



# 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

7

Información general / General information		
AUTOR:	Diego VOZMEDIANO MONTOYA	:AUTHOR
TUTOR:	José Manuel VALLE MELÓN	:TUTOR
TITULACION:	Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (UPV-EHU)	:DEGREE
TITULO:	Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales del entidades patrimoniales	:TITLE
FECHA:	abril 2006 / April 2006	:DATE
NUMERO:	LDGP_pfc_007	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

<b>Resumen</b>	
TITULO:	Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales del entidades patrimoniales
RESUMEN:	Se analizan las posibilidades en lo relativo a correlación automática de los sistemas de restitución digital Softplotter® y Digi3D®, y su aplicación en la obtención de distintos productos cartográficos, teniendo en cuenta las características especiales de los elementos patrimoniales, dado que generalmente son herramientas diseñadas para su aplicación en fotogrametría aérea.
DESCRIPTORES NATURALES:	patrimonio, ortofotografía, fotogrametría
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesauro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ]) Patrimonio Cultural, Ingeniería de la Construcción, Fotogrametría

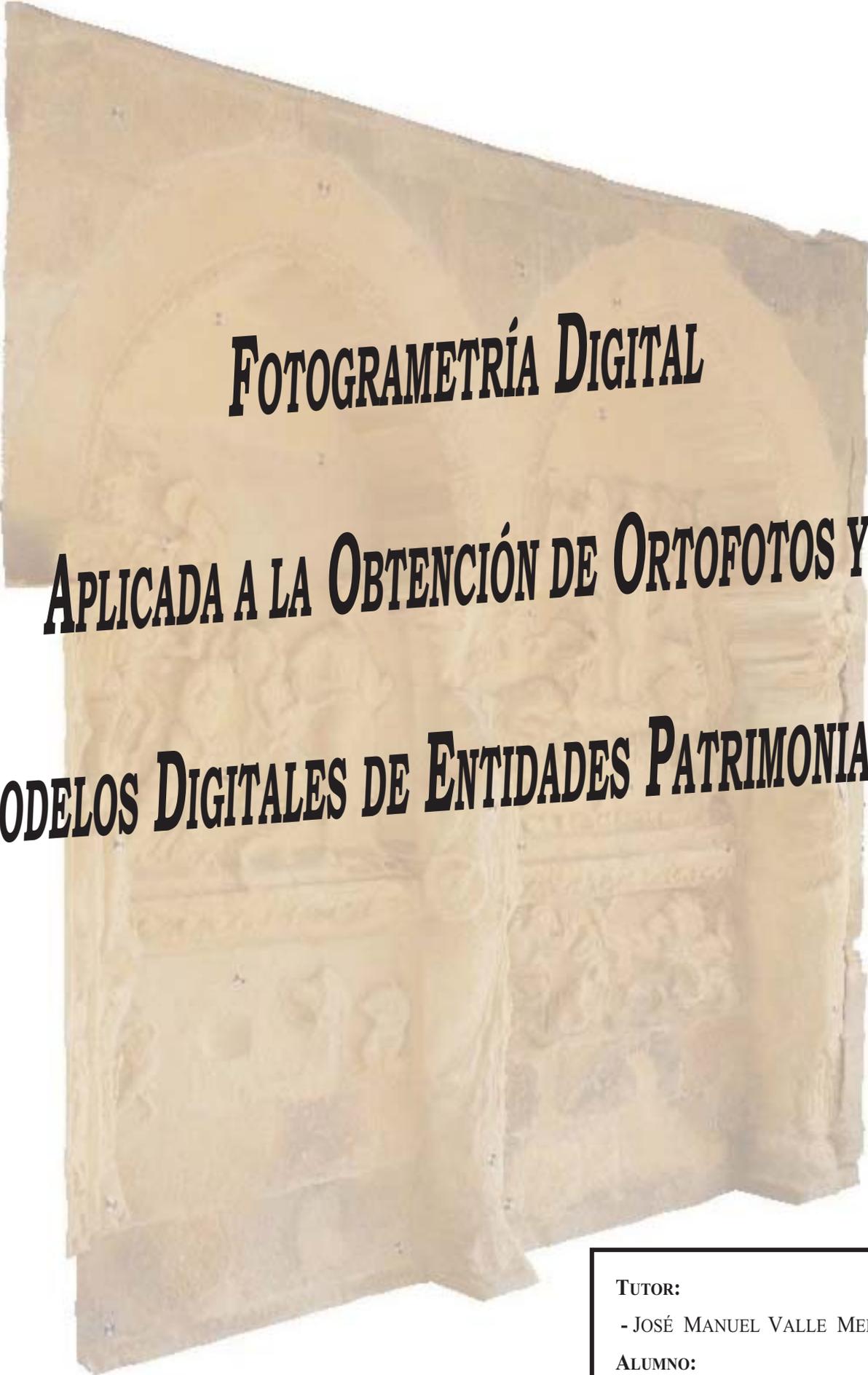
<b>Abstract</b>	
TITLE:	Digital photogrammetry for the production of orthophotographs and digital elevation models of historic buildings
ABSTRACT:	This project study two software suites for aerial photogrammetry: Softplotter® and Digi3D® in order to obtain products related to terrestrial photogrammetry applied to historic buildings.
NATURAL KEYWORDS:	heritage, orthophotograph, photogrammetry
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ]) Cultural Heritage, Construction engineering, Photogrammetry

<b>Derechos / Rights</b>		
DERECHOS:	<p>Está permitido citar y extraer el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada (respecto a la consideración de "no comercial" ver el apartado "otros derechos"). / <i>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").</i></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. / <i>Some pictures and plans come for the documentation of commissioned projects, therefore, their use for comercial purposes may be an infringement of the promoters rights.</i></p>	:OTHERS

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

Estructura / Framework		
PERMANENTE:	<p>ID</p> <p><a href="http://hdl.handle.net/10810/8334">http://hdl.handle.net/10810/8334</a></p>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ldgp_pfc007_DiegoV.pdf</b>: este documento (incluye anexos y planos) / <b>this document (including appendixes and plans)</b>.</li> <li>• <b>ldgp_pfc007_fmet_*.jpg</b>: 4 fotografías métricas correspondientes a los dos pares estereoscópicos utilizados en el proyecto (en la memoria se puede encontrar el certificado de calibración y el apoyo correspondiente) / <b>4 photographs forming the two stereoscopic pair used in this project (for the camera certified and the control points, see the report)</b>.</li> </ul>	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	<p>VOZMEDIANO MONTOYA, Diego. <i>Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales del entidades patrimoniales</i>. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU). 2006.</p>	:CITATION



# **FOTOGRAMETRÍA DIGITAL**

## **APLICADA A LA OBTENCIÓN DE ORTOFOTOS Y**

## **MODELOS DIGITALES DE ENTIDADES PATRIMONIALES**

**TUTOR:**

- JOSÉ MANUEL VALLE MELÓN

**ALUMNO:**

- DIEGO VOZMEDIANO MONTOYA

**- Í N D I C E -****CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO:**

<b>1.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>2</b>
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	2
1.2.- OBJETIVOS.....	3
1.3.- ESQUEMA DE TRABAJO.....	4

**CAPÍTULO II – ESTUDIO TEÓRICO DEL PROYECTO:**

<b>2.- FOTOGRAMETRÍA DIGITAL DE OBJETO CERCANO.....</b>	<b>7</b>
2.1.- GENERALIDADES SOBRE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.....	7
2.1.1.- DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA.....	7
2.1.2.- SINOPSIS HISTÓRICA DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	8
2.1.3.- LA IMAGEN DIGITAL.....	9
2.1.4.- LOS PUNTOS DE APOYO.....	12
2.1.5.- CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ESTEREOSCÓPICO.....	12
2.2.- FOTOGRAMETRIA DE OBJETO CERCANO.....	14
2.2.1.- DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO.....	14
2.2.2.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO... ..	15
2.3.- SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES UTILIZADOS EN FOTOGRAMETRÍA OBJETO CERCANO.....	15
2.3.1.- DISPOSITIVOS DE ENTRADA.....	16
2.3.2.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL.....	17
2.3.2.1.- LAS ESTACIONES DIGITALES FRENTE A LAS ANALÓGICAS Y ANALÍTICAS..	20
2.3.3.- DISPOSITIVOS DE SALIDA.....	20
2.4.- FOTOTRIANGULACIÓN ESPACIAL.....	21
2.4.1.- INTRODUCCIÓN A LA FOTOTRIANGULACIÓN.....	21
2.4.2.- FASES DE LA FOTOTRIANGULACIÓN.....	22
<b>3.- MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.....</b>	<b>23</b>
3.1.- GENERALIDADES DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.....	23
3.1.1.- CONCEPTO DE MODELO Y TIPOS.....	23

3.1.2.- DEFINICIÓN DE MDT. ....	23
3.1.3.- ESTRUCTURAS DE LOS MDT. ....	24
3.1.4.- MÉTODOS DE CAPTURA DE DATOS PARA GENERAR EL MDT. ....	27
3.1.5.- ALGORITMOS PARA LA GENERACIÓN DEL MDT. ....	29
<b>3.2.- CAPTURA AUTOMÁTICA DE DATOS MDT POR FOTOGAMETRÍA DIGITAL. ...</b>	<b>32</b>
3.2.1.- CONCEPTO DE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA. ....	32
3.2.2.- MÉTODOS DE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA. ....	33
3.2.3.- ESTRATEGIAS DE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA. ....	34
3.2.4.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MDTs. ....	36
<b>4.- LAS ORTOFOTOGRAFÍAS Y LOS ORTOFOTOMOSAICOS. ....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.- INTRODUCCIÓN A LAS ORTOFOTOGRAFÍAS. ....</b>	<b>39</b>
4.1.1.- DEFINICIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍA. ....	39
4.1.2.- PROPIEDADES DE LAS ORTOFOTOGRAFÍAS. ....	41
<b>4.2.- PROCESO DE GENERACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS. ....</b>	<b>41</b>
4.2.1.- MÉTODOS DE ORTORECTIFICACIÓN DIGITAL. ....	42
4.2.2.- TÉCNICAS DE REMUESTREO. ....	45
<b>4.3.- PROBLEMAS DE CALIDAD EN LA ORTOFOTOGRAFÍA.. ....</b>	<b>45</b>
4.3.1.- DEFECTOS DE CAPTURA Y/O ESCANEADO DE LAS IMÁGENES. ....	46
4.3.2.- FALLOS DEBIDOS AL MODELO DIGITAL DEL TERRENO. ....	46
<b>4.4.- AJUSTE RADIOMÉTRICO DE LAS ORTOFOTOS. ....</b>	<b>47</b>
4.4.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICOS E HISTOGRAMAS DE LA ORTOFOTO. ....	47
4.4.2.- AJUSTE DEL HISTOGRAMA. ....	48
<b>4.5.- CONFECCIÓN DE ORTOFOTOMOSAICOS. ....</b>	<b>49</b>
4.5.1.- MÉTODOS DE UNIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS. ....	50
4.5.2.- PROBLEMAS DE CALIDAD EN LOS ORTOFOTOMOSAICOS. ....	51
<b>4.6.- GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE ORTOFOTOGRAFÍAS Y ORTOFOTOMOSAICOS. .</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO III – APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROYECTO:</b>	
<b>5.- METODOLOGÍA DE TRABAJO. ....</b>	<b>53</b>
<b>5.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS INICIALES. ....</b>	<b>53</b>
5.1.1.- TOMA DE LOS PUNTOS DE APOYO. ....	54
5.1.2.- TOMA DE LAS FOTOGRAFÍAS. ....	55

<b>5.2.- PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO PRÁCTICO.</b> .....	55
<b>6.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL SOFTPLOTTER.</b> .....	<b>58</b>
<b>6.1.- COMPONENTES QUE INTEGRAN LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.</b> .....	58
6.1.1.- HARDWARE. ....	58
6.1.2.- SOFTWARE. ....	59
<b>6.2.- OPERACIONES BÁSICAS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.</b> .....	61
6.2.1.- PREPARACIÓN DEL ENTRONO DE TRABAJO. ....	61
6.2.2.- ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO. ....	62
6.2.3.- GENERACIÓN DEL MODELO ESTEREOSCÓPICO. ....	63
6.2.4.- RESTITUCIÓN. ....	63
<b>6.3.- GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO.</b> .....	64
6.3.1.- PARÁMETROS DE AUTOCORRELACIÓN. ....	65
6.3.2.- MÉTODO <i>TIN COLLECT</i> . ....	69
6.3.3.- MÉTODO <i>EIPOLAR COLLECT</i> . ....	71
<b>6.4.- OBTENCIÓN DE LAS ORTOFOTOS Y LOS ORTOFOTOMOSAICOS.</b> .....	72
<b>6.5.- ESTUDIO TEMPORAL DE LA ESTACIÓN SOFTPLOTTER.</b> .....	73
<b>7.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL DIGI 3D.</b> .....	<b>74</b>
<b>7.1.- COMPONENTES QUE INTEGRAN LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.</b> .....	74
7.1.1.- HARDWARE. ....	74
7.1.2.- SOFTWARE. ....	75
<b>7.2.- OPERACIONES BÁSICAS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.</b> .....	76
7.2.1.- PREPARACIÓN DEL ENTRONO DE TRABAJO. ....	76
7.2.2.- ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO. ....	76
7.2.3.- RESTITUCIÓN. ....	78
<b>7.3.- GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO.</b> .....	78
<b>7.4.- OBTENCIÓN DE LAS ORTOFOTOS Y LOS ORTOFOTOMOSAICOS.</b> .....	81
<b>7.5.- ESTUDIO TEMPORAL DE LA ESTACIÓN DIGI 3D.</b> .....	82
<b>8.- COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES Y LOS RESULTADOS.</b> .....	<b>83</b>
<b>8.1.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN SOFTPLOTTER.</b> .....	83
8.1.1.- USO DEL MÓDULO SURFACE TOOL FRENTE AL DEM TOOL. ....	83

8.1.2.- ESTRATEGIAS <i>TIN COLLECT</i> Y <i>EPIPOLAR COLLECT</i> . . . . .	84
<b>8.2.- COMPARACIÓN DE ESTACIONES SOFTPLOTTER Y DIGI 3D.</b> . . . . .	<b>86</b>
8.2.1- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES SOFTPLOTTER Y DIGI 3D. . . . .	86
8.2.2.- HERRAMIENTAS Y RESULTADOS DE SOFTPLOTTER Y DIGI 3D. . . . .	87
<b>9.- CONCLUSIONES.</b> . . . . .	<b>96</b>
9.1.- CONCLUSIONES GENERALES. . . . .	96
9.2.- CONCLUSIÓN FINAL. . . . .	100
 <b>CAPÍTULO IV – BIBLIOGRAFÍA:</b>	
<b>10.- BIBLIOGRAFÍA.</b> . . . . .	<b>104</b>
 <b>ANEXOS:</b>	
<b>ANEXO I.- DATOS INICIALES.</b> . . . . .	<b>107</b>
I.1.- CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA. . . . .	108
I.2.- FICHAS DE LOS PARES FOTOGRÁFICOS. . . . .	110
 <b>ANEXO I.- RESULTADOS DE LAS ESTACIONES FOTOGAMÉTRICAS.</b> . . . . .	<b>112</b>
<b>II.1.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGAMÉTRICA</b>	
SOFTPLOTTER. PAR FOTOGAMÉTRICO <i>POR_E1</i> . . . . .	113
II.1.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES. . . . .	114
II.1.2.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA AUTOCORRELACIÓN. . . . .	120
<b>II.2.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGAMÉTRICA</b>	
SOFTPLOTTER. PAR FOTOGAMÉTRICO <i>POR_E2</i> . . . . .	168
II.2.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES. . . . .	168
II.2.2.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA AUTOCORRELACIÓN. . . . .	174
<b>II.3.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGAMÉTRICA DIGI 3D. PAR</b>	
FOTOGAMÉTRICO <i>POR_E1</i> . . . . .	187
II.3.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES. . . . .	187
II.3.2.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA AUTOCORRELACIÓN. . . . .	191

<b>ANEXO III.- DOCUMENTOS RESULTANTES.....</b>	<b>197</b>
<b>III.- DOCUMENTOS RESULTANTES.....</b>	<b>198</b>
<b>III.1.- TIPOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA NUBE DE PUNTOS.....</b>	<b>198</b>
<b>III.2.- TIPOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LAS ORTOFOTOGRAFÍAS.....</b>	<b>199</b>
<b>III.3.- MODELOS VIRTUALES.....</b>	<b>200</b>

**PLANOS:**

**PLANO I: MODELO DIGITAL DEL TERRENO.**

**PLANO II: PLANOS DE CURVAS DE NIVEL.**

**PLANO III: ORTOFOTOMOSAICO.**

**PLANO IV: ORTOFOTOPLANO.**



## I.- PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

## 1.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

### 1.1.- INTRODUCCIÓN.

El creciente interés en la conservación y difusión del patrimonio histórico por parte de países como España, con un importante patrimonio histórico artístico, supone un interesante campo de desarrollo y actuación para un gran número de especialistas, entre ellos los Ingenieros Técnicos en Topografía. Desde distintas universidades españolas se desarrollan planes de investigación y desarrollo tecnológico enfocados a este sector, tal es el caso del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio ([www.ldgp.es](http://www.ldgp.es)), perteneciente al Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura de la Universidad del País Vasco (UPV- EHU), en el cual se realiza este proyecto.

En cuanto al término Patrimonio Histórico, si nos remitimos a la Ley española de Patrimonio Histórico <sup>16</sup>/1985, lo define como los bienes “*inmuebles y objetos muebles de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques, que tengan valor artístico, histórico o antropológico*”. Esto indica la extensa variedad de elementos patrimoniales que podemos encontrar, así como, la amplia gama de tamaños y formas que pueden presentar. Esta gran diversidad de elementos patrimoniales nos lleva a sugerir que la mejor manera de representarlos sea mediante modelos digitales, generando a partir de ellos otros documentos, como planos de planta, alzado o secciones.

Será el tema de los modelos digitales sobre el que se centre el proyecto, más concretamente lo que se ha llamado *Modelos Digitales de Entidades Patrimoniales*, por ser este tipo de elementos los que se van a representar. Se hará un estudio teórico y práctico de las posibilidades que ofrecen los sistemas fotogramétricos digitales en cuanto la obtención de modelos digitales mediante técnicas automatizadas. Además, el modelo resultante se utilizará para generar otro tipo de documentos, como las ortofotografías.

**1.2.- OBJETIVOS.**

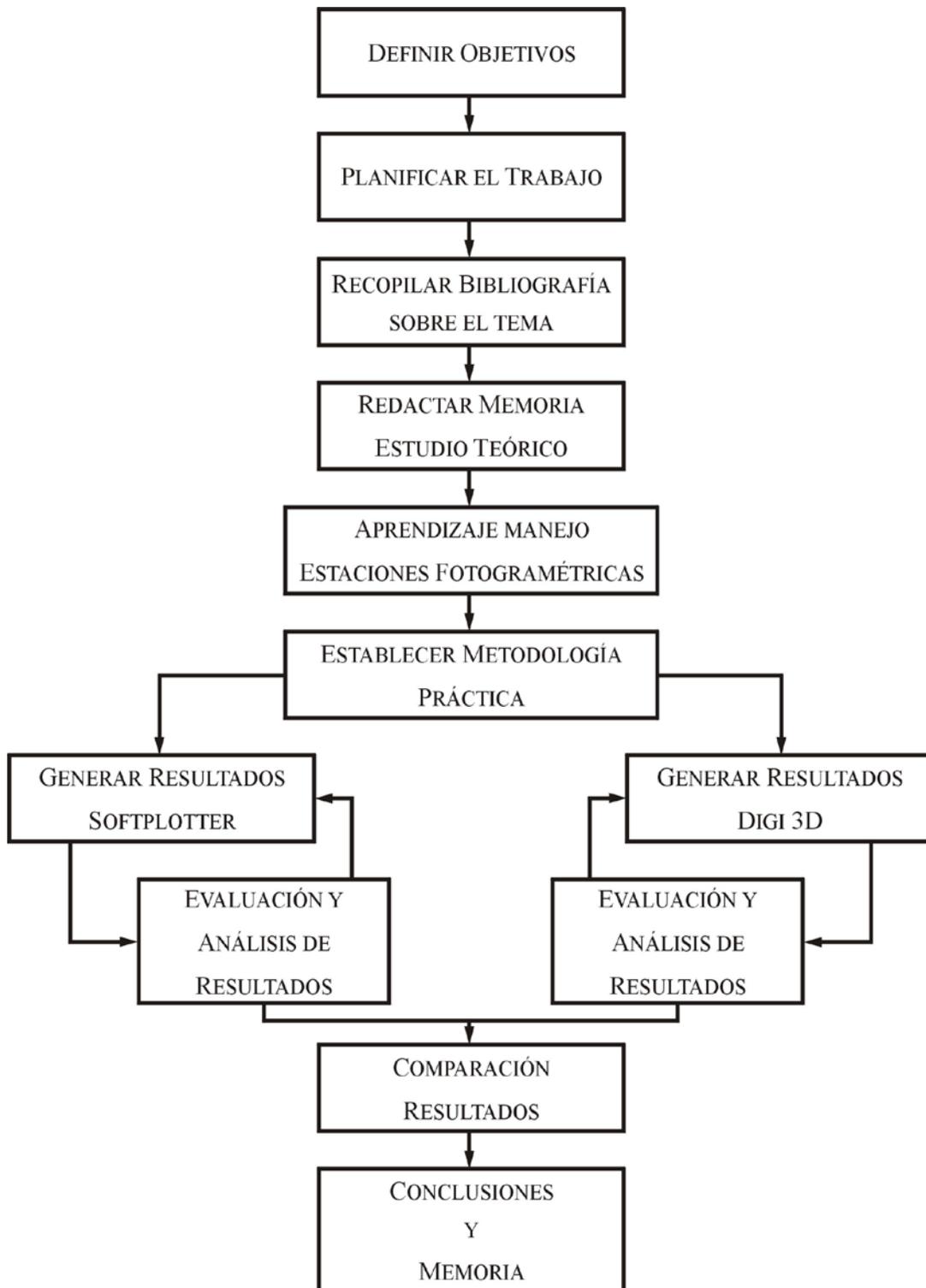
Al consultar algunos trabajos realizados en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, vemos que en muchos casos los modelos se generan a partir de datos capturados por topografía clásica u obtenidos por restitución fotogramétrica. En este caso, siguiendo la línea definida en la misión del laboratorio, lo que se pretende es hacer un estudio de las posibilidades metodológicas e instrumentales de distintas estaciones fotogramétricas digitales, para generar, mediante estrategias de correlación automática modelos digitales de entidades patrimoniales. Así mismo, también se pretende obtener ortofotografías a partir de esos modelos.

Se analizarán las posibilidades actuales en lo relativo a correlación automática de los sistemas de restitución digital disponibles en la UPV-EHU (Restituidores SOFTPLOTTER y DIGI 3D), y su aplicación en la obtención de distintos productos cartográficos, teniendo en cuenta las características especiales de los elementos patrimoniales, dado que generalmente son herramientas diseñadas para su aplicación en fotogrametría aérea.

Se buscarán estrategias para evaluar los modelos resultantes, comparando los datos obtenidos automáticamente con datos capturados manualmente o por otros sistemas de medida, de forma que podamos comprobar la calidad de los productos generados. Ya que trabajaremos con distintas estaciones fotogramétricas, tendremos la oportunidad de realizar un análisis comparativo tanto de su forma de operar como de sus resultados.

### 1.3.- ESQUEMA DE TRABAJO.

Se ha establecido el siguiente esquema de trabajo para el proyecto:



El proyecto se va a dividir en tres apartados distintos, planificación del proyecto (o anteproyecto), estudio teórico y aplicación práctica:

1. En la planificación del proyecto se establecerán los objetivos a cumplir y el esquema de trabajo a seguir.
2. En el siguiente apartado, tras consultar la bibliografía actual existente sobre fotogrametría digital, modelos digitales del terreno y ortofotografías, se redactará el estudio teórico del proyecto, basándose en el siguiente esquema:
  - 1.- Estudio teórico de la fotogrametría digital: Se hará hincapié en conceptos generales de fotogrametría digital.
  - 2.- Estudio teórico de los modelos digitales del terreno: Introducción al concepto de modelo, tipos y métodos de obtención.
  - 3.- Estudio teórico de las ortofotografías y los ortofotomosaicos: Introducción a los conceptos de ortofotografía y ortofotomosaico y los métodos para crearlos.
3. Aplicación práctica: Se trabajará sobre las estaciones fotogramétricas digitales SOFTPLOTTER y DIGI 3D, utilizando datos disponibles en el Laboratorio de Documentación Geométrica de Patrimonio. Para la evaluación y análisis de los resultados se establecerá una metodología de trabajo, y se utilizarán los programas SURFER y AUTOCAD.
4. Por último, se redactarán las conclusiones y se prepararan los documentos finales.



## II.- ESTUDIO TEÓRICO DEL PROYECTO

## 2.- FOTOGRAMETRÍA DIGITAL DE OBJETO CERCANO.

### 2.1.- GENERALIDADES SOBRE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.

#### 2.1.1.- DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA:

Etimológicamente la palabra *fotogrametría* procede de tres palabras griegas cuya traducción literal viene a significar “la medida de lo escrito con luz”. Se trata, por tanto, de una técnica más de medida, que tiene la particularidad de utilizar la *fotografía* como fuente de información.

Bonneval (1972) la define como “la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”.

La Sociedad Americana de Fotogrametría (Thomson y Gruner, 1980) la definen, de forma más concreta e incluyendo los últimos avances, como “la ciencia, arte y tecnología que obtiene información fiable de objetos y su entorno mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas y de datos obtenidos a partir de energía electromagnética radiante o de fenómenos magnéticos”.

Según la posición de la cámara en el momento de la toma se distingue entre:

- *Fotogrametría Espacial*: la que emplea imágenes capturadas desde satélites.
- *Fotogrametría Aérea*: se aplica a partir de imágenes obtenidas desde aviones.
- Si han sido obtenidas sobre la superficie terrestre se distinguen:
  - *Fotogrametría Terrestre*: empleada en levantamientos topográficos.
  - *Fotogrametría de Objeto Cercano*: utilizada en levantamientos no topográficos.

En función de la estación fotogramétrica empleada también distinguiremos entre *Fotogrametría analógica, analítica y digital*. De ellas la que mayor interés despierta y sobre la que más se ha investigado en la última década es la *fotogrametría digital*, ya que es la más asequible y la que más posibilidades aporta. Se define como “la tecnología usada para obtener información geométrica, radiométrica y semántica de objetos tridimensionales de la realidad a partir de imágenes digitales 2D de dichos objetos”.

### 2.1.2.- SINOPSIS HISTÓRICA DE LA FOTOGRAMETRÍA:

La evolución de la fotogrametría se ha visto influenciada por los avances tecnológicos a lo largo de la historia. Ya desde el siglo XVI se conocían los principios básicos de la fotografía: la cámara oscura y el ennegrecimiento por la luz del cloruro de plata fundido, pero no fueron relacionados entre si hasta mucho más tarde. En 1826, Nicéphore Niépce logra la primera imagen sobre papel, y en 1839 el francés Dominique Francois Jean Aragon hace público el invento de la fotografía e inmediatamente se piensa en utilizarla en los levantamientos topográficos.

A partir del año 1850, la fotogrametría ha experimentado diferentes periodos de desarrollo que se pueden agrupar en las siguientes etapas:

- **Fotogrametría Gráfica (1850 a 1900):** Aimé Laussedat, considerado como fundador de la fotogrametría, desarrollo el método denominado *iconometría*, consistente en utilizar fotografías para determinar gráficamente, por medidas lineales, los ángulos de acimut y de vista de puntos del paisaje fotografiado, y después, en determinar las posiciones de estos puntos por intersecciones gráficas. Para ello ideó una cámara fotográfica especial que se estacionaba como un instrumento topográfico y que se consideró como el primer *fortoteodolito*.
- **Fotogrametría Analógica (1900 a 1950):** En 1901, Pulfrich construye el primer estereocomparador, y unos años más tarde, en 1909, Von Orel construye el primer instrumento de restitución estereoscópica, el *estereoautógrafo*. Es un periodo donde además se desarrollan las técnicas, métodos e instrumentos necesarios para la aplicación de la fotogrametría aérea.
- **Fotogrametría Analítica (1950 a 1990):** Con la aparición de la computadora (en 1950) y su uso en los procesos fotogramétricos, se introduce el cálculo electrónico. En 1953, Hellmut Schmid, desarrolla los principios de la fotogrametría analítica moderna usando notaciones matriciales y soluciones mínimo cuadráticas y, además, elabora un completo estudio de la propagación de los errores. En 1957, Uki Helava inventa el estereoplotter analítico.
- **Fotogrametría Digital (1990 hasta la actualidad):** Es en el año 1988, cuando se presenta la primera estación estereofotogramétrica digital comercial, KERN DSP1, en el Congreso de ISPRS en Kyoto. Desde los años 90 hasta la actualidad el progreso en la fotogrametría digital es tan rápido y paralelo como los avances informáticos.

### 2.1.3.- LA IMAGEN DIGITAL:

La imagen digital posee una estructura ráster 2D establecida por una malla rectangular de celdas cuadradas. Estas celdas, denominadas píxeles, constituyen la unidad básica de información de la imagen, y su posición queda definida según la fila y la columna en la que se encuentren. Además, cada celda estará caracterizada por la intensidad de tono de gris que posea, según un valor cuantificable entre 0 y 255 (negro y blanco). Si la imagen es en color natural, vendrá definida por la combinación de las tres bandas del espectro visible (RGB), rojo, verde y azul, con una intensidad para cada una valorada igualmente entre 0 y 255.

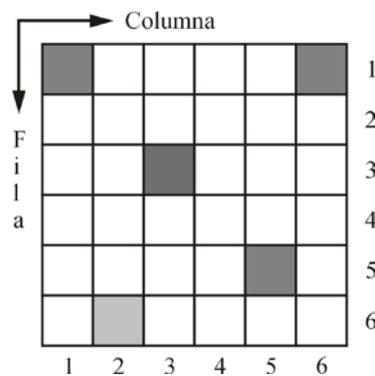


Figura 1: Estructura de la imagen digital.

Cada celda se considera homogénea, y todo lugar del espacio estudiado queda asociado a una con su correspondiente valor.

La calidad de la imagen digital depende de la resolución que posea, cuanto mayor sea su resolución mejor será su calidad, sin embargo, mayor será su tamaño de almacenamiento y más complicada su manipulación. Por tanto, es conveniente utilizar imágenes con una resolución adecuada a las necesidades del trabajo.

La resolución de la imagen se divide en cuatro tipos distintos:

- **Resolución Espacial:** Indica la capacidad del sistema para distinguir el objeto más pequeño sobre una imagen. Depende de la distancia de captura al objeto y del tamaño del píxel (ppp o número de píxeles por pulgada).  
Cuanto mayor sea la resolución de la imagen (más pequeño el tamaño del píxel) mayor será el nivel de detalle que ofrezca y mayor será su tamaño en disco.

- **Resolución Geométrica:** Es la diferencia que hay entre la posición teórica de un píxel y la real.
- **Resolución Espectral:** Se trata del número y rango de longitud de onda del espectro electromagnético registrado en cada banda de la imagen. En el caso de los sistemas fotográficos podemos encontrar películas pancromáticas, color natural (RGB), infrarrojo b/n o infrarrojo color.  
Las imágenes que poseen más de una banda proporcionan mejores resultados, aunque, como en casos anteriores, el volumen de datos del archivo es mayor.
- **Resolución Radiométrica:** Conocida también como profundidad o contraste radiométrico, indica el número de niveles de gris que son recogidos por cada banda. En imágenes digitales lo más habitual es que contengan 256 niveles por píxel (de 0 a 255).

➤ **Obtención de la imagen digital:**

Las imágenes digitales se pueden obtener de forma directa, utilizando cámaras digitales o sensores remotos; o indirectamente, escaneando imágenes analógicas (aéreas o terrestres).

Las imágenes obtenidas directamente en formato digital se suelen capturar mediante sensores CCD (*Charge Couple Device* o Dispositivo de Transferencia de Carga), CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) y más recientemente con los de tipo LBCAST (*Lateral Buried Charge Accumulator and Sensing Transistor array* o Conjunto acumulador de carga y sensor matricial transistor). Un sensor es un dispositivo electrónico-digital compuesto por una matriz de celdas fotosensibles, llamadas píxeles o fotolitos, que reaccionan ante la luz incidente generando una carga eléctrica que, más tarde, es transformada por un conversor a un valor de nivel digital.

Si se parte de fotografías obtenidas con una cámara convencional, lo que se hace es digitalizar los negativos o positivos con escáneres fotogramétricos, para obtener así las imágenes en formato digital. La calidad de la imagen capturada dependerá tanto del escáner como de la película sobre la que está impresionada la fotografía, así como del formato de compresión elegido. Será conveniente

controlar y analizar las imágenes capturadas de forma indirecta, ya que pueden poseer deformaciones y distorsiones inesperadas que den lugar a pérdidas de calidad de la imagen, afecten a los resultados de la orientación y de la fototriangulación, produzcan errores en la generación de los MDTs, etc..

➤ **Ventajas y Desventajas de la Imagen Digital:**

A continuación se muestran esquemáticamente las ventajas y desventajas de las imágenes digitales frente a las fotografías analógicas clásicas:

▪ Ventajas de las imágenes digitales:

- No se deforman al variar las condiciones medioambientales de su entorno, ya que se encuentran almacenadas en formatos digitales.
- Al no requerir una manipulación directa; su uso continuado y el tiempo no deterioran la imagen original.
- Pueden ser modificadas para facilitar su interpretación (ajuste de niveles de brillo y contraste) sin variar su geometría.
- Se pueden transmitir y reproducir de forma sencilla, rápida y segura a través de sistemas informáticos.
- A partir de ellas se pueden generar productos que no es posible obtener con los fotogramas analógicos, e integrarlos directamente en entornos SIG o CAD.
- Facilitan la automatización de tareas.

▪ Desventajas de las imágenes digitales:

- La resolución de la imagen digital suele ser menor que la de la analógica, porque a igual resolución la imagen ocupa mucho tamaño, lo que dificulta su manipulación.

#### 2.1.4.- LOS PUNTOS DE APOYO:

Los puntos de apoyo, son puntos del terreno perfectamente identificables en los fotogramas y de los que se conocen sus coordenadas terrestres. Se utilizan en las operaciones de orientación de los pares estereoscópicos, para poder *nivelar* y *escalar* el modelo generado en el restituidor y poder orientarlo de acuerdo a un sistema de coordenadas.

Para el proceso de nivelación es necesario conocer las coordenadas altimétricas de tres puntos de apoyo, y para la puesta en escala se han de conocer las coordenadas planimétricas de dos puntos de apoyo, coincidentes o no con los anteriores. Por tanto, como mínimo, es preciso emplear tres puntos de apoyo, y cuatro o más si queremos tener comprobación. En el caso de requerir mayores precisiones, es habitual incrementar el número de puntos, utilizando los cuatro o cinco mejores como puntos de apoyo, para el ajuste del modelo, y el resto como puntos de control, para comprobar la bondad del ajuste.

Es recomendable que los puntos a utilizar estén distribuidos de la forma más apropiada en el par, esto permitirá eliminar en gran medida las deformaciones altimétricas que se originan durante la orientación. La situación teórica más apropiada para la distribución de los puntos de apoyo es:

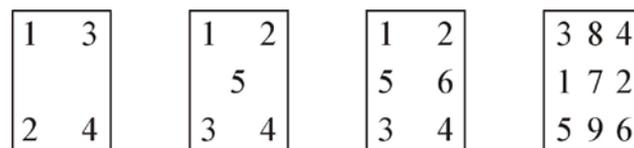


Figura 2: Distribución de los puntos de apoyo en un par.

En cualquier caso, las distribuciones mostradas en la figura anterior son solo orientativas, y su aplicación dependerá de las condiciones de la toma y de las características de la superficie fotografiada.

#### 2.1.5.- CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ESTEREOSCÓPICO:

Denominado proceso general de la fotogrametría, consiste en realizar una serie de orientaciones para colocar las imágenes en la misma posición del momento de la toma y poder obtener así el modelo estereoscópico.

Estas orientaciones son:

- **Orientación interna:** Tiene por objeto la reconstrucción del haz de rayos de cada imagen, partiendo de los datos que se proporcionan en el certificado de calibración de la cámara, como la distancia focal, posición del punto principal o los parámetros de distorsión.

La orientación se resuelve aplicando una transformación afín bidimensional, cuya ecuación para cada coordenada es:

$$X_f = a X_p + b Y_p + Tx$$

$$Y_f = c X_p + d Y_p + Ty$$

Esta transformación consiste en referir las coordenadas del sistema comparador al sistema fiducial, realizando un cambio de escala para cada eje ( $\lambda_x, \lambda_y$ ), dos traslaciones ( $T_x, T_y$ ), un giro  $\alpha$  entre ambos sistemas y considerando el ángulo  $\beta$  por falta de ortogonalidad. Siendo los valores de las incógnitas  $a, b, c$  y  $d$ :

$$\begin{aligned} a &= \lambda_x \cos \alpha \\ b &= \lambda_y \cos \alpha \sin \beta \\ c &= \lambda_x \sin \alpha \\ d &= \lambda_y \cos \alpha \cos \beta \end{aligned}$$

Para determinar estas incógnitas será necesario conocer un mínimo de tres puntos comunes en ambos sistemas.

- **Orientación externa:** sitúa el haz de rayos de cada imagen en su posición correcta, con lo que, al intersecar los rayos homólogos de dos imágenes se forma el modelo real. Una vez formado el modelo real se podrá empezar a medir sobre él.

Dentro de esta fase se distinguen dos orientaciones:

- **Orientación relativa:** consiste en hacer intersecar los rayos homólogos de las dos imágenes estereoscópicas, para formar el modelo virtual.
- **Orientación absoluta:** en esta fase el modelo se escala y se nivela para conseguir que las mediciones que se realicen sobre él sean directamente en coordenadas terreno.

Tradicionalmente, estos dos últimos pasos de orientación relativa y orientación absoluta se realizaban por separado, sin embargo, con la aparición de las

estaciones fotogramétricas analíticas y digitales ha pasado a resolverse en un solo paso, en la orientación externa, utilizando las ecuaciones de colinealidad:

$$\begin{aligned} x &= f \frac{m_{11} X - X_0}{m_{31} X - X_0} \frac{m_{12} Y - Y_0}{m_{32} Y - Y_0} \frac{m_{13} Z - Z_0}{m_{33} Z - Z_0} \\ y &= f \frac{m_{21} X - X_0}{m_{31} X - X_0} \frac{m_{22} Y - Y_0}{m_{32} Y - Y_0} \frac{m_{23} Z - Z_0}{m_{33} Z - Z_0} \end{aligned}$$

De estas ecuaciones se busca obtener las coordenadas del centro de proyección ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) y los coeficientes  $m_{xy}$  de la matriz de rotación, siendo conocida la distancia focal ( $f$ ), las coordenadas terreno ( $X, Y, Z$ ) de una serie de puntos (los puntos de apoyo) y sus fotocoordenadas ( $x, y$ ).

Ya que de cada punto se tienen dos ecuaciones, para obtener una única solución resolviendo el sistema por mínimos cuadrados, se han de linealizar las ecuaciones por Taylor, quedando la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} V_x \quad x &= f \frac{m_{11} X - X_0}{m_{31} X - X_0} \frac{m_{12} Y - Y_0}{m_{32} Y - Y_0} \frac{m_{13} Z - Z_0}{m_{33} Z - Z_0} - \frac{F_x}{X_0} dX_0 - \frac{F_x}{Y_0} dY_0 - \frac{F_x}{Z_0} dZ_0 - \frac{F_x}{X_0} d \\ V_y \quad y &= f \frac{m_{21} X - X_0}{m_{31} X - X_0} \frac{m_{22} Y - Y_0}{m_{32} Y - Y_0} \frac{m_{23} Z - Z_0}{m_{33} Z - Z_0} - \frac{F_y}{X_0} dX_0 - \frac{F_y}{Y_0} dY_0 - \frac{F_y}{Z_0} dZ_0 - \frac{F_y}{X_0} d \end{aligned}$$

## 2.2.- FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO.

### 2.2.1.- DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO:

Se considera fotogrametría de objeto cercano (*Close Range Photogrammetry*) aquella que utiliza imágenes procedentes de cámaras ubicadas en la superficie terrestre y la distancia al objeto no supera los 300 metros. Esto supone que no se tenga en cuenta los efectos de esfericidad y refracción.

Una definición más simple la califica como “la técnica de medida que se sirve de imágenes fotográficas realizadas a menos de 300 m”.

Según la distancia al objeto es posible clasificarla en tres tipos (Cortés, 2000):

- *Fotogrametría de objeto cercano*: la distancia al objeto varía entre 10 cm y 300 m.
- *Macro-fotogrametría*: dicha distancia es de 1 cm a 10 cm.
- *Micro-fotogrametría*: es menor de 1 cm.

### 2.2.2.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO:

A continuación, se muestran esquemáticamente las ventajas y desventajas de la fotogrametría de objeto cercano frente a otros sistemas clásicos de medida.

#### ▪ Ventajas de la fotogrametría de objeto cercano:

- No es necesario tener contacto con el objeto a documentar o fotografiar.
- La toma de datos es cuantitativamente más rápida que con cualquier otro sistema de medida clásico, hoy en día en cuestión con la aparición de los escáner 3D.
- Permite obtener una amplia densidad de registro de datos, tanto cuantitativos como cualitativos.
- No se requiere la estabilidad de la topografía clásica.
- Se pueden medir fenómenos fijos o variables.
- Es posible el registro de formas y movimientos irregulares.
- Registro de elementos localizados en lugares inaccesibles o de alto riesgo, como centrales nucleares.
- Posibilidad de análisis de pares no visibles del espectro electromagnético.

#### ▪ Desventajas de la fotogrametría de objeto cercano:

- Debe ser posible fotografiar el objeto.
- Los resultados de la medida todavía no son inmediatos.
- Alta interdependencia de los procesos, específicos y caros.
- Escasez de instrumental específico, adecuado y preparado.

### 2.3.- SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES UTILIZADOS EN FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO:

Un Sistema Fotogramétrico Digital es el conjunto de componentes hardware y software necesarios para generar productos fotogramétricos a partir de imágenes digitales, aplicando técnicas manuales o automatizadas.

Dentro de estos sistemas se distinguen tres partes: una correspondiente a los dispositivos de entrada de imágenes digitales, otra que es la estación fotogramétrica digital, y una última, en la que se integran los dispositivos de salida.

### 2.3.1.- DISPOSITIVOS DE ENTRADA:

Dentro de este grupo se incluyen las cámaras digitales y los escáneres, estos últimos, empleados en la digitalización de los fotogramas analógicos (como ya se ha indicado en el apartado 2.1.3 de la imagen digital).

Haciendo hincapié en las cámaras, tanto las digitales como las analógicas, se agrupan según su fabricación en cámaras métricas, semimétricas o no métricas:

- **Cámaras métricas:** Son cámaras que por su fabricación se conocen sus parámetros internos, es decir, aquellos que se especifican en la hoja de calibración:
  - *Distancia focal:* Valor conocido y a poder ser fijo y calibrado.
  - *Marcas fiduciales:* Para determinar el centro fiducial y, con éste, el centro principal.
  - *Distorsión radial y tangencial:* Conviene utilizar objetivos con distorsión mínima.
  - *Garantizar la planeidad del negativo:* Solo para el caso de las cámaras analógicas.

Su aparición se remonta al siglo XIX con los *Foto-Teodolitos*, ya en desuso, a los que siguieron las *cámaras exentas* UMK 13/18 (Zeiss) y WILD P32, que han quedado relegadas con la aparición de las cámaras digitales. Hoy en día no hay ninguna empresa que fabrique cámaras fotogramétricas de objeto cercano, lo que supone que tengan que usarse cámaras semimétricas.

- **Cámaras semimétricas:** Se trata de cámaras normales transformadas a métricas. Para ello, es conveniente que sea una cámara robusta con lentes de buena calidad y que cumpla las siguientes condiciones:
  - *Poder conocer la focal:* bloqueando el objetivo y calibrando la cámara.
  - *Conocer el punto principal:* en el caso de las cámaras analógicas se inserta una placa de vidrio *réseau* que permite plasmar las marcas fiduciales en la imagen.
  - *Conocer la función de distorsión.*

Este tipo de cámaras no aportan las grandes precisiones de las métricas, pero si las suficientes para su uso en trabajos normales. Además, tienen la ventaja de disponer de gran cantidad de accesorios.

- **Cámaras no métricas:** Son cámaras de las que no se conocen sus parámetros internos, lo que implica que se hayan de determinar a partir de las imágenes. Para ello, se aumenta el número de puntos de apoyo, en torno a los 20 puntos, para calcular muchas ecuaciones y mediante la transformación lineal directa obtener los parámetros.

En la tabla siguiente se muestra una pequeña comparación entre las cámaras analógicas y las digitales:

CARACTERÍSTICAS	ANALÓGICA	DIGITAL
Estabilidad geométrica	Distorsión de la película	Muy buena
Sensibilidad	200 ASA	Muy buena 2000 ASA
Tamaño	Gran tamaño	Pequeño
Datos	Analógicos	Digitales
Características espectrales	Pancromáticas, infrarrojo color	
Marcas fiduciales	Necesarias	No se requieren

Figura 3: Comparación cámaras analógicas y digitales.

### 2.3.2.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL:

La estación fotogramétrica digital es el principal componente en un sistema fotogramétrico digital, ya que es en él donde se realizan todos los procesos propios de la restitución fotogramétrica. Genera información vectorial, ráster y otro tipo de datos relativos al elemento a medir (MDTs, ortofotografías, informes, cartografías temática, productos multimedia, etc.).

Las estaciones fotogramétricas digitales constan básicamente de una parte mecánica y electrónica que es el *Hardware*, que lo componen todos los elementos necesarios para el almacenamiento de datos, sistemas de visión estereoscópica y sistemas de medida; y una parte digital que es el *Software*, que permite desarrollar los productos fotogramétricos deseados a partir de las imágenes digitales.

- **HARDWARE:**

Las actuales estaciones fotogramétricas digitales corren sobre ordenadores personales (PC), en lugar de estaciones de trabajo (*workstation*). En general, este avance tiene como ventaja la posibilidad de utilizar sistemas y componentes informáticos abiertos y estándares. Teóricamente, los sistemas abiertos permiten una actualización del hardware sin cambios bruscos de software.

El hardware de estas estaciones digitales esta constituido básicamente por un ordenador al que se conectan uno o dos monitores, el interfaz de usuario y una memoria para el almacenamiento de datos.

- **Componentes del ordenador:**

Es recomendable que todo ordenador posea una unidad central de proceso (CPU) rápida, con suficiente memoria RAM y gran capacidad de almacenamiento de datos (en disco duro o externos). Posea un sistema operativo que permita el procesamiento en tiempo real y facilite la interrelación entre todos los componentes del ordenador y el software.

- **Sistema de visión estereoscópica:**

Las estaciones fotogramétricas están equipadas con uno o dos monitores para la visualización de las imágenes digitales. Para conseguir buenos resultados es recomendable usar monitores de alta resolución.

Si se busca visualizar estereoscópicamente un modelo, indispensable para muchas operaciones fotogramétricas, es necesario que la imagen izquierda y derecha del par se muestren por separado. Esta separación se puede conseguir de diferentes maneras:

- **Separación espacial:** Las imágenes se muestran independientemente en dos monitores distintos o bien en la pantalla de un monitor dividido en dos partes iguales. Para conseguir la estereoscopía se emplean estereóscopos acoplados a la pantalla.

La aplicación de este sistema tiene el inconveniente de estar limitado a un solo operador, colocado en una postura incómoda (ya que tiene que acoplarse el operador al estereóscopo) y el campo de visión es reducido.

- Separación espectral: Utiliza el principio de polarización o de anaglifos. En el primer caso, será necesaria una pantalla polarizante ajustada al monitor, así como unas gafas polarizadas (pasivas); y en el segundo caso, se han de emplear imágenes monocromáticas complementarias con los filtros de las gafas anaglifos.
- Separación temporal: Muestra alternativamente la imagen izquierda y la imagen derecha mediante principios de polarización. Para conseguir la visión estereoscópica se utilizan gafas pasivas o activas. Con las gafas pasivas se necesita una pantalla polarizante colocada en el monitor, mientras que con las activas la polarización se produce directamente en las gafas.

▫ **Sistemas de medición:**

La restitución se puede realizar por medio de tres mecanismos:

- Utilizando manivelas para los desplazamientos en X e Y, y la Z con un pedal.
- Midiendo con un ratón 2D y un dispositivo “*trackball*” para el movimiento en Z.
- Manejando un ratón tridimensional (multifunciones).

▪ **SOFTWARE:**

Actualmente, los programas de fotogrametría existentes en el mercado se pueden dividir en dos grandes grupos: los concebidos para trabajar en modo monoscópico y los que trabajan en modo estereoscópico. Dentro de estos dos grupos podemos encontrar programas diseñados para fotogrametría terrestre y para fotogrametría aérea, aunque, generalmente los de visión monoscópica están más preparados para fotogrametría terrestre y los de visión estereoscópica para fotogrametría aérea.

Además del sistema de visión, son varias las diferencias entre ambos programas:

- Los programas de visión monoscópica están adaptados, en programas como *Photomodeler*, a trabajar sobre modelos virtuales 3D con imágenes no métricas. Tienen el inconveniente de que los procesos de restitución son manuales, lentos y laboriosos, y las precisiones menores.

- Los programas de visión estereoscópica están adaptados a trabajar en 2D (2,5D), requieren imágenes métricas y los procesos pueden ser automáticos o semiautomáticos. Así mismo, con ellos se obtienen mejores precisiones.

En cuanto a los programas de visión estereoscópica para fotogrametría terrestre, sufren el problema de no ser rentables para las casas comerciales, por su reducida demanda, lo que implica que los existentes, por lo general, no alcanzan la calidad de los programas para fotogrametría aérea. Este hecho, hace que sea habitual emplear pares de terrestre en programas de fotogrametría aérea, abatiendo previamente los puntos de apoyo, para que los desplazamiento en profundidad pasen a ser desplazamientos en Z.

#### 2.3.2.1.- LAS ESTACIONES DIGITALES FRENTE A LAS ANALÓGICAS Y ANALÍTICAS:

A continuación se detallan las características más destacables de las estaciones digitales frente a las analógicas y analíticas:

- Los datos de entrada y salida son siempre digitales, con lo que la información es estable y se puede editar.
- El desgaste del equipo no afecta a la precisión y fiabilidad del proceso de medida, ya que carecen de los elementos ópticos y mecánicos existentes en los restituidores analógicos y analíticos.
- Permite generar procesos de forma automática o semiautomática.
- Puede utilizar todo tipo de escalas de imagen con independencia de si son fotos terrestres o aéreas.
- Admite la posibilidad de que varios usuarios puedan acceder simultáneamente a la visión estereoscópica.
- Permite mostrar lo que se esta restituyendo sobre el par estereoscópico. Interesante para trabajos de actualización cartográfica y control de calidad.
- Genera algunos productos que con los restituidores analógicos y analíticos no es posible obtener.

#### 2.3.3.- DISPOSITIVOS DE SALIDA:

Los datos obtenidos se pueden representar en soportes analógicos, por medio de impresoras o trazadores; almacenarlos en formato digital, en grabadoras de discos o cintas; o publicarlos en Internet.

## 2.4.- FOTOTRIANGULACIÓN ESPACIAL:

### 2.4.1.- INTRODUCCIÓN A LA FOTOTRIANGULACIÓN:

La fototriangulación es un proceso que se emplea para determinar indirectamente las coordenadas terreno de los puntos de apoyo a partir de sus coordenadas imagen. Generalmente trabaja por *pasadas*, es decir, sobre imágenes capturadas de forma consecutiva a lo largo de una dirección y que poseen entre si de una zona de solape.

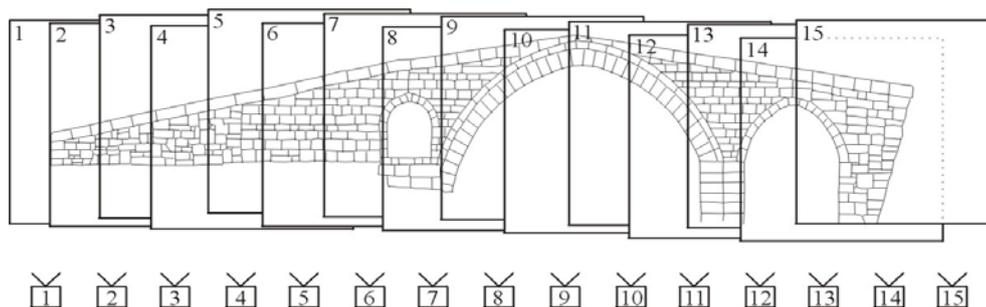


Figura 4: Toma fotográfica por pasadas de una entidad patrimonial.

El número de pasadas y de imágenes por pasada dependerá de las características de la toma y del elemento a medir. Así mismo, por cada pasada se han de conocer las coordenadas terreno de un número mínimo de puntos de apoyo y puntos de control, medidos en campo, con los que calcular las coordenadas de los nuevos puntos fototriangulados, denominados *puntos de paso*.

La fototriangulación se aplica principalmente en trabajos de extensión media y alta, para reducir el elevado gasto del apoyo topográfico en campo. Además de reportar una ventaja económica respecto a las mediciones en campo, también aporta otros beneficios como:

- Minimizar los retrasos por condiciones adversas, ya que la mayor parte del trabajo se realiza en gabinete.
- Facilitar la captura de datos en áreas de mucho relieve o difícil acceso.
- Reducción del tiempo de ejecución.
- Homogeneización en la precisión del trabajo.

Los resultados de la fototriangulación, terrestre y aérea (más conocida como aerotriangulación), pueden utilizarse en gran cantidad de procesos fotogramétricos, como por ejemplo: densificación de puntos, correlación automática, generación de

modelos digitales del terreno y ortofotos (que se estudiarán más profundamente en los capítulos siguientes), productos multimedia, etc..

#### 2.4.2.- FASES DE LA FOTOTRIANGULACIÓN:

El proceso de la fototriangulación consta generalmente de las siguientes fases:

1. Preparación del bloque: Donde son seleccionadas las imágenes de cada pasada junto con la información de la toma (recubrimientos y datos de calibración de la cámara usada). También se determinan las coordenadas imagen de los puntos de apoyo tomados en campo.
2. Determinación de los puntos de paso: En esta fase se identifican aquellos puntos de los que queremos saber sus coordenadas terreno. Se distinguen tres pasos, que es posible realizar de forma automática o semiautomática empleando técnicas de correlación:
  - Selección de los puntos de pasos.
  - Identificación de los puntos homólogos.
  - Medición de las coordenadas imagen de los puntos de paso.
3. Obtención de las coordenadas terreno de los puntos de paso.
4. Compensación del bloque: Es la fase donde se analizan los resultados, se determinan los posibles errores groseros y se hace la corrección y depuración de los resultados. Requiere del análisis y toma de decisiones por parte del operador.

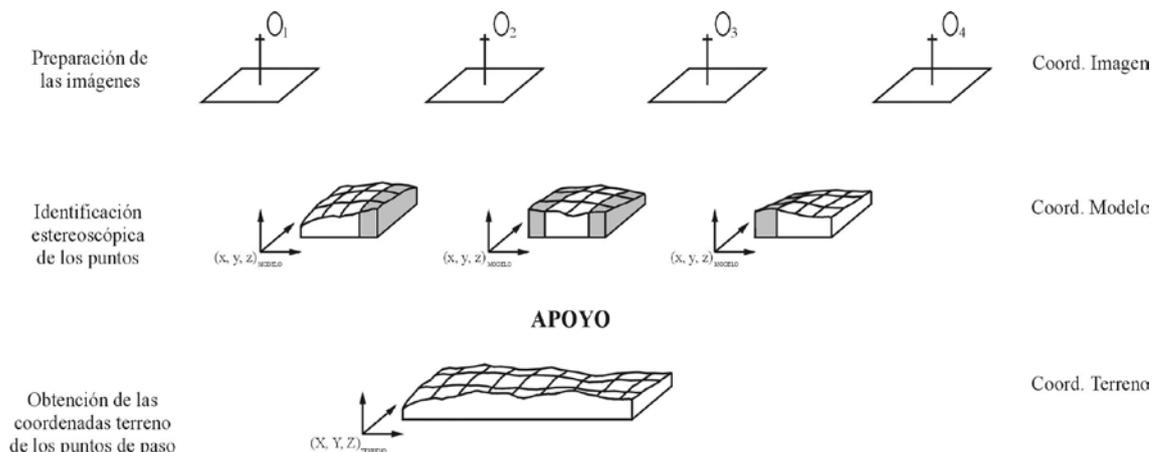


Figura 5: Esquema del proceso de fototriangulación.

### 3.- MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.

#### 3.1.- GENERALIDADES DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.

##### 3.1.1.- CONCEPTO DE MODELO Y TIPOS:

Desde el punto de vista geográfico, un modelo es *una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades* (Joly, 1988). Esto supone que generalmente se construyen para conocer o estudiar las características de un objeto real.

En cuanto a su clasificación, la más relevante es la realizada por Turner en 1970, en la que distingue tres tipos de modelos: *icónicos*, *análogos* y *simbólicos*, según un criterio basado en la forma de establecer la relación de correspondencia entre objeto y modelo.

- *Modelos icónicos*: aquellos cuya relación de correspondencia se establece a través de propiedades morfológicas, como por ejemplo la reducción de escala de una maqueta donde se conservan las relaciones dimensionales básicas.
- *Modelos análogos*: son los que poseen algunas propiedades similares a los objetos representados, pero sin llegar a ser una réplica morfológica de los mismos (un ejemplo puede ser un mapa impreso).
- *Modelos simbólicos*: aquellos donde el objeto se representa mediante codificación matemática (geometría, estadística, etc.). Un ejemplo es la representación de un edificio mediante la identificación y codificación en una estructura geométrica de sus elementos básicos.

Otra clasificación interesante distingue a los modelos en dos tipos en función del soporte sobre el que se presentan. Diferencia entre *modelos digitales*, aquellos que están codificados en cifras y que permiten su tratamiento informático; y *modelos analógicos*, que son modelos físicos.

##### 3.1.2.- DEFINICIÓN DE MDT:

Un Modelo Digital de Terreno es, según Felicísimo (1994), *una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua*. La información básica de estos modelos lo componen los

valores X, Y, Z de los puntos que definen las características topográficas del objeto real. Se trata, por tanto, según la clasificación del apartado anterior, de modelos simbólicos cuyos datos numéricos permiten su tratamiento informático. Así mismo, en la definición se incluyen dos propiedades más que han de cumplir los MDT: la primera es la de poseer una *estructura interna*, lo que significa que no es solo un listado de coordenadas, sino que guardan relaciones entre ellos; y la segunda dice que la variable representada a de ser *cuantitativa y de distribución continua*, con lo que acota más el término MDT al excluir variables nominales empleadas en la elaboración de mapas temáticos.

La variable que define un MDT o Modelo Digital del Terreno puede representar muchas propiedades del terreno, por lo que este término se suele emplear cuando se habla de forma genérica. En el caso de ser representada la cota o altitud de puntos del terreno se denominarán Modelos Digitales de Elevación (MDE), lo mismo sucederá si se representan pendientes, aspecto, etc.. Por tanto, los modelos de elevación, pendiente y aspecto, son ejemplos de modelos digitales del terreno.

### 3.1.3.- ESTRUCTURAS DE LOS MDT:

Los modelos se construyen básicamente según dos formas de organización de sus datos (Felicísimo, 1994):

1. **Ráster o cuadricular**: el territorio se muestra como un mosaico formado por una retícula regular de puntos a los cuales se les asigna el valor de la variable en la superficie que representa.
2. **Vectorial**: basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos o vértices.

Dentro de estos dos grupos se distinguen otros tipos de estructuras de datos tal como se indica en la tabla siguiente:

<b>RÁSTER</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>MATRICES REGULARES</u> – Malla de celda cuadrada.</li> <li>- <u>MATRICES JERÁRQUICAS</u> – Matrices de resolución variable (<i>Quadtees</i>).</li> </ul>
<b>VECTORIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>CONTORNOS</u> – Curvas de nivel.</li> <li>- <u>TRIÁNGULOS</u> – Red de Triángulos Irregulares (TIN).</li> <li>- <u>FORMATO HÍBRIDO</u> – Conjuga estructuras regulares e irregulares.</li> </ul>

- ESTRUCTURAS RÁSTER:

- **Matrices regulares**: Se obtienen como resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media u otra propiedad media (del terreno) de cada celda, asociando dicho valor al punto medio de la misma. La retícula suele formar una red regular de celdas cuadradas, de tamaño definido, donde cada dato se localiza según su situación (fila y columna) en la matriz.

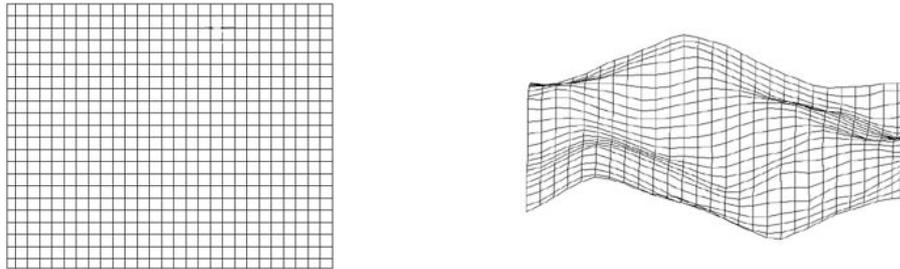


Figura 6: Ejemplo de un modelo por mallas regulares.

- **Matrices jerárquicas – “quatrees”**: Estas estructuras intentan solucionar uno de los principales problemas de las matrices regulares, que emplean una resolución espacial constante, independiente de la complejidad de la superficie a describir. Lo que hace la estructura, denominada *quadtree*, es variar la resolución espacial de las celdas, aumentando su tamaño en zonas de menor complejidad y reduciéndolo en zonas de mayor complejidad.

- ESTRUCTURAS VECTORIALES:

- **Estructura de contornos**: El modelo está definido mediante vectores compuestos por un conjunto de  $n$  pares de coordenadas  $(x, y)$  que definen la trayectoria de las curvas de nivel o líneas isohipsas, donde el número de elementos de cada vector es variable.

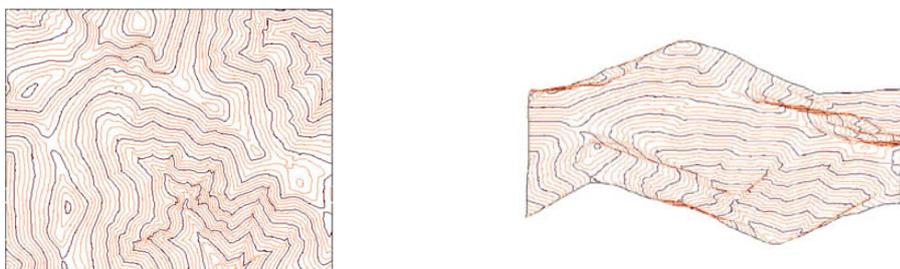


Figura 7: Ejemplo de un modelo de contornos.

- **Estructura de triángulos, “red de triángulos irregulares” (TIN):** Esta estructura se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados. Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, usualmente por triangulación de Delaunay, que se unen sobre el terreno para formar un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferentes grados de detalle, en función de la complejidad del relieve.

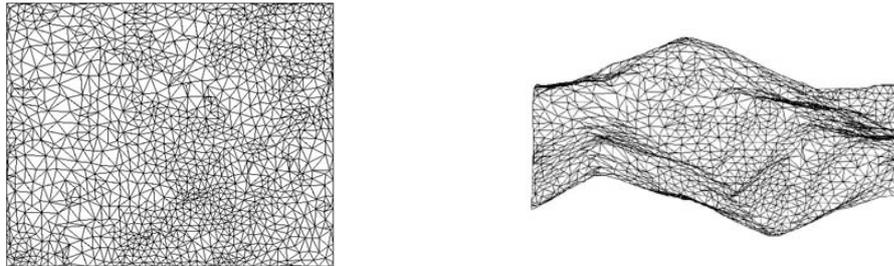


Figura 8: Ejemplo de un modelo con estructura TIN.

- **Formato híbrido:** Generalmente son estructuras regulares, como las mallas de celda cuadrada, conjugadas en ocasiones con otras estructuras irregulares. Esta particularidad, de no ser una estructura tan rígida, permite que las mallas se adapten a las líneas de ruptura y de contorno, dando lugar a un modelo mejor definido. Los vértices de la red, de coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , se unirán entre sí mediante vectores para definir la malla.

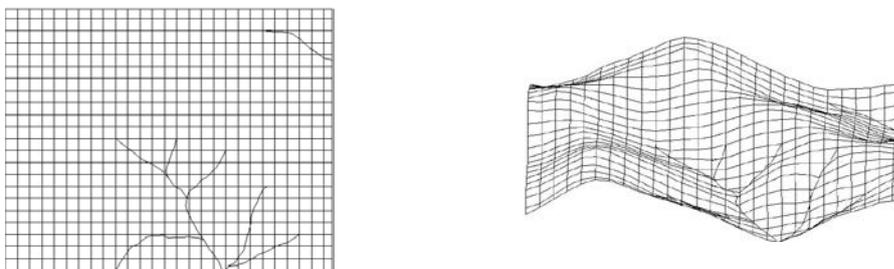


Figura 9: Ejemplo de un modelo con estructura híbrida.

Tras ver los distintos tipos de estructuras más usuales con los que se construyen los modelos digitales del terreno, parece conveniente estudiar cual o cuales de ellas podrán proporcionar mejores resultados y mayor agilidad en el tratamiento de sus datos. Es importante considerar el uso que se les vaya a dar, ya que condicionará la forma de estructuración de sus datos. Implica decidirse por un esquema concreto de almacenamiento, con sus ventajas e inconvenientes.

A pesar de las diferentes alternativas vistas, la capacidad actual de los sistemas informáticos en la adquisición automática de gran cantidad de datos, así como, su rápido manejo y tratamiento, han hecho que, en la práctica, solo se utilicen tres de las estructuras anteriores: las mallas regulares ráster, los TIN y el formato híbrido.

Las estructuras de contornos, debido a las dificultades que plantea el diseño de algoritmos para el tratamiento de sus datos, han quedado relegadas en gran medida a representaciones sobre papel. Así mismo, las matrices *quatrees*, aun por su eficiencia en la representación de superficies irregulares, plantean igualmente serios problemas en el diseño de algoritmos.

En cuanto aquellas estructuras más usadas, autores como Felicísimo opinan que tanto las mallas regulares como los modelos TIN proporcionan resultados muy parecidos y fidedignos en la representación de la topografía, aunque, estos últimos no permiten efectuar cálculos ni desarrollar modelos con la facilidad y rapidez de las matrices.

#### 3.1.4.- MÉTODOS DE CAPTURA DE DATOS PARA GENERAR EL MDT:

Los métodos más usuales de obtención de datos fuente para la generación de un MDT pueden dividirse básicamente en dos grupos: *métodos directos*, cuando la captura se realiza directamente sobre el terreno real; y *métodos indirectos*, cuando se utilizan documentos analógicos o digitales elaborados previamente (cartografía, fotogramas,...).

- **Métodos directos:**

Son métodos en los que se utilizan instrumentos que permiten realizar mediciones directas sobre los objetos reales. La elección del aparato más idóneo dependerá en cada caso, principalmente, del elemento a medir, así como, de la precisión y de la escala a la que se vaya a representar.

Aunque los instrumentos clásicos, como calibres, rodetes, cintas métricas, etc., han quedado relegados a levantamientos especiales, todavía se sigue recurriendo a ellos para mediciones de pequeños objetos de los que no es necesaria una excesiva precisión.

Generalmente los equipos más empleados son las estaciones totales, equipadas con sistemas de medición electromagnética de distancias o medición láser, así como, los denominados sistemas de posicionamiento global (GPS). Su uso, sin embargo, tiene como inconveniente la necesidad de recurrir a una elevada inversión en recursos para realizar una toma de datos precisa y, en el caso del GPS, su limitación en zonas arboladas o con edificaciones. En ocasiones se utilizan solo como un recurso de apoyo a otros sistemas de captura.



Figura 10: Ejemplo de una chimenea medida con Estación total y mallada para generar el modelo

Actualmente, se está desarrollando un nuevo sistema que permite la captura de un gran número de puntos en un tiempo mínimo, mediante barridos láser. Los aparatos utilizados son los llamados *Escáner 3D*.

▪ **Métodos indirectos:**

Dentro de este grupo pueden citarse, entre otros, los métodos de digitalización de mapas, de forma manual o automática; los métodos de restitución fotogramétrica, con estereo-imágenes analógicas o digitales; y la interferometría radar.

- *Digitalización de mapas:*

La digitalización ha sido uno de los métodos más empleados para la obtención de cartografía digital aprovechando los mapas existentes. Tradicionalmente el proceso se realizaba de forma manual con un tablero digitalizador sobre el que se colocaba el mapa, sin embargo, debido a la lentitud en la etapa de digitalización y su elevado coste, se han desarrollado alternativas de digitalización automática.

En la digitalización automática la información del documento original es capturada por un escáner, vectorizada y posteriormente editada. El principal problema que surge con este método es que los originales suelen ser complejos, con

más información de la estrictamente deseable, lo que implica que la fase de revisión y corrección sea muy lenta y costosa, hasta el punto de tener un rendimiento menor que la digitalización manual.

*- Restitución fotogramétrica:*

Los sistemas fotogramétricos se basan en mediciones sobre pares estereoscópicos de la zona a estudiar. Según el método de extracción de la información puede hablarse de restitución numérica, analítica o digital, pudiendo ser ésta última manual, automática o semiautomática.

Cuando la captura se realiza de forma manual el proceso es lento y laborioso y por tanto costoso, lo que obliga a que se reduzca el número de puntos a tomar. No obstante, estos puntos suelen localizarse en las zonas de mayor interés y estar medidos con gran precisión.

Por el contrario, si se emplea un sistema fotogramétrico digital automático, el tiempo de medida de cada punto queda reducido drásticamente, permitiendo capturar gran cantidad de puntos. Posiblemente muchos de estos puntos no estén dispuestos de la manera más idónea e incluso tengan errores de medida, sin embargo, al aplicar a posteriori procedimientos estadísticos de filtrado de errores el modelo resultante tendrá la suficiente calidad. Así mismo, se suele realizar una etapa de edición y depuración del modelo, introduciendo información complementaria, como líneas de ruptura.

*- Interferometría radar:*

La idea consiste en estimar la altitud del terreno mediante la medida de fase en imágenes radar.

**3.1.5.- ALGORITMOS PARA LA GENERACIÓN DEL MDT:**

Generalmente los datos fuente empleados para la construcción de un modelo digital del terreno estarán constituidos por un conjunto de puntos con coordenadas x, y, z, distribuidos de forma irregular, así como de una serie de líneas, que en unos casos delimitarán el contorno del modelo, las zonas de ruptura o, incluso, representarán las curvas de nivel.

Cuando lo que se quiere es generar un modelo con una estructura TIN, el procedimiento seguido es seleccionar los puntos situados estratégicamente en zonas definitorias de la superficie, que constituirán los vértices de los triángulos de la red. En el caso de existir líneas de ruptura, estas se tomarán como caras de los triángulos.

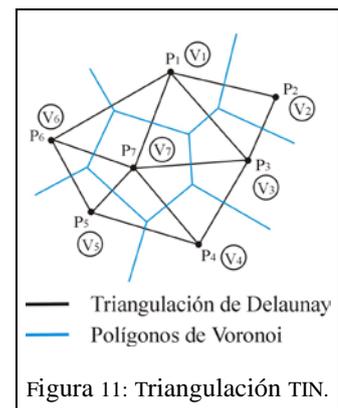
Si en lugar de construir una estructura TIN se quiere generar por mallas regulares, la obtención del MDT requiere un proceso previo de interpolación de los datos, de manera que pueda ser determinada la componente altimétrica de los nodos intersección de las celdas a partir de los datos del entorno. Se han propuesto y desarrollado muchos algoritmos para la generación de MDTs por interpolación, destacando los que se presentan a continuación:

▪ **Red Irregular de Triángulos (TIN):**

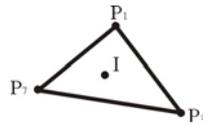
Antes de proceder a la interpolación se realiza un paso previo de triangulación, donde se genera una red de triángulos irregulares – *triangulated irregular network*, *TIN* -, a partir de los puntos de muestreo.

La malla de triángulos TIN se construye mediante la triangulación de Delaunay y los polígonos de Voronoi, siguiendo estos pasos:

- Partimos de un conjunto de puntos. Si unimos dos de ellos,  $P_n$  y  $P_m$ , la mediatriz del segmento dividirá el plano en dos regiones,  $V_n$  y  $V_m$ , quedando el conjunto de puntos dividido en dos según su proximidad a  $P_n$  o  $P_m$ .
- Si hacemos lo mismo con los demás puntos, las intersecciones de las mediatrices formarán unos polígonos convexos, denominados *polígonos de Voronoi*, en cuyo interior se encontrará un punto muestral.
- Finalmente, uniendo los puntos muestrales que contengan un lado de polígono común se obtendrá la *triangulación de Delaunay*.



Una vez generada la malla de triángulos de Delaunay se procede a la interpolación, suponiendo planas las zonas comprendidas entre los tres vértices de un triángulo:



$$\begin{matrix} Z_1 & P_7 \cdot Y_1 & P_1 \cdot X_1 & P_3 \end{matrix}$$

Esta interpolación supone que P esta entre la altura máxima y mínima de los vértices del triángulo, aun así, sus resultados son satisfactorios.

- **Inverso de la distancia:**

Es un método de interpolación donde el valor Z del punto buscado se determina en función de los datos conocidos que hay a su alrededor y de su distancia. Según su proximidad, a los datos se les asigna un peso, que como indica el mismo nombre del método será el inverso de la distancia - *inverse distance weighting, IDW* -, siendo menor cuanto más lejos del punto buscado este, hasta una distancia donde los datos son descartados.

La ecuación general a emplear es:

$$Z_{X_0} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{d_i} Z_{X_i}}{\sum_{i=1}^n W_{d_i}}$$

Siendo  $W_{d_i}$  el peso de la ponderación,  $d_i$  distancia al punto buscado  $X_i$ ,  $Z_{X_i}$  el valor altimétrico de cada punto que interviene en la interpolación, y  $n$  el número de puntos empleados.

Este es un algoritmo que permite generar un MDT de forma rápida y sencilla, sin embargo, la calidad final del modelo dependerá del número y distribución de los puntos de partida.

- **Kriging (Variable regionalizada):**

*Kriging*, al igual que el método anterior, deduce el valor z del punto buscado a partir de los circundantes y en función de las distancias que los separan. Sin embargo, este método difiere del anterior al tratar a la altitud como una variable regionalizada.

Realiza un estudio previo de autocorrelación espacial de la variable a interpolar, determinando los valores de *semivarianza*, que indican el grado de correlación; y que al relacionarlos con las distancias se obtiene el gráfico de *semivariograma*, que muestra la variación de la correlación entre los datos en

función de la distancia, y permite determinar la distancia a partir de la cual los puntos son descartados para la interpolación.

Aunque *kriging* es un método de estimación óptimo a nivel estadístico, presenta dificultades cuando se emplea en la generación de MDTs, debido a que no permite el tratamiento de discontinuidades topográficas que supongan cambios bruscos. Además, requiere un tiempo de procesamiento muy alto.

### **3.2.- CAPTURA AUTOMÁTICA DE DATOS MDT POR FOTOGRAMETRÍA DIGITAL:**

La fotogrametría digital, como ya se ha indicado en apartados anteriores, es un método indirecto de captura de datos, basado en el análisis de pares estereoscópicos. El hecho de ser un sistema digital permite introducir automatismos en algunos de sus procesos, lo que equivale a una mayor comodidad, facilidad y rapidez en su manejo.

Los procesos automáticos se realizan en estaciones fotogramétricas digitales, donde se introducen las imágenes digitales y se orientan para formar el modelo estereoscópico. A partir de este modelo y aplicando operaciones de correlación se obtienen los datos necesarios para generar el MDT.

#### **3.2.1.- CONCEPTO DE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA:**

La correlación automática, conocida también como correspondencia de imágenes (*image matching*), es el proceso de identificar y medir automáticamente detalles o entidades homólogas puntuales, lineales y superficiales de dos o más imágenes. La búsqueda de entidades homólogas se realiza aplicando una serie de métodos y estrategias donde su fiabilidad y precisión se indica por un valor denominado *coeficiente de correlación*. Por otro lado, la determinación de las coordenadas tridimensionales se realiza midiendo el paralaje estereoscópico, es decir, midiendo el desplazamiento de los puntos homólogos en dos fotogramas consecutivos.

La búsqueda de entidades conjugadas es proporcional, por un lado, a la resolución de cada una de las imágenes y, por otro, al porcentaje de recubrimiento. Las entidades a medir pueden ser elementos predefinidos, como las marcas fiduciales utilizadas en la fase de orientación; o representaciones del mundo real, por ejemplo puntos que definan el MDT.

### 3.2.2.- MÉTODOS DE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA:

Los métodos de correlación calculan el *coeficiente de correlación* para poder determinar las entidades homologas, así mismo, este índice proporciona el grado de semejanza entre las entidades identificadas. Normalmente el coeficiente se calcula mediante una función de costos, como puede ser el factor de correlación cruzado o la desviación típica en la correspondencia por mínimos cuadrados.

Los tres métodos de correspondencia de imágenes existentes son:

- **CORRESPONDENCIA POR ÁREAS:**

Es un método basado en comparar las similitudes radiométricas de una pequeña subimagen o ventana, generalmente cuadrada y centrada en el píxel de interés, con su correspondiente en la otra imagen del par.

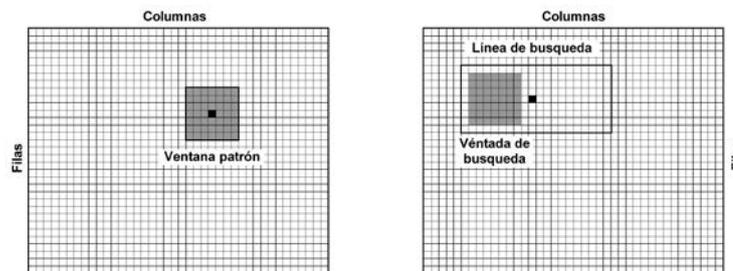


Figura 12: Ventana de referencia en la imagen izquierda y ventana de búsqueda en la imagen derecha

La similitud se evalúa calculando el coeficiente de correlación para diversos desplazamientos de la ventana y considerando el más idóneo el de valor máximo. Cabe resaltar, que al iniciar la búsqueda, este método necesita una mayor aproximación a la zona de correspondencia que los otros dos métodos que veremos a continuación.

Los criterios más comunes para el cálculo del coeficiente son:

- ***Correspondencia por correlación cruzada:*** El coeficiente de correlación  $\rho$  es:

$$\frac{R_B}{R \cdot B}$$

Y sus términos son:

$\sigma_{RB}$  - covarianza entre la ventana de referencia y la ventana de búsqueda.

$\sigma_R$  - desviación típica de la ventana de referencia (Patrón).

$\sigma_B$  - desviación típica de la ventana de correspondencia.

- **Correspondencia por mínimos cuadrados:** La idea de este método es minimizar los cuadrados de las diferencias de los niveles de grises entre la ventana de referencia y la de búsqueda.

- **CORRESPONDENCIA BASADA EN ENTIDADES:**

El método consiste en determinar elementos o características homólogas de las imágenes a partir de sus atributos, tales como su forma, orientación, longitud, curvatura, brillo medio, etc. Se trata de elementos que pueden ser puntuales, lineales o, en menor medida, superficiales, como esquinas de edificios, intersecciones, bordes, etc..

Para su aplicación se distinguen dos fases: una primera donde se localizan los elementos de interés, independientemente en cada una de las imágenes, y sus atributos; y otra segunda donde se realiza la búsqueda y asignación de entidades homólogas.

- **CORRESPONDENCIA RELACIONAL:**

Es una correspondencia basada en la detección y comparación de estructuras topológicas extraídas de las imágenes, como nodos, conexiones de líneas, relaciones entre objetos vecinos, etc..

### 3.2.3.- ESTRATEGIAS DE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA:

Los métodos citados en el apartado anterior se aplican conjuntamente con una serie de estrategias que buscan solucionar algunos de los problemas que surgen en la búsqueda de entidades homólogas. Generalmente se trata de problemas que dan lugar a falsas correlaciones o impiden la identificación.

A continuación se describen los problemas más relevantes y las estrategias seguidas para solucionarlos:

- Quizás los problemas que peor solución tienen son los debidos a distorsiones radiométricas producidas por cambios de iluminación, ruidos y propiedades de reflexión, así como, las distorsiones geométricas debidas al relieve, a las variaciones de escala y a las áreas ocultas. La suposición de considerar

constantes los efectos atmosféricos y de iluminación en el momento de la toma, de obtener las imágenes empleando bandas espectrales idénticas y de conocer los valores referentes a la toma fotogramétrica (recubrimientos, distancias de la cámara al objeto, etc.), facilitan las tareas de correspondencia.

- Cuando los métodos de correlación realizan la búsqueda, encuentran la dificultad de tener que trabajar sobre toda la imagen, lo que supone un cálculo excesivo, un elevado tiempo y la posibilidad de obtener más de una solución. El problema se resuelve acotando el espacio de búsqueda, de forma que la correspondencia se inicie en las proximidades de la verdadera solución. Para ello, la búsqueda se reduce a la zona de recubrimiento, y más concretamente, empleando el **constreñimiento epipolar**, a la línea epipolar.

Según el dibujo siguiente, la línea epipolar es aquella que se obtiene al hacer intersecar el par estereoscópico con el plano epipolar, definido éste por los centros de proyección  $C_1$  y  $C_2$  y por el punto terreno  $P$ . El plano epipolar contendrá, a su vez, a los puntos conjugados  $P_1$  y  $P_2$ .

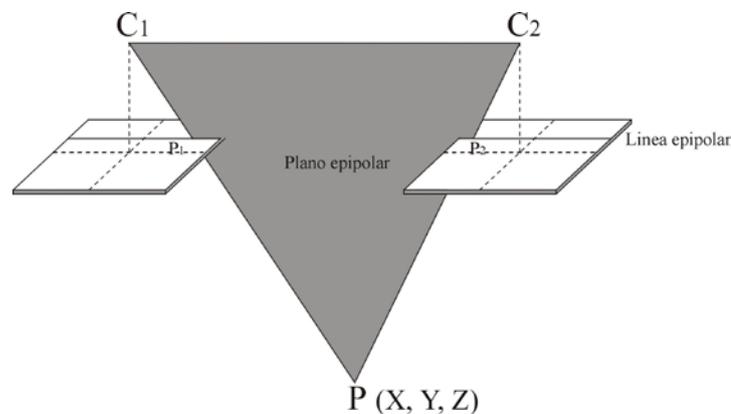


Figura 13: Geometría epipolar.

En la mayoría de los casos, las imágenes originales no cumplen la geometría epipolar, así que las estaciones digitales suelen normalizarlas (*proceso de epipolarización*) antes de trabajar sobre ellas. El proceso consiste en orientar las imágenes de forma que solo exista paralaje en uno de los ejes.

- Otra forma de reducir el espacio de búsqueda es empleando **imágenes jerárquicas o piramidales**. Se trata de ir aproximándose al punto homólogo

variando el tamaño del píxel, empezando por una resolución grosera de la imagen e ir mejorándola hasta llegar a la resolución original.

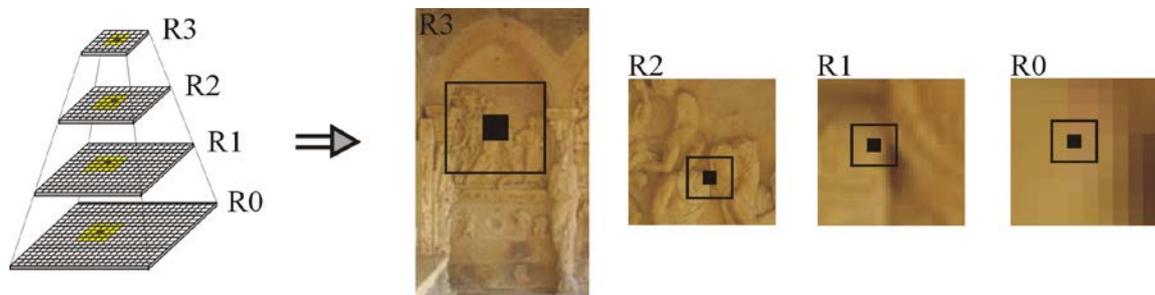


Figura 14: Estructura piramidal.

### 3.2.4.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MDTs:

Uno de los aspectos que influye en la calidad de los MDTs es el valor de error de la nube de puntos que los definen. Dicho error es la diferencia entre el valor medido y el valor real o verdadero (no siempre conocido) del punto, siendo mayor cuanto mayor sea la diferencia. Si el error es superior a las precisiones requeridas se tratará de un error grosero que habrá de ser eliminado o corregido.

Son varios los factores que influyen en la aparición de errores. Las principales fuentes de error surgen en la toma de los puntos de apoyo, en el proceso de orientación fotogramétrica y en la captura automática de los puntos que conforman el MDT.

El error máximo previsible de los puntos de apoyo, en caso de haber sido medidos por topografía clásica, será aquel de mayor error acumulado, cuyo valor se determinará en función de las características del instrumento y de la toma. Este valor indicará la precisión con que han sido capturados los puntos de apoyo y el límite a partir del cual los errores serán groseros.

La precisión a obtener en la fase de orientación dependerá de la calidad de los puntos de apoyo y de cuan buena sea su identificación en el par estereoscópico. Es recomendable que el número mínimo de puntos a emplear sea de cuatro, para contar con más datos de los estrictamente necesarios y poder determinar el error en esta fase, y que los puntos a utilizar estén distribuidos de la forma más apropiada.

En cuanto a los errores de autocorrelación, se producen por una falsa detección de las entidades homólogas, debido por lo general a un bajo contraste de las imágenes, a la existencia de texturas repetitivas o a reflejos. Su presencia puede ser detectada por el valor del coeficiente de correlación, sin embargo, este índice no aporta la cuantía en la que se produce el error, por lo que es necesario buscar estrategias que permitan evaluarlo y de igual modo que permitan determinar la calidad del MDT.

Antes de evaluar el MDT será preciso realizar un filtrado para eliminar aquellos puntos que no interesen y localizar los posibles errores groseros. Para localizar estos errores algunos autores proponen métodos en los que se consideran continuas las superficies correladas. Por ejemplo, Hannah (1981) utiliza tanto los valores de pendiente como los cambios de pendiente en dos direcciones perpendiculares para detectar los posibles puntos conflictivos. Así mismo, Felicísimo (1994) comparando el valor correlado con un valor interpolado a partir de los puntos próximos determina si la diferencia es grosera, y en caso de serlo sustituirá el valor original por el interpolado.

El control de los MDTs se puede hacer por medio de un reconocimiento visual, comparando el MDT sobre un modelo estereoscópico superpuesto o realizando un text estadístico a partir de unos puntos de control. El análisis visual no suele ser un método muy apropiado, ya que la presencia o ausencia de error queda al criterio subjetivo del operador, por este motivo, quizás el método que mejores resultados de sea el text estadístico. Los estadísticos recomendados según varios autores (Li, Z. 1991 y Yang el al, 2000) para la medida del error serían, el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC):

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i^{\text{medido}} - Z_i^{\text{real}}|$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{\text{medido}} - Z_i^{\text{real}})^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{\text{medido}} - Z_i^{\text{real}} - EM)^2}$$

Acerca del procedimiento para evaluar la precisión de los MDTs no existe actualmente en España una normativa establecida. Únicamente, en EEUU o Canadá podemos encontrar alguna norma sobre cómo controlar los modelos digitales de elevación elaborados a escalas pequeñas (1/25.000, 1/100.000). De estas normas resulta interesante destacar el uso de 28 puntos de control, 20 del interior y 8 de los bordes, a partir de los cuales se podrá valorar la precisión del MDT.

No solo el error presente en los puntos del MDT supone una cuestión relevante en la generación de un buen modelo, igualmente la densidad y distribución de los puntos influyen en el resultado final. Para mejorar el resultado se suelen también capturar líneas de ruptura y otros elementos morfológicos de interés, sobre todo en superficies con un relieve muy marcado.

Las líneas de ruptura (*breaklines*) se emplean para señalar las discontinuidades del terreno, los cambios bruscos de pendiente, con el objetivo de que el modelo quede lo mejor definido posible. Su captura se realiza manualmente, digitalizando puntos estereoscópicamente, de forma que los puntos que las integran queden lo mejor seleccionados y medidos. La ventaja de utilizar líneas de ruptura es el aumento considerable de la calidad del MDT, sobre todo en superficies rugosas, aunque presentan el inconveniente de que su captura ralentiza mucho el proceso de generación del modelo. Actualmente, se está investigando en la detección automática de líneas de ruptura.

## 4.- LAS ORTOFOTOGRAFÍAS Y LOS ORTOFOTOMOSAICOS.

### 4.1.- INTRODUCCIÓN A LAS ORTOFOTOGRAFÍAS.

Basado en los principios enunciados por Lacmann en 1931 y años más tarde por Ferber (1933), el inicio de la ortofotografía puede considerarse con la construcción del primer ortoprojector analógico en 1955 por Bean (*Orthophotoscope*). Sin embargo, no es hasta la irrupción de las técnicas de ortoproyección digital cuando experimenta un mayor desarrollo y difusión en todos los campos de la fotogrametría.

#### 4.1.1.- DEFINICIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍA:

Una ortofotografía es un documento fotogramétrico generado a partir de una imagen fotográfica, que conserva toda la información de ésta y con características geométricas equivalentes a las de los planos. Esto permite, que pueda ser combinado con información cartográfica o SIG, para generar *ortofotomapas* u *ortofotoplanos*; o que se pueda superponer sobre un modelo tridimensional, para formar un modelo virtual.

La transformación a ortofotografía, proceso denominado *rectificación*, permite eliminar los efectos de inclinación de la cámara respecto del sistema de referencia establecido, así como, los desplazamientos causados por el relieve, característicos de la perspectiva cónica.

Una característica a tener en cuenta cuando se genera una ortofotografía es la rugosidad del terreno. En superficies continuas por lo general no suele haber inconvenientes; los problemas surgen en zonas con muchas discontinuidades, como áreas urbanas (en fotogrametría aérea) o elementos arquitectónicos y arqueológicos (en fotogrametría de objeto cercano), donde los cambios bruscos de altura o profundidad dan lugar a que los elementos aparezcan desplazados e inclinados en la imagen. Estos desplazamientos se producen como consecuencia de la proyección cónica, y aumentan a medida que nos alejamos del centro de proyección de la imagen, provocando que otros elementos queden ocultos tras ellos. Así mismo, los elementos que más sobresalen (más cercanos a la cámara fotográfica) también aparecen relativamente más grandes en la imagen.

Como consecuencia de las características de proyección de la imagen, indicadas anteriormente, las ortofotos a generar podrán ser:

- **Ortofoto convencional:** Normalmente los desplazamientos de los elementos son patentes en ella, ya se genera utilizando un modelo del terreno con poca definición de los detalles y/o rectificando los bordes de la imagen. La ventaja que tiene es que el número de imágenes a utilizar es menor que con el caso siguiente.

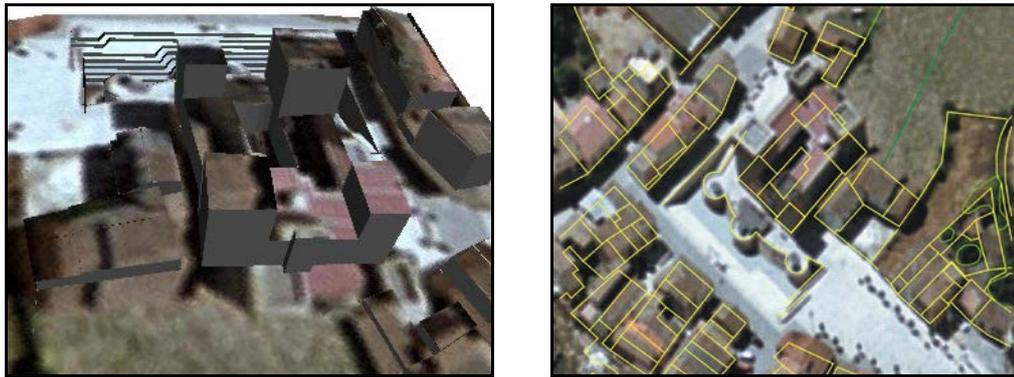


Figura 15: Ejemplo de una ortofoto convencional en los extremos de la imagen.

En la ortofotografía de la figura 15 se puede ver como los edificios han sido rectificados de tal forma que dan la sensación de estar inclinados.

- **Ortofoto verdadera:** En este caso, el modelo que se utiliza representa de forma rigurosa los elementos de la superficie a ortorectificar y de la imagen solo se usa la zona más próxima al centro de proyección.



Figura 16: Ejemplo de una ortofoto verdadera.

En la ortofotografía de la figura 16 se puede ver como desaparece la sensación de inclinación y como no aparecen zonas ocultas. Así mismo, los edificios aparecen en su posición correcta.

#### 4.1.2.- PROPIEDADES DE LAS ORTOFOTOGRAFÍAS:

La aparición de las ortofotografías digitales supuso un importante avance para la fotogrametría, sobre todo por la posibilidad de obtener un nuevo documento donde encontrar representados todos los elementos capturados en la imagen de forma objetiva, con una geometría equivalente a un plano donde las medidas lineales, angulares y superficiales se corresponden con las del terreno a escala, y sobre todo por su fácil interpretación (no requiere de un usuario especializado).

Otras propiedades destacables de las ortofotografías son:

- Se trata de un documento rápido de obtener y a bajo coste, de fácil distribución y archivación y muy útil para trabajos de actualización de bases de datos cartográficas y temáticas, catastrales y de ordenación urbana, etc., y para localizar posibles errores planimétricos en esos documentos.
- A cada píxel de la ortofotografía le corresponde una posición en el sistema de referencia empleado, de tal manera que la información que se extraiga de él estará georreferenciada, en un sistema arbitrario o definido por el usuario
- Son multitemporales, es decir, se pueden obtener documentos homogéneos con un amplio rango de independencia de cuales sean las condiciones de iluminación.
- Igualmente son multiescalares, poseen una escala uniforme que al disminuir su tamaño no deforma los datos en él contenidos, sin embargo, el proceso contrario no garantiza un aspecto visual deseable.

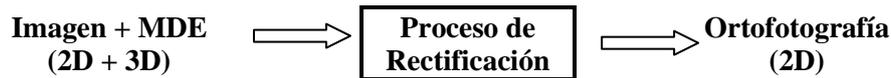
#### **4.2.- PROCESO DE GENERACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS.**

Un paso previo antes de generar una ortofotografía es definir la superficie sobre la que proyectar la imagen rectificadas para su posterior desarrollo al plano, de todos es conocida la dificultad de proyectar elementos irregulares sobre superficies planas. En fotogrametría aérea se suelen utilizar desarrollos cartográficos, y en fotogrametría de objeto cercano cuando las superficies a representar no se pueden adaptar a planos, son más complejas, se suelen adaptar a superficies de revolución, como esferas, conos (bóvedas, torres) o cilindros (arcos, ábsides), que posteriormente se desarrollan en planos.

4.2.1.- MÉTODOS DE ORTORECTIFICACIÓN DIGITAL:

Básicamente son los métodos que permiten transformar una imagen cónica a ortogonal, eliminando el desplazamiento producido por la inclinación del eje de la toma y, en caso de rectificarse conjuntamente con un modelo digital del terreno, se elimina también el efecto orográfico.

El esquema básico de ortorectificación es:



Los métodos más frecuentes de rectificación de imágenes digitales son:

- **Rectificación polinómica:**

Este método corrige las proyecciones de la imagen a partir de una red de puntos de control, relacionando por medio de ecuaciones polinómicas sus coordenadas en la imagen original (x, y) con sus coordenadas en la imagen rectificadora (x', y'):

$$\begin{aligned}
 x &= x^i A y' \\
 y &= y^i B y'
 \end{aligned}$$

El orden del polinomio depende del número de puntos de control utilizados, a mayor número de puntos no siempre se consiguen mejores resultados, todo depende de las características del terreno.

$$\begin{aligned}
 x^i &= (1, x', x'^2, x'^3, \dots) \\
 y^i &= (1, y', y'^2, y'^3, \dots)
 \end{aligned}$$

A, B son las matrices de los coeficientes de los polinomios.

$$\begin{array}{cccc}
 a_{00} & a_{01} & a_{02} & \dots \\
 a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots \\
 a_{20} & a_{21} & a_{22} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{cccc}
 b_{00} & b_{01} & b_{02} & \dots \\
 b_{10} & b_{11} & b_{12} & \dots \\
 b_{20} & b_{21} & b_{22} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{array}$$

Con este método los desplazamientos debidos al relieve no se corrigen adecuadamente, y tampoco considera las características específicas del sistema de captura de las imágenes.

Se suele emplear para rectificar imágenes de satélite, ya que en ellas los desplazamientos debidos al relieve son muy pequeños.

- **Rectificación proyectiva:**

Es un método donde se establece la relación existente entre dos planos: el plano medio definido por las coordenadas terreno (X, Y) y el plano definido por las coordenadas imagen (x, y). La relación entre planos queda definida por 8 parámetros, que pueden calcularse a partir de cuatro puntos de control, utilizando para ello la transformación bidimensional proyectiva:

$$X \quad \frac{a_1x' \quad b_1y' \quad c_1}{a_3x' \quad b_3y' \quad 1} \quad Y \quad \frac{a_2x' \quad b_2y' \quad c_2}{a_3x' \quad b_3y' \quad 1}$$

La rectificación proyectiva se suele emplear cuando los terrenos o superficies son prácticamente horizontales o llanos. Habitualmente en arquitectura, donde la mayoría de las fachadas a documentar son planas.

- **Rectificación diferencial:**

Es el método más utilizado para la obtención de ortofotografías, por ser el que mejores resultados proporciona. Se basa en la construcción de un modelo digital ráster (empleando para ello el valor altimétrico de un MDT y el valor radiométrico de cada píxel de la imagen) donde el tamaño de la rejilla queda definido por el tamaño del píxel, y proyectarlo ortogonalmente sobre un plano.

La relación entre la proyección ortogonal y la cónica viene dada por las ecuaciones de colinealidad:

$$x \quad c \frac{m_{11} X \quad X_0 \quad m_{12} Y \quad Y_0 \quad m_{13} Z \quad Z_0}{m_{31} X \quad X_0 \quad m_{32} Y \quad Y_0 \quad m_{33} Z \quad Z_0}$$

$$y \quad c \frac{m_{21} X \quad X_0 \quad m_{22} Y \quad Y_0 \quad m_{23} Z \quad Z_0}{m_{31} X \quad X_0 \quad m_{32} Y \quad Y_0 \quad m_{33} Z \quad Z_0}$$

En estas ecuaciones las coordenadas de la imagen (x, y) se obtienen en función de las coordenadas terreno (X, Y, Z) y los parámetros de orientación externa (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub>, ω, φ, κ).

Por último, para poder realizar la transformación se ha de disponer de los siguientes parámetros:

- Orientación interna de la cámara: Coordenadas del punto principal de la cámara, distancia principal ( $c$ ), marcas fiduciales y distorsión de la lente.
- Orientación externa: Coordenadas del centro de proyección de la cámara ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) y los tres giros de la cámara ( $\omega, \varphi, \kappa$ ).
- Tamaño del píxel de la imagen digital en unidades cámara (mm).
- Tamaño de la malla del modelo digital en unidades terreno (m).
- Coordenadas cartográficas de referencia del modelo digital del terreno.

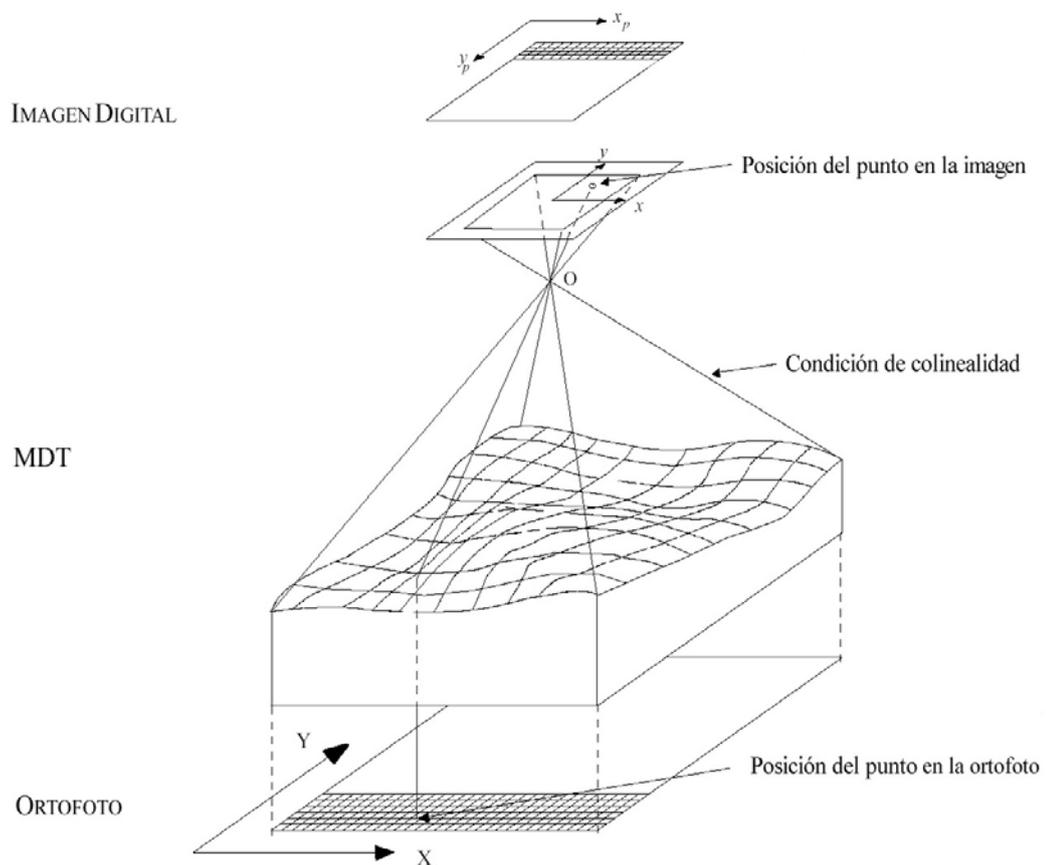


Figura 17: Esquema de generación de una ortofotografía digital.

#### 4.2.2.- TÉCNICAS DE REMUESTREO:

Cuando se realiza una rectificación, generalmente la posición de los píxeles proyectados no coinciden con la posición de los píxeles originales, lo que supone que el nivel de gris de los nuevos píxeles a cambiado. Para poder asignarles un valor de gris a los nuevos píxeles se suelen utilizar diferentes métodos de remuestreo (*resampling*):

- **Vecino más próximo:**

Como su nombre indica, este método asigna a cada celda de la ortofoto el valor de gris del píxel más cercano en la imagen original. Se trata del método más simple y rápido de aplicar, sin embargo, geométricamente sus resultados no son tan precisos como los obtenidos con los métodos siguientes.

Siendo P el punto más cercano, su posición vendrá dada por las coordenadas:

$$x_p \text{ Integer } x \ 0.5$$

$$y_p \text{ Integer } y \ 0.5$$

- **Interpolación bilineal:**

Este método lo que hace es un promedio de los valores de gris de los cuatro píxeles más próximos de la imagen original, ponderando según la distancia; de tal forma que tienen mayor influencia los píxeles más cercanos.

Suele ser el método más utilizado, aunque tiene el inconveniente de difundir los contrastes espaciales de la imagen original.

- **Convolución bicúbica:**

Realiza el promedio de los niveles de gris de los 16 píxeles más próximos. Es el más preciso de todos y el que mejor efecto visual tiene, pero supone un volumen de cálculo mucho mayor.

#### 4.3.- PROBLEMAS DE CALIDAD EN LA ORTOFOTOGRAFÍA.

Aplicar un buen control de calidad, a cada uno de los materiales y pasos realizados para la obtención de la ortofotografía, equivaldrá a obtener un resultado óptimo del producto. Veremos cuales son los problemas más frecuentes y su origen.

#### 4.3.1.- DEFECTOS DE CAPTURA Y/O ESCANEADO DE LAS IMÁGENES:

Por lo general, las imágenes obtenidas a partir de fotogramas analógicos son más propensas a tener estos problemas. No se trata de las distorsiones o deformaciones producidas por la cámara o el negativo, o por los posibles errores producidos por el escaneo; ya que normalmente los aparatos que se usan están calibrados o poseen mecanismos para detectar estos errores. Se trata de defectos aleatorios, producidos durante el revelado, por arañazos del fotograma durante su manipulación, marcas en la óptica de la cámara e incluso pequeñas manchas de suciedad; que debido a las altas resoluciones con las que se trabaja (de micras) quedan plasmadas en la imagen.

Para evitarlos hay que manipular con precaución los originales, y en caso de que aparezcan corregir las imágenes con programas de edición.

#### 4.3.2.- FALLOS DEBIDOS AL MODELO DIGITAL DEL TERRENO:

Los principales problemas aparecen cuando el MDT utilizado no posee la calidad adecuada:

- *Presencia de zonas borrosas empleando originales nítidos:* Puede deberse a dos causas, o bien a errores altimétricos en puntos del MDT, o bien por estiramiento de la imagen al rectificar zonas con fuerte relieve y alejadas del punto principal. En el primer caso, se ha de corregir el MDT; y en el segundo caso, se ha de procurar que las zonas con fuerte relieve queden centradas.
- *Ortofotografías incompletas:* Se ha de comprobar que el MDT cubre todo el área a rectificar.
- *Aparición de imágenes dobles:* El error se produce como consecuencia de falta de continuidad en el modelo digital del terreno, o por una mala orientación de los modelos contiguos (habitual en los primeros ortoproectores digitales).
- *Aparición de porciones de ortofotografía no cubiertas:* Se debe a una mala orientación del MDT respecto de la imagen.
- *Errores planimétricos:* Se comprueba comparando medidas planimétricas efectuadas sobre el terreno con medidas realizadas sobre la ortofotografía. Lo normal es que los posibles errores se deban a una falta de precisión del MDT.

#### 4.4.- AJUSTE RADIOMÉTRICO DE LAS ORTOFOTOS:

El ajuste radiométrico se aplica sobre todo a las ortofotografías que componen un ortofotomosaico, de manera que equilibren sus diferencias de brillo y contraste para que el mosaico resultante sea lo más homogéneo posible (Mirar las figuras 20 y 21).

Las diferencias radiométricas y cromáticas pueden originarse por varias causas: por el degradado óptico, por el revelado fotográfico y el posterior escaneado de los fotogramas, por las variaciones ambientales y de luminosidad de una toma a otra, etc.. Las imágenes procedentes de cámaras digitales ofrecen mayor calidad radiométrica y espectral que las analógicas, ya que entre otras cosas no se ven afectadas por los procesos de revelado y escaneado.

##### 4.4.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICOS E HISTOGRAMAS DE LA ORTOFOTO:

Cualquier ajuste a realizar sobre las ortofotos parte del análisis de su nivel de radiancia para cada banda (una banda si es en blanco y negro, tres si es en color RGB) y del grado de homogeneidad existente entre los píxeles que la componen.

Una valoración puede efectuarse aplicando operaciones estadísticas con los datos de intensidad de tono de gris o Nivel Digital –ND- de cada banda –b-, como la media –M-:

$$M_b = \frac{\sum_{i=1}^n ND_{i,b}}{n}$$

**n** – N° de píxeles de la banda.

que indica el brillo o luminosidad de la banda,  $\%$  la desviación típica – $\sigma$ -:

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ND_{i,b} - M_b)^2}{n}}$$

que indica el grado de contraste, siendo menor cuanto más pequeño sea su valor.

Otra valoración puede desprenderse del análisis del histograma, que muestra gráficamente o por tablas la distribución de píxeles en cada banda de la ortofoto según su intensidad de tono de gris. Permite determinar la tonalidad dominante en cada banda, y su anchura esta relacionada con el contraste (a mayor anchura mayor contraste).

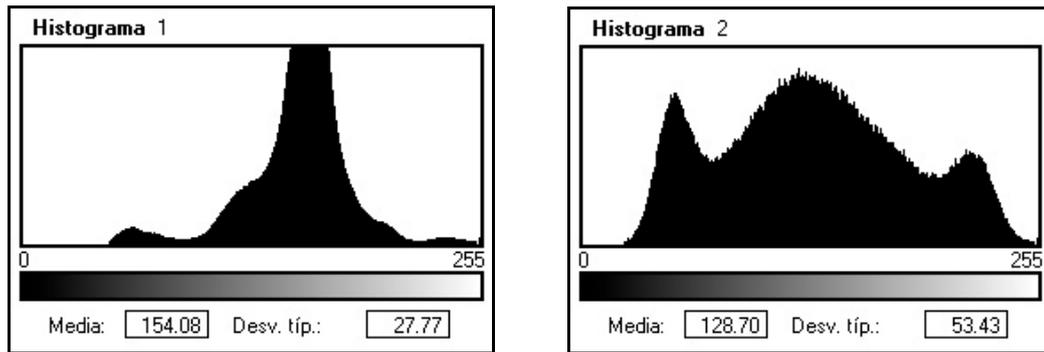


Figura 18: El histograma 2 indica mayor contraste, por poseer mayor dispersión y mayor valor de desviación típica.

Además de analizar individualmente cada banda, resulta interesante estudiar las relaciones entre bandas, generando los llamados dispersogramas.

4.4.2.- AJUSTE DEL HISTOGRAMA:

El ajuste busca emparejar los histogramas de distintas ortofotos para conseguir que tengan características radiométricas similares. Para realizar el ajuste se utiliza un histograma de referencia  $h_1(v_{ref})$ , que puede escogerse de una ortofoto concreta o del promedio de distintas ortofotos, y el histograma de la ortofoto a modificar  $h_0(v_{mod})$ .

La relación entre los dos histogramas se establece por  $c_1(v_{ref}) = c_0(v_{mod})$ , donde  $c$  es la función de densidad acumulada del histograma:

$$c_i(v_j) = \frac{\int_0^{v_j} h_i(v) dv}{\int_0^{v_f} h_i(v) dv}$$

La ecuación de ajuste del histograma puede entonces escribirse como:

$$v_{ref} = c_1^{-1}(c_0(v_{mod}))$$

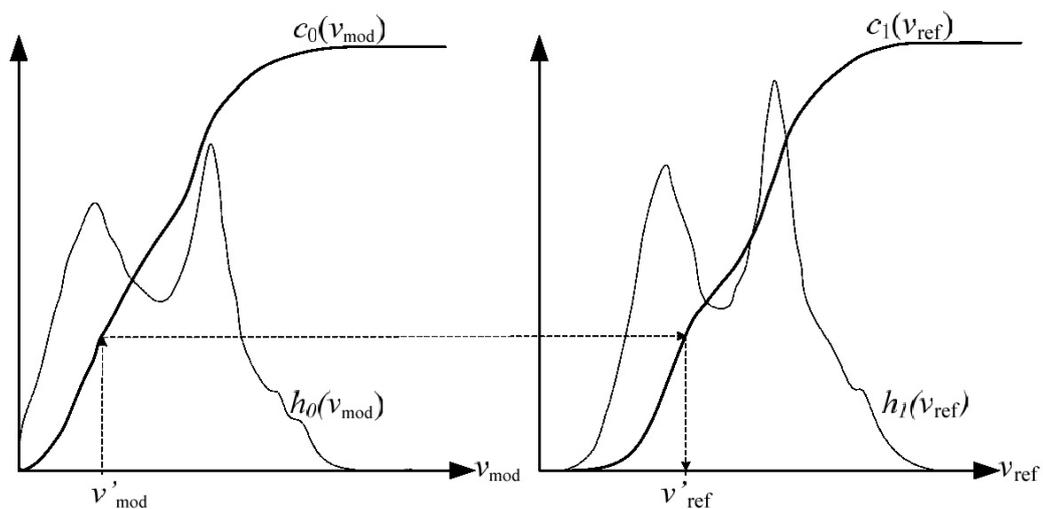


Figura 19: Método de ajuste del histograma.

#### 4.5.- CONFECCIÓN DE ORTOFOTOMOSAICOS:

Cuando no es posible plasmar directamente en una sola ortofotografía la superficie a documentar, el procedimiento que se sigue es generar todas las ortofotografías necesarias, con un cierto grado de recubrimiento entre ellas, y unir las para formar un *mosaico*. Para obtener un buen resultado es conveniente que las ortofotografías estén perfectamente georreferenciadas y a la misma escala.



Figura 20: Imágenes antes de generar el ortofotomosaico.

Antes de proceder a unir las ortofotografías es necesario aplicarles un ajuste radiométrico, para que todas posean características radiométricas similares y su unión no sea altamente visible.



Figura 21: Mosaico resultante.

En la confección de mosaicos sólo se tienen en cuenta las zonas de solape entre ortofotografías contiguas. Sobre esas zonas se marcan las líneas de unión, que pueden

ser determinadas manualmente o, en algunos programas, automáticamente. Si son digitalizadas por el operador se procura que estén en aquellas áreas donde la unión quede lo más disimulada posible, como: caminos, en fotogrametría aérea; o zonas de unión del aparejo, en fotogrametría de objeto cercano. Posteriormente, el programa se encarga de cortar las ortofotos por la línea de unión y hacer un suavizado o degradado del corte para disimular la franja de unión.

En el apartado siguiente veremos algunos métodos de unión automática de ortofotografías.

#### 4.5.1.- MÉTODOS DE UNIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS:

Dentro de los métodos de unión automática de ortofotografías distinguimos dos grupos:

- Por un lado, los métodos que no determinan líneas de unión, sino que la unión se efectúa entre los píxeles coincidentes en todo el área de solape:
  - **Mezclando el valor de los píxeles coincidentes:** se calcula el valor *medio* de los píxeles de las dos ortofotos, se mezcla asignando pesos a cada píxel como el *inverso de la distancia* al centro de la ortofoto o se mezcla asignando pesos a cada píxel como el *inverso del cuadrado de la distancia* al centro de la ortofoto.
  - **Dándole mayor peso al píxel más claro.**
  - **Dándole mayor peso al píxel más oscuro.**
- Por otro lado, están los métodos que determinan automáticamente líneas de unión. Sobre este tipo de métodos los más interesantes son los que utilizan criterios geométricos:
  - **Según la proximidad al centro de la ortofoto:** se establece el valor del píxel que se encuentra más cerca del centro de la ortofoto, se cree que cuanto más cerca este el píxel al centro menores serán las deformaciones geométricas.
  - **Según la distancia a los límites de la ortofoto:** se escogen los píxeles que se encuentren más alejados de los límites de la ortofoto. Las líneas de unión estarán entre los límites de las dos ortofotos.
  - **Según la distancia al centro de la ortofoto y a los límites de la ortofoto.**

#### 4.5.2.- PROBLEMAS DE CALIDAD EN LOS ORTOFOTOMOSAICOS:

Como ya se ha visto en las ortofotografías, en los ortofotomosaicos surgen otra serie de problemas que afectan a su calidad visual:

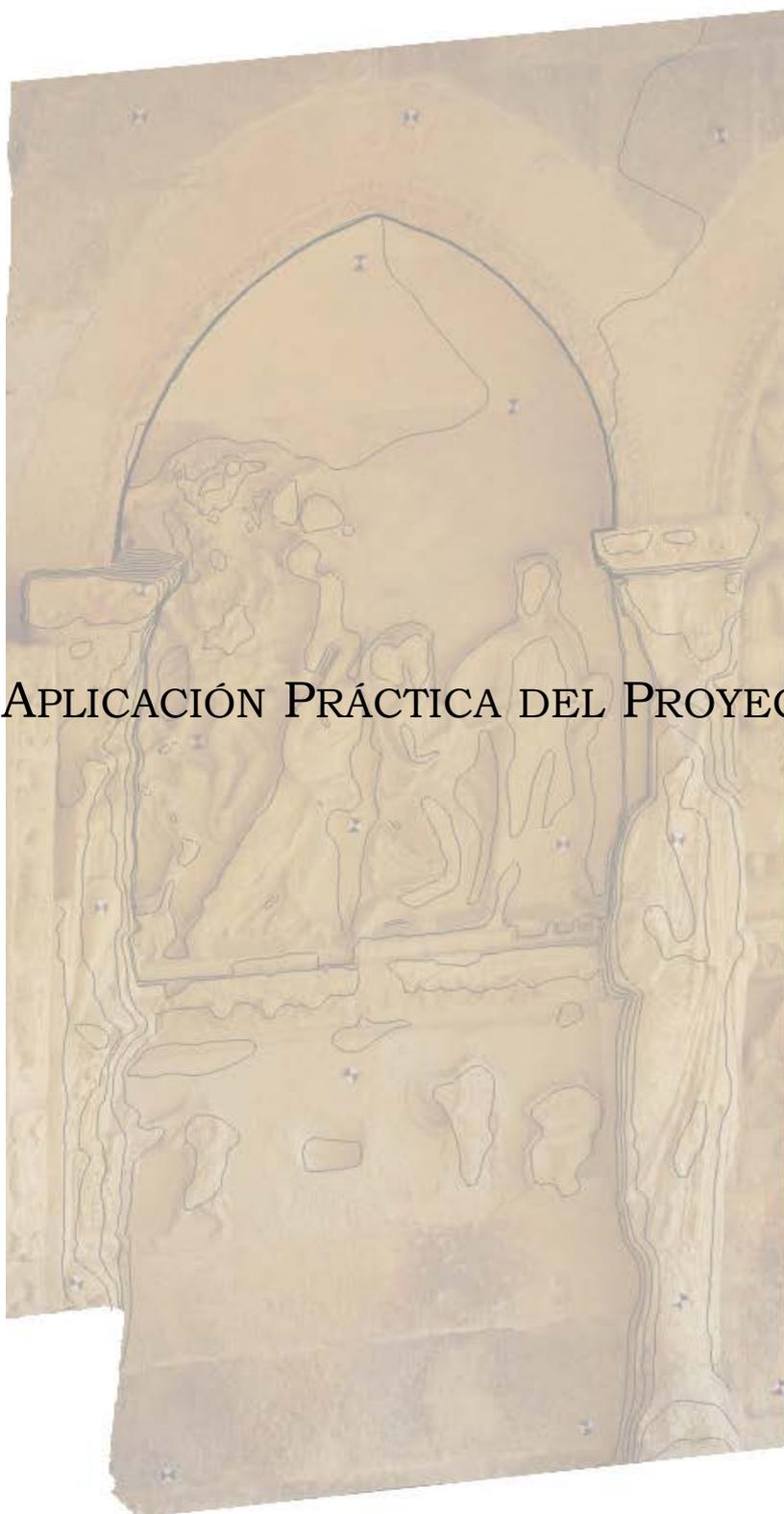
- *Diferencias en la orientación de las sombras* (en edificios, bosques, etc.).
- *Pequeñas discontinuidades geométricas*, como las que se presentan en puentes y edificios, relacionadas con efectos de paralaje.
- *Diferencias fenomenológicas*, si se utilizan imágenes tomadas en diferentes estaciones del año.
- *Diferencias de reflectancia* en zonas de agua (embalses, ríos, lagos), arenosas o de nieve.
- *Diferencias radiométricas* entre las ortofotografías que componen el mosaico. Es conveniente corregirlas, porque sino el aspecto del mosaico es muy pobre.

#### 4.6.- GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE ORTOFOTOGRAFÍAS Y ORTOFOTOMOSAICOS:

El proceso de rectificación de imágenes es totalmente automático en las estaciones fotogramétricas digitales. El operador solo interviene para definir los parámetros de rectificación (imagen a rectificar, MDT a utilizar, tipo de remuestreo, formato de imagen y tamaño del píxel) y para evaluar los resultados obtenidos.

El ajuste radiométrico de las ortofotografías es igualmente automático, aunque existe la posibilidad de que el operario ajuste manualmente el histograma.

Por el contrario, la generación del ortofotomosaico requiere en muchos casos la presencia de un operador para definir las líneas de unión de las ortofotografías y para evaluar los resultados finales. Aunque existen programas que las determinan automáticamente, los resultados que se obtienen en imágenes heterogéneas no suelen ser satisfactorios y requieren de correcciones manuales.



### III.- APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROYECTO

## 5.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Se va hacer, en primer lugar, una descripción de la información de partida con la que se va trabajar, haciendo hincapié en algunas características de su toma en campo (previas a lo que es el estudio práctico del proyecto); y en segundo lugar, se va a plantear la metodología de trabajo a desarrollar a nivel práctico.

### 5.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS INICIALES.

Los datos de partida empleados corresponden a datos utilizados en trabajos reales desarrollados por el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. Estos datos están constituidos por los pares de imágenes del elemento a medir, el certificado de calibración de la cámara o cámaras utilizadas y las coordenadas de los puntos de apoyo.

Los pares elegidos, para el estudio práctico del proyecto, pertenecen a los utilizados en la documentación geométrica de la basílica de Armentia (Vitoria-Gasteiz, 2004), concretamente los situados en la pared este del atrio.

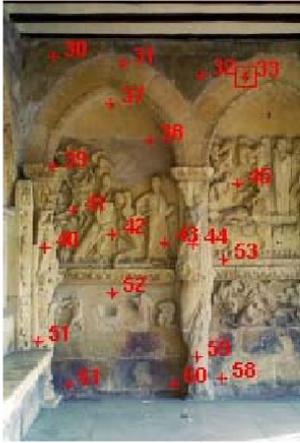


Figura 22: Zona de estudio.

Se han escogido estos pares por la buena geométrica con la que han sido capturadas las imágenes (las tomas son paralelas y coplanarias) y por las características que posee la superficie a medir. En dicha superficie podemos encontrar zonas de relieve continuo (rugoso o liso) y zonas de relieve discontinuo, que pueden darnos alguna idea de cómo resulta la correlación sobre ellas y de como actuar en caso de no obtener una buena correlación.

Para poder localizar los puntos de apoyo en las imágenes y conocer las condiciones de la toma fotográfica, la información se encuentra registrada en fichas como la que se muestra a continuación:

LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA (U.P.V.E.H.U.)							
TRABAJO : Documentación geométrica de la Basílica de Armentia ( Vitoria-Gasteiz)							
PAR: POR-E1	DISTANCIA: 5 m	BASE: 0,5 m	OBJETIVO: C35 mm	FECHA: 5/12/2003			
PUNTOS DE APOYO							
PUNTO	X	Y	Z	PUNTO	X	Y	Z
PP30	456,257	527,817	553,927	PP52	456,474	527,179	551,336
PP31	456,183	527,074	553,852	PP53	456,34	525,952	551,696
PP32	456,091	526,226	553,709	PP58	456,348	525,996	550,395
PP33	456,043	525,753	553,672	PP59	456,183	526,284	550,648
PP37	456,575	527,179	553,484	PP60	456,401	526,521	550,342
PP38	456,536	526,754	553,061	PP61	456,505	527,667	550,326
PP39	456,043	527,807	552,675				
PP40	456,137	527,902	551,842				
PP41	456,631	527,603	552,262				
PP42	456,546	527,171	551,995				
PP43	456,438	526,606	551,887				
PP44	456,152	526,315	551,866				
PP45	456,443	525,778	552,552				
PP51	456,093	527,959	550,858				





NOTAS:

Figura 23: Reseña de los pares fotogramétricos.

En la ficha se especifica el código del par, alejamiento y base del par, objetivo de la cámara y fecha de la toma, además de las coordenadas de los puntos de apoyo y su localización en la imagen.

5.1.1.- TOMA DE LOS PUNTOS DE APOYO:

Las coordenadas de los puntos de apoyo han de estar referidas a un mismo sistema de referencia, pudiendo ser un sistema local o global. Su captura se podrá realizar utilizando estaciones totales u otros instrumentos de medida que proporcionen las precisiones deseadas.

Por otro lado, los puntos de apoyo han de ser fácilmente identificables en las fotografías, pudiendo ser elementos destacados de la superficie a medir o señales de puntería preseñalizadas. En los pares utilizados para este proyecto los puntos de apoyo se encuentran materializados mediante dianas de 4 x 4 cm (figura 21).



Figura 24: Señal de puntería.

En cada par (de los que se van a utilizar) se pueden localizar en torno a 20 puntos de apoyo, lo que supone una superabundancia de datos con los que es posible hacer comprobaciones en la fase de restitución.

#### 5.1.2.- TOMA DE LAS FOTOGRAFÍAS:

La toma de imágenes se habrá planificado teniendo en cuenta la precisión que requiere el trabajo. Cuanto mayor sea la precisión requerida mayor será la escala de la imagen y, por tanto, mayor será el número de imágenes a capturar; lo que supone un mayor trabajo en los procesos de orientación, rectificación y generación de mosaicos.

En este proyecto, las imágenes que se utilizan poseen una resolución espacial que permite distinguir objetos con un tamaño inferior al centímetro. Las imágenes constituyen pares independientes, con un recubrimiento superior al 60 %, así como, un cierto solape entre los pares adyacentes. Han sido tomadas con la cámara digital *Canon EOS-D30*, cuyo certificado de calibración puede consultarse en el anexo correspondiente. Así mismo, hay que señalar, que al registrarse directamente en formato digital se evita la fase de revelado y escaneo, y los problemas que ello conlleva.

Las imágenes procedentes de entidades patrimoniales presentan en ocasiones ciertos inconvenientes que pueden afectar a los procesos de correlación y a los resultados de la ortorectificación. Algunos de estos inconvenientes son debidos a ocultaciones causadas por el propio objeto, por vegetación o cualquier otro elemento que tape el objeto en el momento de la toma, etc..

#### 5.2.- PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO PRÁCTICO.

El trabajo práctico se centra en el manejo de las estaciones fotogramétricas SOFTPLOTTER y DIGI3D, con objeto de generar automáticamente modelos digitales de los elementos registrados en los pares escogidos. Los modelos resultantes se evaluarán y editarán, en caso de que sea necesario, y a partir ellos se obtendrán las ortofotografías con las que generar un ortofotomosaico. Para el análisis y evaluación de los modelos se utilizarán los programas SURFER (Software de gestión de modelos digitales del terreno) y AUTOCAD.

Tanto SOFTPLOTTER como DIGI3D son estaciones concebidas para fotogrametría aérea, eso implica que para usarlas en fotogrametría de objeto cercano se hayan de abatir los puntos de apoyo, de forma que los desplazamientos en profundidad pasen a ser desplazamientos en el eje Z.

Ya que la forma de operar con estas dos estaciones fotogramétricas es distinta, en capítulos sucesivos se hará una descripción de las características y manejo de cada una de ellas. Ahora reseñaremos los comandos utilizados para generar los MDT:

- En el caso de **SOFTPLOTTER**, de las dos opciones que hay para generar MDTs, por mallas regulares (en el módulo *DEM TOOL*) o mallas irregulares (en el módulo *SURFACE TOOL*), se ha preferido generar los modelos con estructura TIN, por razones que se expondrán en el capítulo 8 de conclusiones. Por tanto, trabajaremos en el módulo *SURFACE TOOL*, donde la correlación se podrá hacer o bien con la estrategia “*TIN COLLECT*” o “*EPIPOLAR COLLECT*”, evaluando los resultados que se obtengan con cada una y comparándolos entre sí.
- En **DIGI3D** la orden para generar MDTs es “*Modelo digital del terreno por correlación interactivo*”.

El resultado serán tres modelos del terreno (dos de SOFTPLOTTER y uno de DIGI3D) definidos por una nube de puntos. Su evaluación y comparación nos permitirá determinar con que estación y estrategia se consiguen mejores resultados.

Por cada resultado obtenido se creará una ficha con la siguiente estructura:

- En primer lugar, un **encabezado** donde se indicará la estación utilizada, el código del par correlado, el método o estrategia empleado y el número de prueba realizada.
- A continuación, se indicarán los **parámetros de la estrategia** utilizada.
- Seguidamente, se hará un **estudio de los resultados** obtenidos, analizándolos de tres maneras distintas:
  1. Analizando el fichero resumen de la correlación facilitado por la estación. En él, podemos encontrar cual a sido el número de puntos correlados, el coeficiente de correlación, tiempo total del proceso de correlación, etc..

2. Comparando el MDT correlado con un modelo de la misma zona obtenido mediante restitución estereoscópica manual, para ello, se usará el programa SURFER 8. Con esto, se persigue comprobar como ha sido la correlación de forma general y localizar las zonas donde mayor es el error, mostrando gráficamente y numéricamente los valores de diferencia que hay entre los dos modelos. Con los datos numéricos se calculará el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC).
  3. Haciendo otra comparación entre el modelo correlado y el modelo obtenido mediante restitución, pero en este caso en secciones previamente definidas. Los perfiles se crearán en AUTOCAD, y permitirán mostrar gráficamente como se distribuyen las diferencias entre modelos a lo largo de la superficie correlada.
- Por último, tras analizar los resultados obtenidos, se expondrán las **conclusiones** oportunas y se plantearán posibles soluciones para mejorar los resultados de la autocorrelación.

Una vez obtenido un MDT aceptable, el siguiente paso será generar la ortofoto. Para ello, se escogerá la imagen que se crea más adecuada y se le aplicará la técnica de remuestreo que mejores resultados aporte. De cada par se obtendrá una ortofoto que se unirá con las contiguas para generará el ortofotomosaico final. Se comprobará que las ortofotos y el ortofotomosaico no tienen errores, en caso de que los tengan, se repetirán corrigiendo el error; y si no hay errores, se preparará el documento entregable.

## **6.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL SOFTPLOTTER.**

SoftPlotter es una de las estaciones fotogramétricas digitales que se emplean en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, por el amplio rango de posibilidades que permite y por su sencillo manejo y aprendizaje.



Figura 25: Estación Fotogramétrica Digital SoftPlotter.

En este capítulo, se describe a grandes rasgos las características y manejo del SoftPlotter, así como, el equipo informático en el que opera y con el que se ha desarrollado la parte práctica del proyecto.

### **6.1.- COMPONENTES QUE INTEGRAN LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.**

#### **6.1.1.- HARDWARE:**

El equipo consta de un ordenador -PC- al que están conectados un monitor y los distintos periféricos de medición:

- El **ordenador** es un Pentium IV, cuyas características más destacadas son:
  - CPU (Unidad Central de Proceso): Xeon(TM) CPU 2.80 GHz.
  - OS (Sistema Operativo): Microsoft Windows XP Profesional (Versión 2002).
  - Memoria RAM (Memoria principal): 1,00 GB.
  - Disco Duro: 400 GB (con una partición de 250 GB).

- Posee un único **monitor** de alta resolución donde se muestran indistintamente las imágenes estereoscópicas, los diferentes módulos y menús de SoftPlotter, y las herramientas CAD y de edición necesarias. El monitor esta equipado con una pantalla polarizante (Zscreen) que permite la visualización estereoscópica mediante gafas polarizadas pasivas. Este sistema de visualización permite que después de un uso continuado la vista no sufra mucho cansancio (comparado con las gafas activas) y la posibilidad de que varios usuarios puedan observar simultáneamente el modelo.
- SoftPlotter esta preparado para realizar mediciones con un ratón 2D, con un ratón multifunciones (timón) o con manivelas (con las que en este caso la estación no esta equipada).

El **ratón 2D** traduce los movimientos horizontal y vertical en desplazamientos X e Y, y éstos mismos movimientos pulsando la tecla *shift* se corresponden con desplazamientos en Z. Los botones que posee se utilizan para las operaciones de digitalización.

El ratón multifunciones, también llamado **SoftMouse**, es un dispositivo adaptado a las operaciones de digitalización. Permite el desplazamiento en X e Y, y mediante una ruleta el movimiento en Z.



#### 6.1.2.- SOFTWARE:

SoftPlotter es un conjunto integrado de configuraciones diseñadas para la restitución de datos del terreno y de la información de los elementos en él contenidos, partiendo de imágenes digitales (fotografías tomadas directamente, escaneadas, imágenes de satélites, etc). Posee un diseño modular, ordenado de izquierda a derecha, donde se realizan las diferentes operaciones de la producción cartográfica.

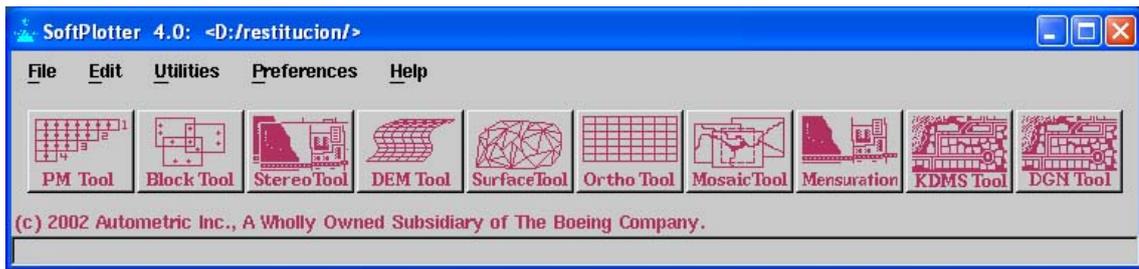


Figura 26: Menú principal del SoftPlotter.

Al iniciar el programa se abre el menú principal donde se muestran los 10 módulos en los que se realizan las distintas tareas fotogramétricas.

- **PM TOOL:**



Se utiliza para configurar los entornos gráficos de los demás módulos.

- **BLOCK TOOL:**



Ofrece las funciones de importación de imágenes, orientación interna y externa de las mismas, y el proceso de fototriangulación.

- **STEREO TOOL:**



Es la herramienta responsable de la visualización y generación del modelo estereoscópico.

- **DEM TOOL:**



Permite generar modelos digitales del terreno de cuadrícula regular (MDE) por correlación automática.

- **SURFACE TOOL:**



Se utiliza para generar modelos digitales del terreno de mallas irregulares (TIN) también por correlación automática.

- **ORTHO TOOL:**



Se encarga de ortorectificar las imágenes a partir de la información del modelo MDE o TIN.

- **MOSAIC TOOL:**



Se emplea para formar mosaicos de distintas ortofotografías.

- **MENSURATION TOOL:**



Se ofrece para poder obtener medidas rápidas e informes puntuales.

- **KDMS TOOL:**



Kork Digital Mapping System (KDMS) automatiza la producción en la restitución fotogramétrica de datos planimétricos y altimétricos, así como la generación de bases de datos geográficos.

- **DGN TOOL:**



Es la herramienta donde se efectúa la restitución, mediante una interface entre SoftPlotter y MicroStation. Los datos se capturan y editan dentro de MicroStation.

## 6.2.- OPERACIONES BÁSICAS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA:

Se trata de las operaciones necesarias para generar el modelo estereoscópico, previas al proceso de restitución y de creación del modelo digital del terreno por correlación automática.

### 6.2.1.- PREPARACIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO:

Cuando iniciamos SoftPlotter el primer paso a realizar es crear un nuevo proyecto o seleccionar uno ya existente. En caso de querer trabajar con un nuevo proyecto, hemos de indicar al programa la unidad y el nombre del nuevo proyecto, y éste, creará una carpeta con ese nombre y dentro de ella unas subcarpetas destinadas a las distintas tareas del programa.

- Para crear un nuevo proyecto:
  1. Seleccionar *File -> New Project Directory* e indicar la unidad y el nombre del nuevo proyecto.
  2. Especificar los distintos parámetros del proyecto. Existe la posibilidad de realizarlo a posteriori en el menú desplegable *Edit*.
  3. En *Edit -> Camera Editor* generar el fichero de cámaras en el caso de que no exista.
  4. Por último, copiar las imágenes (en el formato especificado al programa) y los datos de los puntos de apoyo en la subcarpeta “*raw*”.

- Para establecer un proyecto existente:
  1. Seleccionar *File -> Set Project Directory* e indicar el proyecto.

Una vez establecido el proyecto se activarán los módulos de trabajo.

#### 6.2.2.- ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO:

La orientación se efectúa en el módulo BLOCK TOOL. Es una operación que se realiza de forma monoscópica, haciendo primero la orientación interna de cada imagen, y después, la orientación relativa y absoluta de manera conjunta en la orientación externa. El programa permite obtener los datos de la orientación externa por fototriangulación de una o varias pasadas.

Antes de iniciar las orientaciones se ha de crear un bloque, seleccionando *File -> New* en la ventana del BLOCK TOOL e indicar el nombre del nuevo bloque, el sistema de proyección y las desviaciones estándar (sigma). Seguidamente, se introducen los datos relativos a la cámara (*Camera Editor*), imágenes (*Frame Editor*) y puntos de apoyo (*Grd Pt Editor*) desde el menú desplegable *Edit*.

- **Orientación Interna:**

La orientación interna se puede realizar de forma automática, si existen en el software los patrones de las marcas fiduciales; o manual, donde el usuario identifica cada una de las marcas.

Para realizar la orientación interna seleccionar *Activities -> Interior Orientation*, señalar la imagen a orientar e identificar sobre ella las marcas fiduciales. En caso de ser una imagen digital se suelen tomar las esquinas de la imagen.

- **Orientación Externa:**

Para realizar la orientación externa seleccionar *Activities -> Ground Point Measurment* e indicar las imágenes a utilizar. Se abrirá una ventana con varios apartados: en la parte superior se mostrarán las imágenes a orientar, en la parte central distintos zooms del punto de apoyo sobre la imagen y en la parte inferior una tabla con las coordenadas de los puntos de apoyo y distintos botones.

La forma de proceder sobre esta ventana es señalando primero el punto de apoyo en la tabla, y después, identificándolo en las distintas imágenes. Para que el

punto quede marcado pinchar en el botón *Take Measurement*. A partir del segundo punto el SoftPlotter permite identificar automáticamente el homólogo con la opción *Auto Place*.

Una vez señalados todos los puntos se procede a realizar el cálculo por mínimos cuadrados, para ello, se pulsa el botón *Run* de la ventana que aparece al pinchar en *Triangulation*. Los resultados del cálculo se pueden consultar en la ventana *View Results*, para que estos resultados sean aceptables los residuos finales tendrán que ser inferiores a la precisión deseada.

#### 6.2.3.- GENERACIÓN DEL MODELO ESTEREOSCÓPICO:

Con los pares orientados el siguiente paso es crear el modelo estereoscópico en el módulo STEREO TOOL. Para ello, los pasos a seguir son:

1. Seleccionar *File -> New* en la ventana del STEREO TOOL. Se ha de indicar el bloque en el que se encuentran los pares, las imágenes y un nombre para identificarlo.
2. Seguidamente, pulsar el botón *Rectify* para normalizar las imágenes.
3. Para visualizar el modelo estereoscópico seleccionar *View -> Stereo*.

Los menús desplegables de la ventana *View -> Stereo* ofrecen diferentes opciones de trabajo, en cuanto a visualización (*View*), escala de visualización (*Scale*), características del cursor (*Cursor*) y otras herramientas del menú *Tool*.

Una de las características destacables del STEREO TOOL es que el cursor permanece fijo en el centro de la pantalla de visualización, desplazándose únicamente el modelo estereoscópico. Esto permite un movimiento libre sobre toda la imagen, con la comodidad que ello conlleva.

#### 6.2.4.- RESTITUCIÓN:

SoftPlotter dispone de dos posibilidades para realizar la restitución: con el módulo KDMS TOOL o con el DGN TOOL. En este apartado se describe como usar el módulo DGN TOOL, por ser el que se utiliza en los trabajos del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio.

Se arranca el DGN TOOL, abriéndose por un lado la ventana correspondiente al STEREO TOOL, y por otro lado MICROSTATION. Al abrirse MICROSTATION por primera vez se pedirá un fichero semilla con el que crear el fichero de restitución.

Normalmente, antes de empezar a restituir, el usuario configura alguna de las opciones del STEREO TOOL, como el tipo de cursor a emplear, el periférico con el que medir o la escala de visualización del par. Posteriormente, para poder activar la entrada de datos en MICROSTATION se ha de teclear la orden “SET AUX ON”, y para desactivarla se ha de teclear “SET AUX OFF”.

Por lo general, la restitución en patrimonio se realiza utilizando polilíneas 3D, ya sea para medir contornos, curvas de nivel o líneas de ruptura, activándola con la orden “PLACE LSTRING SPACE” e iniciándola y finalizándola con los botones del ratón en los puntos deseados.

Una vez digitalizados los datos, estos se podrán editar directamente en el MICROSTATION o convertirlos de formato .dgn a formato estándar .dxf para trabajar con ellos en cualquier otro programa CAD.

### **6.3.- GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO:**

El software SoftPlotter está diseñado para generar por correlación automática dos tipos de modelos: uno con el módulo *DEM Tool*, donde los modelos que se crean poseen una estructura regular de celda cuadrada; y otro con el módulo *Surface Tool*, donde el tipo de estructura de los modelos es de malla irregular TIN. En este caso, se describirá el uso del módulo *Surface Tool*, por ser el utilizado en este proyecto y porque su estructura es la más idónea para definir entidades patrimoniales.

Dentro del módulo *Surface Tool* podemos encontrar dos métodos para realizar la autocorrelación, por el método *TIN COLLECT* (función *Collect*) o por el método *EPIPOLAR COLLECT* (función *Epipolar Collect*). Antes de proceder a describir cada uno de ellos, se hará hincapié en los parámetros de autocorrelación, comunes para ambos métodos.

### 6.3.1.- PARÁMETROS DE AUTOCORRELACIÓN:

Los parámetros de autocorrelación son fundamentales en la generación del MDT, y a menudo, será necesario ajustarlos en un proceso iterativo con el fin de obtener resultados aceptables. En este apartado se estudiarán los distintos parámetros, y en apartados sucesivos, como ajustarlos para mejorar el resultado de la autocorrelación (para ello nos hemos basado en las recomendaciones del programa y en los resultados de la aplicación práctica del proyecto).

Para visualizar o cambiar los parámetros de la estrategia podemos acceder de dos maneras:

- Al crear un nuevo modelo en el *Surface Tool* (*File -> New*) se abre un cuadro de dialogo con el botón “*Set Strategy*”. Pulsar en él para mostrar la estrategia.
- Si ya hay un modelo creado, seleccionar *Edit -> Collection Parameters* y en la ventana que aparezca pulsar el botón “*Set Strategy*”.

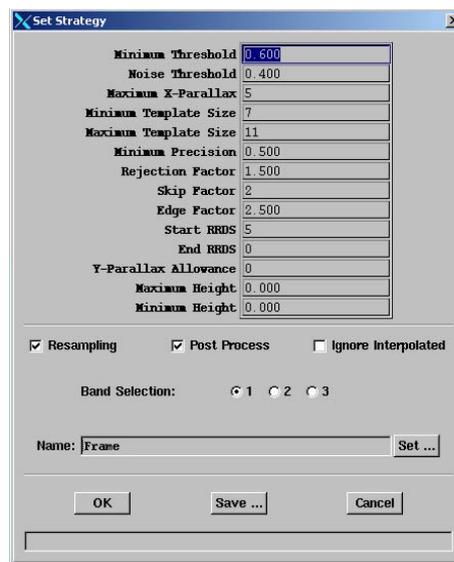


Figura 27: Ventana para fijar la estrategia.

Los parámetros se pueden dividir en cuatro grupos:

- *Parámetros para controlar la correlación*: Determinan cuando un punto esta correctamente correlado y cuando no en función del valor del coeficiente de correlación que se genere, valor entre 0 (Nula) y 1 (Perfecta).

- **Minimum Threshold** – Indica el valor mínimo al que debe llegar el coeficiente de correlación de un punto para ser aceptado.

- **Noise Threshold** – Indica el valor mínimo al que debe llegar el coeficiente de correlación para seguir intentado correlar un punto. En cada intento se irá aumentando el tamaño de la plantilla de búsqueda, hasta llegar al valor máximo.

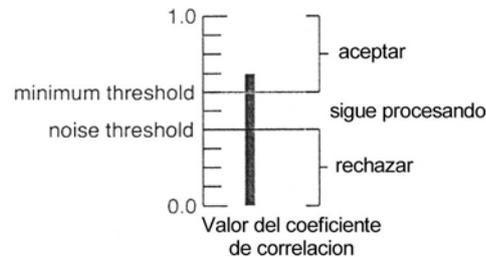


Figura 28: Parámetros de *Minimum* y *Noise Threshold*.

- *Parámetros de búsqueda:*

- **Maximum X-Parallax** – Indica el número de píxeles que podrá desplazarse en el eje x de paralaje al realizar la búsqueda para determinar la altura más probable de la correlación.
- **Minimum Template Size** – Tamaño mínimo de la plantilla de búsqueda.
- **Maximum Template Size** – Tamaño máximo de la plantilla de búsqueda.
- **Start RRDS** – Inicio de la escala de resolución jerárquica de la imagen.
- **End RRDS** – Final de la escala de resolución jerárquica de la imagen.
- **Skip Factor** – Se utiliza sobre todo en correlaciones densas para acelerar la correlación automática reduciendo las correlaciones innecesarias.
- **Y-Parallax Allowance** – Permite ayudar en triangulaciones pobres variando la búsqueda de la correlación hacia arriba y hacia abajo en el eje Y.

- *Parámetros de filtrado en post proceso:*

- **Minimum Precision** – Se utiliza para estimar la precisión del punto correlado en el espacio del píxel.
- **Rejection Factor** – Sirve para eliminar puntos erróneos que dan lugar a picos anómalos. El filtrado se realiza comparando el valor correlado con un valor calculado a partir de seis puntos próximos, si la diferencia es mayor que el

*Rejection Factor* multiplicado por la desviación estándar de las elevaciones vecinas, entonces se sustituirá la elevación correlada por la interpolada.

- **Edge Factor** – Después de correlar un punto, el software calcula su “unicidad” bajo la forma del “elipsoide de error”, buscando que no se trate de una falsa correlación. El parámetro *edge factor* indica el límite máximo del cociente entre el eje principal y el eje menor de la elipse para aceptar un punto.

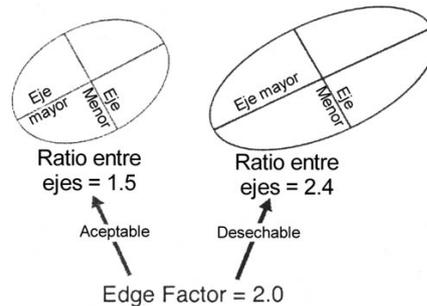


Figura 29: Ejemplo de filtrado del parámetro *Edge Factor*.

- *Otros parámetros:*

- **Resampling** – Este parámetro indica si se utiliza el remuestreo bilineal, en caso de estar señalado, o el remuestreo del vecino más próximo para la ortorectificación de la correlación.
- **Post Processing** – Determina si el post proceso se realiza después de cada RRDS.
- **Ignore Interpolated** – Elegir esta opción hace que el software no tome puntos interpolados en aquellas zonas donde no se ha conseguido correlar.
- **Band Selection** – En imágenes en color es posible seleccionar sobre cual de las tres bandas realizar la correlación (Rojo-1, Verde-2, Azul-3).

Al modificar los parámetros se renombrará la estrategia a “*Custom*”. Si se desea guardar la nueva estrategia cambiar el nombre por otro arbitrario, con lo que se podrán desarrollar diferentes estrategias en función de los resultados a obtener.

A continuación se ha elaborado una tabla con los valores más recomendados para cada parámetro. Se han señalado aquellos parámetros que no se utilizan en la correlación epipolar:

PARÁMETRO DE LA ESTRATEGIA	VALOR POR DEFECTO	VALOR RECOMENDADO	COMENTARIOS
<b>Minimum Threshold</b>	0,6	0,5 – 0,6	Cuanto más pequeño sea este valor menos fiable será la precisión de los puntos correlados.
<b>Noise Threshold</b>	0,4	0,3 – 0,4	Reducirlo en imágenes con poco contraste puede favorecer la correlación, aunque implica un aumento de tiempo.
<b>Maximum Parallax</b>	5	5 - 7	Ampliarlo hace que el software busque en un amplio rango de elevación.
<b>Minimum Template Size</b>	7	7 - 9	Debe ser siempre un número impar.
<b>Maximum Template Size</b>	11	11 - 21	
<b>Minimum Precision</b> (No se aplica en la correlación epipolar)	0,5	0,5 – 1,0	No se han de usar valores mayores a 1,0 píxel.
<b>Rejection Factor</b>	1,5	1,5	No se aconsejan valores menores a 1,0.
<b>Skip Factor</b> (No se aplica en la correlación epipolar)	2	2 - 0	
<b>Edge Factor</b> (No se aplica en la correlación epipolar)	2,5	2,0 – 2,5	Valores más altos de 2,5 pueden producir falsas correlaciones.
<b>Start RRDS</b>	5	5	Se puede reducir en zonas de poco relieve, para reducir el tiempo de correlación.
<b>End RRDS</b>	0	0	
<b>Y-Parallax Allowance</b>	0	0	Puede establecerse en 1 o 2 cuando los resultados son pobres.
<b>Resampling</b> (No se aplica en la correlación epipolar)	Si	Si	
<b>Post Processing</b>	Si	Si	
<b>Ignore Interpolated</b>	Si	Si	Se podría desactivar en superficies con poco relieve.
<b>Band Selection</b>	1	Comprobar los histogramas de cada banda para utilizar aquel que tenga mayor contraste.	
<b>Líneas de ruptura</b>		Imprescindible para superficies con discontinuidades.	

Los valores indicados en la tabla de arriba son solo orientativos, obtenidos a partir de las pruebas realizadas con los pares de este proyecto y de las indicaciones del software SoftPlotter.

6.3.2.- MÉTODO *TIN COLLECT*:

El método *TIN COLLECT* realiza la autocorrelación aplicando la técnica de correspondencia por áreas, realiza la búsqueda de los puntos homólogos sobre todos los píxeles de la imagen, hasta que el programa localiza el píxel cuyo coeficiente de correlación es igual o mayor al *Minimum Threshold* establecido. Este método se puede aplicar sobre ortofotos y sobre estereopares.

Para generar un nuevo TIN seleccionar *File -> New* en el módulo *Surface Tool*, se abrirá una ventana donde indicar las imágenes a utilizar, el nombre del nuevo TIN, las unidades lineales, el tamaño de las celdas de la rejilla, la estrategia de correlación (en el botón *Set Strategy*) y la opción de correlar sobre toda la imagen o sobre una parte. El siguiente paso es realizar la correlación, para ello, seleccionar *Activities -> Collect*, se mostrará la imagen a correlar y, pulsando OK, se efectuará la correlación.

Es posible visualizar y editar estereoscópicamente el modelo correlado con la orden *Activities -> Stereo Edit*, pero es necesario que haya un estereopar cargado, para ello, seleccionar uno en *Edit -> Assign Stereopair*. Se abrirá una ventana donde se mostrará el par estereoscópico y la nube de puntos. Cada punto del modelo tendrá asignado un color según como haya sido su correlación, para cambiarlos seleccionar *Options -> Display Control*, los colores por defecto son los siguientes:

TIPO DE CORRELACIÓN	DESCRIPCIÓN	COLOR
<b>Buena</b>	Puntos con un factor de correlación automática “buena”.	<b>Verde</b>
<b>Justa</b>	Puntos con un factor de correlación automática “justa”.	<b>Amarillo</b>
<b>Pobre</b>	Puntos con un factor de correlación automática “pobre”.	<b>Rojo</b>
<b>Interpolada</b>	Puntos que han sido interpolados a partir de los de su alrededor.	<b>Azul</b>
<b>Interactiva</b>	Puntos que se han colocado interactivamente durante el proceso de edición.	<b>Magenta</b>
<b>Desechada</b>	Los puntos que se han quitado del modelo (generalmente los que se encuentran en el borde del TIN).	<b>Ninguno</b>
<b>Trazado</b>	Corresponde a aquellos datos que el usuario pone en el modelo durante el proceso de edición.	<b>Blanco</b>

En la misma ventana de edición se mostrará un cuadro de comandos con una serie de botones para corregir, añadir o eliminar interactivamente puntos del modelo, así como para añadir, modificar o borrar líneas de ruptura (*Breaklines*).

Una vez creado el modelo TIN, se podrá exportar a un fichero ASCII, eligiendo *Export -> Export ASCII -> ASCII File*, y estableciendo un formato de salida del fichero; o exportarlo a un fichero DGN, seleccionando *Export -> Export DGN*, para lo que es necesario tener una tabla de transformación (“*TINDGN2.TBL*”) de TIN a DGN.

Tras efectuar la autocorrelación, para ver el fichero resumen, seleccionar *View -> Results*. En él se encontrarán distintos datos para conocer como ha sido la autocorrelación y como poder mejorarla. A continuación veremos que datos son los más importantes:

1. En primer lugar, se han de comprobar los porcentajes para cada tipo de correlación (“*Collection percentages by status*”) en los distintos RRDS. Más que centrarse en los puntos con una correlación buena, justa o pobre, lo que hay que mirar es el porcentaje de los puntos interpolados, es decir, los que no han podido ser correlados. Un alto porcentaje de puntos correlados no siempre se traduce en buenos resultados (depende de las características y de la textura de la superficie).
2. En caso de resultados bajos se pueden comprobar los estadísticos del apartado “*failure analysis*”, donde se hace referencia a los datos que no han podido ser correlados:
  - Un porcentaje alto de “*Edge*”, sobre 15 por ciento, indica que hay que bajar el parámetro *Edge Factor*. No se recomienda bajar este valor por debajo de 2,0.
  - Un porcentaje alto de falta de “*Precision*”, sobre 20 por ciento, indica ajustar el parámetro *Minimum Precision*. Se recomienda no subir este valor más de 1,0.
  - Un porcentaje alto de “*Curvature*”, sobre 30 por ciento, indica que la calidad y/o contenido de la imagen es baja (puede ser verificada comprobando el valor medio del SNR).
  - Un porcentaje alto de “*Peak Threshold*”, sobre 40 por ciento, se puede compensar bajando los parámetros de “*Minimum Threshold* y *Noise*”

Threshold. Se sugiere que estos parámetros no estén más bajos de 0,5 y 0,3 respectivamente.

No siempre resulta favorable el aumento del porcentaje de puntos correlados al modificar parámetros de la estrategia de correlación, ya que se ha comprobado que en ocasiones aun con un porcentaje de correlación mayor a otras pruebas los datos pueden presentar precisiones más bajas.

### 6.3.3.- MÉTODO *EPIPOLAR COLLECT*:

El método *EPIPOLAR COLLECT* realiza la autocorrelación aplicando la técnica de correspondencia por áreas a lo largo de la línea epipolar, hasta que localiza el punto homólogo. La correlación epipolar solo puede aplicarse sobre estereopares, y es sensiblemente más rápida que el método *TIN COLLECT*.

Los pasos para generar un MDT con este método son prácticamente iguales a los seguidos cuando se aplica el método *TIN COLLECT*. Algunas cosas varían, como: en la ventana para definir un nuevo TIN, que se abre al seleccionar *File -> New*, se ha de escoger la opción **Stereo** del menú desplegable *Source* y seleccionar el par estereoscópico; el resto de los datos de la ventana se definen igual que en el método anterior. Tras definir el TIN, para efectuar la correlación se selecciona *Activities -> Epipolar Collect* (si no se hubiera escogido un estereopar al definir el TIN, esta opción se encontraría desactivada).

El siguiente paso es visualizar el modelo, introducir las líneas de ruptura y editar la nube de puntos, en caso de que sea necesario. Para ello, se utilizaran las mismas herramientas vistas en el método *TIN COLLECT*.

Una vez efectuada la autocorrelación, para ver el fichero resumen, seleccionar *View -> Results*. En él se encontrarán distintos datos para conocer como ha sido la autocorrelación y como poder mejorarla. Algunas variables que se muestran en este fichero son distintas a las que aparecen en el fichero del *TIN COLLECT*. A continuación veremos que datos son los más importantes:

1. Como en el método anterior, lo primero es comprobar los porcentajes para cada tipo de correlación (“*Collection percentages by status*”) en los distintos RRDS.
2. Luego se podrán comprobar los estadísticos del apartado “*failure analysis*”.

#### 6.4.- OBTENCIÓN DE LAS ORTOFOTOS Y LOS ORTOFOTOMOSAICOS:

Las **ortofotos** se generan en el módulo *Ortho Tool*. Para ello, se han de realizar dos pasos: en primer lugar, definir los parámetros de la ortofoto; y en segundo lugar, efectuar la rectificación. La ventana para definir los parámetros de una nueva ortofoto se abre al seleccionar *File->New*, en ella habrá que indicar el MDT y la imagen a utilizar, el nombre de la nueva ortofoto (la ortofoto se guardará siempre en la carpeta “*ortho*” del proyecto), las unidades y proyección de la ortofoto, tamaño del píxel en unidades terreno (vendrá un valor por defecto que se podrá cambiar, pero siempre dentro del rango permitido, porque sino el programa tendrá problemas cuando se usen estas ortofotografía para generar el mosaico), formato de la ortofoto y color de fondo. Para ejecutar la rectificación seleccionar *Activities -> OrthoRectify*, en la ventana que aparezca introducir un valor entero, para indicar el número de píxeles con los que determinar el nuevo píxel de la ortofoto, y pulsar *OK* para terminar el proceso.

En el módulo *Mosaic Tool* se realizan todas las operaciones para generar un **ortofotomosaico**. Los pasos seguidos son: definir los atributos y las imágenes del mosaico, unir las imágenes y extraer el mosaico. Seleccionar *File -> New* para definir un mosaico, en la ventana que se muestre indicar un nombre para el mosaico, escoger las ortofotos y/o mosaicos que constituirán el nuevo ortofotomosaico (éstos han de tener las mismas características, por lo que antes habrá que indicar 1- la resolución -*GSD*- (se trata del tamaño de píxel en unidades terreno indicado al generar la ortofotografía), 2- si las imágenes son pancromáticas o en color, 3- opcional, especificar las coordenadas límite del mosaico, y pulsar “*Apply Filter*”), y para finalizar elegir un *Mosaic Type* (el más idóneo es *Feathered Cutline*), un *Mosaic File Type*, un *Feathering Width*, y un *Background Color*. Una vez definido el mosaico se mostrarán en pantalla todas las imágenes especificadas, indicando con recuadros de colores sus límites y las zonas de solape. Si se selecciona una de estas zonas de solape y se pulsa el botón *Edit Cutline*, se abrirá una ventana donde definir las líneas de corte (proceso que se hace manualmente con el ratón) y donde efectuar la unión de las imágenes. El ajuste del histograma se realiza en *Activities -> Manual / Compute Histogram Matching*, y podrá activarse o desactivarse en la opción *Display Histo Matched*. Para extraer el mosaico seleccionar *Activities -> Write*

*Mosaic*, permite extraer el mosaico en una imagen completa o en varios trozos según el tamaño definido por el usuario.

Todos los ficheros del mosaico se guardarán en la carpeta “*mosaic*” del proyecto.

Es conveniente que antes de generar el mosaico se examine la calidad de cada ortofoto, determinando, en caso de que existan errores, sus causas para poder corregirlos. Posteriormente, se creará el mosaico y se comprobará que no posee diferencias radiométricas ni tiene errores en las zonas de unión de las ortofotos.

#### 6.5.- ESTUDIO TEMPORAL DE LA ESTACIÓN SOFTPLOTTER:

El estudio temporal que se describe a continuación se ha elaborado a partir de la aplicación práctica de este proyecto, para un par concreto, pudiendo variar para otro trabajo según las características de la superficie a medir y las condiciones de la toma.

OPERACIONES	TIEMPO	COMENTARIOS
ORIENTACIÓN INTERNA	4 min.	IMAGEN IZQUIERDA Y DERECHA
ORIENTACIÓN EXTERNA	25 min.	
RESTITUCIÓN	50 min.	LÍMITE, LINEAS DE RUPTURA Y PUNTOS DE APOYO
GENERAR MDT	20 min.	PRUEBA 1 Y ANÁLISIS
	20 min.	PRUEBA 2 Y ANÁLISIS
GENERAR ORTOFOTO	5 min.	
GENERAR MOSAICO	15 min.	
<b>TOTAL</b>	<b>2:19 h.</b>	

## 7.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL DIGI 3D.

Digi 3D es otra de las estaciones fotogramétricas utilizadas en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. Su manejo y aprendizaje es igual de rápido y fácil que la estación SoftPlotter, aunque no resulta tan intuitivo como ésta.



Figura 30: Estación Fotogramétrica Digital Digi 3D.

A continuación, se describen las principales características y algunas instrucciones para manejar Digi 3D, así como, el equipo informático en el que opera y con el que se ha desarrollado la parte práctica del proyecto.

### 7.1.- COMPONENTES QUE INTEGRAN LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.

#### 7.1.1.- HARDWARE:

El equipo consta de un ordenador -PC- al que están conectados dos monitores y los distintos periféricos de medición:

- El **ordenador** es un Pentium IV, cuyas características más destacadas son:
  - CPU (Unidad Central de Proceso): 1.70 GHz.
  - OS (Sistema Operativo): Microsoft Windows 2000.
  - Memoria RAM (Memoria principal): 523,568 KB.
  - Disco Duro: 40 GB
- Posee dos **monitores** convencionales, uno de ellos asociado a un sistema de visualización estereoscópica, donde se muestran las imágenes y el modelo

estereoscópico; y otro, donde se muestran los diferentes menús de Digi 3D y las herramientas de dibujo y de edición necesarias.

En este equipo, la visión estereoscópica se consigue mediante gafas polarizantes activas, conectadas a un dispositivo sincronizador que se encarga de mostrar alternativamente la imagen izquierda al ojo izquierdo y la imagen derecha al ojo derecho, por separación temporal. Este sistema posibilita que varios usuarios puedan explorar simultáneamente el modelo estereoscópico.

- Digi 3D admite múltiples dispositivos de entrada, en este caso, el equipo está conectado a un **ratón 2D**, cuyos desplazamientos se traducen en movimientos X e Y; y a una rueda de mano, para los movimientos en Z. Los botones que posee el ratón se utilizan para las operaciones de digitalización.

Así mismo, el teclado del ordenador puede ser configurando por el operador para mandar ordenes al programa.

#### 7.1.2.- SOFTWARE:

Digi 3D es una estación de trabajo estándar, para la captura y edición de cartografía, ortofotos y sistemas de información geográfica. Es un conjunto integrado de configuraciones diseñadas para la restitución de datos del terreno y de los elementos en él contenidos, partiendo de imágenes digitales (fotografías tomadas directamente, escaneadas, imágenes de satélites, etc).

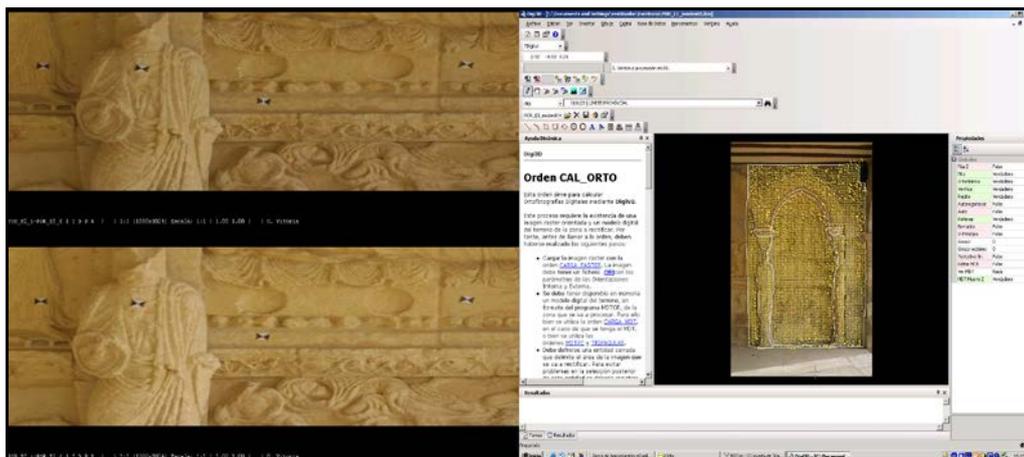


Figura 31: Pares estereoscópicas y pantalla principal de Digi3D.

Una vez abierto un proyecto, en la pantalla principal se realizarán todas las tareas, para ello, hemos de seleccionarlas en la barra de herramientas, en los iconos

de la pantalla o tecléandolas al pulsar *enter*. En esta misma pantalla se mostrarán los datos que se vayan digitalizando.

## 7.2.- OPERACIONES BÁSICAS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA:

Se trata de las operaciones necesarias para generar el modelo estereoscópico, previas al proceso de restitución y de creación del modelo digital del terreno por correlación automática.

### 7.2.1.- PREPARACIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO:

En primer lugar, crearemos una carpeta que servirá de directorio de trabajo y donde se copiarán las imágenes del par estereoscópico, el archivo de los puntos de apoyo (Nº punto, X, Y, Z) y el archivo de la cámara (Distancia focal, coordenadas del punto principal, de las marcas fiduciales y aproximadas de los puntos de orientación relativa), este último fichero se puede crear en un documento de texto o con la opción de Digi en *Herramientas* -> *Crear/Modificar cámaras*.

Iniciaremos el programa y se abrirá directamente la ventana para definir un nuevo proyecto (si no es así, seleccionar *Archivo* -> *Nuevo*), en ella, se indicarán las imágenes izquierda y derecha del par, directorio de trabajo, posición de los paneles (datos marginales del fotograma), archivo de puntos y archivo de cámara.

Una vez rellenados los datos, pulsamos abrir, y se mostrarán las imágenes del par en el monitor correspondiente.

### 7.2.2.- ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO:

Cada fase de la orientación se efectúa en las distintas opciones del menú desplegable "*Digital*". Primeramente, se realiza la orientación interna y relativa de cada imagen, de forma monoscópica; y después, la orientación absoluta, de manera estereoscópica. Cada fase finalizada quedará señalada con una  $\checkmark$  en el menú *Digital*.

#### ▪ **Orientación Interna:**

Se comienza orientando la imagen izquierda, para ello, seleccionar *Digital* -> *Orientación interna Izquierda*. Se abrirá la imagen izquierda, y sobre ella se irán señalando las marcas fiduciales con ayuda del ratón. Una vez se han señalado todas las marcas, se mostrarán los residuos de la orientación, si entran en el

rango de tolerancia, se pasará a orientar la imagen derecha. Para este proyecto se intentará que el error no sea mayor de 0,000 mm tanto en X como Y, y si tras varias pruebas no se consigue esta orientación se establecerá la tolerancia en un tercio del tamaño del píxel, 0,003 mm. Se considera que el error no podrá ser mayor que el tamaño del píxel porque al utilizar cámaras digitales las marcas fiduciales son perfectamente identificables en la imagen (son las esquinas de la imagen) y la superficie sobre la que se plasma la imagen no sufre deformaciones representativas.

Para abrir la imagen derecha seleccionar *Digital -> Orientación interna Derecha*.

- **Orientación Relativa:**

La orientación relativa se ejecuta con el comando *Digital -> Orientación relativa*. En esta fase, el programa irá desplazando automáticamente el cursor a las proximidades de los puntos de relativa, indicados en el archivo de cámara, y el operario se encargará de identificar interactivamente puntos homólogos en esas zonas de la imagen. A partir del quinto punto se mostrarán los residuos de la orientación. Si una vez medidos todos los puntos, estos residuos son muy altos, el programa permite modificarlos o desactivar alguno.

Se consideran errores altos aquellos que superan el tamaño de las celdas del sensor. En este proyecto, con la cámara CANON EOS D30, el tamaño de las celdas es de 10 micras, valor que se ha obtenido al dividir el tamaño del sensor (21,716 x 14,468 mm) entre el número de píxeles de cada columna y fila (2160 x 1440 píxeles).

- **Orientación Absoluta:**

Para realizar la orientación absoluta seleccionar *Digital -> Orientación absoluta*. El operario se encargará de identificar estereoscópicamente los puntos de apoyo, indicándole al programa el número de punto a digitalizar. A partir del cuarto punto se mostrarán los residuos de la orientación, si estos residuos son muy altos, una vez hecho el apoyo el operario podrá modificar o desactivar algún punto. La tolerancia en la orientación absoluta la establecerá la escala máxima a utilizar o el tamaño del elemento más pequeño que se vaya a representar. Para este proyecto partimos con una precisión en los puntos de apoyo en torno al centímetro, se intentará que los residuos no superen los 2 cm.

### 7.2.3.- RESTITUCIÓN:

La restitución se efectúa en modo gráfico en la pantalla de DigiNG, para abrirla seleccionar *Archivo -> Nuevo* y en la ventana que se abra pulsar la pestaña *Digi*. Antes de iniciar el modo gráfico hay que especificar un nombre y una dirección para el archivo de dibujo “.bin”, escala de dibujo, tolerancia, archivo de puntos de apoyo, directorio de tablas y precisión.

Por lo general, en los levantamiento de patrimonio, la restitución se realiza utilizando polilíneas 3D, ya sea para definir contornos, curvas de nivel o líneas de ruptura, activándola con el icono correspondiente e iniciándola y finalizándola con los botones derecho e izquierdo del ratón en los puntos deseados. El programa también permite digitalizar puntos, arcos e incluso texto, y guardarlos en una determinada capa.

Los datos de la restitución se podrán transformar de formato .bin a formato estándar .dxf con la aplicación MDTop de Digi, y poder así trabajar con ellos en cualquier otro programa CAD.

### 7.3.- GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO:

Con los pares orientados, la siguiente fase es crear el modelo digital del terreno por correlación automática, para ello, se han de seguir estos pasos: Delimitar la zona a correlar, registrar una serie de líneas de ruptura (si la superficie lo requiere), ejecutar la orden de correlación y evaluar los resultados obtenidos.

Los dos primeros pasos se realizan en la pantalla de DigiNG por restitución manual. El primero consistirá en crear una polilínea cerrada que delimite el área del modelo. Es conveniente que los vértices de este contorno estén debidamente posados en Z, ya que de esta forma quedará mejor definido el modelo y ayudará al proceso de correlación, así como a la fase posterior de ortorectificación. El segundo paso dependerá de la superficie a correlar, cuanto mayor número de discontinuidades tenga mayor será el número de líneas de ruptura a tomar.

Para ejecutar la correlación seleccionar *Herramientas -> Modelo digital del Terreno -> Modelo digital del terreno por correlación interactivo* o pulsar *enter* y escribir la orden *MDTPC*. El programa comienza pidiendo que se seleccione la línea

límite de correlación, una vez indicada, aparecerá la ventana para definir los parámetros de autocorrelación:

Figura 32: Parámetros de autocorrelación de Digi3D.

- En el campo **Geometría de la línea de límite** se puede seleccionar el tipo de límite, es recomendable que la línea de límite posea toda la geometría del límite posada en Z o al menos los vértices posados en Z.
- En los campos **min** y **max** especificar los rangos entre los que se encuentran las líneas de ruptura, si se trata de pares abatidos es posible que algunas líneas posean valores negativos.
- La **Distancia entre puntos (en unidades terreno)** hace referencia a la resolución de la rejilla. Dependiendo de la resolución de la imagen (en unidades terreno), valor que se puede consultar con la orden *PIXEL*, y del elemento a medir, se establecerá un valor de distancia mayor o menor.
- **Tamaño del píxel en micras.**
- **Anchos en píxeles de las imágenes de referencia para los diferentes niveles piramidales.**
- Indicar el factor de correlación mínimo para aceptar un punto correlado (en **Buscar puntos con factor de correlación >=**), el número de oportunidades de búsqueda (cuanto mayor sea su valor mayor tiempo tardará el programa en generar el modelo) y el número de píxeles a aumentar la plantilla de búsqueda

en cada prueba. En cuanto a la opción de **borrar los puntos que no cumplan esta condición**, se recomienda tenerla activada.

- Respecto a las **muestras de entrenamiento**, están pensadas para las zonas arboladas o urbanas que aparecen en fotogrametría aérea, y su aplicación en fotogrametría de objeto cercano no reporta ninguna mejora.
- **Generar el archivo log**, para conocer el resumen de la correlación.

Cuando se hayan rellenado todos los campos pinchar en el botón *calcular* para generar el MDT. Una vez hecha la correlación se mostrará la nube de puntos en pantalla de DigiNG, mostrándose cada punto con un color distinto según su factor de correlación. Para cambiar los colores, ejecutar la orden “*digi.tab*” y asignarle a cada código un color, por ejemplo:

FACTOR DE CORRELACIÓN	CÓDIGO	COLOR
[ 0,0 – 0,25 )	0	Azul
[ 0,25 – 0,4 )	2	Rojo
[ 0,4 – 0,6 )	4	Amarillo
[ 0,6 – 1,0 ]	6	Verde

El último paso consiste en evaluar y corregir la nube de puntos resultante, para lo que se pueden aplicar distintos procedimientos. Para evaluar el resultado de la correlación podemos estudiar el fichero “*log*”, donde se indica el número de puntos correlados por cada factor de correlación; analizar la nube de puntos sobre el modelo estereoscópico; o generar un curvado para localizar los posibles puntos erróneos, en cuyo caso, se tendrá que generar primero una triangulación (*Herramientas -> Modelo digital del Terreno -> Triangular con MDTop*) y posteriormente el curvado (*Herramientas -> Modelo digital del Terreno -> Curvar*). La edición de los puntos se realiza con la orden *MOVER\_Z*, si es un solo punto, o *MOVER\_Z\_V*, si son varios. También, se puede hacer un filtrado con la orden *LIMPIAR\_MDT*, eliminando aquellos puntos con una pendiente mayor a la indicada.

Para determinar cuantitativamente la precisión del modelo resultante comparar los datos de la correlación con los puntos de apoyo y calcular el error medio, la desviación estándar y el error medio cuadrático (descritos en el estudio teórico de este proyecto -página 37-).

#### 7.4.- OBTENCIÓN DE LAS ORTOFOTOS Y LOS ORTOFOTOMOSAICOS:

Para generar una **ortofotografía** seguiremos los siguientes pasos: se comienza cargando la imagen fuente con la orden *CARGA\_RASTER*, es necesario que en el mismo directorio de la imagen haya un fichero .ori vinculado a ella; seguidamente, se carga el modelo digital del terreno triangulado .mdt con la orden *CARGA\_MDT*; luego, se delimita la zona de la que se quiere obtener la ortofotografía; se indica la resolución de la ortofotografía (en coordenadas terreno) con la orden *DA*, cuyo valor aproximado se puede conocer con la orden *PÍXEL*; y el último paso corresponde al cálculo de la ortofotografía, para ello, ejecutar la orden *CAL\_ORTO*.

Hay tres alternativas para interpolar los datos de la ortofotografía, por el vecino más próximo, interpolación bilineal o interpolación bicúbica. Se recomienda usar el método bilineal o el método bicúbico, que aunque tarda más tiempo en rectificar ofrecen mejores resultados. También, se recomienda rectificar las dos imágenes del par y escoger la que mejor aspecto tenga, ya que se ha observado que se obtienen resultados distintos según la posición de la toma fotográfica respecto del elemento, sobre todo en superficies con relieve discontinuo.

La ortofoto resultante se generará en el mismo formato que la imagen original, creándose además unos ficheros para poder georeferenciarla.

Una vez se hayan obtenido todas las ortofotografías, la siguiente fase es unir las para formar un **ortofotomosaico**. Para ello, en primer lugar, se han de cargar todas las ortofotos, con la orden *CARGA\_RASTER*; seguidamente, se ecualizan con la opción *Herramientas -> Imágenes raster -> Ajustar radiometría*, para lo que hay que indicar una imagen de muestra y las imágenes a modificar; y por último, se realiza la unión con la opción *Herramientas -> Imágenes raster -> Mezclar imágenes raster*. La unión se efectúa mezclando píxeles comunes en ambas ortofotografías, definiendo el usuario como se quiere realizar la mezcla, con predominio de la imagen más clara, de la más oscura, del valor medio, etc.. En la aplicación práctica de este proyecto la que mejor resultado a proporcionado es la del predominio de la imagen más oscura, de todas formas, se recomienda probar todas las opciones.

Para exportar el mosaico como imagen raster dibujar sobre DigiNG un contorno que encierre al mosaico y ejecutar la orden *Cortar\_raster*. El programa pedirá la línea límite y el directorio donde guardar la imagen.

Es conveniente que antes de generar el mosaico se examine la calidad de cada ortofoto, determinando, en caso de que existan errores, sus causas para poder corregirlos. Posteriormente, se creará el mosaico y se comprobará que no posee diferencias radiométricas ni tiene errores en las zonas de unión de las ortofotos.

#### 7.5.- ESTUDIO TEMPORAL DE LA ESTACIÓN DIGI 3D:

El estudio temporal que se describe a continuación se ha elaborado a partir de la aplicación práctica de este proyecto, para un par concreto, pudiendo variar para otro trabajo según las características de la superficie a medir y las condiciones de la toma.

OPERACIONES	TIEMPO	COMENTARIOS
ORIENTACIÓN INTERNA	4 min.	IMAGEN IZQUIERDA Y DERECHA
ORIENTACIÓN RELATIVA	30 min.	
ORIENTACIÓN ABSOLUTA	32 min.	
RESTITUCIÓN	54 min.	LÍMITE, LINEAS DE RUPTURA Y PUNTOS DE APOYO
GENERAR MDT	22 min.	PRUEBA 1 Y ANÁLISIS
	22 min.	PRUEBA 2 Y ANÁLISIS
GENERAR ORTOFOTO	5 min.	
GENERAR MOSAICO	15 min.	
<b>TOTAL</b>	<b>3:04 h.</b>	

## 8.- COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES Y LOS RESULTADOS.

Tras realizar varias pruebas con las estaciones SoftPlotter y Digi3D, pruebas que pueden consultarse en el Anexo II de este proyecto, se han comparado sus resultados y se ha elaborado el siguiente capítulo [8].

En primer lugar, se ha hecho un estudio comparativo de los resultados generados con las dos estrategias de la estación SoftPlotter y, posteriormente, se han comparado esos resultados con los obtenidos en la estación Digi3D. También, se han comparado entre sí ciertas características de interés de cada estación.

### 8.1.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN SOFTPLOTTER.

#### 8.1.1.- USO DEL MÓDULO SURFACE TOOL FRENTE AL DEM TOOL:

Tanto el módulo DEM TOOL como el módulo SURFACE TOOL están diseñados para correlar automáticamente una serie de puntos del terreno a partir de imágenes estereoscópicas. Usan estrategias de búsqueda similares, y las herramientas de verificación y edición son parecidas, sin embargo, difieren en el tipo de estructura que utilizan para definir el MDT y en los datos resultantes, lo que ha motivado que para este proyecto solo se use el módulo SURFACE TOOL y no el DEM TOOL.

El módulo DEM TOOL genera un modelo con una estructura regular de celdas cuadradas. El inconveniente de estas estructuras es que están preparadas para definir superficies continuas, que no se adaptan a líneas de ruptura ni puntos digitalizados fuera de esas superficies; esto supone que la única manera de poder reflejar las discontinuidades sea reduciendo el tamaño de la celda. Reducir el tamaño de la celda equivale a aumentar el número de puntos a buscar e implica que el tiempo empleado en generar el modelo aumente sustancialmente, sin contar con los problemas que supone trabajar con un número muy alto de puntos y que el programa está limitado a un número determinado de puntos (500.000 puntos). Esta es una de las causas por las que se ha rechazado usar el módulo DEM TOOL, ya que en patrimonio por lo general nos encontramos con superficies no regladas. La otra causa es que los datos resultantes de



Figura 33: Modelo ráster.

la correlación no se pueden obtener directamente en un fichero vectorial o ASCII, solo como un archivo de formato ráster (como el de la figura 33), lo que supone un inconveniente para su tratamiento posterior.

Por el contrario, en el módulo SURFACE TOOL se obtiene un MDT de estructura TIN. Esta estructura no es tan rígida como la que se genera en el módulo visto anteriormente, permite eliminar puntos que no interesen y desechar los posibles puntos interpolados (puntos que como se puede ver en los resultados prácticos no siempre se adaptan correctamente al relieve), así mismo, las líneas de ruptura y los puntos digitalizados por el operador se adaptan perfectamente al modelo. En cuanto a los datos obtenidos en la correlación, se pueden exportar a ficheros vectoriales (en formato DGN de MICROSTATION), ASCII o ráster.

#### 8.1.2.- ESTRATEGIAS *TIN COLLECT* Y *EPIPOLAR COLLECT*:

En SoftPlotter, los procesos de orientación, restitución, correlación automática, etc. son independientes entre si, con lo que al utilizar las estrategias *TIN COLLECT* y *EPIPOLAR COLLECT* partimos de datos con la misma precisión. Así mismo, las herramientas de edición del modelo correlado son comunes en ambas estrategias.

Ya que la mayoría de las herramientas son las mismas para ambas estrategias, solo cabe comparar las propiedades de cada estrategia de correlación y los resultados que proporcionan:

Una de las propiedades más destacables de la estrategia *TIN COLLECT* (estrategia basada en la correspondencia por áreas) es que permite correlar sobre pares de ortofotos y sobre estereopares, mientras que la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* (estrategia basada en la correspondencia a lo largo de la línea epipolar) solo puede trabajar sobre estereopares.

Por otra parte, la estrategia *TIN COLLECT* tiene el inconveniente de verse afectada por mayor número de parámetros, lo que suele suponer mayor número de ajustes y de pruebas [que la estrategia *EPIPOLAR COLLECT*] para conseguir mejores resultados. Hay que destacar, tanto para la estrategia *TIN COLLECT* como *EPIPOLAR COLLECT*, que no es conveniente en ocasiones forzar sus parámetros para aumentar

el grado de correlación, ya que se ha comprobado que en lugar de mejorarla puede dar lugar a falsos resultados.

En cuanto a los resultados de la autocorrelación, es notablemente alto el porcentaje de puntos que se consiguen correlar con las dos estrategias, siendo llamativamente más alto el que se consigue con la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* ( $\pm 98\%$ ). Sin embargo, no el cien por cien de los puntos correlados suelen estar perfectamente posados, ya que en las pruebas realizadas se han encontrado puntos que por muy buena que haya sido su correlación presentan errores groseros, es decir, se trata de falsas correlaciones (aparecen en menor medida con la estrategia *TIN COLLECT*). Cabe reseñar también que la estrategia de correspondencia por áreas (*TIN COLLECT*), en muchos casos, no consigue correlar puntos en aquellas zonas lisas de textura homogénea, mientras que la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* si (aunque suele ser una correlación con un coeficiente de correlación bajo).

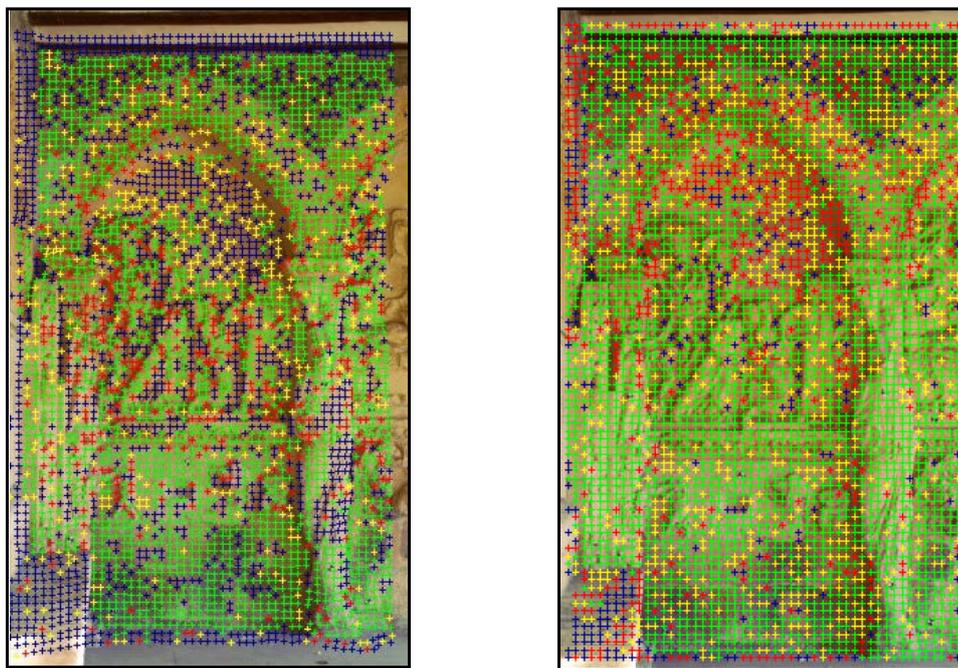


Figura 34: Resultados de la estrategia *TIN COLLECT* (imagen izquierda) y de la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* (imagen derecha). Las cruces azules corresponde a puntos interpolados (que no se han conseguido correlar) y el resto a puntos correlados.

Respecto a las precisiones de los modelos resultantes y el tiempo que tarda cada estrategia en efectuar la autocorrelación, se tratará conjuntamente con los resultados de la estación Digi3D en el apartado 8.2.2. (páginas 90 a 92).

## 8.2.- COMPARACIÓN DE ESTACIONES SOFTPLOTTER Y DIGI 3D.

### 8.2.1- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES SOFTPLOTTER Y DIGI 3D.

Tras manejar las estaciones SoftPlotter y Digi3D, hay ciertas características y herramientas, algunas ya descritas en los capítulos 6 y 7, que nos resulta interesante comparar entre las dos estaciones.

En primer lugar, la forma en la que están estructuradas las tareas en cada estación. SoftPlotter es un programa perfectamente estructurado en módulos, organizados de izquierda a derecha, donde en cada módulo se realiza una tarea distinta. Esta estructura hace que el programa sea intuitivo y de fácil manejo. Digi3D es también un programa de fácil manejo, sin embargo, no es tan intuitivo y en algunas de sus tareas es necesario conocer las ordenes para su ejecución. Trabaja sobre dos ventanas distintas: una donde se visualiza el modelo estereoscópico; y otra donde se muestran las distintas herramientas, organizadas en diferentes menús desplegables (también es posible acceder a las ordenes desde los iconos o tecleando la orden).

La estructuración de los programas queda patente también en la forma de organizar los datos que se generan en cada tarea. SoftPlotter posee un sistema fijo compuesto de una serie de subcarpetas, una para cada tarea, guardadas en una carpeta principal (la carpeta proyecto). Digi3D, por el contrario, guarda los datos de las orientaciones y del resto de productos (MDTs, ortofotos, mosaicos, etc.) en las carpetas que indica el usuario.

En cuanto a los datos de entrada: En SoftPlotter hay que crearlos (por ejemplo el fichero de cámaras) o importarlos (por ejemplo el listado de puntos de apoyo) en el programa, y las imágenes han de tener formato *tiff* u otros formatos propios del programa o de escáneres fotogramétricos determinados. En Digi3D, los ficheros de cámara o de puntos de apoyo se pueden crear en el programa o utilizar unos creados con un editor de texto, y las imágenes a introducir pueden ser de formato estándar como *tiff*, *bmp*, *jpeg*, etc..

Una gran ventaja de los ficheros que crea Digi3D es que todos están en formato ASCII y se pueden leer con un editor de texto, mientras que los archivos de SoftPlotter requieren el programa para leerlos.

Ambas estaciones tienen la capacidad de visualizar la restitución sobre el modelo estereoscópico, sin embargo, difieren en el sistema donde almacenan los datos. SoftPlotter trabaja conjuntamente con el programa Microstation, almacenando los datos en un fichero de formato *.dgn*. Al trabajar con un programa externo, SoftPlotter tiene el inconveniente de que los datos de la restitución no están disponibles para otros procesos como la correlación automática. En cambio, Digi3D posee su propio sistema de dibujo (de formato *.bin*), y las entidades restituidas pueden ser utilizadas en otros procesos como la correlación automática.

### 8.2.2.- HERRAMIENTAS Y RESULTADOS DE SOFTPLOTTER Y DIGI 3D.

En este apartado se hace un estudio comparativo de los resultados y las herramientas utilizadas en la producción y edición de MDTs por correlación automática, y de los resultados y las herramientas utilizadas en la producción de ortofotos y ortofotomosaicos.

La producción de modelos digitales del terreno por correlación automática sigue básicamente el mismo esquema en ambas estaciones, según se muestra en el gráfico siguiente:

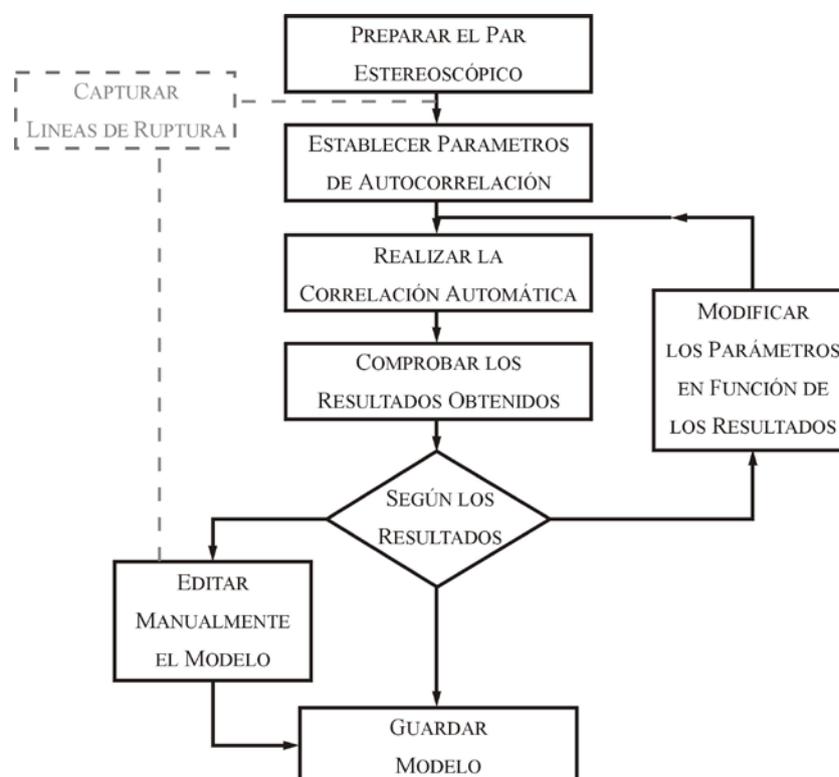


Figura 35: Diagrama para obtener un MDT por correlación automática.

La preparación del par estereoscópico corresponde a los pasos previos a la construcción del MDT, como las fases de orientación del par. En SoftPlotter todas las orientaciones se realizan de forma monoscópica, además, las orientaciones relativa y absoluta se efectúan conjuntamente en un solo paso, con la ventaja en tiempo que ello supone. Por otro lado, Digi3D realiza las orientaciones interna y relativa monoscópicamente, y la orientación absoluta de forma estereoscópica. Aunque en Digi3D resulta más lenta y laboriosa la orientación externa, tiene la ventaja de mostrar en tiempo real los residuos del proceso.

Si nos fijamos en los resultados prácticos de este proyecto, veremos que en ambas estaciones se ha conseguido orientar los pares con residuos por debajo de las tolerancias establecidas. Aunque, en Digi3D, por muy bajos que hayan sido los residuos y tras varias pruebas, no se ha conseguido un modelo estereoscópico aceptable. Esto nos deja la duda de si la estación Digi3D está preparada para trabajar con cualquier par de terrestre (convendría chequearla).

Cuando se crea un nuevo MDT, una de las primeras cosas que se ha de hacer es definir el límite del modelo a correlar. Este paso no es obligatorio en SoftPlotter, y si no se indica, el programa hará la correlación sobre todo el área de solape del par estereoscópico. En caso de definirlo, se hará marcando un rectángulo sobre una de las imágenes del par estereoscópico. En Digi3D, sin embargo, es un paso obligatorio y, a diferencia de SoftPlotter, se realiza digitalizando un contorno cerrado (regular o irregular). Aunque la creación de este contorno puede resultar laboriosa, permite encuadrar mejor la zona a correlar, y si además los nodos se encuentran posados en Z, sirve de apoyo al proceso de autocorrelación.

Una operación importante en la construcción de un MDT es la captura de líneas de ruptura. El que no se encuentre totalmente integrada en el esquema de la figura 35 se debe a que los programas efectúan esta operación en distinto momento: SoftPlotter únicamente permite tomar líneas de ruptura una vez hecha la autocorrelación, en la fase de edición; mientras que en Digi3D la captura se puede realizar antes y/o después de la autocorrelación.

La captura previa de líneas de ruptura en Digi3D sirve de apoyo al proceso de autocorrelación, aporta datos iniciales de profundidad y una serie de puntos (los nodos de las líneas) que se consideran bien medidos. Además, Digi3D permite utilizar las mismas líneas de ruptura en todas las pruebas de autocorrelación necesarias, e incluso, es posible importarlas de otros ficheros (sin más que guardarlas en el fichero de dibujo “.bin”).

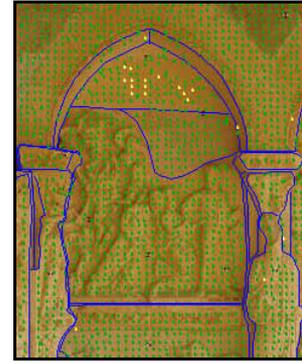


Figura 36: Líneas de ruptura en Digi 3D.

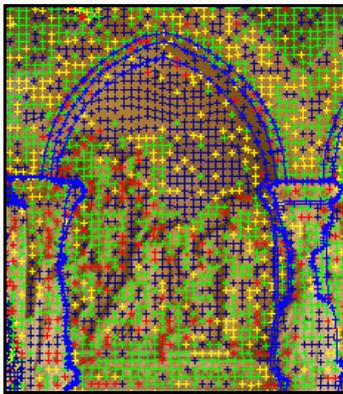


Figura 37: Líneas de ruptura en SoftPlotter.

SoftPlotter, por el contrario, no está muy desarrollado en este tema. Permite importar datos de otros ficheros (listados de puntos en ASCII, ficheros de dibujo “.dgn”), sin embargo, no permite utilizarlos en el proceso de autocorrelación. Solo deja tomar líneas de ruptura en la fase de edición del modelo correlado, y cada vez que se hace una nueva prueba hay que volver a definir las. En cuanto a los datos iniciales de profundidad, se toman de la “altitud media” que se indica en la definición del proyecto.

Siguiendo el esquema de la figura 35, el siguiente paso es establecer los parámetros de autocorrelación. Para ello, cada programa abre su correspondiente ventana. Si comparamos sus parámetros, vemos que tienen ciertas similitudes entre sí:

- En ambas ventanas hay que especificar el factor o coeficiente de correlación mínimo para dar por bueno un píxel autocorrelado. SoftPlotter tiene además un parámetro para desechar un píxel si en la búsqueda no llega a un valor mínimo de coeficiente de correlación, permitiendo que se reduzca el tiempo empleado en el proceso de autocorrelación.
- En cuanto a los parámetros de búsqueda, en ambas ventanas hay que indicar:
  - El tamaño de la plantilla de búsqueda: En Digi3D esta plantilla es en forma de espiral, aumentando su tamaño tantos píxeles y tantas veces como se indique; en SoftPlotter la plantilla es cuadrada, y el usuario indica su tamaño inicial y final.

- Definir la estrategia de búsqueda piramidal: Digi3D esta acotado a tres niveles, donde el usuario solo define el tamaño de píxel de cada nivel; en SoftPlotter por el contrario, el usuario especifica el número de niveles.
- El valor de desplazamiento que podrá realizar el programa para determinar la altura más probable de correlación. En Digi3D es tantas veces el tamaño de las celdas de la rejilla, y en SoftPlotter un número de píxeles.

En SoftPlotter, en la misma ventana donde se fijan los parámetros de correlación, también se definen los parámetros de filtrado del modelo, ya que el proceso se realiza a la par que la autocorrelación. Este filtrado lo que hace es comparar el valor correlado con un valor resultante de multiplicar el promedio de seis puntos vecinos por su desviación estándar. En Digi3D, sin embargo, el filtrado se realiza después de la correlación, y lo hace comparando las pendientes de cada punto con sus vecinos.

Se ejecuta la correlación automática, proceso cuya duración temporal varía según los parámetros de autocorrelación que se utilicen, método y estación. Para comparar el tiempo que tarda cada estrategia en efectuar la correlación se ha elaborado la tabla siguiente, aplicada a una superficie de 9,40 m<sup>2</sup>. Para que los resultados sean lo más fidedignos posible se han tomado parámetros iguales o parecidos:

ESTRATEGIA	RESOLUCIÓN REJILLA	TOTAL PUNTOS	TIEMPO TOTAL DE CORRELACIÓN	PUNTOS CORRELADOS POR SEGUNDO
<b>TIN COLLECT</b> (SOFTPLOTTER)	0,05 m	4108	0,30 min.	228,22 ptos/sg
	0,01 m	141279	1,83 min.	1286,69 ptos/sg
<b>EPIPOLAR COLLECT</b> (SOFTPLOTTER)	0,05 m	4086	0,02 min.	3405,00 ptos/sg
	0,01 m	139716	0,15 min.	15524,00 ptos/sg
<b>MDTPC</b> (DIGI 3D)	0,05 m	3730	1,13 min.	54,85 ptos/sg
	0,01 m	90995	27,35 min.	55,45 ptos/sg

La estrategia basada en la correspondencia a lo largo de la línea epipolar (*EPIPOLAR COLLECT*) tarda mucho menos tiempo en efectuar la correlación que las estrategias basadas en la correspondencia por áreas (*TIN COLLECT* y *MDTPC*), eso es debido a que en la correlación epipolar el área de búsqueda de entidades homólogas es más reducida. Asimismo, la estrategia *TIN COLLECT* tarda menos en correlar que la

estrategia *MDTPC*, debido a que la primera deja de hacer iteraciones en un píxel si éste no alcanza el coeficiente de correlación mínimo, mientras que la segunda sigue iterando hasta que da el píxel como bueno o llega al límite máximo establecido.

Un dato que llama la atención es el número de puntos correlados por segundo, que se mantiene parecido en la estrategia *MDTPC* al variar la resolución de la malla, y varía en las dos estrategias de la estación SoftPlotter. Posiblemente esta variación en SoftPlotter se deba a que tiene en cuenta el tiempo de filtrado en el proceso de correlación.

Una vez obtenido el MDT, tanto SoftPlotter como Digi3D poseen distintas opciones para que el operador pueda evaluarlo. Las dos que consideramos más interesantes son: la posibilidad de explorar estereoscópicamente la nube de puntos del MDT

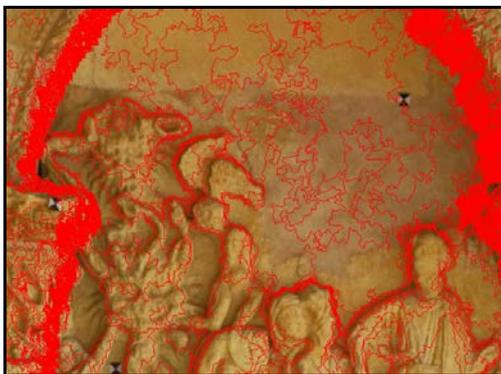


Figura 38: Curvado generado en SoftPlotter, con una equidistancia de 0,01 m.

sobre el estereopar, y la opción de generar un curvado que denote la presencia de errores. Se trata de medios que solo sirven para localizar los posibles errores de posado de los puntos, interesantes para la fase de edición manual, pero que no aportan la cuantía de error.

Para el análisis cuantitativo del MDT se han utilizado otras herramientas externas, cuyos resultados pueden consultarse en el Anexo II, llegando a las siguientes conclusiones:

- Al estudiar los resultados que proporciona cada estrategia, sin efectuar filtrado alguno, comprobamos que los obtenidos con las dos estrategias de SoftPlotter presentan un MDT muy pobre (con poca precisión,  $\pm 0,199$  m), a diferencia de los proporcionados en Digi3D que tienen mejores precisiones ( $\pm 0,52$  m).
- Aplicando un filtrado sobre los resultados de SoftPlotter observamos que las precisiones del MDT mejoran satisfactoriamente. En el caso de la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* las precisiones se mantienen parecidas en las pruebas siguientes ( $\pm 0,050$  m), sin embargo, en la estrategia *TIN COLLECT* las precisiones son variables (van desde  $\pm 0,063$  m a  $\pm 0,043$  m) y están muy influenciadas por los parámetros que se utilicen en cada prueba.

- De las tres estrategias utilizadas la que mejores resultados ha proporcionado, en las mismas condiciones (con parámetros parecidos y haciendo el filtrado), es *EPIPOLAR COLLECT*. Aunque con esta estrategia los resultados no siempre son los más precisos, es con la que mayor número de puntos se consigue correlar, la que menos tarda en realizar la autocorrelación y con la que mejor se consiguen adaptar los puntos a las discontinuidades.

Las herramientas de edición del MDT son similares en ambas estaciones. Muestran la nube de puntos sobre el modelo estereoscópico, permiten añadir o borrar puntos, modificar puntos individualmente o en conjunto, etc..

Por último, el MDT resultante se podrá utilizar para la generación de ortofotos y/o extraerlo en fichero CAD o AXCII, para generar modelos con otra estructura u otro tipo de productos (mirar Anexo III).

Al igual que en la generación automática de MDTs, para el proceso de producción de ortofotos y ortofotomosaicos se ha elaborado un esquema con sus principales pasos:

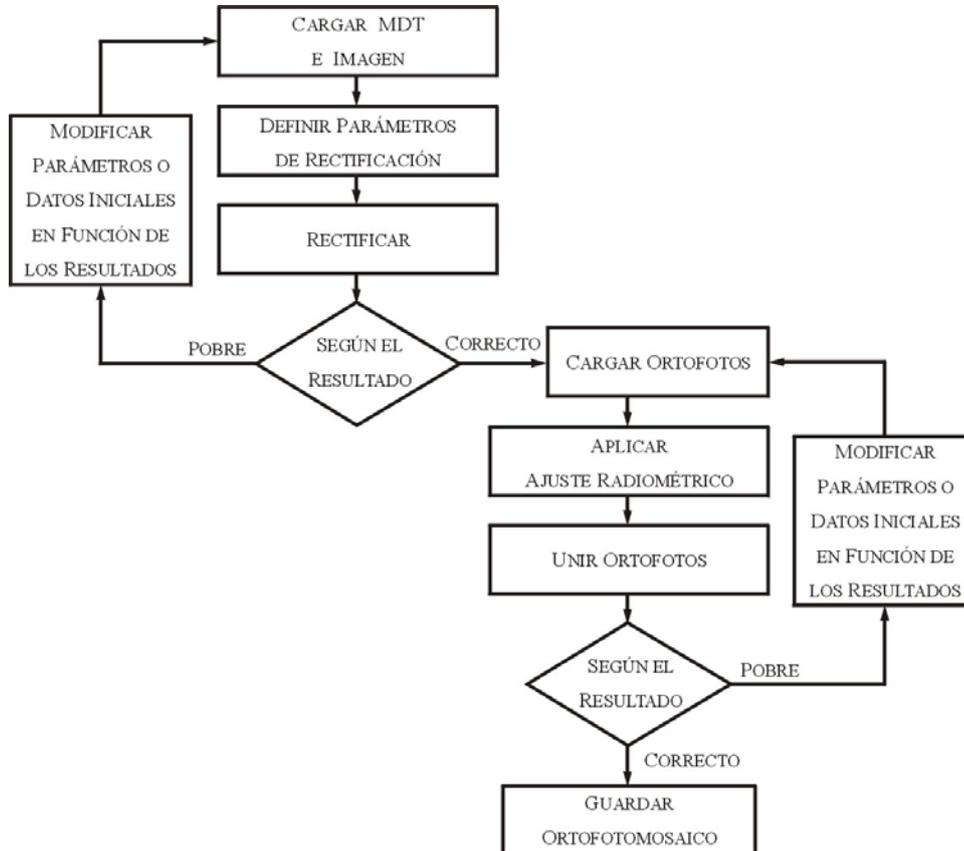


Figura 39: Diagrama de producción de ortofotos y ortofotomosaicos.

Para obtener ortofotos y ortofotomosaicos de buena calidad es conveniente partir de MDTs precisos, que definan correctamente la superficie a correlar; e imágenes capturadas paralelamente al plano de proyección de la ortofotografía, con buena calidad radiométrica, geométrica y espacial.

En la definición de la ortofotografía se especifican parámetros como: la resolución de la ortofoto en unidades terreno, este valor suele estar limitado por la resolución de la imagen de partida (Digi3D no trabaja con una resolución menor que el de la imagen fuente; SoftPlotter si, pero no deja utilizar esas ortofotos en la generación de mosaicos); formato de la imagen de salida, el más habitual es tiff, ya que permite conservar la imagen sin compresión; y el color de fondo, que se establecerá según el método a utilizar en la unión de las ortofotos, sobre todo en Digi3D.

En las dos estaciones encontramos que el remuestreo se puede hacer por el vecino más próximo, interpolación bilineal o convolución bicúbica. Hemos generado ortofotos con los tres métodos y los resultados son muy parecidos, tanto en el tiempo empleado en rectificar como en los resultados, solo hemos observado que con la interpolación bilineal y la bicúbica las texturas de la imagen son más suaves.

Al realizar la revisión de las ortofotos encontramos que algunos de los problemas surgidos derivan de la toma fotográfica y de la utilización de MDTs con poca precisión.

- Los producidos por la toma fotográfica suelen ser generalmente por la presencia de zonas ocultas provocadas por el propio objeto, que al rectificar generan una textura estirada. Otro problema, menos habitual, es la presencia de sombras y claros en la imagen.
- En la figura 40 se muestran algunos de los problemas debidos a la utilización de MDTs con poca precisión:



Figura 40: Problemas de calidad de las ortofotos.

La primera imagen muestra una ortofoto generada a partir de un MDT con puntos mal correlados, la segunda se ha obtenido utilizando un MDT con un tamaño de celda próximo a la resolución de la imagen en unidades terreno (si la escala de representación de la ortofoto es como el de la figura 40, estos errores son imperceptibles), y la tercera es el resultado de utilizar un MDT con líneas de ruptura mal definidas.

El proceso de construcción de un mosaico se inicia escogiendo las ortofotos u otros mosaicos que lo van a componer. La estación SoftPlotter es más restrictiva en este tema, que la estación Digi3D, ya que solo deja construir mosaicos con imágenes que posean las mismas características de resolución, color, etc..

Para realizar automáticamente el ajuste radiométrico las estaciones dan varias opciones, desde tomar una imagen como base y modificar el resto, a utilizar el valor medio de varias imágenes como base. Los resultados del ajuste automático no siempre son satisfactorios, sobre todo cuando en las imágenes aparecen zonas muy oscuras con zonas claras, como en el ejemplo siguiente:

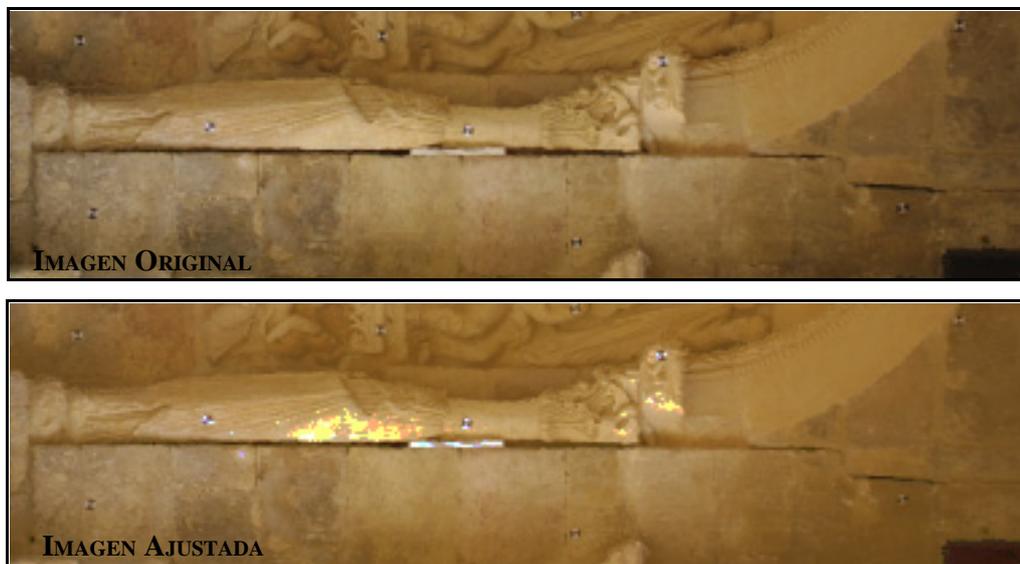


Figura 41: Resultado de un Ajuste de baja calidad.

En SoftPlotter también existe la opción de realizar el ajuste manualmente. De los resultados obtenidos, la estación fotogramétrica que ha ofrecido un ajuste radiométrico más realista ha sido Digi3D. Las imágenes ajustadas con SoftPlotter mostraban una textura muy aclarada.

El proceso de unión de las ortofotos se realiza de distinta manera en la estación SoftPlotter que en la estación Digi3D.

En SoftPlotter, salvo casos concretos, el operario marca manualmente sobre las áreas de solape de dos ortofotos las líneas de corte, y luego las une.

En Digi3D las ortofotos se cortan individualmente y luego el operario establece el método de unión y el programa lo ejecuta. El inconveniente que tiene es que a la hora de establecer un método de unión hay que comprobar cual es el color de fondo de la ortofoto y si afecta a la zona de solape, si es por ejemplo de color blanco hay que utilizar el método de predominio de la imagen más oscura y no el de predominio de la imagen más clara ni el de valor medio, porque quedaría patente en el mosaico.

Al evaluar la calidad de los modelos resultantes hemos comprobado que la mayoría de los problemas surgen de un ajuste radiométrico pobre de las ortofotos. En Digi3D, también hemos comprobado que la mala orientación del par estereoscópico (utilizado para generar el MDT) ha quedado patente en el mosaico, produciendo imágenes dobles (Figura 42).



Figura 42: Mosaico con una unión pobre de las ortofotos.

Por último, la extracción del mosaico se podrá hacer en una imagen completa o en trozos. En el caso de SoftPlotter en trozos rectangulares, y en Digi3D con forma regular o irregular.

## 9.- CONCLUSIONES.

### 9.1.- CONCLUSIONES GENERALES.

- La condición primordial de la fotogrametría es que todo aquello que no quede registrado en el par no puede ser ni restituído ni medido por correlación automática.
- La toma de campo (puntos de apoyo y pares de imágenes) se planifica teniendo en cuenta la precisión que requiere el trabajo, a mayor precisión mayor coste, tanto de medios, trabajo y precio. Normalmente, en levantamientos de patrimonio esta precisión viene definida por la escala del dibujo a representar, referida al tamaño mínimo del objeto que tiene representación o a la mayor de las incertidumbres admitida.
- Salvo casos especiales, es conveniente que las tomas sean paralelas y coplanarias a la superficie a medir y, siempre que sea posible, con el centro de la imagen sobre los resaltes que puedan provocar la ocultación de otros elementos.

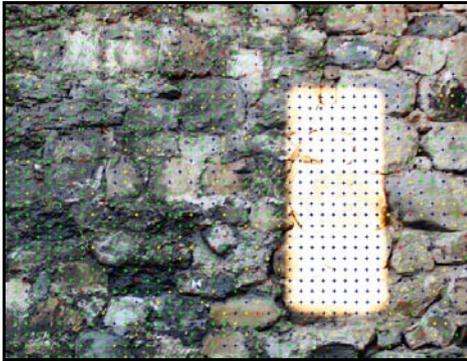
En tomas inclinadas, cuanto más escorada aparece la superficie a medir peores resultados se obtienen en la correlación automática. Si se trata de casos extremos, la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* de la estación SoftPlotter, es la única que consigue ofrecer algún resultado aceptable.



Figura 43: Resultado de un resalte al generar la ortofoto.

- Para fotogrametría digital de objeto cercano recomendamos el uso de cámaras digitales (con resolución suficiente para proporcionar la precisión requerida) frente a las cámaras analógicas. Ya que la captura de imágenes es más rápida y menos costosa; no se ve afectada por deformaciones de la película; y ofrece mejores resultados radiométricos, al depender solamente de las condiciones de la captura y no por el revelado y el escaneado de la película.
- Otro aspecto importante que hay evitar siempre que sea posible son los contrastes de sombras y claros, capturando las imágenes en días nublados. Entre otras cosas, porque la correspondencia por áreas da muy malos resultados en las zonas de mucho

brillo (como el de la figura 44) y porque la calidad de los mosaicos resultantes es muy pobre.



Figuras 44 y 45: Correlación y Mosaico en una zona de sombras y claros.

- El número de puntos de apoyo a capturar dependerá, en mayor medida, de la superficie a correlar. Si se trata de superficies con mucho relieve, como la utilizada en este proyecto, se recomienda medir como mínimo 20 puntos distribuidos convenientemente por todo el modelo. De esta forma, tendremos superabundancia de datos y la posibilidad de tener puntos de apoyo y de control, estos últimos muy interesantes para controlar la orientación del estereopar (sobre todo en Digi3D, que como se ha comprobado no orienta muy bien los pares de terrestre).

La posibilidad de tener un número alto de puntos medidos en campo servirá, además, para determinar aproximadamente el error medio, error medio cuadrático y la desviación estándar del modelo autocorrelado.

- En la orientación relativa, la toma de seis puntos no supondrá ningún problema si la superficie a medir posee un relieve suave y continuo. El inconveniente surge cuando la superficie presenta diferentes niveles de profundidad, en tal caso, habrá que aumentar el número de puntos a tomar y distribuirlos homogéneamente en los diferentes niveles.
- Antes de efectuar la correlación automática conviene evaluar la precisión del modelo estereoscópico, no solo consultando los residuos de las orientaciones, sino también restituyendo los puntos de coordenadas conocidas y determinando sus diferencias con los valores medidos en campo. Cuanto mayor sea el error del modelo estereoscópico mayor será el error del modelo correlado automáticamente.

- La resolución de la rejilla a correlar dependerá de las necesidades del usuario y de los programas que posea para su manipulación. Cuanto más pequeña sea la resolución mayor será el número de puntos a correlar y, por tanto, mayor tiempo de correlación y más grande el fichero resultante. No es conveniente utilizar resoluciones más pequeñas que el tamaño del píxel sobre el terreno, ya que habrá estaciones que no lo permitan (Digi3D) o porque los resultados que generen serán simples interpolaciones o estimaciones dentro del píxel (SoftPlotter).
- La calidad de los modelos se ve considerablemente mejorada cuando se introducen datos auxiliares, tales como líneas de ruptura, imprescindibles cuando las superficies presentan discontinuidades. En estas mismas superficies se recomienda no utilizar puntos interpolados, porque no se adaptan correctamente al relieve.
- La estrategia epipolar es la más rápida en efectuar la autocorrelación y la que mayor número de puntos consigue correlar, sin embargo, se ve muy influenciada por como estén distribuidos los elementos en el terreno (Puede suceder que en la imagen no aparezca ningún elemento tapando a otro y que en el plano de comparación si, y quede reflejado en la correlación). La correspondencia por áreas tarda más tiempo en efectuar la autocorrelación y la precisión de sus resultados suelen ser más variables, aunque, a diferencia de la estrategia epipolar, solo se ve influenciada por como aparezcan los elementos en la imagen.
- La calidad de la imagen y la textura de las superficies a autocorrelar tienen una importante influencia en el proceso de búsqueda de entidades homólogas. En las pruebas de autocorrelación se ha comprobado que las zonas de superficie lisa con textura homogénea son las que peores resultados proporcionan, porque no se consigue correlar, aunque la estrategia *EPIPOLAR COLLECT* si llega a correlar algún punto.

Para solucionar este problema se exponen dos alternativas:

- 1.- En caso de que surja una vez hecha la toma fotográfica, la solución que se plantea es restituir puntos o líneas alrededor de las zonas afectadas. El inconveniente que tiene es que se ralentiza el tiempo de construcción del modelo.

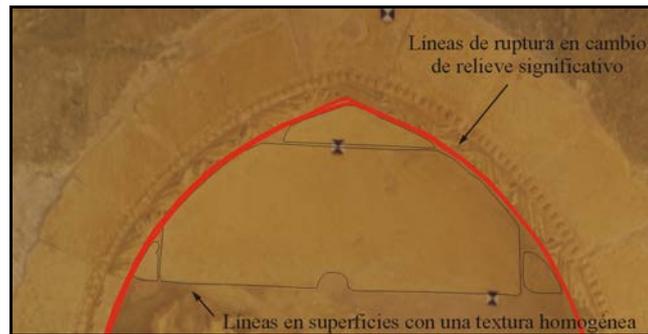


Figura 46: Captura estereoscópica de líneas.

2.- Plasmar mediante un proyector de diapositivas una trama sobre la superficie del objeto a fotografiar (Hierholzer, 1989). Esta solución mejora el resultado de la correlación, pero las imágenes no pueden ser utilizadas para generar las ortofotos.



Figura 47: Proyección de tramas sobre objeto.

(Imagen correspondiente al artículo "Mejoramiento de la textura de una superficie por medio de la proyección de tramas sobre el objeto a restituir". Revista Mapping Nov. 2005).

- El modelo resultante será una nube de puntos X, Y, Z y, en algunos casos, una serie de líneas de ruptura y/o líneas de contorno. A partir de estos datos el usuario podrá genera otro tipo de productos cartográficos acorde con sus necesidades. La creación de modelos de malla TIN o híbrido pueden resultar los más adecuados para la representación de entidades patrimoniales, frente a las mallas regulares.
- En el caso de las ortofotografías, al hacer la rectificación las zonas ocultas que se encuentran más alejadas del punto principal provocan que la imagen aparezca estirada (Figura 44). Los resultados de la rectificación empeorarán cuanto más oblicua sea la imagen.

El uso de un MDT con poca precisión o poco definido también puede dar lugar a una ortofotografía de baja calidad.

- La calidad del mosaico final dependerá mayoritariamente de la calidad de los datos iniciales (precisión de los puntos de apoyo, calidad de las imágenes fuente, etc.) y de las precisiones obtenidas en cada fase hasta llegar a él. Cualquier error provocado en los pasos previos quedará patente en el mosaico.

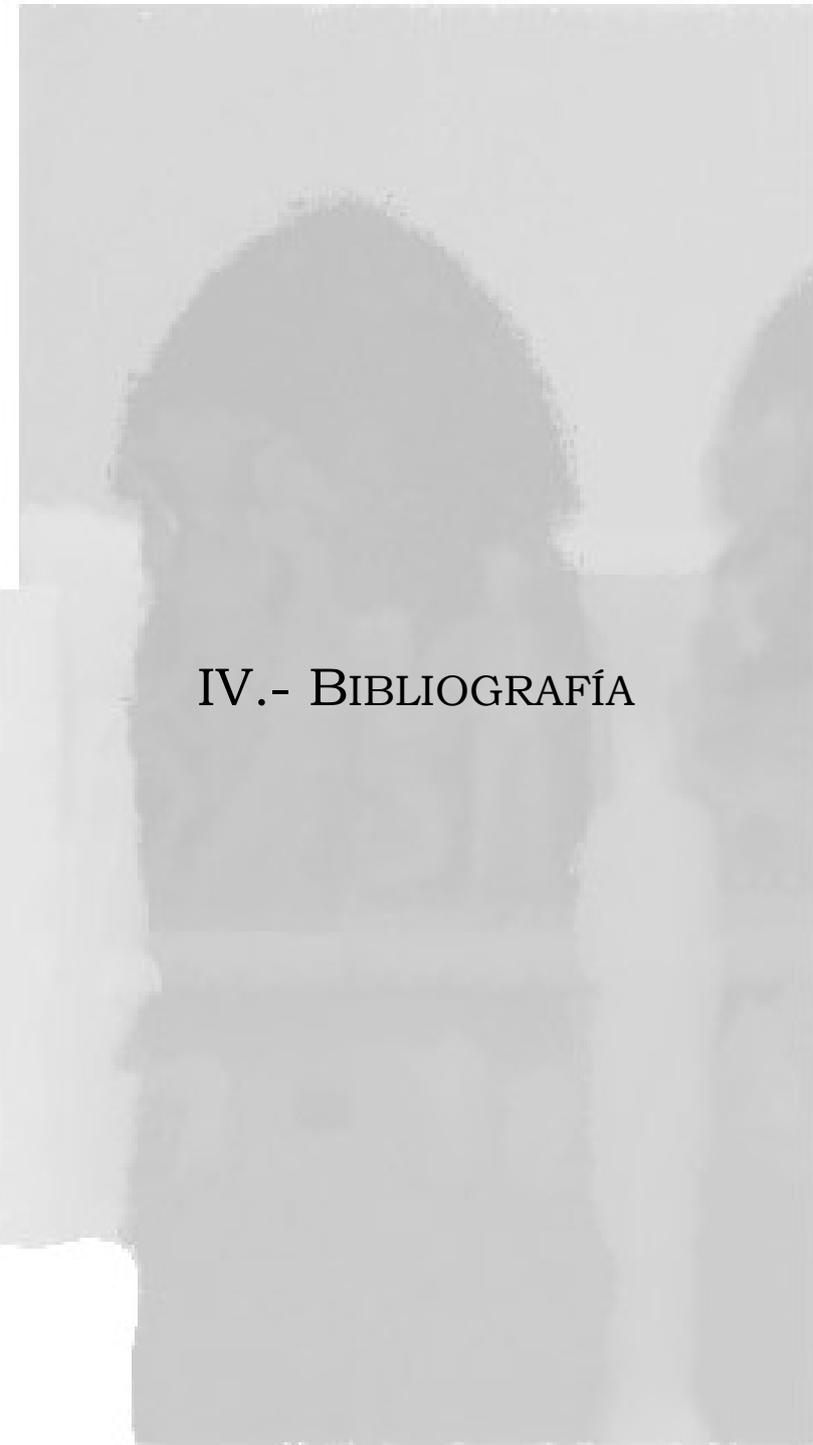
## **9.2.- CONCLUSIÓN FINAL.**

- Hemos constatado que las estaciones fotogramétricas SoftPlotter y Digi 3D están perfectamente equipadas para la producción de modelos digitales del terreno por correlación automática, ortofotografías y ortofotomosaicos, y que permiten evaluar y editar de forma rápida y sencilla los modelos autocorrelados, hacer el ajuste radiométrico automático de las ortofotografías, etc.. En cuanto a su utilización en la documentación geométrica del patrimonio (campo de estudio donde generalmente se emplean pares de fotogrametría de objeto cercano), la estación SoftPlotter no presenta ningún problema, siempre que los pares que lo requieran se hayan orientado con los puntos de apoyo abatidos; sin embargo, la estación Digi 3D muestra ciertos problemas a la hora de hacer la orientación absoluta de pares de fotogrametría de objeto cercano con muchos resaltes, generando un modelo estereoscópico erróneo. Convendría hacer un chequeo de la estación Digi 3D utilizando distintos pares de fotogrametría de objeto cercano.
- Analizando las estrategias y los resultados de la estación SoftPlotter (sobre el proceso de generación automática de MDTs) llegamos a la conclusión de que es una estación cuyo objetivo es la producción de MDTs en el menor tiempo posible. No se centra en probar reiteradamente cada uno de los píxeles hasta localizara el homólogo, sino que trabaja entre unos límites donde el píxel es rechazado o aceptado directamente o tras unas iteraciones (según el coeficiente de correlación); el tamaño de la plantilla de búsqueda esta limitado, el programa no permite introducir un tamaño de plantilla muy grande; y posee varios parámetros para mejorar el resultado de la correlación en post-proceso. Digi 3D, por el contrario, no es una estación donde prime tanto la producción de MDTs en el menor tiempo posible, posee menor número de parámetros de autocorrelación, centrados la mayoría en la estrategia de búsqueda (y no en post-proceso como SoftPlotter); el tamaño de la plantilla de búsqueda no esta limitado, pudiendo establecer un tamaño

grande; y la búsqueda de píxeles homólogos se realiza aplicando en cada píxel tantas iteraciones como indique el usuario o hasta que localice el homólogo.

- De las diferentes estrategias de autocorrelación utilizadas, la que mejores resultados ha proporcionado ha sido la que conjuga la correspondencia por áreas a lo largo de la línea epipolar, aplicada junto con la búsqueda en imágenes piramidales (estrategia *EPIPOLAR COLLECT* de la estación SoftPlotter). Es la que mayor número de puntos consigue correlar, la que menos tarda en realizar la autocorrelación y con la que mejor se consiguen adaptar los puntos a las discontinuidades. Aunque las estrategias basadas en la correspondencia por áreas (*TIN COLLECT* de SoftPlotter y *MDTPC* de Digi 3D) generan en ocasiones resultados muy buenos, con precisiones superiores a los obtenidos con la geometría epipolar, se trata de métodos de correlación poco fiables, ya que también generan resultados con errores muy grandes.
- En cuanto a la generación de ortofotografías, los resultados son muy parecidos en ambas estaciones. Utilizan los mismos métodos de remuestreo, tardan prácticamente lo mismo en realizar la rectificación y la calidad final de las ortofotografías depende, más que del proceso de rectificación en si, de los resultados de las fases anteriores.
- Por el contrario, la producción de ortofotomosaicos varía de una estación a otra. En SoftPlotter es un proceso lento, donde el operador digitaliza cada una de las líneas de unión de las ortofotografías, además, solo se pueden utilizar ortofotografías con atributos iguales. En Digi 3D, por el contrario, se pueden utilizar imágenes con características distintas, y ofrece un ajuste radiométrico automático más realista.
- El principal inconveniente que hemos encontrado en la generación automática de modelos digitales de entidades patrimoniales, es requieren una gran actuación del operador, para la captura interactiva de líneas de ruptura, líneas de contorno o puntos de interés que definan la forma del modelo, y para la fase de edición, lo que hace que se minimicen mucho los méritos de la autocorrelación. Este hecho nos lleva a señalar que la correlación automática queda como un sistema de medida secundario, aplicado a casos especiales donde ofrezca mejores resultados que la restitución manual o donde se requiera una nube de puntos muy densa; o como un proceso intermedio para la generación de ortofotografías.

- En caso de utilizar la autocorrelación como un proceso intermedio en la producción de ortofotos de calidad, la precisión del MDT puede verse reducida (siempre que no de lugar a ortofotos pobres) y ofrecer mayor competitividad con otros sistemas de generación de ortofotos.
  
- Se puede decir que los sistemas de generación automática de MDTs supusieron un importante avance para la captura de puntos del terreno frente a aparatos clásicos, como los teodolitos, estaciones totales de medición de distancias con prisma, GPS, etc., con la ventaja añadida de que el proceso de toma no perturba al objeto medido. Sin embargo, las ventajas que reportan las técnicas de correlación automática, se ven desplazadas por la nueva generación de aparatos con sistemas medición de distancias sin prisma. Estos aparatos consiguen obtener resultados iguales o mejores que la correlación automática en tiempos más competitivos.



## IV.- BIBLIOGRAFÍA

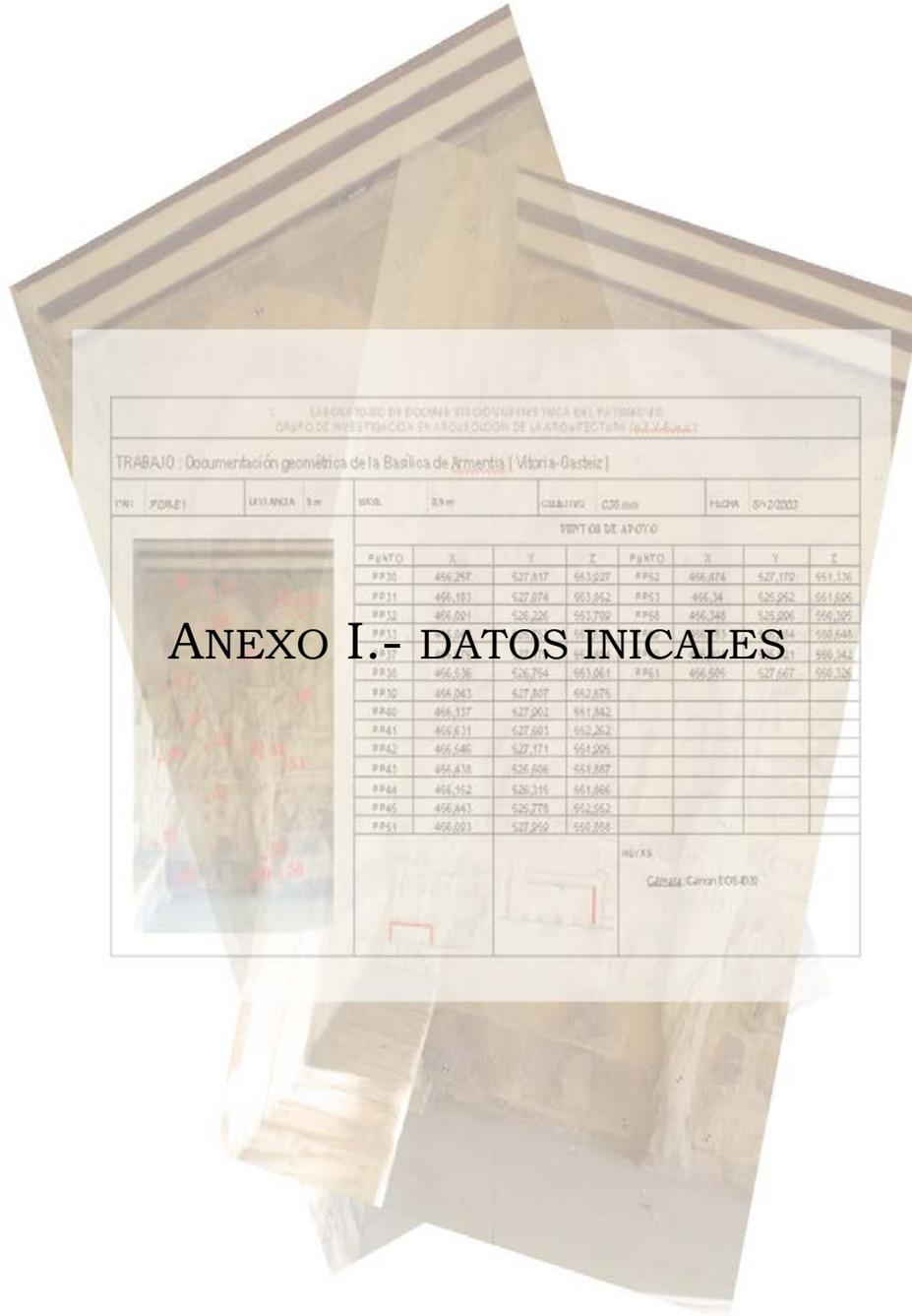
**10.- BIBLIOGRAFÍA:**

- “*Tendencias en la conservación del patrimonio cultural: demandas tecnológicas y científicas en Italia y España*”. II Seminario de perspectiva ANEP celebrado el 18 de Febrero de 1998.
- Proyectos desarrollados en el *Laboratorio de Documentación Geométrica de Patrimonio (UPV-EHU) Vitoria – Gasteiz*. Enlace: <http://www.ldgp.es>.
- Irizábal, D. y Aizpitarte, I. (2004). “Análisis comparativo entre diversos métodos para la documentación geométrica del patrimonio arquitectónico”. Proyecto fin de carrera de la titulación Ingeniero Técnico en Topografía (UPV-EHU), Vitoria – Gasteiz.
- Apuntes de *Fotogrametría y Topografía* de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU). Titulación: Ingeniero Técnico en Topografía (1999-2005).
- Schenk, T. (2002). *Fotogrametría digital, volumen I*. Traducción: “Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC)”. Ed: MARCOMBO, S.A..
- Lerma, J.L. (2002). *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Ed: Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 8497052102.
- Pérez Álvarez, J.A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III*. Mérida (España): Universidad de Extremadura.
- Bonneval, H. (Paris 1972), *Photogrammétrie générale. Tomo I*.
- Pozo Ríos, M<sup>a</sup> del Mar. *Desarrollo de equipos de fotogrametría: explotación del dato digital*. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (Santander, España junio de 2002).
- Molinari, Mariano (Mayo 2000), *CCD versus CMOS*.  
Enlace: <http://www.fotomundo.com/tecnic/digital/ccdcmos.shtml>.
- Felicísimo, A.M. (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. Oviedo (España): Pentalfa. ISBN: 84-7848-475-2.
- Maune, D.F.; PhD; CP. *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*.

- Cuartero Sáez, A. (2003). *Análisis de Modelos Digitales de Elevación (MDE) generados con imágenes SPOT-HRV y TERRA-ASTER*.
- Ackerman, F. y Kraus, K. (2003). *Pasado y Futuro de los Modelos Digitales del Terreno: Mallas Regulares y Formato Híbrido*. Traducción: GTBIbérica.
- Odegaard Nielsen, Morten (Lyngby 2004). *True orthophoto generation*. IMM-THESIS: ISSN 1601-233X.
- Piero Boccoardo, Sergio Dequal, Andrea Lingua, Fulvio Rinaudo. *True digital orthophoto for architectural and archaeological applications*. Politecnico di Torino, Italy. Dipartimento di Georisorse e Territorio.
- Cortés, T.; Pérez, J.; Nogales, J.; 2000. *Documentación arqueológica a partir de fotogrametría*. VII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía. 16-20 octubre, Madrid. pp. 369-373.
- Lodeiro Pérez, J.M. (1995). *Aplicaciones de la topografía en la documentación arquitectónica y monumental*. ISBN: 84-606-2456-0.
- Artículos de la revista Mapping Interactivo ([www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com)):
  - J. García León, A. Cuartero Sáez (Mayo de 2002). *Tendencias y recopilación práctica de programas utilizados en estaciones fotogramétricas digitales*. Universidad de Extremadura.
  - Ms. C. Jorge L. Martín Chioldes . Ms. C. María del Carmen Pérez Quintana. Carlos de Armas García, Bernardino Rodríguez (Noviembre de 2004). *Fototriangulación espacial analítica en bloque*.
  - J. Morillo Barragán, J. Pozo Baselga (Mayo 2002). *Evaluación de la calidad de un modelo digital de elevación: número de puntos de control*.
  - Sánchez Espeso, Javier M<sup>a</sup> (Octubre de 2000). *Análisis del proceso de rectificación de una imagen aérea de eje vertical para obtener una ortoimagen digital*. Universidad de Cantabria.
  - José E. Juliá Javier A. Carelli (Noviembre de 2005). "Mejoramiento de la textura de una superficie por medio de la proyección de tramas sobre el objeto a restituir". Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

# **ANEXOS**

- ANEXO I.- DATOS INICIALES.
  
- ANEXO II.- RESULTADOS DE LAS  
ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS.
  
- ANEXO III.- DOCUMENTOS RESULTANTES.



LABORATORIO DE TÉCNICAS Y SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN EL PATRIMONIO  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN APOLECIÓN DE LA ARQUITECTURA (G.I.A.A.)

TRABAJO : Documentación geométrica de la Basílica de Armentia (Vitoria-Gasteiz)

OBJ.	FORO.	DISTANCIA	3m	MOB.	33m	OBJETIVO	025 mm	FECHA	01/2/2007
PUNTO DE APOYO									
PUNTO	X	Y	Z	PUNTO	X	Y	Z		
PP30	456.297	527.817	551.027	PP62	456.074	527.170	551.136		
PP31	456.183	527.074	553.062	PP63	456.34	525.262	551.006		
PP32	456.001	526.220	551.700	PP68	456.348	525.006	550.395		
PP33	456.001	526.220	551.700	PP69	456.348	525.006	550.395		
PP34	456.001	526.220	551.700	PP70	456.348	525.006	550.395		
PP35	456.001	526.220	551.700	PP71	456.348	525.006	550.395		
PP36	456.001	526.220	551.700	PP72	456.348	525.006	550.395		
PP37	456.001	526.220	551.700	PP73	456.348	525.006	550.395		
PP38	456.001	526.220	551.700	PP74	456.348	525.006	550.395		
PP39	456.001	526.220	551.700	PP75	456.348	525.006	550.395		
PP40	456.001	526.220	551.700	PP76	456.348	525.006	550.395		
PP41	456.001	526.220	551.700	PP77	456.348	525.006	550.395		
PP42	456.001	526.220	551.700	PP78	456.348	525.006	550.395		
PP43	456.001	526.220	551.700	PP79	456.348	525.006	550.395		
PP44	456.001	526.220	551.700	PP80	456.348	525.006	550.395		
PP45	456.001	526.220	551.700	PP81	456.348	525.006	550.395		
PP46	456.001	526.220	551.700	PP82	456.348	525.006	550.395		
PP47	456.001	526.220	551.700	PP83	456.348	525.006	550.395		
PP48	456.001	526.220	551.700	PP84	456.348	525.006	550.395		
PP49	456.001	526.220	551.700	PP85	456.348	525.006	550.395		
PP50	456.001	526.220	551.700	PP86	456.348	525.006	550.395		
PP51	456.001	526.220	551.700	PP87	456.348	525.006	550.395		
PP52	456.001	526.220	551.700	PP88	456.348	525.006	550.395		
PP53	456.001	526.220	551.700	PP89	456.348	525.006	550.395		
PP54	456.001	526.220	551.700	PP90	456.348	525.006	550.395		
PP55	456.001	526.220	551.700	PP91	456.348	525.006	550.395		
PP56	456.001	526.220	551.700	PP92	456.348	525.006	550.395		
PP57	456.001	526.220	551.700	PP93	456.348	525.006	550.395		
PP58	456.001	526.220	551.700	PP94	456.348	525.006	550.395		
PP59	456.001	526.220	551.700	PP95	456.348	525.006	550.395		
PP60	456.001	526.220	551.700	PP96	456.348	525.006	550.395		
PP61	456.001	526.220	551.700	PP97	456.348	525.006	550.395		
PP62	456.001	526.220	551.700	PP98	456.348	525.006	550.395		
PP63	456.001	526.220	551.700	PP99	456.348	525.006	550.395		
PP64	456.001	526.220	551.700	PP100	456.348	525.006	550.395		

NOTAS:  
Cámara Canon EOS-40D

## ANEXO I.- DATOS INICIALES

### I.1.- CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA.

**Cámara:** Canon EOS-D30, focal 3.380,6 celdillas  
 (emc. 2,4 cel) – Junio 2002-  
 (Nº Serie: 219063)

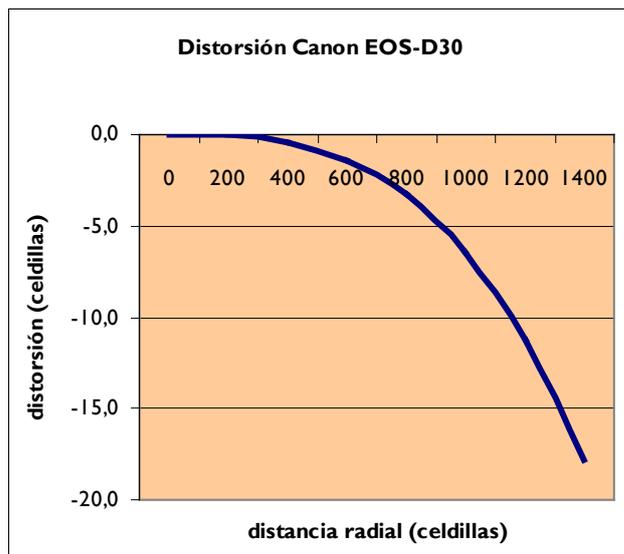
**Distorsión radial:** r            0,0000  
                           r<sup>3</sup>        -6,5 e-9 (emc. 2'2 e-10)  
                           r<sup>5</sup>            0,0000  
                           r<sup>7</sup>            0,0000

**Distorsión asimétrica:** r            0,0000  
                                   r<sup>3</sup>            0,0000

**Punto principal:** x            -11,0 cel (emc. 1,7 cel)  
                           y            -7,1 cel (emc. 1,9 cel)



**Gráfica de corrección:**



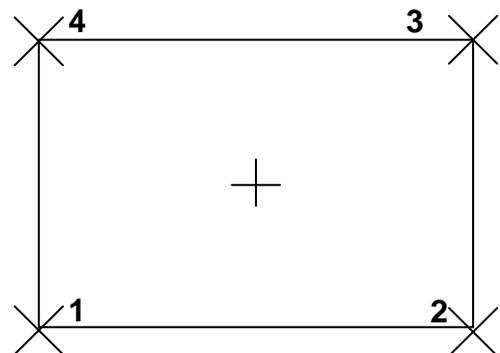
Distancia Radial (cel)	Distorsión (cel)
0	0,0
200	-0,1
400	-0,4
600	-1,4
800	-3,3
1000	-6,5
1200	-11,2
1400	-17,8

NOTA: Aplicar con precaución esta corrección, especialmente para distancias superiores a 1.000 celdillas, para las cuales los valores pueden no corresponder a las distorsiones reales.

**Coordenadas de las marcas fiduciales:**

Marca	X(mm)	Y(mm)
1	-1.180,0	-720,0
2	1.180,0	720,0
3	1.180,0	-720,0
4	-1.180,0	720,0

**Distribución:**



NOTA: Las marcas fiduciales coinciden con las esquinas del formato a 2.160 x1440 celdillas.

<b>Cámara</b>	<b>Focal</b>	<b>Formato</b>	<b>Margen</b>	<b>Recubrimiento</b>	<b>Efectivo (%)</b>
---------------	--------------	----------------	---------------	----------------------	---------------------

Canon EOS	3.380,6 cel	2.160x1.440	0 %	Min: 48% Max: 85%	Min: 48% Max: 85%
-----------	-------------	-------------	-----	----------------------	----------------------

Alejamiento	Esc. fotog.	Esc. plano	Espacio Objeto (m)		Base (m)		Espacio mod. horizon. (m)		Esp. mod. vertical (m)
			hor.	ver.	max (1/3 d)	mín. (1/10 d)	mín.	max	
1,00	0	0	0,64	0,43	0,33	0,10	0,31	0,54	0,43
1,50	0	0	0,96	0,64	0,50	0,15	0,46	0,81	0,64
2,00	1	0	1,28	0,85	0,67	0,20	0,61	1,08	0,85
2,50	1	0	1,60	1,06	0,83	0,25	0,76	1,35	1,06
3,00	1	0	1,92	1,28	1,00	0,30	0,92	1,62	1,28
3,50	1	0	2,24	1,49	1,17	0,35	1,07	1,89	1,49
4,00	1	0	2,56	1,70	1,33	0,40	1,22	2,16	1,70
4,50	1	0	2,88	1,92	1,50	0,45	1,38	2,43	1,92
5,00	1	0	3,19	2,13	1,67	0,50	1,53	2,69	2,13
5,50	2	0	3,51	2,34	1,83	0,55	1,68	2,96	2,34
6,00	2	0	3,83	2,56	2,00	0,60	1,83	3,23	2,56
6,50	2	0	4,15	2,77	2,17	0,65	1,99	3,50	2,77
7,00	2	0	4,47	2,98	2,33	0,70	2,14	3,77	2,98
7,50	2	0	4,79	3,19	2,50	0,75	2,29	4,04	3,19
8,00	2	0	5,11	3,41	2,67	0,80	2,44	4,31	3,41
8,50	3	1	5,43	3,62	2,83	0,85	2,60	4,58	3,62
9,00	3	1	5,75	3,83	3,00	0,90	2,75	4,85	3,83
9,50	3	1	6,07	4,05	3,17	0,95	2,90	5,12	4,05
10,00	3	1	6,39	4,26	3,33	1,00	3,06	5,39	4,26
10,50	3	1	6,71	4,47	3,50	1,05	3,21	5,66	4,47
11,00	3	1	7,03	4,69	3,67	1,10	3,36	5,93	4,69
11,50	3	1	7,35	4,90	3,83	1,15	3,51	6,20	4,90
12,00	4	1	7,67	5,11	4,00	1,20	3,67	6,47	5,11
12,50	4	1	7,99	5,32	4,17	1,25	3,82	6,74	5,32
13,00	4	1	8,31	5,54	4,33	1,30	3,97	7,01	5,54
13,50	4	1	8,63	5,75	4,50	1,35	4,13	7,28	5,75
15,00	4	1	9,58	6,39	5,00	1,50	4,58	8,08	6,39
17,50	5	1	11,18	7,45	5,83	1,75	5,35	9,43	7,45
20,00	6	1	12,78	8,52	6,67	2,00	6,11	10,78	8,52

## **Ficha Técnica**

Fecha de calibración: Junio 2002

Realizado por: Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (UPV-EHU)

Método de cálculo: Autocalibración

Notas: Las tomas se realizaron en la Universidad de Jaén en un polígono de calibración diseñado por el profesor D. Javier Cardenal Escarcena. Las características de las tomas y el proceso de cálculo pueden consultarse en la página web del Laboratorio (<http://www.ldgp.es>).

**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA (U.P.V-E.H.U.)

**TRABAJO : Documentación geométrica de la Basílica de Armentia ( Vitoria-Gasteiz)**

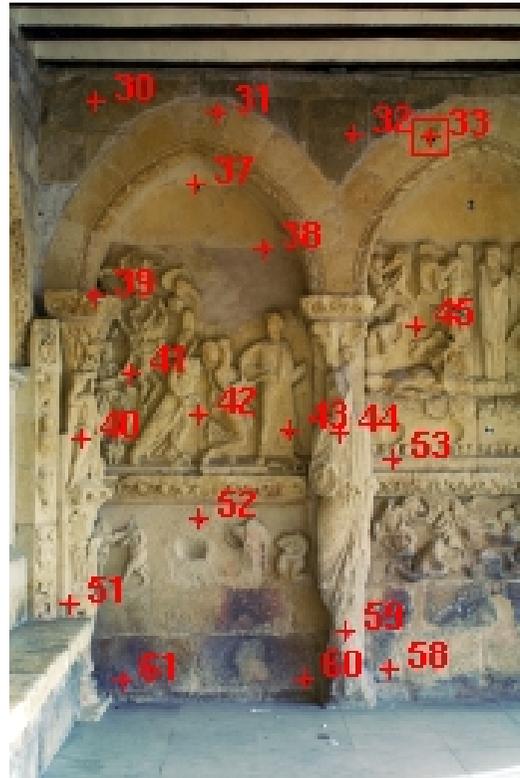
PAR: **POR-E1**

DISTANCIA: 5 m

BASE: 0,5 m

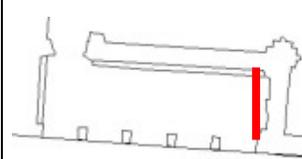
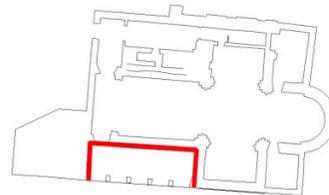
OBJETIVO: C35 mm

FECHA: 5/12/2003



**PUNTOS DE APOYO**

PUNTO	X	Y	Z	PUNTO	X	Y	Z
PP30	456,257	527,817	553,927	PP52	456,474	527,179	551,336
PP31	456,183	527,074	553,852	PP53	456,34	525,952	551,696
PP32	456,091	526,226	553,709	PP58	456,348	525,996	550,395
PP33	456,043	525,753	553,672	PP59	456,183	526,284	550,648
PP37	456,575	527,179	553,484	PP60	456,401	526,521	550,342
PP38	456,536	526,754	553,061	PP61	456,505	527,667	550,326
PP39	456,043	527,807	552,675				
PP40	456,137	527,902	551,842				
PP41	456,631	527,603	552,262				
PP42	456,546	527,171	551,995				
PP43	456,438	526,606	551,887				
PP44	456,152	526,315	551,866				
PP45	456,443	525,778	552,552				
PP51	456,093	527,959	550,858				



NOTAS:

Cámara: **Canon EOS-D30**

**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA (U.P.V-E.H.U.)

**TRABAJO : Documentación geométrica de la Basílica de Armentia ( Vitoria-Gasteiz)**

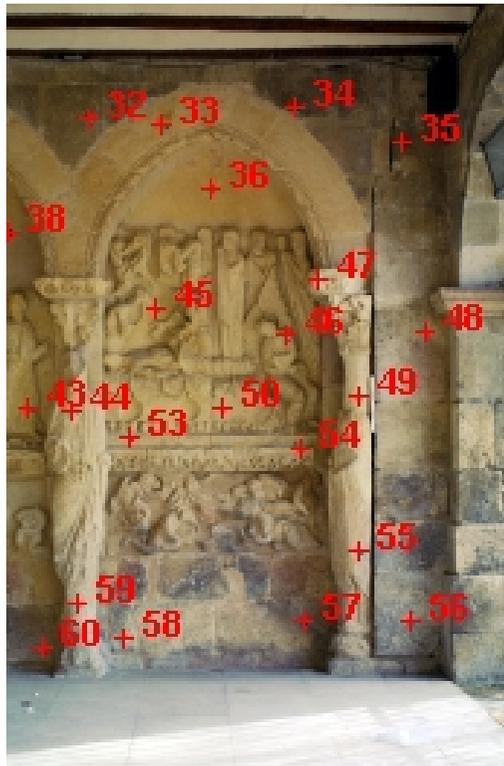
PAR: **POR-E2**

DISTANCIA: 5 m

BASE: 0,5 m

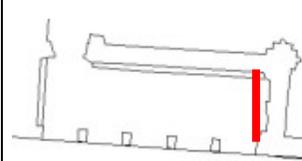
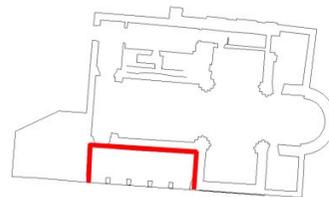
OBJETIVO: C35 mm

FECHA: 5/12/2003



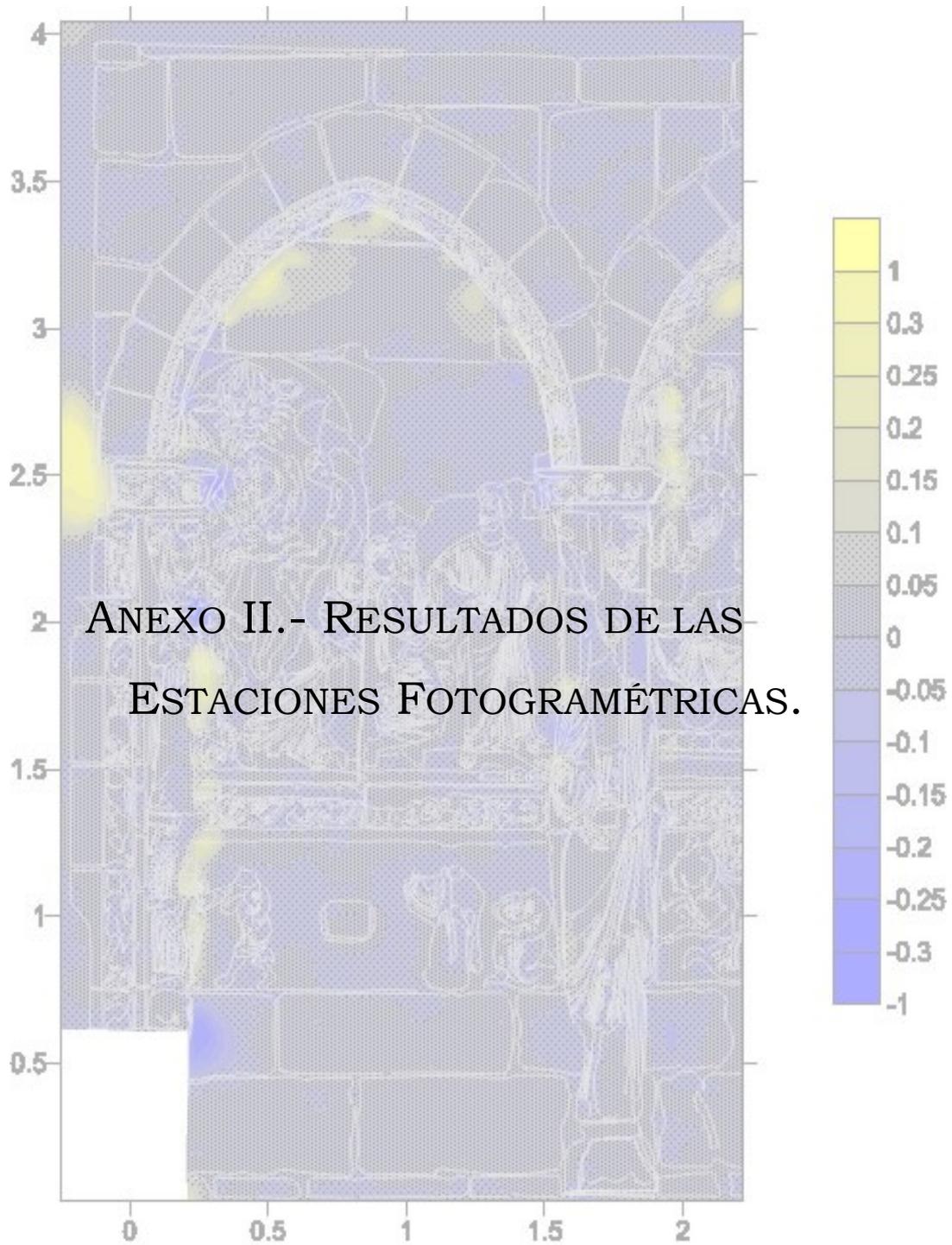
**PUNTOS DE APOYO**

PUNTO	X	Y	Z	PUNTO	X	Y	Z
PP32	456,091	526,226	553,709	PP53	456,34	525,952	551,696
PP33	456,043	525,753	553,672	PP54	456,187	524,855	551,624
PP34	455,943	524,913	553,777	PP55	455,897	524,523	551,945
PP35	455,861	524,234	553,565	PP55	455,875	524,538	550,981
PP36	456,369	525,422	553,344	PP56	455,862	524,216	550,547
PP38	456,536	526,754	553,061	PP57	456,231	524,832	550,499
PP43	456,438	526,606	551,887	PP58	456,348	525,996	550,395
PP44	456,152	526,315	551,866	PP59	456,183	526,284	550,648
PP45	456,443	525,778	552,552				
PP46	456,253	524,932	552,35				
PP47	455,787	524,794	552,668				
PP48	455,86	524,106	552,349				
PP49	455,898	524,522	551,945				
PP50	456,302	525,349	551,893				



NOTAS:

Cámara: Canon EOS-D30



## II.1.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA SOFTPLOTTER. PAR FOTOGRAMÉTRICO *POR\_EI*.

<b>II.1.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES.....</b>	<b>114</b>
▪ ORIENTACIÓN INTERNA.....	114
▫ ORIENTACIÓN INTERNA <i>POR_EI_d</i> .....	114
▫ ORIENTACIÓN EXTERNA <i>POR_EI_i</i> .....	114
▪ ORIENTACIÓN EXTERNA.....	114
<b>II.1.2.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA AUTOCORRELACIÓN.....</b>	<b>120</b>
▪ MÉTODO <i>TIN COLLECT</i> .....	120
▫ PRUEBA N° 1.....	120
▫ PRUEBA N° 2.....	127
▫ PRUEBA N° 3.....	132
▫ PRUEBA N° 4.....	134
▫ PRUEBA N° 5.....	139
▫ PRUEBA N° 6.....	141
▫ PRUEBA N° 7.....	145
▫ PRUEBA N° 2b – 8 – 9.....	148
▫ PRUEBA N° 10.....	153
▪ MÉTODO <i>EPIPOLAR COLLECT</i> .....	156
▫ PRUEBA N° 1.....	156
▫ PRUEBA N° 2.....	161
▫ PRUEBA N° 3.....	165

## II.1.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA SOFTPLOTTER. PAR FOTOGRAMÉTRICO *POR\_E1*.

### II.1.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES.

- RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DE LA IMAGEN *POR\_E1\_i*:

Fiducial Description	Film X	Film Y	Sample	Line	X Residual	Y Residual	Sample Residual	Line Residual
1	+720.0	-1080.0	+1438.94	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00
2	+720.0	+1080.0	+1438.94	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
3	-720.0	+1080.0	-0.44	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
4	-720.0	-1080.0	-0.44	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00

- RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DE LA IMAGEN *POR\_E1\_d*:

Fiducial Description	Film X	Film Y	Sample	Line	X Residual	Y Residual	Sample Residual	Line Residual
1	+720.0	-1080.0	+1438.94	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00
2	+720.0	+1080.0	+1438.94	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
3	-720.0	+1080.0	-0.44	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
4	-720.0	-1080.0	-0.44	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00

- RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN EXTERNA DEL PAR *POR\_E1*:

Pre-Triangulation Facts:

-----  
 Total Number of Frames: 2  
 Total Number of Active Frames: 2  
 Total Number of Points: 32  
 Total Number of Active Points: 20  
 Total Number of Elements: 2  
 Maximum Number of Correlations: 1  
 Unsorted Element Bandwidth: 2

Frame	Description	Cam	Frame Parameter Residuals (Unit is Meter and degrees)					
			X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
1	POR_E1_i	1	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000
2	POR_E1_d	1	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000

Point ID	Type	Point Residuals (Meter)			Image Residuals				
		X	Y	Z	Frame ID	Sample	Line	Image X	Image Y
30	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	6.79	3.26	6.8	-3.3
					POR_El_d	10.33	8.73	10.3	-8.7
31	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	3.37	4.10	3.4	-4.1
					POR_El_d	4.33	8.19	4.3	-8.2
32	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	-1.68	4.30	-1.7	-4.3
					POR_El_d	-1.62	6.45	-1.6	-6.5
33	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	-5.30	5.08	-5.3	-5.1
					POR_El_d	-5.25	6.21	-5.3	-6.2
37	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	0.56	8.98	0.6	-9.0
					POR_El_d	4.08	12.50	4.1	-12.5
38	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	-0.40	6.79	-0.4	-6.8
					POR_El_d	1.31	8.15	1.3	-8.2
39	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	7.39	-11.57	7.4	11.6
					POR_El_d	6.50	-10.01	6.5	10.0
40	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	4.48	-9.15	4.5	9.2
					POR_El_d	2.72	-10.22	2.7	10.2
41	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	0.62	3.45	0.6	-3.5
					POR_El_d	3.03	4.03	3.0	-4.0
42	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	1.74	2.67	1.7	-2.7
					POR_El_d	1.90	2.46	1.9	-2.5
43	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	2.63	1.29	2.6	-1.3
					POR_El_d	1.69	0.92	1.7	-0.9
44	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	4.94	-5.30	4.9	5.3
					POR_El_d	1.80	-5.49	1.8	5.5
45	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	-2.13	4.99	-2.1	-5.0
					POR_El_d	-1.34	5.09	-1.3	-5.1
51	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	3.41	-5.55	3.4	5.6
					POR_El_d	-1.09	-9.68	-1.1	9.7
52	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	2.58	2.29	2.6	-2.3
					POR_El_d	0.79	1.17	0.8	-1.2
53	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	2.61	0.86	2.6	-0.9
					POR_El_d	0.87	0.53	0.9	-0.5
58	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	7.54	6.92	7.5	-6.9
					POR_El_d	3.25	5.02	3.2	-5.0
59	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	7.92	0.26	7.9	-0.3
					POR_El_d	3.16	-1.64	3.2	1.6
60	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	6.27	8.55	6.3	-8.6
					POR_El_d	2.22	6.18	2.2	-6.2
61	C	0.000	0.000	0.000	POR_El_i	-0.73	9.89	-0.7	-9.9
					POR_El_d	-2.98	5.44	-3.0	-5.4
Averages:		0.000	0.000	0.000					
RMS:		0.000	0.000	0.000					
Averages:						3.33	5.58	3.3	5.6
RMS:						4.09	6.46	4.1	6.5

----- Results for Iteration 1 -----

Statistics Summary

Number of Equations: 152  
 Number of Unknowns: 72  
 Degrees of Freedom: 80

Standard Deviation of Unit Weight: 10.805486

Category	VTPV Sum	Ratio	Sigma0
a priori photo	0.000	0.000	0.000
a priori point	0.000	0.000	0.000
collinearity equations	9340.682	1.900	10.805

Frame Parameters (Unit is Meter and degrees)									
Frame	Description	Cam	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
1	POR_E1_i	1	0.533	1.414	7.828	3.456864	-1.377050	-0.176800	
2	POR_E1_d	1	1.228	1.421	7.806	3.483773	-0.351736	-0.365483	

Point Results for Iteration 1

Point ID	Type	Description	Current Correction			Current Position		
			X	Y	Z	X	Y	Z
30	C		-0.003	0.000	-0.001	0.242	3.727	0.182
31	C		-0.002	-0.000	0.001	0.989	3.652	0.196
32	C		0.001	-0.000	-0.001	1.845	3.509	0.215
33	C		0.002	-0.001	-0.001	2.321	3.471	0.224
37	C		-0.001	0.000	-0.001	0.853	3.284	-0.188
38	C		-0.000	-0.000	0.001	1.281	2.861	-0.182
39	C		-0.002	-0.001	-0.000	0.270	2.474	0.395
40	C		-0.002	-0.001	0.000	0.168	1.641	0.309
41	C		-0.001	0.000	-0.001	0.426	2.062	-0.209
42	C		0.000	-0.000	0.001	0.864	1.795	-0.158
43	C		0.001	-0.001	-0.000	1.437	1.686	-0.098
44	C		0.001	-0.002	-0.001	1.751	1.664	0.162
45	C		0.003	-0.001	0.000	2.264	2.351	-0.172
51	C		-0.000	0.002	0.002	0.117	0.660	0.360
52	C		0.000	0.000	0.002	0.862	1.136	-0.084
53	C		0.001	-0.002	0.000	2.097	1.494	-0.054
58	C		-0.000	0.001	0.001	2.052	0.196	-0.058
59	C		0.000	0.000	-0.003	1.778	0.448	0.126
60	C		0.001	0.001	-0.000	1.525	0.143	-0.068
61	C		-0.001	0.004	-0.001	0.373	0.130	-0.078

Frame	Description	Cam	Frame Parameter Residuals (Unit is Meter and degrees)					
			X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
1	POR_El_i	1	0.476	0.195	0.005	-3.456864	1.377050	-0.033281
2	POR_El_d	1	0.476	0.051	-0.040	-3.483773	0.351736	-0.036816

Point ID Y	Type	Point Residuals (Meter)			Frame ID	Image Residuals			Image X	Image
		X	Y	Z		Sample	Line			
30	C	0.003	-0.000	0.001	POR_El_i	0.74	-3.36	0.7	3.4	
					POR_El_d	-0.19	-4.21	-0.2	4.2	
31	C	0.002	0.000	-0.001	POR_El_i	1.62	-3.26	1.6	3.3	
					POR_El_d	0.17	-3.99	0.2	4.0	
32	C	-0.001	0.000	0.001	POR_El_i	2.27	-2.95	2.3	3.0	
					POR_El_d	0.93	-3.97	0.9	4.0	
33	C	-0.002	0.001	0.001	POR_El_i	2.73	-2.76	2.7	2.8	
					POR_El_d	1.25	-4.01	1.3	4.0	
37	C	0.001	-0.000	0.001	POR_El_i	1.01	-2.51	1.0	2.5	
					POR_El_d	0.15	-2.95	0.2	3.0	
38	C	0.000	0.000	-0.001	POR_El_i	1.30	-1.41	1.3	1.4	
					POR_El_d	0.21	-2.79	0.2	2.8	
39	C	0.002	0.001	0.000	POR_El_i	-0.05	-1.32	-0.0	1.3	
					POR_El_d	-0.62	-2.52	-0.6	2.5	
40	C	0.002	0.001	-0.000	POR_El_i	-0.71	0.40	-0.7	-0.4	
					POR_El_d	-0.93	-0.99	-0.9	1.0	
41	C	0.001	-0.000	0.001	POR_El_i	-0.16	-0.50	-0.2	0.5	
					POR_El_d	-0.38	-1.44	-0.4	1.4	
42	C	-0.000	0.000	-0.001	POR_El_i	0.28	0.08	0.3	-0.1	
					POR_El_d	-0.29	-1.09	-0.3	1.1	
43	C	-0.001	0.001	0.000	POR_El_i	0.70	0.24	0.7	-0.2	
					POR_El_d	0.26	-0.99	0.3	1.0	
44	C	-0.001	0.002	0.001						

					POR_El_i	1.07	0.13	1.1	-0.1
					POR_El_d	0.59	-0.90	0.6	0.9
45	C	-0.003	0.001	-0.000					
					POR_El_i	1.88	-0.66	1.9	0.7
					POR_El_d	0.95	-2.07	0.9	2.1
51	C	0.000	-0.002	-0.002					
					POR_El_i	-1.31	2.39	-1.3	-2.4
					POR_El_d	-1.37	0.89	-1.4	-0.9
52	C	-0.000	-0.000	-0.002					
					POR_El_i	-0.07	0.96	-0.1	-1.0
					POR_El_d	-0.49	0.19	-0.5	-0.2
53	C	-0.001	0.002	-0.000					
					POR_El_i	1.28	0.53	1.3	-0.5
					POR_El_d	0.74	-0.64	0.7	0.6
58	C	0.000	-0.001	-0.001					
					POR_El_i	0.52	2.96	0.5	-3.0
					POR_El_d	0.36	1.21	0.4	-1.2
59	C	-0.000	-0.000	0.003					
					POR_El_i	0.14	2.41	0.1	-2.4
					POR_El_d	0.57	0.99	0.6	-1.0
60	C	-0.001	-0.001	0.000					
					POR_El_i	-0.19	2.77	-0.2	-2.8
					POR_El_d	0.06	1.48	0.1	-1.5
61	C	0.001	-0.004	0.001					
					POR_El_i	-1.34	2.78	-1.3	-2.8
					POR_El_d	-0.86	1.46	-0.9	-1.5
	Averages:	0.001	0.001	0.001					
	RMS:	0.001	0.001	0.001					

Averages:	0.77	1.83	0.8	1.8
RMS:	0.99	2.19	1.0	2.2

----- Results for Iteration 2 -----

Statistics Summary

-----  
Number of Equations: 152  
Number of Unknowns: 72  
Degrees of Freedom: 80

Standard Deviation of Unit Weight: 3.408790

Category	VTPV Sum	Ratio	Sigma0
a priori photo	2.245	0.031	0.432
a priori point	1.011	0.003	0.130
collinearity equations	926.332	1.893	3.403

			Frame Parameters (Unit is Meter and degrees)						
Frame	Description	Cam	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
1	POR_El_i	1	0.551	1.470	7.808	3.062471	-1.252011	-0.134700	
2	POR_El_d	1	1.244	1.468	7.786	3.132750	-0.232623	-0.343420	

Point Results for Iteration 2

Point ID	Type	Description	Current Correction			Current Position		
			X	Y	Z	X	Y	Z
30	C		0.003	-0.000	-0.000	0.245	3.727	0.182
31	C		0.001	-0.000	0.001	0.990	3.652	0.196
32	C		-0.001	0.001	0.000	1.843	3.509	0.215
33	C		-0.003	0.001	0.000	2.318	3.472	0.224
37	C		0.000	-0.002	-0.000	0.854	3.283	-0.188
38	C		-0.001	-0.001	0.000	1.280	2.860	-0.182
39	C		0.002	0.003	0.000	0.272	2.477	0.395
40	C		0.001	0.002	-0.000	0.169	1.643	0.309
41	C		0.000	-0.001	-0.000	0.427	2.061	-0.209
42	C		-0.000	-0.000	0.000	0.864	1.794	-0.158
43	C		-0.000	0.000	0.000	1.437	1.687	-0.098
44	C		-0.000	0.002	0.000	1.751	1.667	0.163
45	C		-0.002	0.000	0.000	2.262	2.352	-0.172
51	C		0.000	0.000	-0.000	0.117	0.661	0.360
52	C		-0.000	-0.001	-0.000	0.862	1.135	-0.084
53	C		-0.001	0.001	0.000	2.096	1.495	-0.054
58	C		0.000	-0.001	0.000	2.052	0.195	-0.058
59	C		0.000	0.000	-0.001	1.779	0.448	0.126
60	C		0.000	-0.002	-0.000	1.525	0.141	-0.068
61	C		-0.001	-0.003	-0.000	0.373	0.127	-0.078

Timing Information (in minutes):

Time in Pre-Triangulation:	0.00
Time in Estimation:	0.00
Time in Initialization:	0.00
Time in Solution:	0.00
Average Time Per Iteration:	0.00
Total Triangulation Time:	0.00

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>1</i>

### - Estrategia de correlación:

Para empezar, realizamos una correlación utilizando los valores que proporciona el software por defecto, que son:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	11
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.50
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	1

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Figura 1.1: Resultados correlación.

Comprobamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	48.0
Fair:	16.3
Poor:	9.7
<b>Interpolated:</b>	<b>25.6</b>
Off-image:	0.4

Vemos que el porcentaje de puntos no correlados (los que han tenido que ser interpolados) posee un valor alto (25,6 %), lo que puede suponer que el MDT resultante sea poco fiable en cuanto a precisión.

Intentamos determinar las causas de la mala correlación mirando algunos de los factores que afectan en dicho proceso, y que se muestran en el fichero resumen facilitado por SOFTPLOTTER:

- Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde se hace referencia sólo a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	1.5
Edge:	33.4
Precision:	0.2
Curvature:	45.2
Peak threshold:	19.7

- El valor “*Edge*”, que indica el porcentaje de puntos que no pueden ser correlados por tener varias soluciones posibles (revela la presencia de texturas repetitivas), vemos que esta muy por encima de su límite máximo (más del 15 por ciento).

Después de ver este resultado comprobamos las zonas donde hay mayor número de puntos interpolados (las zonas de la figura 1.1 marcadas con recuadros de colores), y vemos que se trata de áreas lisas con una textura homogénea, lo que demuestra a que se debe la mala correlación.

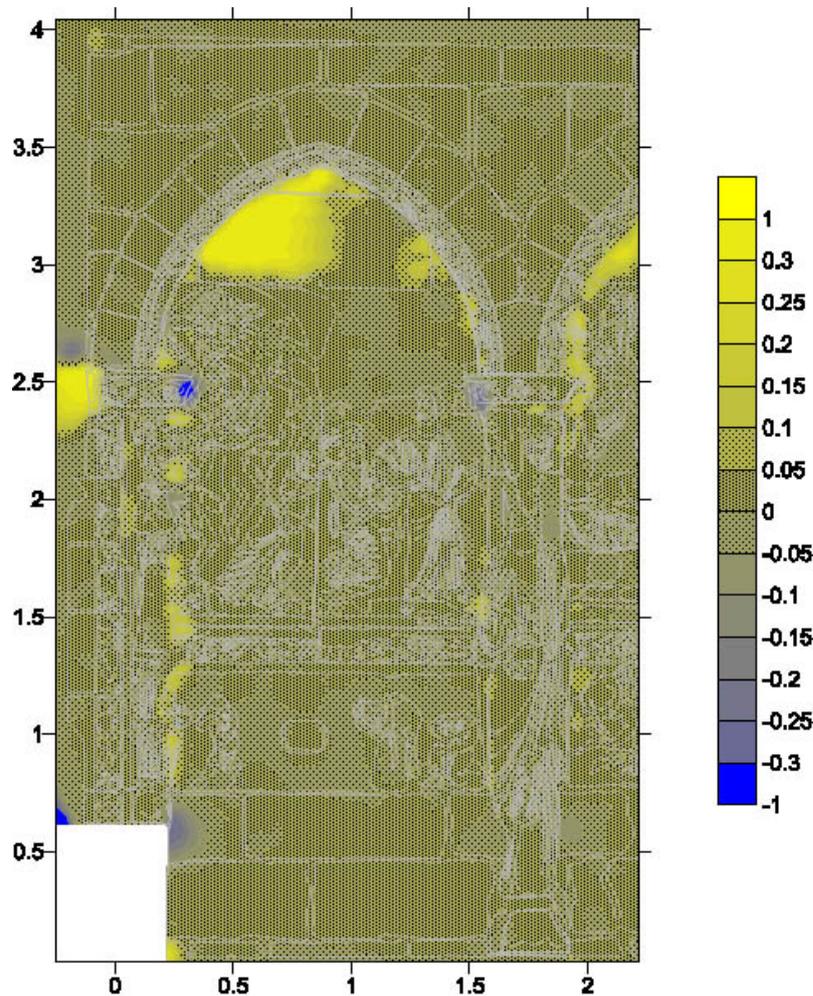
- El excesivo porcentaje de “*Curvature*”, muy superior a su límite máximo (30 por ciento), es debido también a la presencia de una textura homogénea y de poco contraste.

Luego se probará a cambiar algunos de los parámetros de la estrategia, para ver si así se puede mejorar el resultado, aunque viendo las características de la imagen es posible que no.

- Para conocer a nivel general la fiabilidad de los puntos que si han podido ser correlados, miramos el valor medio de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación), el cual es de 1,565 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,71 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados.

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:

- Primeramente, ya que los datos restituidos no son del todo precisos, se va a comparar las coordenadas de los puntos de apoyo capturados en campo con las coordenadas de esos mismos puntos medidos interactivamente en la restitución: La diferencia máxima que se obtiene es de 0,80 cm.
- Al hacer la comparación, SURFER genera un listado donde se indica la posición del punto comparado y los valores de diferencia que hay entre los dos modelos:
  - Con ese listado se genera la imagen siguiente, donde las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	57,52 %	20,03 %	13,53 %	8,92 %

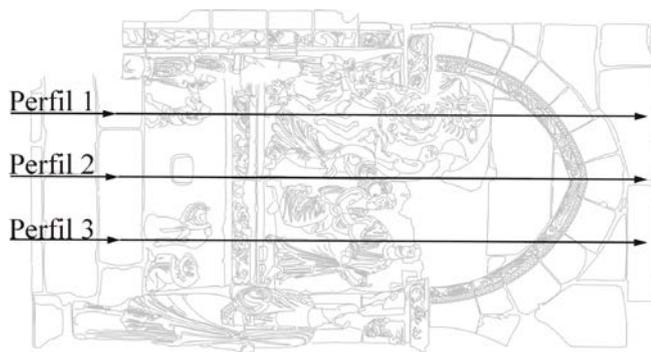
- Así mismo, con los valores proporcionados por SURFER se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} = 0,011 \text{ m}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} = 0,063 \text{ m}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} EM^2} = 0,062 \text{ m}$$

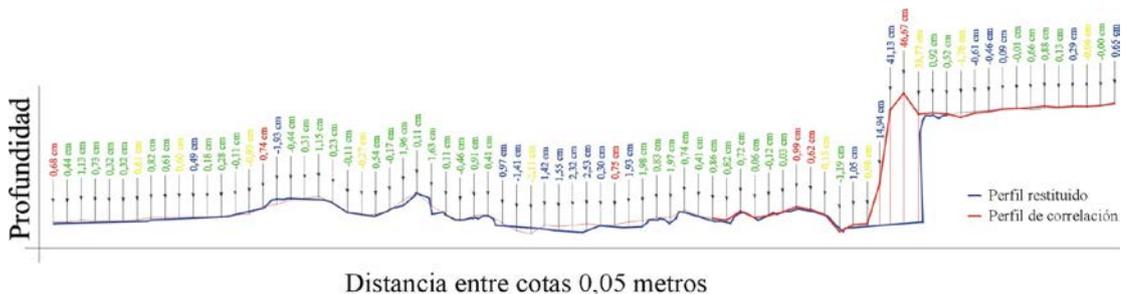
- Comparación del modelo correlado con el modelo restituido, utilizando secciones creadas en AUTOCAD. Se han creado tres perfiles distribuidos de tal forma que proporcionen información de las zonas conflictivas (las no correladas) y las zonas que si han sido correladas:



- Relación de colores según la correlación:

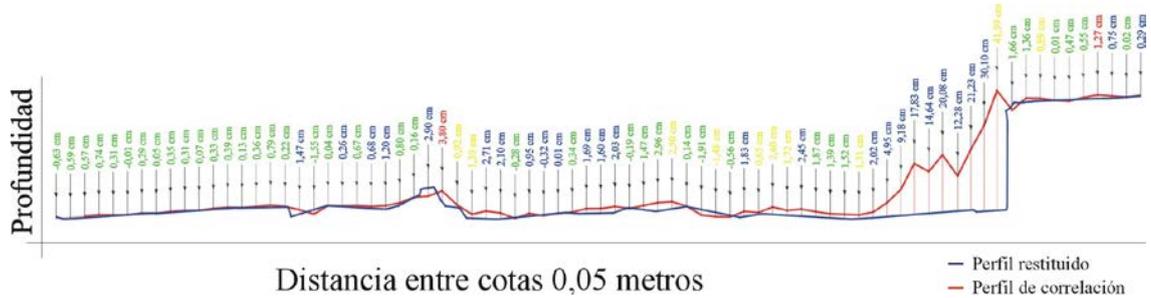
Verde	BUENA
Amarillo	JUSTA
Rojo	POBRE
Azul	INTERPOLADA

▪ **Perfil 1:**



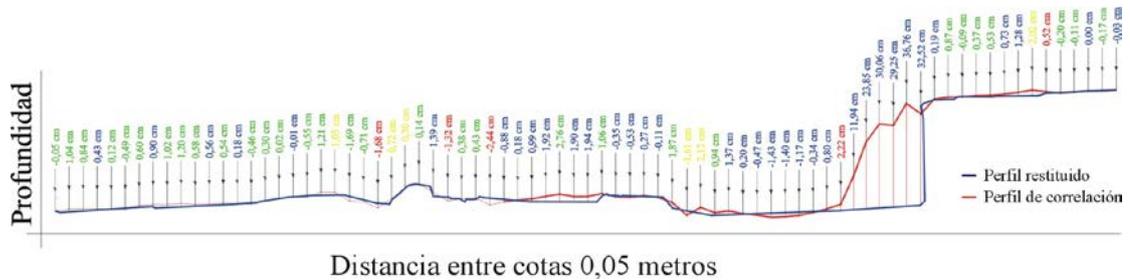
Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
BUENA	43 (55,84 %)	36 (83,72 %)	7 (16,28 %)	-	-
JUSTA	10 (12,99 %)	7 (70 %)	1 (10 %)	1 (10 %)	1 (10 %)
POBRE	6 (7,79 %)	5 (83,33 %)	-	-	1 (16,67 %)
INTERPOLADA	18 (23,38%)	18 (44,45 %)	6 (33,33 %)	2 (11,11 %)	2 (11,11 %)

▪ **Perfil 2:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	39 (50,65 %)	30 (76,92 %)	8 (20,51 %)	1 (2,57 %)	-
<b>JUSTA</b>	10 (12,99 %)	3 (30 %)	4 (40 %)	2 (20 %)	1 (10 %)
<b>POBRE</b>	2 (2,60 %)	-	1 (50 %)	1 (50 %)	-
<b>INTERPOLADA</b>	26 (33,76 %)	7 (26,92 %)	5 (19,24 %)	7 (26,92 %)	7 (26,92 %)

▪ **Perfil 3:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	31 (40,26 %)	23 (74,19 %)	7 (22,58 %)	1 (3,23 %)	-
<b>JUSTA</b>	6 (7,79 %)	2 (33,33 %)	2 (33,33 %)	2 (33,33 %)	-
<b>POBRE</b>	5 (6,49 %)	1 (20 %)	2 (40 %)	2 (40 %)	-
<b>INTERPOLADA</b>	35 (45,46 %)	20 (57,14 %)	9 (25,72 %)	-	6 (17,14 %)

Estos tres perfiles constituyen en sí una muestra muy pequeña del total de los puntos correlados (6 %), sin embargo, proporcionan datos muy interesantes acerca del modelo. Por ejemplo, podemos ver como el error de los puntos interpolados aumenta a medida que aumentan las discontinuidades del elemento medido; también vemos, al consultar las tablas, que el mayor número de puntos se encuentran entre 0 y 1 cm de diferencia, siendo mayor el porcentaje de éstos en los puntos con una buena correlación, y más aleatorio en los puntos interpolados.

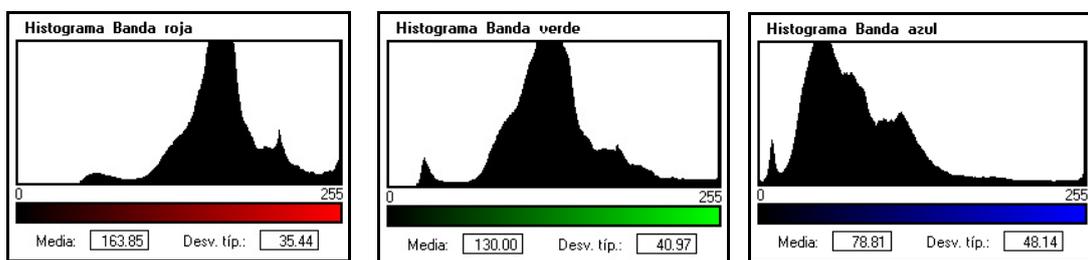
- **Conclusiones:**

Tras analizar los resultados obtenidos en esta primera correlación automática, llegamos a las siguientes conclusiones:

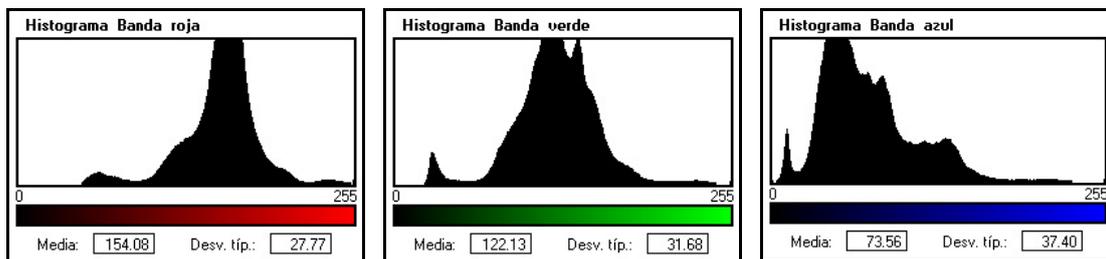
En primer lugar, vemos como el tipo de textura de la superficie fotografiada afecta directamente en la búsqueda de entidades homólogas. En unos casos se consigue realizar la correlación, que según el valor del coeficiente de correlación puede ser buena, justa o pobre; y en otros casos no es posible localizar los puntos homólogos, lo que obliga a determinar los puntos por interpolación de los si correlados.

Analizamos los histogramas de cada banda del par, para comprobar el nivel de contraste que tienen:

▫ Histogramas de la imagen *POR\_EI\_i*:



▫ Histogramas de la imagen *POR\_EI\_d*:



Al observar los histogramas, tenemos que en las dos imágenes del par la banda roja (1), utilizada en esta primera estrategia, es la que menor nivel de contraste tiene (porque es la que menor dispersión tiene y la que más bajo tiene la desviación típica). Por contra, la banda azul (3) es la que mayor contraste tiene y, por tanto, la que debería usarse en la estrategia de correlación.

Al comparar los datos de la autocorrelación con datos restituidos manualmente, vemos que, salvo en casos puntuales, en la mayoría de los casos las correlaciones (buenas, justas y pobres) tienen resultados muy buenos, una gran mayoría entorno a 1 cm de diferencia y el resto por debajo de 5 cm (resolución de la malla), así lo confirma también el valor SNR que proporciona SOFTPLOTTER.

El problema surge con los puntos que tienen que ser interpolados, ya que dependen de los valores de los puntos vecinos. Si estos puntos se localizan en zonas de relieve continuo los errores no suelen superar los 5 cm, sin embargo, en zonas de relieve discontinuo (zonas donde también aumenta la probabilidad de que no se produzca correlación por la existencia de elementos ocultos) los errores pueden llegar a ser groseros e inaceptables.

En general la precisión del modelo correlado es de 0,064 m, teniendo en cuenta la precisión de los puntos de apoyo (1 cm), del modelo restituído utilizado para la evaluación y de los resultados de la evaluación.

Para intentar mejorar los resultados de la autocorrelación se ha modificado algunos de los parámetros de la estrategia de correlación. Los parámetros a cambiar son: reducir el valor del *Edge factor*, para que en las correlaciones no únicas se controle que no se produzcan soluciones erróneas, se tomará un valor de 2,0 que es el límite mínimo recomendado; aumentar la plantilla máxima de búsqueda (*Maximum template size*), de forma que en las zonas con una textura homogénea el programa tenga más posibilidades para encontrar el punto homólogo, el valor a utilizar será de 21 x 21 píxeles (límite máximo); se activará la búsqueda en la banda 3, la correspondiente a la banda de color azul.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>2</i>

### - Estrategia de correlación:

Los parámetros de la estrategia de correlación utilizados para esta prueba son los siguientes, en azul los parámetros modificados:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
<b>Maximum template size:</b>	<b>21</b>
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
<b>Edge factor:</b>	<b>2.00</b>
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
<b>Band used in correlation:</b>	<b>3</b>

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Estudiamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	53.4
Fair:	13.7
Poor:	9.9
<b>Interpolated:</b>	<b>22.0</b>
Off-image:	1.0

Si comparamos estos porcentajes con los obtenidos en la prueba anterior, vemos como el valor de los puntos con una buena correlación ha aumentado un poco y esta por encima del 50 %, y como el de los puntos interpolados ha disminuido también un poco.

Figura 1.2: Resultados correlación.

Podemos decir que esta variación de parámetros no ha aportado una mejora considerable en los porcentajes de la correlación. A continuación, analizaremos si han variado algunos de los datos del fichero resumen facilitado por SOFTPLOTTER:

- Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	4.0
Edge:	30.6
Precision:	0.0
Curvature:	47.3
Peak threshold:	18.2

- Se ha conseguido reducir un poco el valor “*Edge*”, sin embargo, todavía sigue teniendo un valor muy por encima de su límite máximo (más del 15 por ciento).
- Por el contrario, a aumentado el valor de “*Curvature*”.

A continuación, se han puesto los resultados de las dos correlaciones realizadas hasta el momento, de modo que se pueda hacer una comparación visual entre las dos. Con un recuadro rojo se ha marcado la zona que quizás más llame la atención, por ser una superficie con una marcada diferencia de profundidad y donde el número de puntos interpolados en la prueba 1 era muy alto.



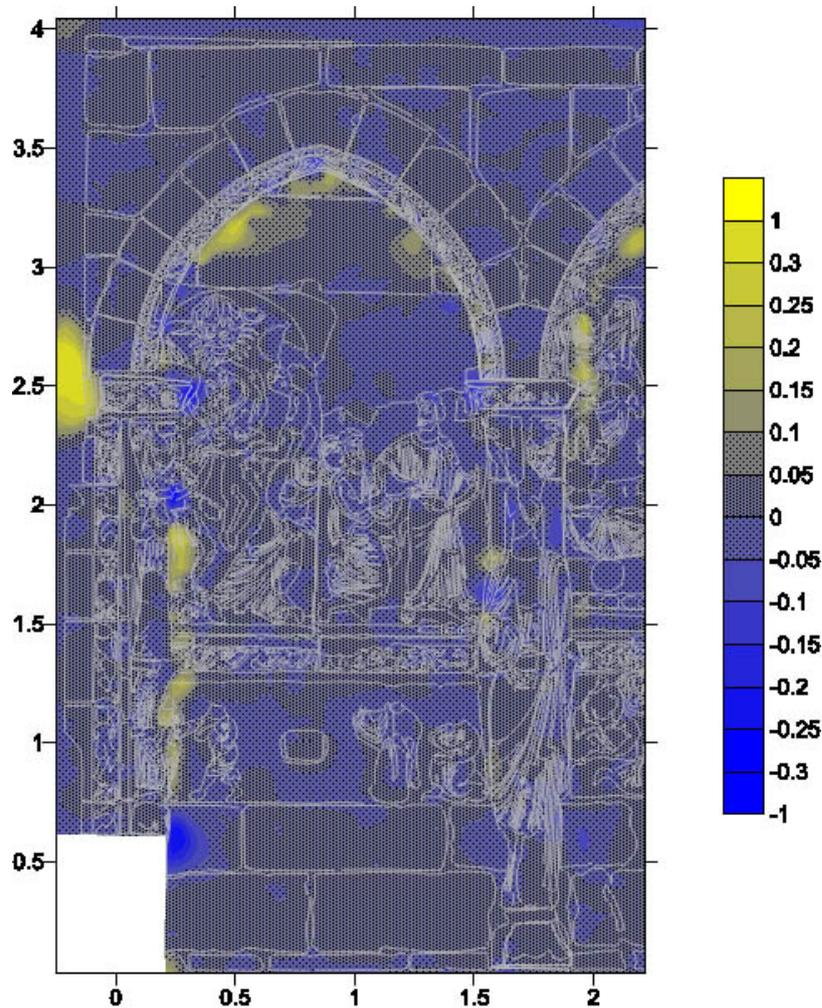
- PRUEBA 1 (Figura 1.1)



- PRUEBA 2 (Figura 1.2)

En esta segunda prueba se ha conseguido reducir un poco el número de puntos interpolados del recuadro rojo, comprobaremos con SURFER si se ha reducido también el error grosero que se producía en los resultados de la prueba anterior.

- El valor de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación) es de 1,721 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,75 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados.
2. La comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER, da el siguiente resultado:
- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
  - En la imagen se muestran las diferencias positivas en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	60,87 %	19,78 %	12,15 %	7,20 %

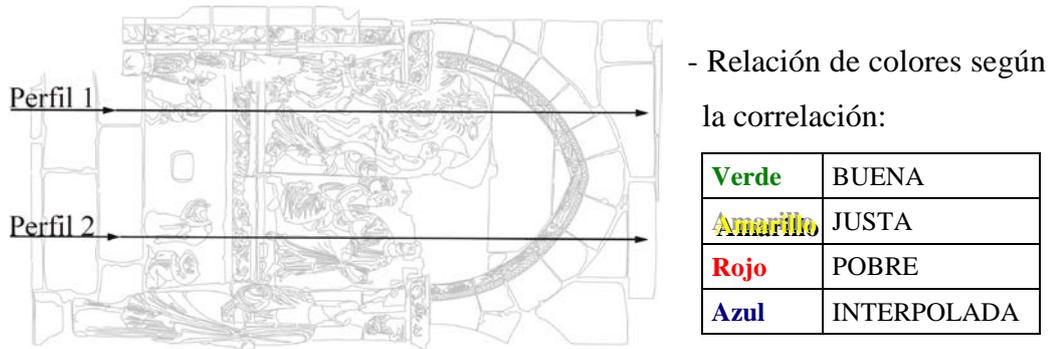
- Calculamos los valores del error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} = 0,006 \text{ m}$$

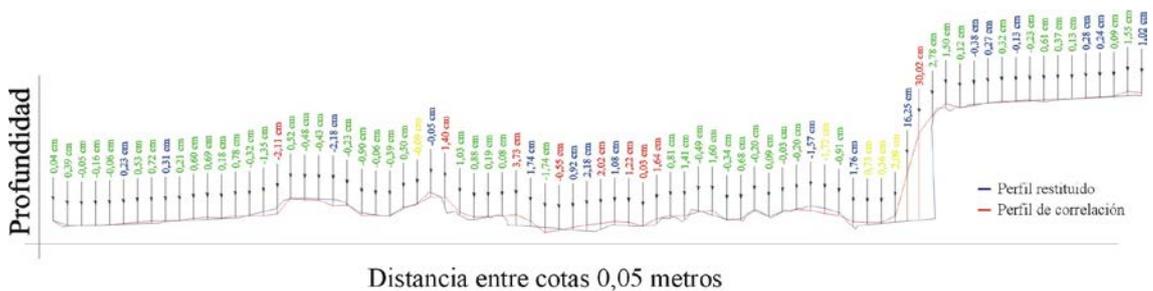
$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} = 0,045 \text{ m}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} EM^2} = 0,045 \text{ m}$$

3. Comparación del modelo correlado con el modelo restituido, utilizando secciones creadas en AUTOCAD. Se han creado dos perfiles situados en las proximidades de los establecidos en la prueba 1, de tal forma que puedan ser comparados.

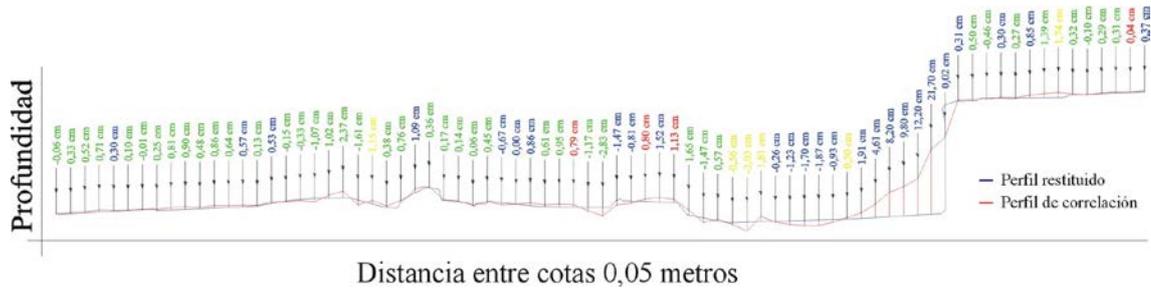


- **Perfil 1:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	48 (60,76 %)	40 (83,33 %)	7 (14,59 %)	1 (2,08 %)	-
<b>JUSTA</b>	5 (6,33 %)	3 (60,00 %)	1 (20,00 %)	1 (20,00 %)	-
<b>POBRE</b>	9 (11,39 %)	2 (22,23 %)	3 (33,33 %)	3 (33,33 %)	1 (11,11 %)
<b>INTERPOLADA</b>	17 (21,52 %)	9 (52,94 %)	5 (29,42 %)	2 (11,76 %)	1 (5,88 %)

▪ **Perfil 2:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	40 (52,63 %)	32 (80,00 %)	6 (15,00 %)	2 (5,00 %)	-
<b>JUSTA</b>	6 (7,90 %)	2 (33,33 %)	3 (50,00 %)	1 (16,67 %)	-
<b>POBRE</b>	4 (5,26 %)	3 (75,00 %)	1 (25,00 %)	-	-
<b>INTERPOLADA</b>	26 (34,21 %)	14 (53,85 %)	7 (26,92 %)	1 (3,85 %)	4 (15,38 %)

- **Conclusiones:**

Al estudiar los valores de porcentaje de correlación, comprobamos que esta prueba ha experimentado una ligera mejoría respecto a la prueba 1, sin embargo, donde más se nota esta mejoría es en la precisión del modelo. Dicha precisión es de 0,047 m, teniendo en cuenta la precisión de los puntos de apoyo (1 cm), del modelo restituído utilizado en la evaluación y de los resultados de la evaluación.

Analizando la distribución de los errores, vemos como los mayores errores (errores groseros) se siguen agrupando en las zonas próximas a las discontinuidades y como en las superficies continuas no se superan los 5 cm de error. También hemos podido observar, en la imagen proporcionada por Surfer (punto 2), como hay zonas donde se reduce el error y otras donde aumenta, lo que hace suponer que la variación de los parámetros de correlación mejora la correlación en algunas zonas y las empeora en otras.

En las sucesivas pruebas (de la estrategia “*TIN COLLECT*”) se va a estudiar como afecta indistintamente a la correlación la variación de los parámetros *Edge factor* y *Maximum template size*.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_EI</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>3</i>

### - Estrategia de correlación:

Se ha modificado el parámetro *Edge factor* respecto a la prueba 2, reduciéndolo por debajo de su límite recomendado, para ver como afecta a la correlación y si se consigue aumentar el número de puntos correlados.

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
<b>Edge factor:</b>	<b>1.50</b>
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	41.3
Fair:	6.8
Poor:	12.6
<b>Interpolated:</b>	<b>38.3</b>
Off-image:	1.0

Vemos como se ha producido un aumento considerable del número de puntos interpolados (38,3 %), y como están localizados en todo el modelo correlado (Figura 1.3).

Figura 1.3: Resultados correlación.

Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	2.3
Edge:	46.0
Precision:	0.0
Curvature:	38.7
Peak threshold:	13.1

- El valor “*Edge*”, en lugar de reducirse como se pretendía al cambiar el parámetro *Edge factor*, a aumentado excesivamente, lo que sugiere que en posteriores pruebas no utilicemos un valor de *Edge factor* por debajo de 2.
- Al aumentarse el porcentaje de “*Edge*” se ha reducido el de “*Curvature*”, sin embargo, todavía posee un valor muy alto (más de 30 por ciento).
- El valor de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación) es de 1,599 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,72 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados.

### **- Conclusiones:**

Como ya ocurría en la prueba 2, la reducción del parámetro *Edge factor* consigue correlar puntos en algunas zonas de la imagen donde la presencia de una textura homogénea impedía la localización de puntos homólogos. Sin embargo, la variación de este parámetro también origina que puntos que antes conseguía correlar ahora no pueda. Esta es una de las causas por las que el número de puntos correlados e interpolados haya variado tanto en esta prueba respecto a la prueba 2.

Ya que el porcentaje de puntos interpolados es muy alto, los resultados de esta prueba serán rechazados, y para correlaciones próximas no se utilizará un valor menor de 2 en el parámetro *Edge factor*.

A continuación, se va probar a utilizar un valor de *Edge factor* por encima del que se establece por defecto.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>4</i>

### - Estrategia de correlación:

Se ha modificado el parámetro *Edge factor* respecto a la prueba 2, aumentándolo por encima de su valor por defecto, para ver como afecta a la correlación y si se consigue aumentar el número de puntos correlados.

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
<b>Edge factor:</b>	<b>3.00</b>
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	56.1
Fair:	20.9
Poor:	7.7
<b>Interpolated:</b>	<b>14.5</b>
Off-image:	0.8

De las dos pruebas realizadas hasta el momento, esta es la única donde los puntos interpolados han experimentado un descenso destacable (14,5 %).

Figura 1.4: Resultados correlación.

Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	5.3
Edge:	12.7
Precision:	0.0
<b>Curvature:</b>	<b>54.5</b>
Peak threshold:	27.6

- En esta prueba se ha conseguido reducir el porcentaje de “*Edge*” por debajo de su límite máximo (15 %). Sin embargo, este descenso influye directamente en el porcentaje de “*Curvature*”, donde su valor supera considerablemente el permitido, por eso, conviene revisar el valor del SNR y comparar el modelo resultante con el modelo restituido.
  - El valor del SNR (relacionado con el coeficiente de correlación) es de 1,828 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,77 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados.
2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
  - Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

	<b>Valor de diferencia entre la correlación y la restitución</b>			
	<b>(0 – 1 cm)</b>	<b>(1 – 2 cm)</b>	<b>(2 – 5 cm)</b>	<b>(más de 5 cm)</b>
<b>Porcentajes</b>	62,30 %	17,76 %	12,64 %	7,30 %

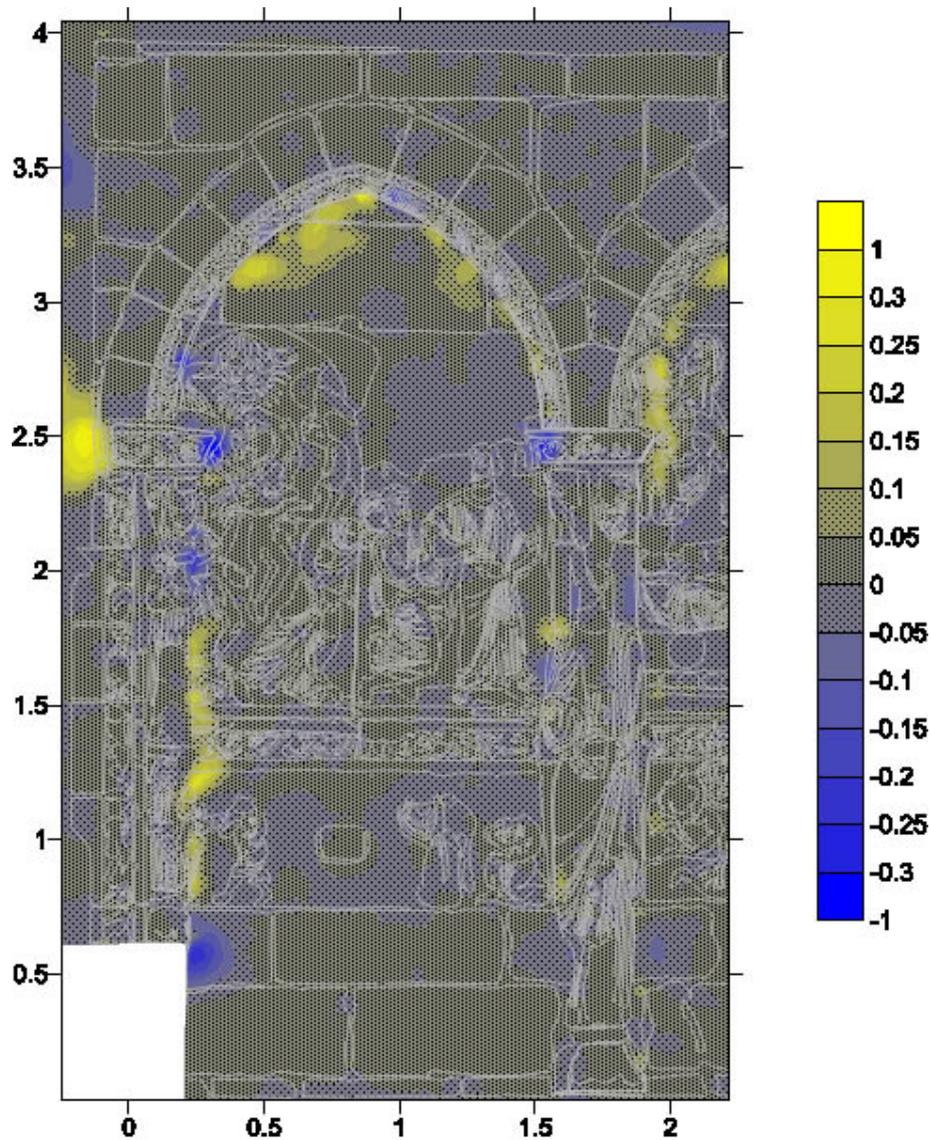
- Calculo de los valores del error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,005 \text{ m}}$$

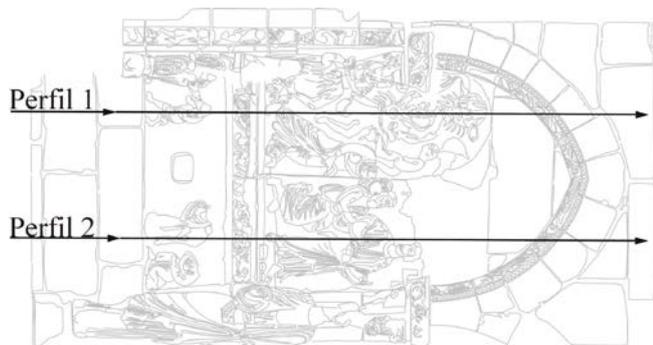
$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,045 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} - EM)^2} \quad \boxed{0,045 \text{ m}}$$

- La siguiente imagen muestra los errores del modelo, las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



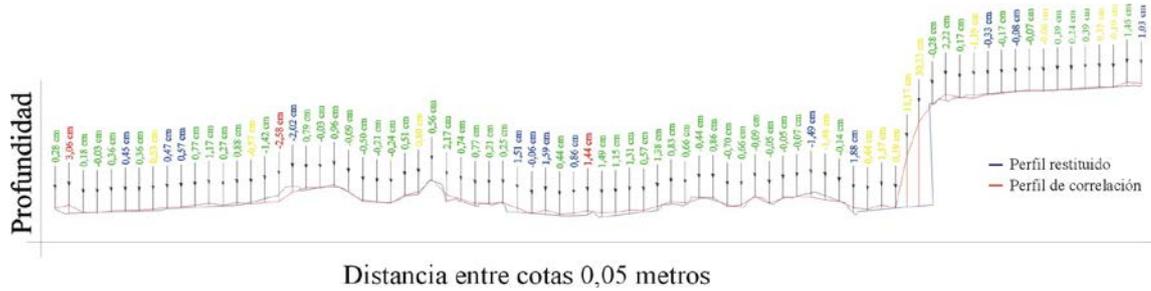
- Comparación del modelo correlado con el modelo restituído, utilizando secciones creadas en AUTOCAD. Se han creado dos perfiles situados en las proximidades de los establecidos en la prueba 1 y 2, de tal forma que puedan ser comparados.



- Relación de colores según la correlación:

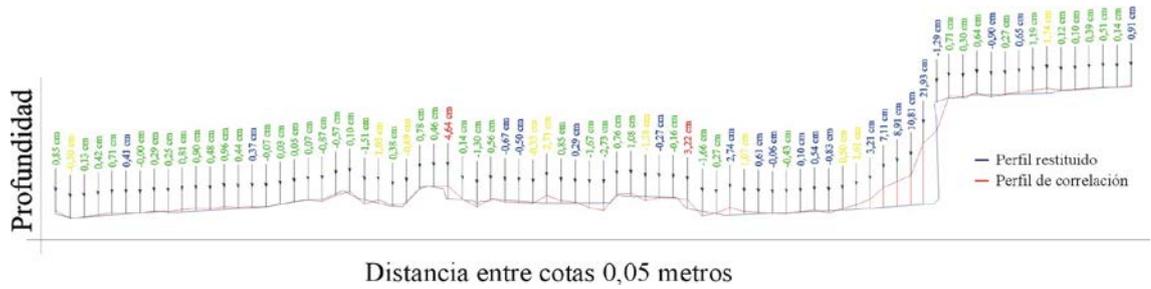
Verde	BUENA
Amarillo	JUSTA
Rojo	POBRE
Azul	INTERPOLADA

▪ **Perfil 1:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	50 (63,29 %)	41 (82,00 %)	7 (14,00 %)	2 (4,00 %)	-
<b>JUSTA</b>	13 (16,46 %)	8 (61,54 %)	3 (23,08 %)	-	2 (15,38 %)
<b>POBRE</b>	3 (3,80 %)	-	1 (33,33 %)	2 (66,67 %)	-
<b>INTERPOLADA</b>	13 (16,45 %)	7 (53,85 %)	5 (38,46 %)	1 (7,69 %)	-

▪ **Perfil 2:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	45 (57,69 %)	38 (84,45 %)	6 (13,33 %)	1 (2,22 %)	-
<b>JUSTA</b>	10 (12,82 %)	4 (40 %)	5 (50 %)	1 (10 %)	-
<b>POBRE</b>	2 (2,57 %)	-	-	2 (100 %)	-
<b>INTERPOLADA</b>	21 (26,92 %)	14 (66,67 %)	1 (4,76 %)	2 (9,52 %)	4 (19,05 %)

- **Conclusiones:**

Los porcentajes de correlación facilitados en el fichero resumen de SOFTPLOTTER indican un resultado muy bueno, y así sin embargo, al evaluar la nube de puntos del modelo observamos que las precisiones son muy parecidas a las obtenidas en la prueba 2.

Al comparar la imagen de esta correlación con las anteriores, podemos ver que las cruces verdes han aumentado sobre todo en la zona central (donde el relieve es rugoso-continuo), reduciendo el número de cruces rojas. Así mismo, en la zona del recuadro rojo, donde el número de cruces interpoladas era muy alto en la prueba 1, se ha conseguido reducir, pasando a ser cruces amarillas (correlación justa). Aunque en

esta zona del recuadro se ha conseguido correlar puntos, al evaluar el perfil 1 vemos que son puntos que no se adaptan a la discontinuidad, son falsas correlaciones que dan lugar a errores altos.



- PRUEBA 1 (Figura 1.1)



- PRUEBA 2 (Figura 1.2)



- PRUEBA 4 (Figura 1.4)

Definitivamente, el parámetro *Edge Factor* se establecerá entre los valores 2,50 y 2,00, el primero por ser el valor por defecto y el segundo porque es el que mejores resultados da. Se rechaza el valor 3,00 porque produce falsas correlaciones.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_EI</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>5</i>

### - Estrategia de correlación:

Se ha modificado el parámetro *Maximum template size* respecto a la prueba 2, reduciéndolo a su valor por defecto, para comprobar como afecta este cambio a la correlación.

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
<b>Maximum template size:</b>	<b>11</b>
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	45.3
Fair:	13.7
Poor:	10.5
<b>Interpolated:</b>	<b>29.7</b>
Off-image:	0.8

Vemos que el porcentaje de los puntos interpolados ha aumentado respecto a las pruebas anteriores, lo que hace resaltar la importancia del tamaño de plantilla en la búsqueda de entidades homólogas.

Figura 1.5: Resultados correlación.

- Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	2.4
Edge:	46.4
Precision:	0.1
Curvature:	34.7
Peak threshold:	16.5

- Las variables “*Edge*” y “*Curvature*” se siguen manteniendo con valores muy por encima de su límite máximo.
- El valor de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación) es de 1,676 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,73 de coeficiente de correlación.

### - **Conclusiones:**

Al reducir el tamaño de la plantilla máxima de búsqueda reducimos el número de iteraciones para poder localizar puntos homólogos, y con ello, el tiempo empleado en efectuar la correlación.

De momento, el tiempo que tarda el programa en realizar la autocorrelación no supone ningún problema, tanto con un tamaño de plantilla 21 como 11, ya que se encuentra por debajo del minuto. Sin embargo, si que resulta más preocupante la reducción que ha experimentado el número de puntos correlados y el consiguiente aumento de los interpolados. Por ello, para futuros trabajos, se recomienda utilizar un parámetro de *Maximum template size* grande, siempre que la superficie a correlar no sea muy amplia y que el número de puntos de la malla no sea excesivamente elevado (para que el tiempo empleado en la correlación no sea tan grande que tenga que ser rechazado).

En las pruebas anteriores, un tamaño de 21 x 21 píxeles (valor máximo que permite SOFTPLOTTER) ha proporcionado resultados muy buenos.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_EI</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>6</i>

### - Estrategia de correlación:

Se ha modificado el parámetro *Minimum template size* respecto a la prueba 2, aumentando su valor, para comprobar como afecta este cambio a la correlación.

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
<b>Minimum template size:</b>	<b>12</b>
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	60.3
Fair:	1.4
Poor:	12.1
<b>Interpolated:</b>	<b>25.3</b>
Off-image:	0.8

Se consigue aumentar notablemente el porcentaje de los puntos bien correlados, reduciendo aquellos de correlación justa. Sin embargo, el valor de los puntos interpolados se mantiene alto.

Figura 1.6: Resultados correlación.

- Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	100.0
Edge:	0.0
Precision:	0.0
Curvature:	0.0
Peak threshold:	0.0

- La variable “*Off-image*” hace referencia a la incapacidad de acceder a cualquiera de los píxeles de la plantilla ortocorrelada de cualquiera imagen a través de la gama completa de la paralaje máxima.
- El valor de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación) es de 1,658 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,73 de coeficiente de correlación.

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:

- Al hacer la comparación, SURFER genera un listado donde se indica la posición del punto comparado y los valores de diferencia que hay entre los dos modelos:
  - Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>Porcentajes</b>	61,86 %	19,39 %	11,83 %	6,92 %

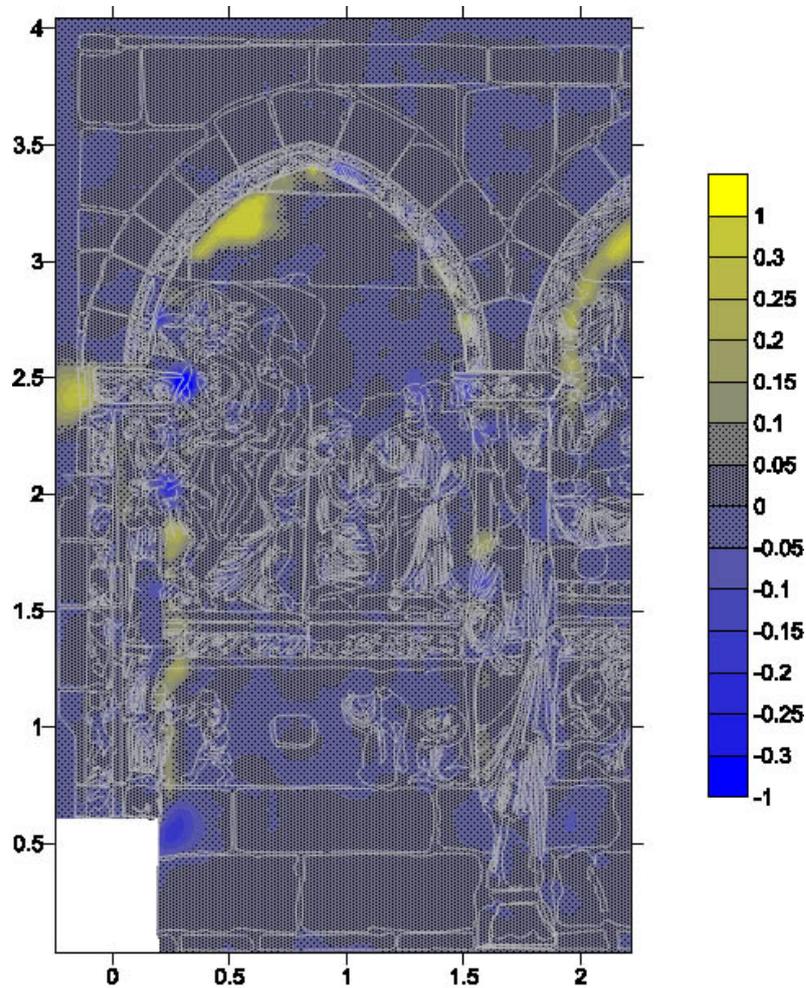
- Así mismo, con esos mismos valores se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,008 \text{ m}}$$

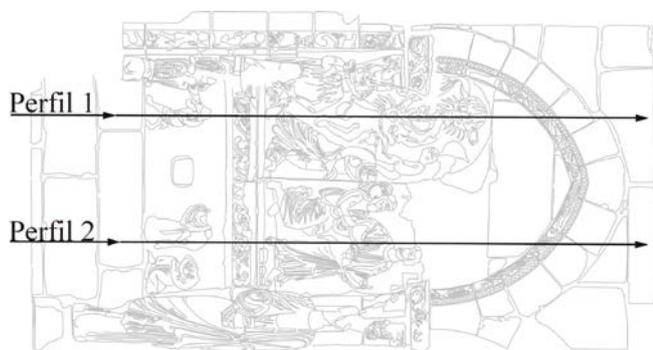
$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,049 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} - EM^2} \quad \boxed{0,048 \text{ m}}$$

- En la siguiente imagen podemos ver donde se producen los mayores errores, mostrando en tonos amarillentos las diferencias positivas y en tonos azules las diferencias negativas:



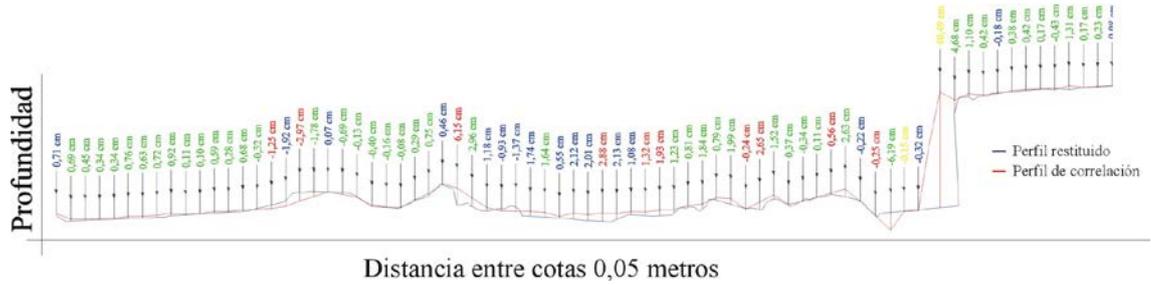
- Comparación del modelo correlado con el modelo restituído, utilizando secciones creadas en AUTOCAD. Se han creado dos perfiles situados en las proximidades de los establecidos en la prueba 1 y 4, de tal forma que puedan ser comparados.



- Relación de colores según la correlación:

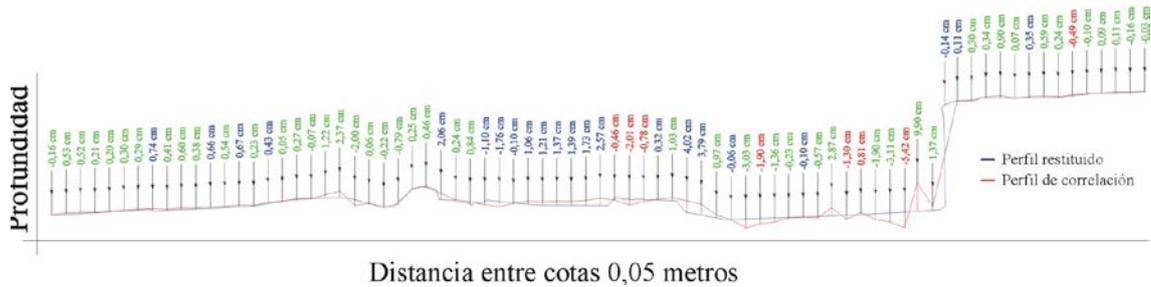
Verde	BUENA
Amarillo	JUSTA
Rojo	POBRE
Azul	INTERPOLADA

▪ **Perfil 1:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	47 (60,26 %)	35 (74,47 %)	8 (17,02 %)	3 (6,38 %)	1 (2,13 %)
<b>JUSTA</b>	2 (2,56 %)	1 (50,00 %)	-	-	1 (50,00 %)
<b>POBRE</b>	10 (12,82 %)	3 (30,00 %)	3 (30,00 %)	3 (30,00 %)	1 (10,00 %)
<b>INTERPOLADA</b>	19 (24,36 %)	11 (57,89 %)	5 (26,32 %)	3 (15,79 %)	-

▪ **Perfil 2:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	47 (61,04 %)	36 (76,60 %)	5 (10,64 %)	5 (10,64 %)	1 (2,13 %)
<b>JUSTA</b>	0 (0,00 %)	-	-	-	-
<b>POBRE</b>	8 (10,39 %)	4 (50,00 %)	2 (25,00 %)	1 (12,50 %)	1 (12,50 %)
<b>INTERPOLADA</b>	22 (28,57 %)	11 (50,00 %)	7 (31,82 %)	4 (18,18 %)	-

- **Conclusiones:**

Los resultados obtenidos en esta prueba son prácticamente iguales a los obtenidos en las pruebas anteriores; los mayores errores se producen en las mismas zonas, y el error medio cuadrático del modelo sigue entorno a los 5 cm; la única variación es que se ha aumentado el número de puntos con correlación buena. Aunque ha aumentado el porcentaje de puntos con correlación buena, si analizamos los perfiles, comprobamos que algunos de estos puntos no están bien posados y dan lugar a errores altos.

Para las próximas pruebas rechazaremos un valor alto de *Minimum template size*, porque no vemos que mejore el resultado del modelo y, sin embargo, si vemos que aumenta el tiempo total en realizar la correlación.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_EI</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>7</i>

### - Estrategia de correlación:

Estrategia de correlación variando el valor del parámetro *Noise threshold*:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
<b>Noise threshold:</b>	<b>0.300 (SNR* = 0.655)</b>
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
<b>Minimum precision:</b>	<b>1.00</b>
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Figura 1.7: Resultados correlación.

Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	66.8
Fair:	6.0
Poor:	9.4
<b>Interpolated:</b>	<b>16.9</b>
Off-image:	0.8

Tenemos un alto porcentaje de puntos con buena correlación, y un 16,9 % de puntos que no han podido ser correlados (este porcentaje de puntos interpolados no supone en si un problema, ya que muchos de ellos se localizan en los extremos marginales del modelo).

- Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	5.9
Edge:	15.1
Precision:	0.0
Curvature:	54.0
Peak threshold:	25.0

- Las variables “*Edge*” y “*Curvature*” se mantienen por encima de sus valores máximos, algo que se viene repitiendo en muchas de las pruebas realizadas, y que difícilmente conseguiremos reducir por el tipo de imágenes utilizadas (imágenes con zonas de poco contraste y textura homogénea).
- El valor de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación) es de 1,833 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,77 de coeficiente de correlación.

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando en programa SURFER:

- Los resultados de la comparación se han agrupado y se han determina sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	61,77 %	17,93 %	12,70 %	7,60 %

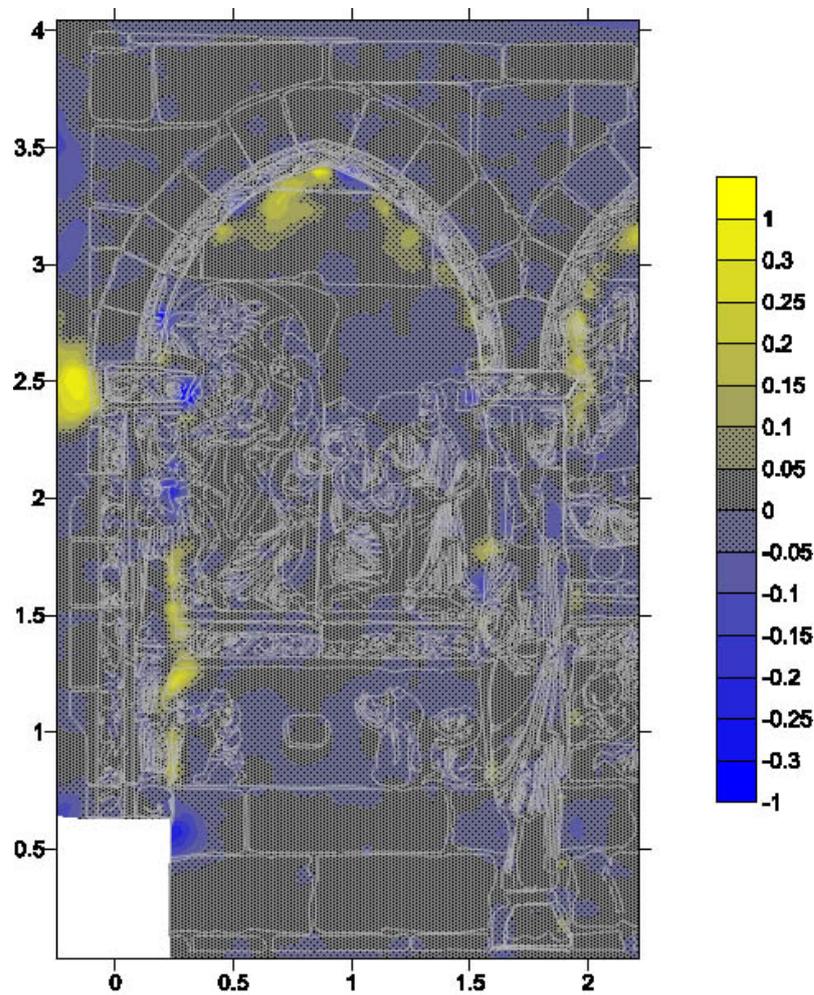
- Así mismo, se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,004 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,043 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} EM^2} \quad \boxed{0,043 \text{ m}}$$

- En la siguiente imagen podemos ver como se distribuyen los errores en el modelo. Los tonos amarillentos corresponden a las diferencias positivas y los tonos azulados a las diferencias negativas:



### - Conclusiones:

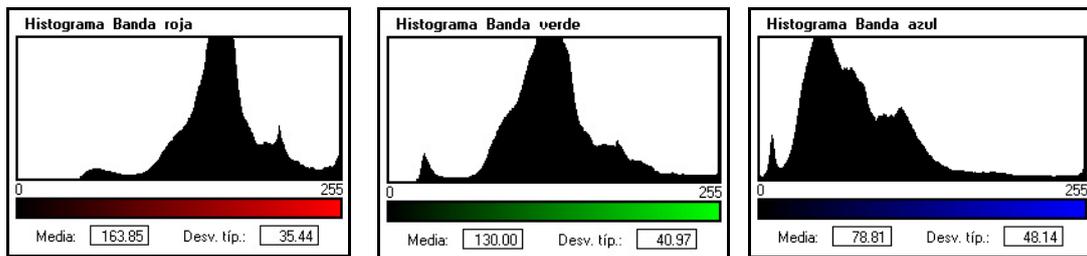
En esta prueba se consigue aumentar el porcentaje de puntos con correlación buena, así como, el porcentaje de puntos con un error entre 0 y 1 cm. Además, se consigue mejorar ligeramente la precisión del modelo, 0,045 m (teniendo en cuenta la precisión de los puntos de apoyo (1 cm), del modelo restituido utilizado en la evaluación y de los resultados de la evaluación).

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_EI</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Pruebas n°:</b> <i>2b – 8 – 9</i>

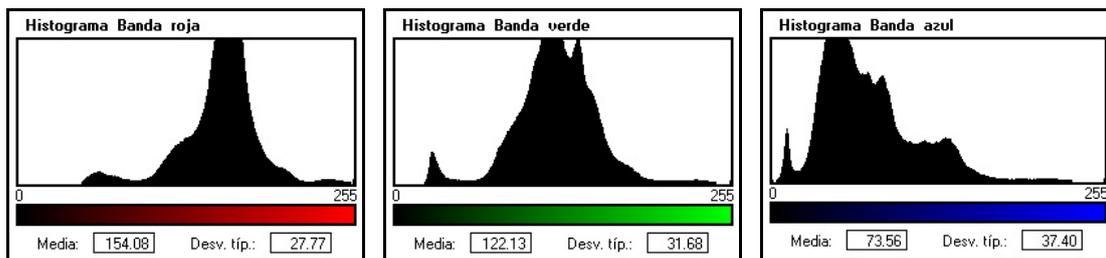
En estas pruebas, 2b, 8 y 9, compararemos los resultados de la autocorrelación al utilizar distintas bandas de la imagen.

A partir de los histogramas determinaremos cual es la banda que mejores resultados debería dar y cual la que peores:

▫ Histogramas de la imagen *POR\_EI\_i*:



▫ Histogramas de la imagen *POR\_EI\_d*:



En la prueba 1 se señalaba que para mejorar el proceso de correlación habría que utilizar aquella banda que mayor contraste tuviese. Para ello, había que comprobar cual era el histograma con mayor dispersión y con la desviación típica más alta.

Viendo los histogramas de arriba podemos decir que la banda azul es la que mejores resultados debería proporcionar, y la banda roja la que peores.

<b>Prueba n°:</b>	<i>2b</i>
-------------------	-----------

- (2b) **Estrategia de correlación:**

Autocorrelación utilizando la banda 3 de color azul:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21

Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
<b>Band used in correlation:</b>	<b>3</b>

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

**- (2b) Resultados de la autocorrelación:**

1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	53.4
Fair:	13.7
Poor:	9.9
<b>Interpolated:</b>	<b>22.0</b>
Off-image:	1.0

Los factores que aparecen en el apartado “*failure analysis*” son:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	4.0
<b>Edge:</b>	<b>30.6</b>
Precision:	0.0
<b>Curvature:</b>	<b>47.3</b>
Peak threshold:	18.2

Figura 1.2: Resultados correlación.

- Calculamos los valores del error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,006 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,045 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \cdot EM^2} \quad \boxed{0,045 \text{ m}}$$

Prueba n°:

8

**- (8) Estrategia de correlación:**

Autocorrelación utilizando la banda 1 de color rojo:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
<b>Band used in correlation:</b>	<b>1</b>

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

**- (8) Resultados de la autocorrelación:**

## 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Figura 1.8: Resultados correlación.

Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	51.4
Fair:	11.9
Poor:	9.9
<b>Interpolated:</b>	<b>25.9</b>
Off-image:	0.9

Los factores que aparecen en el apartado “*failure analysis*” son:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	3.3
<b>Edge:</b>	<b>28.4</b>
Precision:	0.1
<b>Curvature:</b>	<b>51.5</b>
Peak threshold:	16.7

- Calculamos los valores del error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,012 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,061 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} - EM)^2} \quad \boxed{0,060 \text{ m}}$$

<b>Prueba n°:</b>	9
-------------------	---

**- (9) Estrategia de correlación:**

Autocorrelación utilizando la banda 2 de color verde:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
<b>Band used in correlation:</b>	<b>2</b>

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

**- (9) Resultados de la autocorrelación:**

1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:

- Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	53.6
Fair:	10.8
Poor:	9.8
<b>Interpolated:</b>	<b>25.0</b>
Off-image:	0.8



Los factores que aparecen en el apartado “*failure analysis*” son:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	2.8
Edge:	28.7
Precision:	0.0
Curvature:	52.8
Peak threshold:	15.7

Figura 1.9: Resultados correlación.

- Calculamos los valores del error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,009 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,052 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2 + EM^2} \quad \boxed{0,051 \text{ m}}$$

**- Conclusiones:**

Tras analizar estas tres pruebas, esta claro que la banda roja, la que menor contraste tiene, es la que peores resultados proporciona. La verde, aunque tiene un elevado porcentaje de puntos con correlación buena, presenta un alto porcentaje de puntos interpolados y su error medio cuadrático es también alto. Por último, la banda azul, la que mayor contraste tiene, es la que ofrece un porcentaje menor de puntos interpolados y la que menor error medio cuadrático tiene.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Método de correlación:</b> <i>“TIN COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>10</i>

### - Estrategia de correlación:

Para esta prueba se ha desactivado la opción de post-proceso, con lo cual los resultados de la autocorrelación no experimentarán ningún filtrado:

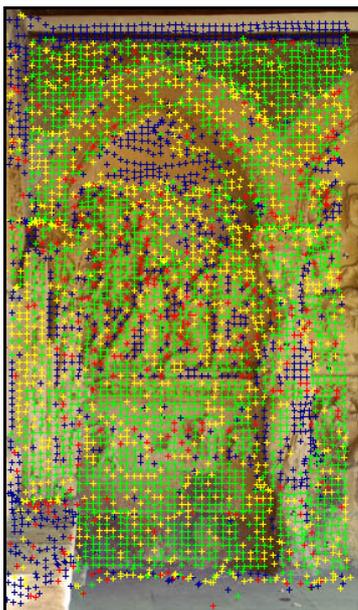
Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
<b>Post-processing:</b>	<b>No</b>
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	1

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



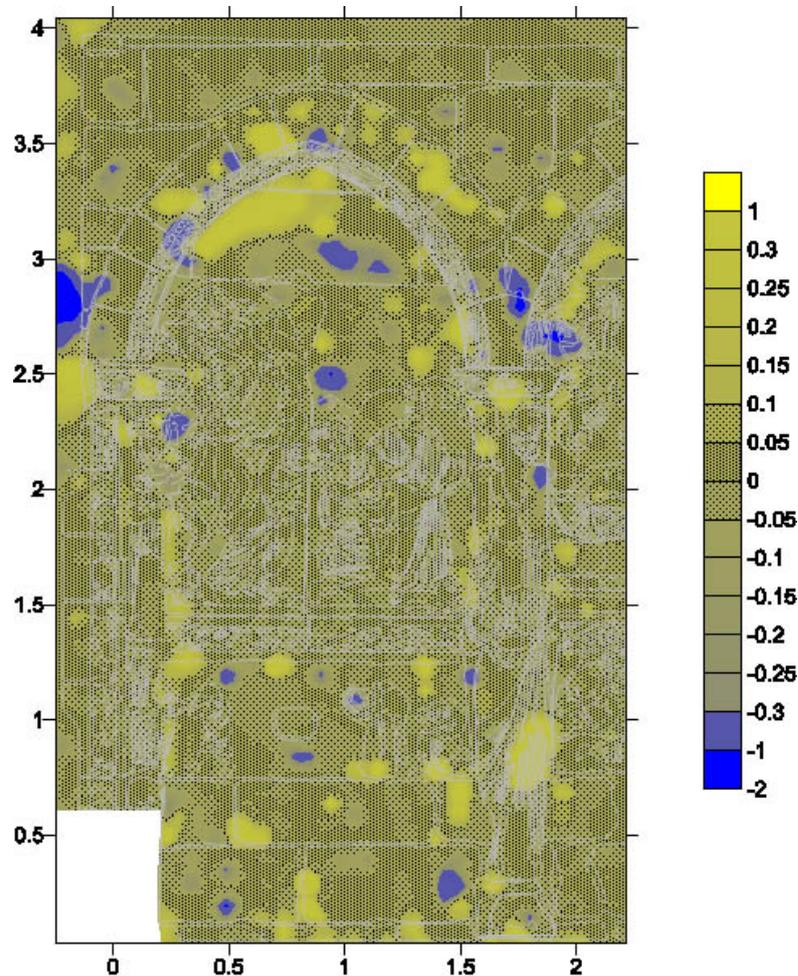
Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	48.4
Fair:	24.2
Poor:	6.6
<b>Interpolated:</b>	<b>19.9</b>
Off-image:	1.0

Si comparamos el porcentaje de puntos interpolados de esta prueba con el obtenido en pruebas anteriores, podemos ver que es más bajo que el obtenido en algunas de ellas.

Figura 1.10: Resultados correlación.

- El valor de la variable SNR (relacionada con el coeficiente de correlación) es de 1,233 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,60 de coeficiente de correlación. Este valor ya denota que la precisión del modelo no es tan buena como indican los porcentajes vistos anteriormente.
2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
- En la siguiente imagen podemos ver donde se producen los mayores errores. Las diferencias positivas se muestran en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

	Valor de diferencia entre la correlación y la restitución			
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	37,22 %	24,36 %	20,21 %	18,21 %

- Así mismo, con los valores proporcionados por SURFER se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido}| \quad \boxed{0,005 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,199 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} = EM^2 \quad \boxed{0,199 \text{ m}}$$

### **- Conclusiones:**

Al desactivar la opción de post-proceso vemos cual sería el resultado original de la correlación sin efectuar filtrado alguno. Lo curioso de este resultado es que además de producirse errores groseros en las zonas de relieve discontinuo, donde ya se producían en las pruebas anteriores, se producen en algunas zonas de la superficie continua-lisa. Posiblemente estos errores en las zonas continuas-lisas se deban a la dificultad del programa para correlar sobre superficies con una textura homogénea.

Otro dato que nos indica el resultado tan pobre de la correlación es el valor general del SNR (1,233 sigma), próximo al valor mínimo aceptable establecido.

Por último, el error medio cuadrático del modelo (0,199 m) es muy elevado para ser aceptado en este tipo de levantamientos, ya que obliga a representarlo a escala  $1/995$  o más pequeñas.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Estrategia de correlación:</b> <i>“EPIPOLAR COLLECT”</i>	<b>Prueba nº:</b> <i>1</i>

### - Estrategia de correlación:

Para empezar, realizamos una correlación utilizando los valores que proporciona el software por defecto, que son:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	11
Rejection factor:	1.5
Start RRDS**:	3 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	1 of 3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:

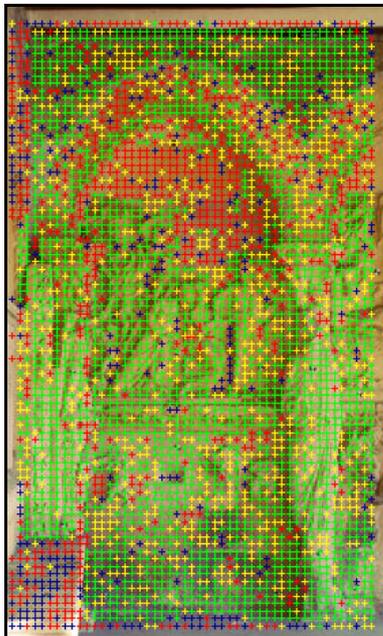


Figura 1.1: Resultados correlación.

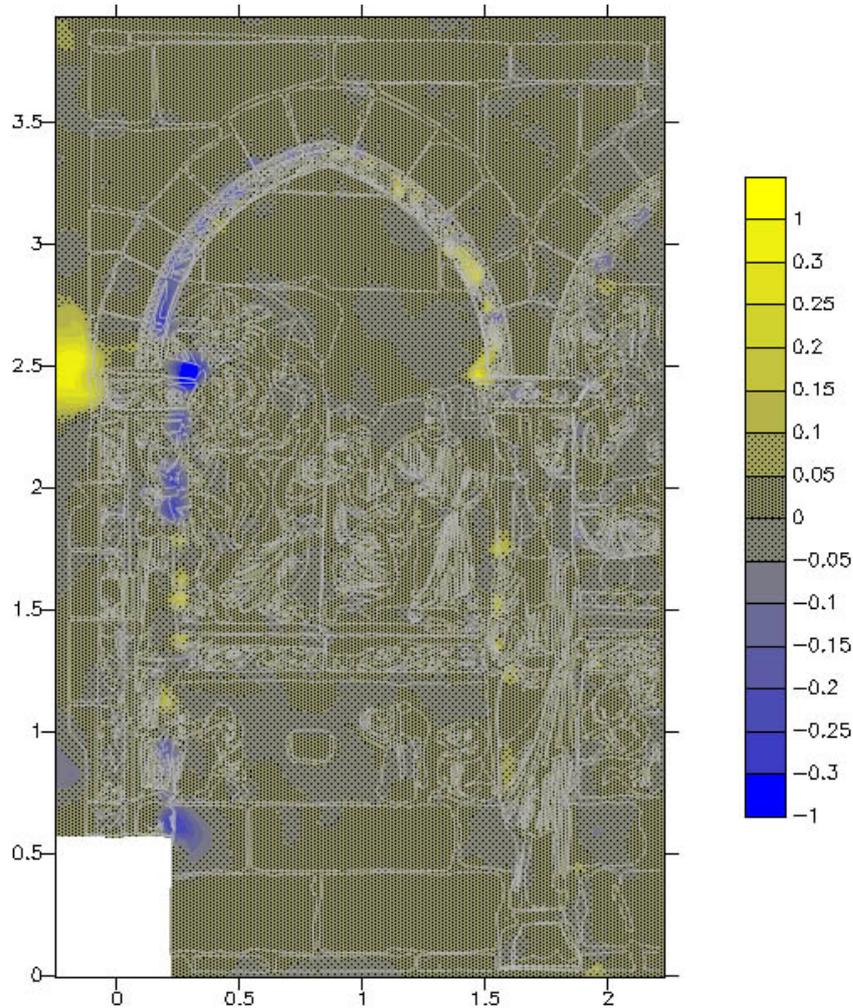
Consultamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	57.3
Fair:	21.5
Poor:	16.3
<b>Interpolated:</b>	<b>1.8</b>
Off-image:	3.0

Es significativo el porcentaje tan pequeño de puntos que no han podido ser correlados (los que han tenido que ser interpolados) con este método, comparado con los resultados que se obtenían al aplicar el método “*TIN COLLECT*”.

- Miramos el apartado “*Failure analysis*”, donde se indican las causas por las que los datos interpolados no han podido ser correlados:





- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	63,46 %	19,73 %	10,18 %	6,62 %

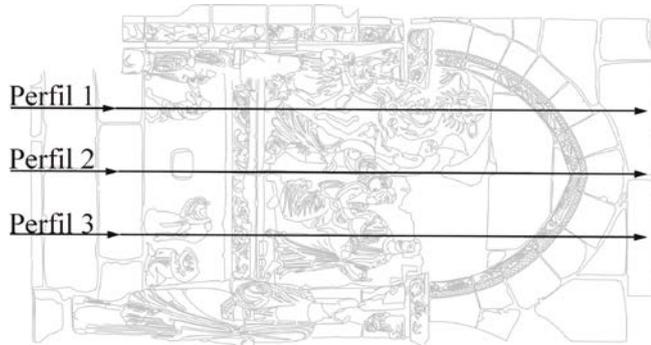
- Así mismo, con los valores proporcionados por SURFER se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} = 0,002 \text{ m}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} = 0,050 \text{ m}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} - EM}^2 = 0,050 \text{ m}$$

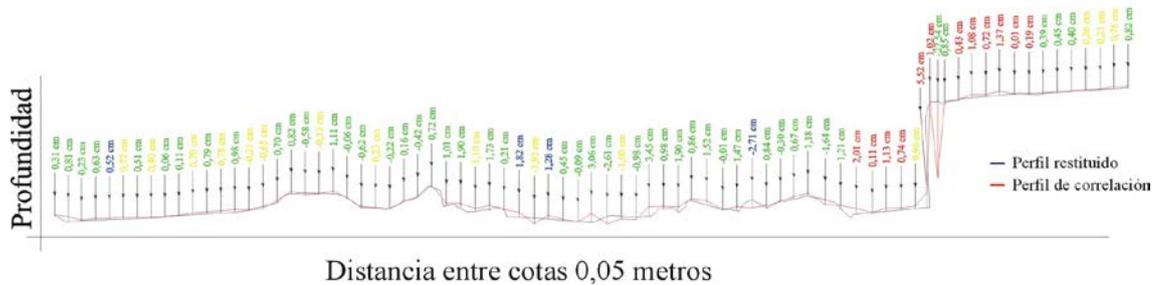
3. Comparación del modelo correlado con el modelo restituído, utilizando secciones creadas en AUTOCAD. Se han creado tres perfiles como se muestra en la figura siguiente:



- Relación de colores según la correlación:

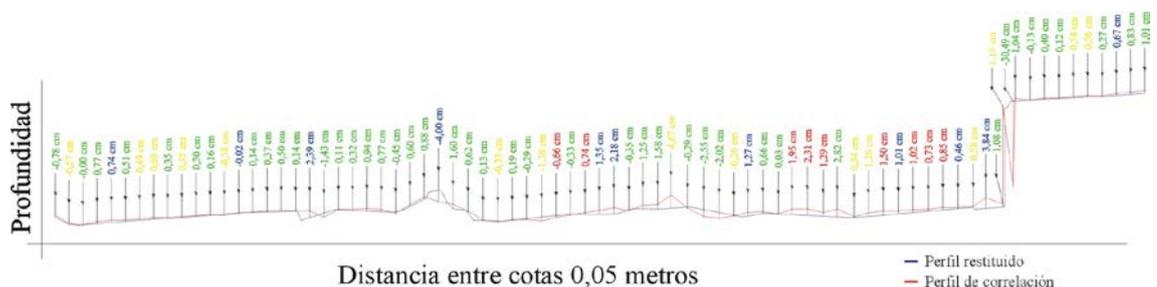
<b>Verde</b>	BUENA
<b>Amarillo</b>	JUSTA
<b>Rojo</b>	POBRE
<b>Azul</b>	INTERPOLADA

▪ **Perfil 1:**



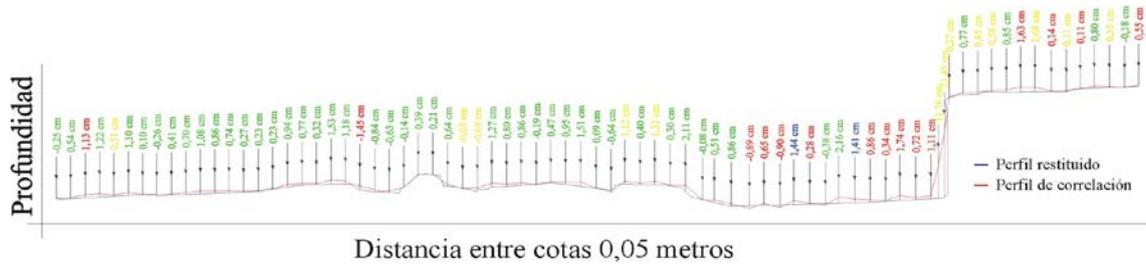
Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	47 (60,26 %)	33 (70,21 %)	10 (21,28 %)	3 (6,38 %)	1 (2,13 %)
<b>JUSTA</b>	15 (19,23 %)	12 (80,00 %)	3 (20,00 %)	-	-
<b>POBRE</b>	12 (15,38 %)	6 (50,00 %)	4 (33,34 %)	1 (8,33 %)	1 (8,33 %)
<b>INTERPOLADA</b>	4 (5,13 %)	1 (25,00 %)	2 (50,00 %)	1 (25,00 %)	-

▪ **Perfil 2:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	43 (55,13 %)	32 (74,42 %)	7 (16,28 %)	3 (6,98 %)	1 (2,32 %)
<b>JUSTA</b>	15 (19,23 %)	11 (73,33 %)	3 (20,00 %)	1 (6,67 %)	-
<b>POBRE</b>	9 (11,54 %)	4 (44,44 %)	4 (44,44 %)	1 (11,11 %)	-
<b>INTERPOLADA</b>	11 (14,10 %)	4 (36,36 %)	3 (27,28 %)	4 (36,36 %)	-

▪ **Perfil 3:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	46 (60,53 %)	37 (80,43 %)	7 (15,22 %)	2 (4,35 %)	-
<b>JUSTA</b>	13 (17,10 %)	8 (61,54 %)	3 (23,08 %)	-	2 (15,38 %)
<b>POBRE</b>	15 (19,74 %)	10 (66,67 %)	5 (33,33 %)	-	-
<b>INTERPOLADA</b>	2 (2,63 %)	-	2 (100 %)	-	-

Estos tres perfiles constituyen en sí una muestra muy pequeña del total de los puntos correlados (6 %), sin embargo, proporcionan datos muy interesantes acerca del modelo.

- **Conclusiones:**

Tras analizar los resultados obtenidos en esta correlación automática llegamos a las siguientes conclusiones:

Aplicando esta estrategia se ha conseguido generar un modelo con un alto porcentaje de puntos correlados (95,10 %). En cuanto a los puntos que no han podido ser correlados, su presencia es muy pequeña (1,80 %), localizándose de forma salteada por distintas zonas de la superficie. Las causas por las que no se han podido correlar pueden ser muy diversas: por la presencia de texturas homogéneas, en las zonas lisas; por ser zonas de ocultación, en zonas discontinuas; etc.. Otro resultado que ha llamado la atención es el gran número de puntos rojos (de correlación pobre) localizados sobre la superficie lisa de textura homogénea donde en la estrategia *TIN COLLECT* existía una gran presencia de puntos interpolados.

Por muy buena que haya resultado la correlación, hay casos puntuales, sobre todo en las zonas próximas a las discontinuidades, donde aparecen puntos con error grosero (mirar los perfiles).

Por último, la precisión del modelo correlado es de 0,052 m, valor que incluye el error de los puntos de apoyo (1 cm), los errores de la orientación y el error medio cuadrático de la correlación.

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Estrategia de correlación:</b> “ <i>EPIPOLAR COLLECT</i> ”	<b>Prueba n°:</b> 2

### - Estrategia de correlación:

Se han marcado con color azul los parámetros modificados:

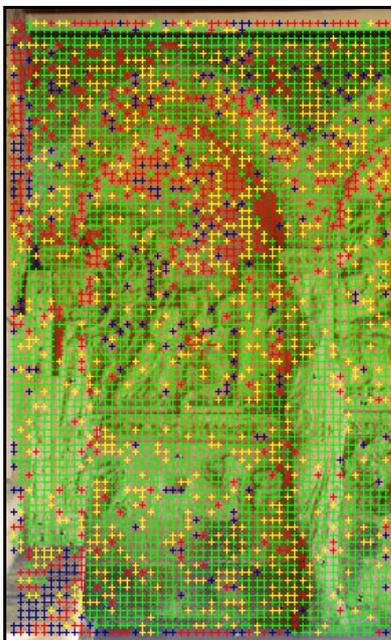
Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
<b>Maximum template size:</b>	<b>21</b>
Rejection factor:	1.5
Start RRDS**:	3 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
<b>Band used in correlation:</b>	<b>3 of 3</b>

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Consultamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	63.4
Fair:	20.2
Poor:	12.9
<b>Interpolated:</b>	<b>1.2</b>
Off-image:	2.3

Respecto a la prueba anterior, esta nueva correlación demuestra una ligera mejoría.

Figura 1.2: Resultados correlación.

- Miramos el apartado “*Failure analysis*”, donde se indican las causas por las que los datos interpolados no han podido ser correlados:

<i>Failure analysis (percentages):</i>	
<b>Peak threshold:</b>	<b>52.9</b>
Accuracy:	2.7
Homogeneity:	0.0
Low contrast:	5.9
<b>Max brightness diff:</b>	<b>37.3</b>
Failed drop-off test:	3.9

- Ha aumentado ligeramente el valor *Peak Threshold*, que indica el porcentaje de puntos que no superaron el límite de umbral mínimo (*Minimum Threshold*). Las variables *Homogeneity* y *Low contrast*, que se encuentran más abajo, solo hacen referencia a la plantilla de búsqueda y no al proceso de comparar plantillas de correspondencia.
- Comprobamos la variable SNR, cuyo valor medio es 2,446 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,86 de coeficiente de correlación, un valor que indica una altísima fiabilidad de los puntos correlados.

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:

- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

	<b>Valor de diferencia entre la correlación y la restitución</b>			
	<b>(0 – 1 cm)</b>	<b>(1 – 2 cm)</b>	<b>(2 – 5 cm)</b>	<b>(más de 5 cm)</b>
<b>Porcentajes</b>	63,06 %	20,34 %	9,82 %	6,78 %

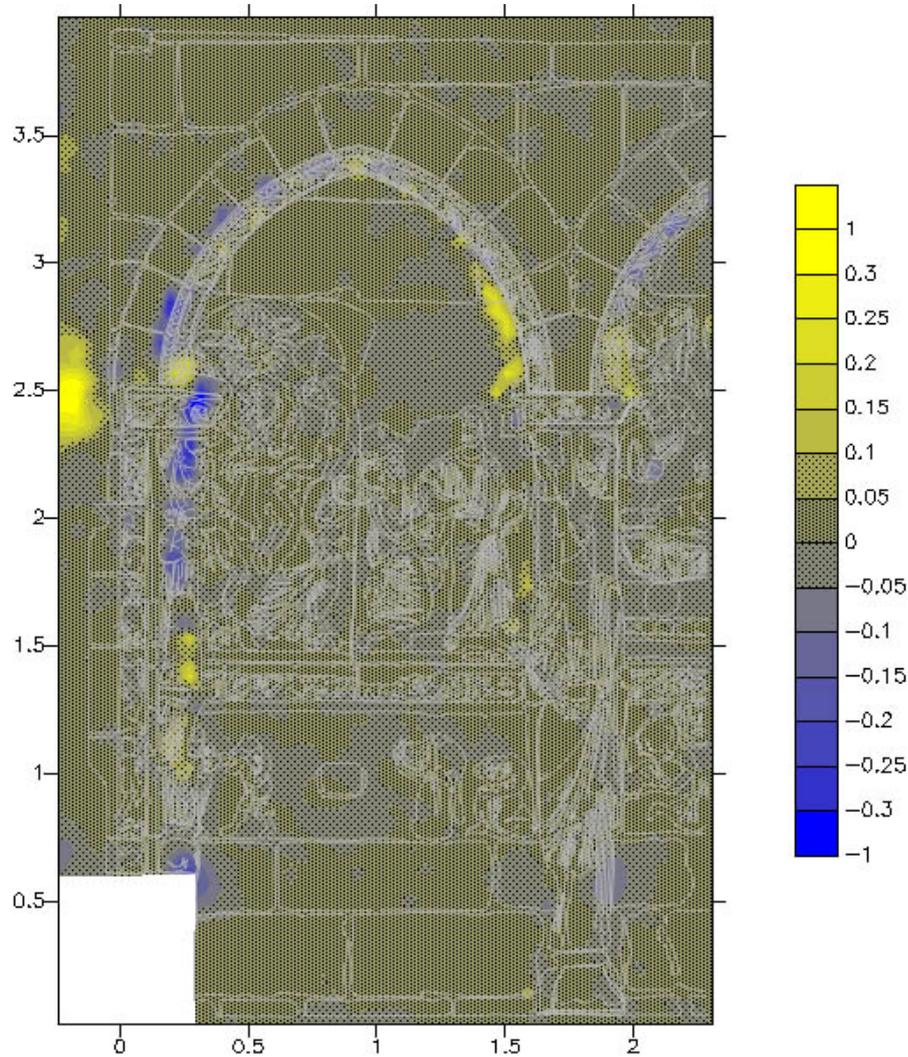
- Así mismo, se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,001 \text{ m}}$$

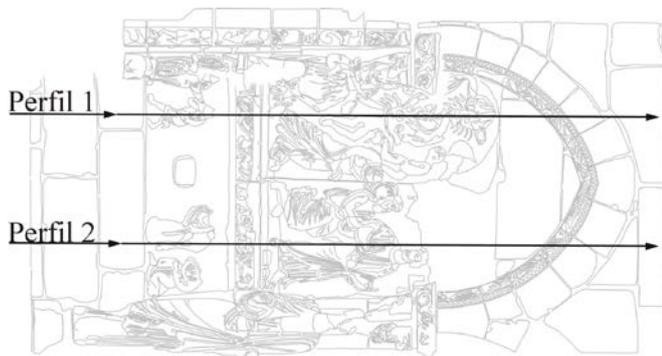
$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,050 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} - EM}^2 \quad \boxed{0,050 \text{ m}}$$

- En la siguiente imagen se muestran los residuos del modelo, los tonos amarillentos corresponden a las diferencias positivas y los tonos azulados a las diferencias negativas:



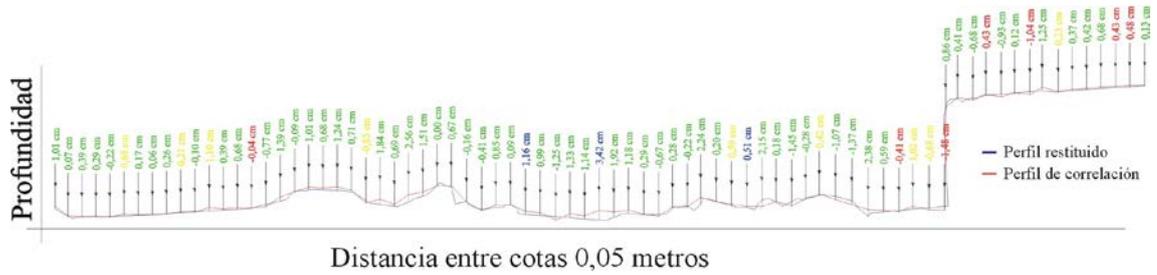
- Comparación del modelo correlado con el modelo restituido, utilizando secciones creadas en AUTOCAD. Se han creado dos perfiles situados en las proximidades de los establecidos en la prueba 1, de tal forma que puedan ser comparados.



- Relación de colores según la correlación:

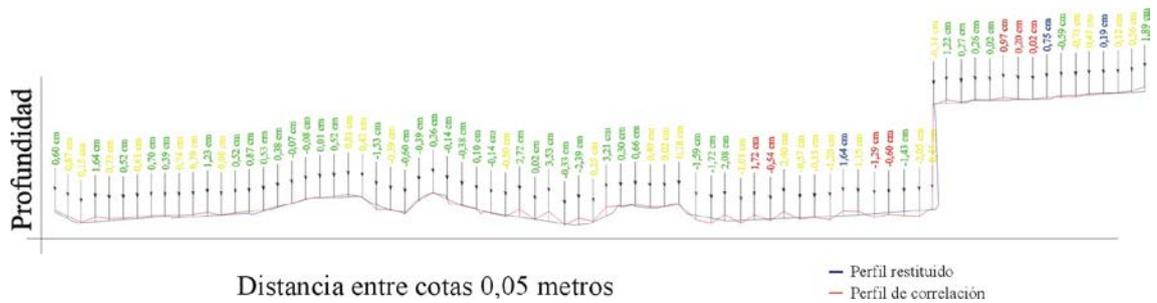
Verde	BUENA
Amarillo	JUSTA
Rojo	POBRE
Azul	INTERPOLADA

▪ **Perfil 1:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	57 (75,00 %)	39 (68,42 %)	15 (26,32 %)	3 (5,26 %)	-
<b>JUSTA</b>	9 (11,84 %)	7 (77,78 %)	2 (22,22 %)	-	-
<b>POBRE</b>	7 (9,21 %)	5 (71,43 %)	2 (28,57 %)	-	-
<b>INTERPOLADA</b>	3 (3,95 %)	1 (33,33 %)	1 (33,33 %)	1 (33,33 %)	-

▪ **Perfil 2:**



Correlación	Nº Puntos	Nº de puntos con una diferencia entre:			
		(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>BUENA</b>	39 (50,65 %)	27 (69,23 %)	8 (20,51 %)	4 (10,26 %)	-
<b>JUSTA</b>	28 (36,36 %)	23 (82,14 %)	3 (10,72 %)	2 (7,14 %)	-
<b>POBRE</b>	7 (9,09 %)	5 (71,43 %)	2 (28,57 %)	-	-
<b>INTERPOLADA</b>	3 (3,90 %)	2 (66,67 %)	1 (33,33 %)	-	-

<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E1</i>
<b>Estrategia de correlación:</b> <i>“EPIPOLAR COLLECT”</i>	<b>Prueba nº:</b> <i>3</i>

### - Estrategia de correlación:

En esta prueba se ha desactivado la opción de post-proceso, para conocer los resultados de la autocorrelación sin que se efectúe ningún filtrado:

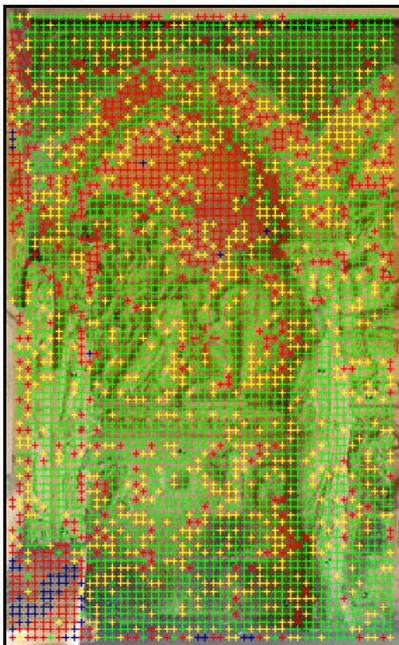
Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Rejection factor:	1.5
Start RRDS**:	3 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Post-processing:	No
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	1 of 3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

#### 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Consultamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	57.4
Fair:	22.9
Poor:	15.8
<b>Interpolated:</b>	<b>1.2</b>
Off-image:	2.6

Podemos ver que en esta prueba los porcentajes de correlación no experimentan ninguna variación considerable, y que el porcentaje de puntos interpolados se mantiene prácticamente igual que en las pruebas anteriores.

Figura 1.3: Resultados correlación.

- Miramos el apartado “*Failure analysis*”, donde se indican las causas por las que los datos interpolados no han podido ser correlados:

<i>Failure analysis (percentages):</i>	
<b>Peak threshold:</b>	<b>35.3</b>
Accuracy:	0.0
Homogeneity:	0.0
Low contrast:	7.8
<b>Max brightness diff:</b>	<b>47.1</b>
Failed drop-off test:	9.8

- El valor *Peak Threshold*, que hace referencia a los puntos que no superaron el límite de umbral mínimo, se mantiene alto.
  - Comprobamos el valor medio del parámetro SNR (relacionado con el coeficiente de correlación), el cual es de 1,995 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,80 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados.
2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
  - Las diferencias entre los dos modelos se han agrupado y se han determinado sus porcentajes, para conocer en que proporción aparecen:

	<b>Valor de diferencia entre la correlación y la restitución</b>			
	<b>(0 – 1 cm)</b>	<b>(1 – 2 cm)</b>	<b>(2 – 5 cm)</b>	<b>(más de 5 cm)</b>
<b>Porcentajes</b>	56,97 %	18,98 %	10,39 %	13,66 %

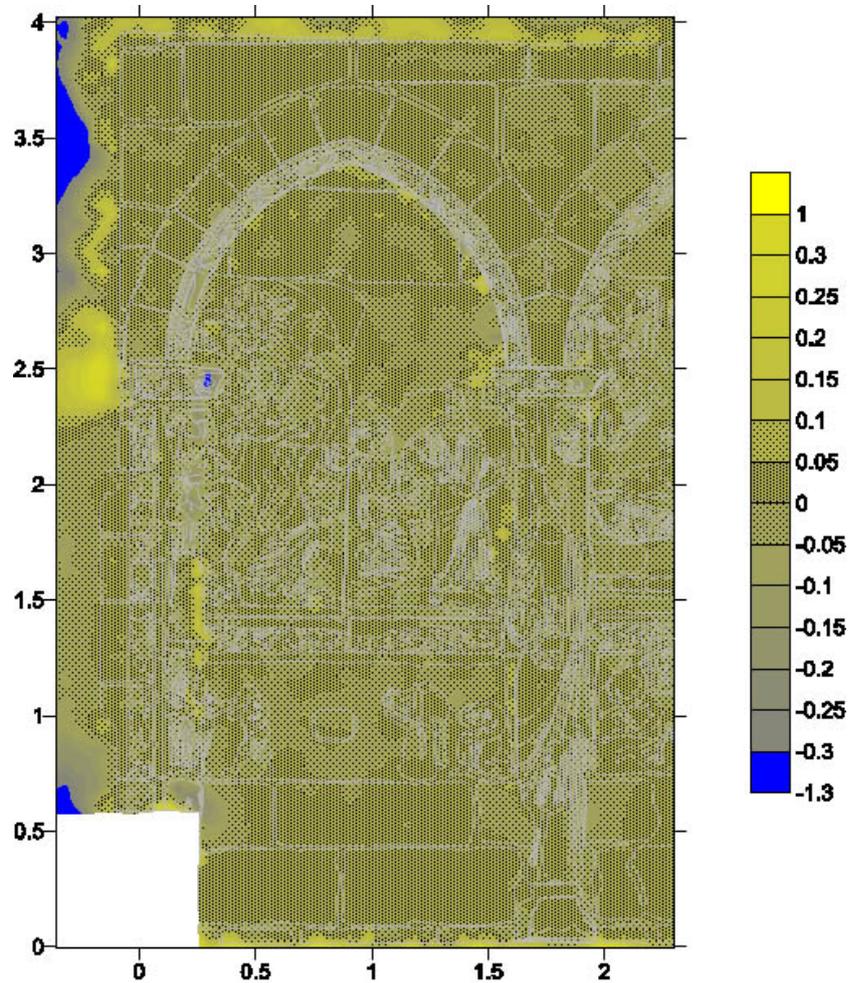
- Así mismo, con los valores proporcionados por SURFER se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,007 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,096 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad EM^2} \quad \boxed{0,096 \text{ m}}$$

- En la siguiente imagen podemos ver donde se producen los mayores errores. Las diferencias positivas se muestran en tonos amarillentos y las negativas en tonos azulados.



### - Conclusiones:

Podemos observar que al desactivar la opción de post-proceso el error medio cuadrático del modelo correlado aumenta. Sin embargo, este error no llega a tener un valor tan alto como el obtenido en la estrategia *TIN COLLECT* al desactivar el post-proceso.

## **II.2.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA SOFTPLOTTER. PAR FOTOGRAMÉTRICO *POR\_E2*.**

<b>II.2.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES.....</b>	<b>169</b>
▪ ORIENTACIÓN INTERNA.....	169
▫ ORIENTACIÓN INTERNA <i>POR_E2_d</i> .....	169
▫ ORIENTACIÓN EXTERNA <i>POR_E2_i</i> .....	169
▪ ORIENTACIÓN EXTERNA.....	169
<b>II.2.2.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA AUTOCORRELACIÓN.....</b>	<b>175</b>
▪ MÉTODO <i>TIN COLLECTION</i> .....	175
▫ PRUEBA N° 1.....	175
▫ PRUEBA N° 2.....	178
▪ MÉTODO <i>EPIPOLAR COLLECTION</i> .....	181
▫ PRUEBA N° 1.....	181
▫ PRUEBA N° 2.....	184

## II.1.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES.

- RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DE LA IMAGEN *POR\_E2\_i*:

Fiducial Description	Film X	Film Y	Sample	Line	X Residual	Y Residual	Sample Residual	Line Residual
1	+720.0	-1080.0	+1438.94	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00
2	+720.0	+1080.0	+1438.94	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
3	-720.0	+1080.0	-0.44	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
4	-720.0	-1080.0	-0.44	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00

- RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DE LA IMAGEN *POR\_E2\_d*:

Fiducial Description	Film X	Film Y	Sample	Line	X Residual	Y Residual	Sample Residual	Line Residual
1	+720.0	-1080.0	+1438.94	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00
2	+720.0	+1080.0	+1438.94	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
3	-720.0	+1080.0	-0.44	-0.44	+0.0	-0.0	0.00	0.00
4	-720.0	-1080.0	-0.44	+2158.94	+0.0	+0.0	0.00	0.00

- RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN EXTERNA DEL PAR *POR\_E2*:

Pre-Triangulation Facts:

-----  
 Total Number of Frames: 2  
 Total Number of Active Frames: 2  
 Total Number of Points: 32  
 Total Number of Active Points: 22  
 Total Number of Elements: 2  
 Maximum Number of Correlations: 1  
 Unsorted Element Bandwidth: 2

Frame	Description	Cam	Frame Parameter Residuals (Unit is Meter and degrees)					
			X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
1	POR_E2_i	1	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000
2	POR_E2_d	1	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000000	0.000000

Point ID	Type	Point Residuals (Meter)			Image Residuals				
		X	Y	Z	Frame ID	Sample	Line	Image X	Image Y
32	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.11	-0.26	0.1	0.3
					POR_E2_d	0.09	0.02	0.1	-0.0
33	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.21	0.08	0.2	-0.1
					POR_E2_d	-0.16	-0.09	-0.2	0.1
34	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.37	0.41	-0.4	-0.4
					POR_E2_d	-0.41	0.37	-0.4	-0.4
35	T				POR_E2_i	0.11	0.09	0.1	-0.1
					POR_E2_d	0.11	0.13	0.1	-0.1
36	T				POR_E2_i	0.20	0.44	0.2	-0.4
					POR_E2_d	0.13	0.43	0.1	-0.4
38	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.28	0.52	-0.3	-0.5
					POR_E2_d	-0.09	0.50	-0.1	-0.5
43	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.11	-0.29	-0.1	0.3
					POR_E2_d	-0.14	-0.16	-0.1	0.2
44	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.08	-0.16	0.1	0.2
					POR_E2_d	-0.03	-0.34	-0.0	0.3
45	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.09	-0.02	-0.1	0.0
					POR_E2_d	0.04	0.02	0.0	-0.0
46	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.06	0.36	-0.1	-0.4
					POR_E2_d	0.30	-0.07	0.3	0.1
47	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.35	-0.66	0.3	0.7
					POR_E2_d	0.57	-0.33	0.6	0.3
48	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.41	-0.23	0.4	0.2
					POR_E2_d	0.36	0.01	0.4	-0.0
49	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.07	-0.09	-0.1	0.1
					POR_E2_d	0.21	-0.18	0.2	0.2
50	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.14	0.15	-0.1	-0.1
					POR_E2_d	0.32	0.25	0.3	-0.3
53	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.04	0.08	-0.0	-0.1
					POR_E2_d	-0.61	0.20	-0.6	-0.2
54	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.41	0.23	0.4	-0.2
					POR_E2_d	0.16	0.04	0.2	-0.0
55	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.34	-0.47	0.3	0.5
					POR_E2_d	0.33	-0.45	0.3	0.4
56	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	0.00	-0.51	0.0	0.5
					POR_E2_d	-0.27	-0.60	-0.3	0.6
57	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.21	0.46	-0.2	-0.5
					POR_E2_d	0.10	0.28	0.1	-0.3
58	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.49	-0.09	-0.5	0.1
					POR_E2_d	-0.65	0.28	-0.6	-0.3
59	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.19	-0.08	-0.2	0.1
					POR_E2_d	0.06	-0.56	0.1	0.6
60	C	0.000	0.000	0.000	POR_E2_i	-0.02	-0.00	-0.0	0.0
					POR_E2_d	-0.27	0.17	-0.3	-0.2

Averages: 0.000 0.000 0.000  
 RMS: 0.000 0.000 0.000

Averages: 0.22 0.25 0.2 0.3  
 RMS: 0.27 0.31 0.3 0.3

----- Results for Iteration 1 -----

Statistics Summary

Number of Equations: 166  
 Number of Unknowns: 78  
 Degrees of Freedom: 88

Standard Deviation of Unit Weight: 0.587328

Category	VTPV Sum	Ratio	Sigma0
a priori photo	0.000	0.000	0.000
a priori point	0.000	0.000	0.000
collinearity equations	30.356	1.886	0.587

Frame	Description	Cam	Frame Parameters (Unit is Meter and degrees)					
			X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
1	POR_E2_i	1	2.322	1.447	7.991	3.143635	-2.144670	-0.011868
2	POR_E2_d	1	2.552	1.448	7.951	2.909987	-2.683766	-0.117167

Point Results for Iteration 1

Point ID	Type	Description	Current Correction			Current Position		
			X	Y	Z	X	Y	Z
32	C		-0.001	0.000	0.000	1.845	3.504	0.236
33	C		-0.001	0.000	0.001	2.318	3.472	0.226
34	C		-0.001	-0.000	0.000	3.164	3.577	0.255
35	T		-0.000	-0.000	0.005	3.849	3.366	0.282
36	T		0.001	-0.002	0.009	2.623	3.142	-0.118
38	C		-0.000	-0.001	-0.001	1.281	2.860	-0.184
43	C		0.000	0.000	0.000	1.440	1.686	-0.064
44	C		-0.000	-0.000	0.000	1.750	1.666	0.163
45	C		0.000	0.000	-0.000	2.261	2.352	-0.172
46	C		0.001	-0.000	-0.001	3.121	2.150	-0.053
47	C		0.001	0.001	-0.000	3.297	2.469	0.401
48	C		0.001	-0.000	0.000	3.977	2.149	0.271
49	C		0.000	-0.000	-0.001	3.558	1.745	0.267
50	C		0.000	-0.000	-0.001	2.700	1.693	-0.067
53	C		-0.000	-0.000	0.001	2.096	1.496	-0.053

54	C	0.001	-0.001	0.001	3.203	1.423	0.008
55	C	0.000	0.000	0.000	3.544	0.781	0.292
56	C	-0.001	0.000	0.000	3.865	0.347	0.278
57	C	-0.000	-0.001	-0.001	3.221	0.298	-0.040
58	C	-0.001	0.000	0.000	2.051	0.195	-0.059
59	C	-0.000	0.001	-0.001	1.778	0.449	0.128
60	C	0.001	0.001	0.000	1.525	0.143	-0.068

Frame	Description	Cam	Frame Parameter Residuals (Unit is Meter and degrees)					
			X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
1	POR_E2_i	1	0.018	0.020	0.001	-0.128180	0.141179	-0.009791
2	POR_E2_d	1	0.017	0.019	0.000	-0.123018	0.134514	-0.007151

Point ID	Type	Point Residuals (Meter)			Frame ID	Image Residuals			
		X	Y	Z		Sample	Line	Image X	Image Y
32	C	0.001	-0.000	-0.000	POR_E2_i	0.01	-0.13	0.0	0.1
					POR_E2_d	-0.01	0.12	-0.0	-0.1
33	C	0.001	-0.000	-0.001	POR_E2_i	0.19	0.09	0.2	-0.1
					POR_E2_d	-0.18	-0.10	-0.2	0.1
34	C	0.001	0.000	-0.000	POR_E2_i	0.04	0.02	0.0	-0.0
					POR_E2_d	-0.03	-0.03	-0.0	0.0
35	T				POR_E2_i	0.01	-0.03	0.0	0.0
					POR_E2_d	0.00	0.03	0.0	-0.0
36	T				POR_E2_i	-0.01	0.01	-0.0	-0.0
					POR_E2_d	-0.00	-0.00	-0.0	0.0
38	C	0.000	0.001	0.001	POR_E2_i	-0.09	0.02	-0.1	-0.0
					POR_E2_d	0.09	-0.03	0.1	0.0
43	C	-0.000	-0.000	-0.000	POR_E2_i	0.01	-0.06	0.0	0.1
					POR_E2_d	-0.01	0.06	-0.0	-0.1
44	C	0.000	0.000	-0.000	POR_E2_i	0.04	0.10	0.0	-0.1
					POR_E2_d	-0.04	-0.10	-0.0	0.1
45	C	-0.000	-0.000	0.000	POR_E2_i	-0.06	-0.02	-0.1	0.0
					POR_E2_d	0.06	0.02	0.1	-0.0
46	C	-0.001	0.000	0.001	POR_E2_i	-0.16	0.21	-0.2	-0.2
					POR_E2_d	0.17	-0.21	0.2	0.2
47	C	-0.001	-0.001	0.000	POR_E2_i	-0.09	-0.17	-0.1	0.2
					POR_E2_d	0.10	0.16	0.1	-0.2
48	C	-0.001	0.000	-0.000	POR_E2_i	0.06	-0.13	0.1	0.1
					POR_E2_d	-0.03	0.12	-0.0	-0.1
49	C	-0.000	0.000	0.001	POR_E2_i	-0.12	0.04	-0.1	-0.0
					POR_E2_d	0.13	-0.04	0.1	0.0
50	C	-0.000	0.000	0.001	POR_E2_i	-0.22	-0.05	-0.2	0.1
					POR_E2_d	0.22	0.05	0.2	-0.1
53	C	0.000	0.000	-0.001	POR_E2_i	0.27	-0.06	0.3	0.1

54	C	-0.001	0.001	-0.001	POR_E2_d	-0.27	0.06	-0.3	-0.1
					POR_E2_i	0.13	0.09	0.1	-0.1
					POR_E2_d	-0.12	-0.09	-0.1	0.1
55	C	-0.000	-0.000	-0.000	POR_E2_i	0.01	-0.01	0.0	0.0
					POR_E2_d	-0.00	0.02	-0.0	-0.0
56	C	0.001	-0.000	-0.000	POR_E2_i	0.13	0.05	0.1	-0.0
					POR_E2_d	-0.14	-0.04	-0.1	0.0
57	C	0.000	0.001	0.001	POR_E2_i	-0.15	0.09	-0.2	-0.1
					POR_E2_d	0.15	-0.07	0.2	0.1
58	C	0.001	-0.000	-0.000	POR_E2_i	0.06	-0.19	0.1	0.2
					POR_E2_d	-0.07	0.20	-0.1	-0.2
59	C	0.000	-0.001	0.001	POR_E2_i	-0.14	0.24	-0.1	-0.2
					POR_E2_d	0.13	-0.24	0.1	0.2
60	C	-0.001	-0.001	-0.000	POR_E2_i	0.10	-0.09	0.1	0.1
					POR_E2_d	-0.11	0.10	-0.1	-0.1
Averages:		0.000	0.000	0.001					
RMS:		0.001	0.000	0.001					
Averages:						0.09	0.09	0.1	0.1
RMS:						0.12	0.11	0.1	0.1

----- Results for Iteration 2 -----

Statistics Summary

-----  
Number of Equations: 166  
Number of Unknowns: 78  
Degrees of Freedom: 88

Standard Deviation of Unit Weight: 0.232724

Category	VTPV Sum	Ratio	Sigma0
a priori photo	0.006	0.018	0.023
a priori point	0.189	0.100	0.054
collinearity equations	4.571	1.809	0.228

Frame	Description	Cam	Frame Parameters (Unit is Meter and degrees)				Phi	Kappa
			X	Y	Z	Omega		
1	POR_E2_i	1	2.322	1.447	7.991	3.144177	-2.145705	-0.011627
2	POR_E2_d	1	2.552	1.448	7.950	2.910499	-2.684116	-0.116961

Point Results for Iteration 2

Point ID	Type	Description	Current Correction			Current Position		
			X	Y	Z	X	Y	Z
32	C		-0.000	-0.000	-0.000	1.845	3.504	0.236
33	C		-0.000	-0.000	-0.000	2.318	3.472	0.226
34	C		0.000	0.000	-0.000	3.164	3.577	0.255
35	T		-0.000	-0.000	0.000	3.849	3.366	0.282
36	T		-0.000	-0.000	0.000	2.623	3.142	-0.118
38	C		0.000	-0.000	-0.000	1.281	2.860	-0.184
43	C		0.000	-0.000	0.000	1.440	1.686	-0.064
44	C		-0.000	-0.000	-0.000	1.750	1.666	0.163
45	C		0.000	0.000	0.000	2.261	2.352	-0.172
46	C		0.000	0.000	-0.000	3.121	2.150	-0.053
47	C		0.000	0.000	0.000	3.297	2.469	0.401
48	C		0.000	0.000	0.000	3.977	2.149	0.271
49	C		0.000	0.000	-0.000	3.558	1.745	0.267
50	C		0.000	0.000	-0.000	2.700	1.693	-0.067
53	C		-0.000	-0.000	0.000	2.095	1.496	-0.053
54	C		-0.000	-0.000	0.000	3.203	1.423	0.008
55	C		-0.000	-0.000	-0.000	3.544	0.781	0.292
56	C		-0.000	-0.000	-0.000	3.865	0.347	0.278
57	C		-0.000	0.000	-0.000	3.221	0.298	-0.040
58	C		-0.000	0.000	0.000	2.051	0.195	-0.059
59	C		-0.000	-0.000	-0.000	1.778	0.449	0.128
60	C		-0.000	0.000	0.000	1.525	0.143	-0.068

Timing Information (in minutes):

Time in Pre-Triangulation:	0.00
Time in Estimation:	0.00
Time in Initialization:	0.00
Time in Solution:	0.00
Average Time Per Iteration:	0.00
Total Triangulation Time:	0.00

ESTACIÓN: *SOFTPLOTTER (Surface Tool)*PAR: *POR\_E2*Método de correlación: *“TIN COLLECT”*Prueba n°: *1***- Estrategia de correlación:**

Realizamos esta primera prueba utilizando los parámetros que proporciona el software por defecto:

Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	11
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.50
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	1

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

**- Resultados de la autocorrelación:**

## 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	45.2
Fair:	16.8
Poor:	7.9
<b>Interpolated:</b>	<b>24.3</b>
Off-image:	5.7

Observamos que los resultados son parecidos a los obtenidos en la prueba 1 del par POR\_E1, utilizando los mismos parámetros de autocorrelación.

Figura 1.1: Resultados correlación.

Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analisis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	22.1
Edge:	40.6
Precision:	0.6
Curvature:	31.8
Peak threshold:	5.0

- La variable “Edge” presenta un valor muy por encima de su límite (15 %), mientras que la variable “Curvature” posee un porcentaje próximo a su valor máximo (30%).
  - El valor del SNR (relacionado con el coeficiente de correlación) es de 1,838 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,77 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados.
2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
  - De la comparación se han obtenido unos residuos que se han agrupado y se han determinado sus porcentajes, para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
<b>Porcentajes</b>	70,82 %	14,98 %	10,43 %	3,77 %

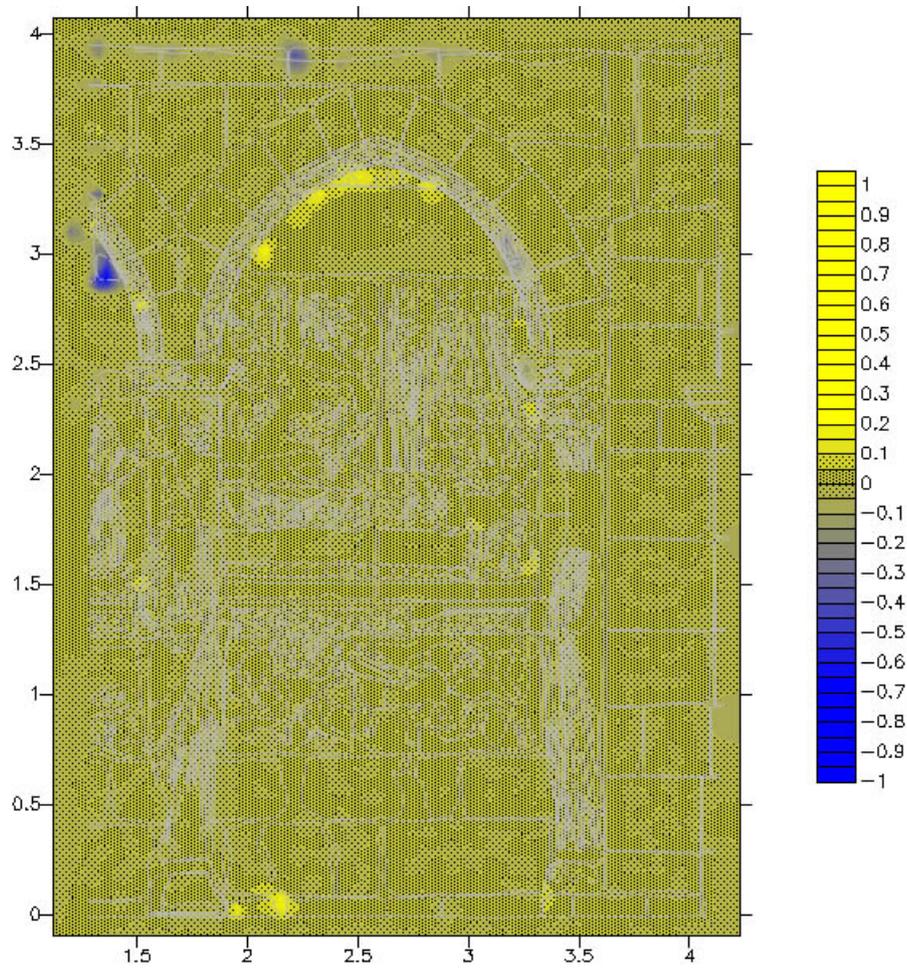
- Así mismo, se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,002 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,033 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} + EM^2} \quad \boxed{0,033 \text{ m}}$$

- La siguiente imagen muestra la distribución de los errores en el modelo, las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



ESTACIÓN: *SOFTPLOTTER (Surface Tool)*PAR: *POR\_E2*Método de correlación: *“TIN COLLECT”*Prueba n°: *2***- Estrategia de correlación:**

Realizamos una nueva prueba modificando algunos de los parámetros (marcados en azul) que creemos que pueden mejorar la correlación:

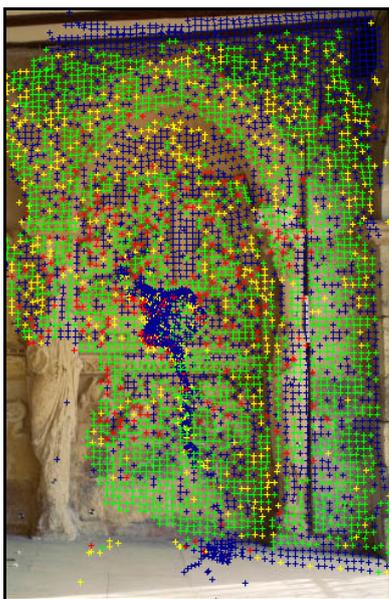
Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	21
Minimum precision:	0.50
Rejection factor:	1.5
Skip factor:	2
Edge factor:	2.00
Start RRDS**:	4 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Resampling (last RRDS):	Bilinear
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

**- Resultados de la autocorrelación:**

## 1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Los porcentajes obtenidos en la última fase de la correlación (RRDS 0) son:

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	43.2
Fair:	15.0
Poor:	7.7
Interpolated:	30.5
Off-image:	3.6

Tanto con la imagen de la correlación (figura 1.2) como con el valor de los porcentajes de correlación, podemos ver que el modelo resultante tiene muy poca calidad.

Figura 1.2: Resultados correlación.

- Comprobamos los valores que aparecen en el apartado “*failure analysis*”, donde sólo se hace referencia a los datos interpolados:

<i>Failure analysis (percent):</i>	
Off-image:	14.7
Edge:	26.9
Precision:	0.0
Curvature:	39.3
Peak threshold:	19.1

- El valor del SNR (relacionado con el coeficiente de correlación) es de 1,838 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,77 de coeficiente de correlación, un valor que indica una alta fiabilidad de los puntos correlados (aunque realmente en este caso no sea así).

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:

- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
- De la comparación se han obtenido unos residuos que se han agrupado y se han determinado sus porcentajes, para conocer en que proporción aparecen:

	Valor de diferencia entre la correlación y la restitución			
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	29,95 %	18,13 %	19,10 %	32,82 %

- Así mismo, se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{5,209 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{12,495 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} - EM)^2} \quad \boxed{11,358 \text{ m}}$$

3. En lugar de obtener la imagen SURFER, que para este caso no aporta información relevante, se ha utilizado la herramienta que tiene SoftPlotter para generar curvados automáticamente.

La imagen de la derecha corresponde a un resultado correcto, y la de la izquierda al resultado obtenido:



<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E2</i>
<b>Estrategia de correlación:</b> <i>“EPIPOLAR COLLECT”</i>	<b>Prueba n°:</b> <i>1</i>

### - Estrategia de correlación:

Efectuamos esta primera prueba utilizando los parámetros que proporciona el software por defecto:

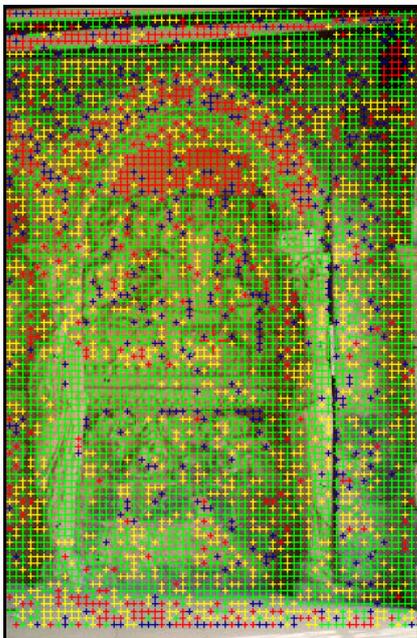
Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
Maximum template size:	11
Rejection factor:	1.5
Start RRDS**:	3 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
Band used in correlation:	1 of 3

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Consultamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	58.9
Fair:	21.0
Poor:	10.1
<b>Interpolated:</b>	<b>7.1</b>
Off-image:	2.8

Figura 1.1: Resultados correlación.

- Miramos el apartado “*Failure analysis*”, donde se indican las causas por las que los datos interpolados no han podido ser correlados:

<i>Failure analysis (percentages):</i>	
Peak threshold:	19.4
Accuracy:	3.2
Homogeneity:	0.0
Low contrast:	0.0
Max brightness diff:	0.0
Failed drop-off test:	77.4

- El valor *Failed drop-off test* indica generalmente una correlación al azar, falsa en datos ruidosos.
  - Comprobamos el valor medio del parámetro SNR (relacionado con el coeficiente de correlación), el cual es de 3,005 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,90 de coeficiente de correlación, un valor que indica una altísima fiabilidad de los puntos correlados.
1. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
  - Los valores extraídos de la comparación se han agrupado y se han determinado sus porcentajes, para conocer en que proporción aparecen:

<b>Valor de diferencia entre la correlación y la restitución</b>				
	<b>(0 – 1 cm)</b>	<b>(1 – 2 cm)</b>	<b>(2 – 5 cm)</b>	<b>(más de 5 cm)</b>
<b>Porcentajes</b>	26,02 %	20,95 %	26,54 %	26,49 %

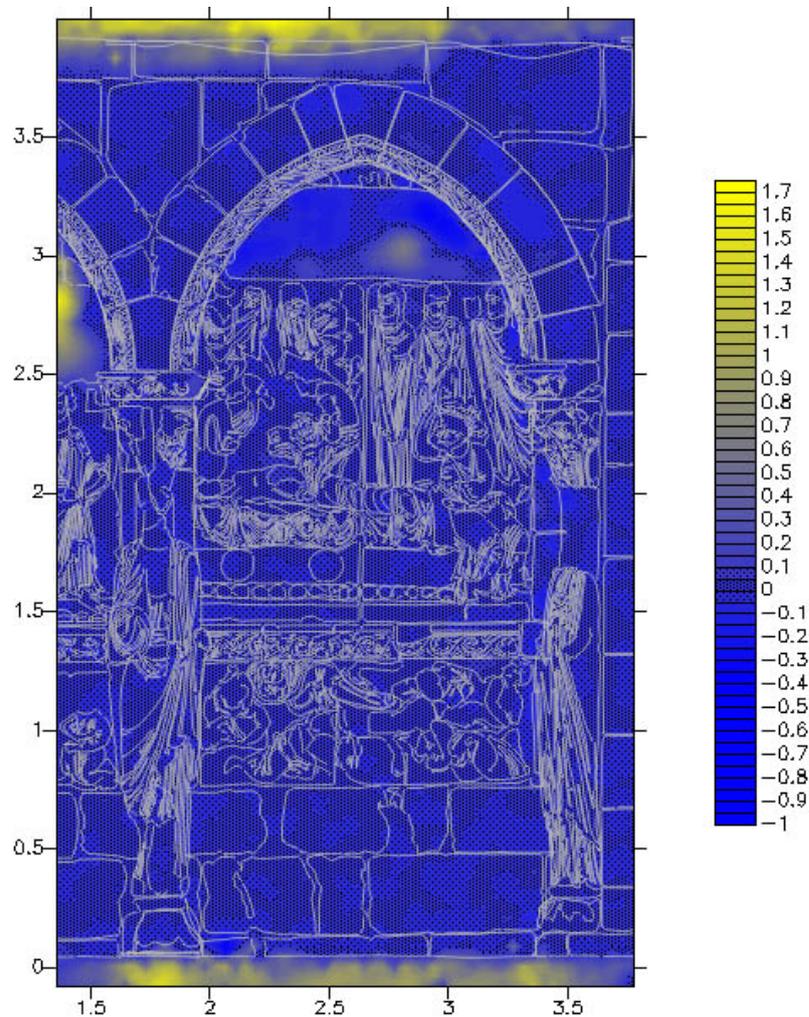
- Así mismo, se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido}| \quad \boxed{0,104 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,296 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2 + EM^2} \quad \boxed{0,277 \text{ m}}$$

- Al hacer la comparación, el SURFER genera un listado donde se indica la posición del punto comparado y los valores de diferencia que hay entre los dos modelos:
  - Con ese listado se ha generado una imagen, donde las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



<b>ESTACIÓN:</b> <i>SOFTPLOTTER (Surface Tool)</i>	<b>PAR:</b> <i>POR_E2</i>
<b>Estrategia de correlación:</b> “ <i>EPIPOLAR COLLECT</i> ”	<b>Prueba n°:</b> 2

### - Estrategia de correlación:

Realizamos una nueva prueba modificando algunos de los parámetros (marcados en azul) que creemos que pueden mejorar la correlación:

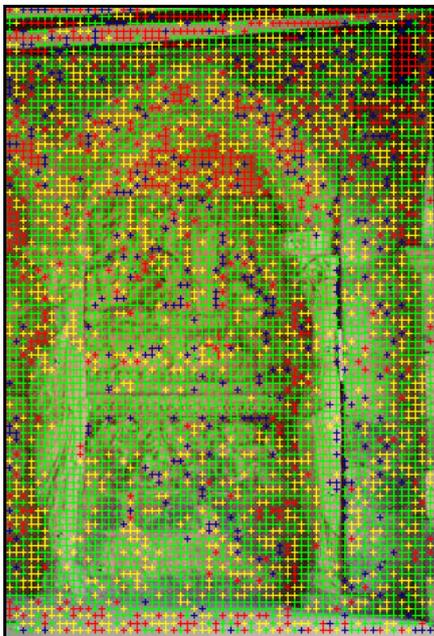
Minimum threshold:	0.600 (SNR* = 1.225)
Noise threshold:	0.400 (SNR* = 0.816)
Maximum x-parallax:	5
Minimum template size:	7
<b>Maximum template size:</b>	<b>21</b>
Rejection factor:	1.5
Start RRDS**:	3 (modified)
End RRDS**:	0
Y-parallax allowance:	0
Post-processing:	Yes
Ignore interpolated:	No
<b>Band used in correlation:</b>	<b>3 of 3</b>

\*SNR (Coeficiente de señal de ruido) – esta relacionado con el Coeficiente de Correlación ( $\Omega$ )

\*\*RRDS – Escala de resolución jerárquica de la imagen

### - Resultados de la autocorrelación:

1. Análisis del fichero de correlación facilitado por SOFTPLOTTER:



Consultamos los porcentajes de correlación obtenidos en la última fase del proceso, en la imagen de mayor resolución (RRDS 0):

<i>Collection percentages by status:</i>	
Good:	58.5
Fair:	22.2
Poor:	10.5
<b>Interpolated:</b>	<b>6.0</b>
Off-image:	2.8

Figura 1.2: Resultados correlación.

- Miramos el apartado “*Failure analysis*”, donde se indican las causas por las que los datos interpolados no han podido ser correlados:

<i>Failure analysis (percentages):</i>	
<b>Peak threshold:</b>	<b>57.1</b>
Accuracy:	0.0
Homogeneity:	0.0
<b>Low contrast:</b>	<b>28.6</b>
Max brightness diff:	0.0
Failed drop-off test:	14.3

- Comprobamos el valor medio del parámetro SNR (relacionado con el coeficiente de correlación), el cual es de 2,476 sigma, lo que equivale aproximadamente a un 0,86 de coeficiente de correlación, un valor que indica una altísima fiabilidad de los puntos correlados.
2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
- La diferencia máxima que se obtiene en la restitución es de 0,80 cm.
  - Los valores extraídos de la comparación se han agrupado y se han determinado sus porcentajes, para conocer en que proporción aparecen:

	<b>Valor de diferencia entre la correlación y la restitución</b>			
	<b>(0 – 1 cm)</b>	<b>(1 – 2 cm)</b>	<b>(2 – 5 cm)</b>	<b>(más de 5 cm)</b>
<b>Porcentajes</b>	28,38 %	20,66 %	26,66 %	24,30 %

- Así mismo, se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

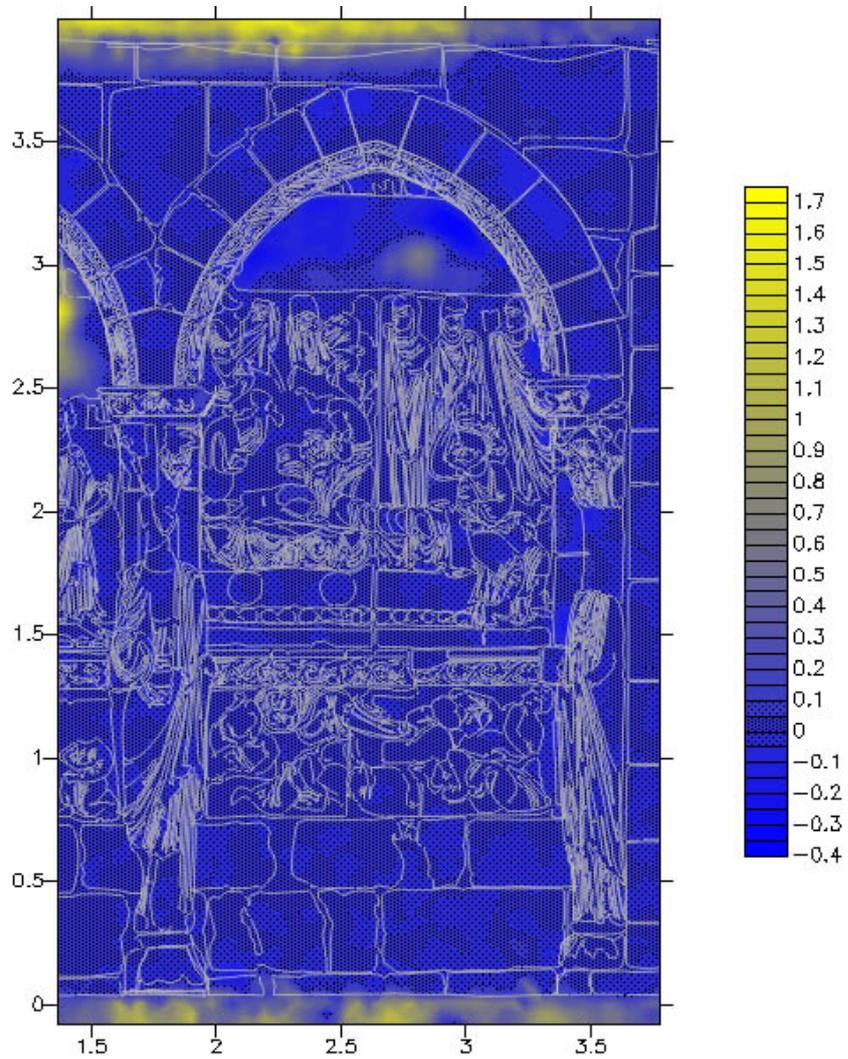
$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido}| \quad \boxed{0,094 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,284 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} = EM^2 \quad \boxed{0,268 \text{ m}}$$

- Al hacer la comparación, el SURFER genera un listado donde se indica la posición del punto comparado y los valores de diferencia que hay entre los dos modelos:

- Con ese listado se ha generado una imagen, donde las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



## **II.3.- RESULTADOS DE LA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGI 3D. PAR FOTOGRAMÉTRICO *POR\_EI*.**

### **II.3.1.- RESULTADOS DE LAS ORIENTACIONES:**

En la orientación interna de cada imagen se ha buscado que el error no fuese mayor de 0,000 mm tanto para X como Y, ya que al tratarse de imágenes capturadas con cámaras digitales, sus marcas fiduciales no sufren deformaciones representativas y son fácilmente identificables (son las esquinas de la imagen). Tras un par de iteraciones sobre cada imagen se ha conseguido este objetivo.

Los problemas más importantes han surgido con las orientaciones relativa y absoluta:

En el caso de la orientación relativa, el problema se debía a la utilización de pocos puntos y mal distribuidos por el modelo, que daban lugar a zonas bien orientadas y otras con presencia de paralaje en Y. En lugar de utilizar los seis puntos indicados en el fichero de cámara, que solo orientaban bien la superficie del fondo, se han utilizado 19, correspondientes a las dianas de los puntos de apoyo. Se podían haber utilizados menos puntos, siempre y cuando estuviesen bien distribuidos por todo el modelo. Destacar que los errores de la orientación relativa se han obtenido muy por debajo de su tolerancia, establecida en 10 micras, que es el tamaño que poseen las celdas del sensor de la cámara CANON EOS D30 utilizada.

Respecto a la orientación absoluta, se trata de un problema que no se ha conseguido solucionar y que da lugar a un error en la componente Z del modelo, es decir, un error por una mala nivelación del modelo. Se han realizado varias pruebas para intentar solucionarlo, pero al no ser posible, se ha escogido aquella orientación que mejores resultados daba y se ha utilizado para realizar las prácticas de autocorrelación. Las pruebas han consistido en ir escogiendo aquellos puntos que mejor distribución tenían e ir probando si se conseguían precisiones en torno al centímetro (1 cm de error equivale a una escala de representación de 1/50), sin embargo, los resultados han sido nefastos y algunos puntos tenían en torno a 30 y 40 cm de error en la componente Z. Es el caso de la orientación utilizada para la práctica, los puntos de apoyo 33 y 51 producían un error en Z próximo a los indicados, y aunque se han desactivado, esos errores permanecen ahí y aparecerán

al hacer la autocorrelación y la restitución. En otra de las pruebas realizadas se han introducido los valores de distorsión de cámara y el resultado ha sido igual de malo.

▪ RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DE LA IMAGEN **POR\_E1\_i**:

```

0.000100333508823    0.000000002288727    -7.212
0.000000029673166    -0.000100435377427    10.840

9966.759908958916600    0.227123091843062    71876.000
2.944632965998788    -9956.650922030938100    107953.501

0.000000000000000    0.000000000000000    33.979999999999997
0

Fiducial -Coordenadas Fiducial- -Coordenadas Medidas- -Ex- -Ey-
1 7.234 -10.858 143973 216084 0.000 -0.000
2 7.234 10.858 143978 -135 -0.000 0.000
3 -7.234 10.858 -221 -177 0.000 -0.000
4 -7.234 -10.858 -226 216042 0.000 0.000
    
```

EM.= 0.000

Nombre de la fotografía: POR\_E1\_i.inn  
 Fecha: 20/2/2006 09:19

▪ RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DE LA IMAGEN **POR\_E1\_d**:

```

0.000100466649101    0.000000013967411    -7.222
-0.000000003493588    -0.000100489107098    10.845

9953.551887902114700    1.383486743548135    71866.576
-0.346043606634601    -9951.327399685544200    107922.513

0.000000000000000    0.000000000000000    33.979999999999997
0

Fiducial -Coordenadas Fiducial- -Coordenadas Medidas- -Ex- -Ey-
1 7.234 -10.858 143856 215972 0.000 -0.000
2 7.234 10.858 143886 -132 -0.000 0.000
3 -7.234 10.858 -122 -126 0.000 -0.000
4 -7.234 -10.858 -152 215977 0.000 0.000
    
```

EM.= 0.000

Nombre de la fotografía: POR\_E1\_d.inn  
 Fecha: 20/2/2006 09:25

▪ RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN RELATIVA DEL PAR **POR\_E1**:

```

33.980
0.000    0.000

0.000    0.000    0.000
1.000000000000000    0.000000000000000    0.000000000000000
0.000000000000000    1.000000000000000    0.000000000000000
0.000000000000000    0.000000000000000    1.000000000000000

2.467    0.021    -0.146
0.999605277213413    -0.003476923424464    -0.027878320799437
0.003483893701498    0.999993910931388    0.000201456754496
0.027877450596720    -0.000298502341166    0.999611303779914

-1.526    5.897    -24.837
    
```

N	-xFizq-	-yFizq-	-xFder-	-yFder-	-xMod-	-yMod-	-zMod-
1	-2.088	8.068	-4.555	8.028	-1.526	5.897	-24.837
2	1.174	7.759	-1.289	7.750	0.859	5.675	-24.852
3	4.903	7.152	2.468	7.175	3.589	5.236	-24.877
4	6.973	6.988	4.566	7.030	5.112	5.124	-24.913
5	-2.008	2.767	-4.578	2.717	-1.417	1.953	-23.983
6	0.524	5.789	-1.805	5.767	0.398	4.401	-25.831
7	2.321	4.042	-0.004	4.025	1.760	3.065	-25.767
8	-2.455	-1.038	-4.997	-1.097	-1.739	-0.736	-24.077
9	-1.257	0.681	-3.598	0.632	-0.947	0.513	-25.605
10	0.598	-0.433	-1.752	-0.479	0.449	-0.325	-25.497
11	3.060	-0.875	0.707	-0.916	2.286	-0.654	-25.385
12	4.571	-0.927	2.133	-0.965	3.319	-0.673	-24.670
13	6.448	1.923	4.172	1.917	4.900	1.462	-25.824
14	5.905	-1.682	3.572	-1.722	4.402	-1.254	-25.331
15	-2.708	-5.541	-5.272	-5.607	-1.898	-3.884	-23.817
16	-1.484	-7.652	-3.867	-7.721	-1.095	-5.644	-25.065
17	3.494	-7.550	1.137	-7.633	2.587	-5.590	-25.160
18	4.714	-6.319	2.291	-6.397	3.417	-4.580	-24.632
19	5.763	-7.302	3.431	-7.389	4.274	-5.415	-25.200

N	-vXizq-	-vVizq-	-vXder-	-vYder--	-py- (micras)
1	-0.0	-0.3	-0.0	0.3	0.6
2	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0
3	0.0	0.3	0.0	-0.3	-0.5
4	-0.0	-0.2	-0.0	0.2	0.4
5	0.0	-0.1	-0.0	0.1	0.2
6	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0
7	-0.0	0.3	0.0	-0.3	-0.6
8	-0.0	0.2	0.0	-0.2	-0.5
9	-0.0	0.2	0.0	-0.2	-0.3
10	-0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.3
11	-0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.1
12	0.0	-0.2	-0.0	0.2	0.3
13	0.0	-0.2	-0.0	0.2	0.4
14	-0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.1
15	0.0	-0.1	-0.0	0.1	0.2
16	0.0	-0.3	-0.0	0.3	0.5
17	-0.0	0.4	0.0	-0.4	-0.7
18	0.0	-0.2	-0.0	0.2	0.4
19	0.0	-0.1	-0.0	0.1	0.1

Puntos medidos: 19  
 Puntos rechazados: 0  
 Desviación típica: 0.3 micras  
 Número de iteraciones: 2

Giros de la cámara izquierda:  
 Omega: 0.0000 gon Phi: 0.0000 gon Kappa: 0.0000 gon

Giros de la cámara derecha:  
 Omega: 0.0190 gon Phi: 1.7750 gon Kappa: -0.2219 gon

Nombre del modelo: POR\_E1\_i-POR\_E1\_d  
 Fecha: 20/2/2006 11:41

▪ RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN ABSOLUTA DEL PAR **POR\_E1**:

0.344373170005504	0.638	1.395	7.836		
0.999941405303472		0.002035470655179	-0.010632159654966	Omega:	-3.9801
-0.002695631680108		0.998044422703752	-0.062450491429453	Phi:	0.6675
0.010484251502229		0.062475492548254	0.997991429472864	Kappa:	0.1716

## RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN EXTERNA

## IMAGEN IZQUIERDA

0.638	1.395	7.836							
0.999941405303472	-0.002695631680108	0.010484251502229	Omega:	3.9785					
0.002035470655179	0.998044422703752	0.062475492548254	Phi:	-0.6769					
-0.010632159654966	-0.062450491429453	0.997991429472864	Kappa:	-0.1296					

## IMAGEN DERECHA

1.444	1.337	7.796							
0.999730146382203	-0.006592560116737	-0.022274931329328	Omega:	4.5166					
0.008153064733945	0.997463707219412	0.070708417572103	Phi:	1.3849					
0.021752286088205	-0.070870945606884	0.997248287598792	Kappa:	-0.5192					

PUNTO	-XT-	-YT-	-ZT-	-xi-	-yi-	-zi-	-Ex-	-Ey-	-Ez-
30	0.25	3.73	0.18	-1.391	5.373	-22.604	-0.000	-0.002	0.005
31	0.99	3.65	0.20	0.778	5.171	-22.624	-0.001	-0.006	0.020
33	2.32	3.47	0.23	4.664	4.671	-22.744	-0.011	-0.013	
37	0.85	3.28	-0.19	0.358	4.014	-23.528	0.004	0.004	-0.025
38	1.28	2.86	-0.18	1.599	2.793	-23.473	0.005	0.003	-0.018
39	0.27	2.48	0.40	-1.286	1.775	-21.766	-0.004	0.000	0.006
40	0.17	1.64	0.31	-1.585	-0.675	-21.872	-0.001	0.007	0.010
44	1.75	1.67	0.16	3.010	-0.617	-22.374	-0.006	0.004	0.019
51	0.12	0.66	0.36	-1.722	-3.527	-21.599	-0.004	0.009	
53	2.10	1.50	-0.05	3.974	-1.144	-22.883	0.007	0.006	-0.015
58	2.05	0.20	-0.06	3.854	-4.892	-22.735	0.007	-0.004	0.010
60	1.52	0.14	-0.07	2.331	-5.047	-22.691	0.004	-0.004	-0.005
61	0.37	0.13	-0.08	-0.994	-5.109	-22.673	-0.001	-0.002	-0.007

EM. = 0.010

Nombre del modelo: POR\_El\_i-POR\_El\_d.abs  
 Fecha: 20/2/2006 12:44

<b>ESTACIÓN:</b> DIGI 3D	<b>PAR:</b> POR_EI
<b>Orden MDTPC</b>	<b>Prueba n°:</b> 1

### - Estrategia de correlación:

Realizamos la correlación utilizando los valores de búsqueda que proporciona el software por defecto (excepto el tamaño de rejilla):

Tamaño de rejilla:	0.05 m
Permitir que la Z se desplace:	2 veces
Factor de correlación mínimo:	0.5
Oportunidades de búsqueda:	25
Incrementar búsqueda en:	15 píxeles
Guardar puntos por debajo del factor:	Si
Muestras de entrenamiento:	No
Líneas de ruptura:	No

### - Resultados de la autocorrelación:

1. Análisis del fichero resumen (“log”) de correlación facilitado por DIGI 3D:



Comprobamos entre que rangos del coeficiente de correlación se encuentran los puntos correlados:

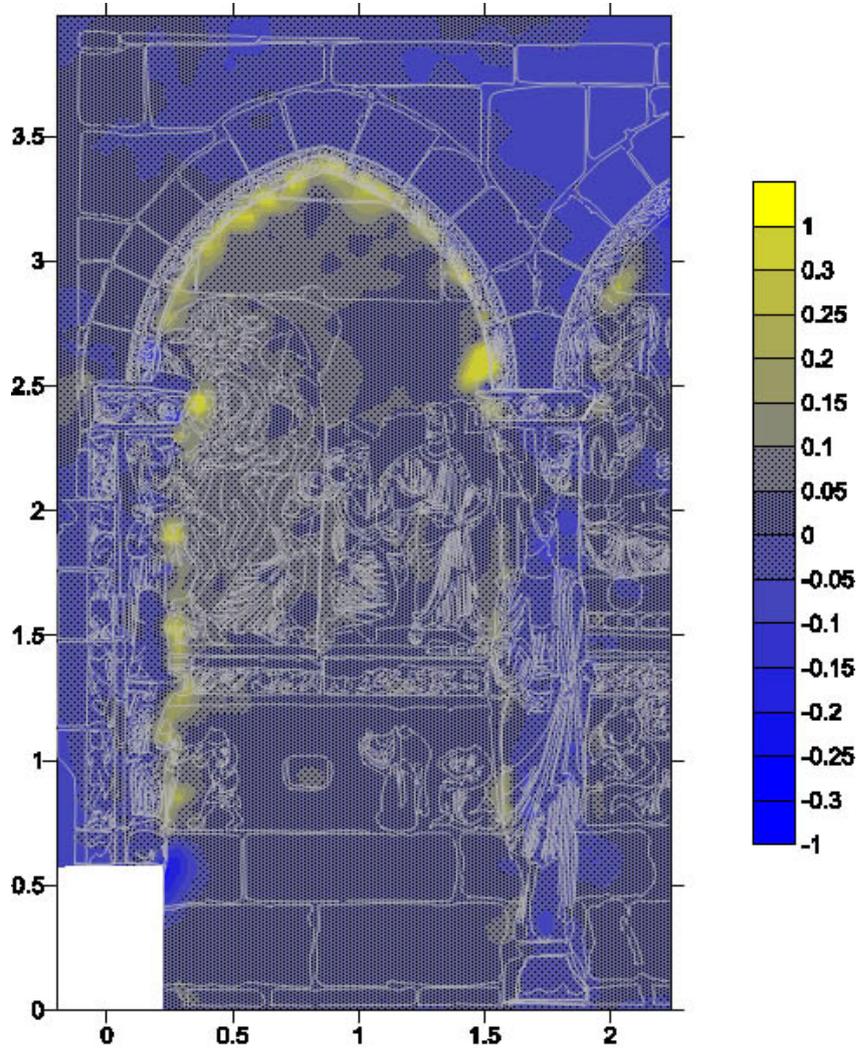
Número de puntos correlados:	3730
en el rango [0.00 - 0.25):	0
en el rango [0.25 - 0.40):	0
en el rango [0.40 - 0.60):	43
en el rango [0.60 - 1.00):	3687

Vemos que el mayor número de puntos se encuentran en el rango 0,60 – 1,00, lo cual quiere decir que la correlación ha sido muy buena. Si nos fijamos donde se encuentran los puntos del rango 0,40 – 0,60 (los de color amarillo), vemos que están en las zonas próximas a las discontinuidades y en la superficie lisa que posee una textura homogénea.

Figura 1.1: Resultados correlación.

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:
  - Para la comparación utilizaremos el mismo modelo restituido que utilizábamos en las pruebas de SoftPlotter, cuya precisión es de 0,80 cm.

- Al hacer la comparación, SURFER genera un listado donde se indica la posición del punto comparado y los valores de diferencia que hay entre los dos modelos:
  - Con ese listado se genera la imagen siguiente, donde las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	11,56 %	13,58 %	47,34 %	27,52 %

- Así mismo, con los valores proporcionados por SURFER se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido} \quad \boxed{0,021 \text{ m}}$$

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2} \quad \boxed{0,068 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{modelo} - Z_i^{restituido})^2 + EM^2} \quad \boxed{0,068 \text{ m}}$$

### - Conclusiones:

Por muy buena que resulte la correlación, si las fases anteriores de orientación no son correctas el resultado final es un modelo con un error muy grande. En esta prueba se han comparado las coordenadas reales de los puntos de apoyo con las coordenadas restituidas, y el error más grande que se ha obtenido ha sido de 0,10 m. Dicho error se ha localizado en la esquina superior del modelo, exactamente en la zona donde la imagen Surfer indica mayor presencia de error.

<b>ESTACIÓN:</b> DIGI 3D	<b>PAR:</b> POR_EI
<i>Orden MDTPC</i>	<b>Prueba n°:</b> 2

**- Estrategia de correlación:**

Realizamos una nueva prueba modificando algunos de los parámetros (marcados en azul):

Tamaño de rejilla:	0.05 m
Permitir que la Z se desplace:	3 veces
Factor de correlación mínimo:	0.5
Oportunidades de búsqueda:	15
Incrementar búsqueda en:	15 píxeles
Guardar puntos por debajo del factor:	Si
Muestras de entrenamiento:	No
Líneas de ruptura:	No

**- Resultados de la autocorrelación:**

1. Análisis del fichero resumen (“log”) de correlación facilitado por DIGI 3D:



Comprobamos entre que rangos del coeficiente de correlación se encuentran los puntos correlados:

Número de puntos correlados:	3757
en el rango [0.00 - 0.25):	0
en el rango [0.25 - 0.40):	0
en el rango [0.40 - 0.60):	38
en el rango [0.60 - 1.00):	3719

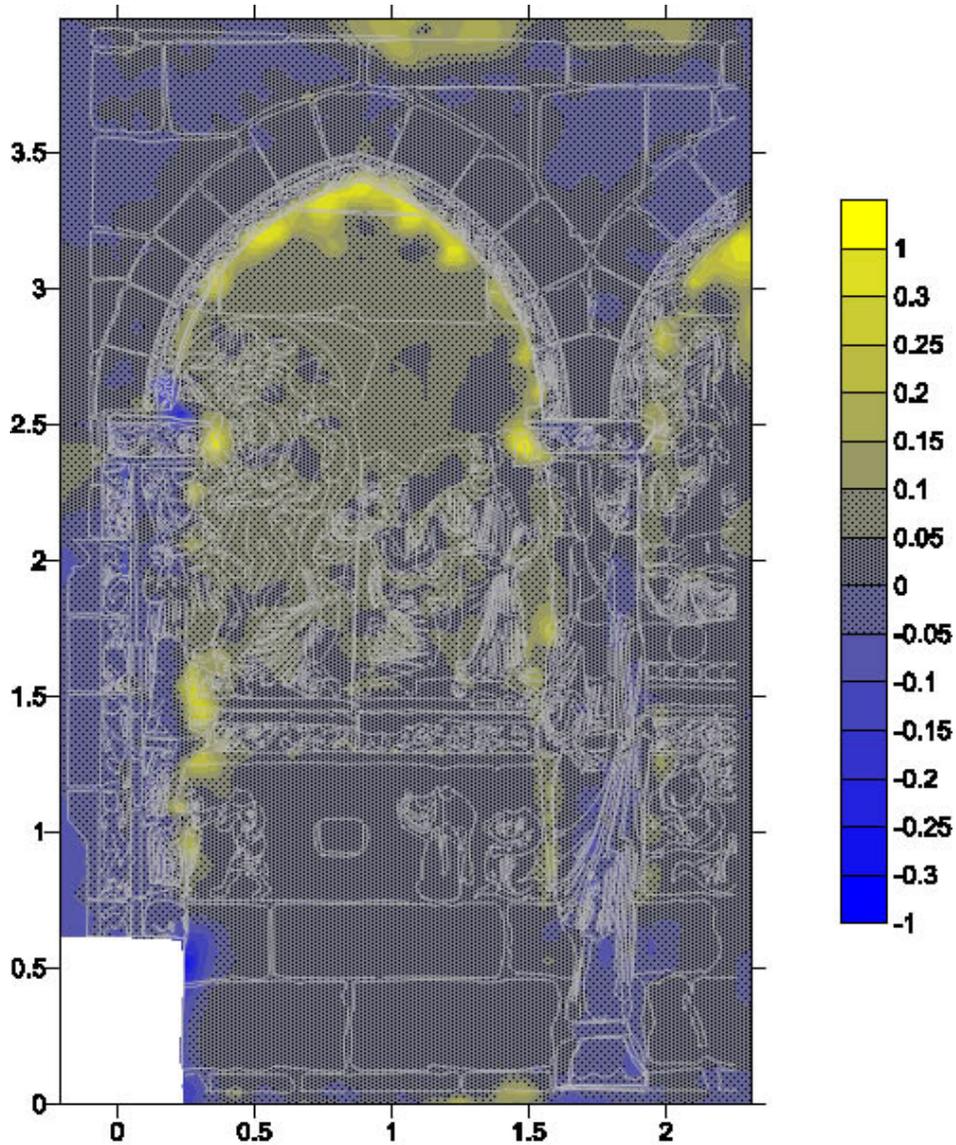
Prácticamente los datos de esta prueba son iguales a los obtenidos en la prueba anterior. El mayor número de puntos se encuentran en el rango 0,60 – 1,00.

Figura 1.2: Resultados correlación.

2. Comparación del modelo correlado con el modelo obtenido por restitución, utilizando el programa SURFER:

- Para la comparación utilizaremos el mismo modelo restituido que utilizábamos en las pruebas de SoftPlotter, cuya precisión es de 0,80 cm.

- Al hacer la comparación, SURFER genera un listado donde se indica la posición del punto comparado y los valores de diferencia que hay entre los dos modelos:
  - Con ese listado se genera la imagen siguiente, donde las diferencias positivas aparecen en tonos amarillentos y las diferencias negativas en tonos azulados.



- Los valores de la lista de resultados se han agrupado y se han determinado sus porcentajes para conocer en que proporción aparecen:

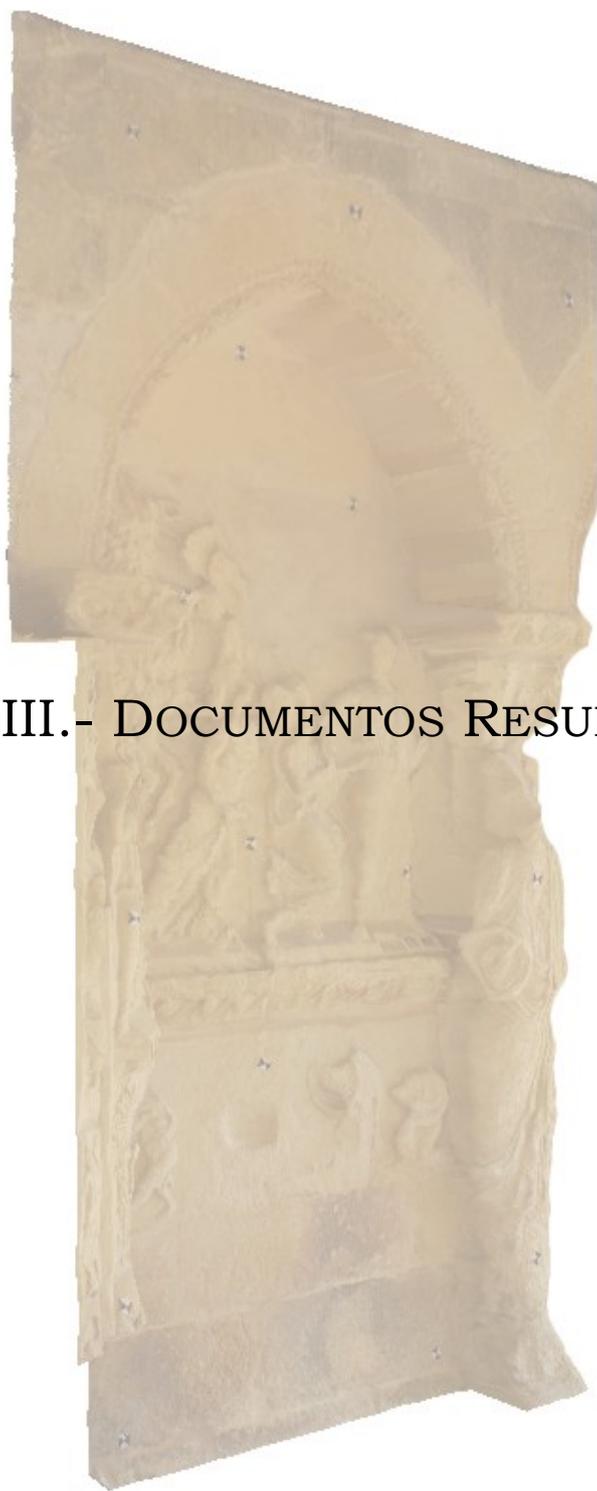
Valor de diferencia entre la correlación y la restitución				
	(0 – 1 cm)	(1 – 2 cm)	(2 – 5 cm)	(más de 5 cm)
Porcentajes	25,03 %	15,12 %	34,02 %	25,83 %

- Así mismo, con los valores proporcionados por SURFER se ha calculado el error medio (EM), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el error medio cuadrático (EMC) de la componente de profundidad del modelo:

$$\text{EM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^{\text{modelo}} - Z_i^{\text{restituido}} \quad \boxed{0,031 \text{ m}}$$

$$\text{EMC} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{\text{modelo}} - Z_i^{\text{restituido}})^2} \quad \boxed{0,069 \text{ m}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i^{\text{modelo}} - Z_i^{\text{restituido}} - \text{EM})^2} \quad \boxed{0,062 \text{ m}}$$



### ANEXO III.- DOCUMENTOS RESULTANTES

### III.- DOCUMENTOS RESULTANTES.

El resultado de la correlación es una nube de puntos de coordenadas X, Y, Z y, en algunos casos, una serie de líneas de ruptura y/o líneas de contorno, almacenados en un fichero de dibujo CAD o como listado de coordenadas en un fichero ASCII.

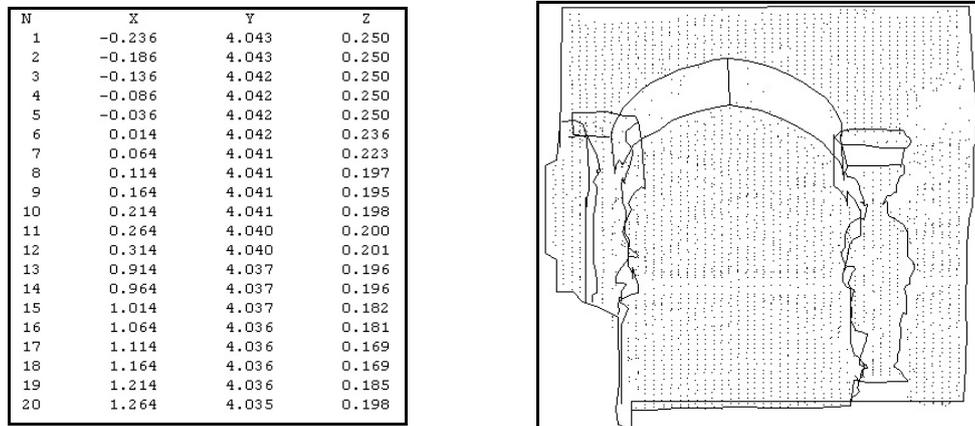


Figura 48: Ficheros resultantes de la correlación.

A partir de estos datos podremos generar otro tipo de productos cartográficos de interés, como modelos digitales del terreno mallados, curvados, perfiles, modelos virtuales, etc., con programas como Surfer, la aplicación MDT de Autocad o MDTop de Digi3D, todos ellos programas de gestión de modelos digitales del terreno; o 3D Studio, que es un software para la generación de modelos virtuales.

#### III.1.- TIPOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA NUBE DE PUNTOS.

- **MDT mallado:** Define el objeto mediante una malla que puede ser de celda cuadrada, TIN o formato híbrido. Para entidades patrimoniales se recomienda el uso de los dos últimos, ya que se adaptan mejor a las superficies irregulares.
- **Planos de curvas de nivel:** La superficie queda definida mediante curvas de nivel a una equidistancia determinada. Es un documento muy bueno cuando lo que se representa es terreno, sin embargo, en elementos patrimoniales resulta muy pobre si no se representa conjuntamente con otros productos cartográficos como ortofotografías.

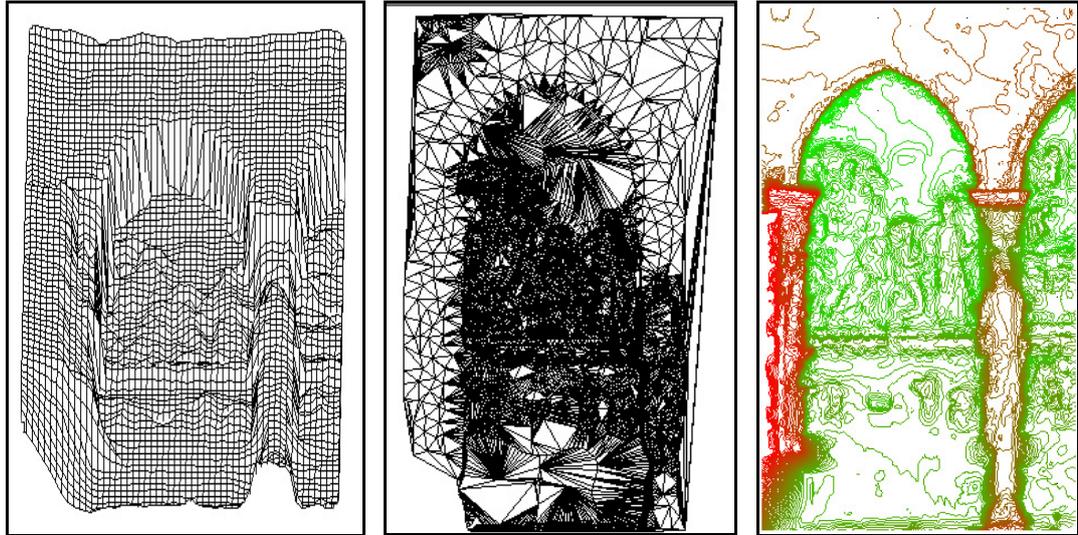


Figura 49: Distintos Modelos Digitales del Terreno.

- **Modelos de trama o textura:** Se trata de imágenes ráster, obtenidas a partir de un degradado de colores según la altura. También podemos incluir en este tipo los modelos de sombreado, basados en proyectar una fuente de luz oblicua como generadora de los efectos de sombra.

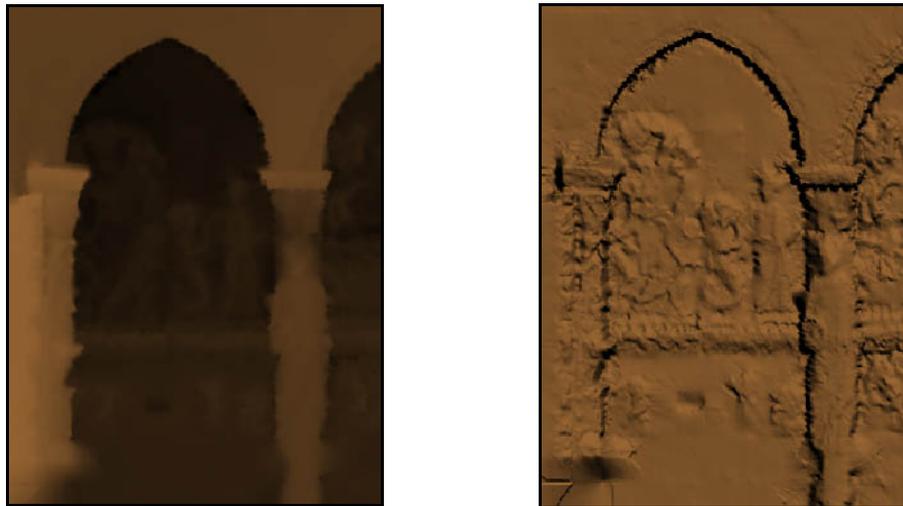


Figura 50: Modelos de trama o textura.

- **Perfiles del terreno:** Se trata de secciones del modelo, muy interesantes para la localización y medición de deformaciones.



Figura 51: Perfil del terreno.

### III.2.- TIPOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LAS ORTOFOTOGRAFÍAS.

- Las **ortofotografías** es si constituyen un importante documento cartográfico, que al combinarse con otro tipo de datos cartográficos (curvados, planos de restitución, etc.) generan los llamados **ortofotoplanos** u **ortofotomapas**.



Figura 52: Ortofoto y ortofotoplano.

### III.3.- MODELOS VIRTUALES.



Figura 53: Modelo virtual.

- A partir de un MDT y una imagen u ortofotografía se pueden generar modelos virtuales, como el que se muestra en la figura 53, que permiten desplazarse y observar el objeto en el espacio 3D virtual.

# **PLANOS**

- PLANO I: MODELO DIGITAL DEL TERRENO.
- PLANO II: PLANOS DE CURVAS DE NIVEL.
- PLANO III: ORTOFOTOMOSAICO.
- PLANO IV: ORTOFOTOPLANO.

TÍTULO DEL  
PROYECTO

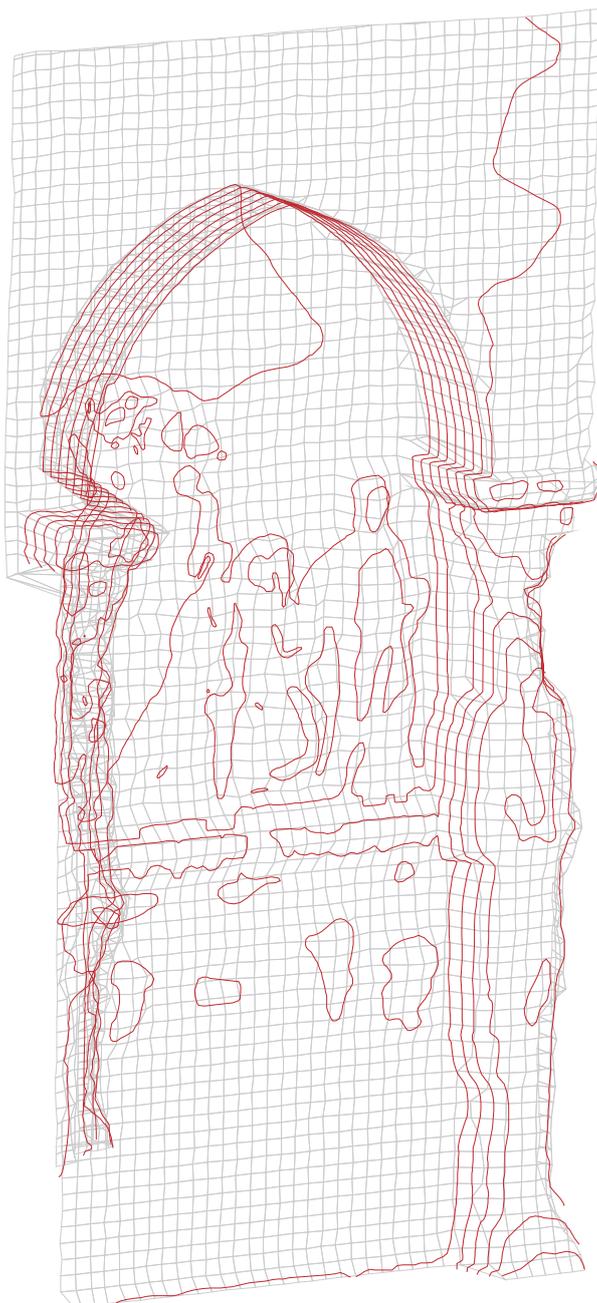
"FOTOGRAMETRÍA DIGITAL  
APLICADA A LA OBTENCIÓN DE ORTOFOTOS Y  
MODELOS DIGITALES DE ENTIDADES PATRIMONIALES"

AUTOR:

- DIEGO VOZMEDIANO MONTOYA

TUTOR:

- JOSÉ MANUEL VALLE MELÓN



FECHA:  
ABRIL  
2006

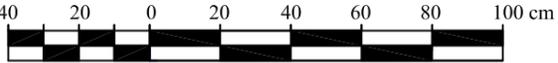
TÍTULO DEL  
PLANO

MODELO DIGITAL DEL TERRENO  
(DEFINIDO MEDIANTE UNA MALLA DE CELDA CUADRADA,  
DE 5X5 CM, Y CURVAS DE NIVEL, DE 5 CM DE EQUI.)

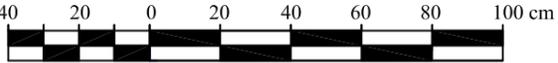
PLANO N°

1



<b>TÍTULO DEL PROYECTO</b>	<b>"FOTOGRAMETRÍA DIGITAL          APLICADA A LA OBTENCIÓN DE ORTOFOTOS Y          MODELOS DIGITALES DE ENTIDADES PATRIMONIALES"</b>	<b>ESCALA GRÁFICA</b>		<b>ESCALA:          1:20</b>	
<b>AUTOR:</b> - DIEGO VOZMEDIANO MONTOYA	<b>TUTOR:</b> - JOSÉ MANUEL VALLE MELÓN	<b>TÍTULO DEL PLANO</b>	<b>PLANOS DE CURVAS DE NIVEL          (EQUIDISTANCIA DE LAS CURVAS NORMALES 0,01 M,          Y DE LAS CURVAS MAESTRAS 0,05 M)</b>	<b>PLANO N°          2</b>	<b>FECHA:          ABRIL          2006</b>



<b>TÍTULO DEL PROYECTO</b>	<b>"FOTOGRAMETRÍA DIGITAL          APLICADA A LA OBTENCIÓN DE ORTOFOTOS Y          MODELOS DIGITALES DE ENTIDADES PATRIMONIALES"</b>	<b>ESCALA GRÁFICA</b>		<b>ESCALA:          1:20</b>	
<b>AUTOR:</b> - DIEGO VOZMEDIANO MONTOYA	<b>TUTOR:</b> - JOSÉ MANUEL VALLE MELÓN	<b>TÍTULO DEL PLANO</b>	<b>ORTOFOTOMOSAICO          (GENERADO A PARTIR DE LAS ORTOFOTOS          DE LOS PARES POR_E1 Y POR_E2)</b>	<b>PLANO N°          3</b>	<b>FECHA:          ABRIL          2006</b>



<b>TÍTULO DEL PROYECTO</b>	<b>"FOTOGRAMETRÍA DIGITAL APLICADA A LA OBTENCIÓN DE ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES DE ENTIDADES PATRIMONIALES"</b>	<b>ESCALA GRÁFICA</b>		<b>ESCALA:</b> 1:20	
<b>AUTOR:</b> - DIEGO VOZMEDIANO MONTOYA	<b>TUTOR:</b> - JOSÉ MANUEL VALLE MELÓN	<b>TÍTULO DEL PLANO</b>	<b>ORTOFOTOPLANO</b>	<b>PLANO N°</b> 4	<b>FECHA:</b> ABRIL 2006



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



UPV EHU

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

---