Master	Pág. 132
6.1.1.4 Modelo tridimensional del muro “R” obtenido por Photomodeler	Pág. 134
6.1.2 Ortofotografías	Pág. 136
6.1.3 Secciones	Pág. 138
6.2 Determinación de la precisión en modelos 3D.....	Pág. 139
6.2.1 Medición de las diferencias en Image Master.....	Pág. 140
6.2.2 Medición de las diferencias en Photomodeler	Pág. 141
6.2.3 Análisis de la precisión del modelo del arco obtenido por Image Master.....	Pág. 142
6.2.4 Análisis de la precisión del modelo del arco obtenido por Photomodeler.....	Pág. 144
6.2.5 Análisis de la precisión del modelo del muro “R” obtenido por Image Master.....	Pág. 144
6.2.6 Análisis de la precisión del modelo del muro “R” obtenido por Photomodeler.....	Pág. 146

6.3 Determinación de la precisión en ortofotografías	Pág. 146
6.3.1 Análisis de la precisión de la ortofoto del Arco de la Iglesia obtenida por Image Master	Pág. 148
6.3.2 Análisis de la precisión de la ortofoto del muro "R" obtenida por Image Master	Pág. 151
6.3.2.1 Muro "R" paño norte	Pág. 151
6.3.2.2 Muro "R" paño oeste	Pág. 153
6.3.3 Análisis de la precisión de la ortofoto del Arco de la Iglesia obtenida por Photomodeler	Pág. 156
6.3.4 Análisis de la precisión de la ortofoto del muro "R" obtenida por Photomodeler	Pág. 159
6.3.4.1 Muro "R" paño norte	Pág. 159
6.3.4.2 Muro "R" paño oeste	Pág. 162
7. COMPARATIVA	Pág. 165
7.1 Comparativa de los programas utilizados	Pág. 166
7.1.1 Definición de variables de comparación.....	Pág. 166
7.1.2 Comparación (diferencias, ventajas y desventajas).....	Pág. 167
7.1.2.1 Formatos de entrada	Pág. 168
7.1.2.2 Calibración de la cámara.....	Pág. 168
7.1.2.3 Número de pasos del proceso	Pág. 170
7.1.2.4 Capacidad de intervención en el proceso VS automatización del proceso	Pág. 171
7.1.2.5 Edición de mallas y nubes de puntos.....	Pág. 171
7.1.2.6 Generación de los productos.....	Pág. 172
7.1.2.7 Calidad de los resultados	Pág. 173
7.1.2.8 Capacidad de exportación.....	Pág. 174
7.1.2.9 Tiempo/Velocidad del proceso completo.....	Pág. 175
7.1.2.10 Aspecto visual y comodidad de trabajo.....	Pág. 176
7.1.2.11 Conclusión de la comparación	Pág. 176
8. CONCLUSIONES	Pág. 178
8.1 Propuesta Metodológica	Pág. 179
8.1.1 Planificación.....	Pág. 179
8.1.2 Materialización del apoyo.....	Pág. 180
8.1.3 Medición de coordenadas	Pág. 181
8.1.4 Toma de las fotografías	Pág. 181
8.1.5 Tratamiento y gestión de datos.....	Pág. 182
8.1.6 Procesado de los datos y obtención de los productos, metodología más ventajosa	Pág. 183
8.1.7 Control de los resultados	Pág. 185
8.2 Conclusiones de la elaboración del proyecto	Pág. 185
8.3 Conclusiones finales.....	Pág. 186
9. BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 188
9.1 Bibliografía	Pág. 189

ANEXOS

- Anexo 1: Características
- Anexo 2: Certificados
- Anexo 3: Descripción del software utilizado
- Anexo 4: Reseñas de estaciones
- Anexo 5: Reseñas del apoyo
- Anexo 6: Tablas de errores
- Anexo 7: Valoración económica
- Anexo 8: Planos
- Anexo 9: Contenido del CD adjunto

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

El presente trabajo se corresponde con un proyecto fin de carrera de la titulación de Ingeniería Técnica en Topografía.

El proyecto se ubica en el ámbito del *Intensive Program Erasmus: "Geometric Documentation of Heritage: European integration of Technologies"*; llevado a cabo en el Monasterio de San Prudencio de Monte Laturce enclave perteneciente al municipio de Clavijo, comunidad autónoma de La Rioja, durante el mes de Julio de 2010.

La idea original surge por parte del tutor, al mostrarle nuestro interés por la posibilidad de realizar un proyecto sobre el Monasterio de San Prudencio, debido a nuestra asistencia al Programa Erasmus citado anteriormente.

Se decide finalmente la elaboración de la documentación, por métodos fotogramétricos, de las zonas del Monasterio que se encuentran más degradadas y a las cuales se les puede considerar en peligro de derrumbe. De esta forma se han recogido datos para que la existencia de dichos elementos arquitectónicos en peligro, queden debidamente documentados para posteriores usos o como un mero referente de su existencia para la posteridad.

El proyecto fin de carrera recibe finalmente el título: *"Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja)"*.

Este proyecto se ha realizado junto con otro elaborado por mi compañera del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio¹, Raquel Méndiz Mateo; los cuales se complementan, ya que tienen un foco de acción común con algunos objetivos comunes y otros diferentes.

Se han realizado conjuntamente las fases de planificación y de toma de datos en campo, así como el inicio del aprendizaje de los diferentes software, dejando el resto de los apartados para elaborarlos de forma individual.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de la elaboración del presente proyecto, surge del análisis del estado arquitectónico del edificio en el que se realizan los trabajos en el IP Geometric Documentation of Heritage.

Un simple vistazo al Monasterio de San Prudencio es suficiente, para darse cuenta del estado de degradación al que se ha visto sumido el monumento.

Existen ciertos muros del complejo arquitectónico, que se encuentran en un estado bastante lamentable, los cuales corren en la actualidad un riesgo casi inminente de derrumbe. De hecho entre una visita y otra al monasterio, durante la ejecución de este proyecto, hemos podido

¹ También referido, en ocasiones, en este proyecto por el acrónimo LDGP.

constatar el desprendimiento de ciertos elementos de los muros; lo que evidencia aún más si cabe, la necesidad de abordar con premura ciertos trabajos de documentación y conservación.

El patrimonio perdido no tiene ya solución, pero el que ha perdurado hasta nuestros días, en opinión de todos los que hemos trabajado en el yacimiento; merece ser documentado, conservado y puesto en valor.

Por este motivo los precursores y elaboradores de este proyecto hemos creído necesario la documentación de las zonas del Monasterio de San Prudencio en peligro más inminente de desaparecer.

1.3 LOCALIZACIÓN DEL MONASTERIO²

La localidad de Clavijo se encuentra en la Comunidad Autónoma de La Rioja, más concretamente en la Subcomarca del Valle Oriental del Iregua, a unos 16 kilómetros de la capital de dicha comunidad, Logroño. Al Norte linda con Alberite, al Este con Ribafrecha, al Sur con Trevijano, Leza del Río Leza y Nalda, y al Oeste con Albelda de Iregua.

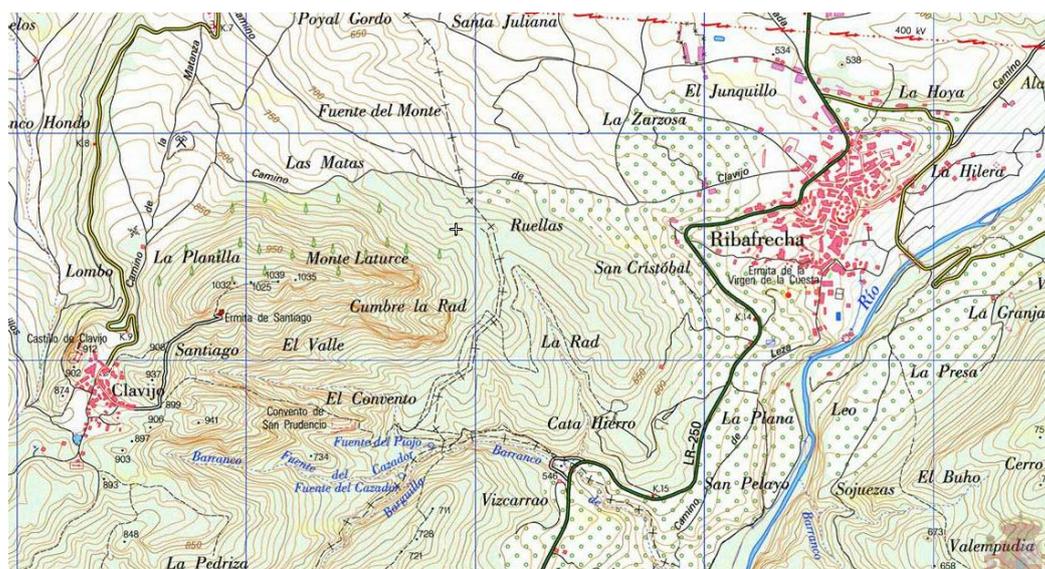


Imagen 1.1: Mapa de la zona del Monasterio de San Prudencio

Las ruinas del Monasterio de San Prudencio de Monte Laturce se ubican en el barranco de *Fuentezuela*, un afluente del río Leza, entre las localidades de Clavijo y Ribafrecha. El Monte Laturce, también llamado Collado de Clavijo, es la cumbre de las Peñas de Clavijo, situadas en el municipio homónimo. Bajo la cumbre, en la vertiente sur se haya la ermita de Santiago y en la cima de dicho monte se encuentra una gran cruz de cemento erigida en conmemoración de la batalla de Clavijo.

² Este apartado ha sido redactado por mi compañera del LDGP Raquel Méndiz.



Imagen 1.2: Vista general del monasterio desde el camino de acceso por Ribafrecha

El Monte Laturce es un enclave privilegiado debido a la belleza de su paisaje. Se ubica entre tres valles, inundados de historia y siempre vinculados a la cultura y crianza de grandes vinos. Estos tres valles son el Valle del Ebro, el del Iregua y el del Leza.

El río Iregua nace en la Sierra de Cebollera. Sus principales afluentes son el río Mayor, que entra por la izquierda y el río Lumbreras por la derecha, pero tiene muchos arroyos a ambos lados, para finalmente desembocar en el río Ebro a su paso por Logroño. Por su parte el río Leza nace en la Sierra de Cameros y es poseedor de numerosos afluentes, de los que cabe destacar el río Jubera. Desemboca en el margen derecho del río Ebro a su paso por el municipio riojano de Agoncillo.

Desde la cima del Monte Laturce se puede contemplar un maravilloso paisaje. Al fondo se puede observar Logroño, en el centro de la llanura formada por los ríos Ebro e Iregua. A mano izquierda destacan Navarrete, parte del municipio de Ribafrecha y un poco más arriba Leza de Río Leza y la muralla rocosa de Zenzano. Más al fondo infinidad de poblaciones a las orillas del Ebro y entre la niebla se observa el León dormido y la sierra de Codés, y más lejos aún y si el día está despejado se pueden observar los Picos de Europa.

El acceso al Monasterio puede efectuarse indistintamente por el Valle de Leza o por Clavijo. El primer acceso es relativamente fácil y comienza en la carretera de Ribafrecha a Soto de Cameros, y tiene una longitud aproximada de 3 kilómetros en pendiente ascendente que nos conducen al pie del monasterio. El segundo es quizás más complicado y al mismo tiempo más ameno. La salida en este caso es desde el mismo municipio de Clavijo, llegando casi al final de la localidad y sin comenzar a subir a la Ermita de Santiago hay un camino recién arreglado a mano derecha y descendiendo por él durante aproximadamente media hora nos encontramos en la muralla norte del Monasterio de San Prudencio.

1.4 HISTORIA Y ARQUITECTURA DEL MONASTERIO³

No existe un acta fundacional del Monasterio de San Prudencio, por lo que no se puede conocer la fecha exacta. El primer documento conservado data del año 950. En esta fecha el Abad abdica y los monjes se entregan al abad del monasterio de San Martín de Albelda.

Posiblemente el monasterio surgió con el ánimo de repoblar y aculturar el valle del río Leza.

La tradición vincula el origen del monasterio a la existencia de San Prudencio de Armentia, que había muerto en Osma. Se decide colocar su cuerpo en una caballería y enterrar el cuerpo en el lugar en el que se detuviera el animal. Este sería Monte Laturce donde los monjes que le acompañaban levantaron la iglesia denominada inicialmente de San Vicente.

El Monasterio se desliga de Albelda, y a mediados del siglo XI hasta el año 1181 acató las reglas cistercienses.

Durante unos cuantos años el monasterio recibe varias donaciones. A partir de 1162 existe una laguna en las fuentes documentales, este posiblemente sufrió un retroceso al ser restaurada por los señores de Cameros la abadía de Santa María de Rute.

El protagonismo del monasterio de San Prudencio resurge a partir de 1176 coincidiendo con el restablecimiento de las fronteras entre Navarra y Castilla.

En 1203 el señor de Cameros confirma el monasterio a la orden del Císter y lo coloca bajo protección real. El Papa Inocencio III le confirma todas sus posesiones. El monasterio permanecerá en ese estado de autonomía hasta su desaparición en el siglo XIX.

Entre las ruinas que han perdurado hasta nuestros días, están los restos de dos iglesias medievales, una de época románica levantada o restaurada en el siglo XII, denominada iglesia baja o de Yuso; y la iglesia gótica colindante por el Este y que se sitúa en un nivel superior recibiendo el nombre de iglesia Alta.

El siglo XVII se reconstruye la arquitectura del conjunto de habitaciones monasteriales, del cual queda en pie una pared orientada al Sur, así como restos de otra iglesia levantada en esa época.

La primera iglesia de la que se tiene constancia se trata de una nave dividida en tres tramos cubierta por una bóveda de cañón ligeramente apuntado. Hay que entrar desde el nivel superior donde se ubicaba la iglesia gótica, quedando la primera a modo de cripta. La puerta de acceso a la iglesia Baja correspondería a un arco ciego doblado⁴ y apuntado que se encuentra al oeste de la construcción. Posiblemente los monjes, levantaron o reedificaron después del 1181, la iglesia Baja, al restablecerse San Prudencio.

A partir de esa iglesia se construyó otra colindante por el Este, como una prolongación construida en un nivel superior. Esta nueva iglesia estaba en construcción en el año 1381.

³ GARCIA GUINEA, M. A., PÉREZ GONZÁLEZ, J.M. y otros (2008). *Enciclopedia del Románico en La Rioja. La Rioja. Volumen I*. Fundación Santa María la Real. Centro de Estudios del Románico.

⁴ Arco formado al superponer otro similar de menor tamaño. (<http://www.1románico.com>)

Cada tramo estuvo iluminado por una ventana. La más occidental a base de tres arquivoltas⁵ de medio punto, lisas las dos interiores y adornada la interior con grueso baquetón⁶. La ventana central, de acuerdo al gusto gótico, tiene una imposta⁷ de hojas de vid. Y la ventana más occidental es de menor altura por encontrarse sobre la puerta y está formada por un sencillo arco de medio punto. En la portada, aunque está parcialmente soterrada se pueden ver sus arquivoltas decoradas.

Finalmente, en el siglo XIX, afectado por la supresión general de las órdenes monásticas; se produjo el abandono de San Prudencio. Sus efectos se vendieron en subasta verificada el 12 de febrero de 1837 en la llamada Casa del Priorato en Lagunilla.

⁵ Cada una de las molduras que conforman una serie de arcos concéntrico. (<http://es.wikipedia.org>)

⁶ Tipo de moldura redonda, en forma de tallo, vertical y normalmente dispuesta en hilera con otras, utilizada especialmente en la arquitectura gótica. (<http://es.wikipedia.org>)

⁷ La imposta es a la jamba lo que el capitel a la columna. (<http://es.wikipedia.org>)

2. ANTECEDENTES

2.1 PROYECTO IP

El *Intensive Program Erasmus: "Geometric Documentation of Heritage: European integration of Technologies"* es un programa de trabajo multidisciplinar e internacional, en el que se realizan una serie de acciones enfocadas a la documentación del patrimonio; mediante topografía clásica y fotogrametría utilizando instrumentos punteros como GPS y escáneres láser.

El IP se define en la página⁸ del mismo de la siguiente forma:

"El objetivo principal que se persigue en este proyecto es el intercambio metodológico práctico, en materias afines a la medida y la representación del patrimonio, entre profesores y fundamentalmente alumnos, de diferentes países".

"Para la consecución de este fin se espera la participación de un grupo de aproximadamente 25 alumnos y 8 profesores de (Alemania, Italia, Grecia, Lituania y España)".

"Las actividades se centrarán en el desarrollo de proyectos concretos de documentación de elementos patrimoniales, en concreto el apartado práctico se desarrollará en el Monasterio de San Prudencio (La Rioja, España). En él se aplicarán técnicas digitales de registro de información geométrica, constituidas por receptores GPS, estaciones totales topográficas, escáneres láser y sistemas fotogramétricos".

"Los datos obtenidos serán tratados de la siguiente manera: en primer lugar serán documentados, mediante la adición de la metainformación necesaria para garantizar su utilidad a lo largo del tiempo, seguidamente serán procesados con el fin de obtener las representaciones cartográficas y modelos virtuales de representación que puedan ser difundidas por medio de Internet".

"Como resultados se pretenden: un conjunto de registros métricos del momento de la intervención, modelos gráficos de difusión y finalmente relaciones de colaboración interpersonal e interinstitucional".

Además de todo el contenido técnico y educacional, destaca también el componente humano. La convivencia en un entorno multicultural, la interrelación con compañeros de profesión con intereses y metas similares a los tuyos. A partir de esta experiencia se pueden obtener visiones diferentes sobre los trabajos y las técnicas topográficas.

Yo he sido participante de este Programa Erasmus en la edición 2009/2010, ésta es una de las razones por las que elaboro el presente proyecto englobado en las acciones que este

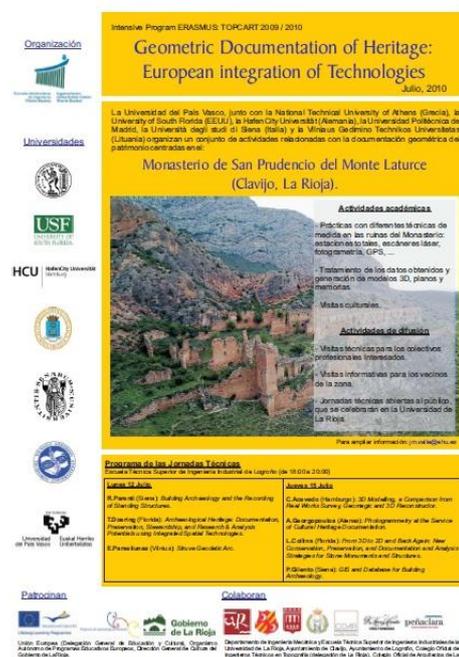


Imagen 2.1: Cartel del programa IP

⁸ La página del proyecto IP Erasmus es: <http://moodletic.ehu.es/moodle/course/view.php?id=1664>

Programa promueve relativas al patrimonio y en concreto a la documentación del Monasterio de San Prudencio.

2.2 RASGOS GENERALES DEL PROYECTO FIN DE CARRERA (PFC)

El presente proyecto aborda, la documentación por métodos fotogramétricos de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio en el municipio de Clavijo (La Rioja, España).

La documentación se realiza mediante métodos fotogramétricos, consistentes en cámaras réflex convencionales, topografía clásica y varios software de restitución.

Los software utilizados son: **PhotoModeler Scanner 6** de la casa Eos Systems, **Image Master** de la marca Topcon y **Orthoware**, desarrollado por la empresa E-metria.

Se pretenden obtener Modelos 3D de los elementos objeto de estudio como documentación de los mismos, y como base para la obtención de las secciones más definitorias del muro; que nos permitirán analizar su desplome. También se quieren obtener las ortofotografías para la realización de los análisis estratigráficos y demás estudios pertinentes, por parte de otros profesionales participantes en el Proyecto IP.

También es objetivo del proyecto la elaboración de un análisis de los software utilizados y su comparación para reseñar las características más importantes y que a nuestro juicio resultan puntos fuertes de dicho software.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO A ESTUDIAR

El Monasterio de San Prudencio de Monte Laturce se trata de un complejo arquitectónico en ruinas de gran tamaño. Ocupa un área de 160 metros de largo por 63 metros de ancho aproximadamente.

Debido a su gran tamaño es muy difícil de abarcar todos los trabajos de una sola vez, por lo tanto se debe dividir en varias zonas de forma que los trabajos tengan un contenido más abarcable. Por esta razón, en el programa IP en Julio de 2010 se centraron los trabajos en una única zona del monasterio consistente en la zona de la Cripta y de la Iglesia, situada al suroeste del yacimiento.

Durante los trabajos en esta zona y del análisis del resto del monasterio, se han seleccionado varios muros que se encuentran en un serio riesgo de colapso, y de los cuales se ve una necesidad de documentación urgente.

Los elementos seleccionados, y que son el objeto de estudio del presente proyecto, son únicamente cinco; aunque existen en el monasterio mas zonas de las que resultaría interesante documentar lo antes posible ya que también se encuentran en un avanzado estado de deterioro.

Como no se han realizado estudios previos, similares al nuestro; no existen documentos en los que los elementos que vamos a estudiar se encuentren denominados con algún nombre específico. Por lo tanto, se denominarán para este proyecto.

Para denominar a los muros, lo óptimo sería denominarlos haciendo referencia a la parte del complejo monástico que son, pero esto no es posible ya que no es conocido; y cada uno puede hacer una interpretación subjetiva sin realizar un estudio que lo justifique.

Por esta razón, en una reunión de todos los miembros del laboratorio que realizan trabajos sobre el monasterio, se fijó un nombre para cada una de las zonas, que sería a partir de entonces el utilizado para hacer referencia a las mismas.

Se decidió hacer referencia a los muros mediante letras del alfabeto, y en caso de identificar el elemento, con una denominación más descriptiva.



Imagen 2.2: Imagen aérea del monasterio con las zonas de estudio marcadas

Los muros que se van a estudiar se denominan de la siguiente forma:

- Muro P
- Muro R
- Muro J
- Muro Iglesia norte
- Arco Iglesia

En las siguientes imágenes se muestran indicados los muros de forma más detallada, en fotografías generales de las zonas en la que se encuentran los cinco elementos.



Imagen 2.3: Muros objeto del estudio

La imagen siguiente está tomada desde el lado opuesto a la fotografía anterior, y en ella se pueden distinguir los muros que no aparecían en la otra.



Imagen 2.4: Muros objeto del estudio

A continuación se hace una descripción de cada uno de los muros:

Muro P

El muro "P" se trata de un muro aislado, de aproximadamente un metro de espesor partido por la parte central por una gran grieta; una de las partes tiene más desplome que la otra.

Presenta la dificultad de que tiene un muro próximo en su parte norte que nos impide sacar las fotografías con cierta distancia, por lo que necesitaremos un objetivo de focal pequeña.



Imagen 2.5: Fotografía del muro "P"

Este muro "P", tiene unas dimensiones aproximadas de 4,4 metros de ancho y 7,8 metros de alto.

Muro R

Este muro se encuentra en la parte más al sur del monasterio en el borde de un barranco tiene dos partes diferenciadas, una más alta que la otra. En la parte más alta tiene una ventana, y en la parte baja un orificio de grandes dimensiones.

El recubrimiento de la piedra está en muy malas condiciones; esto lo pudimos experimentar al comprobar que de un día para otro de trabajo de campo se habían desprendido algunas de las partes del mismo.

Aunque tiene mucho espacio delante, hay un pequeño árbol delante de la parte más baja del muro por lo que se nos presentarán ciertas dificultades para la toma de fotografías; y deberemos tomar las fotografías del muro por partes.



Imagen 2.6: Fotografía del muro "R"

Las dimensiones del muro R son aproximadamente de 7,7 metros de largo y 8 de alto, en su parte más alta.

Muro J

El muro J se encuentra ubicado en la parte norte de la iglesia, se encuentra aislado y tiene un agujero enorme en su parte este. En la parte oeste tiene una zona más alta que le da la forma característica. Este muro tiene un espesor menor a los anteriores muros descritos, resultando a aproximadamente de unos 40 centímetros en su parte más gruesa y de unos 10 en la más estrecha.

A continuación se muestra una fotografía del muro J desde su cara sur:



Imagen 2.7: Fotografía del muro "J"

Las dimensiones del muro J son aproximadamente de 5,6 metros de largo y 8,5 de alto, en su parte más alta.

Muro Iglesia norte

Este muro es el más grande de todos los que se tienen previstos documentar, tiene unas dimensiones de 21 metros de largo y 13,5 de alto. Se encuentra en la parte norte de la iglesia y es el muro más deteriorado de todos los que son objeto de estudio de este proyecto. Es complicada su documentación debido a sus dimensiones.



Imagen 2.8: Fotografía del muro norte de la iglesia

Este muro en su parte alta tiene mucho desplome, aparentemente puede colapsar en cualquier momento. Puede llegar a ser peligroso realizar cualquier intervención directa sobre él.

Este muro es un caso especial ya que a la otra cara por estar fuera de la iglesia, y por lo tanto, ubicarse en otra unidad; se le ha dado otro nombre. Este muro en su cara norte se denomina muro "M".



Imagen 2.9: Fotografía del muro "M", parte trasera del muro norte de la iglesia

Sus dimensiones son 10,7 metros de largo, por 7 metros de alto.

Se encuentra en su parte oeste cubierto por gran cantidad de vegetación, lo que impide documentar la verdadera geometría del muro en esa parte.

Arco Iglesia

Este muro como su nombre indica se encuentra en el interior de la iglesia.



Imagen 2.10: Fotografía del arco de la iglesia

Aunque por la parte del interior aparenta estar en buenas condiciones, esto no es así ya que por la parte opuesta a la vista de la fotografía anterior se puede ver que la zona central del arco está bastante deteriorada.

Este muro presenta unas dimensiones de unos 7 metros de largo y 5,2 de alto.

Como se ha mencionado en la introducción se están realizando dos proyectos sobre estas zonas, en este caso el presente proyecto se centra únicamente el **muro "R"** y el **arco de la iglesia** de los cuales se obtendrá el modelo tridimensional, las ortofotografías y las secciones características.

Estos muros son suficientes para poder llevar a cabo el otro objetivo del proyecto que se trata de la comparación de los software utilizados. A partir de la documentación de estos se podrá sacar conclusiones para la elaboración del análisis comparativo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS

El presente proyecto conlleva una serie de objetivos que se quieren alcanzar y son la meta de su desarrollo. Existen varios objetivos, de los cuales unos pueden ser considerados como objetivos principales, y el resto como objetivos secundarios.

El objetivo principal es en primer lugar, la **documentación geométrica**, por métodos fotogramétricos, de las zonas del Monasterio de San Prudencio de Monte Laturce las cuales se encuentran en un estado de deterioro más avanzado; y que por lo tanto se estima de máxima urgencia su documentación, ya que existe un verdadero peligro de colapso o de alteración parcial o total de su estructura.

Es perceptible a simple vista el lamentable estado de algunos de los muros del Monasterio, en los cuales se pueden observar daños fatales para la estructura; así como en algún caso, se percibe, sin necesidad de ser medido, un desplome muy significativo.

Las condiciones de estos muros hacen que el trabajo en sus inmediaciones resulte en ocasiones peligroso, y con el paso del tiempo cada vez más. Por esta razón es imprescindible la elaboración de la documentación evitando para ello la actuación directa sobre el elemento en la medida de lo posible.

Una vez correctamente documentadas estas zonas, podrían instalarse sistemas de seguridad que impidan el tránsito por la zona de peligro.

El otro objetivo primordial es la **comparación de sistemas fotogramétricos**, mediante el estudio de las características de cada uno de los software utilizados, realizando una comparación de las cualidades más interesantes de cada uno de ellos.

También, derivado de la comparación realizada, se pretende establecer las características óptimas de cada programa, que a nuestro juicio resultarían más interesantes que presentase un hipotético programa que se desarrollase.

Los objetivos secundarios son los siguientes:

- ➔ Aprendizaje del proceso completo para la elaboración de un modelo geométrico por fotogrametría con sus diferentes fases: planificación, toma de datos, tratamiento de los mismos, restitución y obtención de los productos requeridos.
- ➔ Iniciación y perfeccionamiento en el conocimiento y utilización de los diversos programas que van a ser utilizados para la restitución de los modelos. En este caso se utilizarán PhotoModeler Scanner, Image Master y Orthoware.
- ➔ Complementar los trabajos realizados o proyectados por otros estudiantes o profesionales, tanto en el ámbito de la Universidad de País Vasco, como en el resto de universidades nacionales y extranjeras participantes en el Programa Erasmus. Y contribuir al desarrollo de los trabajos objetivo iniciados en dicho programa.

- ➔ Servir de base o complemento a futuros trabajos o proyectos que se realicen sobre el Monasterio o en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, así como en posibles IP Erasmus próximos.
- ➔ Contribuir en la medida de nuestras posibilidades al conocimiento general del patrimonio, así como a su posible difusión pública; fundamental para su puesta en valor e impulso de su conservación.
- ➔ Comprender la importancia de el proceso de documentación de los trabajos realizados y la necesidad de tomar conciencia de términos como trascendencia, estándares o metadatos; fundamentales para la perdurabilidad de la información.

3.2 PRODUCTOS A OBTENER

En primer lugar se pretende realizar el registro fotogramétrico de los muros objeto de análisis en el proyecto, de lo que resultaran varias colecciones de fotografías.

De la misma forma, para la realización del trabajo es necesaria la medición de los puntos de apoyo fotogramétrico, los cuales deberán ser clasificados y ordenados según las áreas a las que pertenecen. Y se almacenarán, al igual que las imágenes, de forma ordenada y lo mas intuitiva posible, con la intención de facilitar el trabajo a futuros usuarios.

Las representaciones que se tiene previsto obtener son las ortofotos de los muros del monasterio que se encuentran en riesgo, correctamente presentadas a la escala correspondiente según la precisión obtenida y las necesidades previstas.

También se tiene el objetivo de obtener las secciones más características de los muros obtenidas a partir de los modelos 3D construidos por fotogrametría.

Por último, una tabla comparativa resumen de las conclusiones obtenidas a partir del análisis de las características de los diferentes software utilizados; poniendo en valor las características que a nuestro juicio resultan más interesantes de cada uno de ellos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 INSTRUMENTAL

4.1.1 TOPOGRAFÍA

Para la toma de los puntos de apoyo se han utilizado dos estaciones totales diferentes, según disponibilidad.

Las estaciones utilizadas han sido una **Leica TPS1205** y una **Leica TCR 307**.



Imagen 4.1: Leica TPS1205 (izquierda) y Leica TCR307 (derecha)

Las dos disponen de la función de medición de coordenadas sin prisma mediante láser, que fue la utilizada para la medición de todos los puntos de apoyo fotogramétrico establecidos en campo.

También ambas estaciones ofrecen la posibilidad de realizar el estacionamiento mediante intersección inversa lo que permite una mayor comodidad requiriendo que exista visibilidad a al menos tres puntos de coordenadas conocidas.

El modelo TPS1205 es bastante más moderno, por lo que ofrece más posibilidades que el modelo TCR307. Una de las características más perceptibles, y que aportan mucha comodidad al usuario es la existencia en el modelo más reciente de teclado alfanumérico similar al de los teléfonos móviles.

Otra diferencia muy importante, es que el almacenamiento de los datos en el modelo TPS 1205 se realiza en una tarjeta de memoria, lo que la permite ser sustituida en caso de agotarse su capacidad, cosa nada habitual. Este hecho tiene la ventaja de que la descarga de los datos resulta más cómoda, sin necesidad de cable ni de la estación; ya que la descarga se puede realizar con un lector de tarjetas.

Las características de las estaciones totales y los certificados se encuentran en los anexos 1 y 2 de la presente memoria.

4.1.2 FOTOGRAMETRÍA

Para la toma de fotografías se ha utilizado una cámara réflex **Canon EOS 5D Mark II** de 21.1 megapíxeles.



Imagen 4.2: Cámara Canon EOS 5D Mark II

Los objetivos utilizados han sido dos: un **Canon** fijo de distancia focal **35 mm** y un **Zeiss** de **21 mm**, cuya descripción se encuentran también en el anexo 2.

Estos fueron utilizados alternativamente en función de las necesidades de cada elemento a fotografiar.

4.1.3 MATERIAL COMPLEMENTARIO Y FUNGIBLE

Además de las estaciones, la cámara y los objetivos ha sido necesario el siguiente material:

- Trípode
- Jalón
- Prisma y miniprisma
- Pegadianas
- Dianas
- Silicona

Una mención especial es necesaria para la descripción del pegadianas, ya que es un instrumento no comercializado, de uso específico en el Laboratorio de Documentación.



Imagen 4.3: Pegadianas

El pegadianas, “está compuesto por tres tubos huecos de acero inoxidable de 1,5 metros de longitud cada uno, de diámetro creciente, de manera que permite alojar uno dentro de otro. La longitud necesaria se consigue por medio de la fijación entre ellos, a través de unos tornillos pasantes accionados por unas palomillas. En la parte superior de los tubos se acoplan los dispositivos auxiliares donde colocar las dianas. Estos elementos van sujetos por medio de un tornillo, de forma que puedan cabecear para adaptarse a diferentes superficies. El dispositivo auxiliar posee varias ranuras, de forma que se puedan colocar dianas de diferentes tamaños o medidas. El proceso de fijado consiste en introducir las esquinas de las dianas en el soporte, de manera que quede la parte adhesiva hacia el operario. En ella se deposita una pequeña cantidad de material adherente y se procede a aproximar al lugar donde debe ir emplazada. La acción del adhesivo hace que se desprenda del soporte, del que únicamente está enganchado por las esquinas.”⁹

4.1.4 SOFTWARE

Como resulta evidente atendiendo al objeto de estudio del presente PFC, en este caso, el software utilizado es la principal herramienta a tener en cuenta, ya que se trata del medio para

⁹ Artículo “Elementos Auxiliares en Fotogrametría de Objeto Cercano”; Valle Melón, J.M. ; Lopetegui Galarraga, A. ; Mesanza Moraza, A. ; Rodriguez Miranda, A.; “Topografía y Cartografía” Vol. XX – Nº 118-119, Septiembre – Octubre – Noviembre – Diciembre 2003.

obtener los resultados y un objetivo del proyecto en sí mismo; ya que el análisis comparativo de los programas utilizados es uno de los objetivos principales.

La lista de los principales software utilizados para la elaboración del proyecto son los siguientes:

- Photomodeler Scanner 6
- Topcon Image Master
- Orthoware
- Rapidform XOS3
- Meshlab v1.2.3
- AutoCAD 2002 y 2008

La descripción de cada uno de los programas, mediante una presentación general y una breve reseña sobre para qué han sido utilizados en cada uno de los casos, se encuentra recogida en el anexo 3 de la presente memoria.

En lo relativo a los programas para la elaboración de fotogrametría de bajo coste, los software estudiados han resultado finalmente tres: Photomodeler Scanner 6, Topcon Image Master y Orthoware. Aunque el peso de este último en el presente proyecto es escaso, ya que será abordado con mayor detenimiento por mi compañera de proyecto.

4.2 METODOLOGÍA

En primer lugar se va a proceder a realizar un resumen de los aspectos teóricos principales y su identificación con los procesos seguidos en los programas fotogramétricos utilizados o estudiados para la documentación realizada de las zonas de riesgo objeto del presente proyecto.

4.2.1 FOTOGRAMETRÍA ESTEREOSCÓPICA

La fotogrametría estereoscópica es la fotogrametría realizada a partir de imágenes cuyos ejes de toma son coplanarios y paralelos.

El trabajo en fotogrametría estereoscópica se realiza por pares de fotografías. Estas imágenes deben tener cierto recubrimiento entre sí; será de esta zona común entre ambas fotografías de la cual podremos obtener el modelo estereoscópico. El modelo estereoscópico se forma a partir de la disposición de los haces que han generado la fotografía, de forma relativa entre sí (orientación relativa). Si la orientación es correcta los rayos de los puntos homólogos se cortan en un punto. El conjunto de puntos de intersecciones constituyen el modelo estereoscópico.

La peculiaridad de la fotogrametría estereoscópica, es que se trabaja sobre un modelo en tres dimensiones. Por lo tanto para realizar la restitución de los objetos, es necesario ir marcando los puntos “posándose” sobre el modelo, el desplazamiento se hace en los tres ejes.

La estereoscopía, tiene los fundamentos comunes a los de la visión binocular humana. Los seres humanos obtenemos dos imágenes, una con cada ojo, en el cerebro se fusionan y percibimos el relieve de los objetos.

Como ya se ha mencionado las fotografías estereoscópicas son perpendiculares al objeto y habitualmente se les exige un recubrimiento a partir del 60 por ciento.



Imagen 4.4: Esquema de disposición de fotografías estereoscópicas

Tanto Image Master como Photomodeler Scanner utilizan imágenes estereoscópicas para generar el modelo; ambos programas necesitan de la identificación, por parte del usuario, de puntos homólogos para realizar la orientación relativa y de puntos de control para la absoluta.

También en ambos casos, como se va a explicar posteriormente, la generación de las nubes de puntos se realiza por correlación.

Para la generación de las líneas de rotura, en Image Master se trabaja sobre en nuestro caso sobre una estereoscopía que nosotros no podemos percibir, debido a que no disponemos del sistema de visualización necesario. El “scroll” del ratón desplaza la marca sobre el eje Z, pero no lo percibimos ya que no estamos viendo el modelo tridimensional. Existe la posibilidad de realizar el posado mediante correlación, de forma que se garantiza un mejor resultado, aunque la herramienta puede resultar un poco lenta.

El programa ofrece la posibilidad de realizar una visión estereoscópica, si se dispone de un monitor 3D especial y de gafas polarizadas. De esta forma se percibiría el relieve y se podría realizar el posado físico, resultando más eficaz.

4.2.2 FOTOGRAMETRÍA CONVERGENTE

En fotogrametría convergente los ejes no son paralelos, sino que deben presentar cierta convergencia. La generación del modelo se realiza también a partir de las intersecciones de los haces de los puntos homólogos, pero en este caso las intersecciones tienen un ángulo mayor, que es lo que busca este tipo de fotogrametría.

Las imágenes de una misma serie deben cubrir un ángulo de 90°, teniendo una separación entre sí de unos 10 o 15 grados. Las fotografías también deben tener recubrimiento ya que todo lo que se quiera restituir posteriormente debe aparecer como mínimo en dos fotografías.

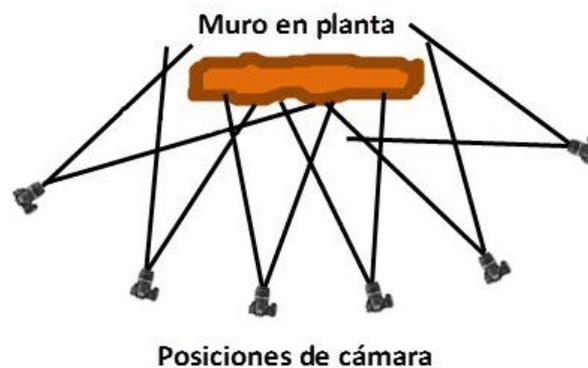


Imagen 4.5 Esquema de disposición de fotografías convergentes

En este tipo de fotogrametría el trabajo se realiza con cada imagen por separado y con visualización monoscópica. El proceso se basa también en la identificación de puntos homólogos en todas las fotografías.

Orthoware se basa en fotografías convergentes para obtener el modelo y la ortofoto. Éste es capaz de realizar toda la identificación de puntos homólogos por correlación automática, sin necesidad de introducir ningún punto manualmente.

4.2.3 ORIENTACIÓN INTERNA (CALIBRACIÓN)

Según el método general de la fotogrametría, la orientación interna corresponde a la reconstrucción de los haces que han dado lugar a la fotografía.

En la fotogrametría analógica tradicional esta reconstrucción se realizaba de forma mecánica u óptica.

En el caso de la fotogrametría digital, esta reconstrucción de rayos se realiza de forma analítica, mediante la calibración de la cámara. En la calibración se calculan los parámetros de la geometría de la toma fotográfica, como la focal y la posición del punto principal del sensor;

además de los parámetros de distorsión de la lente, tanto de la distorsión radial como de la tangencial.

La calibración se realiza a partir de una serie de fotografías tomadas a un patrón, en el cual los programas son capaces de reconocer ciertos puntos y de esta forma, y con el valor aproximado de la focal obtenido del fichero EXIF, mediante intersección analítica de rectas; es capaz de calcular la posición de todos los puntos de la matriz de la hoja de calibración, y realizando un ajuste, a partir de estos todos los parámetros de calibración anteriormente mencionados.

Existen también otras formas de realizar la calibración en algunos de los programas. En Photomodeler, por ejemplo, existe la posibilidad de realizar la calibración a partir de puntos de coordenadas conocidas. En este caso, al conocerse las coordenadas se puede realizar a partir de cinco puntos de apoyo la calibración, ya que el modelo estaría ya escalado; y a partir de estos puntos introducidos se puede calcular los parámetros y la orientación de las fotografías. En este caso estaríamos realizando una orientación externa, ya que se realizan simultáneamente también la calibración relativa y absoluta. También nos ofrece la posibilidad Photomodeler de realizar la calibración sin puntos de control utilizando unos parámetros de calibración aproximados y calculando los correctos valiéndose de bastantes puntos homólogos identificados de forma precisa en todas las fotografías.

El cálculo con Orthoware es también bastante especial, ya que realiza la calibración sin patrón, sin puntos de control y sin parámetros aproximados valiéndose únicamente de los datos del fichero EXIF y una gran cantidad de puntos homólogos identificados en las fotografías mediante correlación automática. Esta calibración se realiza una vez que se ha ejecutado la orientación de las fotografías.

4.2.4 ORIENTACIÓN RELATIVA

Siguiendo con el método general de la fotogrametría, la orientación relativa consiste en orientar las fotografías una respecto a otra de manera que se forme el modelo. Esto es reproducir la posición de los haces de rayos en el momento de las tomas de las fotografías.

Una vez que se ha realizado la orientación relativa, se dispone del modelo creado; ya que por intersección de los rayos de los haces que definen los puntos homólogos, se puede calcular la posición del punto en el modelo.

La orientación relativa se realiza identificando sobre las fotografías puntos homólogos, de forma que haciendo coincidir los rayos de esos puntos, se llegue a la reconstrucción de la posición de los haces en el momento de la toma de las fotografías.

En Photomodeler se realiza la orientación identificando sobre las imágenes los puntos homólogos manualmente, cuando existen al menos 6 puntos comunes marcados en todas las fotografías se puede realizar la orientación relativa de las fotografías.

En Image Master sin embargo, se introducen los puntos de control directamente, por lo que en este caso se realizan la orientación relativa y absoluta de forma conjunta.

Orthoware tiene una peculiaridad, que es el permitir detectar puntos homólogos sin necesidad de introducir puntos manualmente. Habitualmente es capaz de emparejar más de mil puntos de forma automática por correlación, por lo que la orientación relativa es muy buena y el modelo resultará ser muy robusto, ya que tiene muchísimos puntos comunes en todas las fotografías.

4.2.5 ORIENTACIÓN ABSOLUTA

Según el método general de la fotogrametría, la orientación absoluta consiste en el escalado y nivelado del modelo. Para ello se realizan tres traslaciones, tres giros y un escalado aplicando un solo factor de escala.

Para la realización de la orientación absoluta, son necesarios tanto en Photomodeler como en Image Master la definición de al menos, cuatro puntos de coordenadas conocidas. A partir de estos puntos se realizan las transformaciones necesarias para la orientación y el escalado del modelo, por lo que tendremos el modelo completo formado tal y como se encontraba en la realidad.

La distribución de estos puntos debe ser lo más dispersa posible, intentando recubrir todo el elemento y lo mas separados posibles para realizar mejor el escalado.

4.2.6 ORIENTACIÓN EXTERNA

Se realiza de forma analítica y consiste en aunar las orientaciones relativa y absoluta en un único paso.

Este proceso se fundamenta en la condición de colinealidad, la cual consiste en que el punto objeto, su imagen y el centro de proyección se encuentran en la misma recta.

El cálculo se realiza a partir de las ecuaciones de colinealidad para cada una de las fotografías, estas ecuaciones contienen doce parámetros: las coordenadas imagen (x' , y' , c), las coordenadas del centro de proyección (X_0 , Y_0 , Z_0), las coordenadas del punto objeto (X , Y , Z) y los elementos de rotación (ω , φ , κ).

Este cálculo de la orientación se realiza generalmente a partir del conocimiento de la distancia principal (c), bien porque ha sido medido o porque ha sido calculado en la calibración en la orientación interna. También se conocen las coordenadas de los puntos imagen (x' , y'), ya que se miden sobre las fotografías; es necesario conocer también un número suficiente de puntos de coordenadas conocidas medidas sobre el terreno (X , Y , Z).

A partir de estos datos y a través de las ecuaciones mencionadas, sólo hace falta calcular las coordenadas de los centros de proyección (X_0, Y_0, Z_0) y los giros (ω, φ, κ) para las dos imágenes.

4.2.7 GEOMETRÍA EPIPOLAR Y CORRELACIÓN AUTOMÁTICA

La correlación en este caso, se refiere a la identificación de puntos homólogos sobre dos fotografías.

El principio de geometría epipolar simplifica en gran medida el proceso de correlación.

La geometría epipolar, consiste en que el plano que pasa por los centros proyectivos de un par fotogramétrico corta a los planos focales en dos rectas, las cuales se denominan rectas epipolares. La singularidad de estas rectas es que cualquier punto que se encuentre en una de ellas, tiene su homólogo en la otra; por lo tanto, a la hora de realizar la búsqueda automática del homólogo de un punto determinado, habrá que buscarlo sobre la línea epipolar de la otra fotografía.

Además de en la correlación automática, la geometría epipolar se usa en los programas de fotogrametría utilizados, como una ayuda para la identificación de puntos homólogos realizada por el usuario.

Tanto en Photomodeler como en Orthoware, una vez que se ha realizado la orientación relativa del modelo; al marcar un punto en una de las fotografías, nos aparece la línea epipolar sobre la otra, de forma que ya sabemos que el punto homólogo del punto marcado se encuentra sobre dicha línea.

Esto posibilita en Photomodeler, que una vez que ha sido marcado un mismo punto en más de una fotografía, por intersección de las líneas epipolares; el programa nos puede indicar de forma aproximada donde se encuentra ese mismo punto en el resto de fotografías, e incluso centrarnos la imagen en dicha zona. La precisión de la línea epipolar, depende de la calidad de la orientación realizada.

La fórmula seguida normalmente para la realización de la correlación automática, es la correlación por relajación jerárquica, también conocida como imagen piramidal.

Esta consiste en la creación de imágenes de menor resolución a partir de las imágenes de los pares. Existen entonces varias imágenes de resolución cada vez más baja en una disposición piramidal.

La correlación se inicia a partir de la imagen de menor resolución y se va identificando nivel a nivel la zona de la fotografía donde se encuentra el punto homólogo al que se quiere correlar.

De esta forma se consigue acelerar el proceso ya que al saltar de nivel a una resolución mayor, la zona en la que se debe buscar el punto se va disminuyendo por lo posibilitamos que el procedimiento sea más rápido.

Para realizar la comparación entre las zonas e identificar donde se encuentra el punto homólogo, se debe indicar los parámetros correspondientes al tamaño de las ventanas de correlación y de búsqueda de posibles homólogos. La ventana de correlación es el patrón que se va a ir buscando en cada fotografía, y la de búsqueda es la ventana en la que se va a ir buscando el patrón.

Por ejemplo, en Orthoware para realizar la correlación, hay que indicarle al programa el tamaño de dichas ventanas y el número de niveles en el que se quiere distribuir el proceso de correlación.

Tanto el principio de geometría epipolar como el de correlación automática se distinguen claramente en Orthoware, ya que a la hora de realizar el emparejamiento de los puntos singulares detectados nos da la posibilidad de realizar el emparejamiento por geometría epipolar o por correlación. Por lo tanto, por lo que hemos explicado anteriormente, si no se ha realizado una orientación previa a esta identificación deberemos utilizar la correlación para el emparejamiento de puntos; en el caso de haberse introducido puntos homólogos manualmente y de haberse realizado la orientación de las fotografías, no es necesaria la correlación, y podremos basarnos principalmente en la geometría epipolar para realizar el emparejamiento.

El proceso de correlación, es en el que se basan todos los programas fotogramétricos que hemos utilizado para la creación de las nubes de puntos; por lo que esta metodología ha sido de gran importancia para el desarrollo de la ciencia fotogramétrica. Este desarrollo es facilitado por la evolución de los ordenadores, que permiten realizar la comparación de los píxeles de forma muy rápida.

Para poder realizar la correlación automática de forma eficaz, lo más conveniente es que las fotografías sean lo más similares posibles entre sí.

4.2.8 NUBES DE PUNTOS

A partir del modelo orientado, con la orientación relativa, es posible la generación de las nubes de puntos de los elementos fotografiados.

La posición de los puntos de la nube se calcula por intersección, a partir de la correlación entre dos fotografías; el programa busca píxeles homólogos a partir de la comparación con un patrón, y mediante la intersección de las rectas que pasan por ambos puntos es capaz de calcular la posición de todos los puntos de una superficie.

Para la creación de una nube de puntos, es necesario seleccionar el par en el cual se va a correlar, y a partir del cual se va a generar la nube de puntos.

La selección del par se realiza analizando la geometría de cada uno de los pares posibles, en Photomodeler se ha de atender a que la relación base/distancia sea pequeña y que el ángulo

entre las fotografías de un mismo par sea menor 30° . El residuo de cada uno de los puntos debería ser menor a un píxel, y el residuo medio menor a 0,5 píxeles.

Estos parámetros se tienen en cuenta de esta forma, debido a que para que la correlación funcione correctamente, como se ha mencionado en el apartado anterior, es necesario que las fotografías no sean muy diferentes, ya que se debe realizar la identificación de puntos automáticamente.

Esta es la razón por la que en el apartado de toma de fotografías, en el capítulo de ejecución de este proyecto, se recomendarán metodologías de toma con la finalidad de que las fotografías pertenecientes a una misma serie sean lo más homogéneas posibles.

También se debe a este factor, la recomendación de que el ángulo de las fotografías de un mismo par no sea mayor a 30° ; ya que esto puede hacer que la forma del objeto varíe demasiado en unas fotografías respecto a otras, y por lo tanto se dificulte la correlación automática de los píxeles.

El criterio de relación base/distancia, tiene exactamente la misma finalidad, controlar que la escala de las fotografías sea similar ya que en caso contrario resultaría también más complicada la identificación automática de puntos homólogos.

4.2.9 MALLADO (MODELADO DE LA SUPERFICIE)

La triangulación de la malla es un paso que se realiza a partir de la nube de puntos calculados por correlación. Consiste en la creación de una malla de triángulos a partir de los puntos de la nube, conformando estos los vértices de los triángulos. Por lo tanto el modelado de la superficie resultará más ajustado a la realidad cuanto mayor sea la densidad de la nube de puntos, y por consiguiente, la malla de triángulos. Aunque la densidad de la malla debe depender de las características del objeto y de la finalidad que se le vaya a dar al producto resultante.

A la hora del cálculo de los triángulos, uno de los principales problemas suele ser, que como la superficie que definen los triángulos tiene dos caras suele presentar problemas de en qué cara se debe poner la textura fotográfica. Para esto la solución es el cálculo de la normal de cada uno de los triángulos, y hacer que todas las normales tengan el mismo sentido, de esta forma dispondremos de toda la textura en una de las caras. En caso de encontrarse la textura en la cara opuesta a la deseada, existirá la posibilidad de voltearla para disponerla en la cara correcta.

4.2.10 ORTOFOTOS

Una ortofotografía es una proyección ortogonal de un elemento, por lo tanto, esto nos permite realizar medidas en el plano definido de ortoproyección.

La generación de la ortofoto se realiza a partir de la creación del modelo 3D del elemento. Sobre el modelo del elemento se fija la textura fotográfica, y la ortofoto no es más que la proyección ortográfica del modelo, observada desde un plano específico, definido por el usuario.

De forma práctica, tras la generación del modelo 3D con textura fotográfica libre de distorsión, se debe seleccionar el plano imagen deseado de la ortofotografía.

La diferencia en la generación de las ortofotos con cada software de los utilizados, es la forma de definir el plano imagen. Mientras que en Image Master solamente se define el eje X de la ortofoto mediante dos puntos, ya que el eje Y de la ortofoto será siempre la vertical del modelo; tanto en Photomodeler como en Orthoware el plano de la ortofoto se puede definir mediante tres puntos que definen el plano de proyección.

4.2.11 EDICIÓN DE LOS PRODUCTOS

La edición tanto de las nubes de puntos, como de las mallas de triángulos; es fundamental durante el proceso de la generación del modelo tridimensional, ya que de esta forma se puede intervenir durante el proceso para obtener un producto final de mayor calidad.

En el caso de Photomodeler la capacidad de edición es mayor, ya que permite editar la nube de puntos antes de generar la superficie, Image Master, sin embargo, permite editar la malla pero no la nube ya que la generación de la superficie en Image Master es directa sin posibilidad de actuación sobre la nube de puntos.

En los productos obtenidos se debe realizar una edición final, fundamentalmente para eliminar las partes erróneas y no dar lugar a la confusión del usuario final del producto que hemos obtenido.

Lo más importante es que el resultado se ajuste a los requisitos de veracidad, y no anteponer el aspecto visual. En todos los productos, debemos eliminar aquellas partes donde no podemos garantizar que el resultado sea óptimo; o si se prefiere, marcar o indicar claramente las zonas que, por ejemplo, no tienen el mismo rigor métrico.

Esta idea se encuentra englobada, en el concepto de verosimilitud estudiado en el LDGP. Este término hace referencia al rigor técnico de los datos que estamos mostrando, o a la constancia que tenemos, en el caso de las reconstrucciones virtuales, de que el elemento representado fue tal y como se representa.

A este respecto, se defiende en la metodología propuesta¹⁰; la necesidad de diferenciar entre, en el caso de una reconstrucción virtual de un conjunto constructivo, los elementos que se han

¹⁰ VALLE, J.M., 2007. *Tesis Doctoral Documentación Geométrica del Patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica*. Capítulo 6: Organización de procesos y estandarización de los resultados de la documentación geométrica. Apartado 6.4.1: Modelos de verosimilitud.

conservado, los que de los cuales tenemos evidencias documentales y los que corresponden a reconstrucciones hipotéticas fundamentados en modelos de arquitectura similar.

Esto se desarrolla en casos prácticos, como el de la Iglesia de Tusculo (Italia) (LDGP 2006), entre otros.

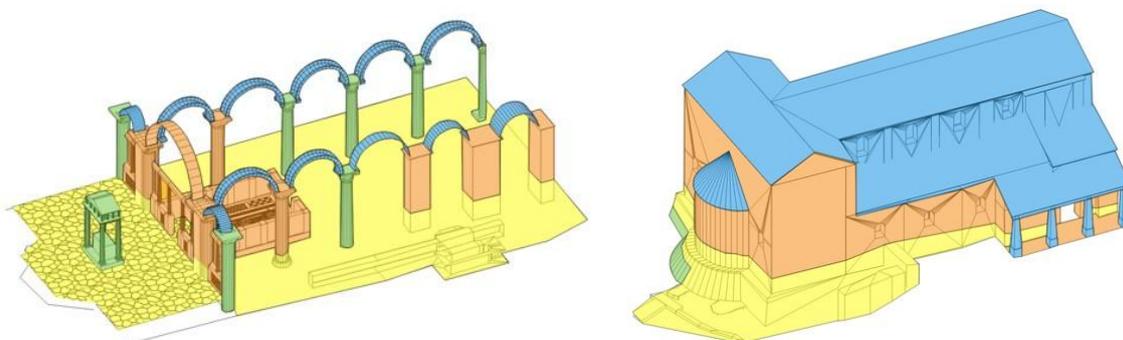


Imagen 4.6: Modelos de verosimilitud de la iglesia de tusculo (LDGP 2006). Conservado (amarillo), fuera de contexto (naranja), evidencias indirectas (verde) y sin evidencias (azul).

4.2.12 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN

Este es un aspecto fundamental para la realización de los trabajos ya que nos permite buscar soluciones a ciertas deficiencias que puede mostrar cada uno de los programas. Los formatos de exportación más comunes son:

Producto	Formato de exportación
Modelos 3D	VRML
Mallas de triángulos	DXF
Puntos y nubes de puntos	ASCII

Tabla 4.1: Formatos de exportación más comunes

Las importaciones se pueden realizar también desde muchos tipos de formato, aunque el más habitual suele ser el ASCII, para la importación de los puntos de control.

En este apartado, tanto Image Master como Photomodeler nos presentan bastantes opciones, tanto de importación como de exportación.

Image Master presenta una gran cantidad de formatos opcionales para la importación de todo tipo de ficheros: de puntos, de nubes de puntos, de mallas, de ortoimágenes,... Con respecto a la exportación, Image Master permite exportar puntos, nubes de puntos y mallas; en VRML, DXF y TIN.

En el caso de Photomodeler, en lo relativo a la exportación también presenta bastantes opciones y formatos¹¹, como DXF 2D y 3D, VRML, 3D Studio,... Y para la importación acepta también varios formatos, como TXT, PLY, STL, BYU,...

¹¹ Todos los formatos de exportación e importación se encuentran recopilados en el capítulo 7 de comparación del presente proyecto y en la tabla resumen correspondiente.

5. EJECUCIÓN

5.1 EJECUCIÓN DEL TRABAJO

El siguiente diagrama resume el trabajo que se ha de realizar desde la recopilación de la información previa, hasta la obtención de todos los resultados requeridos.

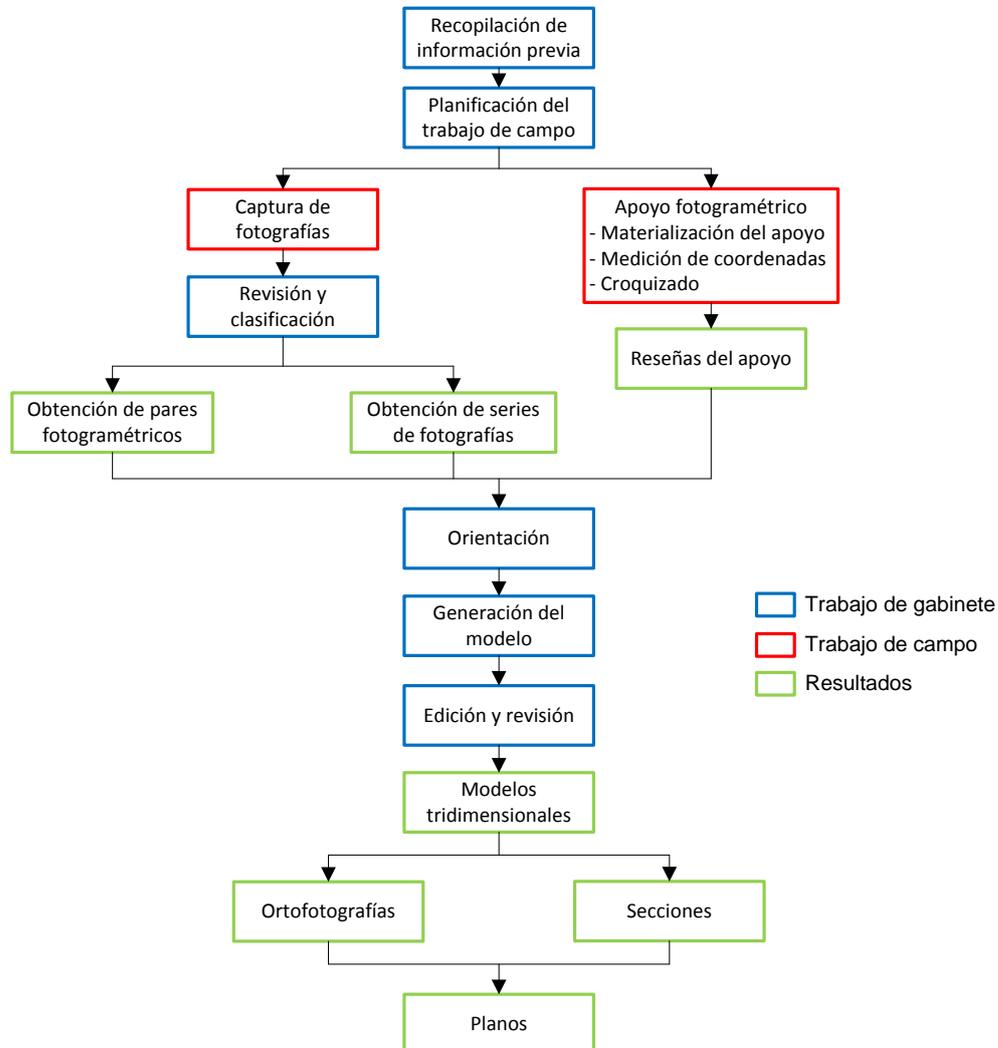


Diagrama 5.1: Procesos de ejecución

5.2 TOMA DE DATOS

5.2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PREVIA

De forma previa a los trabajos en campo para la toma de los datos, hay que hacer un inventario de la información de la que se dispone previamente. Este proceso, en nuestro caso es muy importante, ya que disponemos de gigabytes de información obtenida en los trabajos realizados en el campamento, como se indicó en el apartado de introducción. Disponíamos de gran cantidad de imágenes y de sus puntos de apoyo fotogramétrico.

Finalmente, confirmamos, que aunque este material nos fuese útil en el proceso de planificación; resultaría insuficiente para la documentación de algunas de las zonas objeto de nuestro proyecto.

5.2.2 SALIDAS A CAMPO

5.2.2.1 TRABAJOS PREVIOS

De forma previa al inicio del proyecto fin de carrera como tal, se realizaron una serie de trabajos relacionados con el proyecto IP Erasmus en el Monasterio de San Prudencio.

Para comenzar, se midió una red de bases topográficas por métodos GNSS dispuestas por todo el yacimiento; materializadas por estacas con clavos. De estos trabajos se obtuvieron las coordenadas UTM de las bases con cota ortométrica recogidas en las reseñas correspondientes de las mismas, las cuales se encuentran en el Anexo 4 de reseñas.

Otro material de incumbencia para nuestro proyecto, remanente de los trabajos del campamento, fueron las dianas del apoyo fotogramétrico en el interior de la iglesia; las cuales utilizamos pero fueron medidas de nuevo presuponiendo que podían haberse movido por inclemencias meteorológicas.

Merece la pena recordar que tanto mi compañera Raquel con la que realicé el trabajo de campo como yo, tomamos parte también en los trabajos realizados en el yacimiento durante el campamento, por lo que conocíamos previamente las zonas que iban a ser documentadas; lo cual resultó muy útil, sobre todo, en la planificación de los trabajos de campo.

5.2.2.2 PLANIFICACIÓN

De forma previa al trabajo de campo, se realizó una planificación de los trabajos que era necesario realizar. La planificación previa es fundamental para la elección del material necesario y para la optimización del tiempo.

Los trabajos a realizar estaban bien definidos de forma previa, lo que hizo que el trabajo fuese más ágil; a pesar de ciertos fallos en la toma de fotografías debido a la inexperiencia.

Como material de apoyo, se elaboró un cuadernillo de campo en el cual estaban recopiladas las fotos disponibles de los muros objeto del proyecto para poder croquizar de forma más eficiente el apoyo fotogramétrico; también contenía plantillas para la elaboración de las reseñas y listados con coordenadas de las dianas que se habían dispuesto en los trabajos realizados en verano.

5.2.2.3 TRABAJOS PROPIOS DEL PROYECTO

El trabajo de campo propio del PFC, constó de tres visitas al monasterio, las cuales se proceden a resumir:

Jueves 10 de Marzo de 2011

En esta salida se procedió a la disposición de dianas como materialización de los puntos de apoyo en varios de los muros; y en la medición, estacionándonos en una base de coordenadas conocidas de las mismas. También se dispusieron otra serie de dianas en zonas visibles desde la misma estación para facilitar en días sucesivos el estacionamiento, posibilitando el uso de estas dianas para realizar el estacionamiento por intersección inversa.

Se tomaron algunas fotos de los muros en los que ya había sido dispuesto el apoyo.

De vuelta al laboratorio, se realizó la descarga de todos los datos obtenidos.

Miércoles 30 de Marzo de 2011

Los trabajos realizados en esta salida, resultaron muy similares a los de la anterior; disponiendo dianas en los muros que nos faltaban y midiendo las mismas.

Se tomaron también bastantes fotos, aunque debido a nuestra inexperiencia y a la falta de luminosidad, algunas resultaron ser no muy buenas; bien porque habían salido demasiado oscuras o porque resultaron movidas debido a que la velocidad de captura había sido demasiado lenta por la falta de luminosidad.

Quedaron pendiente para el siguiente día los trabajos a realizar en el interior de la iglesia.

Martes 19 de Abril de 2011

En esta última salida se realizaron los trabajos que habían quedado pendientes. Se dispusieron algunas dianas más, como complemento a las que habían perdurado desde los trabajos realizados en el campamento; y se dieron coordenadas tanto a las nuevas como a las antiguas. Esto se hizo así ya que no podíamos confiar en que las dianas que se habían encontrado a la intemperie desde hace varios meses no se hubiesen movido o modificado su forma debido a la lluvia y demás inclemencias.

Se tomaron también las fotografías necesarias del interior de la iglesia, así como las que habían sido defectuosas de las tomadas en salidas anteriores.

El plan de trabajo de esta salida fue similar a la anterior, nos dedicamos a completar todas las tareas que habíamos dejado pendientes de los días anteriores.

Hay que mencionar que este día tuvimos algún problema con la meteorología, ya que hubo una tormenta al mediodía, aunque finalmente pudimos completar todo el trabajo que se había planificado.

Con esta salida culminamos la adquisición de datos necesaria para la ejecución de nuestro proyecto.

5.2.3 FOTOGRAFÍAS

5.2.3.1 ASPECTOS A TENER EN CUENTA

En la toma de las fotografías hay varios aspectos a tener en cuenta, los cuales pasamos a reseñar.

Cámara y objetivos utilizados

En el laboratorio de documentación hemos tenido a nuestra disposición dos cámaras: una Canon Eos 5D y una Canon Eos 5D Mark II. Las características se pueden consultar en el Anexo 1 del presente proyecto.

La elección de una de ellas para la toma de datos ha sido muy sencilla, ya que la 5D Mark II es bastante más moderna y tiene más resolución; 21,1 megapíxeles en contraposición a los 12 de la Eos 5D.

En lo que a los objetivos respecta, disponíamos de dos objetivos calibrados: un Canon fijo de distancia focal 35 mm y un Zeiss de 21 mm, cuyas descripciones se encuentran también en el anexo 1. Estos fueron utilizados alternativamente en función de las necesidades de cada elemento a fotografiar, aunque finalmente la mayor parte de las fotografías utilizadas pertenecen al objetivo de 21 milímetros de focal. Este no tiene el enfoque fijo por lo que la calibración está realizada en una posición en la cual hay que tomar todas las fotografías. Esta posición es el enfoque al infinito, por lo que es imprescindible comprobar antes de tomar cada fotografía si el objetivo se encuentra en esta posición.

Condiciones climáticas (Luz – hora del día)

Para la toma de fotografías el día ideal, debido a las condiciones de luz, no es lo que comúnmente se entiende por un día bonito, incluso para la realización de trabajos topográficos. Lo óptimo para la toma de fotografías es que el día no sea soleado, sino que sea un día nublado y que no haya cambios de luz; y es necesario evitar también la lluvia debido a que puede estropear el equipo, y la lluvia reduce los contrastes y humedece los paramentos lo que produce un cambio de tonalidad en el material.

El problema que el Sol nos presenta es la posibilidad de aparición de sombras en ciertas partes de los elementos fotografiados; lo que puede dar lugar a la ocultación de ciertos elementos de los muros, a la imposibilidad de la correcta percepción del color y a la pérdida de detalle. E incluso, en el caso de que la toma sea de cara al sol puede provocar reflejos en la lente.

Para evitar dichos reflejos hay que prever la posición del sol a cada hora del día y planificar la toma de fotografías en el momento más adecuado.

Relación apertura – exposición – sensibilidad

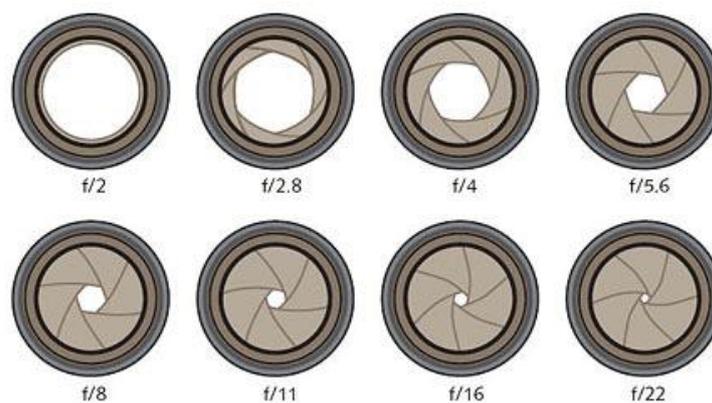
La apertura del diafragma, la velocidad o tiempo de exposición de la toma y la sensibilidad ISO del sensor son los parámetros a tener en cuenta a la hora de realizar la toma de la fotografía.

- Apertura del diafragma

El diafragma es un dispositivo alojado en el objetivo, compuesto por unas láminas que al accionarse amplían o reducen el diámetro de la apertura por la que entra la luz.

En nuestro caso, como en la mayoría de las cámaras actuales, las cámaras tienen un diafragma de tipo iris; el cual recibe este nombre por asemejarse al funcionamiento de la pupila del ojo, reduciendo el diámetro a medida que aumenta la cantidad de luz incidente.

La apertura del diafragma se cuantifica en una serie de números que expresan el número de veces que el diámetro de la apertura se divide por la distancia focal.



*Imagen 5.1: Números identificativos de la apertura en un diafragma tipo iris
(www.dzoom.org.es)*

El tamaño de esta apertura afecta a la luminosidad de la fotografía. Para un mismo tiempo de exposición, una apertura mayor produce una incidencia también mayor de luz sobre el sensor de la cámara lo que conlleva una mayor claridad en la fotografía.

El índice de apertura afecta también a la profundidad de campo. La profundidad de campo es la distancia comprendida entre el punto más próximo y más lejano del espacio fotografiado que aparece correctamente enfocado.

A medida que disminuye el tamaño de la apertura del diafragma la profundidad de campo aumenta.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la difracción. Cuando un haz de luz atraviesa un orificio se produce difracción. Cuanto más se cierra mayor se vuelve el círculo de indeterminación. Por lo tanto es recomendable evitar los diafragmas muy cerrados para la toma de las fotografías.

- Tiempo de exposición

Las cámaras permiten un gran abanico de posibilidades en lo que a la velocidad de la toma se refiere, entre 1/4000 segundos y varios segundos, incluso el modo bulb en el que se mantiene expuesto el sensor mientras que esté pulsado el disparador.

La velocidad de la toma debe adecuarse en función de la luz y del hecho de si estamos utilizando trípode o no.

En el caso de utilizar trípode no tenemos ningún límite, y si no se utiliza depende de la focal del objetivo. Esto es debido al desplazamiento que sufría un objeto aunque no es muy recomendable usar velocidades menores a 1/50 ó 1/20, en el caso de los objetivos utilizados por nosotros, porque hace que tengamos bastantes posibilidades de que la foto nos salga movida.

- Sensibilidad ISO

Es un parámetro que heredan las cámaras digitales de la fotografía analógica, aunque el fundamento no tiene nada que ver con la sensibilidad de las antiguas películas.

En la fotografía analógica, la sensibilidad hace referencia al tamaño del grano de la película o carrete; esto significa que a una sensibilidad menor, grano más fino, la resolución de la fotografía es mayor; por lo que tendrá más detalle.

En fotografía digital, la menor sensibilidad ISO (normalmente 100), es el tope de lo que da de sí el sensor. Al cambiar la sensibilidad lo que hacemos es modificar de cierta forma el sensor de manera que el procesamiento de los datos recibidos es diferente, y aunque obtenemos una foto más clara, obtenemos una foto con más ruido, lo que tampoco nos conviene.

La máxima ISO que se recomienda utilizar es la ISO 400.



*Imagen 5.2: Comparativa del efecto del cambio de sensibilidad ISO
(www.juegosytecnología.com)*

Geometría

La geometría de las fotos se refiere a la diferencia entre la posición teórica de la imagen del punto y de la real, debido fundamentalmente a las distorsiones provocadas por el sistema

óptico. Los tipos de distorsiones y demás aspectos relativos a la distorsión se describen en el apartado 5.2.1 Distorsiones, de la presente memoria.

Posición de la toma

En lo que a este apartado se refiere se diferencian dos tipos de fotogrametría, ya descritos en el apartado de metodología: estereoscópica y convergente.

En fotogrametría estereoscópica se trabaja por pares de fotografías, las tomas deben ser perpendiculares al elemento y deben tener cierto recubrimiento, normalmente al menos el 60%, para que la orientación sea sólida.

En fotogrametría convergente las fotografías deben ser relativamente convergentes, y cubrir un ángulo de aproximadamente 90° entre la primera y la última fotografía. El trabajo se realiza por separado en cada imagen de forma monoscópica.

Encuadre

El objeto o la parte de este que se quiere fotografiar deben aparecer en la imagen, lo que se recomienda comprobar en el LCD de la cámara tras la toma. Éste es también uno de los motivos por los cuales se toman las fotografías por duplicado, además de porque pueden salir movidas si no se está utilizando trípode.

Hay que evitar en la medida de lo posible ajustar excesivamente en los bordes de la foto ya que la calibración de la cámara no abarca completamente hasta el límite de la foto, y es precisamente ahí donde tiene mayor incidencia la distorsión.

Al tomar una serie de fotos del mismo objeto hay que intentar que entre éstas no haya mucha diferencia en la distancia al objeto, evitando diferencias grandes de escala entre ellas.

5.2.3.2 EJECUCIÓN DE LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS

Modo de ejecución¹²

Para la toma de las fotografías el proceso a seguir, y el que realizamos, es el descrito a continuación:

Inicialmente, reseñar que es recomendable que la totalidad de las fotos de una misma serie se tomen con los mismos parámetros de velocidad, apertura y sensibilidad con la intención de que todas las fotografías que formen posteriormente un mismo modelo sean lo más homogéneas posibles.

¹² Los valores de los parámetros recomendados o indicados como ideales en este apartado, están basados en: VALLE, J.M. y MARTÍNEZ, M^a P., Junio 2003. *Prácticas de Fotogrametría I*. Capítulo 1: Introducción a la fotografía práctica.

Para la determinación de los parámetros de captura, configuramos la cámara en el modo “Av” en el cual se indica la apertura del diafragma deseada; para poder controlar la profundidad de campo, y la velocidad se selecciona automáticamente en función de las condiciones de luz del área a fotografiar.

La sensibilidad ISO, como se ha mencionado anteriormente, lo ideal es que sea el valor más bajo posible de los que permite la cámara, por lo que en un principio partiremos siempre de un valor de 100 ISO.

A la hora de seleccionar la apertura, es recomendable evitar diafragmas muy abiertos ya que la profundidad de campo resultará muy pequeña, lo que puede hacer que no veamos enfocados todos los objetos que aparezcan en la fotografía; y también los diafragmas muy cerrados ya que pueden producir difracción. Lo ideal es una apertura alrededor de 11, pudiendo aumentarla si es necesario hasta 8 en caso de luminosidad escasa.

Una vez que tenemos la ISO y la apertura fijadas, encuadraremos el objeto a fotografiar en el objetivo, y presionando levemente el disparador comprobaremos la velocidad que la cámara nos recomienda.

Un tiempo de exposición ideal es de 1/100 o 1/200, dependiendo el máximo permisible de la focal del objetivo que se está utilizando; cuanto mayor sea la focal del objetivo el tiempo de exposición mínimo aceptable es menor, ya que la posibilidad de que la foto salga movida aumenta considerablemente.

En nuestro caso, tomamos como velocidad mínima para el objetivo de 35 milímetros la 1/50, y para el de 21 milímetros la 1/20.

Si consideramos adecuada la velocidad que la cámara nos recomienda, podemos dar por buenos esos parámetros, en el caso de que el valor indicado sea demasiado pequeño deberemos modificar los parámetros anteriores hasta conseguir la configuración óptima.

La primera alternativa posible, es en el caso de que no estemos al límite en el valor de apertura que hemos tomado como mínimo, probar a bajarlo un poco y de la misma forma que anteriormente comprobar la velocidad que nos marca en esta ocasión la cámara.

Siempre es recomendable realizar los cambios poco a poco e ir viendo el comportamiento de los parámetros. En el caso de no ser suficiente, volveremos a disminuir la apertura del diafragma hasta lograr una velocidad aceptable o llegar al límite recomendado para la apertura.

En caso de alcanzar el límite recomendado, la segunda opción de la que disponemos, es variar la configuración de la sensibilidad ISO y subirla levemente volviendo a realizar el proceso anterior desde el inicio partiendo de los parámetros de apertura recomendados e ir reduciéndolos en caso de ser necesario.

La sensibilidad se puede subir hasta un valor de 400 ISO, una sensibilidad mayor nos puede producir ruido en las zonas de sombra.

Es muy importante tener en cuenta, que en tomas con el sol de cara, la velocidad que nos marca la cámara puede verse influenciada por este exceso de iluminación; en estos casos, y si no es posible aplazar la toma a otro momento del día con el sol en otra posición, la forma de proceder es visar por el objetivo hacia el suelo de la zona más próxima al objeto y realizar la configuración de los parámetros en función de las lecturas realizadas en esa zona.

Una vez que sabemos el valor de los parámetros con los que debemos tomar esa serie de fotografías deberemos proceder cambiando el modo de la cámara a "M" manual, indicando los parámetros obtenidos y tomando toda la serie de fotografías sin variar la configuración.

Se debe hacer en modo manual, ya que si se hace en otro modo los parámetros irían cambiando entre foto y foto, en función de la luminosidad en cada momento.

También reseñar que es interesante buscar un momento para tomar las fotografías en que la luminosidad está estable y no haya cambios bruscos que puedan provocar que unas fotografías resulten bastante más oscuras que otras, o que aparezcan sombras proyectadas sobre el objeto.

Los valores indicados como ideales se obtienen de la experiencia y de las recomendaciones del tutor del proyecto.

Ejecución

El primero de los días de trabajo en campo tomamos las fotos de los muros "P" y "R" utilizando la cámara Canon Eos 5D Mark II y el objetivo Canon de 35 mm, a excepción de la parte norte del muro "P" en la que no hay espacio suficiente y además de tomarse por partes con el 35 mm la tomamos también con el 21 mm.

El segundo de los días tomamos las fotografías del muro "J" y del muro norte de la iglesia por la parte del exterior de la misma. Estas fotos resultaron ser demasiado oscuras al visualizarlas en el laboratorio por lo que quedaron pendientes de ser tomadas otra vez en una salida posterior.

En la tercera y última salida repetimos las tomas que habíamos dejado pendientes y tomamos también las fotos de los muros desde el interior de la iglesia. Con esto terminamos la colección de fotos que deben resultar suficientes para la culminación del proyecto.

5.2.4 APOYO FOTOGRAMÉTRICO

5.2.4.1 ASPECTOS A TENER EN CUENTA

Materialización del apoyo

Para la materialización de los puntos de apoyo se han utilizado dianas de papel plastificadas, de forma cuadrada y tamaño 4 x 4 centímetros.

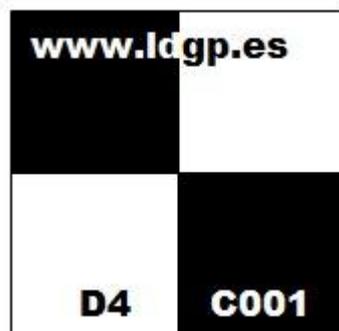


Imagen 5.3: Diana punto de apoyo fotogramétrico (escala 1:1)

Las dianas se adhieren a la pared mediante silicona, con ayuda del pegadianas, ya que la adherencia es muy buena, el secado es suficiente rápido en un primer momento para mantener el escaso peso de la diana; y el deterioro producido en el elemento patrimonial, al menos en este caso, es asumible por su escasa magnitud.

Sistema de coordenadas

Las coordenadas disponibles de las bases de referencia del Monasterio estaban en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM), y datum ETRS89.

El sistema UTM es una proyección cilíndrica conforme, esto significa que los factores de escala en la dirección del paralelo y en la dirección del meridiano son iguales.

En el sistema de coordenadas UTM la Tierra se divide en 60 husos de 6° de longitud, la zona de proyección de la UTM se define entre el paralelo 80° S y 84° N. Cada huso se numera con un número entre el 1 y el 60, estando el primer huso a partir de la longitud 180° respecto al meridiano de Greenwich. Cada huso tiene asignado un meridiano central, que es donde se sitúa el origen de coordenadas, junto con el ecuador. Los husos se numeran de forma ascendente hacia el Este.

La Península Ibérica está situada en los husos 29, 30 y 31; y Canarias está situada en el huso 28.

La proyección UTM tiene la ventaja, a nivel global, de que ningún punto está demasiado alejado del meridiano central de su zona, por lo que las distorsiones son pequeñas. Pero esto se consigue al coste de la discontinuidad de los cambios de huso y por lo tanto las coordenadas de puntos en husos distintos tienen orígenes diferentes.

Para nuestro proyecto, el sistema de coordenadas utilizado no es exactamente el UTM. El sistema que hemos utilizado es un sistema tridimensional de coordenadas apoyado en las bases de coordenadas UTM. No se ha aplicado la corrección por anamorfosis ya que no es

necesario, porque las distancias radiadas en cada caso, son menores a 50 metros y por lo tanto la deformación producida es menor que la precisión de las coordenadas que se van a obtener de las dianas que se están midiendo.

El ETRS89 es el datum geodésico espacial que tiene como referencia el elipsoide SGR80 similar, excepto una pequeña variación en la excentricidad, al elipsoide WGS84.

Las cotas de las reseñas de las que disponemos son ortométricas. La cota ortométrica es una cota referida al geoide, nivel medio del mar; por lo que a las cotas elipsoidales que proporcionan los sistemas GNSS se les ha corregido la ondulación del geoide para obtener las ortométricas.

Método topográfico

El método utilizado para la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo ha sido en todas las ocasiones la radiación de las dianas a partir de un punto de coordenadas conocidas. En algunos de los casos estos puntos de coordenadas conocidas eran bases de coordenadas obtenidas mediante métodos GNSS, y en otros, puntos no materializados de coordenadas conocidas a partir de la ejecución de una intersección inversa visando dianas de coordenadas previamente establecidas.

Instrumentación

Para la medición de las coordenadas de los puntos de control se utilizaron dos estaciones totales con medición laser, capaces de medir sin prisma.

Los modelos de dichas estaciones son Leica TCR 307 y Leica TPS 1205. Las características de los aparatos se encuentran recogidas en el Anexo 1 de este proyecto.

5.2.4.2 EJECUCIÓN DE LA MEDICIÓN DE COORDENADAS

Para la medición de las coordenadas de las dianas, los puntos de coordenadas conocidas de los que disponíamos fueron las bases establecidas para la elaboración de los trabajos en IP Erasmus que tuvo lugar en julio de 2010.

Estas bases disponían de coordenadas UTM ETRS89, obtenidas mediante métodos GNSS, y cota ortométrica.

En un primer momento para dar coordenadas a nuestras dianas, estacionamos el instrumento en la base de nombre BM10 (BenchMark 10) de coordenadas conocidas. A partir de este punto, mediante radiación dimos coordenadas a todas las dianas que se encontraban en esa zona y eran visibles.

Solamente reseñar que la medición de las dianas se realiza en el modo “RL” (reflectorless) sin prisma visando directamente sobre las dianas adheridas a los muros; modo que se vale de una señal laser para realizar las mediciones.

Por otro lado, previendo la posibilidad del empleo de intersecciones inversas para realizar los estacionamientos, de una forma más sencilla, en el resto de las zonas del yacimiento; dimos coordenadas desde esa misma estación a otras dianas que eran visibles ubicadas en el interior de la iglesia y a otras que habíamos ubicado para el único efecto de permitir realizar una intersección inversa en la zona norte del muro “P”.

El resto de los estacionamientos se realizaron todos por el método de intersección inversa, para el cual los instrumentos utilizados disponen de una función determinada.

Estas intersecciones se realizan a partir de un mínimo de tres puntos de coordenadas conocidas, resultando un cálculo más preciso si se utilizan más puntos para la intersección.

En nuestro caso utilizamos un mínimo de 4 puntos y 5 en algunas ocasiones. Estos puntos es recomendable que se encuentren distribuidos cubriendo los 360 grados alrededor del instrumento, ya que unos mejores ángulos de intersección incidirán en la precisión del punto de estación calculado.

Es obvia la necesidad de tener las precauciones necesarias a la hora de la toma de puntos en campo, haciéndose siempre imprescindible la visualización a referencias tanto al iniciar como al finalizar el trabajo desde un punto de estación, constatando que el instrumento no se ha movido durante el periodo de trabajo.

5.2.5 ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS

5.2.5.1 ASPECTOS A TENER EN CUENTA

Importancia de la planificación

Este es posiblemente el apartado más importante en la adquisición y almacenamiento de datos. De una minuciosa planificación depende el correcto desarrollo y consecución de los objetivos del trabajo.

La planificación abarca desde la elección del día idóneo para realizar el trabajo, el transporte, el material necesario, los métodos más adecuados, la información a obtener, su tratamiento, los formatos, el almacenamiento de los datos, la difusión,... Una infinidad de aspectos deben ser predefinidos para que el trabajo sea posible, esto repercutirá seguramente en el tiempo de ejecución, en la eficiencia del trabajo y también en la calidad de los resultados obtenidos.

Modo de adquisición

La adquisición de los datos debe ser ordenada documentando todo el trabajo de campo, bien mediante la elaboración de croquis, mediante descripciones literales o con documentos gráficos como fotografías. Una correcta documentación del trabajo permite gestionar mejor los datos posteriormente y hacerlos comprensibles al personal o futuros usuarios que no participaron en los trabajos de adquisición.

Modo de almacenamiento

La organización y estandarización en el almacenamiento de la información se convierte del todo indispensable, sobre todo cuando la cantidad de datos es tan grande que resulta difícil saber dónde se encuentra almacenado un dato específico.

En lo relativo a la información en soportes informáticos, se deberá hacer una correcta clasificación de la información mediante el uso de carpetas y ficheros dando la oportunidad de llegar hasta la información deseada de una manera lo mas intuitiva posible. El modo de clasificación debe ser también documentado para que los nombres puedan ser interpretados por cualquier usuario.

Nomenclatura de los datos obtenidos

A la hora de nombrar los ficheros y carpetas es necesario tener en cuenta el grupo de trabajo en el que se va a emplear la información y los futuros usuarios de dichos datos.

En un grupo internacional, por ejemplo, será necesario considerar el idioma a utilizar; en uno multidisciplinar habrá que tener en cuenta que cierta terminología técnica puede resultar desconocida para algunos grupos de profesionales.

Es importante también ubicar la adquisición de los datos temporalmente para que los usuarios conozcan en qué momento de la fase del trabajo y en qué fecha han sido tomados.

Los nombres deben resultar lo mas intuitivos posibles evitando excesivas abreviaturas aunque también hay que desechar nombres demasiado largos para los ficheros y carpetas.

Perdurabilidad de la información

Para garantizar que no existan pérdidas de información es indispensable tener el máximo cuidado en el almacenamiento de la información.

Para asegurarnos que todos los datos de nuestro trabajo están a buen recaudo deberemos tener una copia de seguridad de este en un soporte ajeno a nuestro ordenador, para lo que podemos utilizar cualquier dispositivo de almacenamiento como memorias USB o discos duros.

Dependiendo del volumen de trabajo diario deberemos hacer las copias de seguridad con una frecuencia determinada, aunque lo ideal es hacer copias diarias de toda la información

podemos conformarnos con una copia de respaldo semanal. Esta periodicidad dependerá del volumen de trabajo que se realice cada día, y de la importancia de los resultados obtenidos. Aunque bien es cierto, que la realización de estas copias se puede automatizar. Hay que tener en cuenta que cuanto menor sea la periodicidad de las copias en caso de pérdida de información no dispondremos de todo nuestro trabajo realizado desde la última copia lo que puede conllevar la necesidad de repetir el trabajo de toda una semana de nuevo, con el coste que esto conlleva en tiempo y medios.

Existe también la posibilidad de realizar una copia de seguridad de forma permanente cada vez que se modifica un fichero.

Una alternativa son los sistemas RAID que consisten en un conjunto de discos duros en los cuales se guarda la información de forma redundante, y que en caso de fallar uno de los discos con la información del resto es capaz de recuperar todos los datos perdidos.

Y la otra alternativa son las copias instantáneas en servidores remotos, en este caso al modificar un archivo y guardarlo; de forma inmediata se está almacenando una copia de ese fichero en un disco remoto que se encuentra en otra ubicación, y por lo tanto guarda la información a buen recaudo. Esto es útil cuando por ciertas circunstancias, por ejemplo un incendio, se deterioran todos los sistemas de almacenamiento; en este caso se dispondrá de una copia de la información en otro lugar y tendremos la capacidad de recuperarla. Este sistema es el utilizado en el LDGP.

Estandarización de formatos

La estandarización de los formatos y la utilización de formatos abiertos para el almacenamiento de la información es la forma de garantizar la accesibilidad de los datos a lo largo del tiempo. La continua evolución de vértigo que experimentan las nuevas tecnologías, y especialmente en el ámbito de la informática hace que el desarrollo de nuevos formatos y programas sea continuo, y en algunos de los casos los nuevos programas hacen que los formatos antiguos queden ya obsoletos.

Por esta razón mediante la utilización de formatos abiertos podemos garantizarnos que la comprensión de los datos sea posible dentro de un tiempo indeterminado aunque los programas que inicialmente reproducían dichos formatos estén en desuso.

Los formatos abiertos más generalizados son los siguientes¹³:

PDF -> Para documentos de texto.

(Existe la versión PDF/A para el archivo a largo plazo de documentos electrónicos contemplado en la norma ISO 19005-1:2005).

DXF -> Para mapas y planos.

¹³ VALLE, J.M., 2007. *Tesis Doctoral Documentación Geométrica del Patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica*. Capítulo 6: Organización de procesos y estandarización de los resultados de la documentación geométrica.

(Las diferentes versiones de DXF no son ejecutables en versiones anteriores de AutoCAD por lo que, sobre todo para la difusión no es interesante utilizar una de las más recientes).

PNG, DNG, JPEG -> Para imágenes.

(DNG es un formato abierto para fotografías de tipo RAW, y PNG para mapas de bits e imágenes, pero no alberga metadatos, es ideal para incluir imágenes en navegadores).

VRML -> Para modelos virtuales.

5.2.5.2 SOLUCIÓN TOMADA

Materialización del apoyo

Las dianas empleadas en nuestro proyecto son iguales que las utilizadas en el campamento realizado en julio de 2010 en el Monasterio. La característica fundamental a reseñar es que las dianas, como se puede observar en la imagen 5.4 del apartado anterior, es la disposición en la esquina inferior derecha de un código que identifica la diana. Este código es único en cada caso, y la idea es que no se repita nunca en ninguno de los trabajos realizados por el laboratorio; de esta forma se evitan confusiones.

Mediante este código se nombrará al punto medido correspondiente a esa diana y no se modificará a lo largo de todo el trabajo, de esta forma a la hora de disponernos a realizar la búsqueda de sus coordenadas bien durante los trabajos relativos al presente proyecto, o bien a posteriori por cualquier persona que esté colaborando en el proyecto general sobre el Monasterio de San Prudencio; tendremos la garantía de que no existirá una duplicidad que pueda dar lugar a confusión ninguna.

Nomenclatura

En lo relativo a la nomenclatura de las imágenes tomadas, estas no han sido renombradas. El nombre que les asigna la cámara es considerado adecuado, debido a que se trata de un código numérico que avanza de forma secuencial por lo que mediante el nombre podemos saber el orden en el que se han tomado las fotografías, y no existirán dos fotografías con el mismo nombre.

Las imágenes, a la hora del almacenamiento, se distribuyen en carpetas agrupando las fotos por zonas u objetos de estudio, y diferenciando cada una de las series de fotografías pertenecientes a cada una de estas zonas.

Formatos utilizados

Atendiendo al formato de las imágenes, la adquisición se realiza tanto en formato RAW como en JPEG de la calidad más alta de las posibles.

El formato RAW no modifica la imagen, no la comprime y contiene toda la información que el sensor a tomado; por esta razón el tamaño del archivo es bastante grande, pero a pesar de

esto es necesario siempre guardar una copia de todas las imágenes en este formato para disponer de toda la información y poder convertir la imagen a otros formatos.

El formato RAW tiene una mayor profundidad de color (por lo general 36 a 48 bits/píxel) responsable del mayor tamaño. La diferencia principal del formato RAW respecto al resto es la gran posibilidad que nos ofrece en la variación posterior de luces y colores.

En lo relativo al formato JPEG, es cierto que a partir de las imágenes en formato RAW se pueden cambiar al formato JPEG, pero al darnos la cámara la posibilidad de obtenerlo directamente sin necesidad de transformar el RAW nos ahorramos bastante tiempo ya que aunque la transformación es automática se demora bastante en el tiempo.

El JPEG es un formato de imágenes comprimidas con pérdida, para reducir el tamaño del archivo, mediante un estándar de compresión y codificación.

El algoritmo de compresión del formato JPEG se basa en dos defectos que tiene el ojo humano: el hecho de ser más sensible al cambio de luminosidad que al de color; y que nota más fácilmente los cambios de luminosidad en zonas homogéneas, que en zonas con variaciones como los bordes.

Este formato es el comúnmente más utilizado el lo que a fotografía se refiere.

En JPEG, la fotografía contiene metainformación denominada EXIF (EXchangable Image file Format), que contiene información adicional sobre la toma como fecha y hora, distancia focal, cámara con que se ha tomado, tamaño de la imagen,...

El formato JPEG, además de ser el más utilizado, es un formato en el que pueden trabajar todos los programas específicos de fotogrametría de bajo coste que nosotros hemos utilizado en el proyecto, y también el resto de programas de uso cotidiano.

Apoyo fotogramétrico

Para el apoyo, la solución tomada es la más simple, realizando su almacenamiento en ficheros ASCII separados por tabuladores. Se ha creado un fichero para el apoyo de cada una de las zonas u objetos a documentar, división similar a las carpetas en las que se habían dispuesto las fotografías. Los croquis con los puntos de cada muro, irán emparejados a los ficheros con las coordenadas de los mismos.

Por último, solo hacer referencia a que lo más recomendable es organizar las fotos lo antes posible después de finalizar el trabajo de campo, ya que tendremos más fresca la forma u orden seguido para tomar todos los datos y en caso de surgir algún problema podremos solucionarlo más fácilmente.

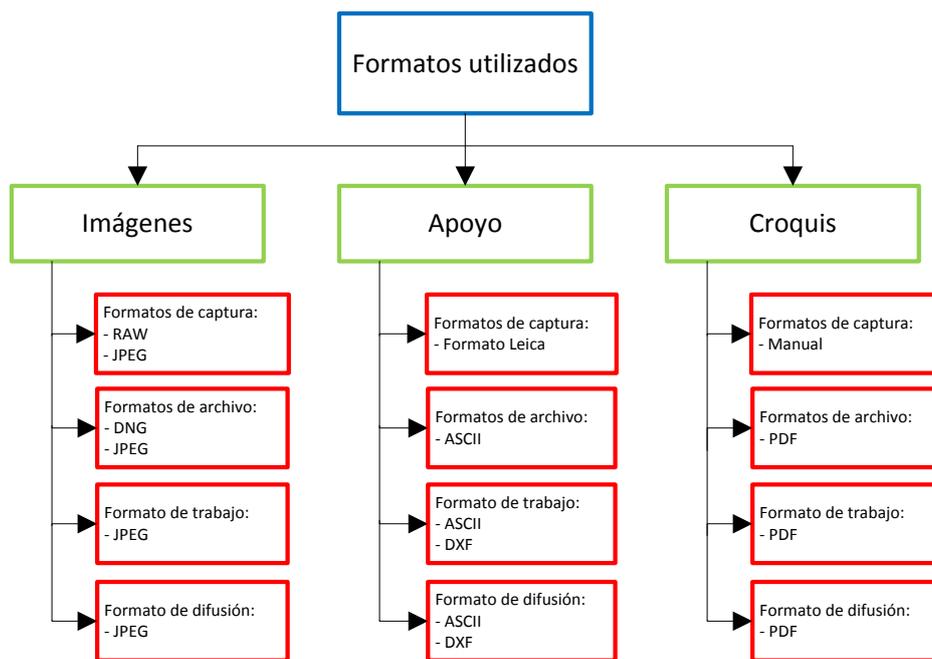


Diagrama 5.2: Diagrama de formatos de datos utilizados

5.3 CALIBRACIONES

La mayoría de los programas de restitución necesitan parametrizar los comportamientos de la cámara y cómo plasman la realidad los sensores. Esta necesidad se cubre con la calibración de la cámara y objetivo con los que se toman las fotografías, de esta forma mediante el uso de alguno de los programas de calibración obtenemos los parámetros de deformación.

Cada programa de restitución suele tener su propio programa de calibración no resultando las calibraciones obtenidas interoperables en los distintos programas, ya que aunque el objetivo es el mismo, el proceso matemático que utilizan es parecido pero no resulta idéntico.

Si tenemos la calibración en un programa para poder utilizar las fotos en otro, tenemos la posibilidad de realizar la corrección de la distorsión y de la posición del punto principal de las imágenes con la calibración en el programa correspondiente y posteriormente ser estas imágenes idealizadas las que introducimos en el otro programa indicando previamente que las fotos introducidas carecen de distorsión.

5.3.1 DISTORSIONES

Las distorsiones en las fotografías se deben a que el objetivo está compuesto por una serie de lentes las cuales no están libres de defectos, aunque se intente minimizarlos o compensarlos unos con otros.

5.3.2 ANÁLISIS DE LA DISTORSIÓN

Para realizar este análisis se ha elegido una fotografía de las pertenecientes a nuestro proyecto, y se va a comparar la imagen original con la idealizada de forma que realizaremos un análisis de las diferencias.

Hemos importado las imágenes en AutoCAD y sobre estas hemos marcado las características más significativas del muro como pueden ser los bordes; y hemos unido las dianas disponibles ya que estas se tratan de puntos fijos fácilmente identificables en las fotografías, más incluso que los límites del muro.

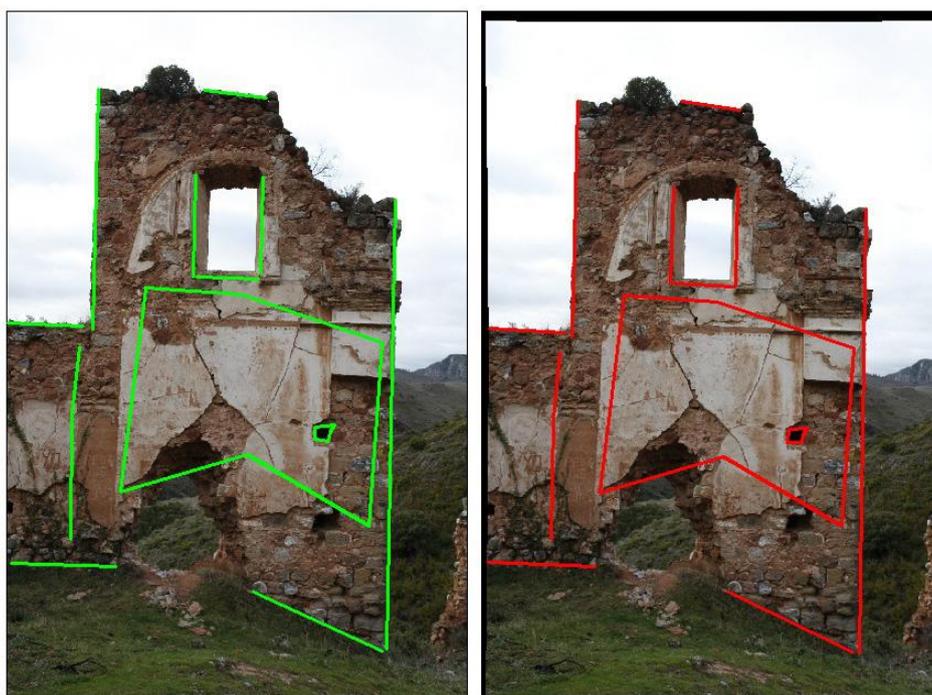


Imagen 5.5: Fotografías original e idealizada con los rasgos identificados

La fotografía en este ejemplo ha sido idealizada en Photomodeler con la calibración obtenida con este mismo programa para la cámara con la que se ha tomado la fotografía original.

Hay que hacer referencia, a que como se puede observar en la anterior imagen, la fotografía idealizada es desplazada para hacer coincidir el punto principal con el centro de la fotografía.

Por esta razón a la hora de superponer las fotografías tomamos de punto base uno identificable unívocamente en ambas fotografías como puede ser una diana, en concreto la que se encuentra más cercana al punto principal.

En la siguiente imagen se presentan las fotografías superpuestas con sus respectivas líneas de referencia y el punto utilizado como punto base del desplazamiento.

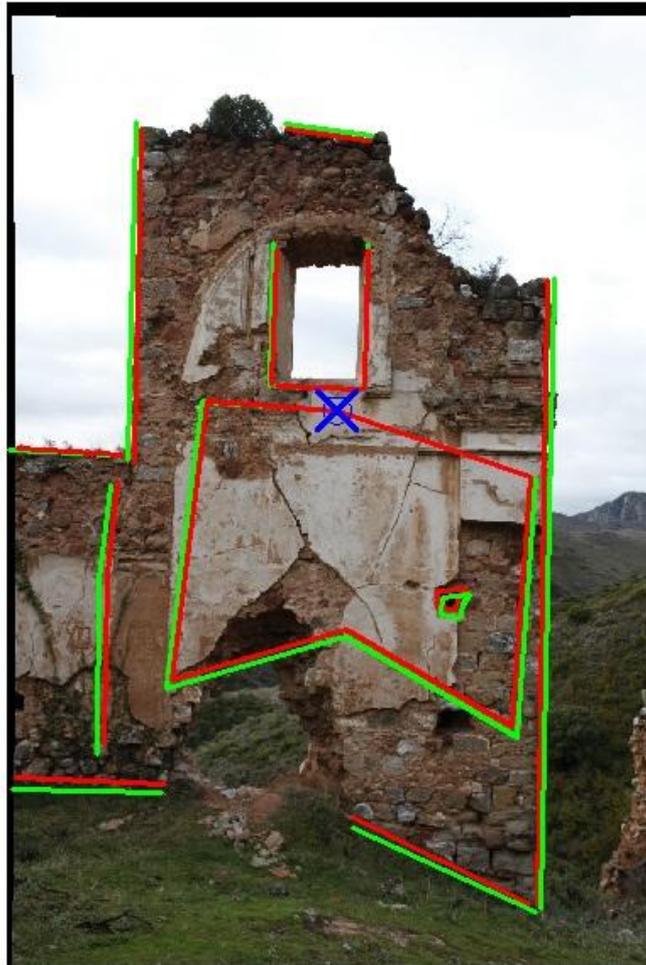


Imagen 5.6: Fotografías original e idealizada superpuestas con los rasgos identificados

Como se puede comprobar en este caso se presenta una corrección en “almohadilla” con los bordes convergentes hacia el centro de la fotografía; de darse el caso contrario se denominaría corrección en “barril”.

Del resultado obtenido se pueden obtener ciertas conclusiones que demuestran el comportamiento de las distorsiones que tiene la imagen original.

En la imagen general anterior se puede percibir claramente que las deformaciones son más grandes en los extremos de las imágenes. Esto es un hecho a tener en cuenta ya que los puntos que posteriormente restituyamos en las zonas periféricas de la imagen van a tener menor precisión, por esta razón es preferible dejar un margen de la fotografía sin puntos. Este hecho habrá que tenerlo en cuenta al tomar las fotografías para que la zona que en una foto no vamos a utilizar aparezca en el número suficiente de fotos restantes.

En la siguiente imagen se muestra de forma aumentada las zonas en los que el comportamiento de dicha distorsión es más característica.

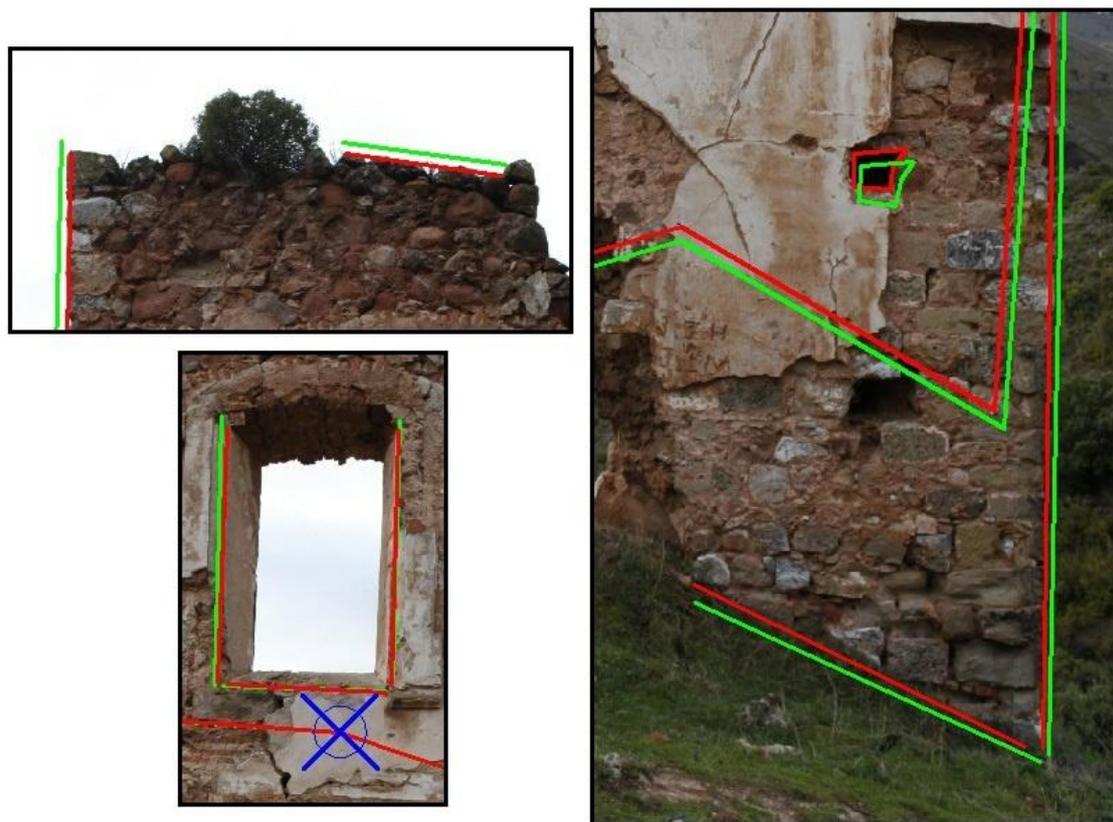


Imagen 5.7: Detalles de la comparativa de deformación

Como se ve en la imagen superior izquierda, en la parte alta del muro correspondiente al área superior de la fotografía la deformación había desplazado los puntos del límite del muro en dirección opuesta al centro de la imagen. Del mismo modo pasa en la parte inferior de la imagen, pudiéndose percibir el efecto homólogo en dirección también contraria al centro, en la imagen derecha.

Así mismo, en las zonas más cercanas al punto tomado como centro para la comprobación de distorsiones, como es el caso de la ventana; la distorsión es mucho menor coincidiendo, prácticamente, las líneas de referencia tomadas.

Para cuantificar las variaciones que sufre el objeto en la fotografía al corregir la distorsión, se han medido las coordenadas pixel de las esquinas opuestas del muro, tanto en la fotografía original, como en la corregida.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

	X original (pix)	Y original (pix)	X corregida (pix)	Y corregida (pix)
Pto. A	404	592	442	681
Pto. B	2812	5187	2800	5181
Distancia	5188		5080	

Tabla 5.1: Comparativa de puntos antes y después de la corrección

Como se puede comprobar a partir de los datos de la tabla anterior, el objeto en la fotografía corregida ha experimentado una reducción en su tamaño del **0,2 %**. Lo que en la realidad corresponde aproximadamente a **2 centímetros**.

5.3.3 CALIBRACIÓN IMAGEMASTER

El programa que realiza la calibración necesaria en ImageMaster se denomina ImageMaster Calib, es independiente y se suministra junto al programa principal.

La calibración se realiza con la finalidad de obtener los parámetros de distorsión de la cámara utilizada para la toma de las fotografías. Los parámetros calculados son los siguientes:

- f -> Distancia focal
- $K1, K2$ -> Distorsión radial de las lentes
- $P1, P2$ -> Distorsión tangencial de las lentes
- Xp, Yp -> Localización del punto principal del sensor de la cámara

Hoja de calibración

La calibración de la cámara se realiza a partir de las fotografías tomadas a un patrón con la cámara y objetivo que requieren de ser calibrados.

El primer paso de todo el proceso, como es obvio es la impresión del patrón de calibración. El tamaño de impresión del patrón depende en cierta forma de la focal que se quiere calibrar. Para un objetivo de 21 mm como el nuestro el tamaño debe de ser un A1 ó un A0.

La hoja de calibración tiene el siguiente aspecto:

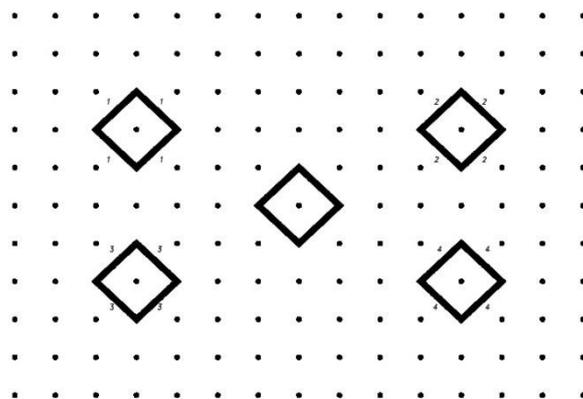


Imagen 5.8: Matriz de puntos de la hoja de calibración en ImageMaster

El patrón de calibración se recomienda fijar en una superficie plana, bien en una pared o sobre el suelo, aunque es preferible en una pared o elemento vertical ya que una de las tomas que se van a requerir es central y en el caso de disponer la hoja sobre el suelo en el caso de un A0

seguramente nos haría falta una escalera para tomar todas las fotografías y estamos convirtiendo la toma de estas fotografías en un trabajo más complicado.

La hoja de calibración, como se puede ver en la imagen anterior, se compone de 145 puntos simples y 5 marcas.

Una de las recomendaciones que hay que tener en cuenta es no poner la hoja de calibración sobre una superficie reflectante ni con el sol de fondo, debe estar dispuesta en sentido apaisado y no hacer pliegues, es decir completamente estirada.

La cámara estará configurada en modo manual y con la focal y el foco en la posición que se quieran tomar después todas las fotografías a utilizar en el programa. El enfoque automático (autofocus) debe estar desconectado y el zoom en uno de los topes, ya que si se calibra la cámara en una posición de zoom intermedia luego no seremos capaces de ajustar el zoom exactamente como estaba en la calibración.

Las imágenes las tomaremos en el tamaño máximo que nos permita la cámara y en el formato RAW y JPEG lo menos comprimido posible.

Image Master permite también el uso de imágenes TIF¹⁶. En nuestro caso se han utilizado las imágenes en formato JPEG porque es el formato útil en todos los programas utilizados, y porque es la posibilidad de nos proporciona la cámara además del formato RAW de Canon.

Toma de fotografías

El programa de calibración para ImageMaster requiere de 5 fotografías para realizar la calibración de la cámara. Las posiciones de la toma están definidas y son las siguientes:

Imagen frontal -> La cámara a la altura del centro de la matriz de puntos y la hoja ajustada a toda la superficie de la fotografía.

Imagen izquierda, derecha, superior e inferior -> La marca central debe encontrarse en el centro de la fotografía y los puntos de las esquinas más cercanas a la cámara deben estar ajustadas a las esquinas de la misma.

¹⁶ TIFF (Tagged Image File Format). Formato de archivo de gráficos que permite almacenar imágenes grandes pero perdiendo calidad, en el caso de utilizarse un TIFF comprimido. Es independiente del dispositivo en el que se usa. El principio del formato consiste en definir etiquetas que describen características de la imagen como dimensiones, cantidad de colores o tipo de compresión.

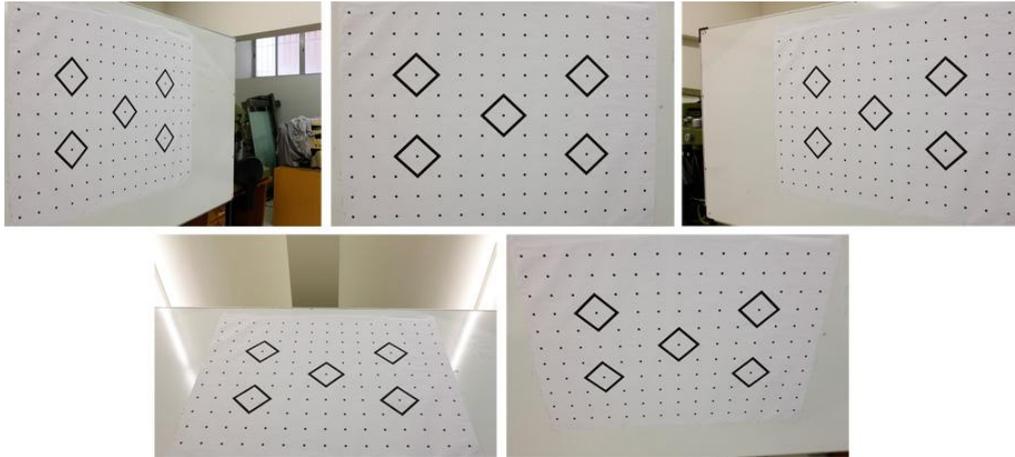


Imagen 5.9: Ejemplo de las imágenes para la calibración en ImageMaster

Es necesario reseñar que las imágenes que se han puesto de ejemplo en la imagen anterior aunque son útiles para realizar la calibración, se podrían mejorar, ya que la marca central podría estar más próxima al centro de la fotografía, los puntos correspondientes más ajustados a las esquinas, y el reflejo de la fotografía inferior debería haberse evitado. Bien es cierto, que en la práctica no es tarea fácil conseguir las imágenes teóricamente idóneas ya que suele existir algún inconveniente.

Al igual que en las series de fotografías tomadas en campo, la configuración de los parámetros de la cámara en todas las fotos deben ser los mismos, de aquí la razón por la que se debe utilizar el modo “M” manual de la cámara.

Proceso

Paso 1: Selección nombre de proyecto

Una vez con el programa abierto para comenzar la calibración el primer paso es la creación de un proyecto nuevo. Para esto en el menú seleccionaremos: **File -> New Project**.

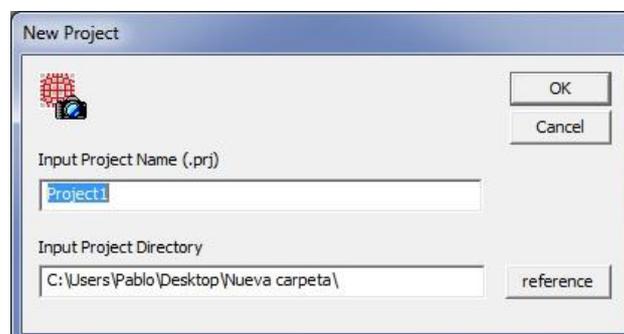


Imagen 5.10: Ventana de selección del nombre u ubicación del nuevo proyecto

Se ha de seleccionar el nombre del fichero de proyecto y la ruta en donde va a estar ubicado.

Paso 2: Selección del tamaño de la hoja

En este paso únicamente hay que indicar el tamaño de la hoja de calibración que hemos utilizado.

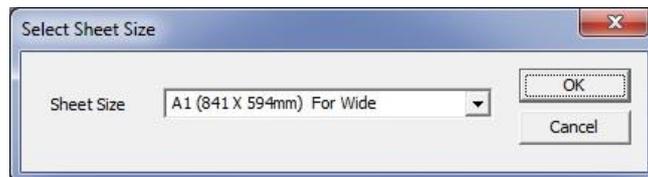


Imagen 5.11: Ventana de selección del tamaño de la hoja de calibración

En nuestro caso la hoja utilizada fue en A0 ya que es el tamaño que se puede utilizar para focales pequeñas, que son las utilizadas habitualmente para el tipo de fotogrametría que nosotros realizamos.

Paso 3: Selección de la imágenes

A continuación aparece la ventana para la selección de las fotografías con las cuales se va a realizar la calibración. Se han de elegir 5 fotografías tomadas desde las posiciones descritas en el apartado “Toma de fotografías”.

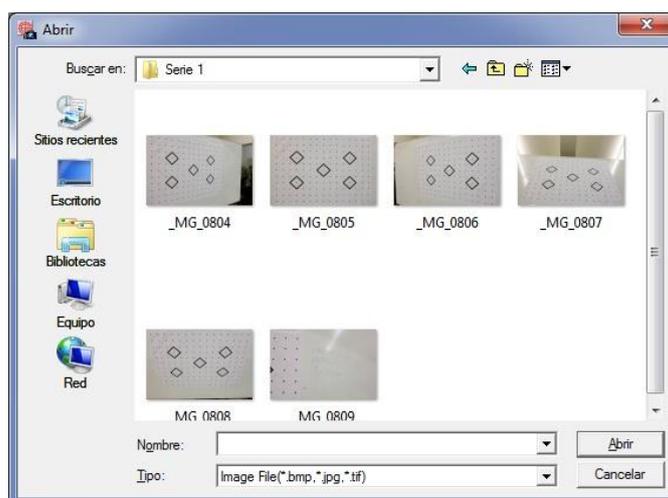


Imagen 5.12: Ventana de selección de las fotografías

Al introducir las imágenes el programa obtiene los parámetros de resolución de las mismas, del fichero EXIF¹⁷; en caso de no ser esto posible, o de que exista algún error en los mismos, se pueden modificar en: **Setup -> Pixel Size Setup**.

Paso 4: Confirmación inicial de la distancia focal

Como el propio nombre indica este paso se resume en la confirmación de la focal de la cámara con la que se han tomado las fotografías, la cual es obtenida por el programa también del fichero EXIF de las imágenes.

¹⁷ EXIF (EXchangable Image file Format). Fichero que contiene información adicional sobre la fotografía; como fecha y hora, distancia focal, cámara con que se ha tomado, tamaño de la imagen,...

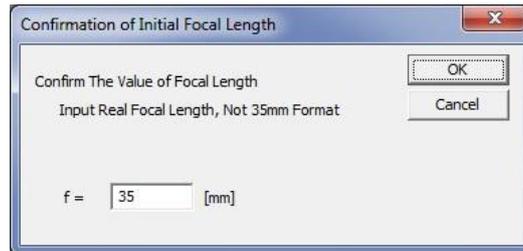


Imagen 5.13: Ventana de confirmación de la distancia focal

En el caso de que el programa no sea capaz de obtener la distancia focal mediante el fichero EXIF existe la posibilidad de introducirla manualmente en el menú: **Setup -> Focal Length Setup**.

Paso 5: Calibración automática completa

Completados los cuatro pasos iniciales anteriores, accedemos a la pantalla general del proyecto de calibración en la que aparecen las imágenes cargadas.

El siguiente paso a llevar a cabo es la calibración automática, para lo que se debe seleccionar en el menú: **Process -> Full Auto Calibration**.

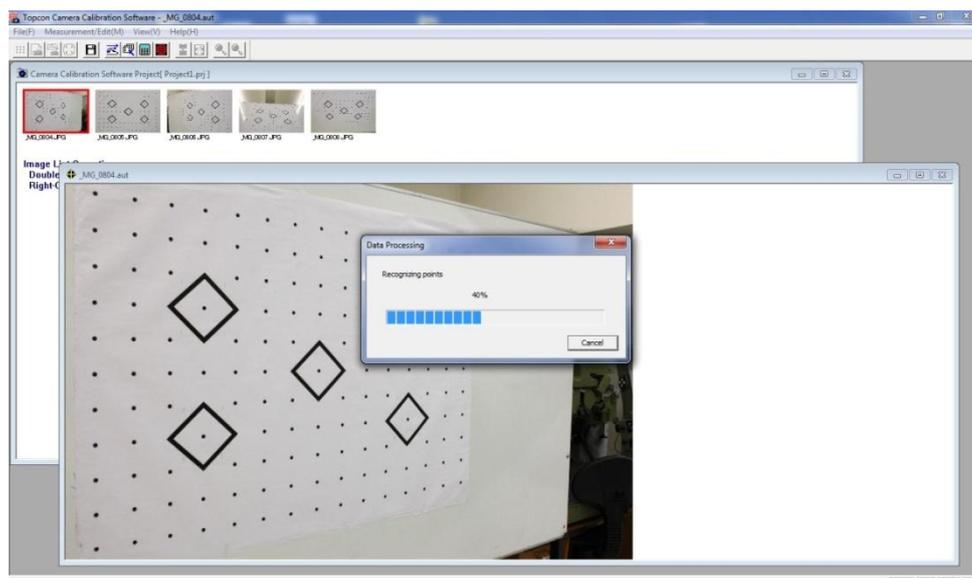


Imagen 5.14: Pantalla principal del proyecto realizando la calibración automática

Si no es posible la detección del centro de todos los puntos de la matriz de forma automática, se puede recurrir a la detección manual “**Manual Measurement**”.

También se puede ajustar el contraste de las imágenes en el menú: **View -> Contrast Adjustment** para poder realizar una mejor identificación de los puntos de la hoja de calibración.

Paso 6: Resultado de la calibración de la cámara

Esta pantalla nos muestra los residuos obtenidos del proceso de calibración. El programa realiza un juicio de si la calibración ha sido correcta o no. Lo clasifica en “OK” en el caso de ser correcta, y “NG” en el caso de no serlo.

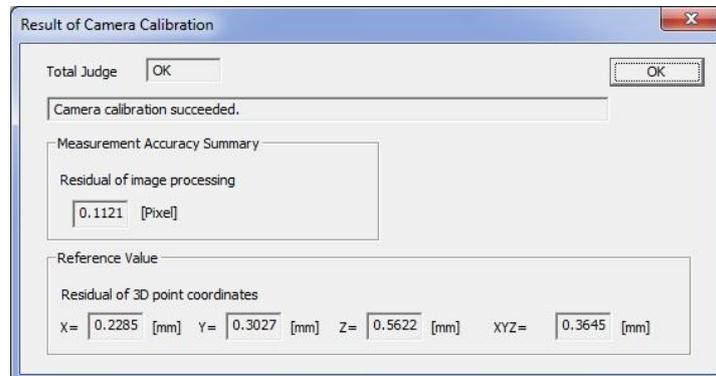


Imagen 5.15: Pantalla resultado de la calibración de la cámara

En el caso de que el veredicto haya sido “NG”, esto significa que no se ha completado el cálculo de la calibración, fundamentalmente debido a que algunas de las imágenes no son buenas o no se ha podido medir bien en ellas; por lo que deberemos repetir los pasos anteriores y realizar el proceso de “**Manual Measurement**”. Si aun así el resultado sigue siendo incorrecto se debe acudir a la sección “**Trouble Shooting**”. Si de esta forma no se llega a un resultado correcto, es probable que el problema sea debido a las imágenes; puede ser que estas no se hayan tomado de forma correcta o que tengan algún otro problema. En este caso, la única solución sería volver a tomar nuevamente todas las imágenes de la hoja de calibración.

En lo que respecta al criterio para la obtención del “OK” en el veredicto, es conseguir que el residuo del procesamiento de las imágenes para todos los puntos sea menor a 0,25 píxeles.

El residuo de los puntos de coordenadas 3D, muestra la variación causada por la deformación de la hoja plana. Estos residuos de los puntos de coordenadas 3D son simplemente valores de referencia.

Paso 7: Resultado de la calibración

En esta pantalla se muestran los parámetros internos del conjunto cámara objetivo.

En el gráfico, la distorsión está magnificada 4 veces. En la parte “Max of Before Correction” los valores muestran el residuo de los puntos con mayor distorsión.

Al llegar a este paso se ha creado el fichero de cámara con extensión “.cmr” en la carpeta en la que se encontraban las imágenes. La ruta se muestra en la parte superior de la pantalla.

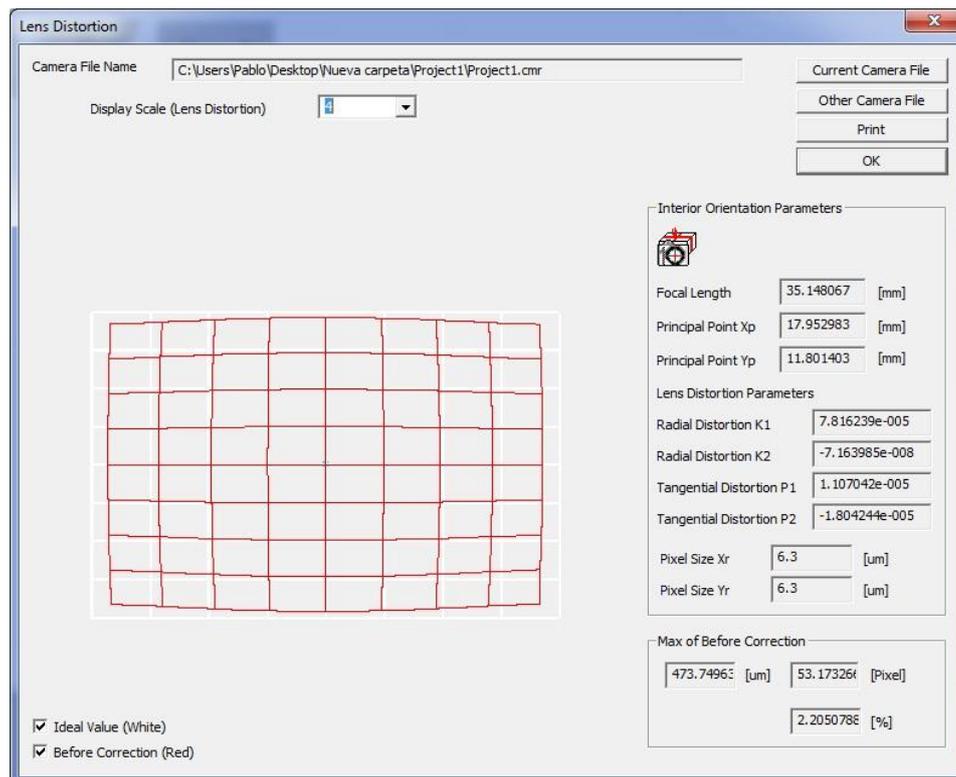


Imagen 5.16: Pantalla resultado de la calibración (parámetros de distorsión de las lentes)

Existe la posibilidad de imprimir una hoja con los resultados de la calibración que se muestran en esta pantalla incluso con el gráfico. Para esto hay que presionar el botón "Print".

5.3.4 CALIBRACIÓN PHOTOMODELER

La calibración para Photomodeler se realiza en el mismo programa, a diferencia de ImageMaster en el cual se realiza la calibración en un programa específico.

Los parámetros calculados son los mismos que en ImageMaster y comunes en la mayoría de los programas que determinan la deformación de las imágenes. Los parámetros calculados son los siguientes: f , $K1$, $K2$, $P1$, $P2$, Xp e Yp . También existe la posibilidad de calcular $K3$, aunque Photomodeler por defecto no lo calcula. Este parámetro se calcula para adquirir mayor precisión, y para cámaras de gran formato. En el caso de una cámara normal como la utilizada no es necesario su cálculo.

Hoja de calibración

La calibración se realiza a partir de las fotografías tomadas a un patrón. El tamaño de la hoja de calibración necesaria es de un formato A1 o A0 dependiendo de la focal utilizada.

La hoja de calibración tiene el siguiente aspecto:

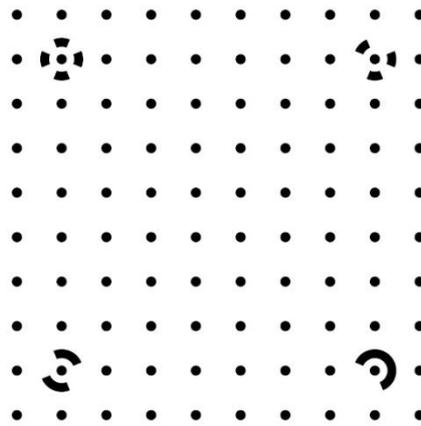


Imagen 5.17: Matriz de puntos de la hoja de calibración en Photomodeler

Para la toma de las imágenes la hoja debe fijarse en el suelo, teniendo cuidado de que se encuentre plana, evitando los pliegues en la medida de los posible.

La hoja se compone de un total de 100 puntos de los cuales, 4 son marcas codificadas. Estas marcas codificadas funcionan a semejanza de un código de barras, y permiten al programa identificarlas y emparejarlas con sus homólogas. De esta forma es capaz de realizar la orientación.

Toma de fotografías

Photomodeler para realizar la orientación requiere de un mínimo de 12 fotografías tomadas desde cuatro ubicaciones determinadas y con la cámara en tres posiciones concretas.

Las posiciones en las que debe estar la cámara se muestran a continuación:



Imagen 5.18: Posición de la cámara en la toma de fotos para la calibración en Photomodeler

Las localizaciones desde donde hay que tomar las fotografías son las siguientes:

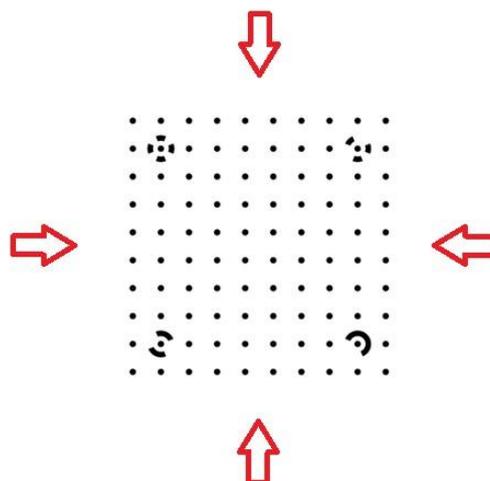


Imagen 5.19: Localización de la cámara en las fotos para la calibración en Photomodeler

Además de esto, las imágenes deben estar tomadas de tal forma que el eje de la toma de una fotografía y el de la de enfrente formen un ángulo lo más aproximado posible a 90° , ya que esta será la mejor intersección para determinar la situación de los puntos en el espacio.

Hay que tener en cuenta que la matriz de puntos debe cubrir la mayor superficie posible de la fotografía ya que el área de las fotografías de las cual va a ser modelada la distorsión, resultará únicamente la que esté recubierta por la matriz de puntos.

Por la esta misma razón, se debe intentar ajustar también los puntos de las esquinas de la matriz a las esquinas de la fotografía.

También es preferible utilizar trípode para la toma de las fotografías, de forma que nos evitamos problemas con movimientos de la cámara a velocidades bajas; y por lo tanto no tendremos restricciones en cuanto al tiempo de exposición.

Este es un ejemplo de la serie de fotografías resultantes para la calibración, correspondiente a una cámara Nikon D700 de la que posteriormente mostraremos los pasos para la realización de su calibración.

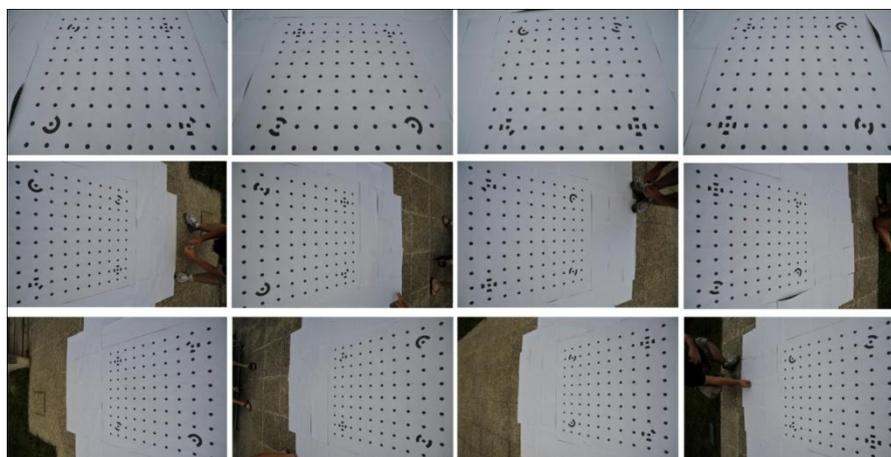


Imagen 5.20: Ejemplo de la imágenes para la calibración en Photomodeler

Atendiendo a todos los aspectos a tener en cuenta que hemos descrito anteriormente, resulta necesario indicar que estas imágenes podrían ser mejores, y recubrir más superficie con la hoja de calibración; pero aun así, son perfectamente útiles para la calibración. Ya que como se ha indicado también para Image Master no siempre es posible, por diversas razones, obtener las imágenes teóricamente perfectas.

Ejemplo práctico

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, en este ejemplo práctico vamos a mostrar los pasos para la calibración de una cámara de la marca Nikon modelo D700.

Esta es una cámara utilizada en los trabajos realizados durante el proyecto IP Erasmus en el Monasterio de San Prudencio en Julio de 2010.

Paso 1: Abrir el proyecto de calibración

El primer paso es iniciar un proyecto de calibración. Para ello hay que seleccionar la opción **“Camera Calibration Project”** marcada en la imagen siguiente:

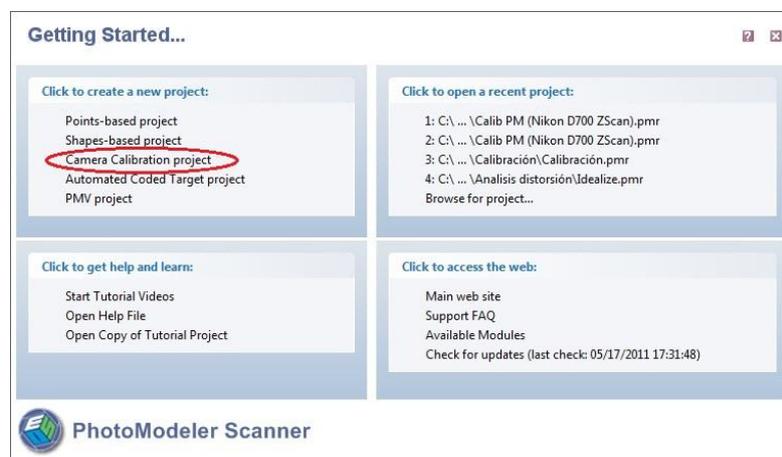


Imagen 5.21: Pantalla de inicio de Photomodeler

Paso 2: Selección de imágenes

En este paso se eligen las imágenes que queremos utilizar en la calibración, para lo cual es necesario buscarlas en el navegador de la izquierda y pulsar el botón indicado para pasarlas al recuadro de la derecha, en el que se mostrarán las imágenes que van a ser importadas al proyecto creado.

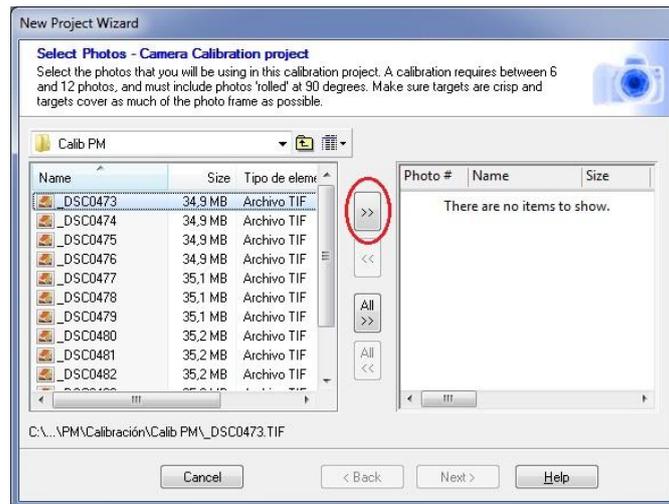


Imagen 5.22: Pantalla de selección de imágenes

Paso 3: Calibración automática

El siguiente paso es el inicio de la calibración automática. Tras la selección de las fotografías aparece directamente la ventana de calibración automática de la cámara, para lo que hay que pulsar el botón “**Execute Calibration**”.

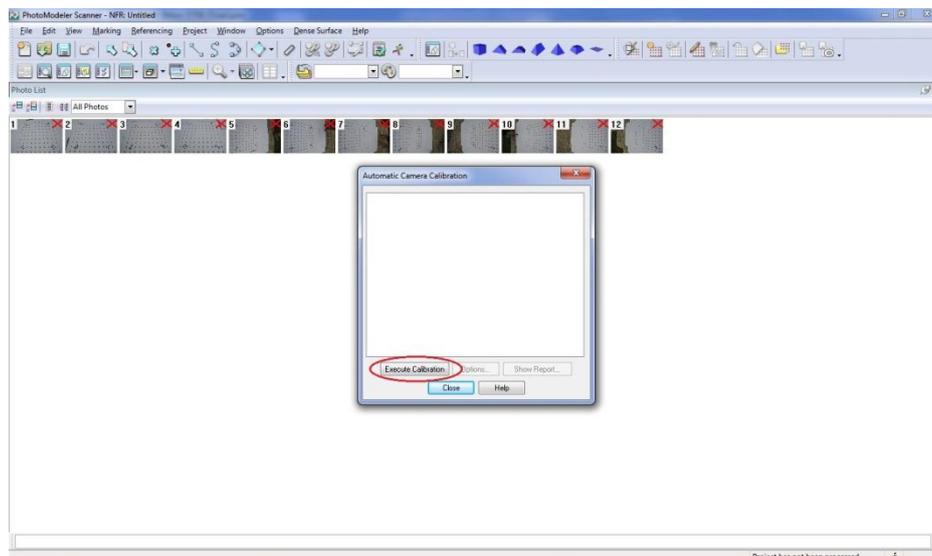


Imagen 5.23: Pantalla general del programa

El proceso comienza automáticamente y va mostrando en la pantalla el proceso que está realizando en cada momento hasta que finaliza y muestra los resultados.

Al inicio muestra el número de puntos que se han encontrado en cada foto. Únicamente serán las fotos en las que haya encontrado las cuatro marcas codificadas, las que se utilizarán para el cálculo de los parámetros de calibración. En caso de no utilizarlas lo indica, como se puede ver en la pantalla de la izquierda de la imagen siguiente.

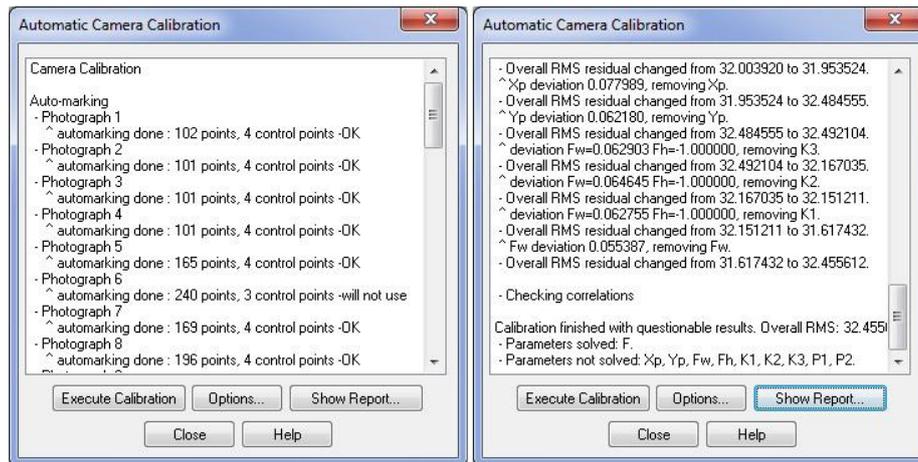


Imagen 5.24: Pantallas resultado proceso de la calibración

En la pantalla de la derecha de la imagen, indica los parámetros que han sido resueltos en esa calibración. En nuestro caso de forma automática sólo ha sido capaz de calcular la focal (F).

Paso 4: Resultado de la calibración

Pulsando el botón “**Show Report**”, accedemos al informe del resultado de la calibración.

En nuestro caso específico muestra un error de que el residuo es mayor a 430 píxeles, lo que indica que la calibración automática, como se puede percibir de la no resolución de los parámetros, es muy mala.

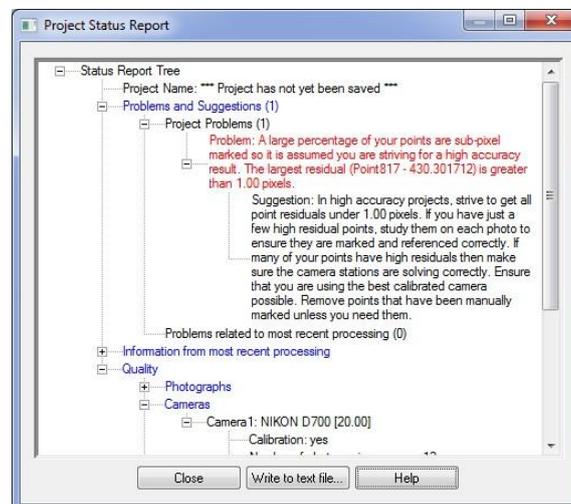


Imagen 5.25: Pantalla Informe de resultado de la calibración

Paso 5: Marcado de los puntos no detectados

Cerramos todas las ventanas hasta que volvamos a encontrar la pantalla principal. Revisaremos las fotos que no han sido orientadas, y borraremos los puntos que haya detectado el programa y no se correspondan a los de la matriz.

Los puntos que no corresponden se pueden clasificar en dos tipos: los que no suponen ningún problema ya que no están emparejados y se muestran de color gris (ni siquiera sería necesario eliminarlos); y los que sí son problemáticos, porque se encuentran emparejados e intervienen en la orientación y por consiguiente en los cálculos mostrándose en color blanco. Estos deben ser eliminados.

En la imagen siguiente aparecen en la parte izquierda muchos puntos no correspondientes a la matriz, por lo que conviene eliminarlos. La marca rodeada con color rojo es una marca que no ha sido detectada automáticamente por lo que la deberemos marcar manualmente.



Imagen 5.26: Imagen con marca no detectada y puntos fuera de la matriz

Este proceso se deberá seguir con todas las fotografías que se están utilizando en la calibración.

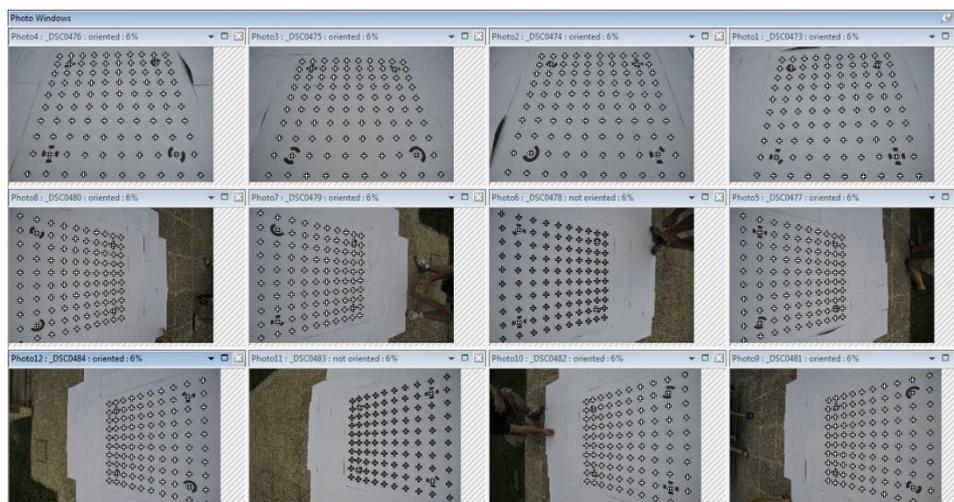


Imagen 5.27: Imágenes con todos los puntos detectados correctamente

Paso 6: Reintento de la calibración automática

La recalibración se realiza en el siguiente menú: **Project -> Camera Calibration**. Antes de ejecutar la calibración hay que modificar las opciones, deseleccionando el marcado de puntos como se indica en la imagen siguiente:

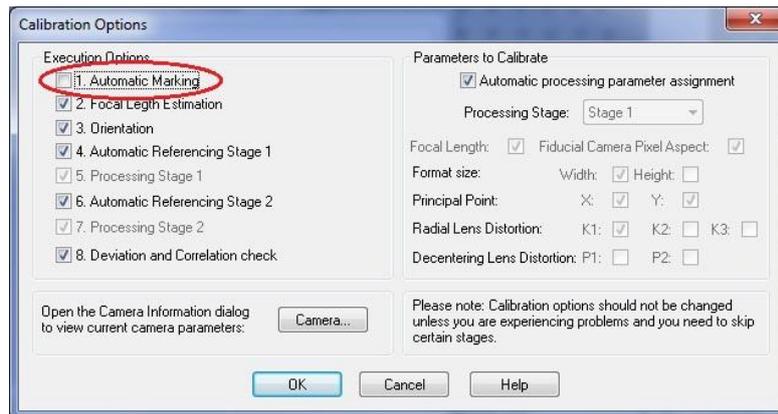


Imagen 5.28: Pantalla opciones de calibración

Una vez deseleccionada esta opción se realiza la calibración automática; indicando el resultado, como se ve a continuación, que todas las imágenes han sido utilizadas y que se han calculado los parámetros deseados.

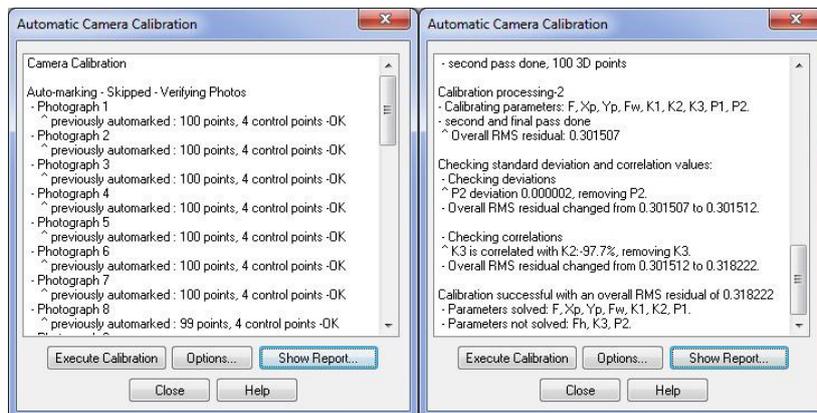


Imagen 5.29: Pantallas resultado proceso de la calibración

En el informe de calibración se comprueba que la calibración sigue presentando un problema pero este es que el residuo es 1,4 píxeles cuando el máximo admisible es 1, según el criterio del programa y recogido en el manual de Photomodeler.

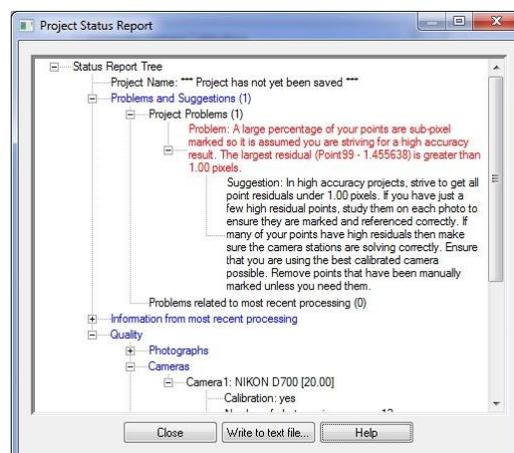


Imagen 5.30: Pantallas informe de la recalibración

Paso 7: Solución de problemas

Para poder reducir el residuo máximo de la orientación debemos conocer los puntos que presentan un residuo mayor, lo que se puede consultar en el menú: **View -> Point Table - Quality**.

En la imagen siguiente se puede observar los puntos que presentan un residuo mayor a 1.

Point table - Quality													
Id	Name	RMS Residual (pixels)	Larg Resic (pi...)	Photo Largest Residual	Photos	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightne (m)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Frozen	Ref. Check Tag
99		0.7547...	1.4556...	9	1,2,3,4...	5.3362...	5.3573...	8.9334...	0.0007...	48.191...	yes	no	
11		0.5975...	1.2997...	2	1,2,3,4...	5.5248...	6.5936...	9.6930...	0.0006...	48.458...	yes	no	
6		0.5011...	1.2546...	2	1,2,3,4...	4.3332...	5.1613...	9.1287...	0.0007...	51.793...	yes	no	
98		0.5603...	1.0074...	3	1,2,3,4...	4.0751...	4.3678...	8.7775...	0.0006...	51.891...	yes	no	
14		0.4238...	0.9732...	2	1,2,3,4...	4.1352...	4.5784...	9.0544...	0.0007...	58.414...	yes	no	
20		0.4244...	0.9267...	2	1,2,3,4...	4.4673...	4.2642...	9.0466...	0.0006...	51.425...	yes	no	
7		0.4456...	0.8866...	4	1,2,3,4...	4.6161...	5.9972...	9.6254...	0.0006...	51.880...	yes	no	
19		0.3505...	0.8673...	10	1,2,3,4...	4.6803...	4.5850...	9.0253...	0.0004...	49.892...	yes	no	
5		0.3523...	0.8591...	2	1,2,3,4...	4.0938...	4.7082...	9.0064...	0.0004...	54.125...	yes	no	

Imagen 5.31: Tabla de calidad de los puntos

En este momento nos encontramos en una disyuntiva. Primero se ha de comprobar la razón por la que dichos puntos tienen un residuo mayor.

En el caso de que el punto esté mal ubicado, es obvio que se deberá eliminar. Pero, por otra parte, suele ser habitual que los puntos de las esquinas de la matriz de calibración tengan unos residuos algo mayores. En este caso es donde debemos tomar la decisión, de por cuál de las siguientes soluciones nos decantamos:

- Dejar los puntos que tienen un residuo un poco mayor y asumimos que la precisión de la calibración resultará finalmente algo menor, y de esta forma disponemos de la calibración en todo el área de las fotografías que ocupa la matriz de puntos. Por lo que podremos restituir puntos que se encuentren más hacia los bordes de la fotografía.
- O eliminar estos puntos, y asumir, que aunque tengamos una precisión mayor en la calibración; solo podremos restituir los puntos que se encuentren en el interior del polígono formado por los puntos utilizados en la calibración.

Para este ejemplo la solución tomada es la segunda, por lo que se eliminarán los puntos de residuo mayor a 1 pixel.

La solución para reducir el residuo es eliminar los puntos que tienen los mayores residuos. El residuo máximo de cada punto se corresponde con la cuarta columna de la tabla de la imagen anterior.

Para eliminar un punto únicamente en la imagen en la que este tiene mayor error, es necesario abrir la imagen correspondiente y suprimir el punto.

Después de borrar cada punto hay que “procesar” para que se recalculen los residuos. En este caso los puntos eliminados han sido:

Punto	Imagen
99	9
11	12
6	2
99	8
20	2
14	4

Tabla 5.2: Puntos eliminados

Una vez que el residuo máximo es menor que 1 pasaremos al siguiente paso.

Paso 8: Calibración final

En esta ocasión en las opciones, hay que deseleccionar también el cálculo de la distancia focal y de la orientación, ya que en el caso de volver a orientar cambiarían otra vez todos los valores de los residuos.

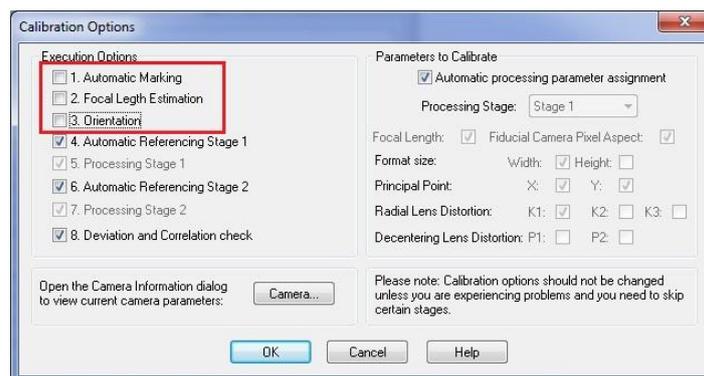


Imagen 5.32: Pantalla opciones de calibración

Tras realizar la calibración obtenemos finalmente un informe de resultados satisfactorio, en el que no se nos indica ningún problema.

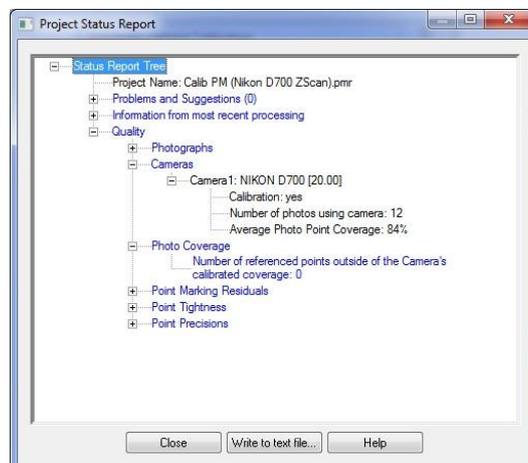


Imagen 5.33: Informe de resultados sin problemas

En el botón “**Write to text file...**” se tiene la opción de grabar un fichero de texto con todos los resultados.

Para finalizar la calibración lo óptimo es realizar un análisis de los valores de los errores obtenidos en el cálculo de cada parámetro, así como comprobar el grado de correlación existente entre el cálculo de cada parámetro.

El error en el cálculo de cada parámetro debe ser inferior al parámetro, ya que en caso contrario no estaríamos mejorando la función de distorsión si empleásemos dicho parámetro en las ecuaciones. Y la correlación no debe ser excesivamente alta (nunca mayor del 80%), ya que significaría que el valor de un parámetro es muy dependiente de otro lo que no nos resultaría una calibración buena.

El programa ya tiene en cuenta estos parámetros para no calcular el parámetro en tal caso, pero nosotros podemos consultar dichos errores en el apartado “Information from most recent processing” del informe de resultados, o en el fichero de resultados en el caso de haber sido creado.

Al cerrar esta ventana informe de resultados, se nos da la posibilidad de guardar la calibración de la cámara finalizada en la librería de cámaras de que dispone Photomodeler. En tal caso al introducir una imagen realizada con esta cámara, gracias a los datos del fichero EXIF adjunto a las fotografías, el propio programa nos reconocería la cámara y no sería necesario ni introducir los parámetros ni un fichero de cámara.

Los parámetros de la cámara que finalmente estamos utilizando pueden ser consultados en el menú: **Project -> Camera**.

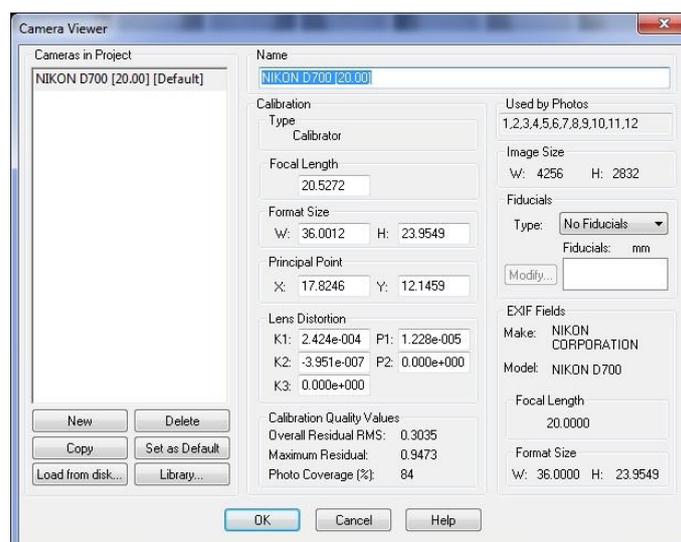


Imagen 5.34: Pantalla en la que se indican todos los parámetros de la cámara y de su calibración.

Análisis de las fotografías para la calibración

Una vez que tenemos el proyecto de la calibración terminado, podemos comprobar en la visualización 3D las posiciones de las cámaras para la toma de cada una de las fotos utilizadas para calibrar.

El aspecto de los puntos de la matriz de calibración con las posiciones de cámara es el que se muestra a continuación:

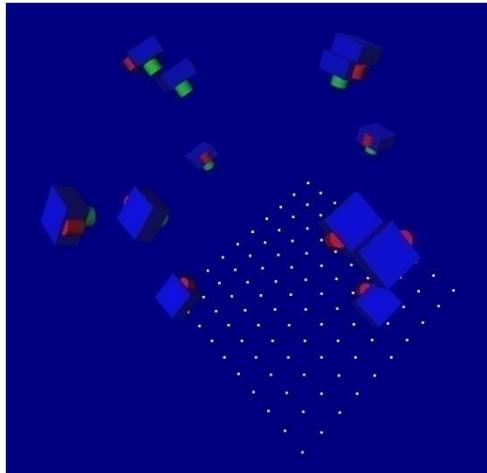


Imagen 5.35: Visualización 3D de los puntos y las posiciones de cámara

El análisis que vamos a realizar, es si la toma de las imágenes para la calibración es la teóricamente ideal.

Como se ha mencionado anteriormente el ángulo ideal entre imágenes opuestas es de 90° .

Para medir los ángulos hemos introducido en AutoCAD las proyecciones ortográficas de los puntos y las cámaras. Los resultados obtenidos son los siguientes:

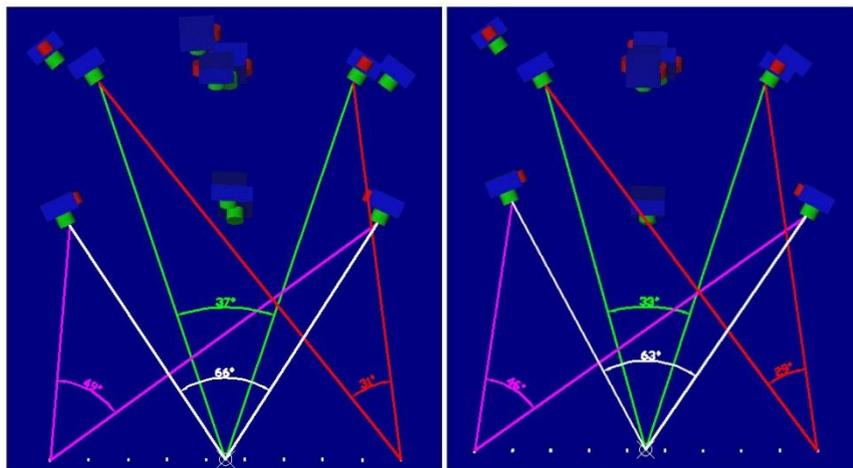


Imagen 5.36: Proyección ortográfica acotada ("Front view" en la izquierda y "left view" en la derecha).

En esta ocasión el ángulo mayor varía entre 66° y 33°. Aunque no son óptimos, tampoco es necesario dedicar demasiados esfuerzos a conseguir el ángulo ideal; solamente intentar tener en cuenta estos valores en la medida de lo posible.

Calibración inversa

A modo informativo, ya que este no es el objetivo del presente proyecto, se va a describir las posibilidades que ofrece el programa para trabajar sin calibración previa.

El programa permite trabajar con una cámara desconocida. Esto podría ser el caso, por ejemplo, de que obtengamos una serie de fotografías las cuales no hemos tomado nosotros y no dispongamos de la cámara con la que han sido tomadas para realizar la calibración.

En las opciones que el programa nos muestra, la más interesante, es la de nos permite realizar la calibración inversa a partir de una serie de puntos de control tomados en campo. Si disponemos de las coordenadas de un mínimo de 5 puntos de control identificables en las fotografías podremos realizar la calibración.

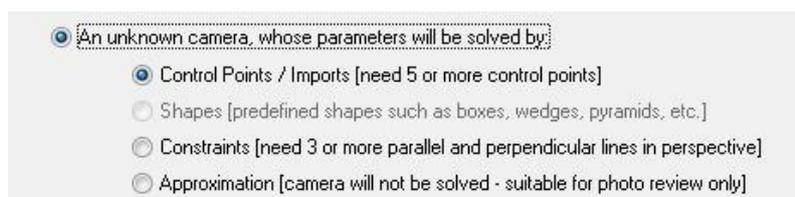


Imagen 5.37: Opciones de trabajo con cámara desconocida

En este caso, el programa asigna a cada fotografía una cámara desconocida independiente, en la que sólo se conocen los parámetros procedentes del fichero EXIF.

Una vez que se han introducido puntos de control suficientes con coordenadas desconocidas, el programa es capaz de realizar el cálculo de los parámetros de distorsión; así como de la focal, que variará algo con la indicada en el fichero EXIF.

El que se le asigne a cada fotografía una cámara independiente, y por lo tanto distinta focal, hace pensar en la posibilidad de tomar las imágenes en modo de autoenfoco ya que las variaciones, no muy grandes, de la distancia focal serán detectadas y determinadas en el proceso de calibración.

Existe otra posibilidad de operar empleando la calibración de otra cámara que no se corresponda con la utilizada.

Al asignar la cámara a la imagen se nos mostrará un mensaje en el que se nos informará de que los parámetros de la cámara no corresponden con los obtenidos del fichero EXIF, el cual deberemos obviar.

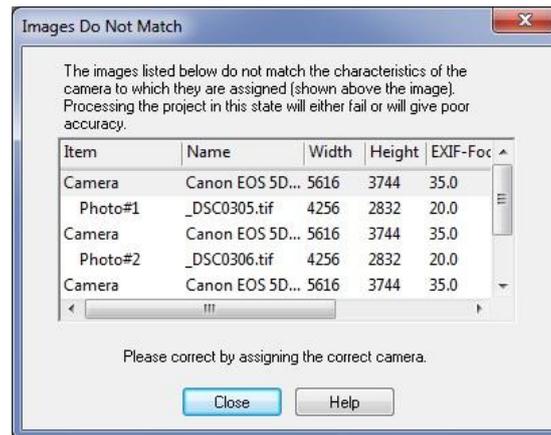


Imagen 5.38: Mensaje de no concordancia de parámetros

Se introducen puntos homólogos en todas las fotografías de forma precisa, y cuando se ha realizado la inserción de un número de puntos considerable se ha de realizar el cálculo de la calibración inversa aplicando el siguiente ajuste en las opciones de procesado:

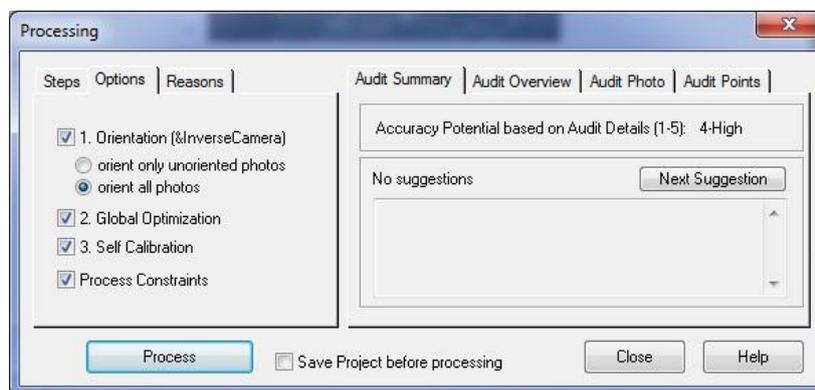


Imagen 5.39: Ventana opciones de procesado

De esta forma se recalcularán los parámetros de la calibración y se creará una cámara nueva dándote la opción de almacenarla también en la librería.

Se ha intentado realizar la calibración mediante este último proceso y no se han obtenido resultados satisfactorios en la prueba realizada. En teoría el correcto funcionamiento de este sistema, depende de alcanzar un número considerable de puntos (al menos 40 o 50 según algunos ejemplos encontrados en la red – www.worldphotogrametry.com); y de la precisión en la determinación de los mismos.

5.3.5 CALIBRACIÓN ORTHOWARE

Orthoware es un programa diferente en lo que a la calibración se refiere. Al igual que el resto de programas de restitución precisa los parámetros de distorsión de la cámara, pero su forma de obtenerlos es diferente a la forma habitual de ImageMaster y Photomodeler.

Para poder trabajar con Orthoware no es necesario disponer previamente ni del fichero de cámara, ni de los parámetros de la calibración. Es en el propio proceso de trabajo cuando este programa calcula dichos parámetros.

Al contrario que los otros dos programas utilizados, Orthoware no calcula la calibración a partir de fotografías de una hoja de calibración o patrón materializado; sino que la realiza a partir de los puntos emparejados en las fotografías del propio proyecto que se está ejecutando, después de haber sido correctamente orientado.

En realidad el proceso de calibración de Orthoware es similar a la calibración inversa de Photomodeler. Orthoware se vale de los puntos homólogos obtenidos por correlación automática para realizar la calibración de la cámara o cámaras del proyecto, dependiendo de la opción elegida.

Opciones de calibración

Orthoware permite realizar la calibración de un modelo de cámara o de múltiples modelos de cámara según se requiera.

Para poder realizar la calibración, los puntos homólogos marcados (a partir de ahora se denominarán “marks”) deben estar perfectamente identificados y emparejados; ya que la calidad de la calibración depende de cómo se haya realizado este proceso de identificación y emparejado.

Para la calibración existen dos opciones principales:

Single Camera Calibration -> Se realiza la calibración de un único modelo de cámara con el cual se han tomado todas las imágenes del proyecto

Multiple Camera Calibration -> Se calibran un número indefinido de modelos de cámara, uno para cada imagen.

Para realizar la calibración se accede a la pantalla correspondiente en el menú: **Project -> Cameras -> Calibration.**

Para poder realizar la calibración es necesario que existan al menos 8 puntos 3D, aunque bien es cierto que la calibración será mejor cuantos más puntos tenga disponible el programa para realizar la calibración, siempre que estén correctamente identificados y emparejados.

La calibración se realiza únicamente de las imágenes que se encuentran seleccionadas. Si se quiere realizar una “Single Camera Calibration” para un grupo de imágenes, pero existe otro tomadas con otro modelo de cámara, será necesario bloquear la orientación de las que no queremos realizar la calibración y de este modo podríamos ya proceder a calibrar el grupo deseado seleccionándolas previamente.

En la práctica, las funciones “Single Camera Calibration” y “Multiple Camera Calibration” son dos opciones las cuales tienen una aplicación bien definida.

La “Single Camera Calibration” se utiliza cuando todas las fotografías del proyecto están tomadas con la misma cámara y con la misma configuración de enfoque, zoom y focal.

Por el contrario, la “Múltiple Camera Calibration” nos permite poder enfocar cada imagen por separado. Si se hace esto, aunque todas las imágenes se han tomado con la misma cámara la focal varía levemente entre fotografía y fotografía; por esto será necesaria una calibración independiente para cada fotografía.

Esta posibilidad de utilización del Autofocus “AF” nos supone una gran ventaja ya que nos aseguramos que todas las fotografías estarán correctamente enfocadas, lo que en ocasiones con un objetivo fijo puede resultar ciertamente complicado.

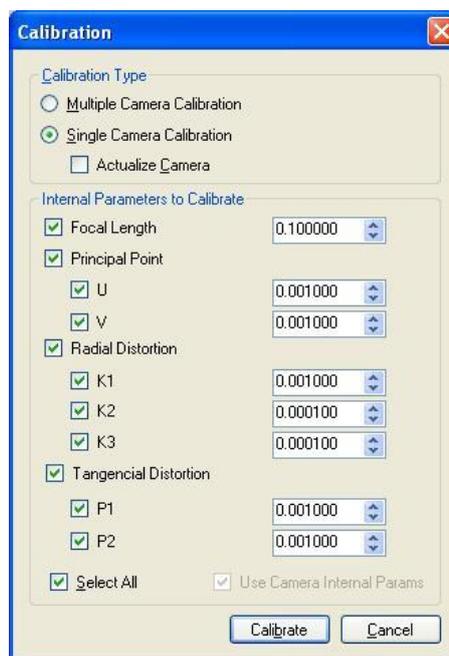


Imagen 5.40: Pantalla opciones para la calibración

Las opciones que se presentan en la calibración, como se puede ver en la imagen anterior, son las siguientes:

Actualize Camera -> Actualiza los parámetros de foto calculados a la cámara cuando se finaliza la calibración.

Refresh Orientation -> Actualiza la orientación a la vez que calcula los parámetros internos.

Use Camera Internal Params -> Utiliza los parámetros internos correspondientes a la cámara, en vez de los de cada fotografía.

Se pueden seleccionar los parámetros que queremos que sean calculadas. En las cajas de texto se puede seleccionar la precisión con la que queremos que se calcule cada parámetro. El programa va calculando el parámetro iterativamente y cuando el valor calculado del parámetro en la última iteración tiene una variación respecto a la anterior menor que el valor de precisión indicado dará el valor del parámetro como bueno.

Una vez que se ha realizado la calibración; en la pantalla del modelo de cámara se muestran los parámetros calculados que anteriormente se encontraban a 0.

La consulta de la pantalla de modelos de cámara se realiza en el menú: **Project -> Cameras -> Models.**

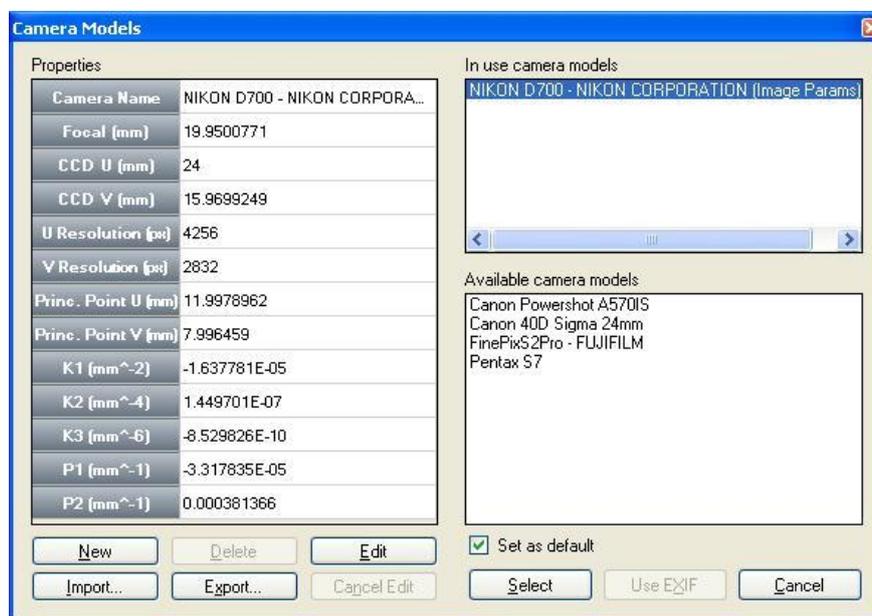


Imagen 5.41: Pantalla modelos de cámara, parámetros de cámara calculados

Como se ve en la imagen, este programa calcula el parámetro K3 por defecto, que anteriormente se ha comentado que no es estrictamente necesario para cámaras normales. Se puede calcular si se quiere obtener una calibración más precisa.

Breve comparación de las calibraciones

A pesar de que en el proyecto existe un apartado específico para la comparación de las cualidades y procesos de cada programa, únicamente realizar un breve resumen de los puntos más importantes.

La principal diferencia entre las calibraciones es la capacidad de intervención que tiene el usuario sobre los resultados. Mientras que en Igemaster el proceso es completamente automático, no permitiendo ni seleccionar los parámetros de distorsión que se quieren calcular; en Photomodeler y Orthoware si existe esta opción. De los tres programas, el que más permite la interacción es Photomodeler, lo que resulta un punto a favor.

Otra cualidad de los programas es que tanto Photomodeler como Orthoware permiten la calibración inversa sin necesidad de calibración previa; lo que tiene como consecuencia la posibilidad de utilizar el autofocus "AF" en la toma de fotografías ("multiple camera calibration" en Orthoware).

5.4 FLUJO DE TRABAJO

5.4.1 FLUJO DE TRABAJO EN IMAGE MASTER

Image Master es un programa de la casa Topcon para la generación de modelos 3D y ortofotos a partir de fotografías estereoscópicas.

El flujo de trabajo en Image Master resulta bastante cerrado. Se trata de una serie de pasos que hay que seguir para la generación del modelo y las ortofotos. El esquema del flujo y los pasos a realizar son los siguientes:

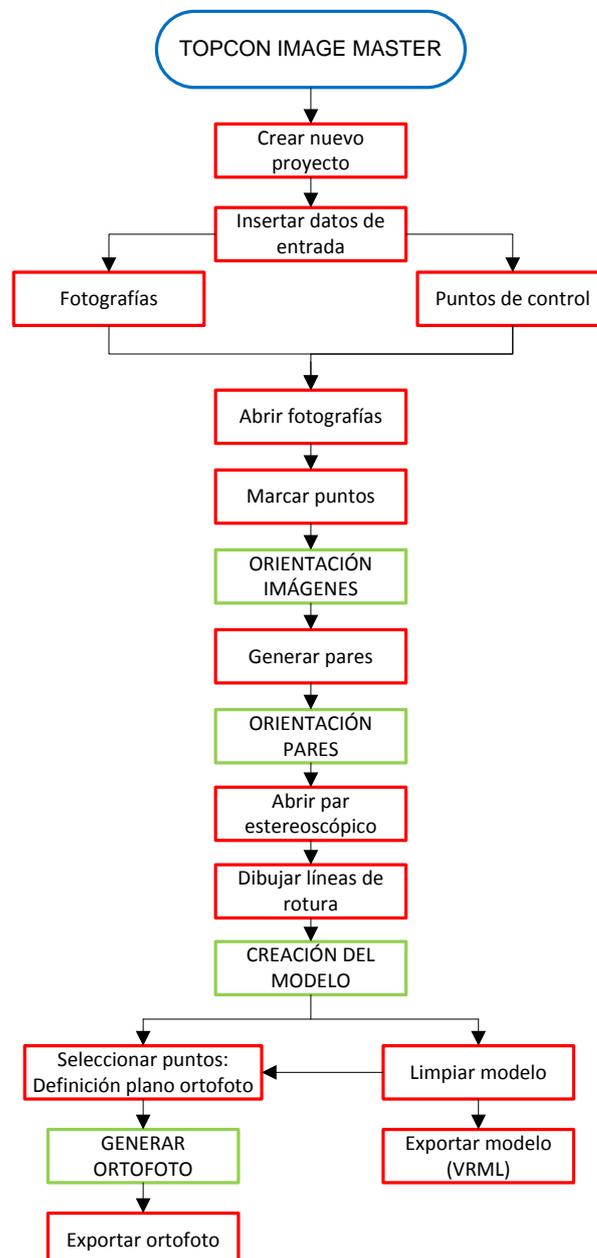


Diagrama 5.2: Flujo de trabajo en ImageMaster

Paso 1: Crear un proyecto nuevo

En la pantalla principal del programa se pulsa sobre “New Project”, marcado en la imagen; y emerge la ventana en la que hay que indicar el nombre del proyecto y la ruta en la que se quiere ubicar.

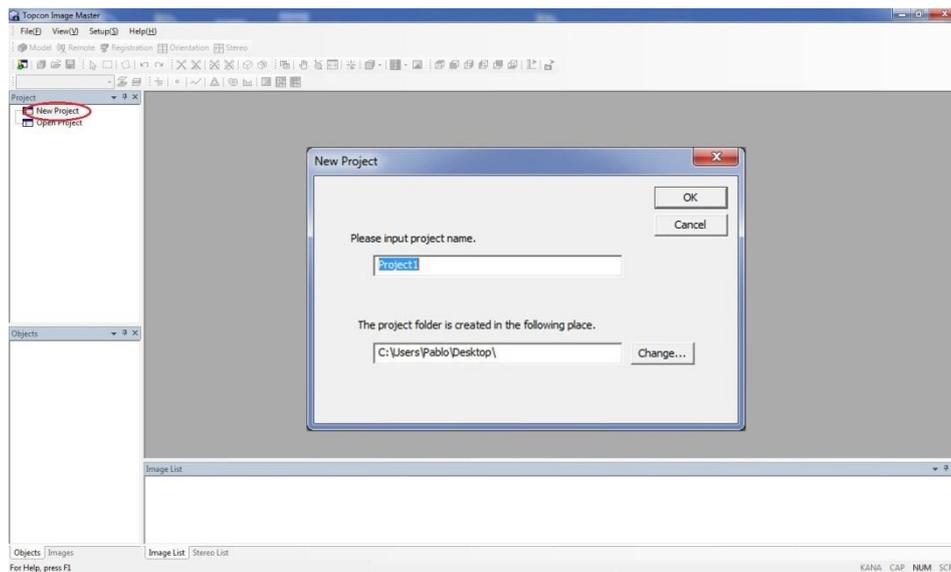


Imagen 5.41: Pantalla principal y nuevo proyecto

Paso 2: Abrir imágenes

Primero hay que acceder al modo “Orientation” y para abrir las imágenes hay que accionar el icono de la cámara de fotos:



Aparece la ventana en la que hay que seleccionar la carpeta en la que se encuentran las imágenes que se quieren abrir.

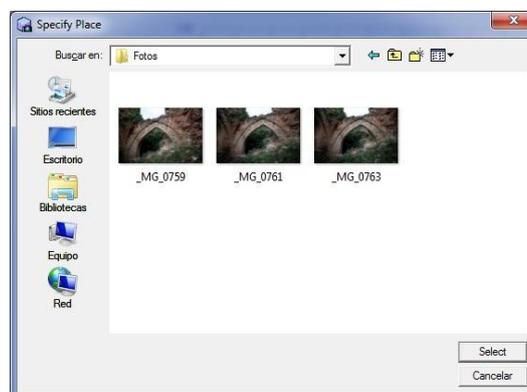


Imagen 5.42: Pantalla para especificar la ubicación de las fotografías

Una vez seleccionada la carpeta aparece otra ventana en la que se permite la selección de las fotografías individualmente.

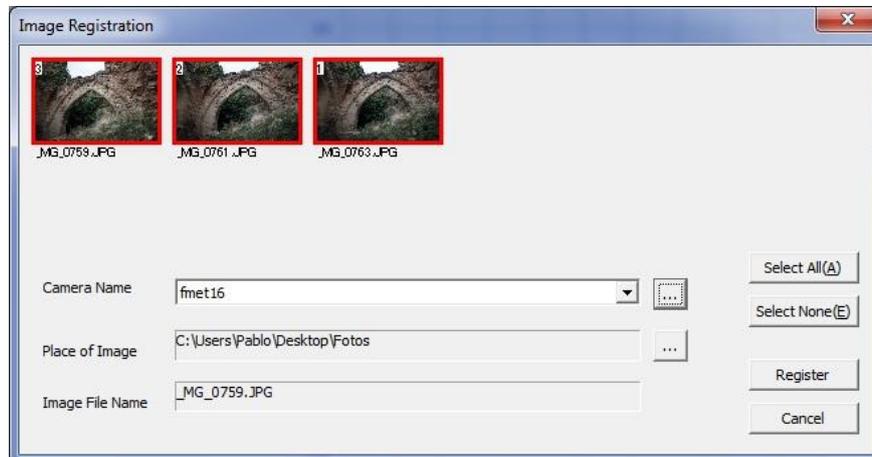


Imagen 5.43: Ventana registro de imágenes

En esta pantalla se selecciona también el fichero de cámara resultante de la calibración con el programa Image Master Calib.

El fichero tiene el siguiente aspecto:

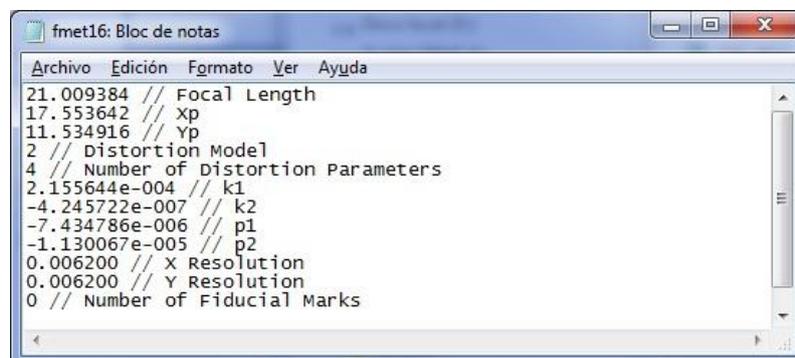


Imagen 5.44: Fichero de cámara

Cuando se han realizado todas las selecciones se pulsa el botón “Register”.

Aparece el siguiente mensaje:



Imagen 5.45: Ventana copiar imágenes en carpeta proyecto

Lo más cómodo es responder que sí pero si son muchas fotos la carpeta de proyecto puede llegar a pesar demasiado y resultar menos manejable.

Las imágenes aparecen en la pantalla principal del programa abriéndose realizando doble click sobre cada una de ellas.

En la siguiente imagen se muestra la pantalla principal del programa en el modo de orientación con las tres imágenes que se han importado abiertas.

Al abrirlas aparece la imagen completa en un recuadro y en el otro la zona ampliada que delimita el recuadro azul que indica el área de visualización del zoom en la foto completa.

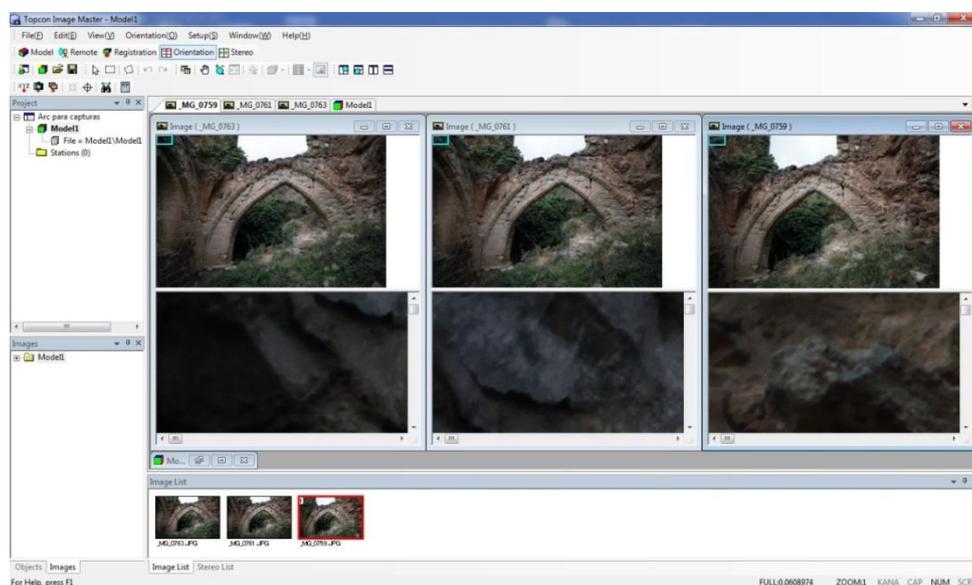


Imagen 5.46: Pantalla principal con las imágenes abiertas

Paso 3: Importación de los puntos de control

Para acceder a la importación de los puntos de control hay que pulsar el siguiente icono:



En la ventana de abrir los puntos de control se selecciona el fichero ASCII con las coordenadas.

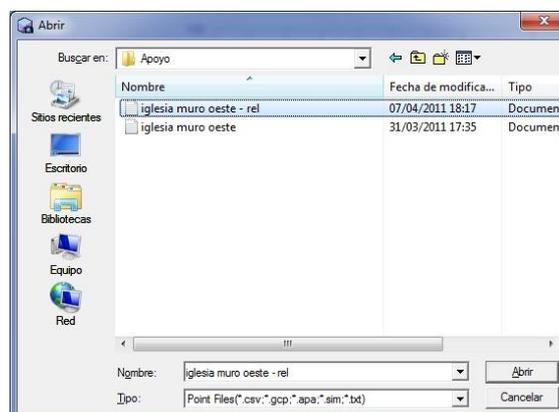


Imagen 5.47: Ventana abrir puntos de control

Es recomendable introducir los puntos de control en coordenadas desplazadas, para esto se recomienda restar un número fijo a las coordenadas de todos los puntos, en nuestro caso 540000 metros a las coordenadas X y 4680000 a las coordenadas Y. Esto se recomienda para que el programa pueda realizar los cálculos más fácilmente.

Una vez seleccionado el fichero aparece la siguiente ventana:

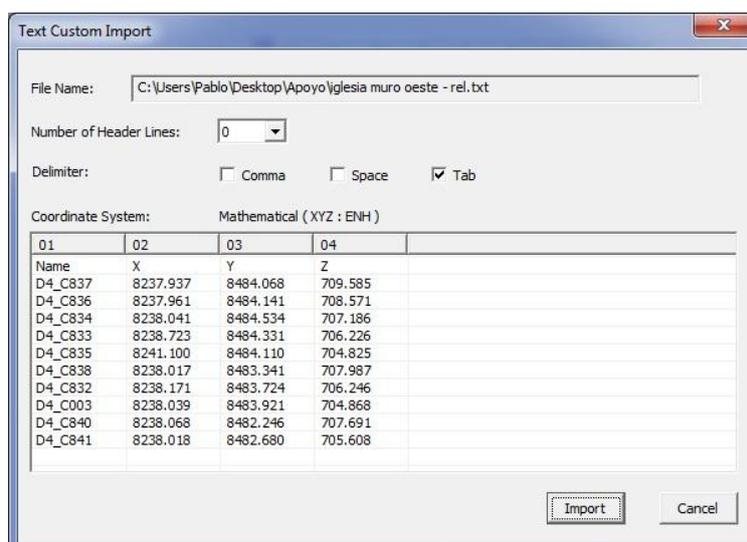


Imagen 5.48: Ventana personalización de la importación

Hay que indicar el número de líneas de cabeceras que tiene el fichero y el elemento por el que están separadas las coordenadas.

Al importar las coordenadas se muestra el siguiente mensaje de confirmación:



Imagen 5.49: Mensaje de confirmación de la carga de los puntos de control

Una vez completada la carga de los puntos, aparecerán a partir de este momento en el modelo. Los puntos se han cargado en una capa que recibe el nombre del fichero que los contenía.

Es necesario importar los puntos de control para poder realizar la orientación de las fotografías.

En la siguiente imagen se ve el modelo en el que aparecen los puntos que han sido importados.

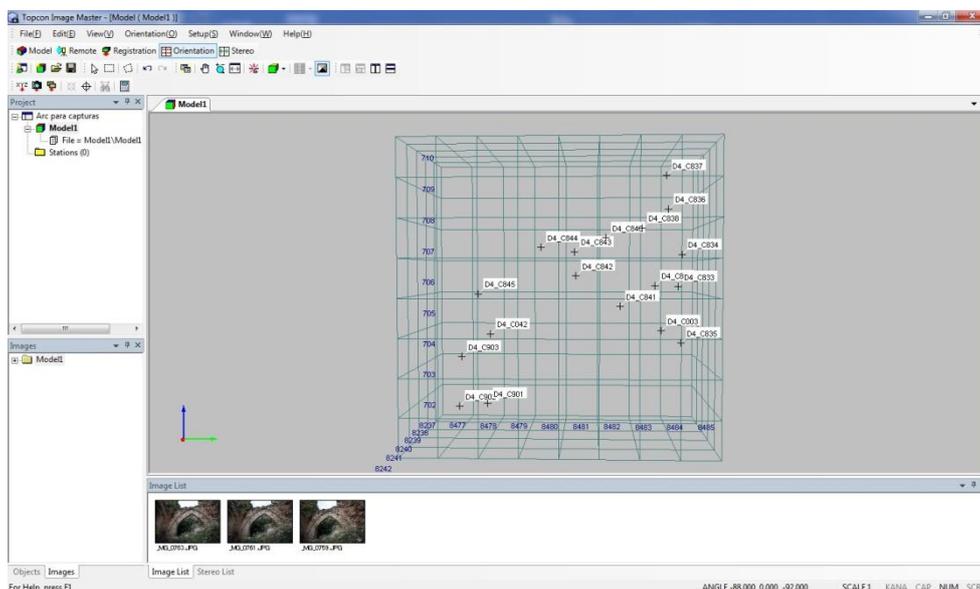


Imagen 5.50: Pantalla modelo con los puntos importados

Paso 4: Marcado de puntos de control

Este es el paso previo a la orientación de las imágenes. Con las fotografías abiertas se pulsa el siguiente icono para abrir la ventana para la inserción de puntos:

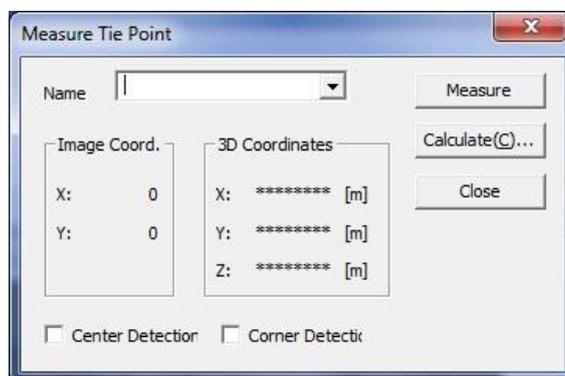


Imagen 5.51: Ventana medición de puntos

La forma de proceder es la siguiente: se selecciona un punto de los que aparecen en la lista del cuadro de texto de la anterior ventana pulsando sobre la flecha. Se marcan los puntos correspondientes al seleccionado en la lista en todas las fotografías. Una vez marcados se pulsa el botón “Measure” para marcar definitivamente los puntos.

Es necesario tener cuidado al marcar los puntos, ya que dependiendo del modelo, puede resultar bastante fácil confundirse. Hay que intentar marcar el punto lo más precisamente posible en el centro de la diana, aunque esto afectará en el resultado tampoco es necesario hacer muchísimo zoom para intentar marcar el punto en la fotografía.

En la siguiente imagen se muestran las fotografías con todos los puntos de control correctamente identificados:

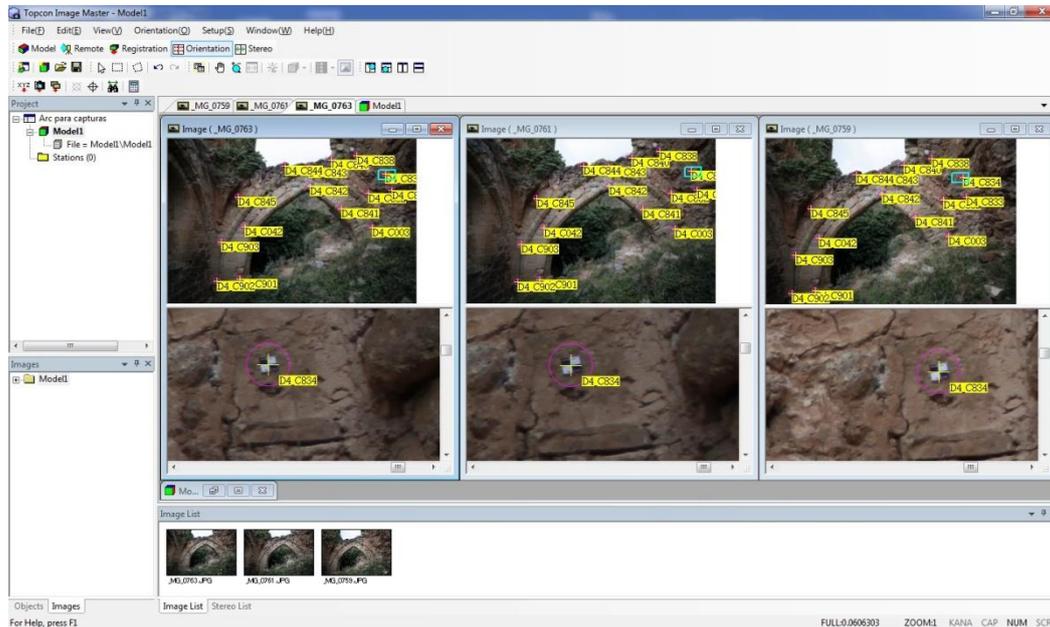


Imagen 5.52: Imágenes con los puntos importados

Paso 5: Orientación de las fotografías

Para ejecutar la orientación de las fotografías, existen dos posibilidades. Se puede realizar la orientación pulsando el botón “Calculate” en la ventana de medición de puntos, o pulsando en icono en el que aparece una calculadora:



Una vez que se ha calculado, se muestra la pantalla de resultados:

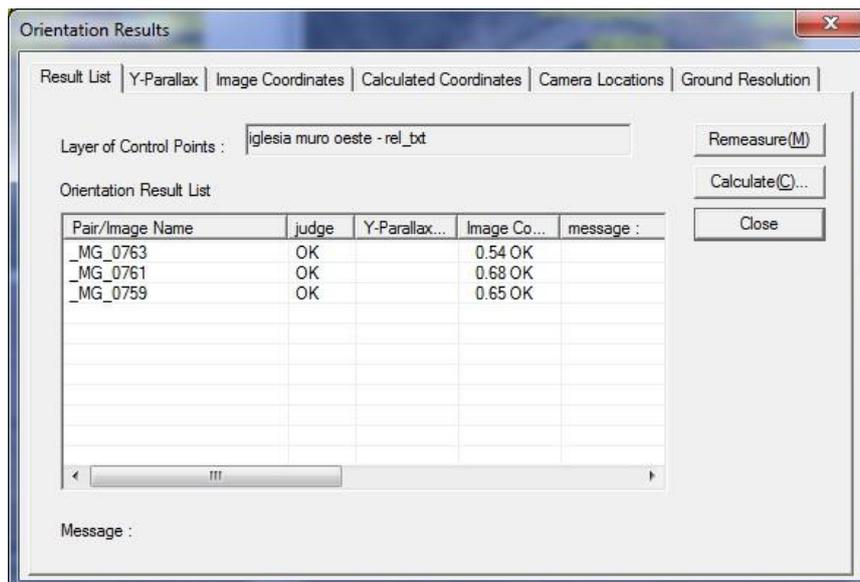


Imagen 5.53: Ventana resultados de la orientación (Result List)

Esta pantalla tiene varias pestañas en las que se muestran los diferentes resultados de la orientación.

En la primera, denominada “Result List”, se muestra el valor del residuo medio junto a un “OK” si el resultado es bueno (menor que 1 píxel); o nada si no es bueno. En la columna denominada “judge” se muestra un veredicto respecto a la orientación de la foto. Si el veredicto es correcto aparece como “OK”. Si no es correcto se muestra la razón en la columna “message”.

En la siguiente imagen se muestra la pestaña “Image Coordinates”:

Image Name	Point Name	dxy[pixel]	judge	message
_MG_0761	D4_C833	1.31		
_MG_0759	D4_C902	1.29		
_MG_0759	D4_C042	1.09		
_MG_0763	D4_C833	1.08		
_MG_0759	D4_C901	1.08		
_MG_0761	D4_C838	1.04		
_MG_0761	D4_C840	0.95	OK	
_MG_0761	D4_C832	0.91	OK	
_MG_0763	D4_C003	0.88	OK	
_MG_0761	D4_C841	0.83	OK	
_MG_0763	D4_C902	0.79	OK	
_MG_0759	D4_C841	0.63	OK	
_MG_0759	D4_C838	0.63	OK	
_MG_0761	D4_C003	0.61	OK	
_MG_0759	D4_C840	0.58	OK	
_MG_0759	D4_C833	0.58	OK	
_MG_0763	D4_C842	0.56	OK	

Imagen 5.54: Ventana resultados de la orientación (Image Coordinates)

En esta lista se muestra los puntos con mayor error en píxeles indicando también en la fotografía que se encuentran. En caso de haber obtenido un veredicto negativo para la orientación se puede probar a eliminar los puntos con mucho error para intentar mejorar el resultado.

La otra pestaña de nuestro interés es la “Calculated Coordinates”:

Point Name	X [m]	Y [m]	Z [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
D4_C901	8237.8849	8478.6111	702.5769	-0.0011	0.0011	0.0009
D4_C902	8238.1007	8477.7812	702.5227	0.0017	-0.0008	-0.0023
D4_C903	8238.1443	8477.8708	704.0610	0.0003	-0.0002	0.0000
D4_C042	8237.9002	8478.7171	704.7405	-0.0008	0.0011	0.0005
D4_C845	8237.9540	8478.3443	705.9854	0.0000	0.0003	0.0004
D4_C840	8238.0675	8482.2451	707.6906	-0.0005	-0.0009	-0.0004
D4_C841	8238.0177	8482.6776	705.6088	-0.0003	-0.0024	0.0008
D4_C842	8237.9870	8481.3440	706.5352	0.0000	-0.0000	0.0002
D4_C843	8238.1295	8481.3056	707.2709	-0.0005	-0.0004	-0.0011
D4_C844	8237.9750	8480.2822	707.4080	-0.0000	0.0002	0.0000

Imagen 5.55: Ventana resultados de la orientación (Calculated Coordinates)

En esta pestaña se muestran las coordenadas calculadas de cada uno de los puntos marcados y el diferencial de las mismas respecto a las coordenadas de la importación.

Estos diferenciales son tan pequeños porque únicamente cuantifican el resultado de los cálculos realizados por el programa sin tener en cuenta otras fuentes de error como el procedente de la medición de coordenadas.

Paso 6: Creación de los pares

Para crear los pares se deben seleccionar las dos imágenes que lo van a formar, teniendo en cuenta seleccionar en primer lugar la fotografía izquierda del par.

El icono para definir el par es el siguiente: 

El trabajo con los pares se realiza en el modo denominado "Stereo". En la imagen se muestra este modo con los pares ya creados:

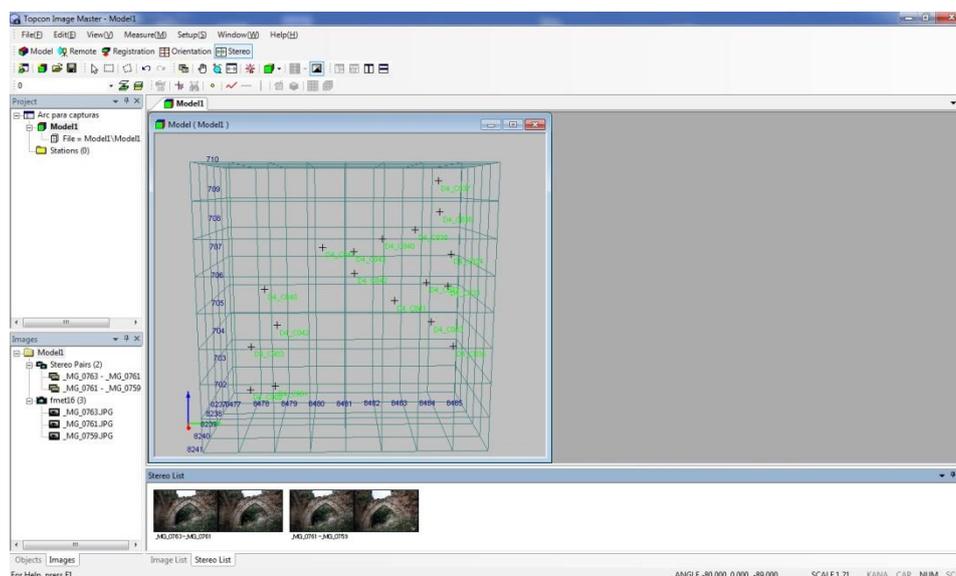


Imagen 5.56: Pantalla principal con los pares creados

Una vez tenemos los pares creados es necesario recalcular la orientación, con el mismo icono que en el paso anterior. Una vez creados los pares, el programa requiere volver a procesar la orientación.

Si se crean los pares antes de orientar las imágenes, sólo sería necesario realizar la orientación una única vez.

En esta ocasión la pantalla de resultados varía mostrando los siguientes resultados:

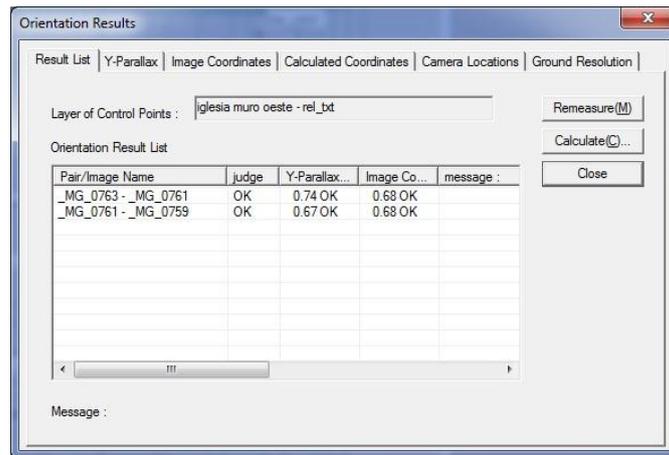


Imagen 5.57: Ventana resultados de la orientación de los pares (Result List)

En esta ocasión además de mostrar el residuo medio se muestra el paralaje del par, dando otra vez veredicto de si el resultado es correcto o no.

Paso 7: Dibujado de las líneas de rotura

El primer paso es abrir los pares haciendo doble click sobre los mismos.

Las líneas de rotura son una serie de líneas que se dibujan en los bordes de los elementos en los que hay un salto, de esta forma se le ayuda al programa a modelar la superficie. Los triángulos que se crean no cruzan las líneas de rotura.

Para crear las líneas es necesario activar el siguiente icono:



Las líneas se dibujan en 3D, por lo tanto es necesario según se va dibujando ir haciendo coincidir las cruces en el mismo elemento en ambas fotografías. Existe la posibilidad de que el programa lo haga por correlación, lo cual es bastante recomendable. Esta opción se activa con el siguiente icono:

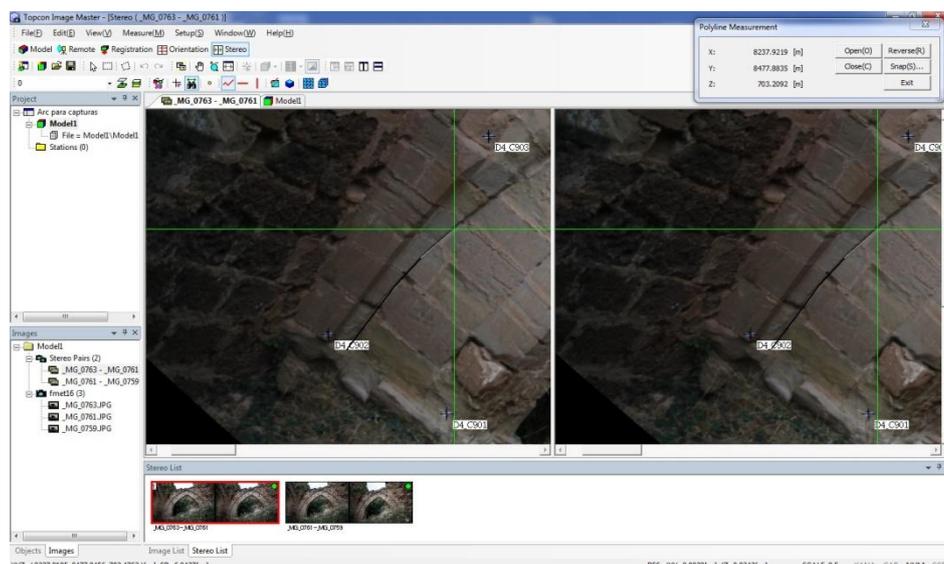


Imagen 5.58: Proceso de dibujo de las líneas de rotura

El resultado que se obtiene es el siguiente:

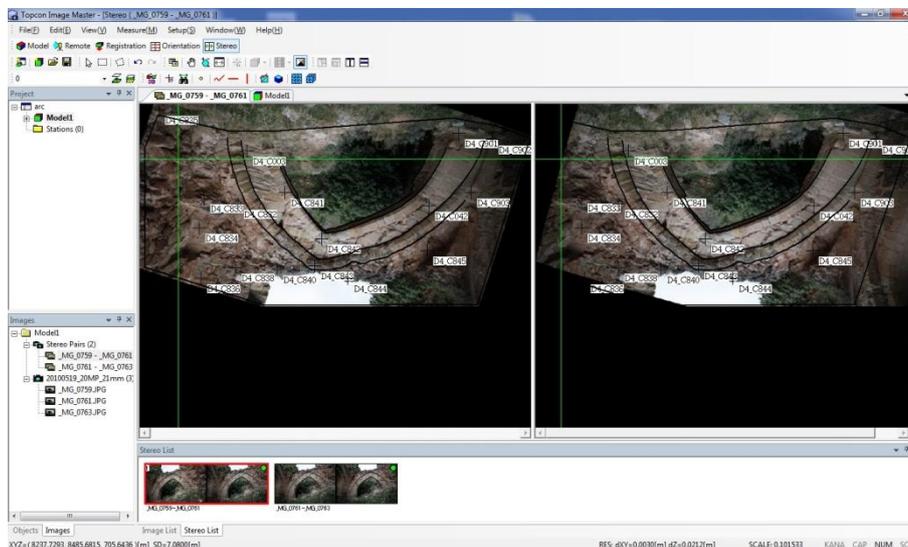


Imagen 5.59: Par con líneas de rotura dibujadas

También es necesario dibujar una polilínea que limite el área del que se quiere realizar la superficie, como se ha hecho en la imagen anterior.

Paso 8: Generación de la superficie

Para generar la superficie hay que seleccionar la polilínea que limita el área que se quiere mallar y pulsar el icono  si se quiere mallar un único par, o  si se quieren combinar varios pares.

Aparece entonces una pantalla de opciones, en la cual debemos indicar la capa en que queremos crear la superficie; el intervalo de los puntos de la nube que generará la malla, si estamos utilizando polígono exterior o líneas de rotura, el filtrado y la textura que queremos utilizar. En el botón “Select Pair” seleccionaremos los pares que se quieren utilizar para el mallado.

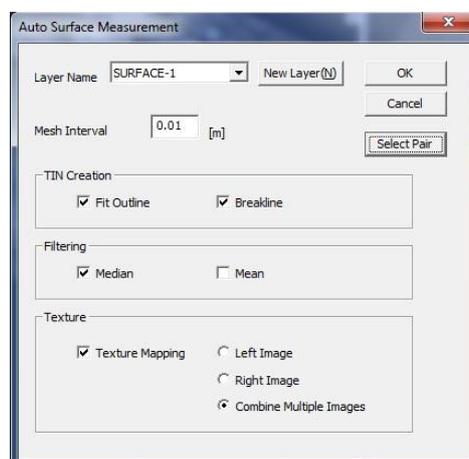


Imagen 5.60: Ventana opciones de creación de superficie

El resultado obtenido en este ejemplo es el siguiente:

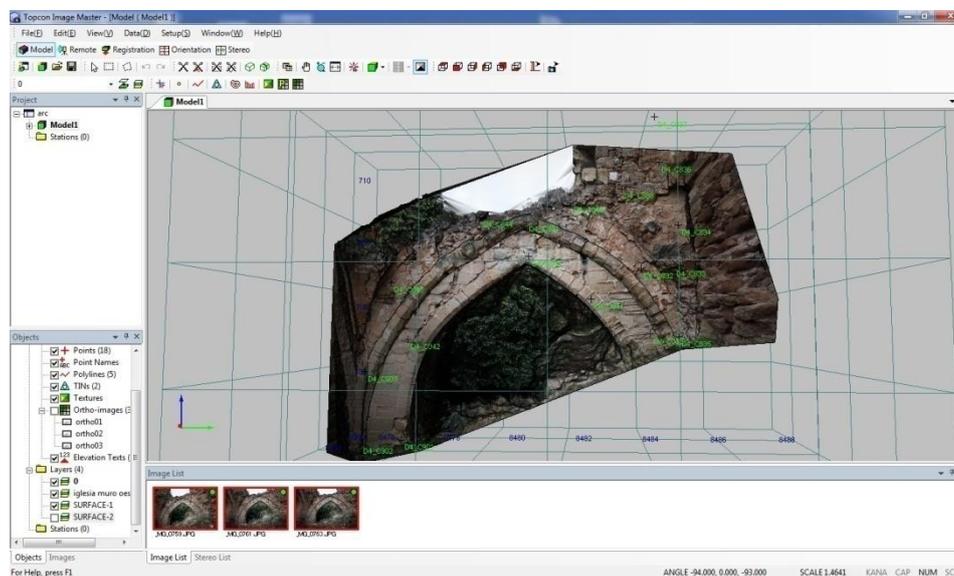


Imagen 5.61: Modelo con la superficie creada

Paso 9: Generación de la ortofoto

Primero hay que definir el plano de la ortofoto. Para su definición se deben indicar dos puntos de control que definirán el eje X. El eje Y será siempre el definido por las coordenadas Z de los puntos de control.

Para definir el eje XY es necesario en el modo "Model" accionar el icono

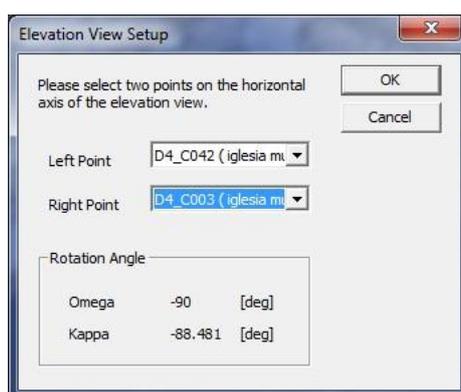


Imagen 5.62: Ventana configuración de la vista de elevación

No existe la posibilidad de definir el plano imagen de la ortofoto mediante tres puntos, por lo que nos obliga a que el eje Y de la ortofoto se corresponda siempre con el Z del sistema de coordenadas utilizado. Esta es una opción que Image Master no nos permite, y que otros programas, como Photomodeler sí que lo hacen.

Para crear la ortofoto se pulsa el icono:



El resultado es el que aparece en la imagen.

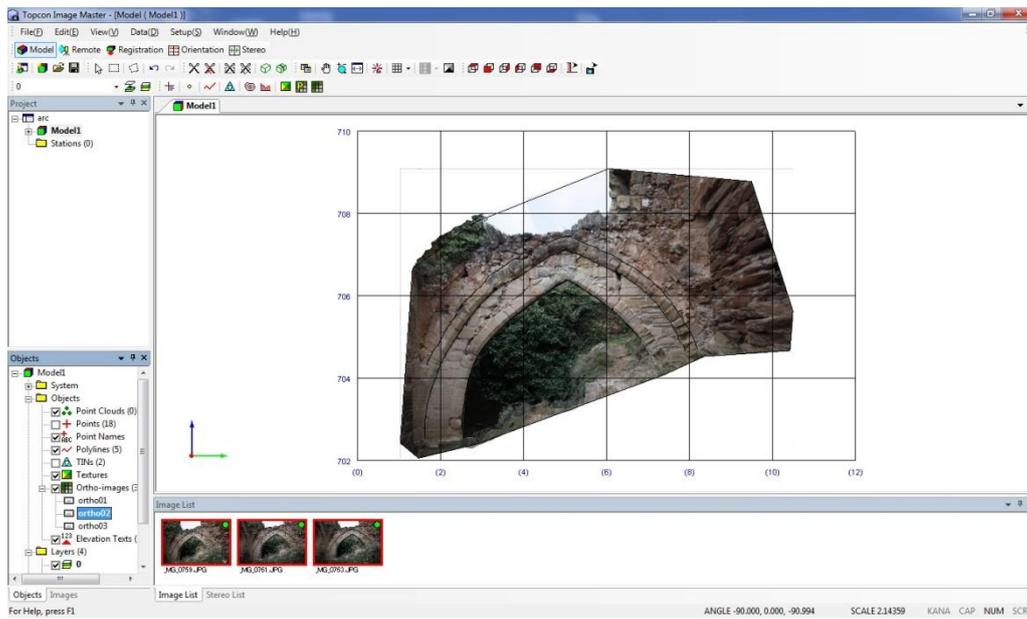


Imagen 5.63: Pantalla con la ortofoto creada

Paso 10: Exportación de la Ortofoto

La exportación de la ortoimagen se realiza en el menú **File -> Export -> Ortho-image File**.

Se ha de indicar el nombre y la ubicación donde se quiere guardar.

El resultado es el siguiente:



Imagen 5.64: Ortofoto exportada

En esta ortofoto aparecen elementos que no nos interesan y que deberán ser eliminados. Esto se puede realizar en el mismo programa editando la malla y eliminando todos los triángulos que no nos interesan y volviendo a crear y exportar la ortofoto, o de forma más rápida y cómoda en un programa de edición de imágenes como Photoshop.

Paso 11: Limpieza del modelo

Para eliminar los triángulos que no nos interesan deberemos pulsar el icono de selección e ir borrando los triángulos sobrantes.



El resulta final es el siguiente:

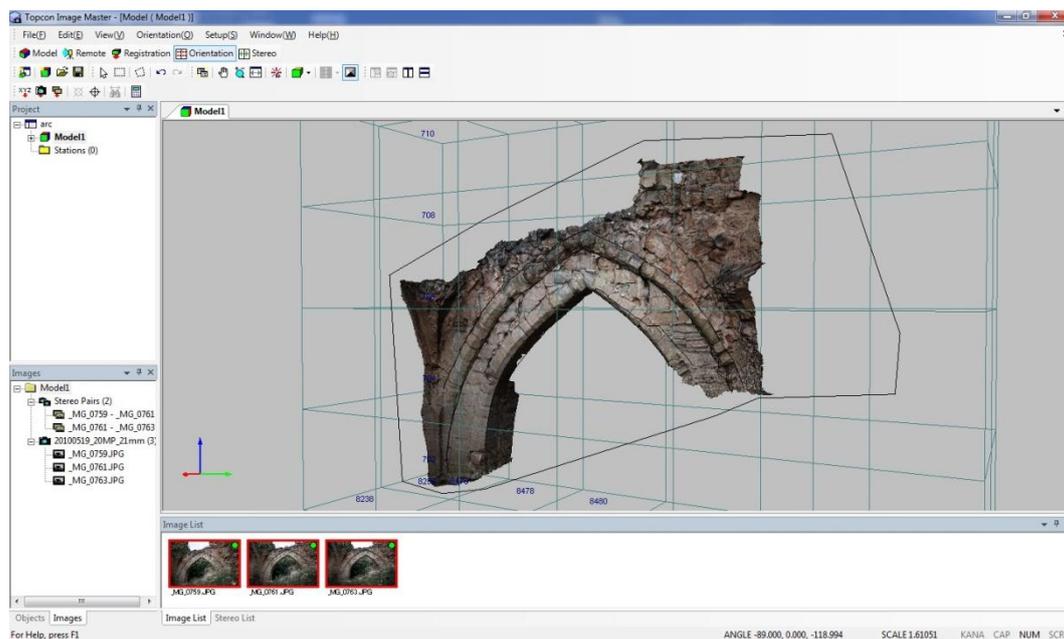


Imagen 5.65: Malla recortada

La exportación del modelo se realiza en el menú: **File -> Export -> Shape File**.

Esta exportación se puede realizar a formato DXF, TIN y VRML. Esto permite la utilización de la malla en una amplia variedad de programas, en los que se podrá gestionar y editar la superficie.

La exportación de la malla es posible de realizar desde la creación de la misma, aunque en nuestro caso se espera a que haya sido limpiada.

También se puede esperar a tener la malla limpia para realizar la generación y exportación de la ortofoto; y de esta forma nos ahorraríamos parte de la edición que posteriormente requiere la ortofotografía.

5.4.2 FLUJO DE TRABAJO EN PHOTOMODELER SCANNER

Photomodeler Scanner se trata de un software que permite la elaboración de modelos digitales en tres dimensiones a partir de fotografías digitales de un objeto. Permite también la obtención de ortofotos.

El diagrama del flujo de trabajo es el siguiente:

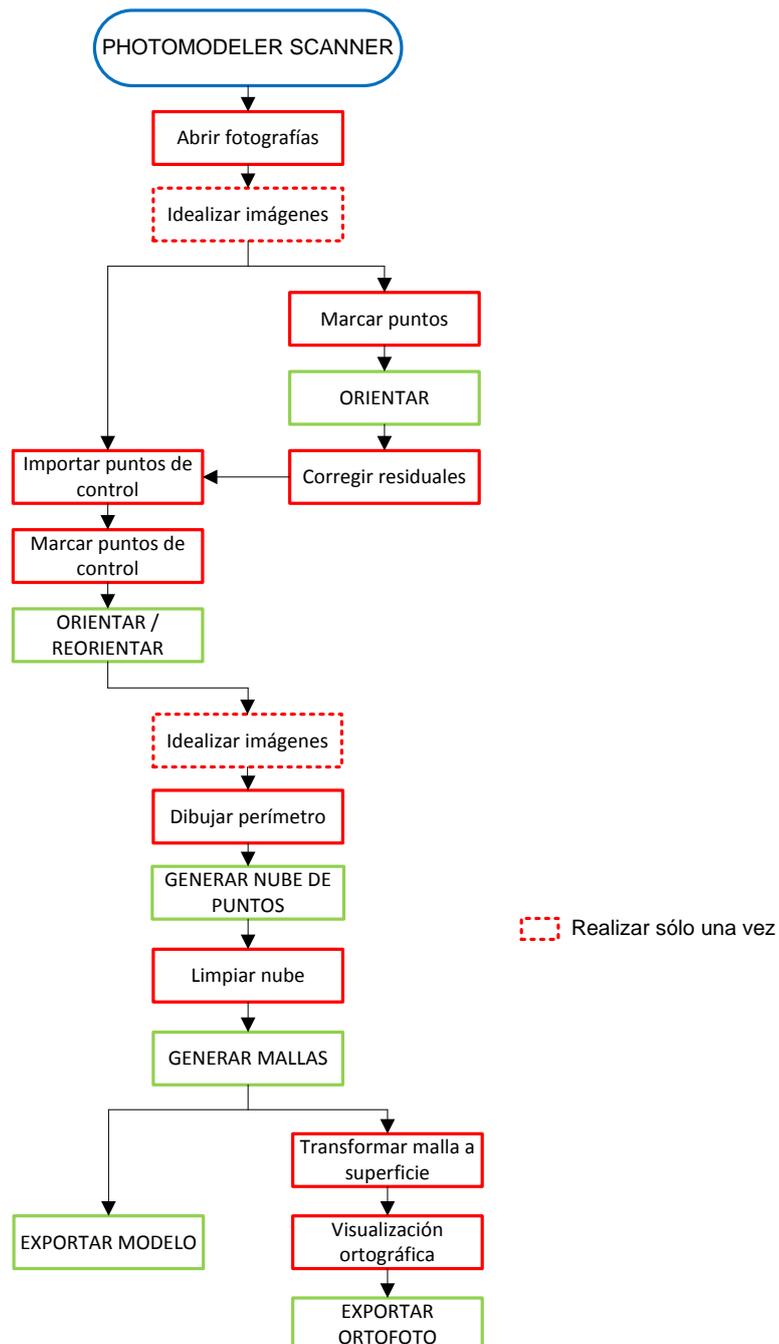


Diagrama 5.3: Flujo de trabajo en PhotoModeler Scanner

Paso 1: Iniciación del proyecto

Una vez se ha iniciado el programa, para crear el proyecto hay que seleccionar la opción **“Point-based project”** marcada en la siguiente imagen.

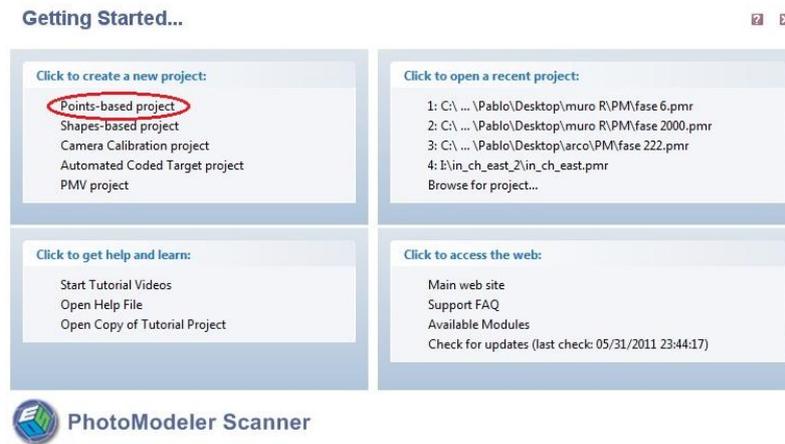


Imagen 5.66: Pantalla de inicio de Photomodeler

Tras esto nos aparecerá la ventana en la que deberemos seleccionar las fotografías que vamos a utilizar en el proyecto.

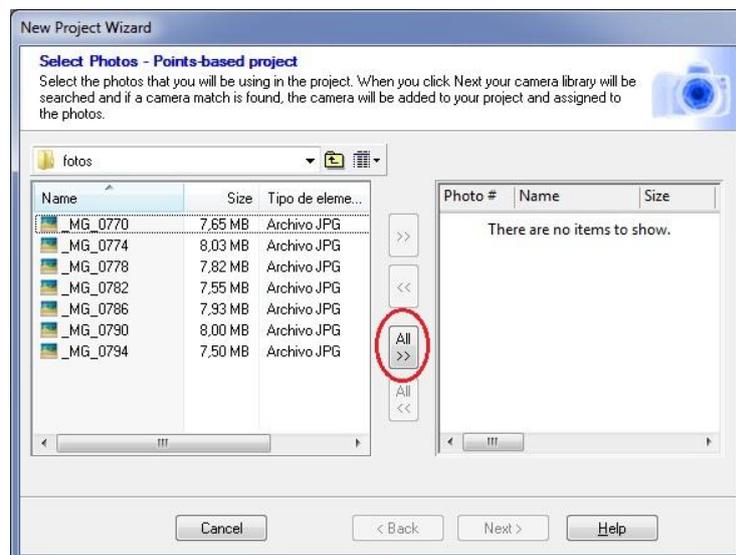


Imagen 5.67: Pantalla de selección de imágenes

Para seleccionar las fotografías es necesario seleccionar y pasarlas al recuadro de la derecha, se puede hacer esta operación de forma individual con cada selección de fotografías o pasar directamente todas las fotografías pulsando el botón indicado en la imagen anterior.

El siguiente punto a definir es la cámara con la que se han realizado las fotografías. En el caso de no haberse trabajado nunca con esa cámara en el ordenador, será necesario seleccionar el fichero de cámara o un proyecto en la que se utilice la misma cámara que la del proyecto actual.

En nuestro caso como se había utilizado con anterioridad, el ordenador reconoce que las fotografías han sido tomadas con una cámara conocida debido a los datos del fichero EXIF.

En este caso, se nos da la opción de seleccionar la cámara de la librería que queremos utilizar en el proyecto, seleccionando la calibración más actual de la que disponemos.



Imagen 5.68: Pantalla de selección de cámara

El programa nos muestra entonces un mensaje informativo de que todas las fotos han sido asignadas a la cámara de la librería que hemos seleccionado.



Imagen 5.69: Mensaje de aviso de asignación de cámara

El programa también muestra un mensaje recomendando importar únicamente unas pocas fotografías debido a esto puede dar lugar a algún error en la identificación de puntos.



Imagen 5.70: Mensaje de aviso

En este momento accederemos a la pantalla principal del programa en la que podremos ver las imágenes que hemos seleccionado marcadas con un aspa roja, la cual indica que las imágenes

no han sido orientadas. Podemos abrir la visualización de las imágenes haciendo doble click sobre las mismas.

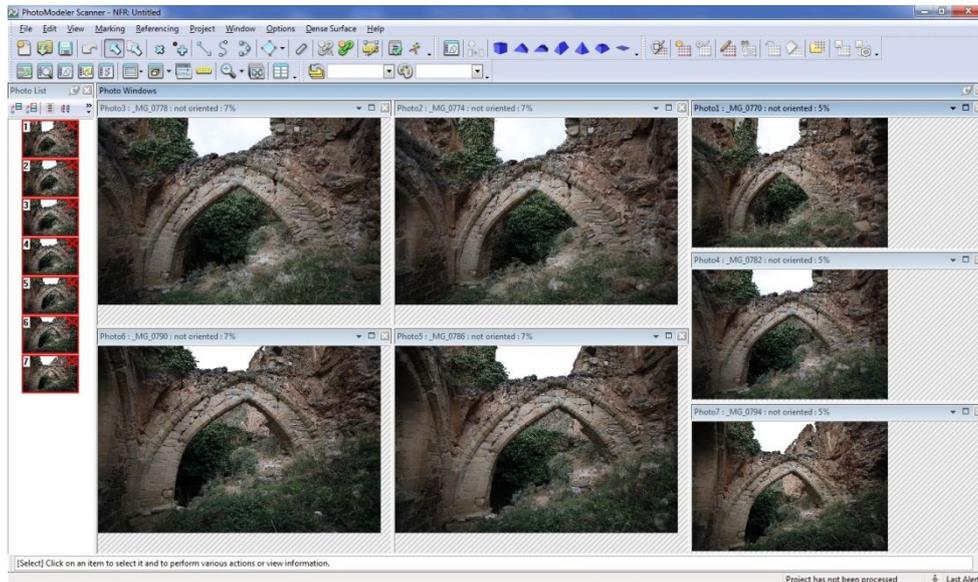


Imagen 5.71: Fotografías sin orientar

Paso 2: Identificación de puntos homólogos

El marcado de los puntos sobre la fotografía se realiza en el modo "Referencia", el cual se activa accionando el siguiente icono: 

Se irán marcando punto por punto en todas las fotografías. Una de las fotografías se denomina como fotografía de referencia y es reconocible por tener un recuadro azul alrededor.



Imagen 5.72: Fotografías de referencia

Será en la fotografía referencia donde se deberá marcar siempre el primer punto. Para cambiar la fotografía referencia hay que salir del modo "Referencia" y volver a activarlo.

A continuación se muestran todas las imágenes con los puntos identificados y marcados:

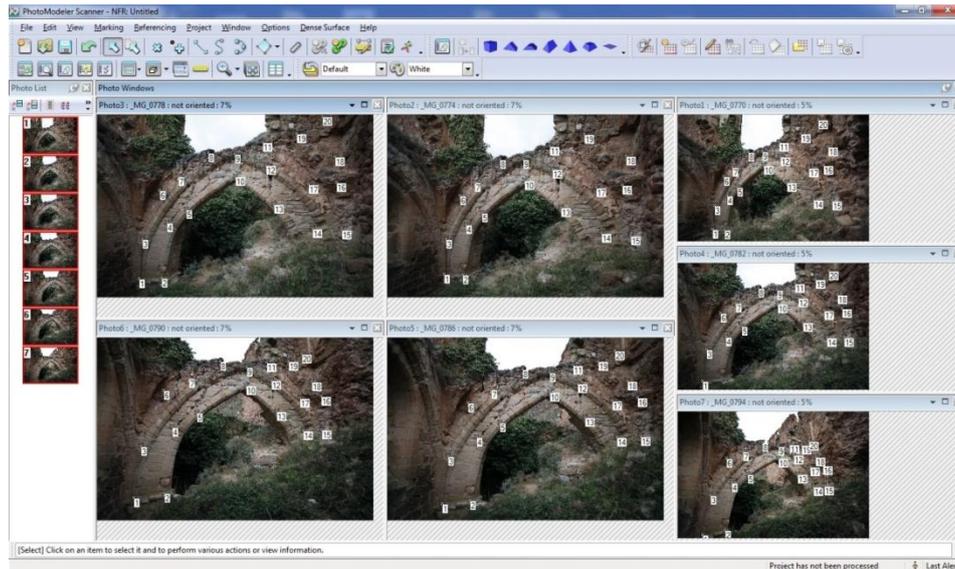


Imagen 5.73: Fotografías con los puntos identificados

El programa, cuando se han identificado el suficiente número de puntos para poder realizar la orientación, 6 puntos comunes en suficientes fotografías; muestra un mensaje en la esquina inferior derecha, advirtiéndonos de la posibilidad de procesar.



Imagen 5.74: Mensaje posibilidad de procesar

Es recomendable procesar cuando se tenga la posibilidad, ya que en las fotografías orientadas aparecerán las líneas epipolares siéndonos muy útiles en la identificación de los puntos restantes.

Paso 3: Orientación de imágenes

El procesado se realiza accionando el icono

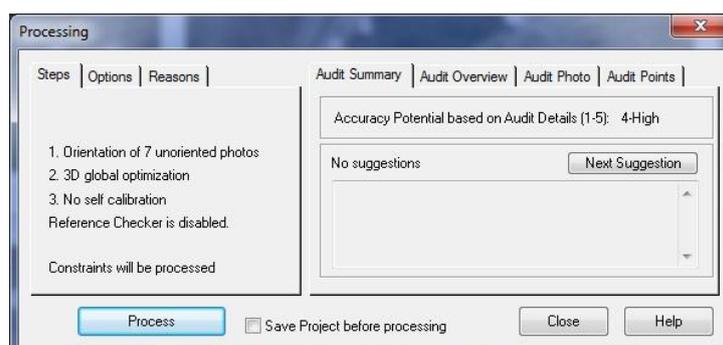


Imagen 5.75: Ventana de orientación

Las imágenes se orientarán pulsando el botón “Process”. Una vez realizada la orientación se muestra un mensaje en el que se indica el error de la orientación.



Imagen 5.76: Resultado de la orientación

Con la orientación realizada se pueden ver los puntos marcados en el visualizador 3D, así como las posiciones de la cámara en cada toma:



Imagen 5.77: Puntos y cámara en el visualizador 3D

Para comprobar la precisión de los puntos accedemos a los residuos a través del menú **View -> Point table – Quality**.

Point table - Quality													
Id	Name	RMS Residual (pixels)	Larg. Resic (pi...	Photo Largest Residual	Photos	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightne: ()	Angle (deg.)	Use In Proces...	Frozen	Ref. Check Tag
2		0.5536...	0.8958...	1	1,2,3,5,...	3.0152...	4.0673...	6.9854...	0.0003...	50.163...	yes	no	
14		0.4984...	0.8539...	4	1,2,3,4,...	5.4726...	3.1373...	5.6566...	0.0002...	52.221...	yes	no	
20		0.5645...	0.8291...	3	1,3,4,5,...	7.4771...	6.1508...	7.9941...	0.0001...	40.903...	yes	no	
7		0.5438...	0.8255...	3	1,2,3,4,...	2.9884...	3.4225...	7.9967...	0.0003...	54.290...	yes	no	
1		0.5499...	0.7894...	1	1,2,3,4,...	2.8790...	4.2254...	7.3041...	0.0002...	46.801...	yes	no	
9		0.4353...	0.7528...	2	1,2,3,4,...	4.1076...	3.7810...	7.4616...	0.0001...	55.297...	yes	no	
10		0.5214...	0.7350...	1	1,2,3,4,...	4.2888...	3.2612...	7.7201...	0.0002...	56.830...	yes	no	
15		0.5038...	0.7244...	3	1,2,3,4,...	5.6853...	3.2896...	5.0178...	0.0001...	49.273...	yes	no	
5		0.4036...	0.7007...	5	1,2,3,4,...	3.1088...	2.8640...	7.9160...	0.0001...	56.705...	yes	no	
6		0.4858...	0.6338...	7	1,2,3,4,...	2.8440...	3.1808...	8.2064...	0.0001...	51.648...	yes	no	

Imagen 5.78: Residuos de los puntos

Como se ve en la imagen el residuo mayor es 0,89 y corresponde al punto 2 en la imagen 1. Este resultado de la orientación puede ser mejorado moviendo los puntos sobre las imágenes. La forma de proceder es la siguiente:

En primer lugar debemos activar la visibilidad de los vectores de los residuos. Se fija el factor “magnify” en 50 para poder visualizar más fácilmente la dirección del error.

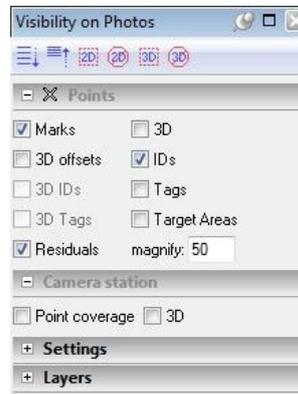


Imagen 5.79: Ventana visibilidad en las fotografías

Iremos desplazando de uno en uno los puntos que en la tabla se indican como de mayor residuo, en la dirección del vector; y procesando a medida que los modificamos.

Hay que tener en cuenta que se deberá desplazar el punto, únicamente para conseguir situarlo de una forma más correcta en el centro de la diana, sin alejarlo en ningún caso. De alejarlo, aunque el error resultase mejor, realmente no estaríamos obteniendo una orientación mejor o más precisa; sino que únicamente estaríamos maquillando el resultado para que los errores resultantes fuesen menores, en contraposición al rigor en la orientación.

El máximo residuo irá variando poco a poco. Podemos realizar este proceso hasta que el residuo de todos los puntos resulte bastante homogéneo.

A continuación se muestra el resultado después de este proceso. Como se ve el residuo máximo se ha reducido a la mitad:

Point table - Quality													
Id	Name	RMS Residual (pixels)	Larg. Resic (pi...	Photo Largest Residual	Photos	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightnes (Angle (deg.)	Use In Proces...	Frozen	Ref. Check Tag
14		0.2172...	0.3905...	3	1,2,3,4,...	2.8591...	1.6385...	2.9542...	0.0001...	52.227...	yes	no	
5		0.2301...	0.3901...	4	1,2,3,4,...	1.6239...	1.4959...	4.1336...	0.0001...	56.709...	yes	no	
13		0.2602...	0.3896...	2	1,2,3,4,...	2.6969...	1.4788...	3.5648...	7.7807...	56.622...	yes	no	
7		0.1914...	0.3872...	2	1,2,3,4,...	1.5607...	1.7880...	4.1760...	0.0001...	54.293...	yes	no	
1		0.2885...	0.3649...	5	1,2,3,4,...	1.5031...	2.2056...	3.8143...	0.0001...	46.809...	yes	no	
9		0.2176...	0.3629...	7	1,2,3,4,...	2.1456...	1.9761...	3.8971...	8.8838...	55.291...	yes	no	
3		0.2400...	0.3612...	5	1,2,3,4,...	1.3381...	1.4345...	3.7095...	8.7509...	50.346...	yes	no	
12		0.2608...	0.3580...	1	1,2,3,4,...	2.5205...	1.7307...	3.6335...	0.0001...	55.082...	yes	no	
6		0.2356...	0.3369...	4	1,2,3,4,...	1.4859...	1.6619...	4.2870...	9.3835...	51.644...	yes	no	
8		0.2357...	0.3289...	3	1,2,3,4,...	1.8322...	2.1395...	4.0943...	6.7806...	53.712...	yes	no	

Imagen 5.80: Residuos de los puntos corregidos

Paso 4: Inserción de los puntos de control

La importación del fichero de los puntos de control se realiza en el menú **File -> Imports**.

Aparece la ventana en la que se debe seleccionar el fichero de los puntos en formato ASCII sin cabeceras y separados por tabuladores.

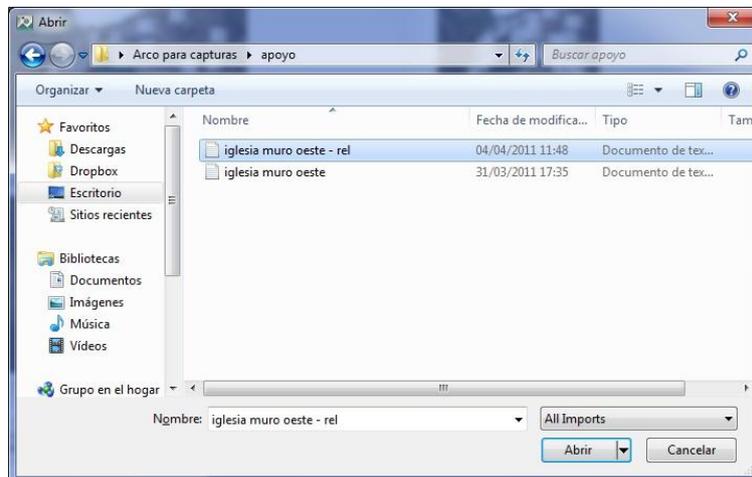


Imagen 5.81: Ventana importación del fichero de puntos de control

Al igual que se realiza en otros programas es recomendable introducir coordenadas relativas para facilitar todos los cálculos al programa. En caso de utilizar coordenadas UTM reales pueden surgir problemas en la visualización 3D ya que al programa le cuesta bastante procesar.

Existen dos opciones de importación. La primera opción es importar los puntos como fijos lo que indica que tendrán unas coordenadas fijas inalterables y que forzarán a la orientación a una posición concreta.

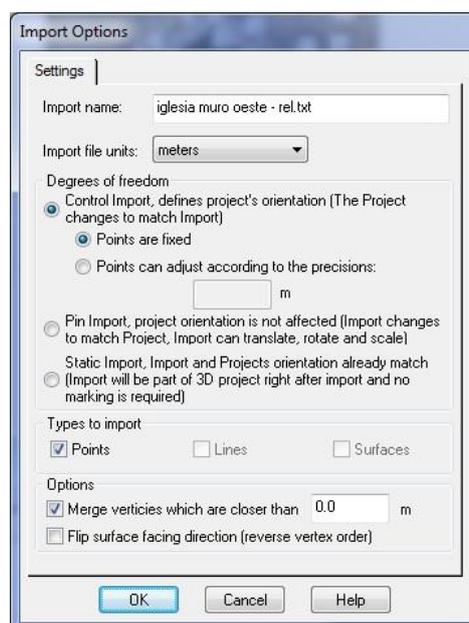


Imagen 5.82: Ventana opciones de importación (puntos fijos)

También se pueden importar indicando la precisión con la que se han medido las coordenadas de los puntos con la estación total, lo que permitirá cierta holgura a la hora de la orientación.

En el caso de marcar los puntos como fijos es necesario haber realizado muy bien la medición de las coordenadas y el identificado de puntos sobre las fotografías, sino los residuos de los puntos se nos dispararán considerablemente.

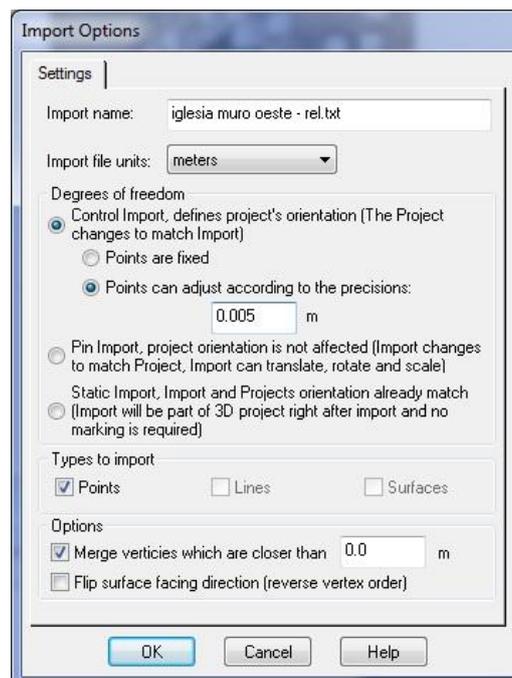


Imagen 5.83: Ventana opciones de importación (precisión 5 mm)

En nuestro caso marcamos la precisión de los puntos como 5 milímetros.

Una vez importado el fichero se abre la ventana de importaciones en las que se muestran los puntos para poder ser emparejados con los puntos identificados en las fotografías.

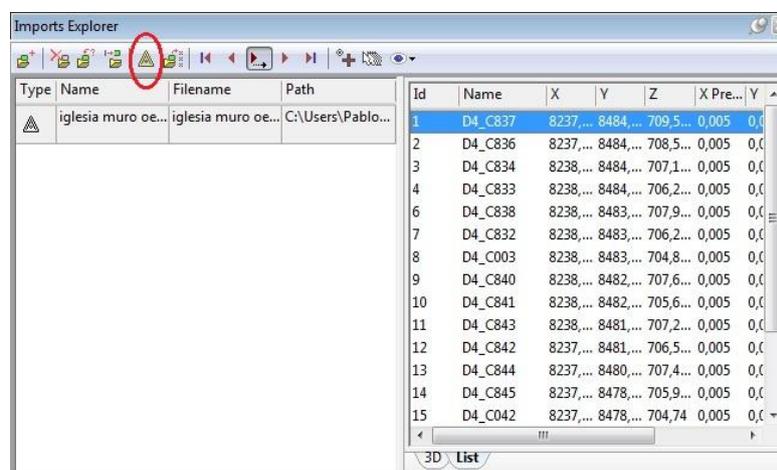


Imagen 5.84: Explorador de importaciones

Para emparejar los puntos se deben seleccionar en la lista o en la vista 3D y tras pulsar el icono marcado en la imagen se selecciona el punto correspondiente en la fotografía.

Al emparejar los puntos de control, los errores de los puntos se disparan; ya que el programa ha dado unas coordenadas relativas a los puntos cercanos al origen; y ahora le estamos indicando las coordenadas verdaderas, aunque recortadas, de los puntos.

En la siguiente imagen se ven los puntos de control marcados en la fotografía:



Imagen 5.85: Fotografía con puntos de control antes de procesar

Por la razón anteriormente descrita debemos volver a procesar el proyecto pero realizando la orientación de todas las fotografías. En la imagen siguiente se ve la configuración que se debe marcar en las opciones de procesado:

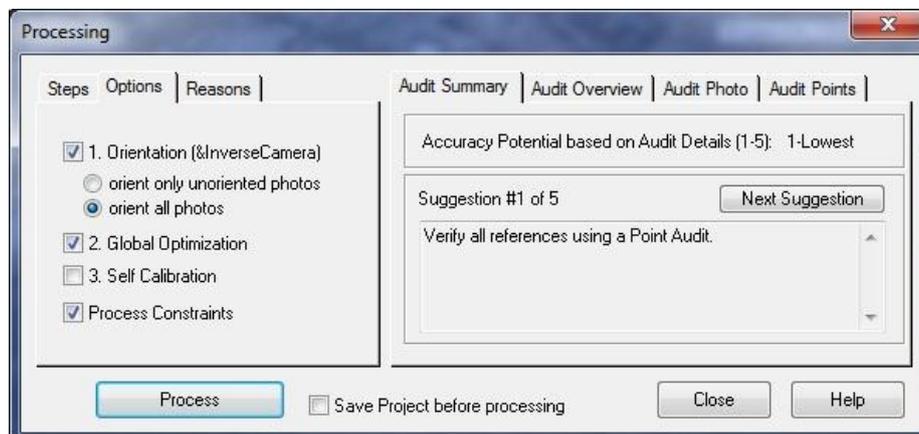


Imagen 5.86: Ventana opciones de procesado

En residuo de los puntos tras procesar vuelve a sus valores habituales.



Imagen 5.87: Fotografía con puntos de control después de procesar

Paso 5: Idealizado de las imágenes

Este paso se puede realizar en cualquier momento pero es necesario antes de generar las nubes de puntos.

Idealizar las imágenes significa corregir de distorsión, para lo cual se utilizan los parámetros de distorsión de la cámara calculados al realizar la calibración de la misma, y los cuales el programa obtiene del fichero de cámara.

Las imágenes se idealizan en el menú **Project -> Idealize Project**.

Aparece entonces la siguiente ventana en la que se debe indicar las imágenes que se quieren idealizar, y pulsar el botón "Execute".

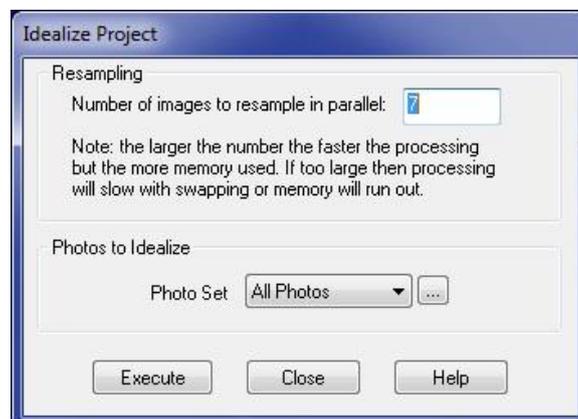


Imagen 5.88: Ventana de idealización del proyecto

Cuando finaliza el idealizado se muestra el siguiente mensaje:

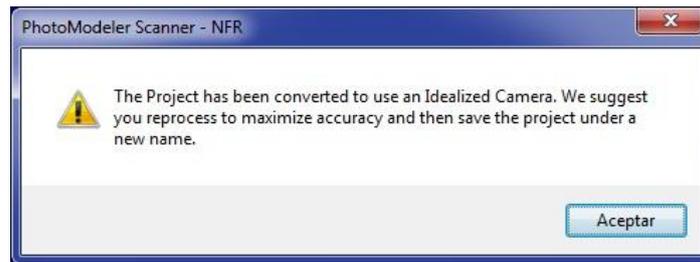


Imagen 5.89: Mensaje de confirmación del idealizado

Tras el idealizado es necesario volver a procesar ya que los puntos de las imágenes se han movido ligeramente.

Así mismo, es necesario también ejecutar el guardado del proyecto de forma previa a la elaboración de las mallas y nubes de puntos. En caso de hacerlo el propio programa nos mostrará un mensaje al respecto:

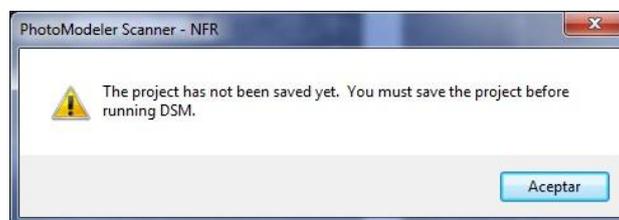


Imagen 5.90: Mensaje aviso necesidad de guardar el proyecto

Una vez guardado ya se puede proceder a la creación de las nubes de puntos.

Paso 6: Creación de la nube de puntos

De forma previa a la generación de las nubes hay que dibujar en las fotografías el contorno de la zona de la que se quiere obtener la superficie. Para dibujar este límite hay que pulsar el siguiente icono:

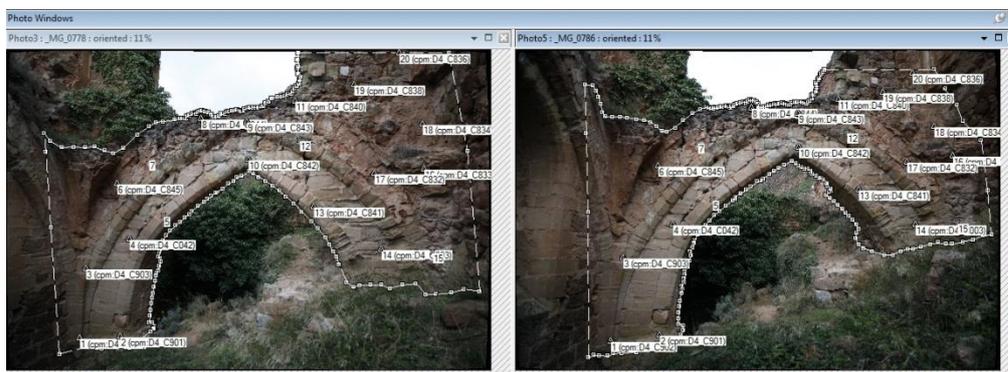


Imagen 5.91: Imágenes con el contorno dibujado

Cuando se han marcado estos contornos se puede proceder a la creación de las nubes.

Se accede a la ventana correspondiente a través del menú **Dense Surface -> Create Dense Surface...**

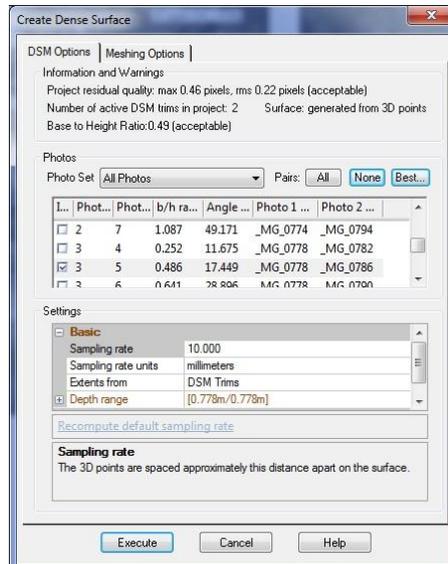


Imagen 5.92: Ventana crear nubes de puntos

En esta ventana se puede realizar la selección de los pares que se quieren utilizar para la creación de las nubes de puntos.

Hay que configurar una serie de parámetros de los cuales se recopila a continuación la descripción que el programa hace de ellos:

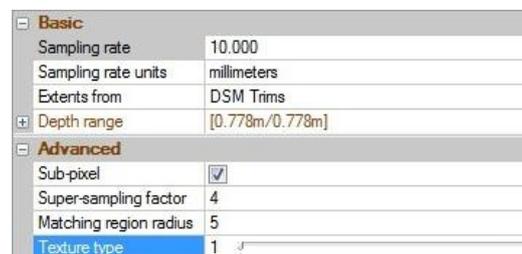


Imagen 5.93: Opciones creación de nubes

Sampling rate -> Intervalo de los puntos de la nube de puntos.

Depth range -> Intervalo de profundidad en el que se escanearán los puntos de la nube.

Sub-pixel -> Se utiliza para obtener superficies más precisas. Más lento pero suele ser necesario.

Super-sampling factor -> Un factor que se utiliza en el método de Subpixel. Cuanto más alto sea el factor, menos artefactos ondulados en la superficie resultante, pero la fase de subpixel será más lenta. 2 ó 4 por lo general van a funcionar.

Matching Region Radius -> El tamaño de la mitad del área de correlación utilizado en la búsqueda. Cuanto mayor es más lento, con resultados más suaves, pero quizás útil si las características de la textura son grandes. Cuanto más pequeño es más rápido, pero puede ser más ruidoso.

Texture type -> 1 = Las imágenes origen tienen una débil textura aleatoria que no se repite. 10 = Las imágenes origen tienen una textura de repetición regular. Un número más bajo produce un resultado más denso, pero a veces con más ruido. Un elevado número produce una escasa...

Después de las pruebas realizadas por mi compañero de laboratorio Miguel Moreno, y tras constatación a través de la experiencia, se pueden recomendar de forma genérica los valores de los parámetros avanzados que aparecen en la imagen anterior.

Existen también diferentes parámetros en los que basarse en el caso de que se quiera seleccionar el par con la mejor geometría.

Si se pulsa el botón "Best" se seleccionan los pares con mejor geometría en función de los parámetros que se indiquen en la siguiente ventana:

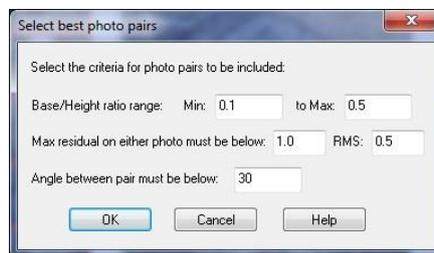


Imagen 5.94: Ventana seleccionar mejores pares de fotos

Cuando se han seleccionado los pares deseados se crearán las nubes de puntos pulsando el botón "Execute".

Durante el proceso se va indicando la parte del procedimiento que se está realizando, y finalmente el resultado como se muestra en la ventana:

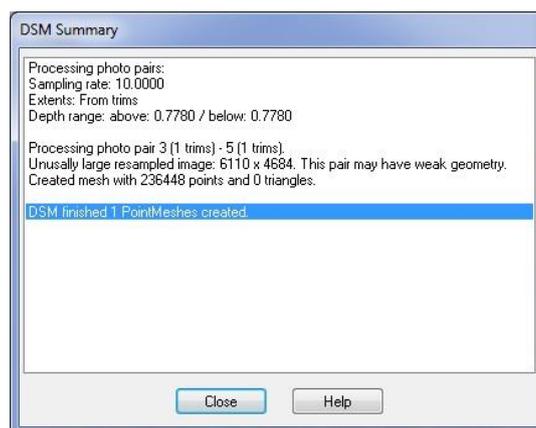


Imagen 5.95: Ventana resultado del proceso

A continuación se ve el resultado de la nube de puntos creada:

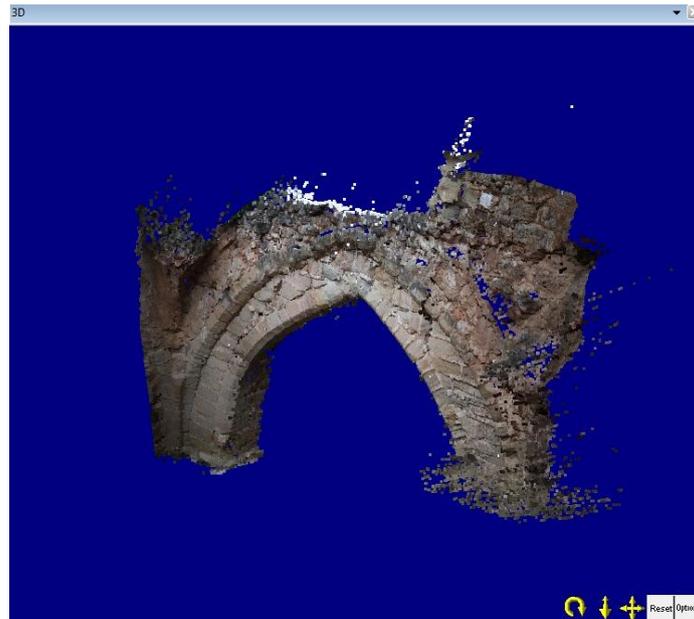


Imagen 5.96: Nube de puntos sin limpiar

Antes de crear la superficie es necesario limpiar el ruido y las zonas que no nos interesan.



Imagen 5.97: Nubes de punto limpia

Paso 7: Generación de la malla

A partir de la nube de puntos limpia se puede crear la malla, que se creará por triangulación de los puntos.

Se accede a las opciones para la creación de la superficie en el menú **Dense Surface -> Modify PointMesh**.

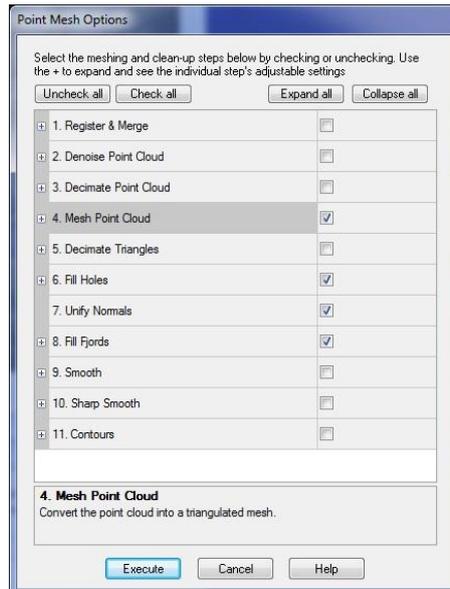


Imagen 5.98: Opciones de mallas de puntos

En esta ventana se seleccionan los procesos que se quieren ejecutar y se pulsa el botón “Execute”. La nube de puntos que se quiere mallar debe estar seleccionada.

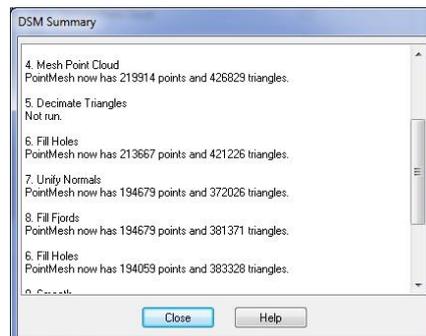


Imagen 5.99: Pantalla resultado creación de la malla

La malla resultante es la siguiente:

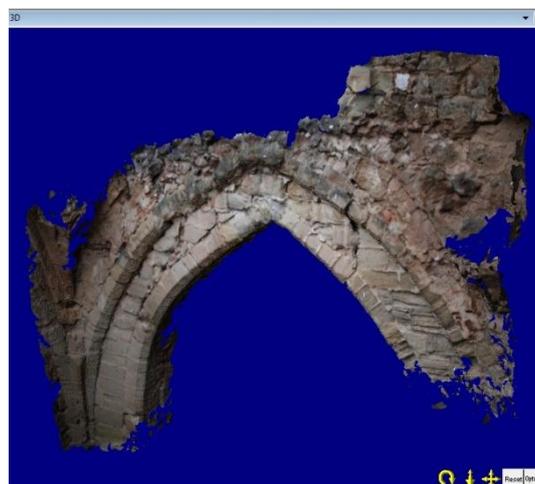


Imagen 5.100: Malla resultante

Paso 8: Generación de la ortofoto

De forma previa a la exportación de la ortofoto se debe transformar la malla de la que disponemos en una superficie, lo que se realiza con la malla seleccionada accionando el siguiente icono: 

Previamente, seguramente, deberemos reducir el número de triángulos que componen la malla ejecutando la opción “Decimate Triangles” de las opciones de mallas de puntos.

Una vez que hemos obtenido la superficie, debemos cambiar el modo de visualización del visualizador 3D a vista ortográfica.

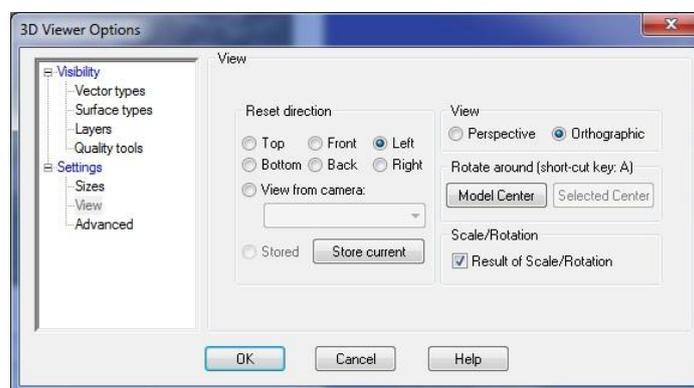


Imagen 5.101: Pantalla opciones del visualizador 3D

Para exportar la ortofoto se debe proceder a través del menú **File -> Exports -> Export Ortho Photo...**

Nos aparece la pantalla de exportación en la que debemos seleccionar el plano sobre el que queremos obtener la ortoimagen y la resolución de la misma.



Imagen 5.102: Pantalla exportación de ortofoto

Pulsando sobre el botón “Update preview” nos aparecerá en el recuadro superior derecho de la pantalla una visualización previa de el resultado de la ortofoto que va a ser exportada.

Una vez que se procede a la exportación, mediante el botón “Export”, es necesario indicar la ruta dónde se quiere guardar la ortofoto.

A continuación se muestra la ortofoto obtenida:



Imagen 5.103: Ortofoto obtenida con PhotoModeler

Breve comparación de los procesos

Al igual que se ha realizado tras los apartados de calibración, a pesar de que en el proyecto existe un apartado específico para la comparación de las cualidades y procesos de cada programa, únicamente realizar un breve resumen de los puntos más importantes.

Una de las principales diferencias entre Image Master y Photomodeler, es la capacidad de intervención sobre la generación de nubes de puntos y mallas que el segundo nos ofrece. Aunque en contraposición a esto, hay que decir que no se describe ningún patrón de utilización de los parámetros que se ofrece la posibilidad de ajustar; por lo que su utilidad se reduce muy considerablemente, ya que debemos guiarnos únicamente a través de la experimentación sin unas pautas que nos sirvan de soporte.

Otra diferencia, es también, que Image Master es completamente automático en la generación de las mallas, mientras que Photomodeler permite realizarla por pasos, pudiendo editar de forma previa la nube de puntos que va a generar la malla de triángulos.

Otro inconveniente de Image Master es la imposibilidad, al definir el plano imagen de la ortofoto, de seleccionar tres puntos para su definición. Solo se nos permite definir el eje X de la ortofoto, mientras que el eje Y va a ser siempre la vertical del modelo. Sin embargo en Photomodeler si que se nos da la posibilidad de definir el plano mediante tres puntos.

5.4.3 FLUJO DE TRABAJO EN MESHLAB

MeshLab es un programa libre creado por los alumnos de la Universidad de Pisa, el cual se puede utilizar para la edición de mallas y nubes de puntos, pudiéndose descargar de forma gratuita en la página “meshlab.sourceforge.net”.

En este apartado mostraremos como a partir de la exportación de una nube de puntos en PhotoModeler creamos una superficie en MeshLab. El diagrama es el siguiente:

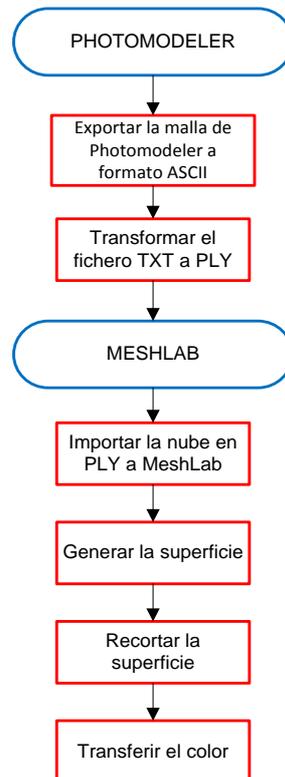


Diagrama 5.4: Flujo de trabajo en MeshLab

EXPORTACIÓN DE MALLAS DE PHOTOMODELER E IMPORTACIÓN EN MESHLAB

Una vez que tenemos creadas las mallas en PhotoModeler para poder utilizarlas en Meshlab debemos realizar la exportación.

La exportación se realiza a formato ASCII con extensión “.txt”, el cual contendrá las coordenadas XYZ de cada punto y los valores RGB asignados a cada punto a partir de las fotografías.

Paso 1: Exportación de la malla en formato ASCII (.txt)

Se abre la tabla de mallas (PointMesh table) en Photomodeler. Se selecciona la malla que se quiere exportar y se pulsa el icono indicado en la parte superior derecha de la siguiente imagen.

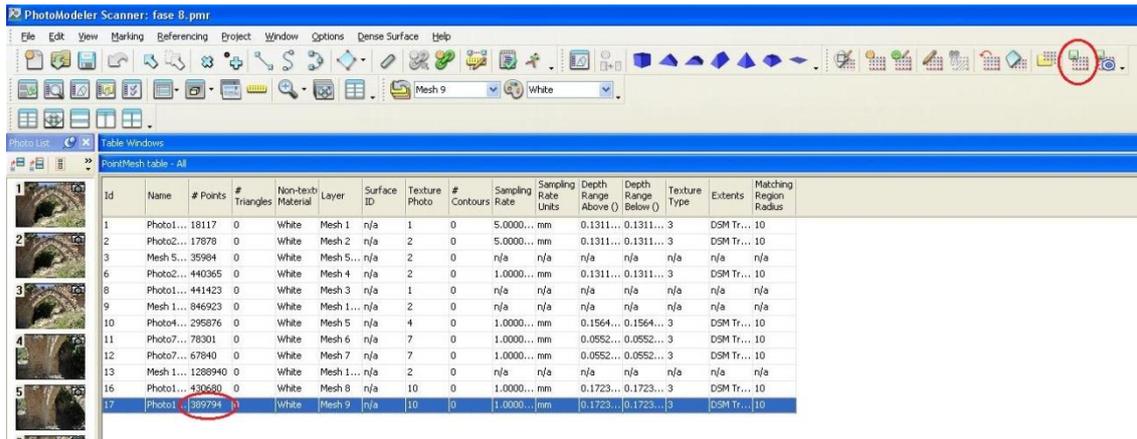


Imagen 5.104: Pantalla con la tabla de mallas

Hay que recordar el número de puntos que tiene la malla, indicados en la tercera columna de la tabla. Este número será necesario en un paso posterior consistente en la transformación del formato del fichero ASCII.

Una vez pulsado el icono indicado anteriormente sólo será necesario indicar el nombre con el que se quiere guardar la malla, y el tipo de archivo al que se quiere exportar en este caso a ASCII (.txt) como se puede comprobar en la imagen.

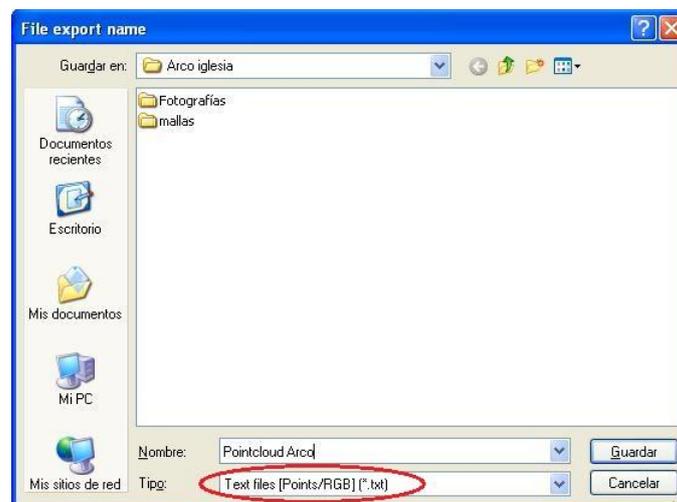


Imagen 5.105: Pantalla de exportación de archivo

Paso 2: Transformación del archivo (.txt) a (.ply)

MesLab no permita la importación de fichero (.txt) por lo tanto será necesario transformar el fichero a (.ply). Photomodeler da la oportunidad de exportar en este formato pero sólo en el caso de mallas de triángulos y no para nubes de puntos.

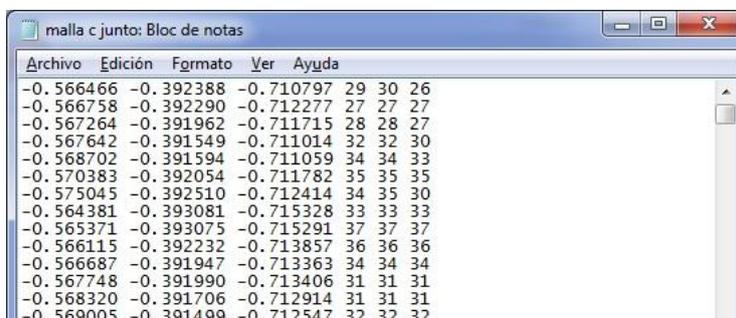


Imagen 5.106: Fichero (.txt) exportado

En el caso de que se quieran exportar varias nubes de puntos, no se deben juntar en PhotoModeler, sino que hay que exportarlas de forma individual; y es en este momento cuando se pueden juntar seleccionando todo el texto del fichero y copiándolo a otro añadiendo los puntos al final del mismo.

La razón de esto es que cada nube de puntos obtiene el color de una fotografía. Si se juntan nubes que no aparecen completamente en una fotografía, existirán puntos sin color.

Para transformar este fichero a (.ply) es necesario únicamente añadir al principio del mismo la cabecera de la siguiente imagen.

El valor marcado en rojo se corresponde con el mencionado anteriormente, y es el número de puntos que forman la nube. En el caso de que se hayan juntado varias nubes de puntos como hemos indicado anteriormente, es necesario introducir el sumatorio de los puntos de todas las nubes de puntos que se han juntado.

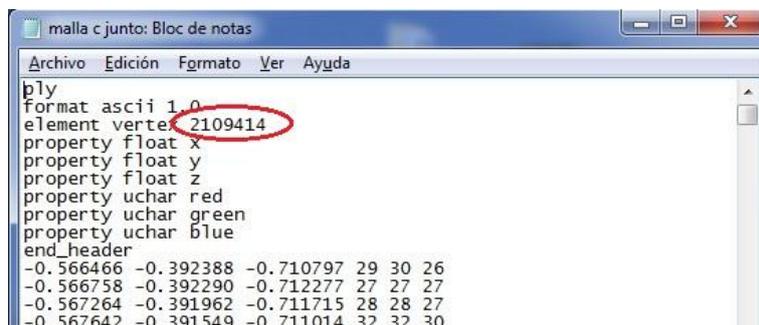


Imagen 5.107: Fichero (.ply) transformado

Por último hay que guardar el fichero indicando en el nombre la extensión “.ply”.

Paso 3: Importación en MeshLab

Una vez abierto el programa, emerge directamente la pantalla de apertura de fichero. Es necesario seleccionar los ficheros que queremos utilizar en el programa.

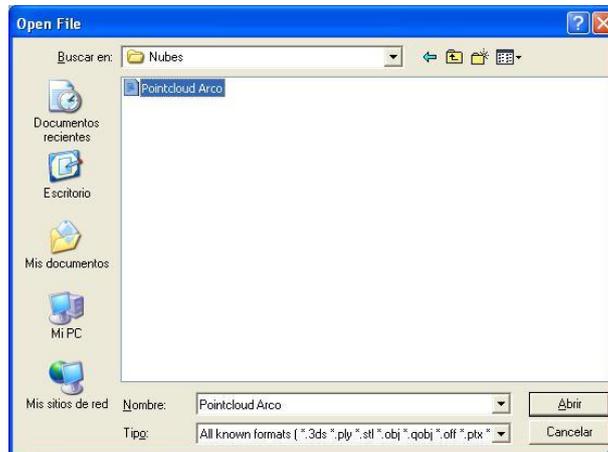


Imagen 5.108: Pantalla abrir archivo

Esta es la nube de puntos que se va a utilizar de modelo en este ejemplo:

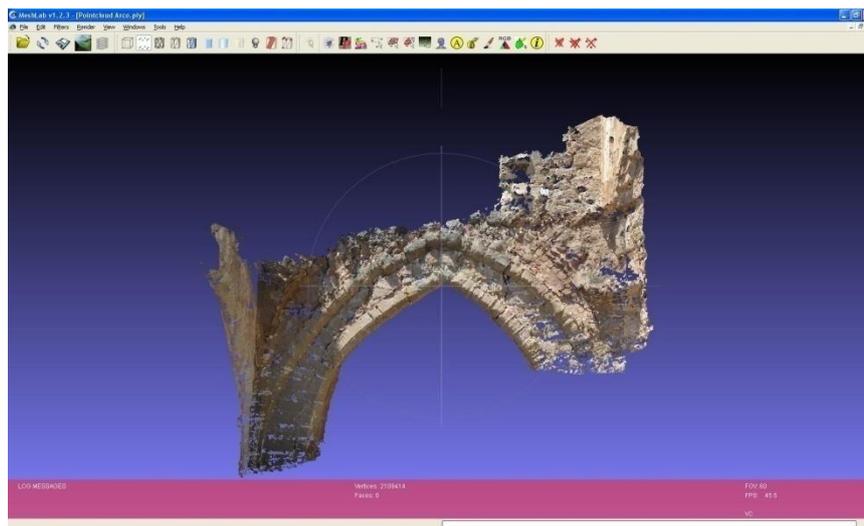


Imagen 5.109: Pantalla principal de MeshLab con las nubes cargadas

En este caso la nube de ejemplo seleccionada se trata de una muy densa compuesta por varias nubes de intervalo 1 milímetro. De esta forma el resultado será visualmente más atractivo. Tener en cuenta que se trata únicamente de puntos aunque pueda parecer una superficie.

GENERACIÓN DE SUPERFICIES

Paso 4: Generación de superficie

Para la generación de superficies es necesaria la ejecución de una serie de comandos. En el caso de este programa, al ser un conjunto de rutinas independientes programado por

diferentes estudiantes el trabajo es un poco complejo no reduciéndose las acciones a pulsar un icono.

El primer paso es ejecutar el menú **Filters -> Point Set -> Compute normals for point sets**.

Aparece entonces la siguiente ventana, en la cual se recomienda¹⁸ dar por bueno el valor por defecto.

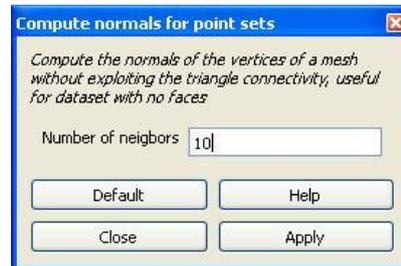


Imagen 5.110: Pantalla Compute normals for point sets

Como describe el mismo programa lo que el comando realiza es: “Calcular las normales de los vértices de una malla sin explotar la conectividad del triángulo, útil para un conjunto de datos sin caras”.

Deberemos pulsar el botón “Apply” para ejecutar el comando. Este no tiene variación gráfica en la nube de puntos.

En segundo lugar se debe ejecutar el menú **Filters -> Point Set -> Surface reconstruction: Poisson**.

Este comando según su descripción “Usa los puntos y las normales para construir una superficie usando la aproximación de reconstrucción de superficies de Poisson”.

Los parámetros que se recomienda utilizar son los que aparecen en la imagen. El primero de ellos se corresponde con el intervalo de los puntos que se van a crear.

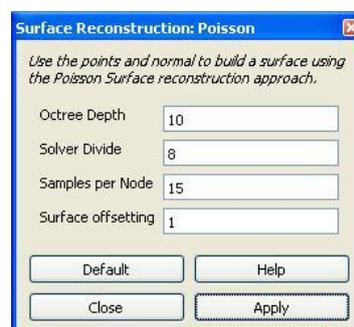


Imagen 5.111: Pantalla Surface Reconstruction: Poisson

¹⁸ Recomendación del tutorial consultado: Video tutorial *Tema 6 – Photomodeler y MeshLab*.
<http://www.worldphotogrammetry.com/home/item/15-tema-6-photomodeler-y-meshlab.html>

El resultado de la ejecución de este commando es una nueva capa con puntos que generan una superficie, como se puede ver en la siguiente imagen:

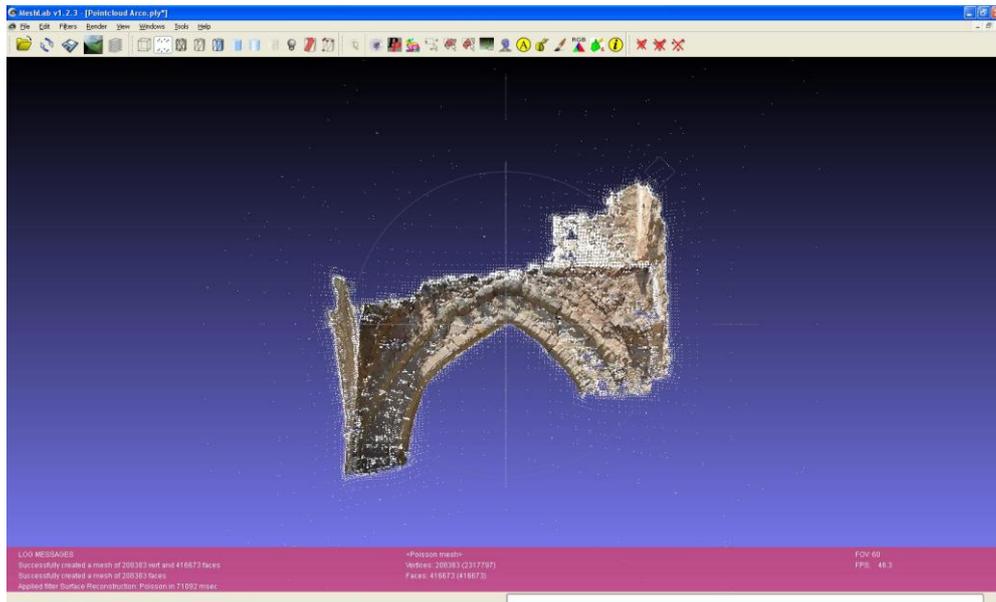


Imagen 5.112: Pantalla nube con los puntos de Poisson creados

Como se puede apreciar en la imagen se crean más puntos de los necesarios, por lo que el siguiente paso consistirá en eliminar los puntos que no nos interesan.

Paso 5: Recorte de la superficie creada

Para seleccionar los puntos hay que pulsar el icono de la izquierda marcado en la imagen, y para eliminarlos hay que pulsar el otro icono marcado.

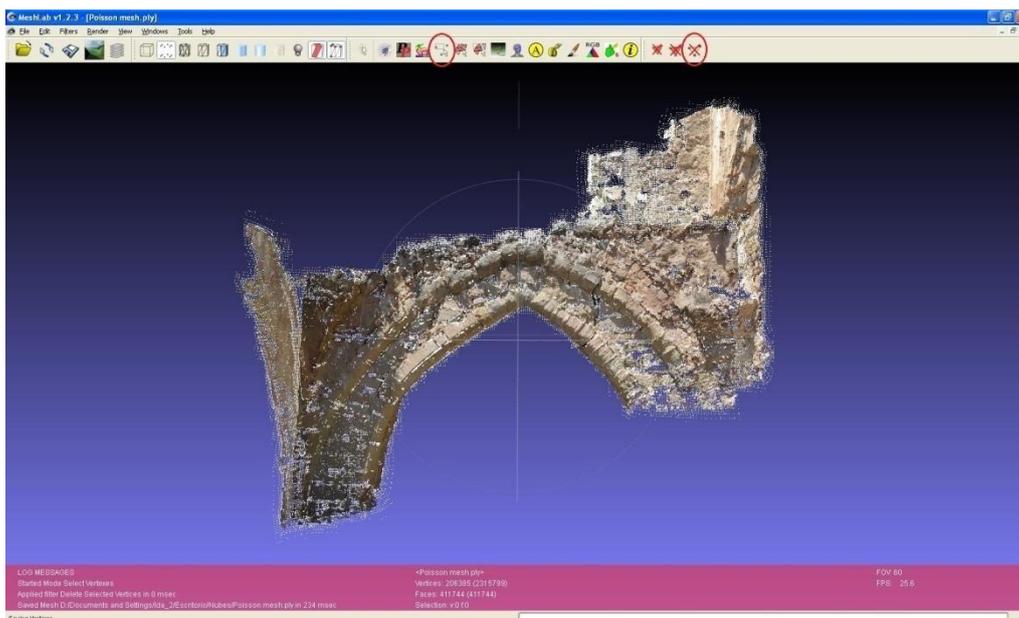


Imagen 5.113: Pantalla nube con los puntos de Poisson recortados

Paso 6: Transferencia de color a los puntos de Poisson

El comando se ejecuta en el menú **Filters -> Sampling -> Vertex Attribute Transfer**.

Hay que indicar en el primer recuadro la capa de la que se quiere obtener el color, y en la otra la capa a la que se quiere transferir el atributo.

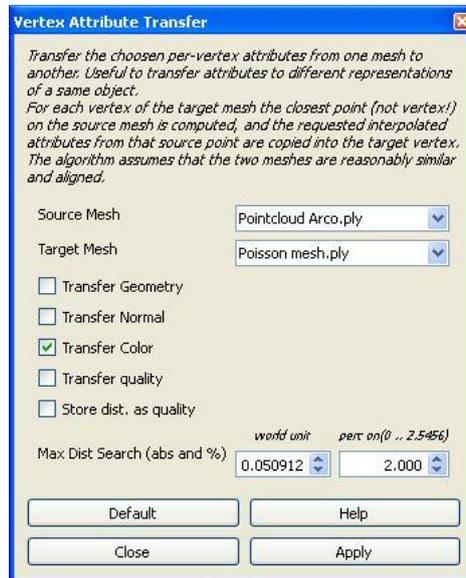


Imagen 5.114: Pantalla Vertex Attribute Transfer

Pulsando el botón “Apply” se realizará la transferencia del color.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de la transferencia:

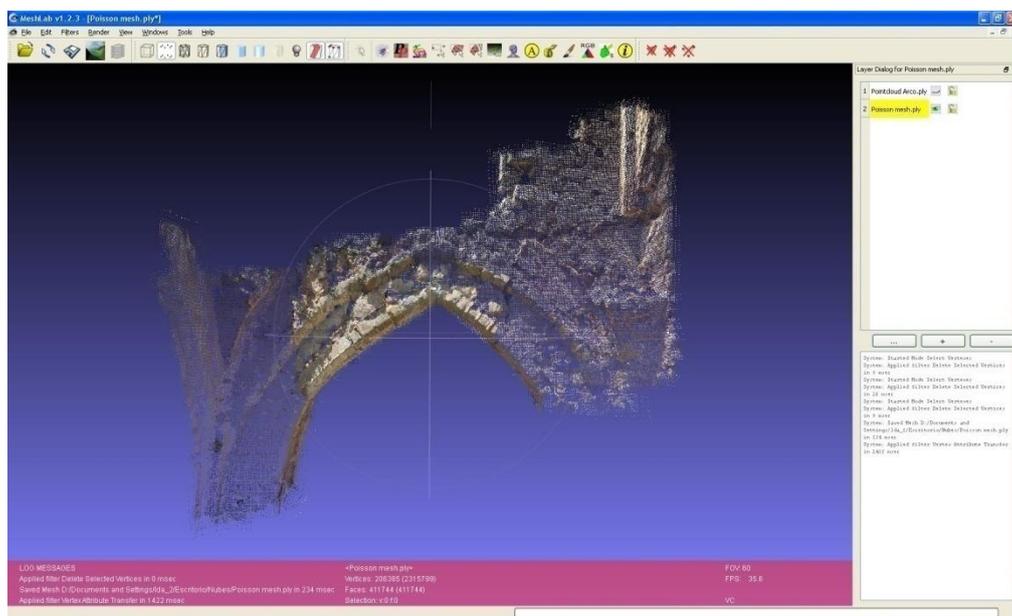


Imagen 5.115: Pantalla nube con los puntos de Poisson con el color transferido

Para ver la malla hay que pulsar el botón “Smooth” indicado en la siguiente imagen:

El modelado de la superficie no resulta de todos modos muy bueno. Este programa no alcanza en calidad ni resultados a los comerciales pero en algún caso puede resultar útil.

Por último reseñar la existencia de filtros de color que pueden resultar útiles para apreciar mejor la forma de la superficie. Uno de los recomendables es el denominado “minnaert”, y que se ejecuta en el siguiente menú: **Render -> Color -> Minnaert.gdp**.

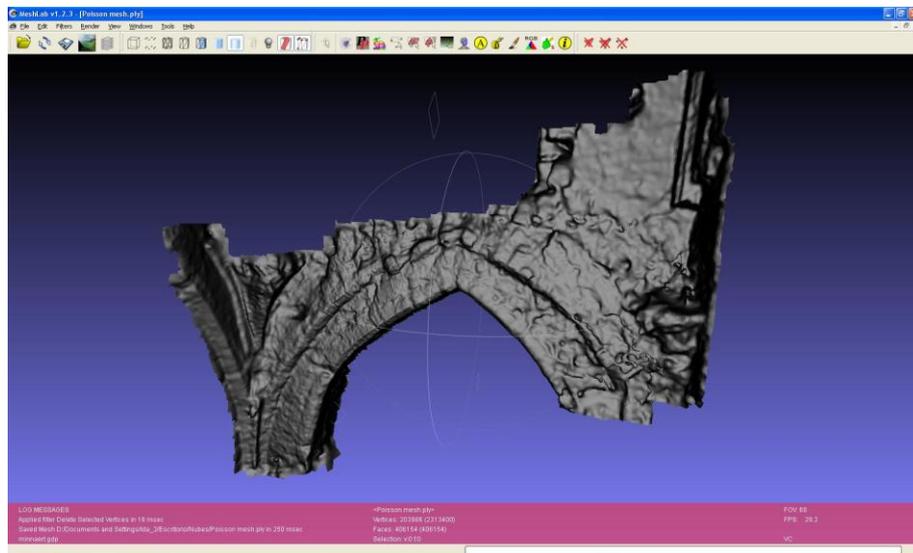


Imagen 5.118: Pantalla superficie de Poisson con el filtro de color Minnaert

Este filtro establece una textura grisácea sombreada que facilita en gran medida la percepción de la forma y detalles de la superficie.

Para reinstaurar el color original: **Render -> Color -> Per vertex**.

5.4.4 FLUJO DE TRABAJO EN RAPIDFORM XOS3

RapidForm XOS3 es un programa comercial de la marca INUS Technology, útil en nuestro caso para trabajar sobre nubes de puntos, mallas, mallas texturizadas, etc.

El flujo de trabajo se corresponde con el siguiente diagrama:

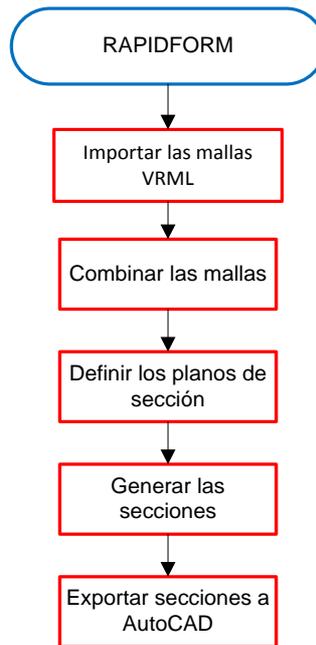


Diagrama 5.5: Flujo de trabajo en Rapidform XOS3

5.3.4.1 IMPORTACIÓN Y COMBINADO DE MALLAS

Paso 1: Importación de las mallas

Una vez que hemos ejecutado el programa, para importar las mallas debemos acceder a la importación en el menú: **Insert -> Import**; o pulsar el siguiente icono: 

De esta forma accedemos a la pantalla de importaciones en la que deberemos seleccionar el archivo. En nuestro caso, en el programa con el que hemos generado las mallas, estas han sido exportadas en formato VRML.

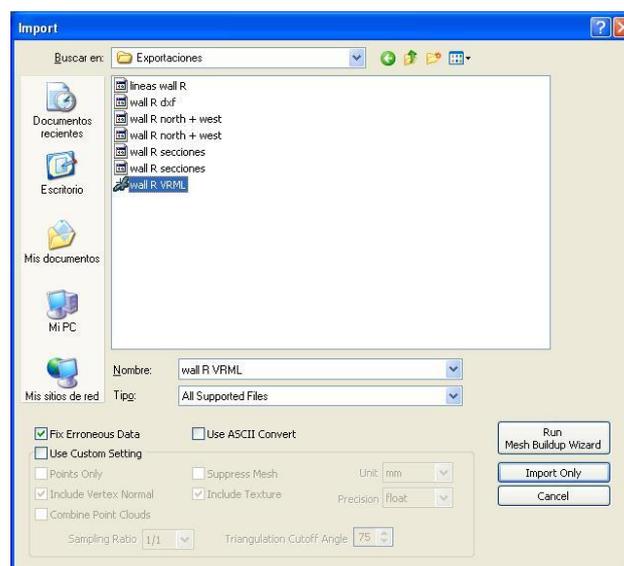


Imagen 5.119: Pantalla de importación

Cuando se ha importado la malla nos aparece el siguiente mensaje en el cual debemos definir las unidades de las mallas.



Imagen 5.120: Pantalla de confirmación de las unidades de importación

Seguidamente se mostrará la malla importada:

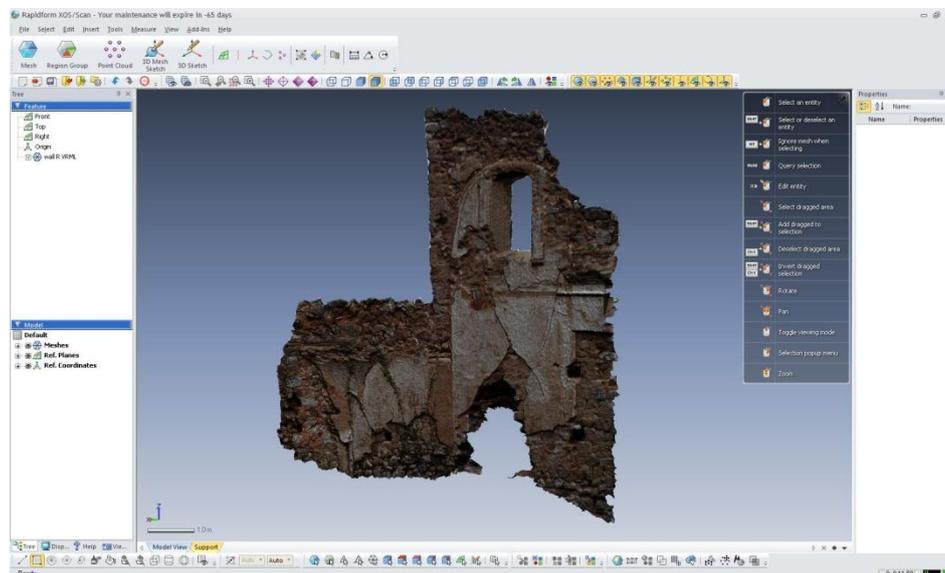


Imagen 5.121: Pantalla principal con la malla importada

Paso 2: Combinado de mallas

Una vez que se han importado todas la mayas podemos combinarlas siguiendo el procedimiento que se muestra a continuación.

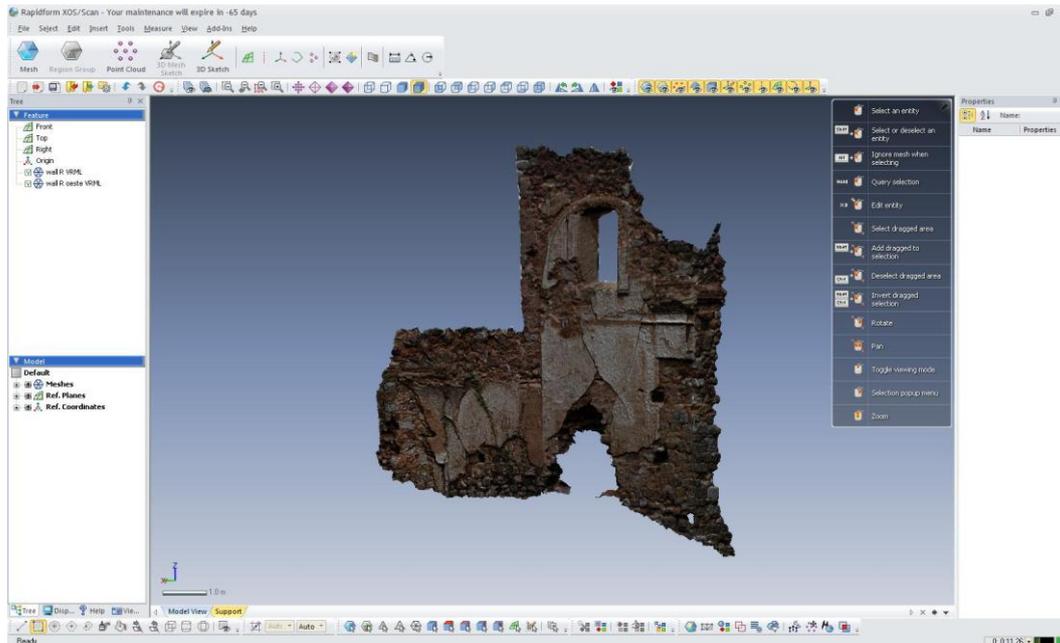


Imagen 5.122: Pantalla principal con ambas mallas importadas

Para abrir la pantalla de combinación de mallas hay que accionar el siguiente icono:



Se abren los menús que se ven en la siguiente imagen:

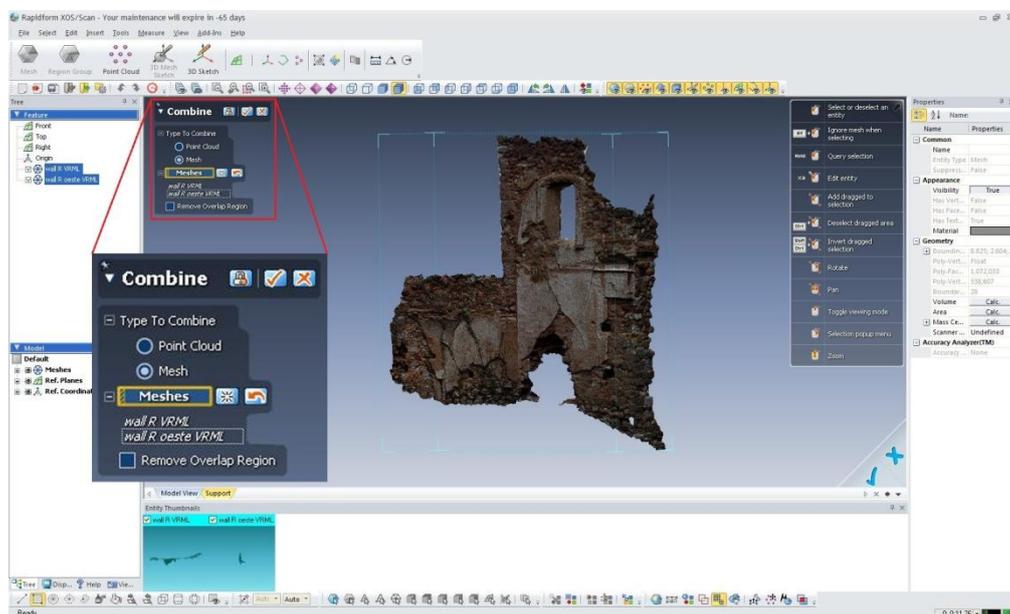


Imagen 5.123: Pantalla principal menú combinar

Hay que seleccionar las mallas que se quieren combinar y determinar si se quiere borrar la región de recubrimiento.

Según lo experimentado se recomienda activar esta opción ya que surge una zona vacía en la junta de las mallas que hace que el resultado no sea tan uniforme.

5.3.4.2 GENERACIÓN DE SECCIONES

Paso 3: Definición del plano de sección

La definición del plano se realiza en el menú **Insert -> Ref. Geometry -> Plane**.

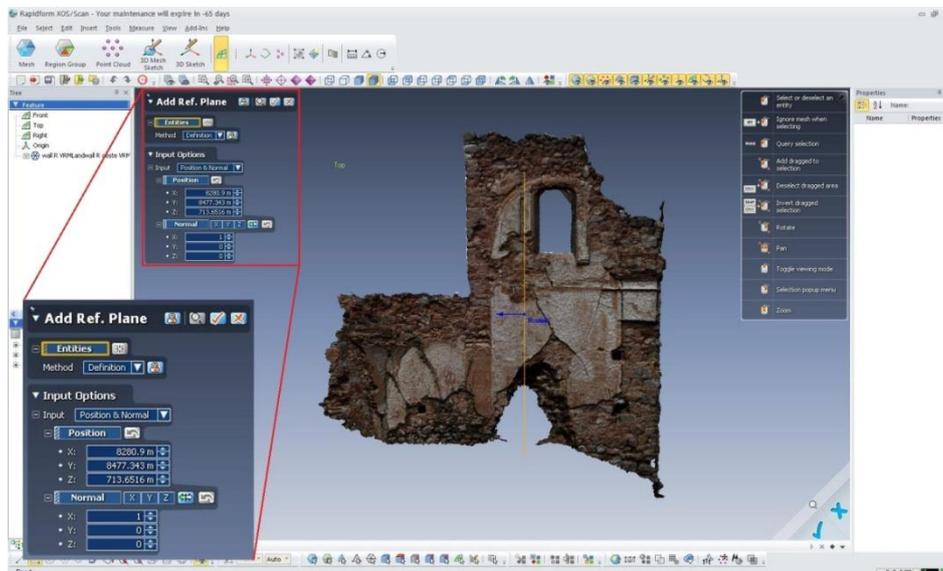


Imagen 5.124: Pantalla principal menú añadir plano de referencia

Aunque existen varias opciones para generar las secciones: marcar el plano mediante una línea dibujada manualmente, desplazar el plano hasta la posición deseada,... Posiblemente la más adecuada es la generación a partir de un plano definido previamente, ya que en este caso definimos la orientación del plano y las coordenadas del centro.

Una vez que hemos dispuesto el plano de la forma deseada lo crearemos confirmando la acción en el menú.

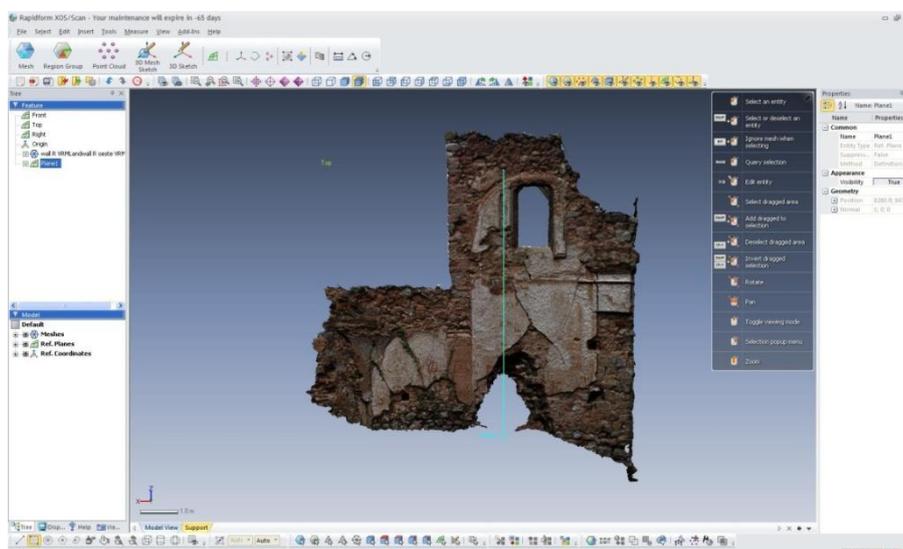


Imagen 5.125: Pantalla principal, mallas con el plano de referencia creado

Paso 4: Generación de la sección

Al menú de generación de secciones se accede desde la barra “3D Sketch” y el icono marcado.

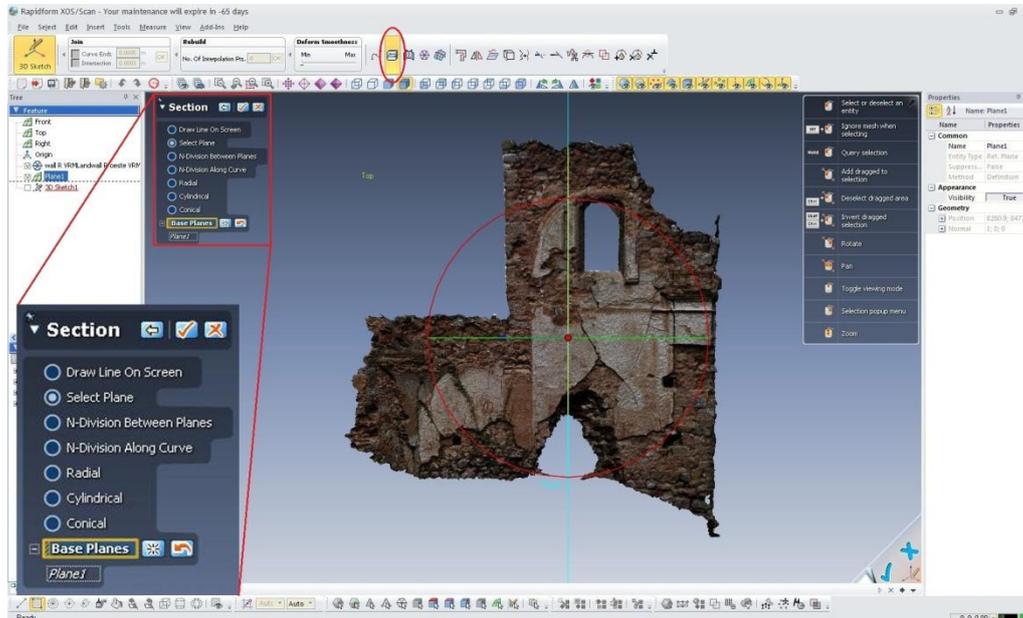


Imagen 5.126: Pantalla principal menú secciones

Se selecciona la opción “Select Plane” para seleccionar el plano definido anteriormente y confirmamos la generación de la sección.

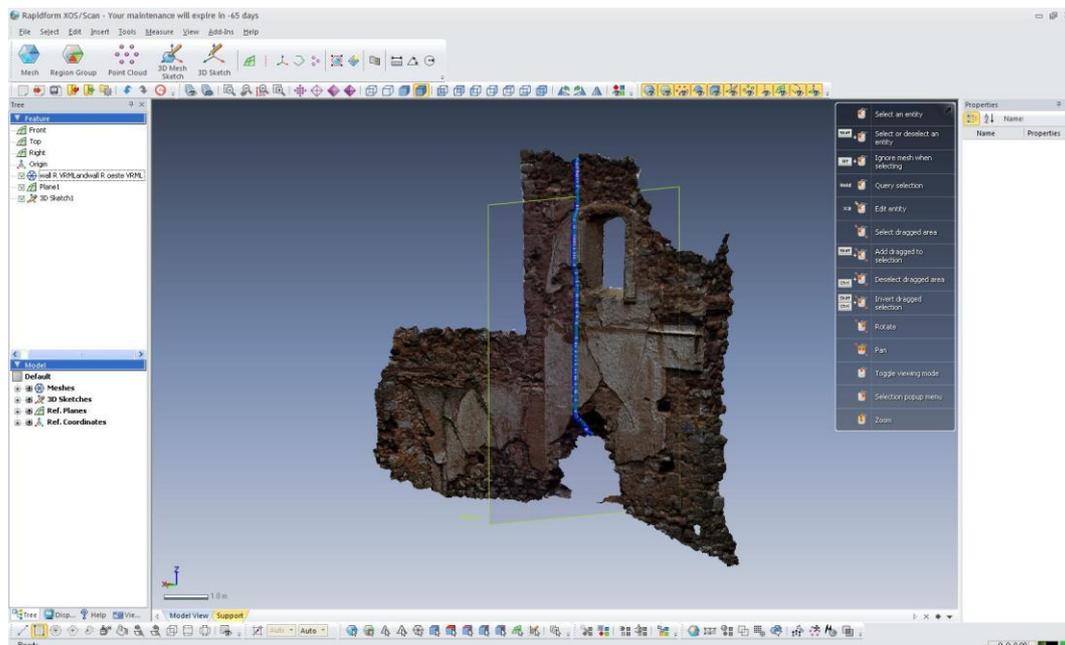


Imagen 5.127: Pantalla principal, mallas con la sección generada

5.3.4.3 EXPORTACIÓN DE SECCIONES A AUTOCAD

Paso 5: Exportación de secciones

La exportación se realiza en el menú **File -> Export**. Aparece el siguiente menú, en el que hay que seleccionar la ubicación, el nombre y el tipo que queremos que sea el fichero.

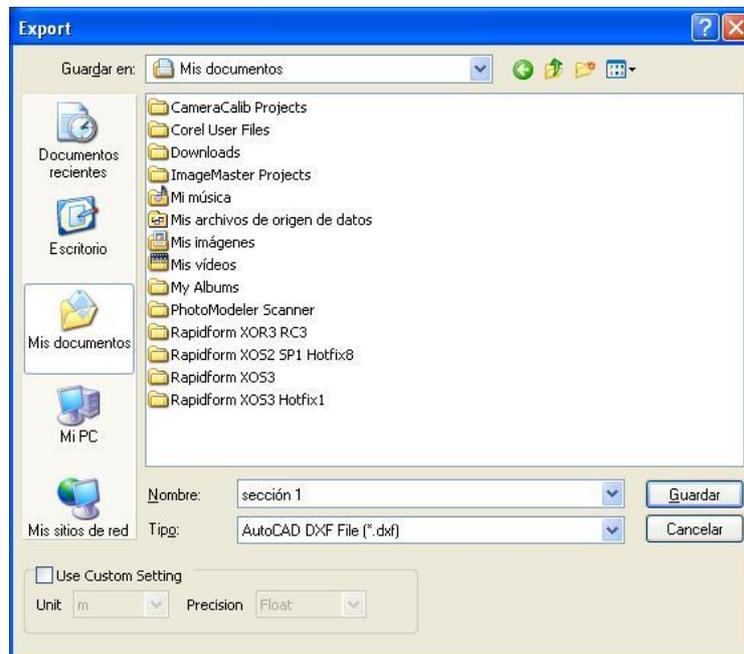


Imagen 5.128: Pantalla de exportación

La exportación se realizará a un fichero (.dxf) formato de intercambio de archivos de AutoCAD.

A continuación se muestra la sección abierta en AutoCAD.

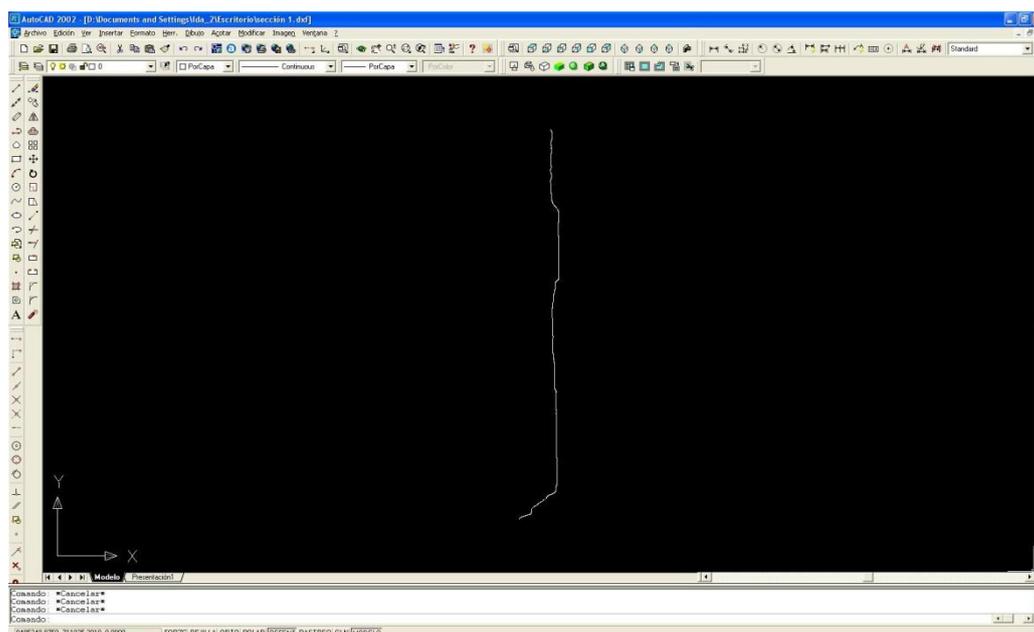


Imagen 5.129: Pantalla de AutoCAD con la sección exportada

Breve comparación de la edición de mallas y nubes de puntos

Aunque existe el apartado específico sobre la comparativa entre los diferentes aspectos en todos los programas, se ha visto necesario un pequeño resumen de las características más importantes de cada uno de los programas.

Partiendo del no conocimiento en profundidad ni de MeshLab ni Rapidform, debido a que no conforman uno de los objetivos del proyecto, se va a resumir de forma muy breve las percepciones obtenidas durante el trabajo con los mismos.

Rapidform es un programa más completo, con muchas más utilidades, más intuitivo y más agradable visualmente. Esto puede ser debido a que este se trata de un programa comercial por lo que dispone de más medios, mientras que MeshLab es un programa de distribución gratuita.

Teniendo en cuenta también en la comparación, las fases de edición de nubes de puntos y mallas tanto de Photomodeler como Image Master; no resultan comparables, al menos en el caso de Rapidform.

Este resulta un programa específico para las operaciones con nubes de puntos y mallas por lo que sus capacidades superan en mucho las de los otros dos programas no específicos.

Comparando Image Master y Photomodeler entre sí, a mi juicio las posibilidades presentadas para la edición son similares, a excepción de la posibilidad en Photomodeler de editar nubes de punto.

En la edición de mallas, para mi gusto, resulta bastante más cómodo y eficiente Image Master.

6. RESULTADOS

6.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA DOCUMENTACIÓN

Como se explica en el apartado de antecedentes, los muros de los que finalmente se ha realizado la documentación en el presente proyecto, son el Arco de la Iglesia y el denominado muro "R". De los cuales, cumpliendo con los objetivos marcados, se han obtenido los modelos tridimensionales, las ortofotografías y las secciones características de los mismos.

El trabajo se ha realizado siguiendo los procesos relatados en todo el capítulo de Ejecución del presente proyecto.

En los siguientes apartados se van a describir los productos obtenidos en los trabajos realizados.

6.1.1 MODELOS 3D

Se han obtenido cuatro modelos tridimensionales de las zonas objeto de la documentación, dos de cada zona obtenidos con cada uno de los software que se han estudiado en este proyecto.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

6.1.1.1 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL ARCO DE LA IGLESIA OBTENIDO POR IMAGE MASTER

El modelo del arco se ha obtenido a partir de 3 imágenes tomadas con la cámara Canon 5D Mark II y el objetivo Zeiss de 21 mm. Para su orientación se han utilizado 15 puntos de coordenadas conocidas los cuales se encuentran recopilados en las reseñas del apoyo fotogramétrico en Anexo 5 de esta memoria.



Imagen 6.1: Modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Image Master (vista 1)

Para la generación de la superficie se ha dibujado previamente líneas de rotura de las zonas con mayor variación del relieve del muro.

A continuación se muestra otra vista del mismo modelo, en el que se puede apreciar mejor el relieve del muro, y como se han modelado cada una de las piedras del arco.



Imagen 6.2: Modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Image Master (vista 2)

En esta vista se pueden apreciar algunas de las deficiencias que presente el modelo ya que existen algunas zonas que resultan ocultas en las fotografías, y por lo tanto el software no es capaz de modelar; y al no aparecer en las fotografías, la textura fotográfica no es real en esas zonas.

La vista desde el otro lateral es la siguiente:



Imagen 5.3: Modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Image Master (vista 3)

Como se percibe en la imagen, el modelo presenta algún problema en la prominencia de la parte derecha del modelo ya que existe ocultamiento en la fotografía.

La posible solución para estas zonas es la incorporación al proyecto de fotografías en las que fuese visible esa zona, pero en este caso es complicado tomar esas fotografías ya que se tratarían de fotografías tomadas desde arriba, por lo que necesitaríamos algún elemento en el que subirnos; material del cual no disponíamos en campo.

Como se puede ver el resultado obtenido es muy agradable visualmente, e inspeccionándolo parece resultar bastante fiel a la geometría del elemento.



Imagen 6.4: Detalle del modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Image Master

En la imagen anterior se puede verificar que la apariencia es excelente, y se puede confirmar de la inspección del modelo en el visualizado 3D que la geometría se ajusta muy bien a la realidad realizando una evaluación a simple vista.

Tras esta evaluación, el resultado obtenido parece muy satisfactorio; sobre todo por el aspecto visual y la geometría que parece bastante fiel a la realidad.

6.1.1.2 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL ARCO DE LA IGLESIA OBTENIDO PHOTOMODELER

En este caso el modelo ha sido creado mediante la utilización de 14 fotografías, tomadas también con la cámara Mark II y el objetivo de 21 mm. Se han utilizado para orientar, un total de 21 puntos, de los cuales 14 han sido emparejados con los puntos de control de coordenadas conocidas. Los puntos utilizados se pueden consultar en el Anexo 5 de reseñas de los puntos de apoyo fotogramétrico.

El modelo obtenido tiene el siguiente aspecto:



Imagen 6.5: Modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Photomodeler (vista 1)

Este modelo, aunque a simple vista parece tan bueno como el anterior, realmente no lo es.

En primer lugar existen zonas como el promontorio de la parte derecha del modelo, que se ha mencionado en el modelo anterior y en el cual en este caso no se ha generado superficie.

Se nota una diferencia bastante notable también, en la parte interior del arco; la cual en el modelo de Image Master está completamente modelada, aunque la textura no se óptima, y que en este caso solamente se ha creado la maya de triángulos en algunas zonas. Esto es así a pesar de que la nube de puntos contenía también puntos en esa zonas, aunque sí es cierto que con menos densidad.

Estas pequeñas deficiencias se pueden observar en la siguiente imagen:



Imagen 6.6: Modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Photomodeler (vista 2)

El la vista desde el otro lado se puede observar mejor todo a lo que hemos hecho referencia:



Imagen 6.7: Modelo del Arco de la Iglesia obtenido por Photomodeler (vista 3)

Observando la siguiente vista en detalle, podemos percibir que el aspecto visual de la malla es bastante peor en Photomodeler ya que se distinguen los triángulos, lo que proporciona al modelo una apariencia bastante basta y poco agradable.

En resumen, para este muro, el modelo elaborado mediante Image Master resulta más agradable visualmente y mejor modelado. Ahora sólo nos queda realizar el análisis para evaluar la precisión de los modelos creados a partir de los dos programas.

Este análisis se realiza en el apartado de este mismo capítulo de resultados, en el apartado “Determinación de la precisión en modelos 3D”.

6.1.1.3 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL MURO “R” OBTENIDO IMAGE MASTER

Los modelos de este muro se han elaborado de forma similar a los del arco. Para este modelo se han utilizado un total de 9 fotografías en las que se han identificado 21 puntos de control y entre todas las fotografías y 7 puntos de paso de los que no conocíamos las coordenadas.

Los puntos utilizados son los que aparecen en la reseña correspondiente.

La creación del modelo de este muro, presenta más dificultades que el del arco; debido a que se trata de un elemento de tamaño mayor y a que existen ciertos problemas en la toma de las fotografías.

En este caso, hay un arbusto en frente del muro, el cual realiza ocultamientos de la parte izquierda del muro; por lo que no pudimos utilizar fotografías del muro completo, sino que debidos de tomarlas en dos tramos conformando después pares diferentes para cada zona.

Es importante reseñar, que el modelo de este muro consta de dos paños: el principal que es el que se ve en la siguiente fotografía, denominado paño norte; y el paño oeste, de menor tamaño.



Imagen 6.8: Modelo del muro "R" obtenido por Image Master (vista 1)

Debido a que Image Master requiere fotografías estereoscópicas, esto nos fuerza a realizar el modelado de cada uno de los paños por separado. En este caso se realizó en diferentes proyectos; pudiendo unir posteriormente de las mallas en el mismo programa. Para lo que se exporta la malla el DXF, se importa en el otro proyecto y después se le ha de poner la textura; para lo cual deberemos tener orientadas todas las fotografías en un mismo proyecto.

También se puede realizar todo el proceso en un mismo proyecto desde el principio, lo que de hecho resultará más rápido.

En la imagen siguiente se observan los dos paños de los que se compone el muro. La unión de las dos mallas no resulta del todo mala, ya que aunque se presentan algunos pequeños agujeros el resultado final tiene una apariencia bastante continua.

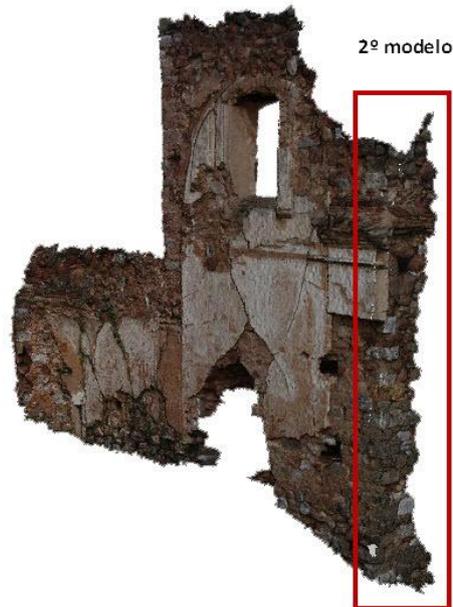


Imagen 6.9: Modelo del muro "R" obtenido por Image Master (vista 2)

El aspecto visual del modelo, como es característica en Image Master es muy bueno; pero en este caso hay que destacar que en las zonas más lisas del muro el modelo resulta con una pequeña ondulación lo que se achaca a errores del programa. La causa de estos defectos es desconocida.

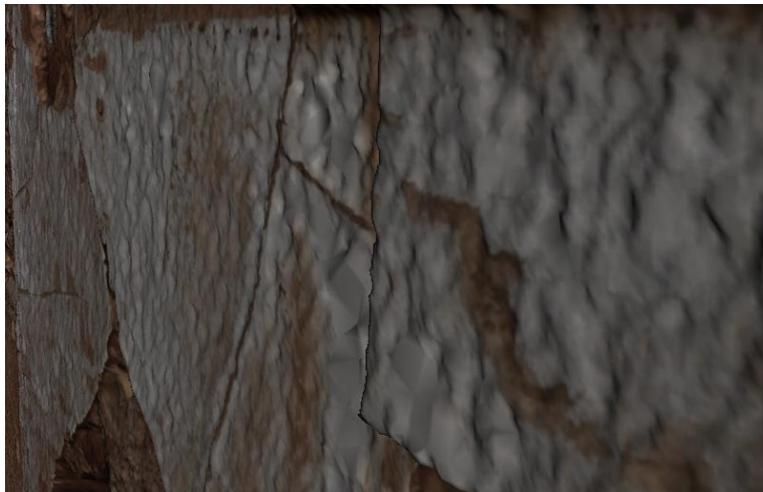


Imagen 6.10: Detalle del modelo del muro "R" obtenido por Image Master

A pesar de este problema el resultado obtenido es bastante bueno, considerando que los resultados logrados con Image Master son muy satisfactorios.

6.1.1.4 MODELO TRIDIMENSIONAL DEL MURO "R" OBTENIDO POR PHOTOMODELER

Las conclusiones para este modelo son similares a las obtenidas para el modelo del Arco obtenido por Photomodeler; aunque bien es cierto, que el resultado en este caso es un poco

mejor, ya que se trata de un muro más uniforme. Por esta razón el modelado de la superficie debería resultar más sencillo al programa.



Imagen 6.11: Modelo del muro "R" obtenido por Photomodeler (vista 1)

En este caso también ha sido necesaria la creación de mallas independientes. En este caso la parte más alta y más baja del paño norte también se tratan de mallas diferentes.

El resultado en este caso es bastante bueno, como se observa en las imágenes:



Imagen 6.12: Modelo del muro "R" obtenido por Photomodeler (vista 2)

En la vista en detalle se aprecian también los triángulos que conforman la malla lo que no contribuye a convertir el modelo en un producto tan agradable visualmente como el obtenido en Image Master.



Imagen 6.13: Detalle del modelo del muro "R" obtenido por Photomodeler

Al igual que se ha hecho con el modelo del otro muro, el análisis de la precisión del mismo en los dos programas se encuentra en el apartado "Determinación de la precisión en modelos 3D", de este mismo capítulo.

6.1.2 ORTOFOTOGRAFÍAS

Las ortofotos como ya se ha explicado anteriormente en apartado de metodología, se obtienen a partir de la superposición de la fotografía en los modelos tridimensionales de los elemento, y obteniendo una ortoproyección del mismo respecto un plano seleccionado mediante 2 o tres puntos, dependiendo de cada software.

Los resultados obtenidos son bastante similares, teniendo únicamente en cuenta que al ser un resultado a partir del modelo; estas heredan los defectos del mismo, en lo que ha zonas sin modelar se refiere.

A continuación se muestran las ortofotos obtenidas del Arco:



Imagen 6.14: Ortofoto Arco Image Master (izquierda) y ortofoto Arco Photomodeler (derecha).

Las precisiones de todas las ortofotos se encuentran analizadas en el apartado 6.3 de este capítulo.

En el caso de las ortofotos del muro “R” existe una diferencia mayor, ya que surgieron problemas en Photomodeler a la hora de la conversión de las mallas de triángulos a superficie, quedando unas franjas verticales sin textura, las cuales ha habido que suprimir de la ortofotografía.

Las ortofotos del muro “R” son las siguientes:

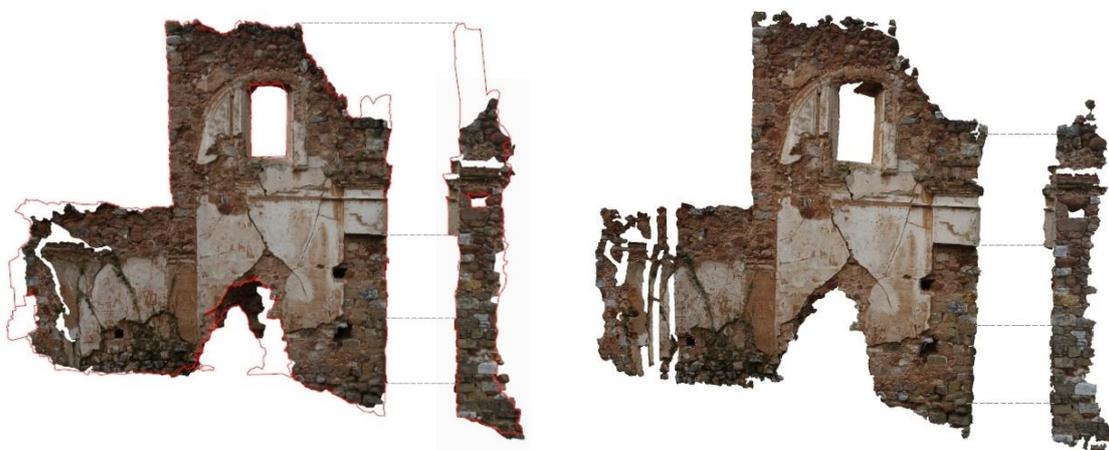


Imagen 6.15: Ortofoto muro “R” Image Master (izquierda) y ortofoto muro “R” Photomodeler (derecha).

Las ortofotos del paño oeste se encuentran incompletas debido a que como el muro es muy alto y presenta un cambio de profundidad la parte superior observa desde el lateral del muro, queda oculta en todas las fotografías.

Los resultados finales de las ortofotos se encuentran presentados en su plano correspondiente en el Anexo 8 de planos.

6.1.3 SECCIONES

Las secciones son un producto derivado también del modelo tridimensional. Se obtienen a partir de éste mismo mediante la definición de un plano de corte. Éstas resultan útiles para conocer la forma del objeto a una altura determinada, o la silueta de una pared determinada.

La idea de obtener las secciones en los muros de riesgo es debido a que nos resulta interesante conocer el desplome que estos presentan; ya que aunque los dos muros que se han documentado en este proyecto no presentan un desplome elevado, en el caso de otros muros de los calificados como de riesgo de desplome sí que sucede así.

En este caso las secciones resultan interesantes para conocer el relieve del muro en un lugar puntual. Las secciones no se obtienen de un lugar cualquiera, sino que se utilizan para documentar posiciones concretas que resultan de un interés definido; como pueden ser la vertical en medio de una ventana o puerta, la zona donde el muro presenta un relieve especial en discordancia con el resto,...

A continuación se muestran en una vista isométrica las secciones del arco.

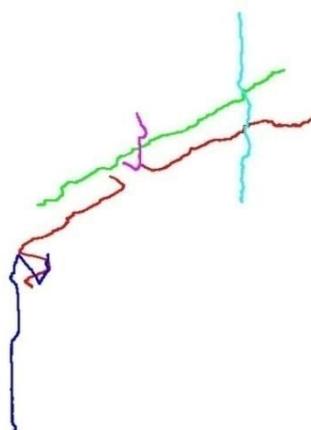


Imagen 6.16: Secciones obtenidas a partir del modelo del Arco

En nuestro caso las secciones han sido obtenidas mediante Rapidform, definiendo las coordenadas del centro del plano de corte. El proceso de obtención de las mismas se describe en el apartado “flujo de trabajo” de la presente memoria.

Las secciones se pueden utilizar para conocer las coordenadas de cualquiera de los puntos que se encuentre en ellas.

Hay que decir que la precisión de las secciones es la misma que la de el modelo 3D a partir del cual se generan. En este caso las secciones están obtenidas a partir de los modelos creados mediante Image Master.

A continuación se muestran las secciones obtenidas del muro “R”:

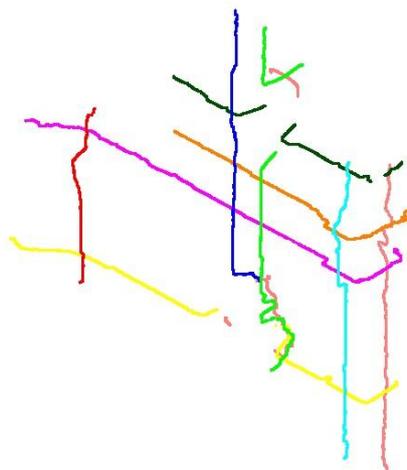


Imagen 6.17: Secciones obtenidas a partir del modelo del Arco

En este caso se puede distinguir la silueta del muro al ver todas las secciones todas juntas, esto es así porque se han seleccionado los planos de corte más descriptivos, ya que son los que nos aportan mayor cantidad información sobre la forma del elemento.

Todas las secciones, tanto las verticales como las horizontales se encuentran presentadas en los correspondientes planos, los cuales se encuentran en el Anexo 8 de la presente memoria.

6.2 DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN EN MODELOS 3D

Para la determinación de la precisión de los modelos 3D, la metodología empleada ha sido la comparación de las coordenadas de los puntos de control de coordenadas conocidas, y de las posiciones de las dianas sobre el modelo.

De esta forma, podemos cuantificar el grado de fidelidad que el modelo tiene a la posición de los puntos de apoyo medidos en campo mediante topografía clásica.

Para realizar este análisis se ha procedido medir las de coordenadas pertinentes sobre cada uno de los modelos, en el programa en el que han sido creados.

Con respecto a la capacidad de obtener las coordenadas de los puntos, Image Master y Photomodeler no presentan exactamente las mismas posibilidades. En el caso de Image Master es más fácil, y más real la determinación de la posición, ya que permite medir puntos directamente sobre la superficie. El programa realiza una interpolación entre las coordenadas de los puntos de la nube más próximos y calcula la posición del punto seleccionado sobre la superficie. Por lo tanto, conociendo las coordenadas tanto de los puntos tomados en campo, como de las posiciones de las dianas sobre el modelo; el programa además de mostrarnos las coordenadas de los puntos nos muestra también la distancia horizontal y la geométrica, procedentes de un simple cálculo a partir de los incrementos de coordenadas.

En el caso de Photomodeler, sin embargo, éste no es capaz de calcular la posición de los puntos sobre la superficie; ni siquiera las coordenadas de los puntos de la nube. Por esta razón, se restringe mucho más la posibilidad de este análisis ya que la comparación se debe realizar con puntos calculados a partir de su identificación en las fotografías y por lo tanto estos participan en la orientación del modelo. Esto no imposibilita un cierto análisis de la precisión del modelo, ya que aun así, sigue habiendo dos tipos de puntos en la orientación. A los que se les han introducido las coordenadas de los puntos de control, y que por lo tanto el error resultará mínimo; y a los que no, que aunque han recibido cierta influencia al haber participado en la orientación, no se les ha forzado a una posición determinada mediante la definición de sus coordenadas.

Puede resultar extraño, que si hablamos de determinar las coordenadas de los puntos, estos sigan presentando un error en su posición respecto a estas mismas. Esto no se trata de un error, sino de el hecho de que a la hora de realizar la importación de los puntos de control, a estos se les ha asignado cierta precisión lo cual permite el grado de holgura indicado a la orientación del modelo; ya que debido a los instrumentos y métodos de medición de los puntos en campo, sigue existiendo cierta incertidumbre en la posición exacta de los mismos. En el caso del presente proyecto, se les ha introducido a los puntos una precisión de 5 milímetros, los cuales resultan bastante razonables de asumir.

La forma de proceder en ambos programas es muy sencilla y breve, la cual se procede a describir en los siguientes apartados.

6.2.1 MEDICIÓN DE LAS DIFERENCIAS EN IMAGEMASTER

Para acceder a la herramienta de medición se debe ejecutar el menú: **Data -> Distance -> Plot on screen.**

Se presenta entonces una pantalla en la que se mostrarán las coordenadas de los puntos seleccionados.

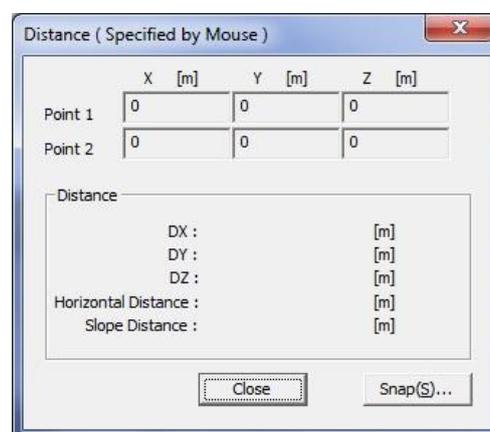


Imagen 6.18: Ventana de medición de distancias

Para seleccionar los puntos de control, es necesario tener en cuenta la necesidad de empleo de la opción “snap”, para asegurarnos que estamos seleccionando el punto concreto; y no cualquier otro de la superficie a su alrededor. Esta opción nos permite definir el tipo de elemento que queremos seleccionar y por lo tanto nos filtrará el resto de elementos.

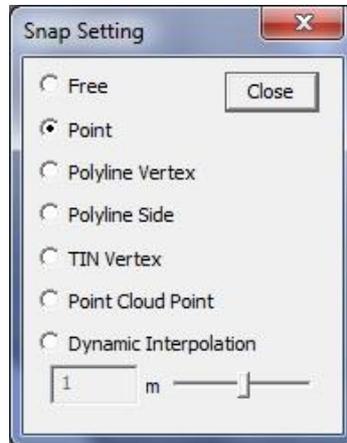


Imagen 6.19: Ventana de medición de distancias

Conociendo la herramienta, la forma de actuar es sencilla, ya que nos limitaremos a seleccionar los puntos entre los cuales queremos medir la distancia, utilizando la opción “snap” en el caso de los puntos de control.

6.2.2 MEDICIÓN DE LAS DIFERENCIAS EN PHOTOMODELER

En el caso de Photomodeler la medición de distancias es similar, a excepción de la condición de que únicamente se puede medir entre puntos definidos, y no sobre la superficie.

Para realizar la medición se mostrarán únicamente los puntos en el visualizador 3D. Tanto los puntos calculados como los puntos de control nos aparecerán muy próximos los unos de los otros, por lo tanto resultaría complicado seleccionar el punto deseado. Por esta razón al intentar seleccionar un punto entre algunos que se encuentran muy próximos se nos desplegará un menú en el que se nos dará la opción de elegir el punto que queremos seleccionar, como se muestra en la imagen:

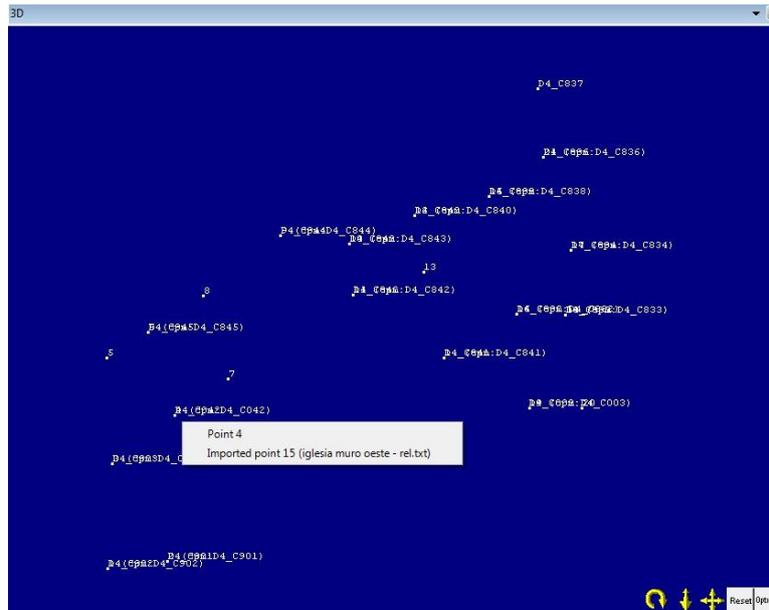


Imagen 6.20: Selección de puntos mediante el menú desplegado

Únicamente se deberá accionar el icono  , mediante el cual se mostrará una ventana en la que se irán mostrando las coordenadas de los puntos seleccionados.

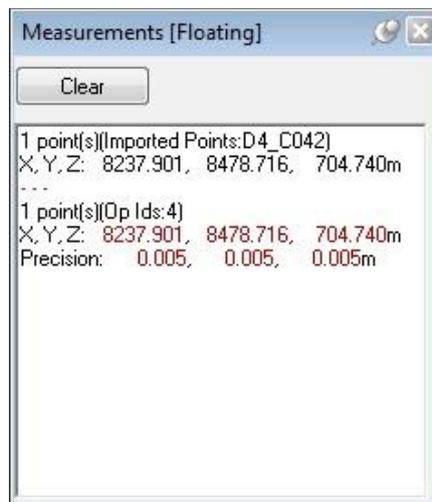


Imagen 6.21: Ventana de visualización de coordenadas

6.2.3 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DEL ARCO OBTENIDO POR IMAGEMASTER

Tras la medición de las distancias para todos los puntos de apoyo medidos en campo, incluyendo los puntos de comprobación no utilizados en la orientación; se han obtenido los siguientes errores:



Imagen 6.22: Croquis de los puntos de control del Arco

Puntos	Distancia
3	0,013
42	0,014
796	0,010
797	0,008
798	0,007
832	0,006
833	0,018
834	0,006
838	0,003

Puntos	Distancia
840	0,003
841	0,007
842	0,001
843	0,004
844	0,003
845	0,005
901	0,020
902	0,017
903	0,005

Tabla 6.1: Errores de los puntos de control del Arco

El punto azul de la imagen se trata de un error grosero en la medida en campo por lo que no se tiene en cuenta. Los puntos de color magenta de la tabla corresponden a puntos de comprobación no utilizados en la orientación del modelo.

Como se puede observar en la tabla los puntos con mayor error son en 901, 833 y 902 respectivamente. Por lo tanto podemos afirmar que en la zona inferior izquierda del arco (puntos 901 y 902), el modelo tiene un peor ajuste a los puntos de control; mientras que el error del punto 833 puede explicarse debido a que se encuentra en una zona bastante compleja y su modelado no ha sido resuelto de forma óptima por el programa.

Atendiendo a los valores de los errores obtenidos, se puede decir que el modelo ajusta mejor por la parte superior, ya que en los puntos de esa zona se han medido distancias menores. Esto puede ser debido a que en la zona baja se localizan menos puntos.

Las tablas completas de las mediciones realizadas con las coordenadas de los puntos incluidas, se encuentran en el Anexo 6 de tablas de errores.

Analizando los errores obtenidos se puede definir la precisión del modelo en **2 centímetros**, el cual es un resultado que se podía esperar. Hay que tener en cuenta que estas distancias medidas son geométricas y por lo tanto es previsible que los errores en las ortofotos que se

generen a partir de estos modelos, el verdadero objetivo de la documentación, tengan unos errores algo menores.

6.2.4 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DEL ARCO OBTENIDO POR PHOTOMODELER

Las distancias obtenidas realizando las medidas sobre el modelo en Photomodeler son las siguientes, siendo los puntos los mismos que en el apartado anterior:

Puntos	Distancia	Puntos	Distancia
3	0,005	840	0,002
42	0,004	841	0,004
796	0,009	842	0,002
797	0,011	843	0,001
798	0,009	844	0,000
832	0,004	845	0,002
833	0,006	901	0,010
834	0,003	902	0,005
838	0,002	903	0,004

Tabla 6.2: tabla de errores de los puntos del arco

En este caso, los puntos de mayor error son el 797, 901, 796 y 798 respectivamente. Este resultado es bastante más lógico que el anterior, ya que los puntos que más error presentan son los de comprobación; y por lo tanto puntos a los que no se les han asignados las coordenadas del punto de control. A excepción del 901, que al igual que en el modelo obtenido por Image Master, también es uno de los de mayor error. Puesto que la geometría de la zona no es conflictiva no debería haber razón que justifique un mayor error, por lo que deberemos deducir que ha podido surgir cierto defecto en la medida de sus coordenadas en campo.

Las tablas completas de las mediciones realizadas con las coordenadas de los puntos incluidas, se encuentran en el Anexo 6 de tablas de errores.

Para este caso la precisión del modelo se fijaría en **1 centímetro**, atendiendo al error máximo obtenido, que es 1,1 centímetros. Este resultado es mejor que con Image Master pero hay que tener en cuenta que el análisis se ha realizado de forma diferente, ya que en Photomodeler se carece de la posibilidad de medir coordenadas sobre la superficie generada.

6.2.5 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DEL MURO "R" OBTENIDO POR IMAGE MASTER

Los croquis de los puntos de control del muro "R", y las diferencias entre coordenadas medidas entre los puntos y las dianas son las siguientes:



Puntos	Distancia
731	0,007
732	0,006
733	0,005
734	0,006
735	0,005
811	0,004
737	0,004
738	0,005
739	0,004

Puntos	Distancia
740	0,003
741	0,002
742	0,001
812	0,005
744	0,001
1	0,006
2	0,010
3	0,014
4	0,008

Puntos	Distancia
5	0,006
6	0,014
7	0,006
752	0,006
753	0,001
754	0,003
755	0,005
756	0,004
757	0,004

Imagen 6.23: Croquis y tablas de errores de los puntos del muro "R"

En este caso, los puntos de mayor error son el 3, el 6 y el 2. Estos resultados dan lugar a un análisis muy claro, ya que todos los puntos de mayor error son puntos de comprobación no utilizados en la orientación del modelo; por lo que es obvio que presenten una mayor diferencia respecto a los que sí que han sido utilizados en la orientación.

En comparación con el otro modelo generado con el mismo programa, hay que decir que este es más preciso; esto puede ser debido a que la distribución de los puntos es más uniforme.

A partir del análisis realizado, y del error máximo obtenido, de 1,4 centímetros; la precisión de este modelo se puede fijar en **1,5 centímetros**; la cual lo reconoce como un buen resultado para la metodología utilizada.

Las tablas completas de las mediciones, se encuentran en el Anexo 6 de tablas de errores.

6.2.6 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DEL MODELO DEL MURO “R” OBTENIDO POR PHOTOMODELER

El muro analizado en este apartado es el mismo que el del anterior, por lo tanto los puntos también son los mismos.

Los datos obtenidos como resultado de las mediciones realizadas han sido los siguientes:

Puntos	Distancia
731	0,004
732	0,001
733	0,001
734	0,001
735	0,001
811	0,003
737	0,002
738	0,001
739	0,001

Puntos	Distancia
740	0,002
741	0,001
742	0,002
812	0,004
744	0,002
1	0,001
2	0,011
3	0,013
4	0,005

Puntos	Distancia
5	0,007
6	0,005
7	0,003
752	0,002
753	0,003
754	0,001
755	0,003
756	0,002
757	0,006

Imagen 6.3: Croquis y tablas de errores de los puntos del muro “R”

En este caso los puntos con mayor error han sido el 3 y el 2 respectivamente, los mismos que en el caso anterior y por lo tanto puntos de comprobación.

Como se puede observar, en este caso los resultados con los dos programas resultan muy similares; aunque bien es cierto que la media de los errores es algo menor para el modelo de Photomodeler. Pero como hemos dicho antes el análisis en los dos programas no es el mismo por lo que es más normal que las distancias medidas en este último sean menores.

El error máximo obtenido, correspondiente al punto 3, es de 1,3 centímetros ;por lo que podemos fijar la precisión final de este modelo realizado por Photomodeler en **1,5 centímetros**, similar al anterior; por lo que confirma que la precisión de los modelos de este muro oscila en ese rango de precisión.

Al igual que en el resto de casos, las tablas completas se encuentran en el Anexo 6.

6.3 DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN EN ORTOFOTOGRAFÍAS

La forma mediante la cual se puede cuantificar la precisión de una ortofoto es mediante la comparación de coordenadas, o medida de distancia, entre dos puntos de posición conocida en el terreno los cuales se perciban también en la ortofoto.

En nuestro caso para dicha labor, disponemos de las coordenadas conocidas de los puntos de apoyo tomadas en campo materializadas mediante dianas que aparecen evidentemente también en las imágenes tomadas y por consiguiente en la ortofotografía.

Esta determinación de la precisión la realizamos tomando las medidas en AutoCAD, en el cual debemos importar tanto los puntos de apoyo como la ortofoto.

Para poder realizar estas mediciones es necesario que el punto de vista que tenemos de los puntos, se corresponda con el plano imagen de la ortofoto.

Para esto hay que tener en cuenta, el procedimiento que hemos seguido en Imagemaster para la elaboración de la ortofotografía.

Atendiendo a este aspecto, el plano imagen que marcamos en Imagemaster para la generación de la ortofoto está definido por dos puntos de control, que marcarán la dirección del eje x de la ortoimagen siendo el eje y de ésta el eje z en el terreno, el cual el programa conoce debido a que el modelo se encuentra orientado con los puntos de control tomados en campo.

Una vez en AutoCAD, para tener como vista de los puntos la misma que el plano de generación de la ortofoto, modificamos el sistema de referencia (SCP de AutoCAD) fijando su origen en el primero de los puntos, que definen el plano imagen, seleccionados en Imagemaster; y la orientación del eje X de la ortoimagen hacia el segundo; de forma que el eje XY de AutoCAD se convierta en el plano imagen.

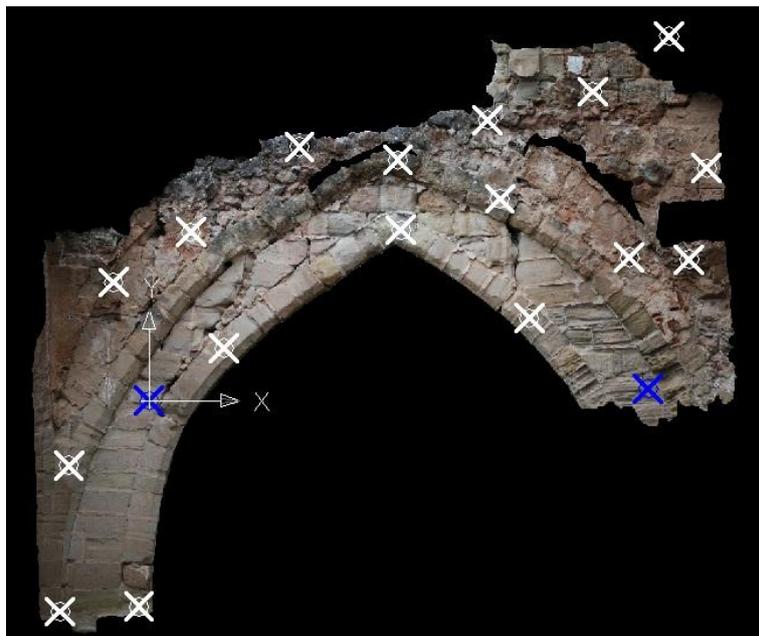


Imagen 6.24: Vista en AutoCAD de la ortofoto con los puntos superpuestos y el SCP definido.

En la imagen anterior se observa como ha sido establecido el sistema de referencia siendo los puntos coloreados en azul los utilizados en Imagemaster a efecto de definición del plano imagen de la ortofoto. También se ha realizado el escalado de la imagen utilizando la distancia entre los dos puntos coloreados.

Una vez hemos realizado este paso, podemos proceder a medir las distancias planas entre la posición del punto tomado mediante topografía y la posición central de la diana en la imagen; mediante lo cual obtendremos una estimación de la precisión.

6.3.1 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LA ORTOFOTO DEL ARCO DE LA IGLESIA OBTENIDA POR IMAGE MASTER

De forma gráfica se ha realizado un análisis de precisión, coloreando para esta demostración los puntos según su precisión y su naturaleza.

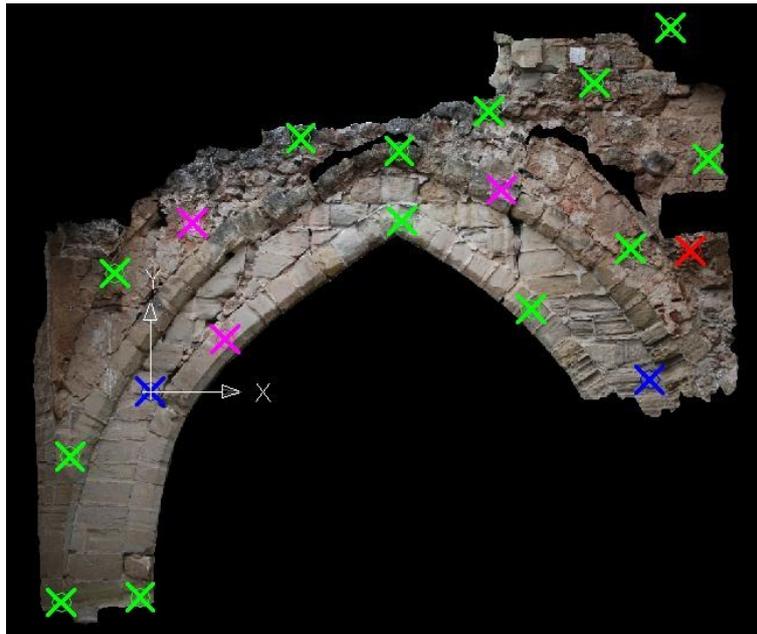


Imagen 6.25: Ortofoto con los puntos coloreados según precisión y naturaleza.

El significado de cada uno de los colores es el siguiente:

Azul -> Puntos utilizados en la definición del plano imagen.

Verde -> Puntos utilizados (junto a los azules) para la generación del modelo 3D.

Rojo -> Punto de precisión mucho menor al resto.

Magenta -> Puntos no utilizados para la generación del modelo 3D.

La diferencia de posición entre los puntos azules y las dianas es evidentemente nula, debido a que se han utilizado de referencia para definir el SCP y realizar el escalado de la ortofoto.

Como se puede ver en la siguiente fotografía, se ha detectado un punto (coloreado en rojo) que tiene mucho error, debido a que se encuentra en una zona bastante conflictiva del modelo; ya que es muy irregular y se encuentra en un saliente de la pared.

El punto verde que se muestra ampliado corresponde al punto, de todos los restantes con mayor diferencia entre el punto de control y las coordenadas; lo que significa que tiene menor precisión.



Imagen 6.26: Visualización en detalle de los puntos más significativos.

El punto magenta que vemos en la imagen anterior, corresponde al punto de los no utilizados para la creación del modelo con mayor distancia a la diana.

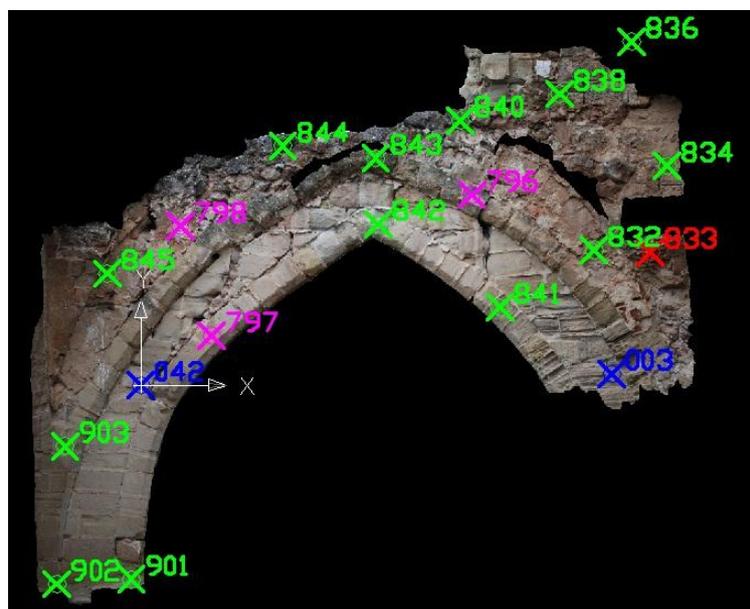


Imagen 6.27: Visualización de los puntos numerados.

Una vez realizado este análisis previo procedemos a medir todas las precisiones de cada uno de los puntos, las cuales se encuentran ordenadas en la siguiente tabla:

NP	Precisión	NP	Precisión
796	0,003	841	0,003
797	0,009	842	0,001
798	0,004	843	0,008
832	0,007	844	0,001
833	0,033	845	0,005
834	0,005	901	0,007
838	0,006	902	0,002
840	0,003	903	0,010

Tabla 6.4: Errores de todos los puntos. (La tabla completa se encuentra en el Anexo 6)

Como se puede ver, descartando el punto de mayor error, el de los demás es siempre menor de 0,010 metros.

Por lo tanto evaluando la diferencia entre el error más grande y el resto, nos percatamos de que el modelo en la zona del punto 833, de color rojo, el modelo no es lo suficientemente preciso; por lo que tomamos la decisión de suprimir esa zona en la ortofotografía, de forma que la precisión final de la ortofoto aumente.

La precisión de nuestra ortofoto final es de **1 centímetro**, lo que nos evidencia un resultado muy bueno para la metodología utilizada teniendo en cuenta nuestras necesidades y el uso que se le va a dar posteriormente a las ortoimágenes.

Los usos previstos, además de servir como documentación del elementos, podrá ser utilizada por otros participantes en los trabajos en el monasterio, para la realización del análisis estratigráfico, estudio de degradación y clasificación de técnicas constructivas, y para realizar el estudio de la cronotipología de los elementos constructivos, entre otros.

El uso que se le va a dar al producto final no requiere de una precisión mayor a la obtenida.

La apariencia de la ortofoto definitiva con la zona problemática suprimida es la siguiente:



Imagen 6.28: Ortofoto final del Arco por Image Master

6.3.2 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LA ORTOFOTO DEL “MURO R” OBTENIDA POR IMAGE MASTER

6.3.2.1 MURO R PAÑO NORTE

Para la determinación de la precisión de la ortofoto del muro “R” hemos seguido el proceso general indicado en el apartado denominado “Determinación de la precisión en ortofotografías”.

A semejanza del caso anterior de forma gráfica se ha realizado un análisis de precisión, coloreando los puntos según su precisión y su naturaleza.



Imagen 6.29: Ortofoto con los puntos coloreados según precisión y naturaleza.

El significado de cada uno de los colores es el siguiente:

Azul -> Puntos utilizados en la definición del plano imagen.

Verde -> Puntos utilizados (junto a los azules) para la generación del modelo 3D.

Magenta -> Puntos no utilizados para la generación del modelo 3D.

La diferencia de los distancia de los puntos azules a la diana en la ortofotografía es nula ya que estos puntos son los que definen el plano imagen, y por lo tanto, son los utilizados de referencia para definir el SCP y realizar el escalado de la ortofoto.

En la imagen que se presenta a continuación, se han destacado los puntos con mayor error tanto del grupo de los utilizados para realizar la orientación como del de los puntos naturales tomados como comprobación.

Como se puede llegar a identificar en la imagen el error en los puntos no empleados en la orientación es un poco mayor que en los que si se han utilizado.

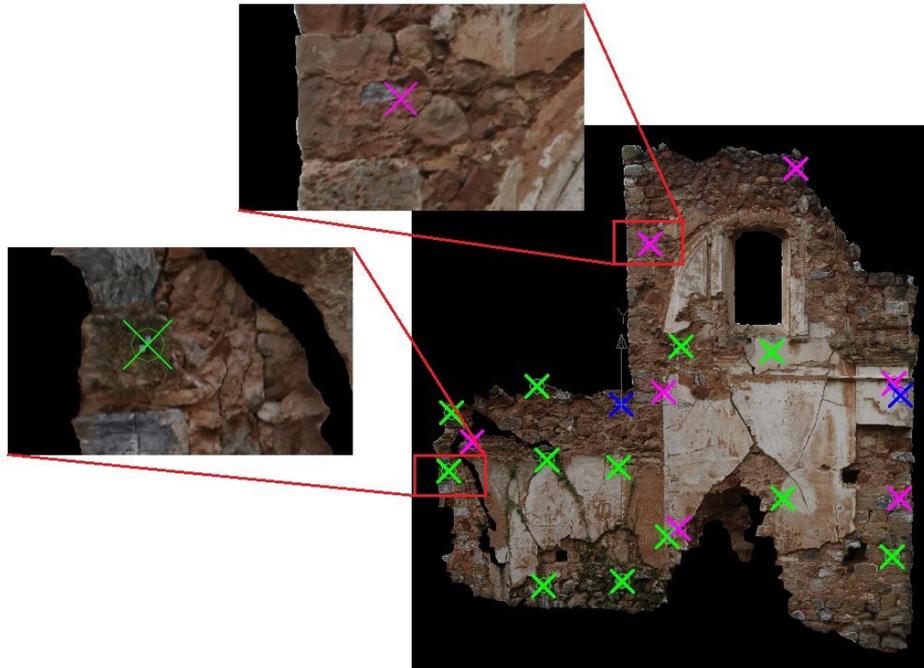


Imagen 6.30: Visualización en detalle de los puntos más significativos.

Se puede apreciar que los puntos con mayor error se suelen encontrar generalmente en los márgenes de las ortofotos.

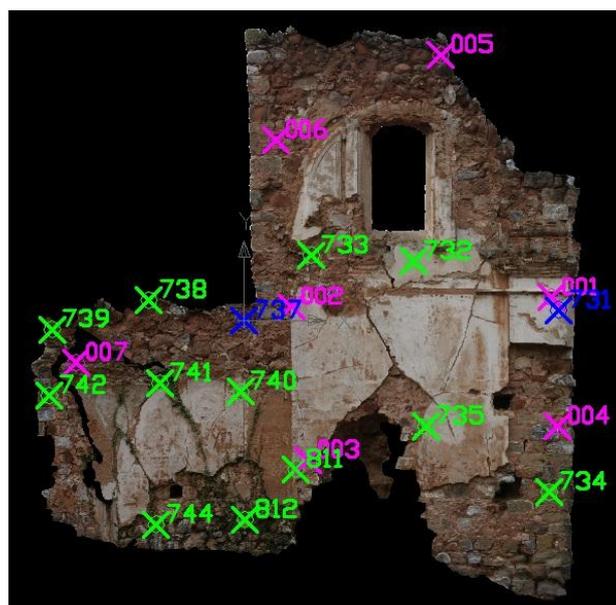


Imagen 6.31: Visualización de los puntos numerados.

Una vez realizado este análisis previo procedemos a medir todas las precisiones de cada uno de los puntos, las cuales se encuentran ordenadas en la siguiente tabla:

Puntos	Distancia	Puntos	Distancia
732	0,003	812	0,001
733	0,004	744	0,002
734	0,001	001	0,001
735	0,003	002	0,010
811	0,001	003	0,010
738	0,003	004	0,004
739	0,003	005	0,007
740	0,003	006	0,010
741	0,002	007	0,006
742	0,005		

Tabla 6.5: Precisiones de todos los puntos. (La tabla completa se encuentra en el Anexo 6)

Como se puede ver en la tabla el punto de mayor error de los utilizados en la orientación es el punto 742 con únicamente 5 milímetros de distancia a la diana, y de los naturales no empleados en la orientación los de mayor error son el 002, el 003 y el 006 con 1 centímetro de error. Hay que tener en cuenta que los puntos correspondientes a las dianas en la imagen se insertan de forma manual por lo que el error es aproximado, aunque mediante el zoom puede conseguirse un posicionamiento preciso del punto.

Por lo tanto, tras el análisis realizado podemos sentenciar que la precisión final de esta ortofoto es de **1 centímetro**, un resultado muy bueno para el uso que se prevé que se le va a dar, que evidencia la correcta elaboración de nuestro trabajo para la obtención de los resultados deseados.

6.3.2.2 MURO R PAÑO OESTE

En este caso continuamos aplicando el proceso de análisis de la precisión igual que en el caso anterior.

Procedemos también a realizar el análisis previo de precisión de forma gráfica, coloreando los puntos según su precisión y su naturaleza.

Los colores utilizados también son los mismos que en el resto de casos, con la intención de estandarizar todos los análisis de nuestro proyecto. En este caso se incluye el color cian para los puntos de la base utilizada para escalar.

El significado de cada uno de los colores es el siguiente:

Azul -> Puntos utilizados en la definición del plano imagen.

Verde -> Puntos utilizados (junto a los azules) para la generación del modelo 3D.

Cian -> Puntos utilizados como base para el escalado.

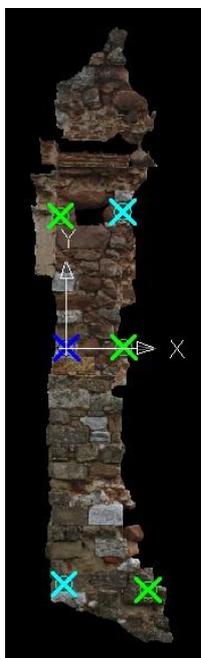


Imagen 6.32: Ortofoto con los puntos coloreados según precisión y naturaleza.

En este caso no disponemos de puntos de color magenta como en la ortofotografía anterior debido a que para este paño no disponemos de puntos de comprobación que no hayan sido utilizados para realizar la orientación. No tenemos puntos naturales de coordenadas conocidas por lo que deberemos centrarnos únicamente en el análisis de la precisión de los puntos que si han tomado parte en la orientación.

Aunque no dispongamos de estos puntos de comprobación, como se a verificado en los casos analizados hasta el momento, los errores de los puntos de comprobación son de rango similar a los de los puntos de apoyo de coordenadas conocidas; por lo que los resultados obtenidos a partir de los puntos disponibles se podrán considerar representativos.

Los puntos de color cian, son los utilizados como base para escalar la ortofoto; pero al contrario de los puntos azules en el caso anterior, estos puntos no tendrán error cero. Esto no es así porque el punto base del escalado no se incluye en la base a partir de la que se escala.

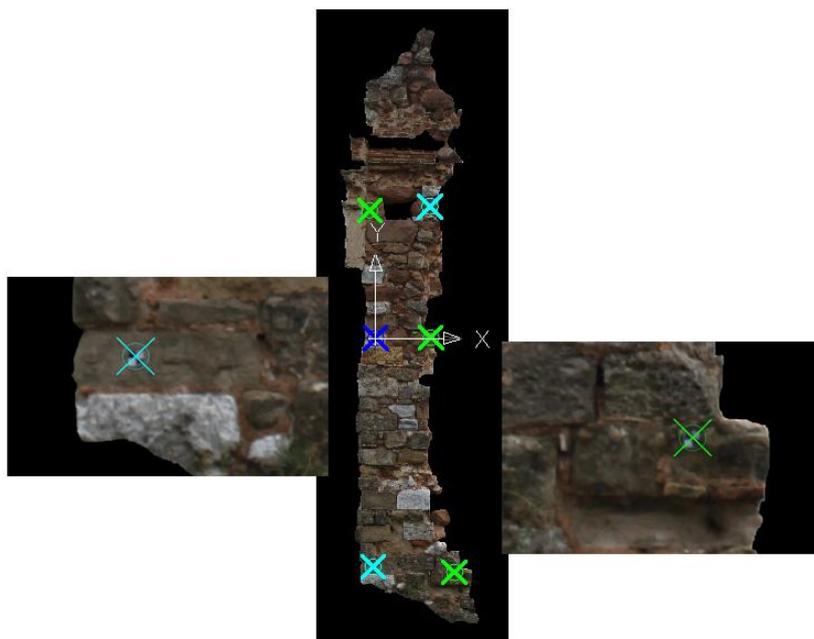


Imagen 6.33: Visualización en detalle de los puntos más significativos.

Los puntos que se muestran más detalladamente en la imagen anterior se corresponden con los puntos que gráficamente parecen tener una diferencia mayor entre las coordenadas de los puntos tomados mediante topografía y el centro de la diana de la ortofoto.

Estos dos puntos tienen un error bastante similar; y como se puede distinguir, la dirección del error es también bastante parecida. Esto nos demuestra que los errores de los puntos de una zona determinada de la ortofoto tienen un comportamiento similar.



Imagen 6.34: Visualización de los puntos numerados.

Una vez realizado este análisis previo procedemos a medir todas las precisiones de cada uno de los puntos, las cuales resumimos en la siguiente tabla:

Puntos	Distancia
752	0,004
753	0,001
754	0,001
756	0,006
757	0,006

Tabla 6.6: Precisiones de todos los puntos.
(La tabla completa se encuentra en el Anexo 6)

Como se observa en la tabla y de forma correcta hemos evaluado de forma gráfica, los puntos con mayor error son el 756 y el 757. Aún así el error de estos puntos es bastante pequeño, en el caso de haber dispuesto de puntos ajenos a la orientación lo más probable es que en los puntos de este tipo que se ubicasen en los bordes de la imagen el error fuese algo mayor.

También es cierto en este caso, que a pesar de que no tener puntos de este tipo, los puntos de la orientación están bastante bien distribuidos por toda la superficie así que la única zona que podría tener algo más de error sería la parte alta que tiene ausencia de puntos, esto no se puede certificar por lo tanto no se tendrá en cuenta.

También como ya se ha mencionado, del resto de análisis de precisión de otras ortofotos podemos extraer que en la mayoría de los casos el error de los puntos de comprobación no ha sido muy diferente a los del resto.

Finalmente, tras el análisis realizado podemos fijar la precisión final de la ortofoto de este muro en su paño oeste, teniendo en cuenta que el error máximo es de 6 milímetros; en **1 centímetro** como poco, en el caso de tener en cuenta la zona más alta del muro carente de puntos de control.

Los 6 milímetros de precisión se trata de un buen resultado, ya que es mayor del mínimo requerido para nuestros objetivos. Puede llegar a ser normal que los errores sean menores, ya que el tamaño del muro es menor, los puntos de control recubren todo el muro y la distancia máxima a un punto de control es menor en todas las zonas del muro.

6.3.3 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LA ORTOFOTO DEL ARCO DE LA IGLESIA OBTENIDA POR PHOTOMODELER

Se realiza un análisis de precisión de forma gráfica, coloreando para esta demostración los puntos según su precisión y su naturaleza.

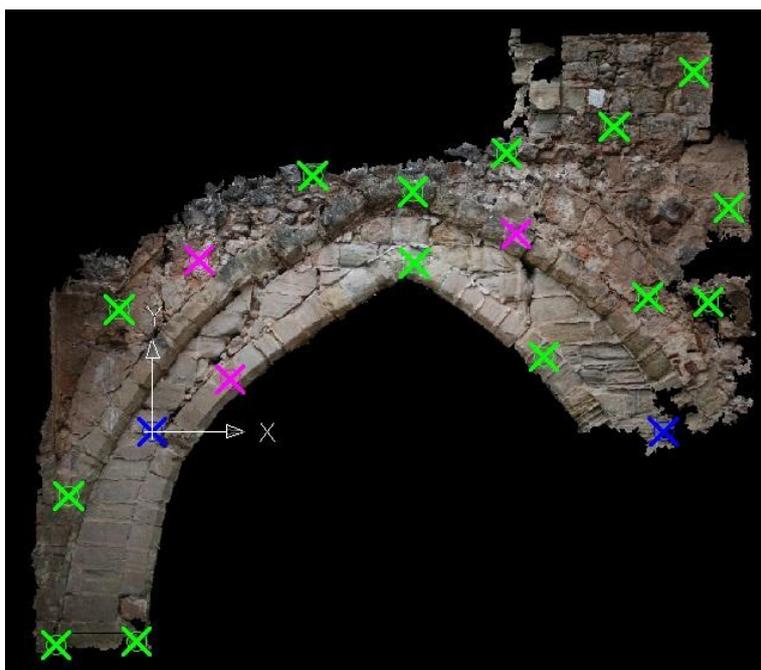


Imagen 6.35: Ortofoto con los puntos coloreados según precisión y naturaleza.

El significado de cada uno de los colores es el siguiente:

Azul -> Puntos utilizados en la definición del plano imagen.

Verde -> Puntos utilizados (junto a los azules) para la generación del modelo 3D.

Magenta -> Puntos no utilizados para la generación del modelo 3D.

Como los puntos azules han sido los utilizados para la definición del origen del sistema de coordenadas de la ortofoto y para el escalado de la misma, no es perceptible en estos puntos ningún error.

Los puntos en color verde son los utilizados en la orientación y los de color magenta son los no utilizados en la orientación, pero de los que disponemos de coordenadas; por lo que nos servirán como puntos de comprobación para la definición de la precisión de la ortofoto.

El punto verde que se encuentra destacado en la siguiente fotografía, aparentemente se trata del punto con máximo error, es decir que existe mayor diferencia entre la posición de la diana y las coordenadas de los puntos de apoyo medidas en campo.

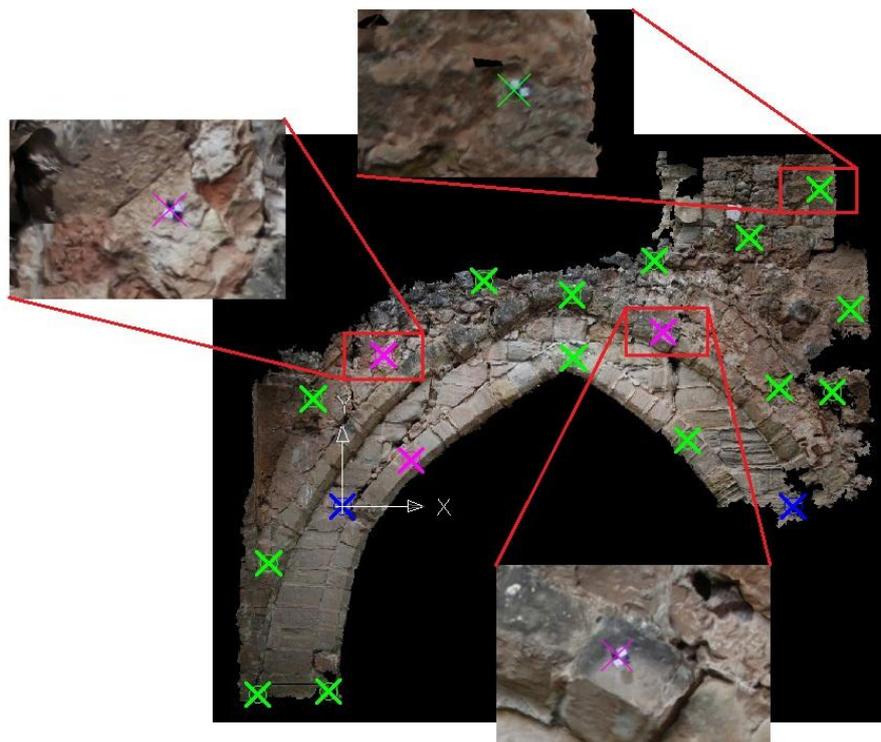


Imagen 6.36: Visualización en detalle de los puntos más significativos.

Los otros dos puntos mostrados en detalle, se tratan de puntos de comprobación, y tienen un error menor que el punto verde de error máximo.

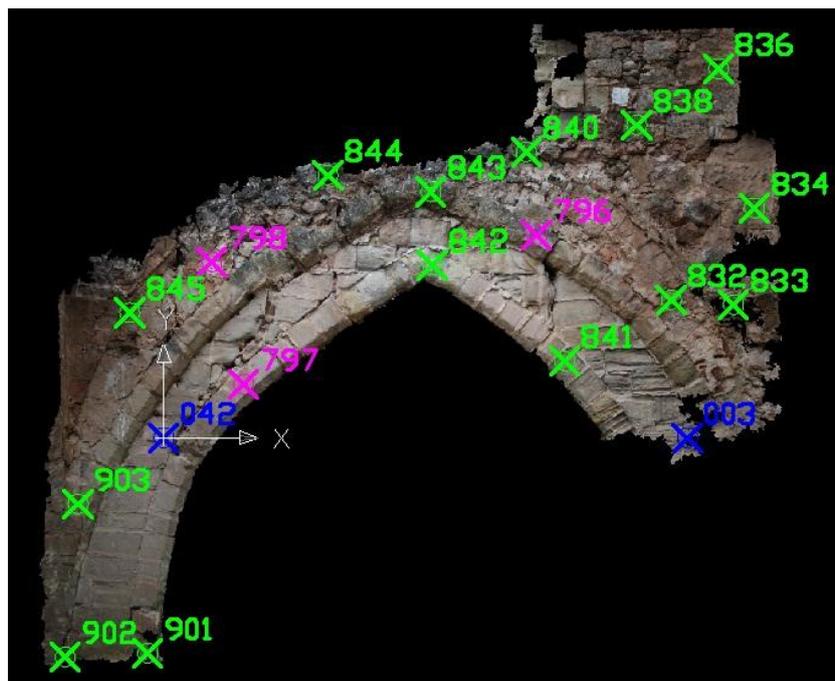


Imagen 6.37: Visualización de los puntos numerados.

Una vez realizado este análisis previo, se puede realizar toda la medición de los errores de cada uno de los puntos, las cuales se encuentran ordenadas en la siguiente tabla:

NP	Distancia
796	0,008
797	0,008
798	0,008
832	0,003
833	0,002
834	0,010
836	0,013
838	0,007
840	0,002

NP	Distancia
841	0,002
842	0,002
843	0,004
844	0,002
845	0,001
901	0,007
902	0,005
903	0,003

Tabla 6.7: Errores de todos los puntos. (La tabla completa se encuentra en el Anexo 6)

A partir de los datos de la tabla, confirmamos que como se había apreciado en el análisis gráfico, el punto 836 es el que tiene un error mayor.

Los puntos utilizados de comprobación presentan un error menor, lo que evidencia que el error no depende de la utilización o no del punto en la orientación del modelo; por lo que la orientación está correctamente realizada.

Por lo tanto, habiendo obtenido un error máximo en los puntos medidos de 1,3 centímetros; podemos fijar la precisión de nuestra ortofoto final en **1,5 centímetros**, lo que nos evidencia

un resultado bueno para la metodología utilizada teniendo en cuenta nuestras necesidades y el uso que se le va a dar posteriormente a las ortoimágenes.

En comparación a la ortofoto obtenida con Image Master, esta tiene una precisión un poco menor; es de 1,5 centímetros frente a 1 centímetro de la de Image Master. Esta diferencia no es muy significativa; por lo que se puede sentenciar que el resultado de las ortofotos generadas con los dos programas, en lo relativo a la precisión, es bastante parecido en ambos casos.

6.3.4 ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LA ORTOFOTO DEL “MURO R” OBTENIDA POR PHOTOMODELER

6.3.4.1 MURO R PAÑO NORTE

Para la determinación de la precisión de la ortofoto del muro “R” obtenida por Photomodeler, hemos aplicado la metodología propuesta en este mismo proyecto.

Se ha realizado un análisis gráfico, coloreando los puntos según su precisión y su naturaleza.



Imagen 6.38: Ortofoto con los puntos coloreados según precisión y naturaleza.

El significado de cada uno de los colores es el siguiente:

Azul -> Puntos utilizados en la definición del plano imagen.

Verde -> Puntos utilizados (junto a los azules) para la generación del modelo 3D.

Magenta -> Puntos no utilizados para la generación del modelo 3D.

Los puntos azules no presentan diferencia ninguna con las dianas de la ortofoto, debido a que han sido utilizados para la generación del modelo.

En la imagen que se presenta a continuación, se han destacado los puntos con mayor error tanto de los utilizados para realizar la generación del modelo como del de los puntos naturales utilizados como comprobación.

En este caso el error mayor aparenta ser el de la diana no utilizada para la generación del modelo; mientras que el otro punto presenta una diferencia algo menor entre las coordenadas medidas y la posición de la diana en la ortofoto.

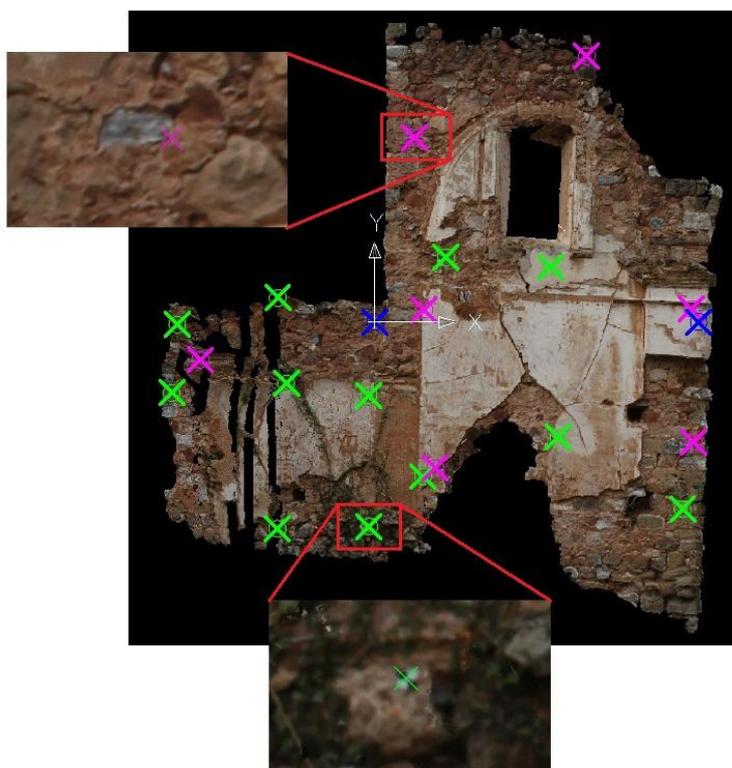


Imagen 6.39: Visualización en detalle de los puntos más significativos.

Es comprensible que el error mayor aparezca en un punto natural, ya que cada uno de los posicionamientos sobre él; tanto al generar el modelo como al realizar el análisis comparativo, introduce un error producido también en cierta medida por la indeterminación a la hora de la identificación del punto.

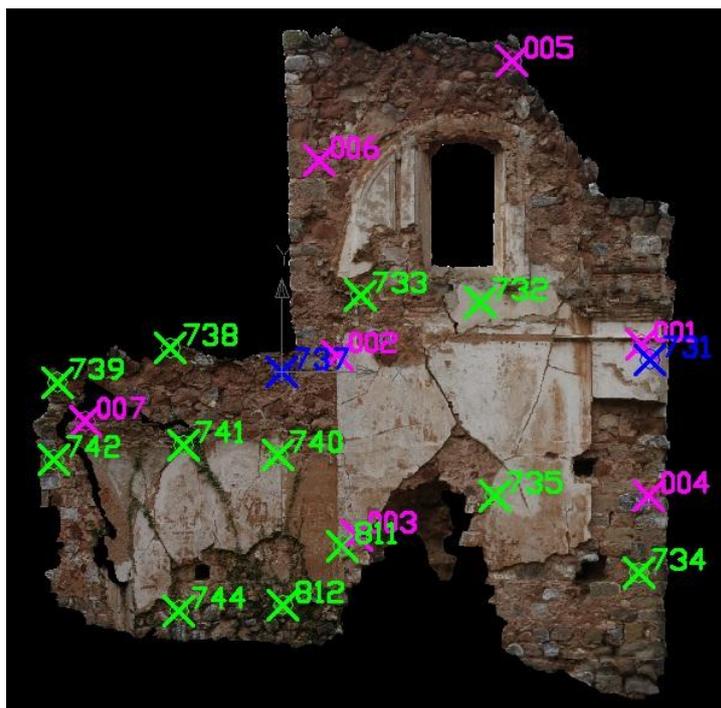


Imagen 6.40: Visualización de los puntos numerados.

Una vez realizado este análisis previo se ha procedido a medir todas las diferencias de coordenadas de cada uno de los puntos, las cuales se encuentran recopiladas en la siguiente tabla:

Puntos	Distancia
732	0,003
733	0,002
734	0,000
735	0,002
811	0,004
739	0,004
740	0,001
741	0,003
742	0,004

Puntos	Distancia
812	0,007
744	0,005
1	0,002
2	0,006
3	0,007
4	0,002
5	0,007
6	0,013

Tabla 6.8: Precisiones de todos los puntos. (La tabla completa se encuentra en el Anexo 6)

Según los resultados de la tabla, el punto que muestra un error mayor es la número 6; que es el que ya se había indicado en el análisis previo. Su error es de 1,3 centímetros. Este error difiere un poco al del resto de los puntos, ya que el siguiente con mayor error es el punto 812, que presenta un error de 7 milímetros. Este punto a diferencia del anterior, si que se ha utilizado para la orientación del modelo.

Por lo tanto, tras el análisis realizado, se puede definir la precisión final de la fotografía como de **1,5 centímetros**; ya que la precisión de la ortofoto se corresponde con el error máximo de todos los puntos analizados, y en este caso asciende a 1,3 centímetros. El resultado, a pesar de

ser un poco peor que los obtenidos en las ortofotos generadas con Image Master, cumple las expectativas; y más aún corroborando que la mayoría de puntos tienen un error menor.

Como se ha explicado anteriormente, también es posible que sea debido a la identificación del punto al realizar el escalado.

6.3.4.2 MURO R PAÑO OESTE

En este caso se continúa aplicando la misma metodología de análisis de la precisión que en el caso anterior.

Procedemos a realizar el análisis previo de precisión de forma gráfica, coloreando los puntos según su precisión y su naturaleza.

Los colores utilizados también son los mismos que en los casos anteriores, incluyendo el color cian para distinguir los puntos utilizados para realizar el escalado pero que no tendrán error cero; ya que la base del escalado no contiene al punto origen.

El significado de cada uno de los colores es el siguiente:

Azul -> Puntos utilizados como origen y punto base del desplazamiento.

Verde -> Puntos utilizados (junto a los azules y cian) para la generación del modelo 3D.

Cian -> Puntos utilizados como base para el escalado.



Imagen 6.41: Ortofoto con los puntos coloreados según precisión y naturaleza.

Para realizar el escalado de la ortofoto se han utilizado los puntos de color cian. Se han seleccionado estos puntos debido a que conforman la distancia más larga posible, y por lo tanto al utilizar una base más grande el escalado será mejor.

No se dispone de puntos naturales susceptibles de ser utilizados como comprobación por lo que tendremos que reducir el análisis a los puntos que tenemos y que han sido utilizados en la generación del modelo 3D y la ortofotografía.

Como ya se ha mencionado el escalado de la imagen se ha realizado con los puntos de color cian manteniendo como punto base el de color azul.

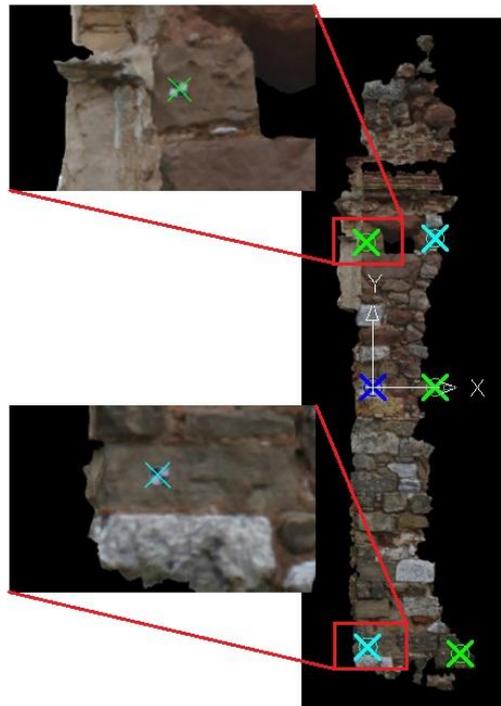


Imagen 6.42: Visualización en detalle de los puntos más significativos.

En la imagen anterior se muestran ampliados los puntos que presentan mayor error, aunque este error aparenta ser muy pequeño según la percepción sobre la ortofoto.

Se puede comprobar que el hecho de haber utilizado los puntos para escalar no influye en mejorar la precisión del mismo, como en el caso de tomar la base de escalado incluyendo el punto base.

Obviamente, el punto origen, de color azul; tiene error nulo ya que es el utilizado como referencia para encajar la ortofoto en los puntos tomadas por topografía clásica.

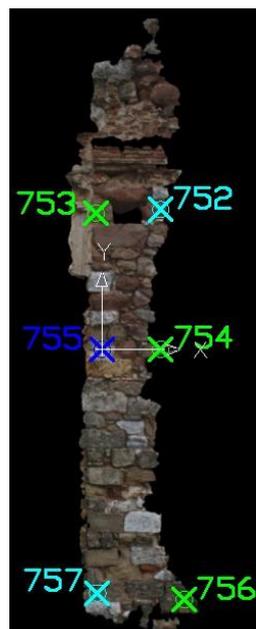


Imagen 6.43: Visualización de los puntos numerados.

Una vez realizado este análisis previo realizamos el cálculo de las diferencias que presentan los puntos entre sus coordenadas mediadas y las posiciones de las dianas en la imagen. Estas distancias se resumen en la siguiente tabla:

Puntos	Distancia
752	0,003
753	0,004
754	0,001
756	0,003
757	0,004

*Tabla 6.9: Precisiones de todos los puntos.
(La tabla completa se encuentra en el Anexo 6)*

Como se observa en la tabla y de correctamente hemos evaluado de forma gráfica, los puntos con mayor error son el 753 y el 757. Este error es muy pequeño, y aunque existe la zona superior de la ortofoto en la que no tenemos ningún punto de comprobación; presumiblemente, en esa zona el error no superaría los 6 u 8 milímetros. Esto no se puede asegurar, pero al no distinguirse la zona como de geometría susceptible a provocar grandes errores, y al no encontrarse muy lejos de los puntos disponibles; no resulta muy aventurado suponer que el error no excedería de estos 6 milímetros. También corrobora esta teoría, que en el resto de casos estudiados los errores de los puntos de comprobación no son mucho mayores a los de los puntos utilizados en la generación del modelo.

Tras realizar este análisis, se determina la precisión final de la ortofoto en **1 centímetro** como máximo.

Esta precisión milimétrica supera las expectativas del trabajo, ya que los usos que se les va a dar a estas ortofotos no requieren de tanta precisión; nos resultaría suficiente con una precisión cercana al centímetro.

7. COMPARATIVA

7.1 ANÁLISIS COMPARATIVO

7.1.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES DE COMPARACIÓN

Para realizar una comparación lo más completa posible, y que abarque todos los procesos cubiertos por los programas; es necesaria la definición de unos factores de comparación a los que ceñirnos.

Atendiendo a cada uno de estos factores, procederemos a realizar la comparativa, definiendo las diferencias, ventajas y desventajas de los diferentes programas.

La definición de los factores se ha realizado a partir del análisis de las características generales más importantes del tipo de programas utilizados. Ha sido durante su estudio y aprendizaje, cuando se ha comprendido cuáles son los pasos generales que se realizan, y que conforman las características propias de cada programa.

Finalmente los factores evaluados como factibles de usarse en la comparación son los siguientes:

- Formatos de entrada
- Calibración de la cámara
- Número de pasos del proceso
- Capacidad de intervención en el proceso
- Edición de mallas y nubes de puntos
- Generación de los productos
- Calidad de los resultados
- Capacidad de exportación
- Tiempo / velocidad del proceso completo
- Aspecto visual y comodidad de trabajo

A continuación se explica cada uno de los factores, indicando los aspectos concretos que se tratarán para cada programa en lo respectivo a cada factor.

Formatos de entrada

En este apartado se describirán los tipos de fichero que cada programa permite utilizar, y se evaluarán las ventajas e inconvenientes de cada caso y formato.

Calibración de la cámara

Para este apartado, se describirán las posibilidades que cada programa nos ofrece en lo referente a la calibración; tipos de calibración y su comparación.

Números de pasos del proceso

Se enumerarán todos los pasos que se debe realizar con cada programa para ejecutar un trabajo completo con cada programa.

Capacidad de intervención

Se evaluará la capacidad de intervención que tiene el usuario durante la ejecución de los procesos, los parámetros que se permite definir al usuario y el grado de automatización que éstos presentan.

Edición de mallas y nubes de puntos

En este factor se evaluará tanto la capacidad de edición; como la facilidad, rapidez y comodidad de la misma.

Generación de los productos

En este apartado se analizará la creación de los modelos 3D, las ortofotos y las secciones con los diferentes programas.

Calidad de los resultados

Se evaluará, tanto a nuestro juicio como cuantitativamente mediante el análisis de la precisión realizada, la calidad de los resultados que se obtienen en los distintos software.

Capacidad de exportación

Se describirán los elementos que permite exportar cada programa, y los formatos en los que se puede realizar.

Tiempo / velocidad del proceso completo

Se evaluará en la medida de lo posible el tiempo que se tarda en completar un trabajo estándar con cada uno de los programas, y que procesos resultan más ágiles o más lentos en los mismos.

Aspecto visual y comodidad de trabajo

Se analizará de forma subjetiva el aspecto gráfico de cada programa y la comodidad de realización del trabajo.

7.1.2 COMPARACIÓN (DIFERENCIAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS)

En la presente comparación se van a evaluar las características de cada programa basándonos en los factores de comparación definidos en el apartado anterior. Además de indicar las diferencias, ventajas y desventajas de cada programa; se va a indicar según nuestro criterio qué programa es más ventajoso en lo relativo a cada factor.

7.1.2.1 FORMATOS DE ENTRADA

Los formatos de entrada aceptados por cada uno de los programas están recopilados en la siguiente tabla.

	IMAGE MASTER	PHOTOMODELER SCANNER
Imágenes	*.jpg; *.bmp	*.jpg; *.bmp; *.png; *.tif
Puntos	*.csv; *.gcp; *.apa; *.sim; *.txt	*.dxf; *.obj; *.3ds; *.pmc; *.txt
Nubes de puntos y mallas	*.cl3; *.clr; *.ptx; *.pts; *.dxf; *.csv; *.txt; *.tin	*.asc; *.dat; *.stl; *.obj; *.ply; *.byu; *.facet
Ortofotos	*.jpg; *.bmp; *.tif	-
Otros	Elevation text: *.hei Field Scan: *.fsc Field Orientation: *.foe TopSURV Scanning: *.fsn	-

Tabla 7.1: Formatos de importación aceptados en cada programa

Ambos programas permiten la importación en varios formatos, pero la principal diferencia es la capacidad que tiene Image Master de importar otros tipos de ficheros como, por ejemplo, las ortofotos.

La ventaja que tiene Photomodeler es que acepta más formatos de imágenes; aunque esto no es un problema en Image Master, ya que el formato comúnmente utilizado es JPEG, y además, en el caso de las imágenes es sencillo realizar las conversiones de formato.

El programa que presenta más posibilidades en este apartado es Image Master, por lo que esto supondrá un punto a favor para dicho software.

Image Master: +1

7.1.2.2 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA

Con respecto a la calibración de la cámara que se ha utilizado, si que existen bastantes diferencias entre los métodos que proponen los diferentes programas.

Por ejemplo, Image Master solamente permite realizar la calibración a partir de la toma de fotografías a un patrón de calibración compuesto por una matriz de puntos presentados en formato papel, que el programa detecta automáticamente. Photomodeler, por otra parte, también permite realizar la calibración de un modo similar, aunque la hoja de calibración es diferente, ya que cada programa tiene una específica.

A pesar de que el método de calibración es similar, presenta bastantes diferencias en lo relativo al nivel de intervención asumible por el usuario. En Image Master la capacidad de intervención del usuario es muy reducida ya que el proceso es automático. El usuario

únicamente tendrá que intervenir en el caso de que el programa no sea capaz de identificar las marcas de la hoja de calibración automáticamente, las cuales deberán ser marcadas por el usuario.

En Photomodeler, por el contrario, el nivel de intervención del usuario es mucho mayor. La detección de las marcas de la matriz de calibración es también automática y en caso de no detectar todas las marcas deberán ser marcadas manualmente. En este programa, el usuario es capaz de analizar el resultado de la calibración a partir de los residuos de todos los puntos. En el caso de que la calibración no sea todo lo precisa deseable, el usuario puede eliminar algunos de los puntos que tienen más error; o asumir una precisión un poco menor en la calibración.

Aunque desde algún punto de vista, puede ser más cómodo y sencillo el que el proceso sea completamente automático, esto puede presentar multitud de problemas; ya que si el programa no es capaz de detectar las marcas habría que volver a tomar las fotografías de calibración, mientras que con un nivel de intervención mayor se podría solucionar el problema, relegándose la repetición de la toma de las fotografías a una última opción.

Además de este sistema de calibración clásico para este tipo de programas fotogramétricos, Photomodeler permite la calibración de la cámara de forma inversa, sin necesidad de tomar fotografías a la hoja de calibración, por dos métodos diferentes.

La primera posibilidad es realizar la calibración a partir de las coordenadas conocidas de, al menos, cinco puntos de control que aparezcan en las fotografías; y la otra es realizar la calibración, a partir de unos parámetros aproximados de una cámara similar, e identificando una cantidad considerable de puntos homólogos.

La ventaja de la calibración con puntos de coordenadas conocidas, es que se asigna una cámara independiente a cada fotografía y por lo tanto se calculan unos parámetros específicos para cada una. Por esta razón sería posible en este caso tomar las imágenes en modo "AF" de autoenfoco, y de esta forma asegurarnos que las fotografías resultarán bien enfocadas.

El caso de Orthoware es similar a la segunda de las opciones de calibración inversa de Photomodeler. Calcula los parámetros de calibración, dando también la posibilidad de calcular cámaras independientes para cada imagen, a partir de la identificación de puntos homólogos. Lo característico de este programa es que la identificación de los puntos homólogos es automática por correlación por lo que el número de puntos obtenidos es mayor, y por lo tanto la calibración de mayor calidad y más rápida.

Por lo tanto, por las características descritas, en la comparación entre Image Master y Photomodeler; este último saldría mejor parado, ya que permite una serie de opciones que resultan muy interesantes y que en Image Master no está disponible.

Photomodeler: +1

7.1.2.3 NÚMERO DE PASOS DEL PROCESO

En la siguiente tabla se recogen la serie de pasos de que consta el proceso para cada uno de los casos.

IMAGE MASTER	PHOTODELER SCANNER
<ul style="list-style-type: none"> - Crear nuevo proyecto - Abrir imágenes - Importación de los puntos de control - Marcado de los puntos de control - Creación de los pares - Dibujado de las líneas de rotura - Generación de la superficie - Limpieza del modelo - Generación y de la ortofoto - Exportación de la ortofoto 	<ul style="list-style-type: none"> - Iniciación del proyecto - Identificación de puntos homólogos - Orientación de imágenes - Importación de los puntos de control - Marcado de los puntos de control - Idealizado de las imágenes - Creación de la nube de puntos - Limpieza de la nube - Generación de la malla - Limpieza del modelo - Generación de la ortofoto

Tabla 7.2: Pasos del proceso en Image Master y Photodeler

Como se puede ver a partir del número de pasos de la tabla, en Photodeler el proceso resulta ser más largo y laborioso.

Existen varias diferencias entre los pasos en ambos programas. Por ejemplo en Image Master, los puntos de control son introducidos directamente identificándolos en todas las fotografías; mientras que en Photodeler en un primer momento se identifican los puntos homólogos incluyendo los puntos de los que se han tomados las coordenadas, y posteriormente, tras importar los puntos de control se relacionan las coordenadas con el punto correspondiente ya identificado anteriormente.

Otra diferencia es que mientras Image Master crea las mallas directamente a partir de las fotografías, en Photodeler este proceso se divide en 12 pasos que pueden ser ejecutados individualmente, o ejecutar únicamente los que se desean; estos pasos son: "Filter Isolated Points", "Register & Merge", "Denoise Point Cloud", "Decimate Point Cloud", "Mesh Point Cloud", "Decimate Triangles", "Fill Holes", "Unify Normals", "Fill Fjords", "Smooth", "Sharp Smooth" y "Contours".

También existe diferencia en la creación de las ortofotos, mientras que en Photodeler se crea y se exporta directamente, en Image Master son dos pasos diferenciados.

Otra peculiaridad de Image Master es que ofrece la posibilidad de creación de líneas de rotura, de forma que la malla creada se ajuste mejor a la geometría del elemento en las zonas más críticas.

Aunque el proceso en Photodeler es más largo, la capacidad de seleccionar de forma individual los pasos para la generación de las nubes de puntos y las mallas, se convierte en una característica muy importante, por lo que se trata de un punto a favor de Photodeler.

Photodeler: +1

7.1.2.4 CAPACIDAD DE INTERVENCIÓN EN EL PROCESO VS AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

En cuanto a la capacidad de intervención, Photomodeler presenta muchas más posibilidades. Además de los 12 pasos que se han descrito en el apartado anterior y que nos permiten realizar el proceso por partes, e incluso decidir que partes del proceso queremos ejecutar o no; Photomodeler también nos permite definir los parámetros de creación de nubes de puntos. Por el contrario Image Master presenta un proceso muy automatizado, sobre todo en lo respectivo a la generación de la superficie.

A pesar que desde un punto de vista técnico, podría ser preferible la mayor capacidad de intervención ofrecida por Photomodeler; en este caso no lo es tanto, incluso puede llegar a volverse en su contra. Photomodeler no nos da las indicaciones necesarias para comprender correctamente el funcionamiento de estos parámetros, y cómo conseguir que las nubes tengan desde un principio menos ruido y menos zonas sin puntos. Por esta razón, resulta muy complicado conseguir nubes muy buenas, ya que los parámetros óptimos a definir en cada caso deberían de ser obtenidos mediante experimentación lo que hacen que esta tarea no sea todo lo ágil que debiese. Sería necesario mucho tiempo de trabajo con el programa para llegar a dominar, de forma experimental, el efecto de la variación de los valores de cada parámetro.

En Image Master, sin embargo, el nivel de intervención posible es bastante menor; pero a la contra, el resultado es muy bueno la mayoría de las veces, por lo que resulta mucho más eficaz que la mayor capacidad de intervención de Photomodeler.

Por esta razón, aunque Image Master permite la definición de menos variables, permite generar las nubes de puntos y las superficies con más solvencia.

Image Master: +1

7.1.2.5 EDICIÓN DE MALLAS Y NUBES DE PUNTOS

La capacidad de edición de mallas y nubes de puntos es bastante similar entre los dos programas. Ambos dan la oportunidad de recortar tanto las nubes de puntos como las mallas, seleccionando los elementos de forma individual o marcando un polígono.

La única diferencia es que, para mi parecer, la edición en Image Master resulta un poco más cómoda ya que también el modo de visualización del modelo es más cómodo, y la forma de hacer las selecciones de los elementos también.

Image Master: +1

En este apartado, resulta también muy interesante, hacer un inciso en la comparación de Image Master y Photomodeler; y comentar las características tanto de MeshLab como de Rapidform.

Estos software no resultan comparables a los anteriores, ya que se tratan de programas específicos para la edición de nubes de puntos y mallas de triángulos por lo que las capacidades son mucho mayores para el desarrollo de este tipo de trabajos.

Ambos permiten trabajos con las nubes y las mallas como el combinado, la depuración, el recorte,... Comparando MeshLab con Rapidform, este segundo resulta más fácil de manejar, más intuitivo y permite muchas más acciones. Esto puede deberse a que el índice de desarrollo alcanzado por Rapidform es mayor, ya que MeshLab es un programa creado por la universidad de Pisa; y seguramente los medios técnicos y sobre todo económicos diferirán muchísimo ya que Rapidform es un programa comercial, mientras que MeshLab se distribuye de forma gratuita.

El manejo de MeshLab resulta más complicado porque se trata de un programa creado por módulos de forma que cada una de las acciones que el programa realiza se ha programado por uno de los colaboradores en el proyecto de creación, y por lo tanto, acciones que en un software normal se realizarían mediante un icono, en MeshLab requieren de la ejecución de tres acciones; como por ejemplo la creación de superficies.

7.1.2.6 GENERACIÓN DE LOS PRODUCTOS

En el caso del modelo 3D, como ya se ha indicado previamente, la generación en Image Master es más solvente, realizándose de forma ágil y sencilla. En Photomodeler, por el contrario es un poco más engorrosa aunque tampoco presenta ningún problema.

En lo que a MeshLab e Rapidform respecta, también son capaces de generar superficies aunque este es un apartado de Rapidform en el que no se ha indagado. En el caso de MeshLab el resultado no es tan bueno como en el resto, aunque puede ser una solución en algunos casos ya que es un software de libre distribución. Tiene el problema de que no permite el trabajo con texturas fotográficas, aunque para superficies creadas a partir de nubes de puntos muy densas, la textura puede resultar bastante realista.

Con respecto a las ortofotografías, su generación resulta muy sencilla tanto en ImageMaster como en Photomodeler con la diferencia de la manera de definición del plano imagen o de ortoproyección; a partir de dos puntos en Image Master y a partir de tres en Photomodeler. Es más interesante definir el plano a partir de tres puntos ya que proporciona bastante más libertad. Ya que el eje Y del plano de ortoproyección en Image Master siempre será la vertical del sistema de coordenadas de los puntos de apoyo.

También hay que decir, que aunque Imagemaster requiera dos pasos para la generación de las ortofotos esto se convierte en una ventaja, ya que antes de exportar la ortofoto la puedes examinar a tamaño real, mientras que en Photomodeler sólo se puede previsualizar en una pequeña ventana.

Mencionar que las secciones han sido obtenidas con Rapidform ya que se ha evaluado como la manera más sencilla de hacerlo, de acuerdo a las opciones disponibles.

Para este factor de comparación, no es posible decantarse por ninguno de los dos programas, ya que Image Master es mejor en la generación del modelo y Photomodeler en la generación de la ortofoto.

Image Master: +1

Photomodeler: +1

7.1.2.7 CALIDAD DE LOS RESULTADOS

El análisis de la calidad de los resultados debe basarse tanto en el análisis de la precisión de cada producto como en la valoración del aspecto visual del resultado.

En lo relativo a los modelos tridimensionales, el análisis de la precisión se ha realizado mediante la comparación de coordenadas de los puntos de control y de las dianas sobre el modelo, en Image Master; y mediante la comparación de las coordenadas de los puntos de control y de los puntos restituidos de las dianas por el programa, en Photomodeler.

Esto es así porque, aunque la manera óptima de realizarlo es como se ha realizado en Image Master; esto no es posible en Photomodeler ya que el programa no permite realizar mediciones sobre la superficie, ni tampoco conocer las coordenadas de los puntos de las nubes de puntos.

El análisis de la precisión de los modelos se encuentra descrito en el apartado correspondiente del capítulo de Resultados.

Las precisiones obtenidas para cada modelo son las presentadas en la siguiente tabla:

	IMAGEMASTER	PHOTOMODELER SCANNER
ARCO	2 cm	1 cm
MURO "R"	1,5 cm	1,5 cm

Tabla 7.3: Precisiones de los modelos

Como se ve en la tabla, las precisiones de los modelos de Image Master resultan algo menores, aunque hay que tener en cuenta, que los errores medidos en Photomodeler se ven reducidos ya que los puntos restituidos utilizados en la medición de distancias para el análisis de la precisión se ven afectados por la orientación del modelo.

Aun así se puede decir, que atendiendo a los resultados obtenidos, los modelos de Photomodeler resultan un poco más precisos; aunque estas diferencias no resultan del todo significativas.

Respecto al aspecto visual del modelo hay que decir que Image Master supera a Photomodeler. Como se puede observar en los modelos expuestos en el apartado de análisis de la precisión de los modelos por ambos programas, el modelado de la superficie resulta mejor en Image Master. Además, los modelos por Photomodeler tienen la deficiencia de que al

acercarse a la superficie se distinguen en la textura los triángulos que conforman la malla, lo que le otorga al modelo una apariencia menos agradable y menos rigurosa.

Para las ortofotografías también se ha realizado el análisis de la precisión, para este caso se ha realizado la comparación de coordenadas entre los puntos de control y la posición de las dianas en la ortofoto.

Las precisiones obtenidas han sido las siguientes:

	IMAGEMASTER	PHOTOMODELER SCANNER
ARCO	1 cm	1,5 cm
MURO "R" PAÑO NORTE	1 cm	1,5 cm
MURO "R" PAÑO OESTE	1 cm	1 cm

Tabla 7.4: Precisiones de las ortofotos

Como se comprueba en la tabla, a pesar de que para los modelos la precisión es mayor en Photomodeler, en las ortofotos no es así resultando algo más precisas las generadas en Image Master; aunque la diferencia tampoco es muy significativa.

La diferencia entre las precisiones de los modelos y de las ortofotos, puede ser debida a que en los modelos las distancias se miden en tres dimensiones, y en el caso de las ortofotos solamente en dos.

La apariencia visual de las ortofotos es muy buena en ambos casos, la diferencia es que al tratarse de productos derivados del modelo, las deficiencias de estos se transmiten a las ortofotos. En el caso de que exista alguna zona sin modelar, esta tampoco aparecerá en la ortoimagen.

Por último sobre las secciones, indicar que se obtienen directamente a partir de las superficies generadas, y que estas tendrán las mismas precisiones que los modelos de las que se derivan.

Por lo tanto, atendiendo a que las precisiones obtenidas en los dos programas son bastante similares, y a que la apariencia visual es mejor en Image Master; podemos concluir que en general Image Master nos proporcionará unos resultados mejores, y además obtenidos de forma más rápida y sencilla.

Image Master: +1

7.1.2.8 CAPACIDAD DE EXPORTACIÓN

Los posibles formatos de exportación de cada uno de los programas se encuentran recopilados en la siguiente tabla:

	IMAGE MASTER	PHOTOMODELER SCANNER
Puntos	*.csv; *.apa; *.sim; *.txt	*.dxf; *.3ds; *.wrl; *.obj; *.raw;
Nubes de puntos	*.ptx; *.pts; *.dxf; *.csv; *.txt	*.igs; *.3dm; *.stl; *.ma; *.kml;
Mallas	*.dxf; *.tin; *.wrl	*.kmz; *.ms; *.fbx
Ortofotos	*.jpg; *.bmp; *.tif	*.tif; *.bmp; *.pcx; *.tga; *.png; *.plt; *.psd; *.iff; *.cal; *.sgi; *.rgb
Animación	-	*.avi

Tabla 7.5: Formatos de exportación posibles en cada programa

Ambos programas presentan varios formatos posibles para la exportación, aunque cuantitativamente como se puede observar en la tabla anterior Photomodeler presenta más opciones.

Aunque esto es un punto a favor, esto no quiere decir que en Image Master esto sea un problema, ya que dispone de los formatos comúnmente más utilizados como son el TXT, DXF y VRML.

Un punto a favor de Photomodeler, es también es al posibilidad de exportar una animación del modelo, ya que esta es una herramienta muy útil como forma de difusión del trabajo realizado. Para la difusión, también resulta interesante la posibilidad de crear imágenes y vídeos 3D por medio de anáglifos.

En este apartado Photomodeler presenta más opciones así que esto supone un punto a favor de este software.

Photomodeler: +1

7.1.2.9 TIEMPO / VELOCIDAD DEL PROCESO COMPLETO

El tiempo de generación de las nubes de puntos no se ha cuantificado rigurosamente, pero es obvio, según las experiencias, que Image Master resulta algo más rápido que Photomodeler, entre otras cosas porque el número de pasos es menor. Mientras que en Image Master los procesos que más se demoran son la identificación de puntos, el dibujado de las líneas de rotura, la generación del modelo y la edición del mismo; en Photomodeler son mas procesos: identificación de puntos, importación de los puntos de control, generación de la nube de puntos, limpieza de la nube, generación de la superficie y edición de la superficie.

También hay que decir que el proceso de generación de las mallas se demora un poco más en Photomodeler, aunque realmente esto no está muy contrastado en este caso ya que para cada programa se han utilizado ordenadores diferentes.

La mayor rapidez en la ejecución del trabajo completo por parte de Image Master, se convierte en uno de los principales puntos a favor.

Image Master: +1

7.1.2.10 ASPECTO VISUAL Y COMODIDAD DEL TRABAJO

En cuanto al aspecto visual general de los dos programas, en mi opinión, ninguno presenta ninguna deficiencia grande; aunque para mi gusto yo me quedaría con Photomodeler en lo que a las barras de herramientas se refiere.

Por el contrario, a mi juicio, Photomodeler también presenta una deficiencia bastante notoria en el visualizador 3D. Mientras que para desplazarte por la vista en Image Master lo realizas con los botones del ratón directamente, en Photomodeler hay que pulsar un icono concreto todo el tiempo. También resulta, este visualizador, bastante más lento cuando el modelo tiene coordenadas grandes.

Por otra parte, Photomodeler aventaja a Image Master en la identificación de los puntos homólogos y de control ya que en esta operación Photomodeler resulta más rápido y sencillo.

Por lo tanto, a mi juicio en cuanto a aspecto y comodidad, en general; Image Master es notoriamente más cómodo, ya que la diferencia en el visualizador resulta concluyente.

Image Master: +1

7.1.2.11 CONCLUSIÓN DE LA COMPARACIÓN

Por lo tanto, finalmente realizando una revisión de las comparaciones realizadas, obtenemos que Image Master resulta más ventajoso en 6 de los 10 factores analizados, mientras que Photomodeler lo es únicamente en 3. En el factor restante los dos programas son igual de competitivos, ya que presentan ventajas e inconvenientes a nivel similar.

Teniendo además en cuenta, que Image Master resulta más ventajoso en los factores más importantes; como son la generación de los productos, la calidad de los mismos y el tiempo que se tarda en obtenerlos, es obvio decidirse por la utilización de Image Master. Además, en otro factor importante, como es el precio del software, ambas herramientas tienen un coste similar por lo que no resultaría un factor decisivo.

A modo de resumen se concluye que las características más positivas de Photomodeler, son la calibración y la capacidad de intervención; mientras que el punto fuerte de Image Master es la generación de los productos, la rapidez y el aspecto visual de los resultados.

Por último, como conclusión de la comparación se propone el empleo de Image Master en la ejecución de trabajos de documentación de paramentos verticales similares al realizado en este proyecto

A continuación se presenta una tabla resumen de este apartado de comparación:

.

	TOPCON IMAGE MASTER®	PHOTOMODELER SCANNER®
Formatos de entrada	<p><u>Imágenes:</u> *.jpg; *.bmp <u>Puntos:</u> *.csv; *.gcp; *.apa; *.sim; *.txt <u>Nubes y mallas:</u> *.cl3; *.clr; *.ptx; *.pts; *.dxf; *.csv; *.txt; *.tin <u>Ortofotos:</u> *.jpg; *.bmp; *.tif <u>Elevation text:</u> *.hei <u>Field Scan:</u> *.fsc <u>Field Orientation:</u> *.foe <u>TopSURV Scanning:</u> *.fsn</p>	<p><u>Imágenes:</u> *.jpg; *.bmp; *.png; *.tif <u>Puntos:</u> *.dxf; *.obj; *.3ds; *.pmc <u>Nubes y mallas:</u> *.asc; *.dat; *.stl; *.obj; *.ply; *.byu; *.facet</p>
Calibración de la cámara	<p>Calibración típica mediante fotografías tomadas a una hoja de calibración. Proceso automatizado, capacidad de intervención únicamente en la detección de marcas.</p>	<p>Calibración típica con hoja de calibración. Capacidad de intervención grande. Posibilidades de calibración inversa: a partir de 5 puntos de coordenadas conocidas o a partir de parámetros aproximados de una cámara similar.</p>
Número de pasos del proceso	<p>Los principales son: Identificación puntos de control Dibujado de líneas de rotura Generación de la superficie Limpieza del modelo Generación de la ortofoto</p>	<p>Pasos similares a Image Master, a excepción de que la generación de nubes de puntos y de la superficie son independientes, permitiendo la edición previa de las nubes. Generación del modelo dividida en 12 pasos¹⁹ ejecutables de forma independiente.</p>
Capacidad de intervención	<p>Nivel de intervención posible menor que en Photomodeler. El resultado es bueno la mayoría de las veces por lo que en definitiva resulta un software más eficaz.</p>	<p>Nivel de intervención posible muy alto. 12 pasos independientes y además definición de parámetros para la generación de las nubes de puntos. No se dan instrucciones de cómo variar los parámetros para conseguir mejores resultados, por lo que se convierte en una desventaja del programa.</p>
Edición de mallas y nubes de puntos	<p>Capacidad de edición buena. Mayor comodidad en la visualización del modelo 3D y el la selección de los elementos.</p>	<p>Capacidad de edición similar a Image Master. Visualización menos agradable y un poco más lento al borrar elementos.</p>
Generación de los productos²⁰	<p>Modelo 3D: generación rápida y automática. Ortofoto: generación sencilla, definición del plano imagen a partir de 2 puntos y previsualización a tamaño real antes de la exportación.</p>	<p>Modelo 3D: generación más lenta y engorrosa. Ortofoto: generación sencilla, definición del plano imagen a partir de 3 puntos o planos definidos (vistas). Previsualización en una ventana muy pequeña.</p>
Calidad de los resultados²¹	<p>Modelo 3D: Arco -> 2 cm Muro "R" -> 1,5 cm Ortofoto: Arco -> 1 cm Muro "R" norte -> 1 cm Muro "R" oeste -> 1 cm Modelado y aspecto visual de los modelos muy bueno. Ortofotos con buen aspecto y precisas.</p>	<p>Modelo 3D: Arco -> 1 cm Muro "R" -> 1,5 cm Ortofoto: Arco -> 1,5 cm Muro "R" norte -> 1,5 cm Muro "R" oeste -> 1 cm Se distinguen los triángulos en la textura de los modelos. Aspecto poco riguroso. Modelado un poco peor que en Image Master.</p>
Capacidad de exportación	<p><u>Puntos:</u> *.csv; *.apa; *.sim; *.txt <u>Nubes:</u> *.ptx; *.pts; *.dxf; *.csv; *.txt <u>Mallas:</u> *.dxf; *.tin; *.wrl <u>Ortofotos:</u> *.jpg; *.bmp; *.tif</p>	<p><u>Puntos, nubes y mallas:</u> *.dxf; *.3ds; *.wrl; *.obj; *.raw; *.igs; *.3dm; *.stl; *.ma; *.kml; *.kmz; *.ms; *.fbx <u>Ortofotos:</u> *.tif; *.bmp; *.pcx; *.tga; *.png; *.plt; *.psd; *.iff; *.cal; *.sgi; *.rgb <u>Animación:</u> *.avi</p>
Tiempo / Velocidad del proceso completo	<p>Trabajo bastante rápido. Trabajos más tediosos: identificación de puntos, dibujado de líneas de rotura. Un único procesado para la generación del modelo. Generación de la ortofoto rápida.</p>	<p>Trabajo rápido. Rápida identificación de puntos. Necesarios varios procesos largos: idealizado de las imágenes, generación de las nubes de puntos, creación de la superficie, generación de las ortoimágenes bastante más lento.</p>
Aspecto visual y comodidad de trabajo	<p>Apariencia visual correcta. Sistema de identificación de puntos de control un poco más engorroso que el de Photomodeler.</p>	<p>Aspecto visual agradable. Deficiencia notoria en el visualizador 3D, sistema de navegación bastante incomodo y con coordenadas grandes dificultad para gestionar la información.</p>

¹⁹ Los 12 pasos son: "Filter Isolated Points", "Register & Merge", "Denoise Point Cloud", "Decimate Point Cloud", "Mesh Point Cloud", "Decimate Triangles", "Fill Holes", "Unify Normals", "Fill Fjords", "Smooth", "Sharp Smooth" y "Contours".

²⁰ Respecto a este factor los dos programas están muy parejos, ambos tienen cualidades muy buenas; pero también deficiencias. Por esta razón se les otorga un empate.

²¹ Hay que tener en cuenta que el análisis de la precisión de los modelos se ha realizado de forma distinta entre Image Master y Photomodeler. En Photomodeler los puntos comprobados se ven de cierta forma afectados por la orientación, por lo que es normal que la diferencia entre coordenadas salga un poco menor.

8. CONCLUSIONES

8.1 PROPUESTA METODOLÓGICA

Tras el estudio de las características y posibilidades ofrecidas por los programas objetos de estudio en el presente proyecto. Y tras la experimentación y prueba de procedimientos realizados con ambos programas, se puede decir, que ha sido posible crearse una opinión fundamentada sobre las mejores características de cada uno de los programas; así como de que metodología que es mejor seguir tanto para la toma de las fotografías, los puntos de apoyo, el control de los resultados obtenidos,...

Muchas de las metodologías descritas son similares a las que se vienen aplicando en los trabajos realizados en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, y las cuales se consideran muy efectivas.

En el siguiente apartado se procede a una descripción resumida de la metodología de trabajo más recomendable en mi opinión, definida tanto a partir del análisis de la metodología de trabajo llevada a cabo en el LDGP como de la propia experiencia obtenida en la elaboración de los trabajos de este proyecto.

8.1.1 PLANIFICACIÓN

La planificación es definitivamente uno de los apartados más importante de la ejecución de cualquier trabajo. De ésta depende la optimización de los recursos disponibles y la correcta consecución de todos los objetivos marcados.

La planificación debe abarcar todas las fases del trabajo de forma que en todo momento sepamos que debemos de hacer y cuál es el siguiente paso a realizar para la consecución del objetivo.

Un trabajo correctamente planificado, resulta más eficiente, y se ejecuta de una forma más sencilla.

Por esta razón recibe mayor importancia la definición de unas pautas de actuación como las que se fijan en el presente apartado.

La planificación se debe iniciar definiendo los objetivos del trabajo que se va a realizar, así como los productos que se quieren obtener como resultado. Una vez definidos los objetivos, hay que evaluar las posibles vías para alcanzarlos atendiendo a la multitud de variables que se pueden dar. En esta tarea de evaluación, puede servir de ayuda la elaboración de un diagrama indicando todas las alternativas.

Una vez que hemos definido las posibles alternativas debemos seleccionar la que más se adecue a nuestro caso, no sólo en lo relativo a nuestros objetivos; sino que también hay que tener en cuenta los medios a nuestro alcance. Ya que estos serán los que nos limiten en gran medida la capacidad de actuación.

8.1.2 MATERIALIZACIÓN DEL APOYO

En lo relativo al tipo de dianas que se van a utilizar para la materialización sobre los elementos de los puntos de apoyo, se cree conveniente optar por un tipo de dianas bicolor de uno de los siguientes tipos, como se viene haciendo en el LDGP:

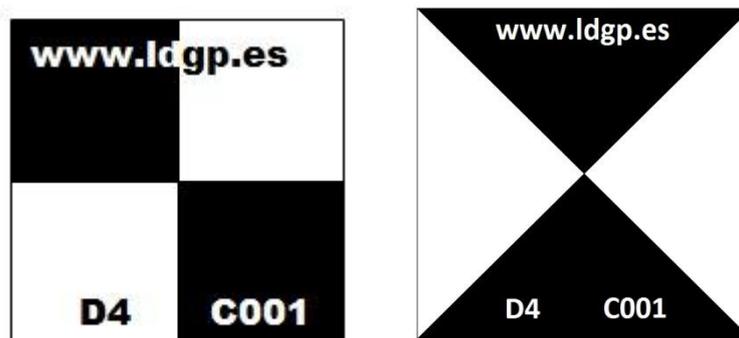


Imagen 4.5: Dianas para la materialización del apoyo

Algunos programas disponen de reconocimiento de dianas o cálculo del centro de una diana por método sub-píxel. Estas dianas se basan en el contraste, por lo que deberán ser bien un punto blanco sobre fondo negro, o un punto negro sobre fondo blanco.

Bien es cierto que ese tipo de dianas es óptimo para los programas que disponen de la función de reconocimiento de las misma, pero para la detección manual son peores, ya que es bastante complicado poder indicar cuál es el centro de un círculo completamente negro.

Por esta razón se encuentra más conveniente la utilización de dianas similares a las de la imagen anterior, ya que tanto el contraste como la intersección de las figuras, hace que resulte más sencillo para un operador la localización del centro de la diana.

En lo que respecta a la identificación de cada una de ellas, como se realiza en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio; resulta óptimo identificar a cada una de las dianas con un código único. De esta forma en trabajos grandes, con un número muy elevado de puntos de apoyo, o entre puntos de apoyo de proyectos diferentes; no existirá confusión entre las coordenadas de cada uno de los puntos, ya que las coordenadas irán referidas de forma unívoca a su diana correspondiente.

Las dianas se usan plastificadas para que resistan mejor las inclemencias meteorológicas, y perduren un mayor espacio de tiempo inalteradas, por si existiese la necesidad de repetir alguna de las fotografías.

Para fijar las dianas al paramento existen varias posibilidades como la silicona o la masilla adhesiva. La silicona resulta más efectiva ya que se fija mejor al elemento y tampoco lo deteriora en gran medida, por el contrario tarda un poco en secarse por lo que habrá que tenerlo en cuenta al pegar las dianas. También hay que tener en cuenta, que provoca cierto grado de deterioro en la superficie; mientras que la piedra no se ve alterada existen otra serie de materiales más delicados en los que se deberá optar por otro adhesivo que resulte inocuo

para el material. Existen también una serie de siliconas denominadas neutras que minimizan el deterioro de los materiales delicados.

La disposición más adecuada depende siempre del elemento, aunque una disposición en forma de cuadrícula, con las dianas repartidas por toda la superficie puede resultar eficiente en la mayoría de los casos.

La ubicación de las dianas debe hacerse teniendo en cuenta cómo van a ser todas las fotografías de forma que aparezcan suficientes dianas en cada fotografía.

Siempre es bueno poner alguna diana más de las necesarias por si surge algún problema, como que alguna de las dianas se caiga, o que nos equivoquemos al tomar las coordenadas de la misma.

A la vez que se van disponiendo las dianas, es muy recomendable ir dibujando un croquis que indique su ubicación en el muro. Este croquis nos ayudará a identificar posteriormente los puntos sobre las fotografías.

8.1.3 MEDICIÓN DE COORDENADAS

La medición de las coordenadas de los puntos de apoyo se debe de la forma más ordenada posible, ya que es muy importante que no se nos olvide tomar ninguno de los puntos; también es recomendable medir seguidos todos los puntos del mismo elemento tanto para que las condiciones sean las mismas y las medidas resulten más homogéneas, como para que las coordenadas estén más ordenadas al ser descargadas. Puede resultar interesante colocar la dianas de forma ordenada sobre los muros, y de esta forma será más fácil seguir el orden y evitaremos olvidarnos de medir alguna de las dianas.

Es fundamental, como en todo trabajo topográfico, comprobar el trabajo realizado mediante la revisión frecuente de las referencias. De esta forma garantizaremos que las mediciones son correctas, y si ha surgido algún problema por movimiento del instrumento, lo percibiremos lo antes posible para poder solucionarlo de manera inmediata y sencilla; antes de que hayamos realizado mucho trabajo de forma inútil.

8.1.4 TOMA DE LAS FOTOGRAFÍAS

La disposición de las fotografías a tomar dependerá definitivamente tanto del programa que se va utilizar (fotogrametría estereoscópica o convergente) como del objeto que se está fotografiando.

Para fotogrametría estereoscópica se realizarán una serie de fotografías con los mismos parámetros de configuración, con la finalidad de que toda la serie resulte lo más uniforme posible.

Al realizar las fotografías se ha de tener en cuenta que exista un recubrimiento entre las imágenes del mismo par de al menos el 60 %, y de que todos los elementos del objeto se vean también como mínimo en dos fotografías.

Hay que tener en cuenta que para poder crear la malla completa de un objeto deben poder verse todos sus elementos en las fotografías; por lo que a la hora de decidir la ubicación de las tomas se deben tener en cuenta las zonas que están ocultas en unas fotografías para que aparezcan en otras.

Es muy importante realizar una planificación detallada de cómo y cuándo se van a realizar las fotografías de cada objeto; ya que las condiciones de luz varían a lo largo del día, proyectándose sombras, generando ocultamientos.

Para fotogrametría convergente también hay que tener en cuenta la uniformidad de las series y el solape necesario. La serie de fotografías debe cubrir aproximadamente un ángulo de 90° realizando una toma cada 10° ó 15°.

8.1.5 TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE DATOS

Este es un apartado bastante importante, ya que de la gestión y el tratamiento de los datos depende en gran medida la optimización del uso de los recursos disponibles. Sin embargo suele ser habitualmente un apartado en el que no se pone mucho énfasis.

Por su importancia se encuentra fundamental la correcta documentación de todo el proceso de trabajo realizado, dejando constancia de los pasos ejecutados y de los resultados obtenidos. Esta documentación es de gran importancia, sobre todo, en la adquisición de datos y en su gestión.

Se debe dejar siempre constancia del proceso seguido para la toma de datos y el sistema empleado para su almacenamiento. Esta documentación se puede realizar a través de un informe, y también a partir de la edición de los metadatos de cada archivo.

Los metadatos son una serie de información adjunta a los datos, y que describen como ha sido su adquisición, el instrumento con el que han sido tomados, el operador, el lugar, la fecha y hora,...

Los metadatos de los ficheros dependerán del tipo de fichero, así por ejemplo para una fotografía será conveniente conocer los datos habituales del fichero EXIF²²; como la cámara, la focal, la fecha y hora, la sensibilidad, la velocidad, la apertura, la resolución,... También puede ser interesante el objetivo utilizado, el operador que la ha tomado,...

En el caso de un fichero de coordenadas resultará interesante también el operador, el modelo del instrumento, el sistema de coordenadas utilizado, etc.

²² EXIF (EXchangable Image file Format). Parte del archivo fotográfico que contiene información adicional sobre la fotografía; como fecha y hora, distancia focal, cámara con que se ha tomado, tamaño de la imagen,...

Cada tipo de fichero y cada trabajo pueden requerir metadatos concretos, aunque los metadatos se adaptarán a estándares para que siempre consten de los mismos campos cubriendo todas las necesidades.

También es un aspecto fundamental a tener en cuenta, la perdurabilidad de la información. Es importante en la gestión de la información el duplicado de todos los datos obtenidos, en dos soportes diferentes, de esta forma si surge algún problema con uno de sistemas no perderemos la información ya que la encontraremos disponible en el otro.

La ejecución de copias de seguridad de toda la información obtenida es fundamental, y estas copias de deben realizar con la máxima periodicidad posible. Esta dependerá del volumen de información con la que se trabaje, pero si es posible, lo óptimo es trabajar con sistemas espejo que duplican la información en ubicaciones remotas.

Para hacer que el trabajo pueda ser lo más eficiente posible se deben fijar unos estándares de actuación, tanto en el almacenamiento como en el nombrado de los ficheros. Los nombres de los ficheros deben ser intuitivos y descriptivos evitando códigos complicados. El sistema utilizado se documentará correctamente para que cualquier persona pueda conocer lo que cada carpeta contiene.

8.1.6 PROCESADO DE LOS DATOS Y OBTENCIÓN DE LOS PRODUCTOS, METODOLOGÍA MÁS VENTAJOSA

En este proyecto se han estudiado dos alternativas para la elaboración de los modelos 3D y la exportación de ortofotos. Estas alternativas han consistido en el software Topcon Image Master y Photomodeler Scanner 6. Se ha realizado la evaluación de la metodología más satisfactoria para la obtención de los resultados propuestos.

Este apartado se concibe únicamente como un resumen de lo que se desarrolla en el apartado de comparación del presente proyecto.

Del estudio de las características de los dos programas, se obtiene una evaluación de los mismos, en la que finalmente resulta preferible el software de Topcon.

Basándose en que ambos programas, son capaces de obtener tanto el modelo tridimensional como las ortofotos, las razones que decantan la balanza a favor de Image Master son las siguientes:

En primer lugar Image Master supera la capacidad de importación de Photomodeler, permitiendo la importación de más tipos de elementos. También hay que decir que por el contrario, el número de formatos de imágenes admitidos, es menor; pero sin embargo es este tipo de ficheros los que menos problemas ofrecen para cambiarlos de formato, ya que existen multitud de programas de edición de imágenes, incluso de uso doméstico, que permiten realizar dichas transformaciones de formato. Habrá que tener en cuenta de todas formas, que

no tenga lugar una pérdida de información al realizar el cambio de formato. En algunos casos, y dependiendo el programa utilizado, se puede perder la información de los metadatos.

Por otra parte, el trabajo con el programa resulta más sencillo en el caso de Image Master; ya que se trata de un proceso más automatizado y por lo tanto más ágil. Es cierto que desde un punto de vista técnico sería preferible que ofreciese una mayor capacidad de intervención, la cual si ofrece Photomodeler; pero sin embargo, la dificultad de gestionar la capacidad de intervención y los resultados obtenidos, hacen que sea más beneficiosa la automaticidad del proceso en Image Master que la capacidad de intervención ofrecida por Photomodeler.

Respecto a la edición de las mallas y nubes de puntos, hay que decir que la forma de realizarse y las posibilidades que ofrecen son muy similares en ambos software; aunque si hay que hacer referencia a que Image Master es un poco más rápido a la hora de recortar la malla. Lo que sí es un factor decisivo es el modo de visualización del modelo, ya que el visualizador 3D de Photomodeler pierde muchos puntos respecto al de Image Master; porque la navegación es bastante más dificultosa, y con nubes de coordenadas globales tiene dificultad para gestionar los datos y se vuelve lento en sus reacciones.

Con respecto a la generación de los productos, ambos programas tienen pros y contras. En la generación del modelo tridimensional, Image Master es más eficaz; lo genera más rápido y de forma más sencilla. El contra está en la definición del plano de proyección de la ortofoto. En Photomodeler se define el plano a partir de tres puntos, lo cual permite total libertad; mientras que en Image Master se define únicamente mediante dos puntos, resultando siempre ser la vertical el eje Y de la ortoproyección.

La calidad de los resultados es bastante similar respecto a la precisión, en el caso de las ortofotos en ambos casos andan alrededor del centímetro, evaluando la diferencia entre las coordenadas tomadas y la posición de las dianas en la fotografía; sin embargo, la apariencia visual tanto del modelo como de la ortofoto resulta bastante mejor en Image Master lo que hace que el producto resulte más útil.

La velocidad del proceso es más rápida en Image Master y el tiempo de trabajo necesario para elaborar un proyecto completo, menor, ya que es necesario realizar menos pasos.

Los únicos puntos de la comparación en los que sale ganando Photomodeler son en la capacidad de exportación, ya que este ofrece más alternativas; y en la calibración de la cámara.

La calibración es la diferencia más grande entre los programas, ya que Photomodeler además de la calibración habitual con patrón de calibración, ofrece la posibilidad de realizar la calibración inversa por dos métodos: la utilización de puntos de control de coordenadas conocidas o el cálculo de los parámetros de calibración a partir de otros de una cámara de características similares.

El proceso de trabajo completo en los dos programas se encuentra descrito detalladamente en el apartado flujo de trabajo en el capítulo de ejecución.

8.1.7 CONTROL DE LOS RESULTADOS

En el caso de las fotografías y de los puntos de apoyo fotogramétrico se realiza un control in situ en el momento de la adquisición, bien comprobando en el LCD de la cámara la fotografía tomada o mediante la medición a una referencia, en el caso de los puntos de apoyo.

Además de esto se realizará un control importando los puntos en AutoCAD y comprobando que su disposición aparentemente sea correcta.

Durante el proceso de datos y obtención del modelo, se realiza el control necesario mediante la supervisión de los residuos de los puntos que nos ofrece el programa y revisando los resultados de la generación de la malla.

Para el caso de las ortofotos, se realiza un análisis de la precisión en AutoCAD, comparando la posición de las dianas en la fotografía y las coordenadas del apoyo tomado en campo.

8.2 CONCLUSIONES DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

A modo de resumen, el proyecto comenzó en el mes de noviembre con una primera toma de contacto con Photomodeler, aunque no fue hasta febrero cuando se pudo ofrecer una dedicación completa al proyecto. Desde entonces hasta su presentación en Julio se ha llevado a cabo tanto la documentación de los paramentos en riesgo de colapso, como el análisis comparativo de los programas.

Las horas de trabajo dedicadas a este proyecto suman aproximadamente unas 1000 horas, de las cuales 60 % se han dedicado al aprendizaje de los programas y a realización de modelos de prueba. El resto del tiempo se ha dedicado a la obtención de los productos requeridos según los objetivos del proyecto, y a la redacción de esta memoria.

El número de horas puede parecer excesivo, pero hay que mencionar que el aprendizaje de la utilización de los programas se ha realizado de forma autónoma, lo que lo ralentiza un poco; pero sobre todo porque antes de abordar la generación de los modelos finales, se han realizado multitud de pruebas con fotos diferentes de varios muros que no son finalmente objetivo del proyecto.

Es gracias a toda esta experimentación realizada, a la práctica obtenida en el manejo, y al conocimiento alcanzado de los programas; gracias a lo cual se ha sido capaz de realizar el análisis crítico fundamentado de los software utilizados.

8.3 CONCLUSIONES FINALES

Las conclusiones principales del trabajo realizado se pueden dividir en dos apartados, uno la documentación de los paramentos verticales; y el otro el análisis comparativo de los software fotogramétricos utilizados.

En lo que a la documentación se refiere se concluye:

- La planificación resultará un apartado decisivo en la optimización de los recursos necesarios para la consecución de los trabajos de documentación a realizar. La experiencia también tomará un papel muy importante en el aprovechamiento de los recursos y en la calidad del material obtenido como resultado del trabajo de campo.
- En cuanto a los objetivos del proyecto referentes a la documentación de los paramentos en riesgo de colapso, estos se han completado correctamente obteniendo unos resultados acorde con las expectativas planteadas inicialmente. Adquiriendo la capacidad de resolver los problemas sobrevenidos analizando la mejor solución posible, según los recursos disponibles, para cada caso.
- Mediante los trabajos realizados se ha obtenido la documentación geométrica de los paramentos de su estado actual. Estos elementos se califican en riesgo de colapso, lo que significa que previsiblemente pueden sufrir alteraciones a corto o medio plazo. Esto abre una vía de estudio de las variaciones sufridas por estos elementos en un espacio de tiempo determinado, en la que se podrían realizar una serie de documentaciones de los elementos que ya se han estudiado en este proyecto para determinar el deterioro y las variaciones sufridas por el paso del tiempo.

De lo referente al análisis comparativo de los programas utilizado se obtiene as siguiente conclusión:

- Tras definir una serie de factores sobre los que se ha realizado la comparación de los software, se concluye a Image Master como el programa más conveniente para realizar los trabajos objetivo del proyecto. Image Master se posiciona como un programa más sencillo de utilizar, más rápido y más eficaz; y en general como fuente de unos productos de mayor calidad visual y geométrica, y de similar rigor en lo que a las precisiones de los productos se refiere, en comparación con Photomodeler Scanner.

También, hacer referencia a que este proyecto, al igual, que los realizados por mis compañeros del LDGP no conforman en sí mismos el objetivo primordial; sino que forman parte de un proyecto general continuista de los trabajos iniciados en el proyecto IP Erasmus, el cual necesita seguir siendo desarrollado como propulsor de la documentación del patrimonio y de la puesta en valor de los enclaves culturales de nuestro entorno.

Por último no me gustaría terminar sin reiterar mi gratitud tanto a los tutores de mi proyecto, cuya inestimable ayuda ha sido fundamental para el correcto desarrollo del proyecto; como a todos mis compañeros del LDGP, los cuales siempre han estado ahí para echar una mano cuando lo he necesitado y para proporcionarme el apoyo moral que en algunos momentos del trabajo es tan necesario.

Siempre estaré orgulloso de haber vivido esta experiencia en el Laboratorio, y sobre todo, de haber convivido con gente tan genial como todos mis compañeros.

9. BIBLIOGRAFÍA

9.1 BIBLIOGRAFÍA

- **AROZARENA, A., ARDIZONE, J., DELGADO, J., VILLA, G. y VIVAS, P.** (Noviembre 1992). *Obtención de modelos digitales del terreno por correlación automática de imágenes.* http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1164

- **BRAZZETTI, L., MUSSIO, L., REMONDINO, F. y SCAIONI, M.** *Targetless Camera Calibration.* 4th ISPRS International Workshop "3D ARCH 2011: 3D Virtual Reconstruction and visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2 – 4 March 2011

- **LERMA GARCÍA, J. L. (2002).** *Fotogrametría moderna: analítica y digital.* Ed. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 84-9705-210-2.

- **METRIA DIGITAL, S.L.** (2010). *Orthoware: Manual de Usuario.*

- **PÉREZ ÁLVAREZ, J. A.** (Septiembre 1997). *Orientación externa analítica (condición de colinealidad).* http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=728

- **ROMERO MANCHADO, A.** (Enero 1999). *Calibración de cámaras no métricas por el método de las líneas rectas.*

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla_ante.asp?id_articulo=434

- **TOPCON CORPORATION** (2007). *Operation Manual Camera Calibration Software. Image Master Calib.*

- **TOPCON CORPORATION** (2008). *Operation Manual Image Master.*

- **VALLE, J.M. y MARTÍNEZ, M^a P.** (Junio 2003). *Prácticas de Fotogrametría I.*

- **VALLE MELÓN, J.M.** (Junio 2007). Tesis Doctoral *Documentación Geométrica del Patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica.*

- <http://es.kioskea.net/contents/video/format-tif.php3#>

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Arquivolta>

- <http://meshlab.sourceforge.net/>

- <http://moodletic.ehu.es/moodle/course/view.php?id=1664>

- <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

- <http://www.dzoom.org.es/noticia-1480.html>
- <http://www.juegosytecnologia.com/tecnica-fotografica-sensibilidad-iso/>
- <http://www.orthoware.es/cas/index.asp>
- <http://www.photodeler.com/>
- <http://www.rapidform.com/products/xos/overview/>
- <http://www.ugt.es/fes/clamanca/CONVENIOS/estatales/ingenierias/convenio%20ingenierias%202008.pdf>
- <http://www.worldphotogrammetry.com/>

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS

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

LEICA TCR 307. TECHNICAL SPECIFICATIONS

Technical data	TC/TCR 302	TC/TCR 303	TC/TCR 305	TC/TCR 307
Telescope				
Magnification	30x			
Field of View	1° 30' (26m at 1km)			
Reticle Illumination	Bright / Dim Selectable			
Angle Measurement				
Method	Absolute, Diametrical	Absolute	Absolute	Absolute
Display least count	1" (0.1mgon)	1" (0.5mgon)	1" (0.5mgon)	1" (0.5mgon)
Accuracy (DIN 18723, ISO 12857)	2" (0.6mgon)	3" (1mgon)	5" (1.5mgon)	7" (2mgon)
Compensator				
System	Integrated electronic dual axis, Liquid			
Working Range	± 4'			
Setting Accuracy	0.5"	1"	1.5"	2"
Distance Measurement				
Infrared (IR) Coaxial				
Range ¹⁾ to 1 Leica GPR1 prism	3000m	3000m	3000m	2500m
Range ¹⁾ to 1 Leica GMP102 prism	1200m			
Range ¹⁾ to Retro Tape (60mm x 60mm)	250m			
Accuracy (Fine/Rapid/Tracking)	2mm + 2ppm / 5mm + 2ppm / 5mm + 2ppm			
Measuring Time (Fine/Rapid/Tracking)	< 1s / < 0.5s / < 0.3s			
Visible Laser²⁾ (RL) Coaxial				
Range ¹⁾ to suitable surface without reflector (Short mode) – White side of grey card	80m			
Range ¹⁾ to Leica GPR1 prism (Long mode)	5000m			
Accuracy (Short/Long/Tracking)	3mm + 2ppm / 5mm + 2ppm / 5mm + 2ppm			
Measuring Time (Short/Long/Tracking)	3s + 1s / 10m (>30m) / 2.5s / 1s + 0.3s / 10m (>30m)			
Spot size at 50m	12mm elliptical			
Laser Class	2/II			
System				
Data storage: Internal memory	4000 data records			
Data storage: External	Connect to external data recorder via Interface port			
Serial Interface	RS232			
Data exchange	GSI / IDEX / Definable Formats			
On-board Programs	Surveying / Set Out / Tie Distance / Area / Free Station			
Built-in Functions	REM / REC / IR-RL Switch / Delete Last Record			
Display	LCD 8 lines x 24 characters / 40mm x 65mm with built-in illumination			
Keyboard	12 keys (Alphanumeric input) optional 2nd keyboard			
Laser Plummet				
Type	Laser Pointer with adjustable intensity			
Accuracy	± 0.8mm at 1.5m			
Operation Environment				
Operation temperature	-20°C to 50°C			
Protection to IEC529 (Dust and water)	IP54			
Humidity	95% RH, non condensing			
Storage temperature	-40°C to 70°C			
Dimensions and Weights				
Gross dimensions (L x W x H)	151mm x 203mm x 316mm			
Weight (instrument only)	4.5kg	4.2kg	4.2kg	4.2kg
Power Supplies				
Battery (Standard)	NiMH / Standard Camcorder			
Voltage/Capacity	6V / 1800mAh (GEB111)			
Continuous use – angle mode	>4 hours			
No. of measurements with distance	>1000			
Recharging time	1 hour			
Optional power supplies (Adapter required)	NiMH 6V / 3.6Ah (GEB121) / 6x LR6 AA 1.5V Alkaline cells			

¹⁾ Average atmospheric conditions; slight haze or some clouds, slight heat shimmer

²⁾ Only valid for TCR models

Especificaciones: EOS 5D Mark II

SENSOR DE IMAGEN	
Tipo	CMOS de 36 x 24 mm
Píxeles efectivos	Aprox. 21,10 Megapíxeles
Total de píxeles	Aprox. 22 Megapíxeles
Formato	3.2
Filtro de paso bajo	Incorporado/Fijo
Limpieza del sensor	Sistema de Limpieza Integrada EOS, con revestimiento de flúor
Tipo de filtro de color	Colores primarios
PROCESADOR DE IMAGEN	
Tipo	DIGIC 4
OBJETIVO	
Montura del objetivo	EF (excepto objetivos EF-S)
Longitud focal	Equivalente a 1,0x de la longitud focal del objetivo
ENFOQUE	
Tipo	TTL-CT-SiR con un sensor CMOS
Sistema AF/ Puntos AF	9 puntos AF tipo cruz (f/2.8 en el centro)
Gama de AF	0.5 - 18 EV (a 23 °C y 100 ISO)
Modos AF	AI Focus, Foto a foto, AI Servo
Selección del punto AF	Selección automática, selección manual
Representación del punto AF seleccionado	Sobreimpreso en el visor e indicado en el panel LCD de la parte superior y en la pantalla de Control rápido
AF predictivo ⁽¹⁾	Sí, hasta 8 metros
Bloqueo AF	Se bloquea cuando se pulsa el disparador hasta la mitad en el modo AF foto a foto o cuando se pulsa el botón AF-ON.
Luz de ayuda al AF	Emite por un flash Speedlite opcional específico
Enfoque manual	Se selecciona en el objetivo, de forma predeterminada en Modo Live View
Ajuste preciso del enfoque automático	C.Fn III-8, +/-20 pasos. Se ajustan todos los objetivos en la misma cantidad, ajusta hasta 20 objetivos individualmente
CONTROL DE LA EXPOSICIÓN	
Modos de medición	Medición TTL a plena apertura con SPC en 35 zonas (1) Medición evaluativa (relacionada con todos los puntos AF) (2) Medición parcial (aprox. 8% del visor en el centro) (3) Medición puntual (aprox. 3.5% del visor en el centro) (4) Medición promediada con preponderancia central
Gama de medición	1-20 EV (a 23 °C con un objetivo de 50 mm f/1.4, 100 ISO)
Bloqueo AE	Auto: funciona en el modo AF foto a foto con medición evaluativa, cuando se consigue el enfoque Manual: mediante el botón de bloqueo de AE (exposición automática) en los modos de la zona creativa.
Compensación de la exposición	+/-2 EV en incrementos de 1/3 o 1/2 (se puede combinar con el muestreo automático secuencial AEB).
Muestreo automático de la exposición (AEB)	3 disparos +/-2 EV en incrementos de 1/2 o 1/3 de punto. Auto (100-3.200), 100-6.400 (en incrementos de 1/3 o 1 punto completo). La sensibilidad ISO se pueden ampliar a L50, H1: 12.800 y H2: 25.600
OBTURADOR	
Tipo	Obturador plano-focal controlado electrónicamente
Velocidad	30-1/8.000 s (en incrementos de 1/2 o 1/3 de paso), B (Exposición larga; toda la gama de velocidades de obturación. La gama disponible varía dependiendo del modo de disparo)
BALANCE DE BLANCOS	
Tipo	Balances de blancos automático con el sensor de imagen
Ajustes	Ajuste AWB, luz día, sombra, nublado, tungsteno, luz fluorescente blanca, flash, personalizado, temperatura de color. Compensación del balance de blancos: 1. Azul/Ámbar +/-9 2. Magenta/Verde +/-9. Sí, se puede guardar un ajuste +/-3 niveles en incrementos de un punto 3 imágenes de muestreo sucesivas por cada disparo del obturador. Se puede seleccionar dominante azul/ámbar o magenta/verde.
Balance de blancos personalizado	
Muestreo del balance de blancos	
VISOR	
Tipo	Pentaprisma
Cobertura (Vertical/Horizontal)	Aprox. 98%
Aumento	Aprox. 0,71x ⁽⁴⁾
Distancia del ojo	Aprox. 21 mm (desde el centro de la lente del ocular)
Corrección dióptrica	-3 a +1 ^(m) (dioptrías)
Pantalla de enfoque	Intercambiables (3 tipos opcionales). Pantalla de enfoque estándar esmerilada de precisión Eg-A. Medio espejo de retorno rápido (Transmisión: relación de reflexión 40:60, no se produce bloqueo por parte del espejo con los objetivos EF 600 mm f/4 o más cortos)
Espejo	Información AF: Puntos AF, luz de confirmación del enfoque. Información de la exposición: velocidad de obturación, valor de la apertura de diafragma, sensibilidad ISO (siempre a la vista), bloqueo de AE (exposición automática), nivel/compensación de la exposición, círculo de medición puntual, aviso de la exposición, muestreo de la exposición AEB. Información del flash: flash preparado, sincronización a alta velocidad, bloqueo de la exposición con flash (FE), compensación de la exposición del flash, luz de reducción de ojos rojos. Información de la imagen: corrección del balance de blancos, información de la tarjeta CF, fotografía en blanco y negro, número máximo de disparos (información de 2 dígitos), prioridad tonal a las altas luces, carga de la batería.
Información en el visor	Información AF: Puntos AF, luz de confirmación del enfoque. Información de la exposición: velocidad de obturación, valor de la apertura de diafragma, sensibilidad ISO (siempre a la vista), bloqueo de AE (exposición automática), nivel/compensación de la exposición, círculo de medición puntual, aviso de la exposición, muestreo de la exposición AEB. Información del flash: flash preparado, sincronización a alta velocidad, bloqueo de la exposición con flash (FE), compensación de la exposición del flash, luz de reducción de ojos rojos. Información de la imagen: corrección del balance de blancos, información de la tarjeta CF, fotografía en blanco y negro, número máximo de disparos (información de 2 dígitos), prioridad tonal a las altas luces, carga de la batería.
Previsualización de la profundidad de campo	Sí, con el botón de previsualización de la profundidad de campo
En la correa	Obturador del ocular

PANTALLA LCD	
Tipo	Pantalla LCD Clear View TFT de 7,6 cm (3,0"), de aprox. 920.000 píxeles
Cobertura	Aprox. 100%
Ángulo de visión (horizontal/vertical)	Antirreflejos 170°
Revestimiento	Antirreflejos Dual
Ajuste de la luminosidad	Auto: usando un sensor externo de luz ambiente. Manual: ajustable a uno de siete niveles
Opciones de presentación de la información	(1) Pantalla de control rápido (2) Ajustes de cámara
FLASH	
Modos	Flash automático E-TTL II, Medición manual
Sincro-X	1/200 s
Compensación de la exposición del flash	+/-2 EV en incrementos de 1/2 o 1/3 de punto
Muestreo de la exposición con flash	Sí, compatible con un flash externo
Bloqueo de la exposición con flash	Sí
Sincronización a la segunda cortinilla	Sí / Sí
Zapata de contacto central / Terminal PC	E-TTL II con flashes Speedlite serie EX, posibilidad de disparar varios flashes sin cables
Compatibilidad con flashes externos	A través de la pantalla del menú de la cámara
DISPARO	
Modos	Auto (fotos y vídeo), auto creativo, AE (exposición automática) programada, AE con prioridad a la obturación, AE con prioridad a la apertura, manual (fotos y vídeo), personalizado (3 opciones)
Estilos de Imagen	Estándar, retratos, paisajes, neutro, fiel, monocromo, tres modos definidos por el usuario
Espacio de color	sRGB y Adobe RGB
Procesamiento de la imagen	Prioridad Tonal a las Altas Luces Optimizador de la Iluminación Automático (4 ajustes)
Reducción del ruido en las exposiciones largas	Sí
Reducción del ruido en los ajustes de sensibilidad ISO Alta (4 ajustes)	Sí
Corrección Automática de la Iluminación Periférica del Objetivo	Sí
Foto a foto, disparos en serie	L
Disparos en serie	disparos en serie H, autodisparador (2.5 + a distancia, 10 + a distancia) Máx. aprox. 30 fps. (velocidad mantenida hasta que se llene la tarjeta (JPEG) ⁽⁶⁾ (con tarjetas UDMA), 13 imágenes (RAW)) ⁽⁵⁾
MODO VISIÓN EN DIRECTO 'LIVE VIEW'	
Tipo	Visor electrónico con sensor de imagen
Cobertura	Aprox. 100% (horizontal y vertical)
Velocidad de disparo en serie	30 fps
Enfoque	Enfoque manual (se puede ampliar la imagen 5x o 10x en cualquier punto de la pantalla)
Autofoco: modo Rápido, modo en directo 'Live', modo de Detección de la Cara en directo	Medición evaluativa en tiempo real con sensor de imagen
Medición	El tiempo de medición activo se puede cambiar
Opciones de presentación de la información	2 retículas sobreimpresas, Histograma
FORMATO DE ARCHIVO	
Tipo de imagen fija	JPEG: Buena, normal (compatible Exif 2.21 [Exif Print] / Regla de diseño para sistema de archivo de cámara (2.0); RAW: RAW, sRAW1, sRAW2 (14 bits, Canon RAW original, 2ª edición), compatible con formato de pedido de copias digitales [DPOF] 1.1
Grabación RAW+JPEG simultánea	JPEG, sRAW1 + JPEG, sRAW2 + JPEG es posible.
Tamaño de la imagen	JPEG: (G) (5.616 x 3.744, (M) 4.080 x 2.720, (P) 2.784 x 1.856 RAW: (RAW) 5.616 x 3.744, (sRAW1) 3.851 x 2.574, (sRAW2) 2.784 x 1.856 MOV (vídeo: H.264, sonido: PCM lineal)
Tipo de vídeo	HD 1.920 x 1.080 (16:9) 29,97, 25, 23,976 fps
Tamaño del vídeo	SD 640 x 430 (4:3) 29,97, 25 fps
Duración del vídeo	Duración máxima 29 minutos 59 segundos, tamaño archivo máximo 4 GB
Carpets	Se pueden crear y seleccionar carpetas manualmente
Numeración de archivos	(1) Numeración consecutiva (2) Reajuste automático (3) Reajuste manual
OTRAS FUNCIONES	
Funciones personalizadas	25 funciones personalizadas con 71 ajustes
Etiqueta metadatos	Información sobre derechos de autor del usuario (se ajusta con EOS utility)
Pantalla LCD / Iluminación	Sí / Sí
Resistencia al agua/polvo	Sí
Sensor de Orientación Inteligente	Sí
Zoom de reproducción	1,5x - 10x
Formatos de presentación de la información	(1) Una imagen con información (2 niveles)
Presentación de diapositivas	(2) Una imagen (3) Índice 4 imágenes (4) Índice 9 imágenes (5) Visión ampliada
Histograma	Selección de imágenes: Todas las imágenes, por fecha, por carpeta
Aviso de altas luces	Tiempo de reproducción: 1/2/3/5 segundos
Protección y borrado de imágenes	Repetición: activada/desactivada Luminosidad: Sí, RGB: Sí
Verificación de datos	Sí Borrado: una imagen, todas las imágenes de una carpeta, imágenes marcadas, imágenes sin proteger Protección: borrado de la protección de una imagen cada vez

Categorías del menú	(1) 2 menús de disparo (2) 2 menús de reproducción (3) 3 menús de configuración (4) menú de funciones personalizadas (5) Mi Menú
Idiomas de los menús	25 idiomas: Inglés, Alemán, Francés, Holandés, Danés, Portugués, Finlandés, Italiano, Noruego, Sueco, Español, Griego, Ruso, Polaco, Checo, Húngaro, Rumano, Ucraniano, Turco, Árabe, Tailandés, Chino simplificado, Chino tradicional, Coreano y Japonés
Actualización del firmware	Posibilidad de actualización por parte del usuario.
INTERFAZ	
Ordenador	USB de alta velocidad
Otros	Salida mini HDMI, salida de vídeo (PAL/NTSC), terminal sistema de extensión (para el WFT-E4 II), micrófono externo (mini clavija estéreo)
IMPRESIÓN DIRECTA	
Impresoras Canon	Impresoras fotográficas compactas Canon e impresoras PIXMA compatibles con PictBridge
PictBridge	Sí
TARJETA DE MEMORIA	
Tipo	CompactFlash tipo I/ II (compatible con Microdrive, compatible con UDMA), almacenamiento externo con WFT-E4 II
SISTEMAS OPERATIVOS COMPATIBLES	
PC y Macintosh	Windows XP SP3, Vista SP1/SP2 (excl. Starter Edition), Windows 7 OS X 10.4-10.6
SOFTWARE	
Visualización e impresión	ZoomBrowser EX / ImageBrowser
Procesamiento de la imagen	Digital Photo Professional
Otros	PhotoStitch, EOS Utility (include Remote Capture, WFT utility, Original Data Security Tools), Picture Style Editor <i>*Requiere un accesorio opcional</i>
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	
Batería	Batería ión-litio LP-E6 recargable (suministrada), 1 pila CR1616 para la fecha y los ajustes
Duración de la batería	Aprox. 850 (a 23 °C, exposición automática 50%, exposición con flash 50%) ⁽⁸⁾ Aprox. 750 (a 0 °C, exposición automática 50%, exposición con flash 50%) 6 niveles + porcentaje
Comprobación de la batería	La corriente se desconecta a 1, 2, 4, 8, 15 o 30 minutos.
Ahorro de energía	Adaptador de corriente alterna ACK-E6, Cargador de baterías LC-E6, cargador de baterías para coche CBC-E6
Fuente de alimentación y cargadores de baterías	
ESPECIFICACIONES FÍSICAS	
Materiales del cuerpo	Tapas del cuerpo de aleación de magnesio
Entorno operativo	0 - 40 °C, humedad relativa del 85% o menos
Dimensiones (An x Al x Prof)	152 x 113,5 x 75 mm
Peso (sólo el cuerpo)	Aprox. 810 gramos
ACCESORIOS	
Visor	Concha del ocular Ef, lente de ajuste dióptrico serie E con marco de goma Ef, extensor del ocular EP-EX15II, visor en ángulo C
Transmisor de Archivos Inalámbrico	Transmisor de Archivos Inalámbrico WFT-E4 II
Objetivos	Todos los objetivos EF (excepto los objetivos EF-S)
Flash	Flashes Canon Speedlite (2.20EX, 2.70EX, 3.00EX, 4.20EX, 4.30EX, 4.30EX II, 5.50EX, 5.80EX II, flash anular macro MR-14EX, flash doble macro MT-24EX, transmisor Speedlite ST-E2)
Empuñadura-batería	BG-E6
Controlador/interruptor a distancia	Mando a distancia con contacto tipo N3 ; controlador inalámbrico LC-5, mando a distancia RC-6
Otros	Kit de Seguridad de Datos Originales OSK-E3
<p>1 Con el objetivo EF 300 mm f/2,8L IS USM a 50 km/h 2 Índice de exposición recomendado 3 Con un objetivo de 50 mm enfocado a infinito, -1m-1 dioptrías 4 Resolución grande buena (calidad B) 5 Resultados obtenidos según el Método Canon de Pruebas Normalizadas, JPEG, 100 ISO, Estilo de imagen estándar. Varía dependiendo del sujeto, la marca de la tarjeta de memoria y su capacidad, así como la calidad de grabación de la imagen, la sensibilidad ISO, el modo de avance, el Estilo de Imagen, las funciones personalizadas, etc. 6 Según las normas de la CIPA y utilizando las baterías/pilas proporcionadas y el formato de tarjeta de memoria de la cámara, salvo indicación en contrario</p> <p>Todos los datos han sido obtenidos según el Método Canon de Pruebas Normalizadas, salvo indicación en contrario. Sujeto a cambios sin previo aviso.</p>	



Distagon T* 2,8/21 ZF

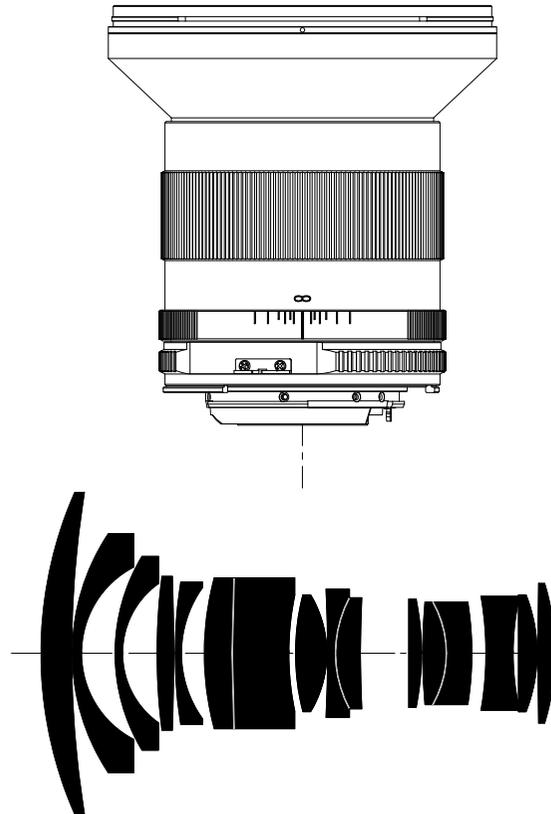
Expanding your horizons

This full-frame lens is the direct successor to the legendary Distagon 2,8/21. It has been redesigned on the basis of the proven design and equipped with modern, environmentally friendly types of glass.

It continues to set standards in terms of image quality and color correction. Glass types with abnormal partial dispersion and high refractive index provide the foundation for photos without color fringes right to the edges, even with an f/2.8. Carefully designed optics, the internal mechanical design of the barrel, and the use of T* coatings on all lens element surfaces have resulted in very good reduction of glass-to-glass and glass-to-film reflection.

A precise mechanical design, a good feel and smooth function of the focusing ring helps you in arranging your photos. Internal focusing and the 0.22 m close range enable high-quality photos with unusual perspectives.

The use of standard screw-on filters and the lens shade included in the delivery package expand the application possibilities of this lens.



Technical Specification

Focal length: 21 mm

Aperture range: f/2.8 – f/22

Number of elements/ groups: 16 / 13

Focusing range: 0.22 m – infinity

Image ratio at close range: 1 : 5

Coverage at close range: 18 cm x 12 cm

Angular field diag./horiz./vert.: 90° / 81° / 59°

Position of the entrance pupil: 24 mm behind the front lens

Filter: M82 x 0.75

Weight: 620 g

Dimensions: dia. 87 mm, length incl. caps: 110 mm

Length from bayonet to front: 86mm

Sept 2008. Subject to change.

Carl Zeiss AG
Camera Lens Division
73446 Oberkochen

Tel: +49 (0) 7364 20-6175
Fax: +49 (0) 7364 20-4045
Email: photo@zeiss.de
www.zeiss.de/photo



We make it visible.

ANEXO 2: CERTIFICADOS

Certificado de Verificación y Control

Nº de Certificado 300557022
 Fecha 13.01.2009

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
SPANIEN

Número de cliente 50198
 Instrumento TCR307 rl.Taquímetro es.base, set
 N° de Serie 681043
 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)	0.0015	0.0020	0.0003	0.0007
Desviación Vt (Gon)	0.0025	0.0020	0.0003	0.0008
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro infrarrojo)	0.1	2mm+2ppm	0.1	0.1
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro láser)	2.0	3mm+2 ppm	2.0	0.1

Patrones empleados:**Angulos:**

Colimador de ejes: Wild nº 9694 (Incertidumbre 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 escrito de Leica Geosystems, s.l.

Certificado de Verificación y Control

Nº de Certificado 300729234
Fecha 28.01.2011

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 125458

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)	0.0020	0.0015	0.0015	0.0009
Desviación Vt (Gon)	0.0022	0.0015	0.0015	0.0008
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro infrarrojo)	1	1mm + 1.5ppm	1	0.2
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro láser)	2	2mm + 2ppm	2	1.3

Patrones empleados:

Ángulos:

Colimador de ejes: Wild nº 10802 (Incertidumbre asociado con el patrón: 0.0005 gon)

Distancia:

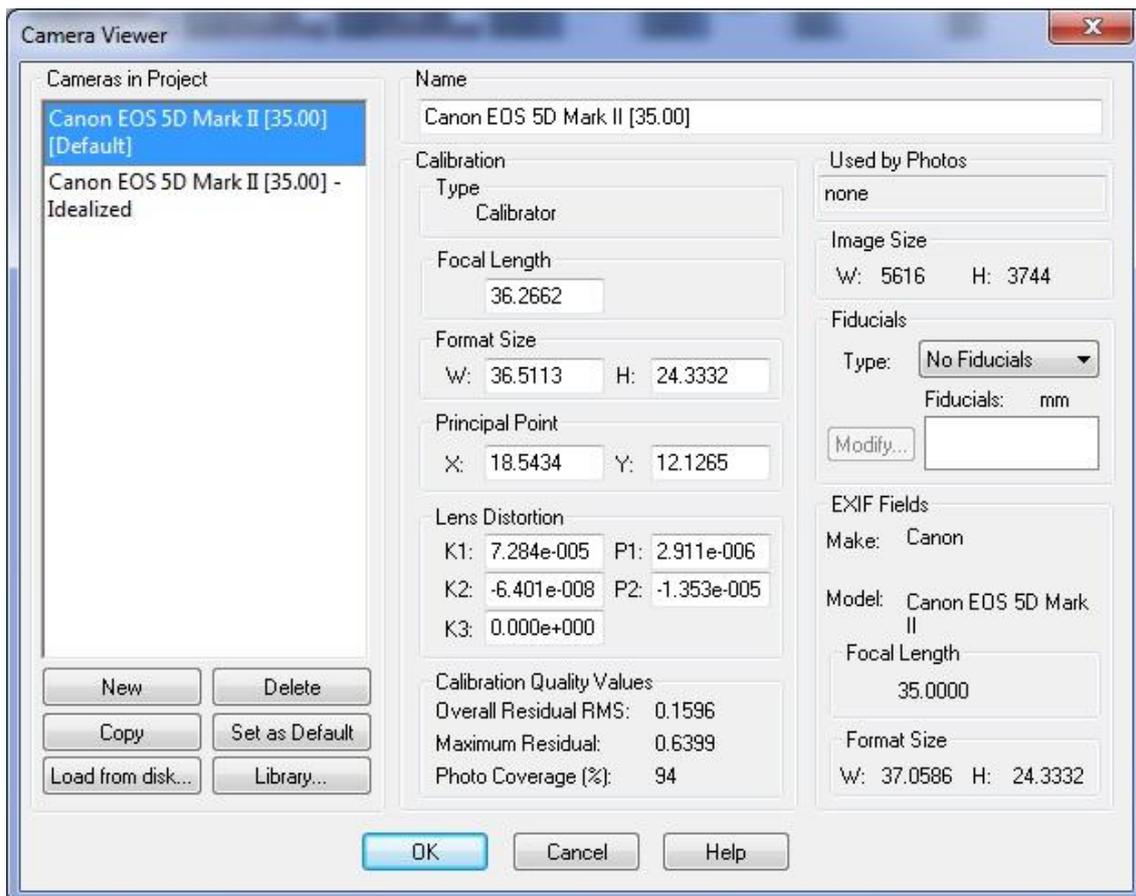
La base de distancias ha sido calibrada por el Centro Español de Metrología con un taquímetro electrónico de 0,01 mm de resolución, con trazabilidad a patrones nacionales

Comentarios:

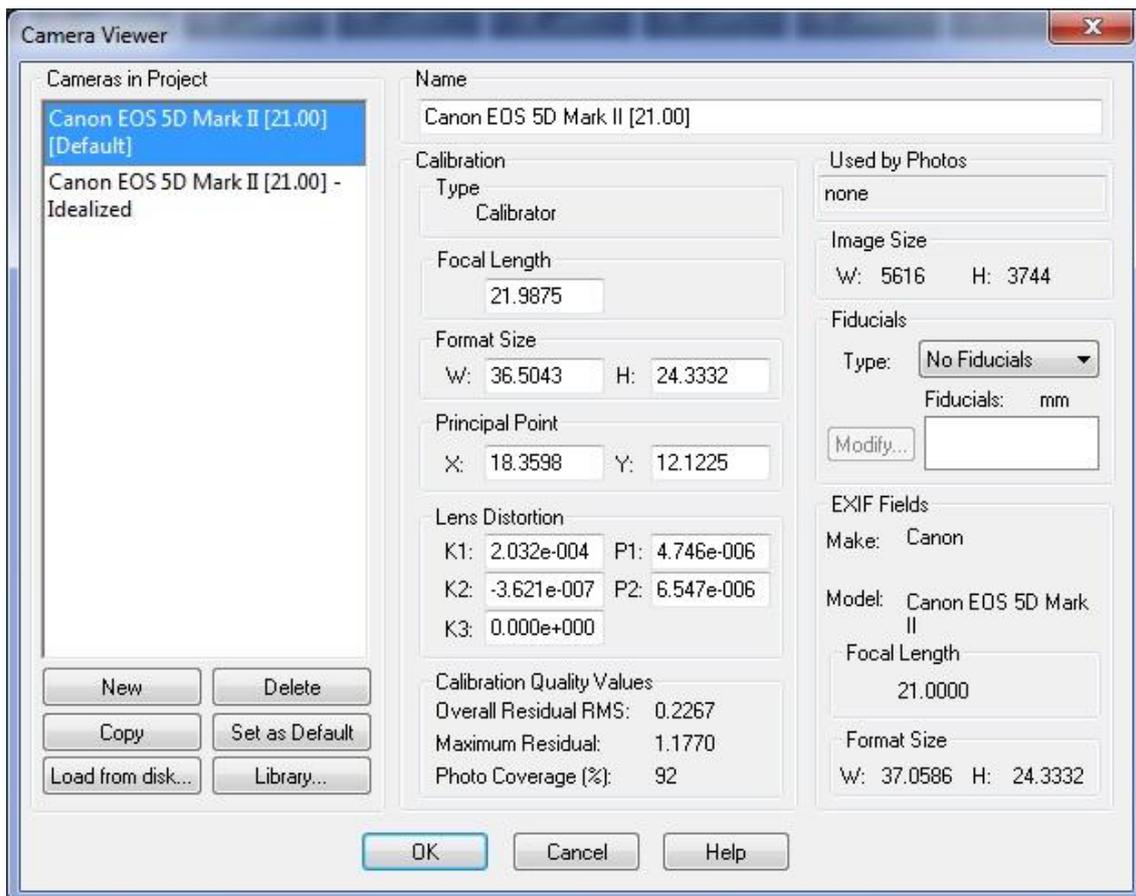
Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones y poseen trazabilidad a patrones nacionales o a patrones extranjeros

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

CANON EOS 5D MARK II + OBJETIVO CANON 35 mm (PHOTOMODELER SCANNER)



CANON 5D MARK II + OBJETIVO ZEISS 21 mm (PHOTOMODELER SCANNER)

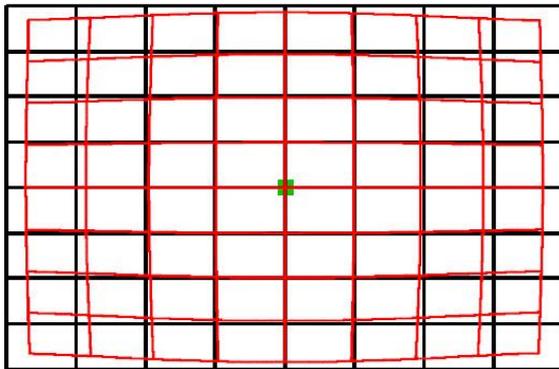


CANON EOS 5D MARK II + OBJETIVO CANON 35 mm (IMAGE MASTER)

[Lens Distortion Curve]

Camera File Name: fmet15.cmr

Display Scale (Lens Distortion): 4.0



Interior Orientation Parameters

Focal Length f: 35.148067 [mm]

Principal Point Xp: 17.952983 [mm]

Principal Point Yp: 11.801403 [mm]

Lens Distortion Parameters

Radial Distortion K1: 7.816239e-005

Radial Distortion K2: -7.163985e-008

Tangential Distortion P1: 1.107042e-005

Tangential Distortion P2: -1.804244e-005

Pixel Size Xr: 6.3 [um]

Pixel Size Yr: 6.3 [um]

Max of Before Correction: 53.173 [Pixel]

Black Line: Ideal Value

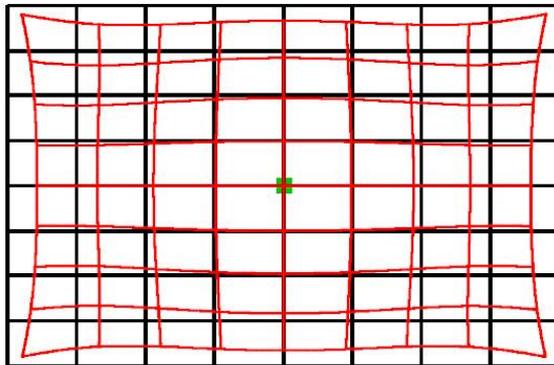
Red Line: Before Correction

CANON 5D MARK II + OBJETIVO ZEISS 21 mm (IMAGE MASTER)

[Lens Distortion Curve]

Camera File Name: fmet16.cmr

Display Scale (Lens Distortion): 4.0



Interior Orientation Parameters

Focal Length f: 21.009384 [mm]

Principal Point Xp: 17.553642 [mm]

Principal Point Yp: 11.534916 [mm]

Lens Distortion Parameters

Radial Distortion K1: 2.155644e-004

Radial Distortion K2: -4.245722e-007

Tangential Distortion P1: -7.434786e-006

Tangential Distortion P2: -1.130067e-005

Pixel Size Xr: 6.2 [um]

Pixel Size Yr: 6.2 [um]

Max of Before Correction: 37.937 [Pixel]

Black Line: Ideal Value

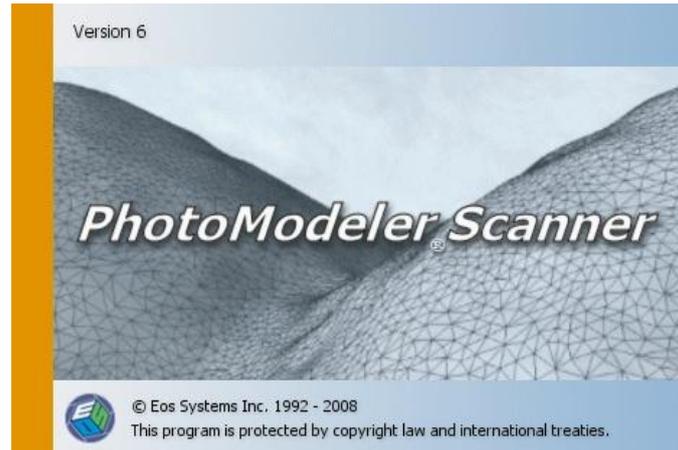
Red Line: Before Correction

ANEXO 3: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

DESCRIPCIÓN DE LOS SOFTWARE UTILIZADOS

PHOTOMODELER SCANNER 6

Los propios creadores definen su programa de la siguiente forma: “Photomodeler Scanner te provee de las herramientas para crear precisos modelos 3D de alta calidad y medidas a partir de las fotografías” (www.photomodeler.com).



Photomodeler Scanner se trata de un software que permite la elaboración de modelos digitales en tres dimensiones a partir de las fotografías estereoscópicas digitales de un objeto. A partir de este modelo 3D generado, existe la posibilidad de obtención de las ortofotos de los elementos.

Photomodeler ha funcionado en las versiones anteriores con imágenes convergentes, pero en Photomodeler Scanner se introduce una variación; ya que se emplea la correlación automática para la generación de las nubes de puntos, y es por esta razón por la que se requieren imágenes más parecidas entre sí, de forma que se facilite este proceso automático.

En el presente proyecto se ha utilizado para la generación de nubes de puntos y mallas de las zonas de riesgo documentadas, así como para la obtención de los modelos tridimensionales de los elementos arquitectónicos objeto de estudio del proyecto, como de las ortofotografías de los mismos.

TOPCON IMAGE MASTER

Image Master se define a sí mismo como: “Un software para realizar mediciones 3D a partir de imágenes estereoscópicas, generar ortoimágenes y modelos 3D utilizando imágenes tomadas por cámaras digitales, que tienen cada vez mas píxeles y un precio más económico” (*Manual Image Master*).



Image Master ha sido utilizado en nuestro caso para los mismos fines que Photomodeler: la elaboración de los modelos tridimensionales de los objetos a documentar, así como para la obtención de ortofotografías. De esta forma, obteniendo los productos requeridos por ambas metodologías, seremos capaces de elaborar una evaluación de los dos software.

ORTHOWARE

Los responsables de la empresa creadora de Orthoware lo definen como: “Un potente software fotogramétrico que permite generar ortofotografías de forma sencilla y rápida. Ha sido diseñado para maximizar su potencial en trabajos de objeto cercano con tomas convergentes” (*Manual Orthoware*).



Orthoware es un software cuya finalidad es la obtención de ortofotografías a partir de imágenes convergentes.

No ha podido ser eficientemente utilizado debido a múltiples problemas con los equipos disponibles, en los cuales no se ha logrado hacer funcionar correctamente el programa. Aunque sí hemos sido capaces de crearnos una opinión crítica a partir del estudio de sus características, de la experiencia parcial en su proceso y de una demostración realizada por un responsable de la empresa creadora.

RAPIDFORM

Los documentos publicitarios de este software lo describe de la siguiente manera: “Rapidform® XOS™/Scan ofrece es el primer programa del mundo que ofrece un procesado de datos de escaneado totalmente automatizado”, “Rapidform XOS es el programa de ingeniería inversa más recomendable para trabajos con operaciones sobre nubes de puntos, mallas, mallas texturizadas, curvas y superficie en un entorno integrado”, “Rapidform XOS admite sobradamente todas las formas de trabajo de ingeniería inversa a partir de datos de escaneado 3D” (www.rapidform.com).



En nuestro caso específico, aunque no se ha podido estudiar a fondo todas las posibilidades que nos ofrece, nos es útil para el tratamiento de nubes de puntos y mallas, para unión de las mismas y para la extracción de las secciones de mayor interés de los elementos documentados.

MESHLAB

La página de MeshLab define su software de la siguiente forma: “MeshLab es un código abierto portátil y extensible para el sistema de procesamiento y edición de mallas triangulares 3D no estructuradas. El sistema está destinado a la transformación de los modelos típicos no estructurados y no tan pequeños que surgen en la digitalización en 3D, proporcionando un conjunto de herramientas para la edición, la limpieza, la inspección, la representación y la conversión de este tipo de mallas” (meshlab.sourceforge.net).



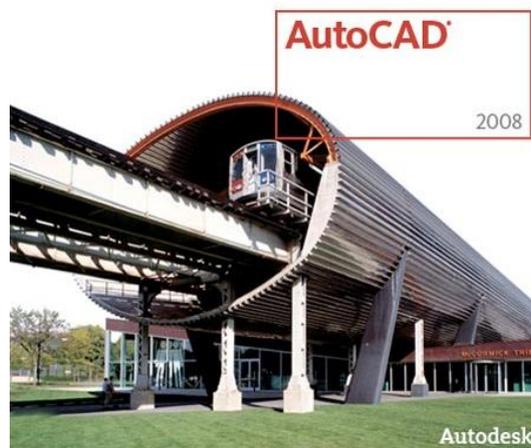
MeshLab

En definitiva MeshLab es un software abierto creado por los alumnos la Universidad de Pisa, el cual se puede utilizar para la edición de mallas y nubes de puntos, pudiendo ser descargado de la web gratuitamente.

En nuestro caso utilizamos MeshLab para el análisis somero de las posibilidades que nos ofrece para la creación de superficies a partir de nubes de puntos, y como herramienta de difusión e intercambio de nubes de puntos y mallas.

AUTOCAD 2002 Y 2008

Autodesk AutoCAD es un programa de diseño asistido por ordenador para dibujo en dos y tres dimensiones. Desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.



En este proyecto ha sido utilizado para el análisis de la precisión de las ortofotografías, para la gestión de las secciones obtenidas de los muros y para la elaboración de los planos, entre otras tareas.

ANEXO 4: RESEÑAS DE ESTACIONES

RESEÑA DE ESTACIÓN INVERSA

Proyecto:

Documentación de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio

Nombre de estación:

INV01

Fecha:

30 de Marzo de 2011

Tipo de orientación:

Intersección inversa

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN

UTM 30 -ETRS89 Cota ortométrica

X (m): 548275,265

Y (m): 4688492,081

Z (m): 710,918

Lugar:

Clavijo (La Rioja)

Reseña literal:

Estación inversa sin materializar, calculada a partir de las coordenadas de las dianas medidas previamente para el apoyo fotogramétrico. Ubicada en la zona norte del muro "P".

Puntos utilizados en la intersección inversa

Diana	X (m)	Y (m)	X (m)
792	548270,731	4688492,543	711,894
793	548270,822	4688494,894	712,894
794	548273,179	4688495,052	712,643
795	548271,617	4688494,976	713,518

**Punto de comprobación:**

BM10

Precisión:

X (m):	Y (m):	Z (m):
0,003	0,007	0,004

Notas:

Intersección a partir de dianas colocadas únicamente para tal efecto. Se toman los puntos del paño sur del muro "P".

RESEÑA DE ESTACIÓN INVERSA

Proyecto:

Documentación de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio

Nombre de estación:

INV02

Fecha:

30 de Marzo de 2011

Tipo de orientación:

Intersección inversa

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN

UTM 30 -ETRS89 Cota ortométrica

X (m): 548270,710

Y (m): 4688481,303

Z (m): 710,908

Lugar:

Clavijo (La Rioja)

Reseña literal:

Estación inversa sin materializar, calculada a partir de las coordenadas de las dianas medidas previamente para el apoyo fotogramétrico. Ubicada al este de la iglesia entre los muros "P" y "R".

Puntos utilizados en la intersección inversa

Diana	X (m)	Y (m)	X (m)
705	548271,381	4688488,652	714,198
706	548275,646	4688488,856	711,499
732	548279,876	4688477,625	714,757
739	548285,386	4688478,410	713,711

**Punto de comprobación:**

BM10

Precisión:

X (m):	Y (m):	Z (m):
-0,004	-0,007	0,004

Notas:

Se toman los puntos visibles del muro "P" y el paño oeste del muro "R".

RESEÑA DE ESTACIÓN INVERSA

Proyecto:

Documentación de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio

Nombre de estación:

INV03

Fecha:

30 de Marzo de 2011

Tipo de orientación:

Intersección inversa

Lugar:

Clavijo (La Rioja)

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN

UTM 30 -ETRS89 Cota ortométrica

X (m): 548240,057

Y (m): 4688488,736

Z (m): 709,490

Reseña literal:

Estación inversa sin materializar, calculada a partir de las coordenadas de las dianas medidas previamente para el apoyo fotogramétrico. Ubicada al norte de la iglesia entre el muro norte y el "J".

Puntos utilizados en la intersección inversa

Diana	X (m)	Y (m)	X (m)
724	548271,537	4688488,716	715,134
727	548271,253	4688489,645	713,820
785	548243,430	4688484,923	711,896
789	548247,173	4688485,157	711,160

**Punto de comprobación:**

-

Precisión:

X (m): **Y (m):** **Z (m):**

-

-

-

Notas:

Se toman los puntos visibles del muro "J" y del muro norte de la iglesia por la parte exterior.

RESEÑA DE ESTACIÓN INVERSA

Proyecto:

Documentación de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio

Nombre de estación:

INV04

Fecha:

30 de Marzo de 2011

Tipo de orientación:

Intersección inversa

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN

UTM 30 -ETRS89 Cota ortométrica

X (m): 548245,828

Y (m): 4688483,205

Z (m): 704,709

Lugar:

Clavijo (La Rioja)

Reseña literal:

Estación inversa sin materializar, calculada a partir de las coordenadas de las dianas medidas previamente para el apoyo fotogramétrico. Ubicada en el interior de la iglesia próxima al muro norte.

Puntos utilizados en la intersección inversa

Diana	X (m)	Y (m)	X (m)
796	548238,170	4688482,369	706,863
797	548237,916	4688479,499	705,293
798	548238,026	4688479,147	706,513
799	548247,901	4688477,169	705,777

**Punto de comprobación:**

-

Precisión:

X (m): **Y (m):** **Z (m):**

-

-

-

Notas:

Se toman los puntos del arco y del muro sur.

RESEÑA DE ESTACIÓN INVERSA

Proyecto:

Documentación de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio

Nombre de estación:

BM10

Fecha:

10 de Marzo de 2011

Tipo de orientación:

Coordenadas conocidas

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN

UTM 30 -ETRS89 Cota ortométrica

X (m): 548285,647

Y (m): 4688485,310

Z (m): 712,009

Lugar:

Clavijo (La Rioja)

Reseña literal:

Estaca de madera con un clavo de acero, en la zona sur del monasterio frente al muro "R".

Punto orientación:

BM11

Valores al estacionar (a ref.):

Hz: 320,1555

V: 83,9880

Valores al final (a ref.):

Hz: 320,1575

V: 83,9895

Referencia:

Diana 710

Croquis referencia:

En el paño este del muro "P".

**Punto de comprobación:**

-

Precisión:

X (m):	Y (m):	Z (m):
-	-	-

Notas:

Se toman los puntos visibles del muro "P" y los del paño norte del muro "R".

RESEÑA DE ESTACIÓN INVERSA

Proyecto:

Documentación de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio

Nombre de estación:

BM11

Fecha:

30 de Marzo de 2011

Tipo de orientación:

Coordenadas conocidas

Lugar:

Clavijo (La Rioja)

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN

UTM 30 -ETRS89 Cota ortométrica

X (m): 548254,571

Y (m): 4688489,600

Z (m): 708,973

Reseña literal:

Estaca de madera con un clavo de acero, en la zona al norte de la iglesia.

Punto orientación:

BM10

Valores al estacionar (a ref.):

Hz: 103,3125

V: 83,1880

Valores al final (a ref.):

Hz: 103,3120

V: 83,1910

Referencia:

Diana 724

Croquis referencia:

En el paño oeste del muro "R".

**Punto de comprobación:**

BM09

Precisión:

X (m): **Y (m):** **Z (m):**

-0,007 0,008 -0,006

Notas:

Se toman los puntos que faltaban del muro "R" y del muro "P".



Monasterio de San Prudencio del Monte
Laturce (La Rioja), 2009/10

Estación / Benchmark:	BM10	Coordenadas / Coordinates: UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis / Anamorphosis: 0,999629
Fecha / Date:	2010-05-11	X / Easting :	548285,647
Municipio / Town Council	Clavijo	Y / Northing :	4688485,310
Provincia / Province:	La Rioja	Z (Ortométrica / Mean sea level) :	712,009

Reseña literal: Estaca de madera con clavo de acero incrustado, situada sobre un pequeño montículo, en el extremo oeste, del muro sur de cierre del edificio que contiene las celdas.

Description: Stainless steel nail on a wooden stake, at the west extreme of the south wall that include the cell's building.





Monasterio de San Prudencio del Monte
Laturce (La Rioja), 2009/10

Estación / Benchmark:	BM11	Coordenadas / Coordinates: UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis / Anamorphosis: 0,999629
Fecha / Date:	2010-05-11	X / Easting :	548254,571
Municipio / Town Council	Clavijo	Y / Northing :	4688489,600
Provincia / Province:	La Rioja	Z (Ortométrica / Mean sea level) :	708,973

Reseña literal: Estaca de madera con clavo de acero incrustado, situada al norte del muro norte de cierre de la iglesia.

Description: Stainless steel nail on a wooden stake, at the north of the north wall that include the church.





Monasterio de San Prudencio del Monte
Laturce (La Rioja), 2009/10

Estación / Benchmark:	BM13	Coordenadas / Coordinates: UTM 30 - ETRS89	Anamorfosis / Anamorphosis: 0,999629
Fecha / Date:	2010-05-11	X / Easting :	548226,258
Municipio / Town Council	Clavijo	Y / Northing :	4688493,320
Provincia / Province:	La Rioja	Z (Ortométrica / Mean sea level) :	707,259

Reseña literal: Estaca de madera con clavo de acero incrustado, dentro del yacimiento, en el extremo oeste.

Description: Stainless steel nail on a wooden stake, inside the site, at the west extreme.



ANEXO 5: RESEÑAS DEL APOYO

RESEÑA PUNTOS DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO

Proyecto: Documentación geométrica de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio (Clavijo)

Zona: Arco de la Iglesia

Lugar: Monasterio de San Prudencio (Clavijo)

Fecha toma del apoyo: 19 - 04 - 2011

Estación Total: Leica TCR307



PUNTOS DE APOYO			
PUNTO	X (m)	Y (m)	X (m)
3	548238,039	4688483,921	704,868
42	548237,901	4688478,716	704,740
734	548238,041	4688484,534	707,186
796	548238,170	4688482,369	706,863
797	548237,916	4688479,499	705,293
798	548238,026	4688479,147	706,513
832	548238,171	4688483,724	706,246
833	548238,723	4688484,331	706,226
836	548237,961	4688484,141	708,571
837	548237,937	4688484,068	709,585
838	548238,017	4688483,341	707,987
840	548238,068	4688482,246	707,691
841	548238,018	4688482,680	705,608
842	548237,987	4688481,344	706,535
843	548238,130	4688481,306	707,272
844	548237,975	4688480,282	707,408
845	548237,954	4688478,344	705,985
901	548237,886	4688478,610	702,576
902	548238,099	4688477,782	702,525
903	548238,144	4688477,871	704,061



Notas:
El punto en azul es un punto mal medido por lo que no se muestran sus coordenadas.

RESEÑA PUNTOS DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO

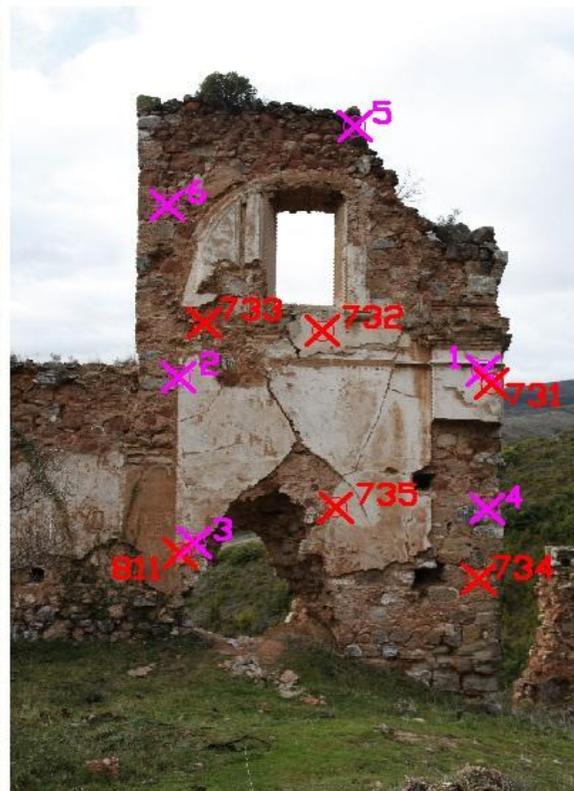
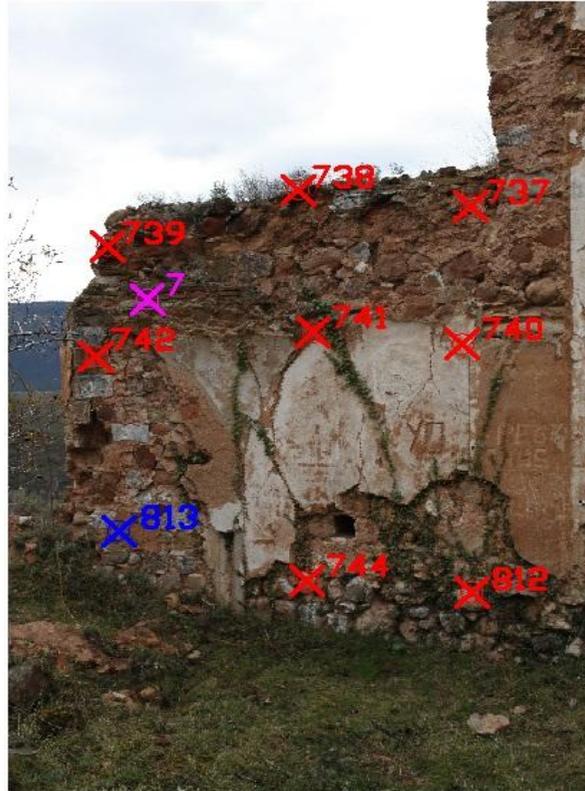
Proyecto: Documentación geométrica de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio (Clavijo)

Zona: Muro "R" paño norte

Lugar: Monasterio de San Prudencio (Clavijo)

Fecha toma del apoyo: 10 - 03 - 2011

Estación Total: Leica TPS1205



PUNTOS DE APOYO

PUNTO	X (m)	Y (m)	X (m)
731	548277,663	4688477,712	714,011
732	548279,876	4688477,625	714,757
733	548281,438	4688477,618	714,848
734	548277,807	4688477,547	711,210
735	548279,685	4688477,639	712,224
737	548282,456	4688477,697	713,848
738	548283,908	4688477,762	714,162
739	548285,386	4688478,410	713,711
740	548282,514	4688477,714	712,753
741	548283,740	4688477,785	712,888
742	548285,432	4688478,487	712,691
744	548283,798	4688477,769	710,714
811	548281,666	4688477,698	711,566
812	548282,440	4688477,695	710,792
1	548277,775	4688477,706	714,203
2	548281,734	4688477,671	714,058
3	548281,488	4688477,684	711,702
4	548277,677	4688477,520	712,220
5	548279,457	4688477,499	717,923
6	548281,966	4688477,609	716,619
7	548285,025	4688478,310	713,198



Notas:

El punto en azul es un punto mal medido por lo que no se muestran sus coordenadas.
Los puntos magenta son puntos naturales.

RESEÑA PUNTOS DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO

Proyecto: Documentación geométrica de las zonas de riesgo del Monasterio de San Prudencio (Clavijo)

Zona: Muro "R" paño norte

Lugar: Monasterio de San Prudencio (Clavijo)

Fecha toma del apoyo: 10 - 03 - 2011

Estación Total: Leica TPS1205



- 1: Punto negro en la piedra.
- 2: Esquina de la zona clara.
- 3: Esquina izquierda formada por la grieta.
- 4: Esquina superior derecha de la piedra.
- 5: Mancha blanca entre las dos piedras.
- 6: Esquina inferior derecha de la piedra.
- 7: Esquina inferior izquierda del ladrillo.

Notas:

Puntos naturales para ser utilizados como comprobación.

Marcados también en la reseña anterior de forma general.

ANEXO 6: TABLAS DE ERRORES

TABLA DE ERRORES DEL MODELO DEL ARCO OBTENIDO POR IMAGE MASTER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	Z diana (m)	X modelo (m)	Y modelo (m)	Z modelo (m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia en Z (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)
3	8238,039	8483,921	704,868	8238,027	8483,919	704,872	0,012	0,002	-0,004	0,013	0,012	0,002	0,004
42	8237,901	8478,716	704,740	8237,888	8478,712	704,743	0,013	0,004	-0,003	0,014	0,013	0,004	0,003
796	8238,170	8482,369	706,863	8238,178	8482,374	706,863	-0,008	-0,005	0,000	0,010	0,008	0,005	0,000
797	8237,916	8479,499	705,293	8237,912	8479,506	705,296	0,004	-0,007	-0,003	0,008	0,004	0,007	0,003
798	8238,026	8479,147	706,513	8238,024	8479,154	706,518	0,002	-0,007	-0,005	0,007	0,002	0,007	0,005
832	8238,171	8483,724	706,246	8238,166	8483,721	706,248	0,005	0,003	-0,002	0,006	0,005	0,003	0,002
833	8238,723	8484,331	706,226	8238,740	8484,326	706,225	-0,017	0,005	0,001	0,018	0,017	0,005	0,001
834	8238,041	8484,534	707,186	8238,047	8484,535	707,186	-0,006	-0,001	0,000	0,006	0,006	0,001	0,000
838	8238,017	8483,341	707,987	8238,015	8483,343	707,992	0,002	-0,002	-0,005	0,003	0,002	0,002	0,005
840	8238,068	8482,246	707,691	8238,066	8482,244	707,693	0,002	0,002	-0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
841	8238,018	8482,680	705,608	8238,013	8482,676	705,610	0,005	0,004	-0,002	0,007	0,005	0,004	0,002
842	8237,987	8481,344	706,535	8237,987	8481,343	706,536	0,000	0,001	-0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
843	8238,130	8481,306	707,272	8238,133	8481,305	707,270	-0,003	0,001	0,002	0,004	0,003	0,001	0,002
844	8237,975	8480,282	707,408	8237,978	8480,281	707,410	-0,003	0,001	-0,002	0,003	0,003	0,001	0,002
845	8237,954	8478,344	705,985	8237,951	8478,341	705,990	0,003	0,003	-0,005	0,005	0,003	0,003	0,005
901	8237,886	8478,610	702,576	8237,868	8478,602	702,573	0,018	0,008	0,003	0,020	0,018	0,008	0,003
902	8238,099	8477,782	702,525	8238,114	8477,790	702,529	-0,015	-0,008	-0,004	0,017	0,015	0,008	0,004
903	8238,144	8477,871	704,061	8238,140	8477,869	704,063	0,004	0,002	-0,002	0,005	0,004	0,002	0,002

Magenta Puntos no utilizados en la generación del modelo.

Verde Puntos utilizados en la generación del modelo.

* Punto origen

Puntos	Distancia
3	0,013
42	0,014
796	0,010
797	0,008
798	0,007
832	0,006
833	0,018
834	0,006
838	0,003

Puntos	Distancia
840	0,003
841	0,007
842	0,001
843	0,004
844	0,003
845	0,005
901	0,020
902	0,017
903	0,005

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,018	0,008	0,005	0,020
E min (m)	0,000	0,001	0,000	0,001
E medio (m)	0,007	0,004	0,008	0,008
desv. Est. (m)	0,009	0,005	0,002	0,006

TABLA DE ERRORES DEL MODELO DEL ARCO OBTENIDO POR PHOTODELER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	Z diana (m)	X modelo (m)	Y modelo (m)	Z modelo (m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia en Z (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)
3	8238,039	8483,921	704,868	8238,037	8483,918	704,871	0,002	0,003	-0,003	0,005	0,002	0,003	0,003
42	8237,901	8478,716	704,740	8237,902	8478,720	704,741	-0,001	-0,004	-0,001	0,004	0,001	0,004	0,001
796	8238,170	8482,369	706,863	8238,177	8482,374	706,861	-0,007	-0,005	0,002	0,009	0,007	0,005	0,002
797	8237,916	8479,499	705,293	8237,920	8479,509	705,294	-0,004	-0,010	-0,001	0,011	0,004	0,010	0,001
798	8238,026	8479,147	706,513	8238,027	8479,156	706,514	-0,001	-0,009	-0,001	0,009	0,001	0,009	0,001
832	8238,171	8483,724	706,246	8238,171	8483,720	706,247	0,000	0,004	-0,001	0,004	0,000	0,004	0,001
833	8238,723	8484,332	706,226	8238,729	8484,332	706,227	-0,006	0,000	-0,001	0,006	0,006	0,000	0,001
834	8238,041	8484,534	707,186	8238,042	8484,537	707,186	-0,001	-0,003	0,000	0,003	0,001	0,003	0,000
838	8238,017	8483,341	707,987	8238,016	8483,343	707,985	0,001	-0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
840	8238,068	8482,246	707,691	8238,067	8482,244	707,689	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
841	8238,018	8482,680	705,608	8238,016	8482,676	705,610	0,002	0,004	-0,002	0,004	0,002	0,004	0,002
842	8237,987	8481,344	706,535	8237,985	8481,343	706,535	0,002	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000
843	8238,130	8481,306	707,272	8238,129	8481,305	707,269	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,003
844	8237,975	8480,282	707,408	8237,975	8480,282	707,407	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
845	8237,954	8478,344	705,985	8237,955	8478,346	705,986	-0,001	-0,002	-0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
901	8237,886	8478,610	702,576	8237,877	8478,606	702,574	0,009	0,004	0,002	0,010	0,009	0,004	0,002
902	8238,099	8477,782	702,525	8238,104	8477,782	702,523	-0,005	0,000	0,002	0,005	0,005	0,000	0,002
903	8238,144	8477,871	704,061	8238,147	8477,873	704,062	-0,003	-0,002	-0,001	0,004	0,003	0,002	0,001

Magenta Puntos no utilizados en la generación del modelo.

Verde Puntos utilizados en la generación del modelo.

* Punto origen

Puntos	Distancia
3	0,005
42	0,004
796	0,009
797	0,011
798	0,009
832	0,004
833	0,006
834	0,003
838	0,002

Puntos	Distancia
840	0,002
841	0,004
842	0,002
843	0,001
844	0,000
845	0,002
901	0,010
902	0,005
903	0,004

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,009	0,010	0,003	0,011
E min (m)	0,000	0,000	0,000	0,000
E medio (m)	0,003	0,003	0,005	0,005
desv. Est. (m)	0,004	0,004	0,002	0,003

TABLA DE ERRORES DEL MODELO DEL MURO "R" OBTENIDO POR IMAGE MASTER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	Z diana (m)	X modelo (m)	Y modelo (m)	Z modelo (m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia en Z (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)
731	8277,663	8477,712	714,011	8277,667	8477,717	714,010	-0,004	-0,005	0,001	0,007	0,004	0,005	0,001
732	8279,876	8477,625	714,757	8279,879	8477,630	714,755	-0,003	-0,005	0,001	0,006	0,003	0,005	0,001
733	8281,438	8477,618	714,848	8281,440	8477,622	714,848	-0,002	-0,004	0,000	0,005	0,002	0,004	0,000
734	8277,807	8477,547	711,210	8277,810	8477,552	711,211	-0,003	-0,005	-0,001	0,006	0,003	0,005	0,001
735	8279,685	8477,639	712,224	8279,688	8477,643	712,225	-0,003	-0,004	-0,001	0,005	0,003	0,004	0,001
811	8281,666	8477,698	711,566	8281,666	8477,702	711,565	0,000	-0,004	0,001	0,004	0,000	0,004	0,001
737	8282,456	8477,697	713,848	8282,456	8477,701	713,848	0,000	-0,004	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000
738	8283,908	8477,762	714,162	8283,905	8477,767	714,161	0,003	-0,005	0,001	0,005	0,003	0,005	0,001
739	8285,386	8478,410	713,711	8285,383	8478,413	713,711	0,003	-0,003	-0,001	0,004	0,003	0,003	0,001
740	8282,514	8477,714	712,753	8282,514	8477,717	712,754	0,000	-0,003	-0,001	0,003	0,000	0,003	0,001
741	8283,740	8477,785	712,888	8283,739	8477,786	712,888	0,001	-0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000
742	8285,432	8478,487	712,691	8285,433	8478,487	712,692	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
812	8282,440	8477,695	710,792	8282,439	8477,700	710,793	0,001	-0,005	-0,001	0,005	0,001	0,005	0,001
744	8283,798	8477,769	710,714	8283,799	8477,769	710,715	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
1	8277,775	8477,706	714,203	8277,777	8477,711	714,202	-0,003	-0,005	0,001	0,006	0,003	0,005	0,001
2	8281,734	8477,671	714,058	8281,744	8477,675	714,059	-0,009	-0,004	-0,001	0,010	0,009	0,004	0,001
3	8281,488	8477,684	711,702	8281,496	8477,696	711,707	-0,008	-0,012	-0,006	0,014	0,008	0,012	0,006
4	8277,677	8477,520	712,220	8277,682	8477,527	712,219	-0,005	-0,007	0,001	0,008	0,005	0,007	0,001
5	8279,457	8477,499	717,923	8279,460	8477,504	717,924	-0,003	-0,005	-0,002	0,006	0,003	0,005	0,002
6	8281,966	8477,609	716,619	8281,978	8477,616	716,617	-0,012	-0,007	0,003	0,014	0,012	0,007	0,003
7	8285,025	8478,310	713,198	8285,020	8478,312	713,202	0,005	-0,002	-0,004	0,006	0,005	0,002	0,004
752	8277,446	8476,625	714,251	8277,440	8476,625	714,247	0,006	0,000	0,004	0,006	0,006	0,000	0,004
753	8277,460	8477,408	714,200	8277,459	8477,408	714,199	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
754	8277,485	8476,611	712,535	8277,486	8476,614	712,536	-0,001	-0,003	-0,001	0,003	0,001	0,003	0,001
755	8277,494	8477,327	712,531	8277,499	8477,327	712,534	-0,005	0,000	-0,003	0,005	0,005	0,000	0,003
756	8277,531	8476,307	709,468	8277,533	8476,311	709,470	-0,002	-0,004	-0,002	0,004	0,002	0,004	0,002
757	8277,547	8477,363	709,544	8277,551	8477,365	709,544	-0,004	-0,002	0,000	0,004	0,004	0,002	0,000

Magenta Puntos no utilizados en la generación del modelo.

Verde Puntos utilizados en la generación del modelo.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,012	0,012	0,006	0,014
E min (m)	0,000	0,000	0,000	0,001
E medio (m)	0,003	0,004	0,001	0,005
desv. Est. (m)	0,004	0,003	0,004	0,003

Puntos	Distancia
731	0,007
732	0,006
733	0,005
734	0,006
735	0,005
811	0,004
737	0,004
738	0,005
739	0,004

Puntos	Distancia
740	0,003
741	0,002
742	0,001
812	0,005
744	0,001
1	0,006
2	0,010
3	0,014
4	0,008

Puntos	Distancia
5	0,006
6	0,014
7	0,006
752	0,006
753	0,001
754	0,003
755	0,005
756	0,004
757	0,004

TABLA DE ERRORES DEL MODELO DEL MURO "R" OBTENIDO POR PHOTODELER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	Z diana (m)	X modelo (m)	Y modelo (m)	Z modelo (m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia en Z (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)
731	8277,663	8477,712	714,011	8277,663	8477,711	714,007	0,000	0,001	0,004	0,004	0,000	0,001	0,004
732	8279,876	8477,625	714,756	8279,876	8477,624	714,756	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
733	8281,438	8477,618	714,848	8281,437	8477,617	714,848	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
734	8277,807	8477,547	711,210	8277,807	8477,548	711,205	0,000	-0,001	0,005	0,001	0,000	0,001	0,005
735	8279,685	8477,639	712,223	8279,685	8477,640	712,221	0,000	-0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,002
811	8281,666	8477,698	711,566	8281,666	8477,701	711,561	0,000	-0,003	0,005	0,003	0,000	0,003	0,005
737	8282,456	8477,697	713,848	8282,457	8477,695	713,849	-0,001	0,002	-0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
738	8283,908	8477,762	714,162	8283,907	8477,761	714,163	0,001	0,001	-0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
739	8285,386	8478,410	713,711	8285,386	8478,409	713,713	0,000	0,001	-0,002	0,001	0,000	0,001	0,002
740	8282,514	8477,714	712,753	8282,516	8477,713	712,753	-0,002	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000
741	8283,740	8477,785	712,888	8283,740	8477,784	712,888	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
742	8285,432	8478,487	712,691	8285,430	8478,488	712,693	0,002	-0,001	-0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
812	8282,440	8477,695	710,792	8282,440	8477,699	710,789	0,000	-0,004	0,003	0,004	0,000	0,004	0,003
744	8283,798	8477,769	710,714	8283,797	8477,771	710,714	0,001	-0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000
1	8277,774	8477,706	714,203	8277,775	8477,706	714,201	-0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002
2	8281,734	8477,671	714,058	8281,741	8477,679	714,057	-0,007	-0,008	0,001	0,011	0,007	0,008	0,001
3	8281,488	8477,684	711,702	8281,495	8477,695	711,703	-0,007	-0,011	-0,001	0,013	0,007	0,011	0,001
4	8277,677	8477,520	712,220	8277,678	8477,515	712,217	-0,001	0,005	0,003	0,005	0,001	0,005	0,003
5	8279,457	8477,499	717,923	8279,455	8477,506	717,919	0,002	-0,007	0,004	0,007	0,002	0,007	0,004
6	8281,966	8477,609	716,619	8281,971	8477,611	716,619	-0,005	-0,002	0,000	0,005	0,005	0,002	0,000
7	8285,025	8478,310	713,198	8285,023	8478,308	713,204	0,002	0,002	-0,006	0,003	0,002	0,002	0,006
752	8277,446	8476,625	714,251	8277,445	8476,627	714,254	0,001	-0,002	-0,003	0,002	0,001	0,002	0,003
753	8277,460	8477,408	714,200	8277,458	8477,410	714,203	0,002	-0,002	-0,003	0,003	0,002	0,002	0,003
754	8277,485	8476,611	712,535	8277,484	8476,612	712,537	0,001	-0,001	-0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
755	8277,494	8477,327	712,531	8277,497	8477,326	712,534	-0,003	0,001	-0,003	0,003	0,003	0,001	0,003
756	8277,531	8476,307	709,468	8277,529	8476,306	709,471	0,002	0,001	-0,003	0,002	0,002	0,001	0,003
757	8277,547	8477,363	709,544	8277,550	8477,358	709,544	-0,003	0,005	0,000	0,006	0,003	0,005	0,000

Magenta Puntos no utilizados en la generación del modelo.

Verde Puntos utilizados en la generación del modelo.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Dist. abs Z (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,007	0,011	0,006	0,013
E min (m)	0,000	0,000	0,000	0,001
E medio (m)	0,002	0,003	0,002	0,003
desv. Est. (m)	0,003	0,004	0,003	0,002

Puntos	Distancia
731	0,004
732	0,001
733	0,001
734	0,001
735	0,001
811	0,003
737	0,002
738	0,001
739	0,001

Puntos	Distancia
740	0,002
741	0,001
742	0,002
812	0,004
744	0,002
1	0,001
2	0,011
3	0,013
4	0,005

Puntos	Distancia
5	0,007
6	0,005
7	0,003
752	0,002
753	0,003
754	0,001
755	0,003
756	0,002
757	0,006

TABLA DE ERRORES DE LA ORTOFOTO DEL ARCO OBTENIDA POR IMAGE MASTER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	X ortofoto (m)	Y ortofoto(m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)
3	5,207	0,128	5,207	0,128	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
42*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
796	3,659	2,123	3,658	2,121	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002
797	0,783	0,553	0,792	0,553	-0,009	0,000	0,009	0,009	0,000
798	0,434	1,773	0,437	1,776	-0,003	-0,003	0,004	0,003	0,003
832	5,013	1,506	5,006	1,506	0,007	0,000	0,007	0,007	0,000
833	5,635	1,486	5,602	1,483	0,033	0,003	0,033	0,033	0,003
834	5,820	2,446	5,824	2,445	-0,005	0,001	0,005	0,005	0,001
838	4,626	3,247	4,632	3,250	-0,005	-0,003	0,006	0,005	0,003
840	3,533	2,951	3,531	2,953	0,002	-0,002	0,003	0,002	0,002
841	3,966	0,868	3,963	0,868	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000
842	2,629	1,795	2,630	1,794	-0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
843	2,595	2,532	2,588	2,529	0,007	0,003	0,008	0,007	0,003
844	1,567	2,668	1,568	2,669	-0,001	-0,001	0,001	0,001	0,001
845	-0,371	1,245	-0,375	1,247	0,005	-0,002	0,005	0,005	0,002
901	-0,106	-2,164	-0,109	-2,171	0,002	0,007	0,007	0,002	0,007
902	-0,928	-2,215	-0,928	-2,217	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002
903	-0,838	-0,679	-0,849	-0,681	0,010	0,002	0,010	0,010	0,002

Azul Puntos utilizados para el escalado de la orofoto.
 Magenta Puntos no utilizados en la generación de la ortofoto.
 Verde Puntos utilizados en la generación de la ortofoto.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,033	0,007	0,033
E min (m)	0,000	0,000	0,000
E medio (m)	0,005	0,002	0,006
desv. Est. (m)	0,009	0,003	0,007

NP	Distancia
796	0,003
797	0,009
798	0,004
832	0,007
833	0,033
834	0,005
838	0,006
840	0,003

NP	Distancia
841	0,003
842	0,001
843	0,008
844	0,001
845	0,005
901	0,007
902	0,002
903	0,010

TABLA DE ERRORES DE LA ORTOFOTO DEL ARCO OBTENIDA POR PHOTOMODELER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	X ortofoto (m)	Y ortofoto (m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia (m)	D abs X (m)	D abs Y (m)
3	5,208	0,000	5,208	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
42	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
796	3,717	2,024	3,710	2,028	0,007	-0,004	0,008	0,007	0,004
797	0,805	0,533	0,797	0,534	0,008	-0,001	0,008	0,008	0,001
798	0,486	1,759	0,478	1,759	0,008	0,000	0,008	0,008	0,000
832	5,047	1,377	5,049	1,379	-0,002	-0,002	0,003	0,002	0,002
833	5,669	1,330	5,670	1,332	-0,001	-0,002	0,002	0,001	0,002
834	5,888	2,302	5,878	2,302	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000
836	5,529	3,703	5,517	3,698	0,011	0,006	0,013	0,011	0,006
838	4,711	3,131	4,705	3,132	0,007	-0,001	0,007	0,007	0,001
840	3,604	2,859	3,605	2,861	0,000	-0,002	0,002	0,000	0,002
841	3,984	0,769	3,986	0,770	-0,002	-0,001	0,002	0,002	0,001
842	2,674	1,727	2,673	1,729	0,001	-0,002	0,002	0,001	0,002
843	2,656	2,459	2,657	2,463	-0,001	-0,004	0,004	0,001	0,004
844	1,633	2,625	1,633	2,627	0,001	-0,002	0,002	0,001	0,002
845	-0,340	1,252	-0,340	1,252	-0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
901	-0,165	-2,164	-0,160	-2,160	-0,006	-0,004	0,007	0,006	0,004
902	-0,981	-2,201	-0,983	-2,196	0,002	-0,005	0,005	0,002	0,005
903	-0,857	-0,667	-0,855	-0,664	-0,002	-0,003	0,003	0,002	0,003

Azul Puntos utilizados para el escalado de la orofoto.
 Magenta Puntos no utilizados en la generación de la ortofoto.
 Verde Puntos utilizados en la generación de la ortofoto.

* Punto origen

	D abs X (m)	D abs Y (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,011	0,006	0,013
E min (m)	0,000	0,000	0,000
E medio (m)	0,004	0,002	0,005
desv. Est. (m)	0,005	0,002	0,004

NP	Distancia
796	0,008
797	0,008
798	0,008
832	0,003
833	0,002
834	0,010
836	0,013
838	0,007
840	0,002

NP	Distancia
841	0,002
842	0,002
843	0,004
844	0,002
845	0,001
901	0,007
902	0,005
903	0,003

TABLA DE ERRORES DE LA ORTOFOTO DEL MURO R PAÑO NORTE OBTENIDA POR IMAGE MASTER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	X ortofoto (m)	Y ortofoto(m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)
731	4,793	0,162	4,793	0,162	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
732	2,580	0,908	2,578	0,910	0,002	-0,002	0,003	0,002	0,002
733	1,018	1,000	1,016	1,003	0,003	-0,003	0,004	0,003	0,003
734	4,649	-2,639	4,649	-2,638	0,000	-0,001	0,001	0,000	0,001
735	2,771	-1,625	2,769	-1,623	0,002	-0,002	0,003	0,002	0,002
811	0,790	-2,282	0,790	-2,283	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
737	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
738	-1,452	0,314	-1,449	0,312	-0,003	0,002	0,003	0,003	0,002
739	-2,928	-0,138	-2,930	-0,135	0,002	-0,003	0,003	0,002	0,003
740	-0,058	-1,096	-0,060	-1,094	0,002	-0,002	0,003	0,002	0,002
741	-1,283	-0,961	-1,285	-0,960	0,002	-0,001	0,002	0,002	0,001
742	-2,973	-1,157	-2,978	-1,155	0,005	-0,002	0,005	0,005	0,002
812	0,016	-3,056	0,016	-3,056	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
744	-1,342	-3,134	-1,343	-3,133	0,002	-0,001	0,002	0,002	0,001
1	4,682	0,354	4,682	0,355	0,000	-0,001	0,001	0,000	0,001
2	0,722	0,210	0,712	0,214	0,010	-0,004	0,010	0,010	0,004
3	0,968	-2,147	0,959	-2,143	0,009	-0,004	0,010	0,009	0,004
4	4,778	-1,629	4,775	-1,627	0,003	-0,002	0,004	0,003	0,002
5	2,998	4,074	2,997	4,081	0,002	-0,006	0,007	0,002	0,006
6	0,490	2,771	0,480	2,772	0,010	-0,001	0,010	0,010	0,001
7	-2,567	-0,651	-2,566	-0,645	0,000	-0,006	0,006	0,000	0,006

Azul Puntos utilizados para el escalado de la orofoto.
 Magenta Puntos no utilizados en la generación de la ortofoto.
 Verde Puntos utilizados en la generación de la ortofoto.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,010	0,006	0,010
E min (m)	0,000	0,000	0,000
E medio (m)	0,003	0,002	0,004
desv. Est. (m)	0,003	0,002	0,003

Puntos	Distancia
732	0,003
733	0,004
734	0,001
735	0,003
811	0,001
738	0,003
739	0,003
740	0,003
741	0,002
742	0,005

Puntos	Distancia
812	0,001
744	0,002
1	0,001
2	0,010
3	0,010
4	0,004
5	0,007
6	0,010
7	0,006

TABLA DE ERRORES DE LA ORTOFOTO DEL MURO R PAÑO NORTE OBTENIDA POR PHOTOMODELER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	X ortofoto (m)	Y ortofoto(m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)
731	4,796	0,000	4,796	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
732	2,609	0,820	2,608	0,823	0,001	-0,002	0,003	0,001	0,002
733	1,052	0,965	1,051	0,967	0,000	-0,002	0,002	0,000	0,002
734	4,557	-2,795	4,557	-2,795	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
735	2,714	-1,718	2,715	-1,716	-0,001	-0,002	0,002	0,001	0,002
811	0,712	-2,308	0,714	-2,312	-0,002	0,004	0,004	0,002	0,004
737	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
739	-2,931	-0,039	-2,927	-0,039	-0,003	0,000	0,004	0,003	0,000
740	-0,095	-1,093	-0,094	-1,092	-0,001	-0,001	0,001	0,001	0,001
741	-1,315	-0,917	-1,313	-0,918	-0,002	0,001	0,003	0,002	0,001
742	-3,011	-1,057	-3,007	-1,056	-0,004	0,000	0,004	0,004	0,000
812	-0,087	-3,055	-0,082	-3,059	-0,006	0,004	0,007	0,006	0,004
744	-1,447	-3,087	-1,442	-3,088	-0,005	0,001	0,005	0,005	0,001
1	4,691	0,196	4,690	0,198	0,001	-0,002	0,002	0,001	0,002
2	0,728	0,186	0,722	0,185	0,006	0,000	0,006	0,006	0,000
3	0,895	-2,178	0,888	-2,175	0,007	-0,003	0,007	0,007	0,003
4	4,720	-1,789	4,719	-1,787	0,001	-0,002	0,002	0,001	0,002
5	3,135	3,971	3,127	3,970	0,007	0,000	0,007	0,007	0,000
6	0,583	2,753	0,571	2,755	0,013	-0,002	0,013	0,013	0,002

Azul Puntos utilizados para el escalado de la orofoto.
 Magenta Puntos no utilizados en la generación de la ortofoto.
 Verde Puntos utilizados en la generación de la ortofoto.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Distancia (m)
E max (m)	0,013	0,004	0,013
E min (m)	0,000	0,000	0,000
E medio (m)	0,003	0,001	0,004
desv. Est. (m)	0,005	0,002	0,003

Puntos	Distancia
732	0,003
733	0,002
734	0,000
735	0,002
811	0,004
739	0,004
740	0,001
741	0,003
742	0,004

Puntos	Distancia
812	0,007
744	0,005
1	0,002
2	0,006
3	0,007
4	0,002
5	0,007
6	0,013

TABLA DE ERRORES DE LA ORTOFOTO DEL MURO R PAÑO OESTE OBTENIDA POR IMAGE MASTER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	X ortofoto (m)	Y ortofoto(m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)
752	0,703	1,720	0,704	1,716	-0,001	0,004	0,004	0,001	0,004
753	-0,081	1,669	-0,081	1,668	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002
754	0,716	0,004	0,716	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
755*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
756	1,020	-3,063	1,019	-3,068	0,001	0,005	0,005	0,001	0,005
757	-0,037	-2,987	-0,037	-2,993	0,000	0,006	0,006	0,000	0,006

Azul Puntos utilizados como origen y punto base.
 Verde Puntos utilizados en la generación de la ortofoto.
 Cian Puntos base del escalado.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Distancia (m)
E max	0,001	0,006	0,006
E min	0,000	0,000	0,000
E medio	0,000	0,003	0,003
desv. Est.	0,001	0,002	0,002

Puntos	Distancia
752	0,004
753	0,001
754	0,001
756	0,006
757	0,006

TABLA DE ERRORES DE LA ORTOFOTO DEL MURO R PAÑO OESTE OBTENIDA POR PHOTODELER

NP	X diana (m)	Y diana (m)	X ortofoto (m)	Y ortofoto(m)	Distancia en X (m)	Distancia en Y (m)	Distancia (m)	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)
752	0,712	1,717	0,710	1,716	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000
753	-0,071	1,670	-0,075	1,669	0,004	0,001	0,004	0,004	0,001
754	0,716	0,000	0,716	-0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
755*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
756	1,002	-3,069	1,005	-3,068	-0,003	-0,001	0,003	0,003	0,001
757	-0,053	-2,987	-0,049	-2,988	-0,004	0,001	0,004	0,004	0,001

Azul Puntos utilizados como origen y punto base.
 Verde Puntos utilizados en la generación de la ortofoto.
 Cian Puntos base del escalado.

* Punto origen

	Dist. abs X (m)	Dist. abs Y (m)	Distancia (m)
E max	0,004	0,001	0,004
E min	0,000	0,000	0,000
E medio	0,000	0,000	0,000
desv. Est.	0,003	0,001	0,002

Puntos	Distancia
752	0,003
753	0,004
754	0,001
756	0,003
757	0,004

ANEXO 7: VALORACIÓN ECONÓMICA

ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO

La estimación del rendimiento se realiza para los trabajos de documentación de un paramento vertical, de forma análoga a la realizada en el presente proyecto. La generación de los modelos se realiza con el software Topcon Image Master, ya que se ha designado como más eficiente en el análisis comparativo.

En la siguiente tabla, se indica el tiempo estimado para la elaboración de cada una de las tareas necesarias para la documentación de un único paño de un paramento, por un equipo de trabajo compuesto por dos ingenieros topógrafos.

TAREA	DURACIÓN
Planificación	1,5 horas
Ascenso al yacimiento	25 minutos
Establecimiento de la red de coordenadas	2 horas
Toma de fotografías	20 minutos
Medición del apoyo	30 minutos
Descenso desde el monasterio	25 minutos
Volcado de los datos	30 minutos
Identificación de los puntos	20 minutos
Orientación	5 minutos
Dibujado líneas de rotura	1 hora
Generación del modelo	1,5 horas
Limpieza del modelo	1 hora
Generación y exportación de la ortofoto	20 minutos
Generación de las secciones	30 minutos
Generación de los planos	40 minutos

De la tabla anterior se deriva que el tiempo necesario estimado es de 11 horas y 5 minutos, de las cuales 5 horas y 10 minutos son de trabajo en campo y 5 horas y 55 minutos de trabajo en gabinete; pero hay que tener en cuenta que este valor es para el primero de los paños.

Para los paños sucesivos, el tiempo de planificación no se trata de una progresión lineal, sino que para cada paño de más se dedicará aproximadamente 20 minutos extra en el trabajo de planificación, y es obvio que el establecimiento de la red se realiza solamente una vez; así como el descenso y el descenso al Monasterio.

Por lo tanto, a partir del segundo paño el tiempo estimado será de 7 horas y 5 minutos, de las cuales 1 hora y 10 minutos son de trabajo de campo y 5 horas y 55 minutos de trabajo en gabinete.

DURACIÓN DE LOS TRABAJOS A REALIZAR

El trabajo realizado en el proyecto consta de la documentación de 2 muros compuestos en total únicamente por tres paños; por lo tanto el tiempo total estimado necesario es de 25

horas y 15 minutos; consistentes en 7 horas y 30 minutos de trabajo en campo y 17 horas y 45 minutos de trabajo en oficina.

El desplazamiento hasta el yacimiento constará de dos trayectos (ida y vuelta), de 1 hora y 30 minutos cada uno. Estas horas quedan fuera del horario laboral de 8 horas estipulado, por lo que se tendrán en cuenta como horas extra computándose en el cálculo de las horas trabajadas aplicando la correspondiente bonificación, según lo indicado por el convenio aplicado.

Finalmente, el cómputo global de días trabajados en las labores de documentación descritas, ascenderá a un total de 3,16 días trabajados.

CÁLCULO DE HORAS TRABAJADAS (CONVENIO DE INGENIERÍAS)

- Según el artículo siguiente del Convenio, la jornada laboral ascenderá a 1806 horas anuales.

Artículo 23. *Jornada laboral.*

1. Durante el año 2007, la jornada ordinaria máxima de trabajo efectivo, en cómputo anual, será de mil ochocientos diez (1.810) horas.

A partir del 1.º de enero de 2008 dicha jornada máxima anual será de mil ochocientos seis (1.806) horas.

La distribución semanal de la jornada ordinaria anual podrá pactarse con los representantes de los trabajadores en la empresa, teniendo en cuenta que, en ningún caso, se podrán realizar más de nueve horas ordinarias diarias de trabajo efectivo. De acuerdo con lo establecido en el artículo 37.2 del Texto Refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores, ninguna fiesta laboral será recuperable.

BOE nº 130, Pág. 25049 del Jueves 29 de Mayo de 2008; Artículo 23

Se ha fijado que el trabajador disfruta de 16 horas en permisos, y que trabaja a lo largo del año 24 horas extra.

- Según el Convenio, las horas extra se compensarán por tiempos de descanso equivalente más el 75 %.

4. Salvo pacto individual en contrario, las horas extraordinarias se compensarán por tiempos equivalentes de descanso incrementados, al menos, en el setenta y cinco por ciento. Previo acuerdo entre empresa y trabajador, la compensación con tiempo de descanso se hará acumulando horas hasta completar, al menos, el tiempo equivalente a una jornada, que se disfrutará dentro del mismo año natural en que se hayan realizado las horas extraordinarias o, como máximo, en la primera semana del mes de enero siguiente.

BOE nº 130, Pág. 25052 del Jueves 29 de Mayo de 2008; Artículo 36

A continuación se calcula el total del número de horas trabajadas teniendo en cuenta las horas de permisos, las horas extra y su compensación y bonificación:

1806	(Horas según convenio)
- 16	(Permisos)
1758	
+ 24	(Horas extra)
- 24	(Compensación horas extra)
- 18	(Bonificación horas extra) (75%)
1772 horas	

Mano de obra y empleados**Nivel 2 (Topógrafo)****PARTIDAS COTIZABLES**

Salario	17.038,62 €
Antigüedad	0,00 €
Plus convenio	2.048,90 €
Total cotizables	19.087,52 €

PARTIDAS NO COTIZABLES

1/2 dietas	0
Dieta completa	0
Seguro	300
Total no cotizables	300

COTIZACIÓN**Contingencias generales**

Base	19.087,52 €
Tipo	0,236
Cuota	4.504,65 € [B * T]

Accidente y enfermedad

Base	19.087,52 €
Tipo ¹	0,07
Cuota	1.336,13 € [B * T]

FOGASA + Desempleo

Base	19.087,52 €
Tipo	0,063
Cuota	1.202,51 € [B * T]
Total cotización	7.043,29 € [C. G. + A. y E. + FOG]

TOTAL	26.430,81 € [cotizables + no cotizables + cotización]
€/ HORA	14,92 € (1772 horas)
€/ DÍA	119,33 € (8 horas diarias)

1 Tipo de cotización estimado por accidente o enfermedad para un topógrafo que trabaja habitualmente en campo y por lo tanto está más expuesto a posibles accidentes.

Precios según el Convenio de la Ingeniería 2008 y Revisión Salarial 2009.

Sin antigüedad.

Instrumentos de Campo

	Precio	Cantidad	
ET TPS1205	12.000,00 €	1	12.000,00 €
Trípode	385,00 €	1	385,00 €
Prisma	221,00 €	1	221,00 €
Jalón	188,00 €	1	188,00 €
Batería repuesto	214,00 €	1	214,00 €
TOTAL			13.008,00 €

Estación Leica TPS1205. Incluye tarjeta de memoria, batería y estuche.

	Precio	Cantidad	
MARK II	1.999,00 €	1	1.999,00 €
Tarjeta memoria	115,00 €	2	230,00 €
Batería repuesto	90,00 €	1	90,00 €
Bolsa	30,00 €	1	30,00 €
Canon 35 mm	100,00 €	1	100,00 €
Zeiss 21 mm	700,00 €	1	700,00 €
TOTAL			2.349,00 €

Cámara Canon EOS 5D Mark II.

	Precio	Cantidad	
HIPER PRO GPS	23.395,53 €	1	23.395,53 €
Trípode	385,00 €	2	770,00 €
TOTAL			24.165,53 €

Topcon Hiper Pro GPS Base + Móvil

Amortización instrumentos de Campo

	ET TPS1205	MARK II	GPS HIPER PRO	
P. Compra	13.008,00 €	2.349,00 €	24.165,53 €	
P. Venta	1.000,00 €	300,00 €	2.500,00 €	
Años	6,67	6,67	6,67	
Amortización	1.800,30 €	307,20 €	3.248,21 €	[(P.C. -P.V.) / A]
Seguro (10%)	180,03 €	30,72 €	324,82 €	[A * 0,10]
Rev. + Cert.	95,00 €	95,00 €	95,00 €	
Reparaciones	150,00 €	80,00 €	100,00 €	+ Rep.]
€ / AÑO	2.225,33 €	512,92 €	3.768,03 €	[P.C. + P.V + Am + S +Rev. +Por.
€ / DÍA	10,05 €	2,32 €	17,01 €	[(€/AÑO) / 221,5]
		Total	29,37 €	

El precio de la estación incluye todo el material necesario para su uso (tripode, jalón, prisma,...).

Portes incluidos en el precio.

221,5 Días de trabajo al año

Coef. Max. (%)	Coef. Min. (%)	Periodo min.	Periodo max.
15	7,14	6,67	14
	[100 / P. max.]	[100 / P. min.]	

Amortización material variado

	Precio	Cantidad	Años	Amortización
Flexómetro	11,00 €	2	2	11,00 €
Chaleco reflect.	15,00 €	3	2	22,50 €
Clavo	0,70 €	80	1	56,00 €
Estaca	0,27 €	30	1	8,10 €
Diana	0,70 €	1	1	0,70 €
Maceta	33,00 €	5	1	165,00 €
Pegadianas	100,00 €	5	2	250,00 €
Silicona	3,00 €	1	1	3,00 €
Teléfono movil ¹	35,00 €	11	1	385,00 €
Portatil	650,00 €	1	4	162,50 €
Internet movil ¹	30,00 €	11	1	330,00 €
€ / AÑO			1.393,80 €	
€ / DÍA			6,29 €	

1 Cuota mensual

221,5 Días de trabajo al año

Oficina

	Ordenadores	Software ¹	Imp. Multifunc.	Ploter ²	Mobiliario ³
P. Compra	1.100,00 €	17.721,00 €	120,00 €	2.009,37 €	1.600,00 €
P. Venta	0,00 €	0,00 €	0,00 €	300,00 €	0,00 €
Años	4,00	3,03	6,67	6,67	10
Amortización	275,00 €	5.847,93 €	18,00 €	256,41 €	160,00 €
TOTAL / AÑO					6.557,34 €

[O + S + Imp + Plo + Mob]

1 Windows XP + Oficce 2007 + Autocad 2011 + Mdt + Image Master + Photomodeler + Rapidform

2 Ploter HP Desingjet T610 24"/ 610 mm

3 2 Escritorios, 1 Mesa de reuniones, 5 Sillas, 2 Estanterías, Papelera,...

Software	
Windows 7	117,00 €
Oficce 2007	329,00 €
Autocad 2011	4.775,00 €
Image Master	1.500,00 €
Photomodeler Sc	2.000,00 €
Rapidform	9.000,00 €
TOTAL	17.721,00 €

Ordenadores	Coef. Max. (%)	Coef. Min . (%)	Periodo min.	Periodo max.
	25	12,50	4,00	8
		[100 / P. max.]	[100 / P. min.]	
Ploter y Multifun.	Coef. Max. (%)	Coef. Min . (%)	Periodo min.	Periodo max.
	15	7,14	6,67	14
		[100 / P. max.]	[100 / P. min.]	
Software	Coef. Max. (%)	Coef. Min . (%)	Periodo min.	Periodo max.
	33	16,67	3,03	6
		[100 / P. max.]	[100 / P. min.]	

Amortización vehículo

FURGONETA	
P. Compra	12.469,55 €
P. Venta	1.000,00 €
Años	6,25
Amortización	1.835,13 €
Seguro	2.000,00 €
ITV	35,51 €
Impuesto Cir.	95,00 €
Coste Fijo	3.965,64 € [A + S + ITV + IC]
Combustible	3.241,88 €
Revisiones	335,00 €
Neumáticos	436,00 €
Reparaciones	280,00 €
Coste Variable	4.292,88 € [C + R + N + Rep]
€ / AÑO	8.258,51 €
€ / DÍA	36,58 €
€ / KM	0,24 € [(€/AÑO) / 45000 km]
CF / DÍA	17,90 € [CF / 221,5]
CV / DÍA	19,38 € [CV / 221,5]
CF / DÍA + € / KM	32,54 € [CF / DÍA + (((35000/221,5)/100)*7,5)*1,235]

Consumo	7,5 l/100km
Combustible	1,235 €/l
Uso	35000 km/año
€ / año	3.241,88 €

Fiat Fiorino Cargo SX N1 1,3 Mjt 95CV Diesel.

Seguro a todo riesgo sin franquicia.

221,5 días de trabajo al año.

Coef. Max. (%)	Coef. Min . (%)	Periodo min.	Periodo max.
16	7,14	6,25	14
		[100 / P. max.]	[100 / P. min.]

Dietas, Horas extra y Desplazamientos

	Dieta	Días	Trabajadores	TOTAL
Dietas	10,00 €	1	2	20,00 € [Dieta * Días * Trabajadores]

	€/ Km	Km	Coches	TOTAL
Coche	0,24 €	180	1	42,47 € [€/Km * Km * Coches]

Media dieta	10,00 €
-------------	---------

Documentación paramentos verticales a 90 Km de Vitoria

	Unidad	€/ día	Días	TOTAL
Topógrafos campo	2	119,33 €	1	238,65 €
Topografo oficina	1	119,33 €	2,2	262,52 €
Instrumentos	1	29,37 €	1	29,37 €
Material Variado	1	6,29 €	1	6,29 €
Dietas				20,00 €
Coches				42,47 €
Costes Directos				599,31 €
Oficina		29,05 €	2,2	63,90 €
Gastos Generales				63,90 €
CD + GG				663,21 €
Benef. Industrial				99,48 €
Imprevistos				66,32 €
TOTAL SIN IVA				829,02 €
IVA				149,22 €
TOTAL				978,24 €

Imprevistos el 10%

Beneficio Industrial = 15%

IVA = 18%

ANEXO 8: PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1: Ortofotos muro "R" por Image Master Escala: 1/50
- Plano 2: Ortofotos muro "R" por Photomodeler Escala: 1/50
- Plano 3: Ortofoto Arco por Image Master Escala: 1/50
- Plano 4: Ortofoto Arco por Photomodeler Escala: 1/50
- Plano 5: Secciones verticales del Arco Escala: 1/50
- Plano 6: Secciones horizontales del Arco Escala: 1/50
- Plano 7: Secciones verticales muro "R" nº 1 y 2 Escala: 1/50
- Plano 8: Secciones verticales muro "R" nº 3 y 4 Escala: 1/50
- Plano 9: Sección vertical muro "R" nº 5 Escala: 1/50
- Plano 10: Secciones horizontales muro "R" nº 6 y 7 Escala: 1/50
- Plano 11: Secciones horizontales muro "R" nº 8 y 9 Escala: 1/50
- Plano 12: Modelo muro "R" por Image Master Escala: S. E.
- Plano 13: Modelo muro "R" por Photomodeler Escala: S. E.
- Plano 14: Modelo Arco por Image Master Escala: S. E.
- Plano 15: Modelo Arco por Photomodeler Escala: S. E.

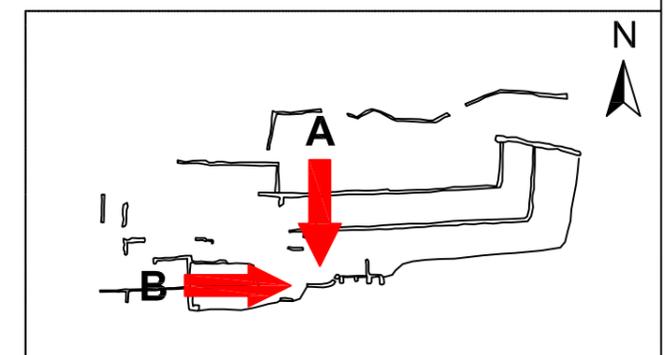
S. E. -> Sin Escala



A: Paño norte

B: Paño oeste

ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: ORTOFOTOS MURO "R" POR IMAGE MASTER

Nº de plano: 1

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

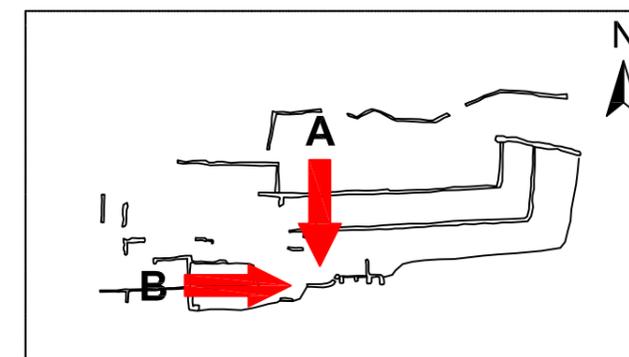
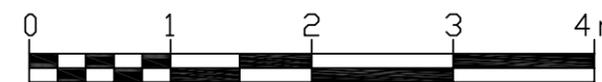
Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



A: Paño norte

B: Paño oeste

ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
 Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: ORTOFOTOS MURO "R" POR PHOTOMODELER

Nº de plano: 2

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

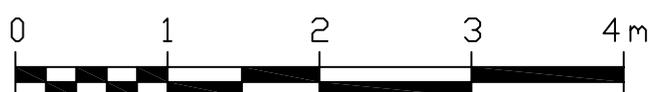
Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

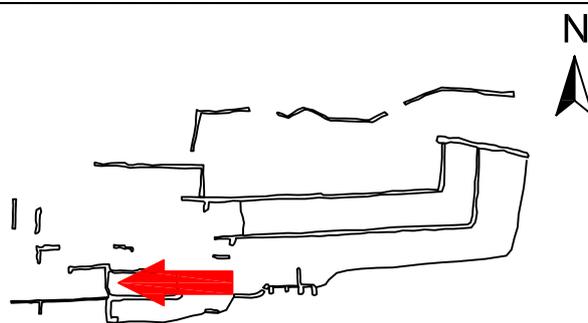
Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN
GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio
Construido, UPV-EHU



Documento: ORTOFOTO ARCO POR IMAGE MASTER

Escala: 1/50

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

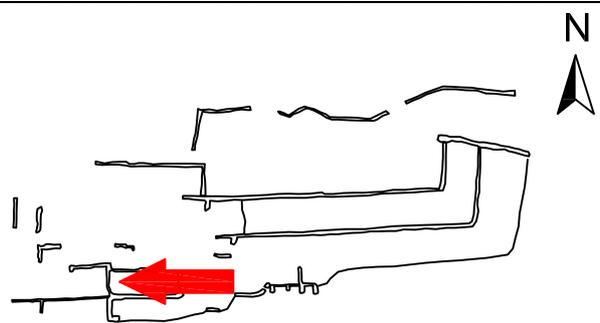
Fecha: Julio 2011

Nº de plano: 3

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN
GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio
Construido. UPV-EHU



Documento: ORTOFOTO ARCO POR PHOTOMODELER

Escala: 1/50

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

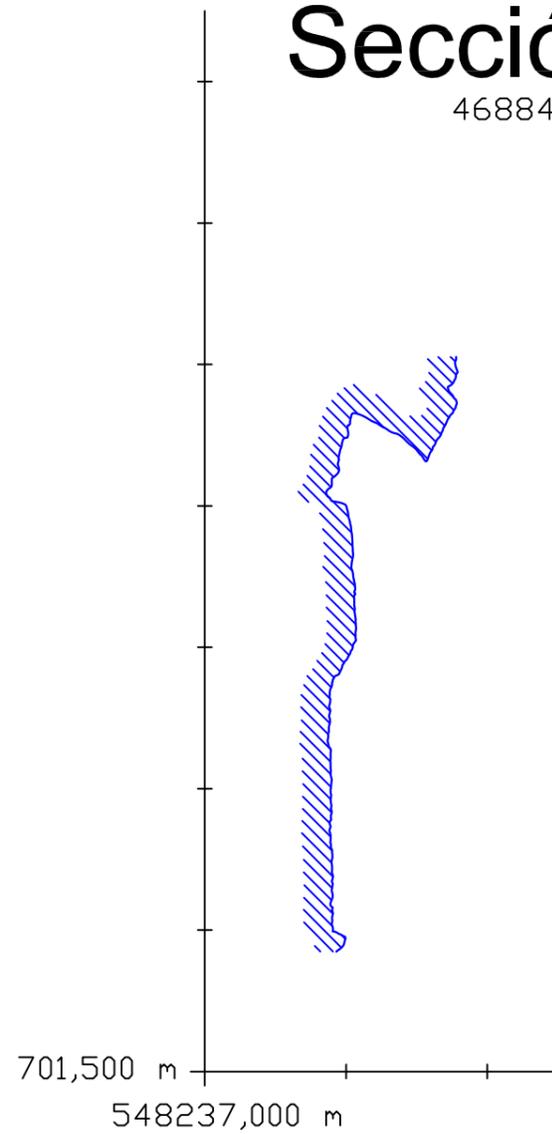
Fecha: Julio 2011

Nº de plano: 4

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

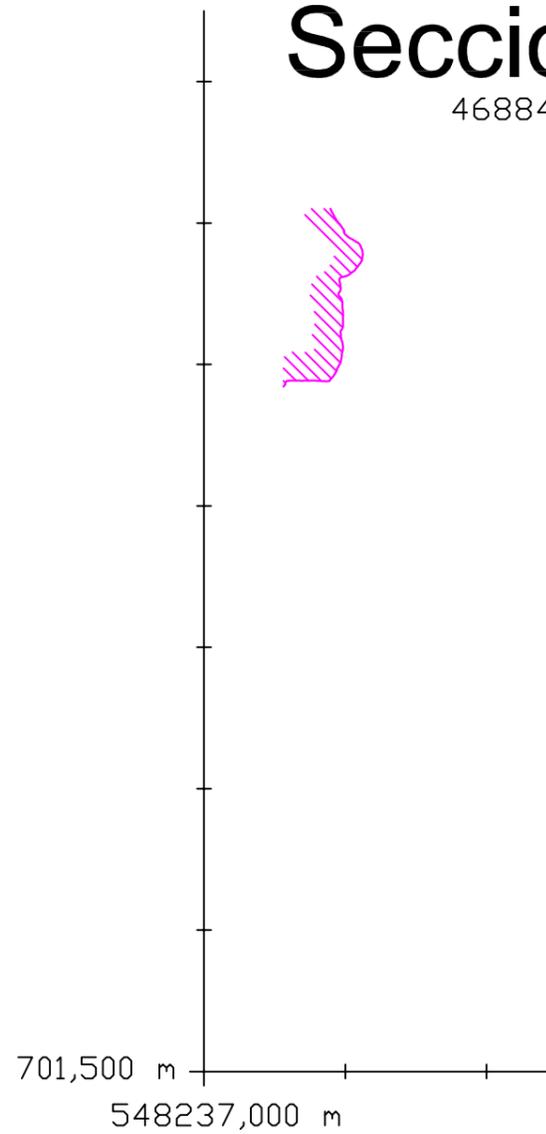
Sección 1

4688478.200 m



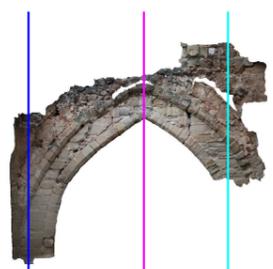
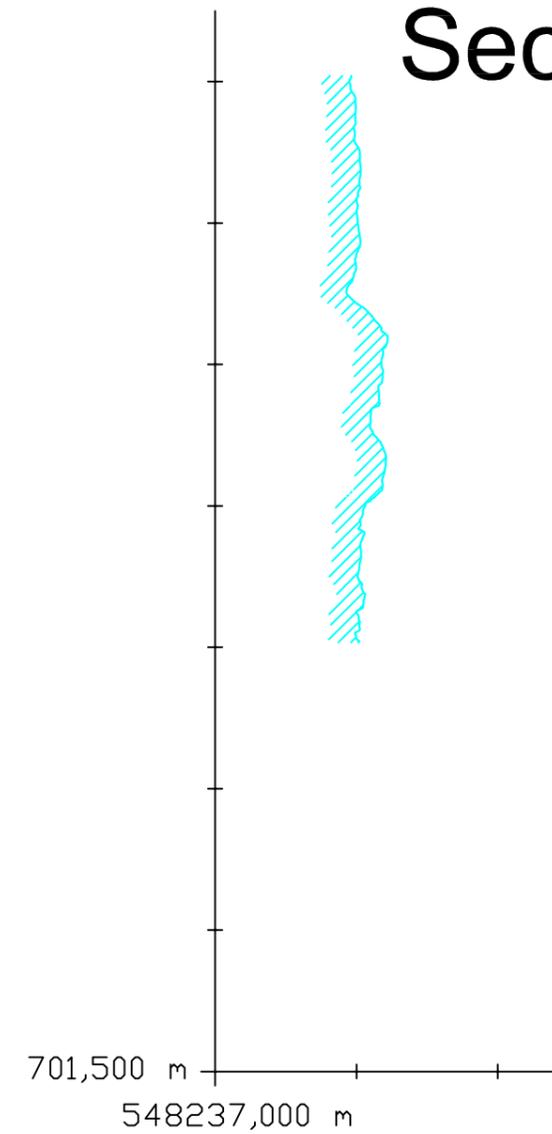
Sección 2

4688481.250 m



Sección 3

4688483.700 m



Secc. 1 Secc. 2 Secc. 3

ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIONES VERTICALES DEL ARCO

Nº de plano: 5

Escala: 1/50

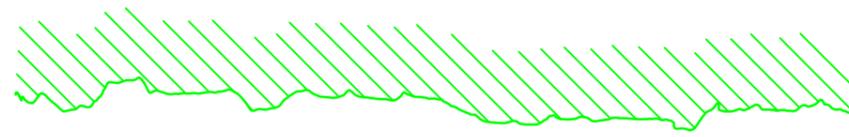
Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

Fecha: Julio 2011

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

Sección 4

706.900 m

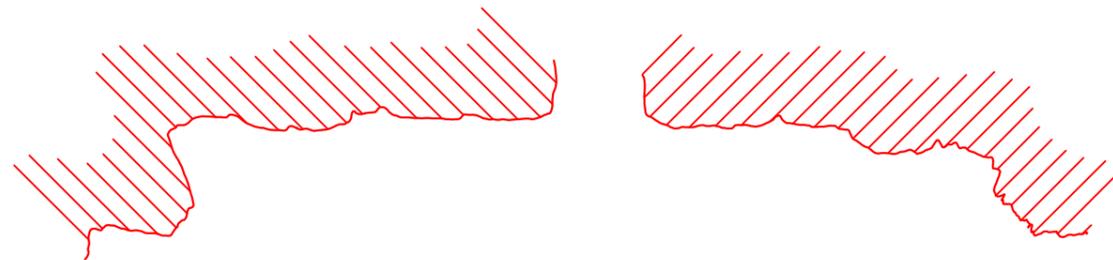


4688476,500 m

548240,000 m

Sección 5

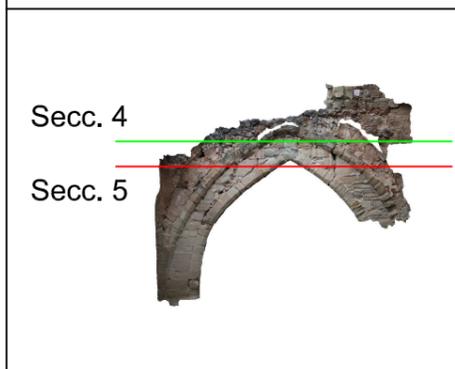
706.200 m



4688476,500 m

548240,000 m

ESCALA 1:50



Secc. 4

Secc. 5

LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIONES HORIZONTALES DEL ARCO

Nº de plano: 6

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

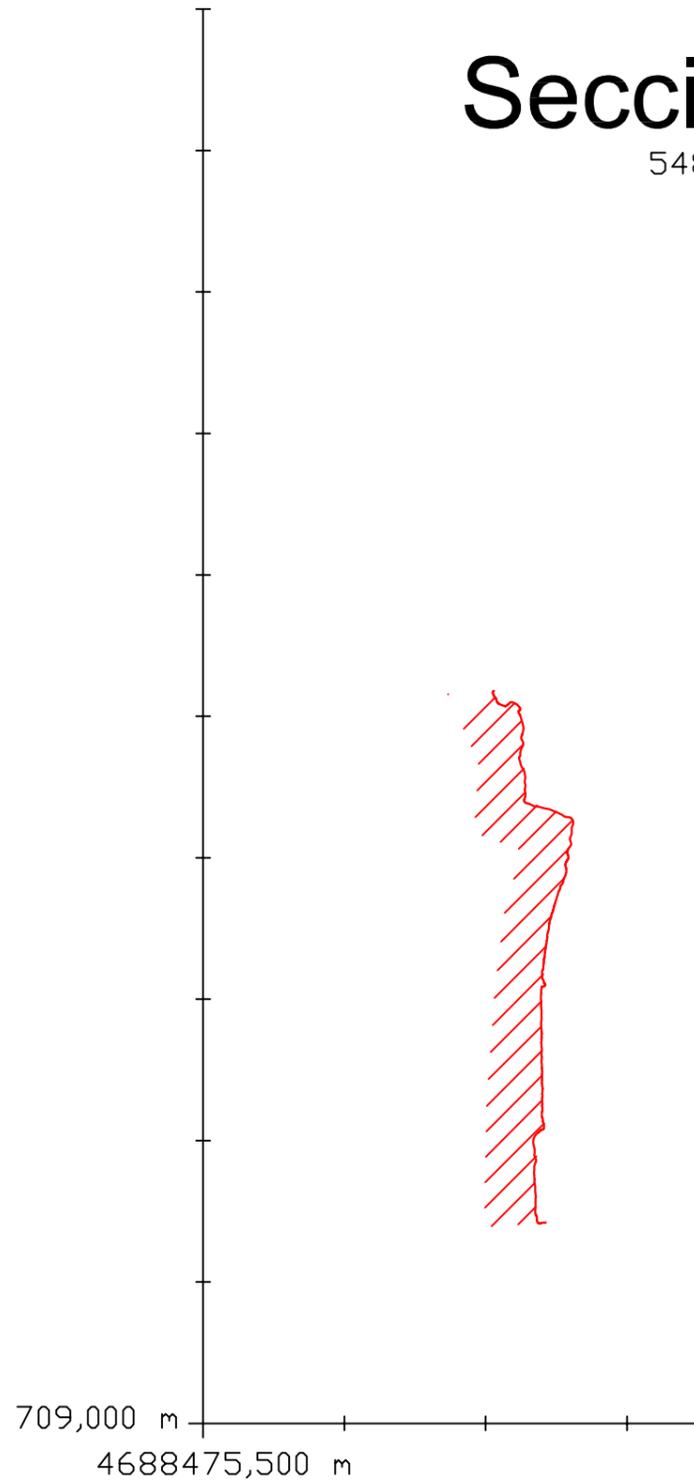
Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

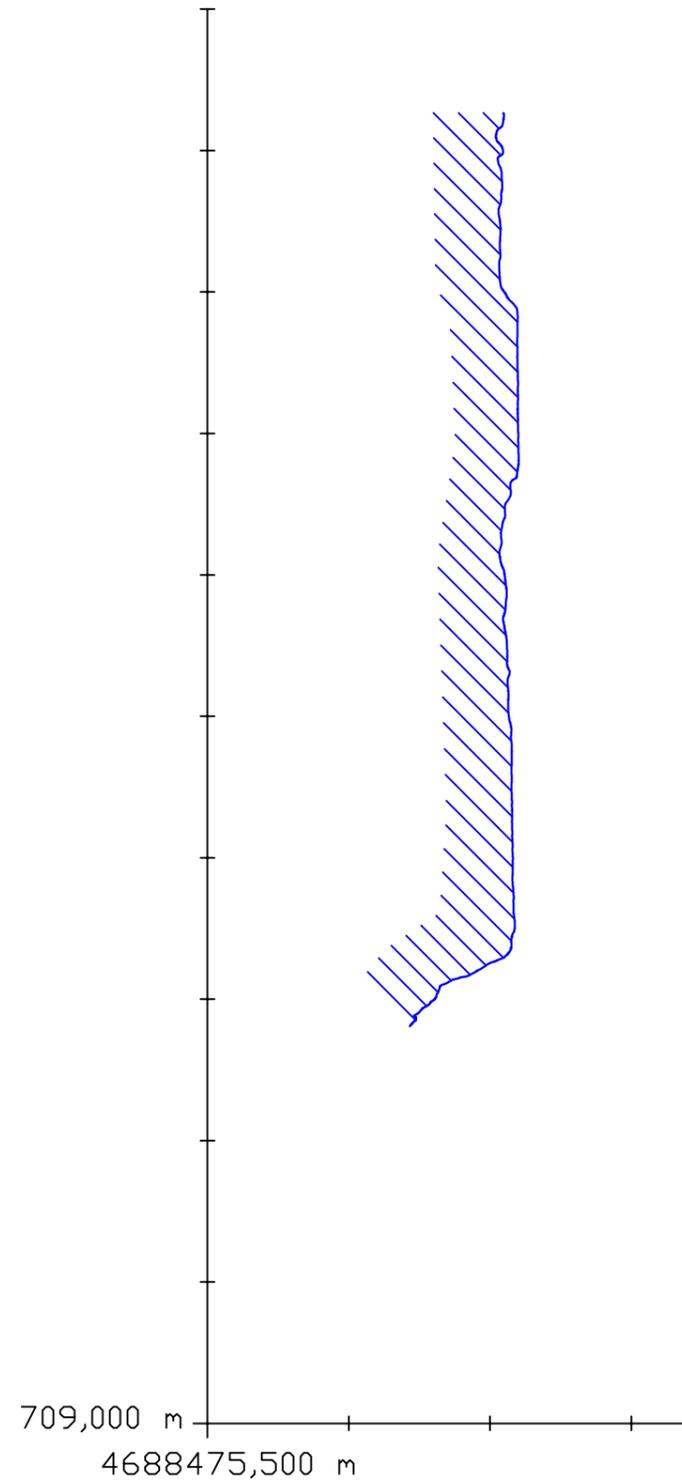
Sección 1

548284.500 m

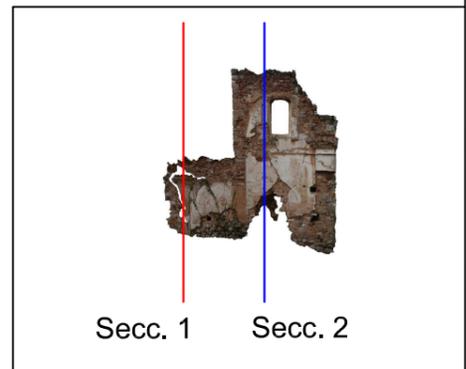


Sección 2

548280.800 m



ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIONES VERTICALES MURO "R" nº 1 Y 2

Nº de plano: 7

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

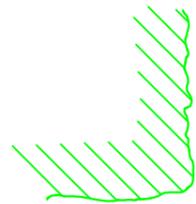
Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

Sección 3

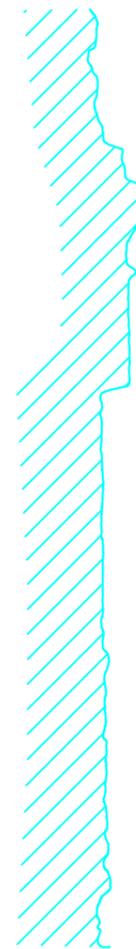
548280.100 m



709,000 m
4688475,500 m

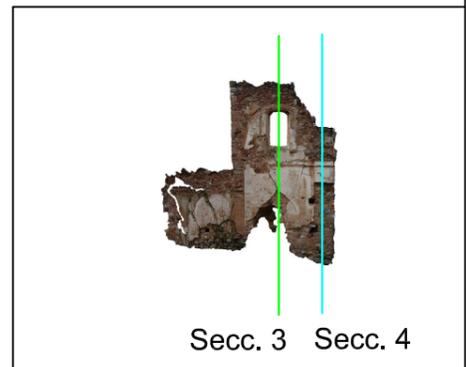
Sección 4

548278.000 m



709,000 m
4688475,500 m

ESCALA 1:50



Secc. 3 Secc. 4

LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIONES VERTICALES MURO "R" nº 3 Y 4

Nº de plano: 8

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

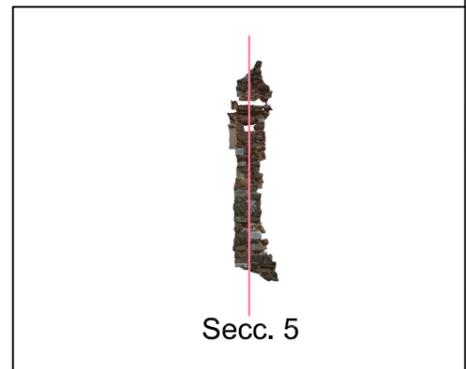
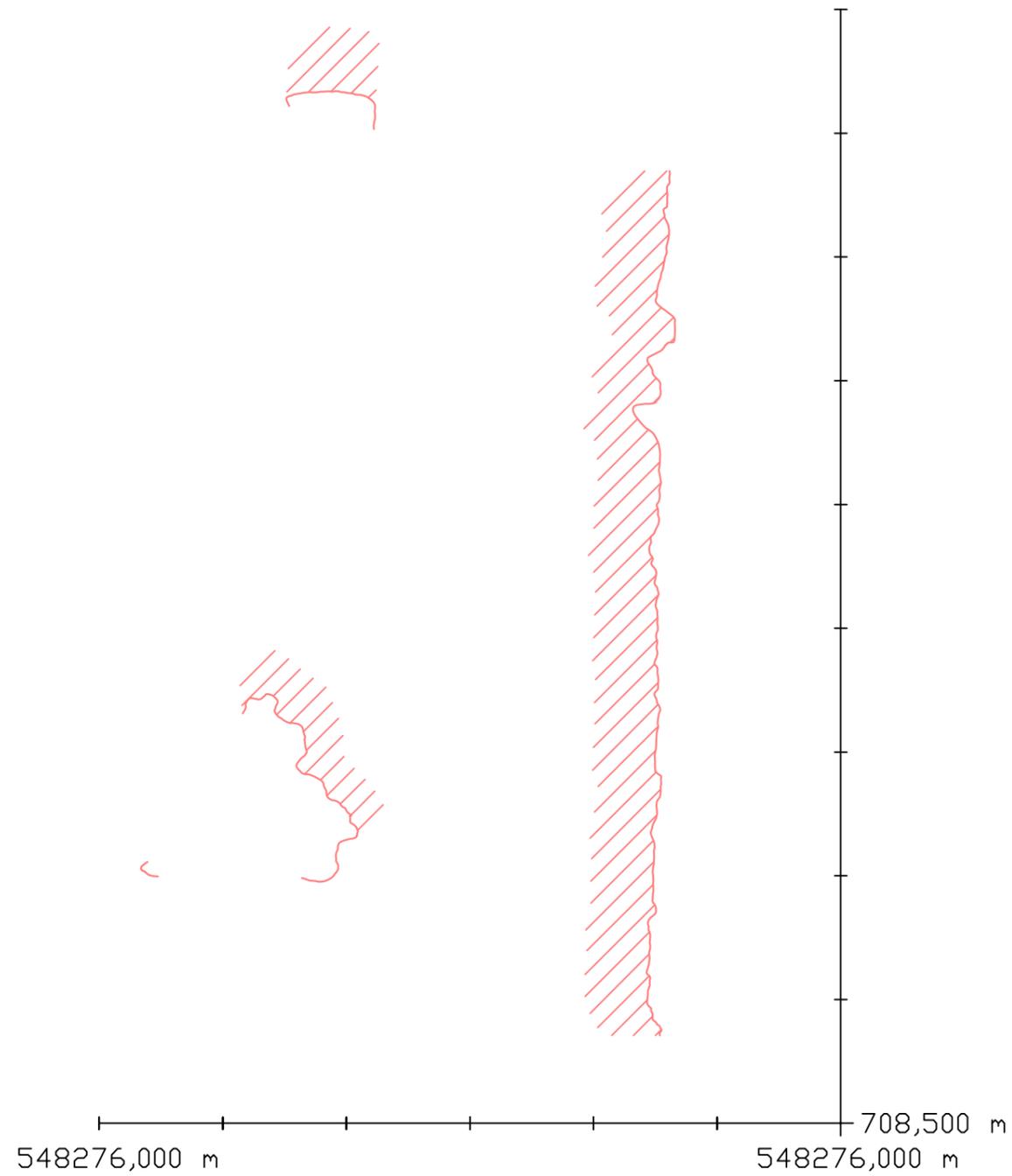
Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

Sección 5

4688477.000 m



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIÓN VERTICAL MURO "R" nº 5

Nº de plano: 9

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

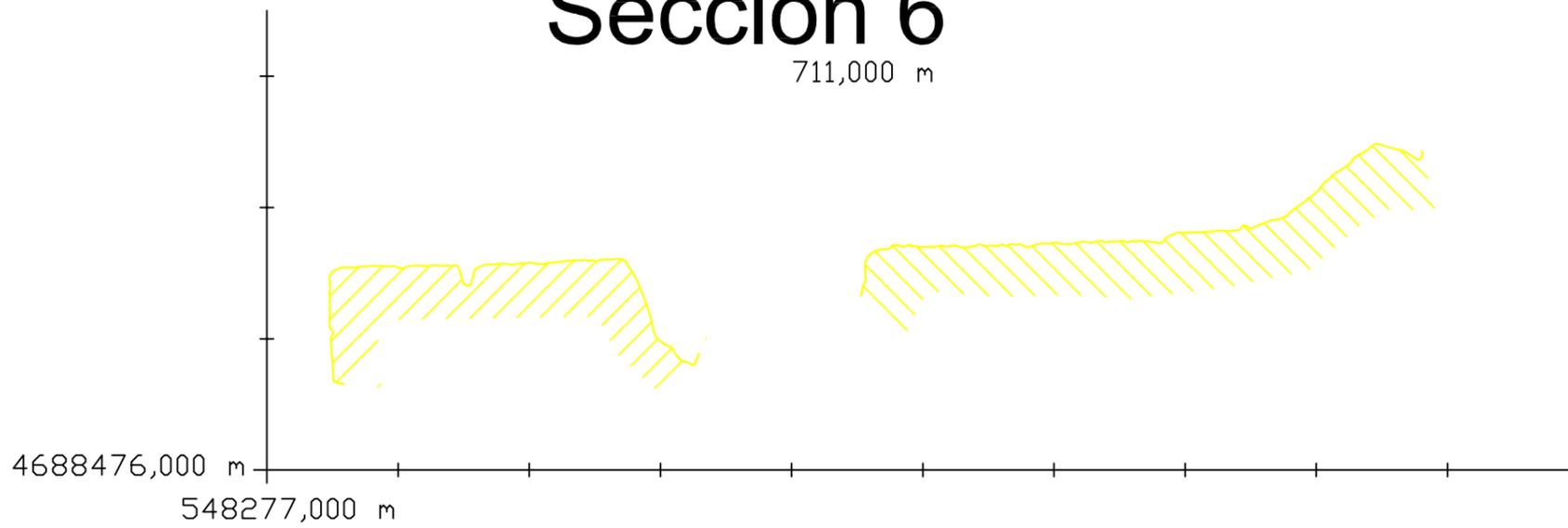
Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

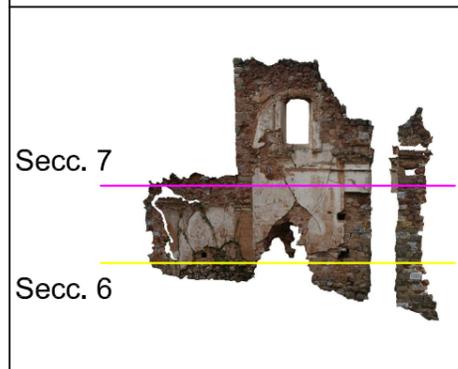
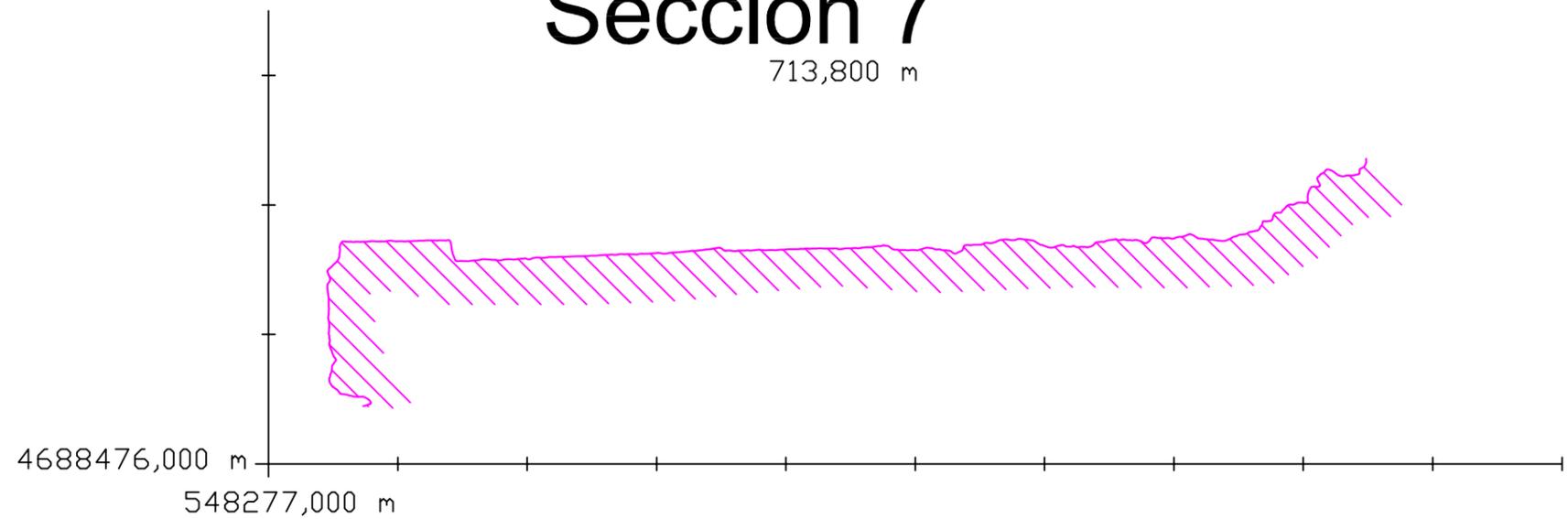
Sección 6

711,000 m

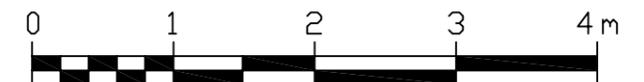


Sección 7

713,800 m



ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIONES HORIZONTALES MURO "R" Nº 6 Y 7

Nº de plano: 10

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

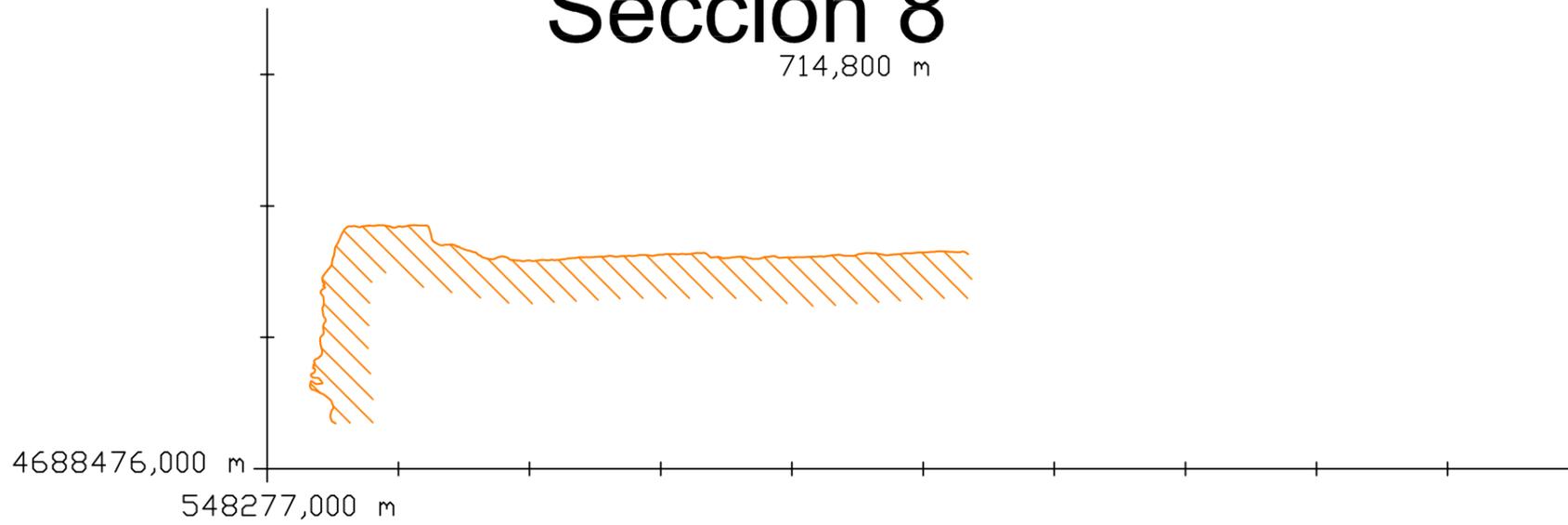
Fecha: Julio 2011

Escala: 1/50

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

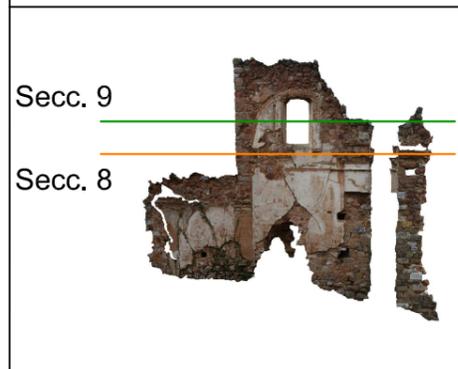
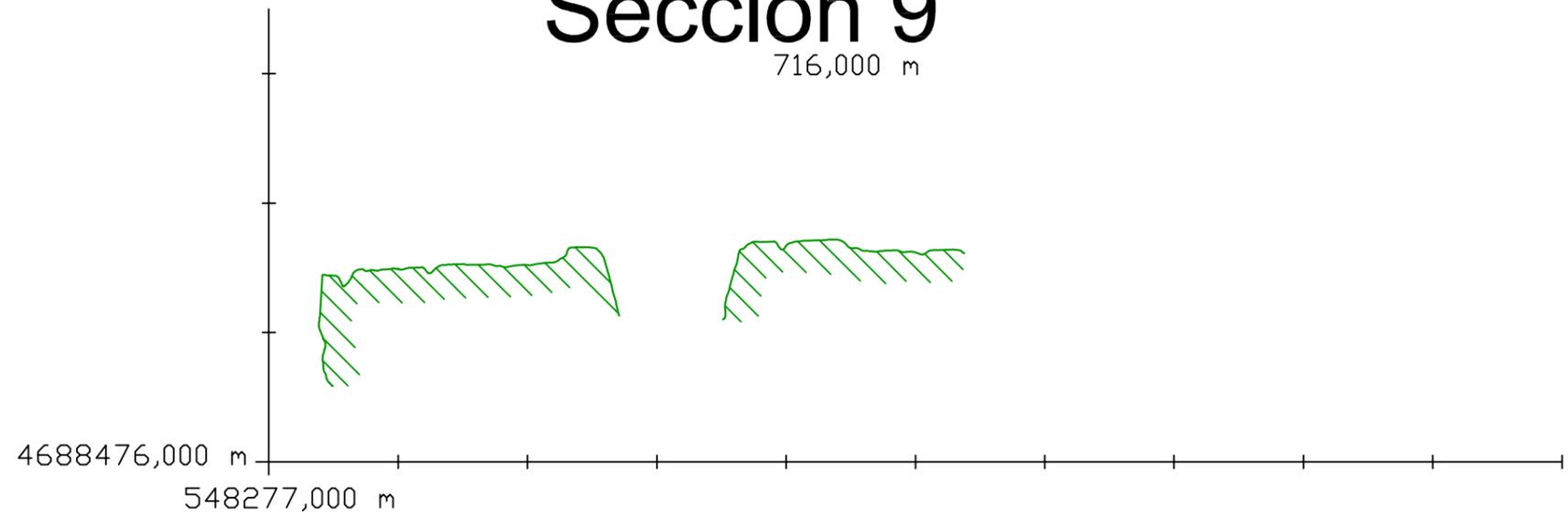
Sección 8

714,800 m



Sección 9

716,000 m



ESCALA 1:50



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU



Documento: SECCIONES HORIZONTALES MURO "R" Nº 8 Y 9

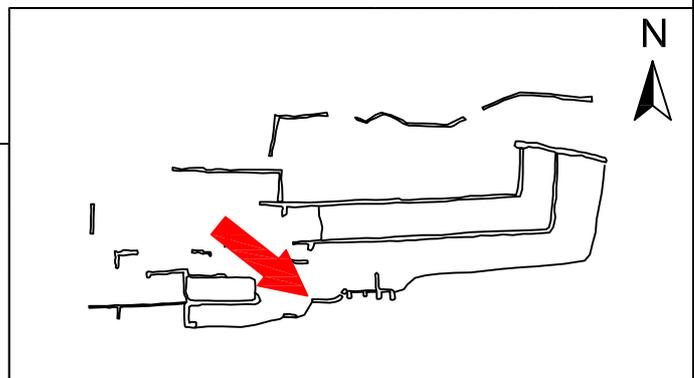
Nº de plano: 11

Escala: 1/50

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

Fecha: Julio 2011

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN
 GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
 Grupo de Investigación en Patrimonio
 Construido. UPV-EHU



Documento: MODELO MURO "R" POR IMAGE MASTER

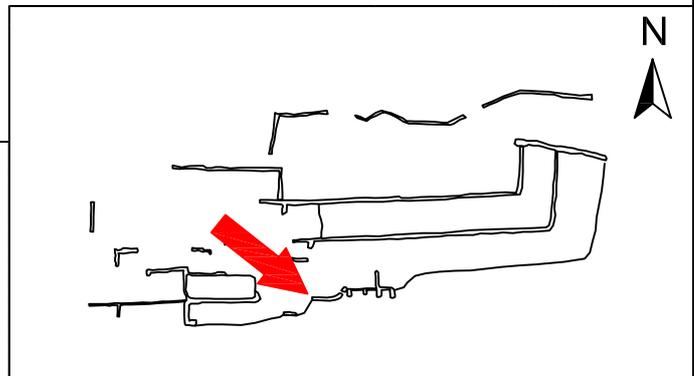
Escala: -

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

Fecha: Julio 2011

Nº de plano: 12

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN
GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio
Construido. UPV-EHU



Documento: MODELO MURO "R" POR PHOTOMODELER

Escala: -

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

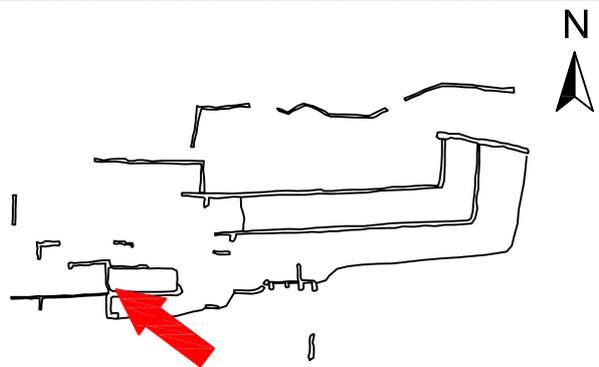
Fecha: Julio 2011

Nº de plano: 13

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN
GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio
Construido. UPV-EHU



Documento: MODELO ARCO POR IMAGE MASTER

Escala: -

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

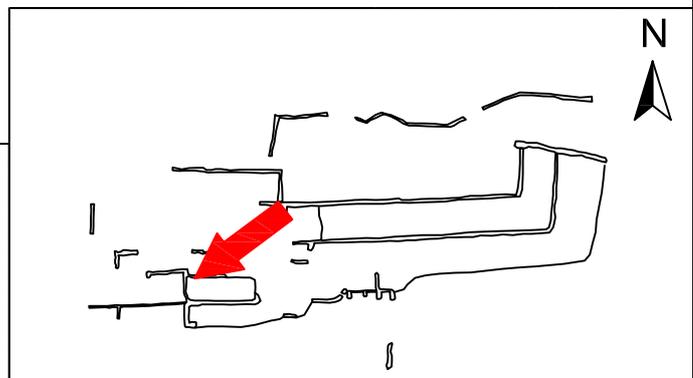
Fecha: Julio 2011

Nº de plano: 14

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN
GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio
Construido. UPV-EHU



Documento: MODELO ARCO POR PHOTODELER

Escala: -

Autor: Pablo Ibáñez de Elejalde Landa

Fecha: Julio 2011

Nº de plano: 15

Proyecto: Documentación y representación de paramentos verticales en riesgo de colapso. Aplicación en el Monasterio de San Prudencio (Clavijo, La Rioja).

ANEXO 9: CONTENIDO DEL CD ADJUNTO

CONTENIDO DEL DVD ADJUNTO

Con la presente memoria se proporciona un DVD adjunto con los datos utilizados para la obtención de los productos, y los productos en sí mismos.

En el DVD se adjunta la siguiente información:

- Las fotografías utilizadas para la generación de los modelos 3D, en formato JPEG, separadas por modelos y programa en las que se han utilizado.
- Las calibraciones de la cámara con los dos objetivos utilizados, tanto para Image Master como para Photomodeler.
- Las series de fotografías que no han sido utilizadas, pero que se ha considerado que pueden resultar más útiles, de toda la galería de imágenes tomadas en campo.
- La memoria y los anexos en formato PDF.
- Las imágenes de la carátula del DVD y del lomo del fichero tanto en formato PSD, de Adobe Photoshop, como JPEG.
- Los modelos 3D, en formato VRML y DXF, de los muros de los cuales se han podido obtener.
- Las ortofotografías en formato JPEG de todos los muros separadas por muros, por paños y por programas utilizados para obtenerlas.
- Los planos, tanto en formato PDF como DWG 2000/LT2000 (para evitar las incompatibilidades), de todas las ortofotos, los modelos y las secciones obtenidas a partir de los mismos.

Por último a continuación se presenta el esquema de la distribución de los ficheros en el DVD, sirviendo este de índice para poder conocer rápidamente la ubicación de cada uno de los ficheros:

- Documentación paramentos en riesgo
 - o Fotografías
 - Imágenes utilizadas
 - Arco Image Master (jpg)
 - Arco Photomodeler (jpg)
 - Calibraciones (jpg)
 - o fmet05 (jpg)
 - o fmet06 (jpg)
 - o fmet15 (jpg)

- fmet16(jpg)
 - Muro R Image Master (jpg)
 - Muro R Photomodeler (jpg)
 - Series
 - Arco serie 1 (jpg)
 - Arco serie 2 (jpg)
 - Muro R Convergentes (jpg)
 - Muro R Estereoscópicas (jpg)
- Memoria
 - Memoria (pdf)
 - Anexos (pdf)
 - Carátula DVD (psd y jpg)
 - Lomo memoria (psd y jpg)
- Productos
 - Modelos 3D
 - VRML Arco IM (wrl)
 - VRML Arco PM (wrl)
 - VRML Muro R IM (wrl)
 - Arco IM (dxf)
 - Arco PM (dxf)
 - Ortofotografías
 - Ortofoto arco por Image Master (jpg)
 - Ortofoto arco por Photomodeler (jpg)
 - Ortofoto muro R paño norte por Image Master (jpg)
 - Ortofoto muro R paño norte por Photomodeler (jpg)
 - Ortofoto muro R paño oeste por Image Master (jpg)
 - Ortofoto muro R paño oeste por Photomodeler (jpg)
 - Planos
 - 1 Plano muro p norte + oeste IM (jpg y dwg)
 - 2 Plano muro p norte + oeste PM (jpg y dwg)
 - 3 Plano arco IM (jpg y dwg)
 - 4 Plano arco PM (jpg y dwg)
 - 5 Plano secciones verticales arco (jpg y dwg)
 - 6 Plano secciones horizontales arco (jpg y dwg)
 - 7 Plano secciones verticales muro R nº 1 – 4 (dwg)
 - 7 Plano secciones verticales muro R nº 1 y 2 (pdf)
 - 8 Plano secciones verticales muro R nº 3 y 4 (pdf)
 - 9 Plano sección vertical muro R nº 5 (jpg y dwg)
 - 10 Plano secciones horizontales muro R nº 6 y 7 (pdf)
 - 10 Plano secciones horizontales muro R (dwg)
 - 11 Plano secciones horizontales muro R nº 8 y 9 (pdf)
 - 12 Plano modelo muro R IM (jpg y dwg)
 - 13 Plano modelo muro R PM (jpg y dwg)
 - 14 Plano modelo arco IM (jpg y dwg)
 - 15 Plano modelo arco PM (jpg y dwg)



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: jm.valle@ehu.es web: <http://www.ldgp.es>
