

Recomendaciones técnicas.

07

**Recomendaciones técnicas para la
documentación geométrica de
entidades patrimoniales**

Versión 1.0
23/11/2011

Recomendaciones Técnicas para la Documentación Geométrica de Entidades Patrimoniales

ÍNDICE

1. Objeto y alcance.	3
2. Documentación del proceso.	4
3. Técnicas de documentación geométrica.	5
3.1. Métodos directos.	5
3.2. Métodos indirectos.	5
3.2.1. Sensores ópticos pasivos.	6
3.2.2. Sensores ópticos activos.	8
4. Especificaciones estandarizadas de los trabajos.	18
4.1. Escala, precisión y exactitud.	18
4.2. Captura de imágenes para fotogrametría.	18
4.3. Captura con láser escáner.	22
4.4. Procesos de anastilosis o recreación virtual.	15
5. Formatos y preservación digital.	18
5.1. Metadatos.	22
6. Memoria de los trabajos.	22
7. Fuentes y documentación complementaria.	18
8. Glosario de términos.	22

1. Objeto y alcance.

El objeto de este documento de “Recomendaciones Técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales” es proponer un modelo normalizado para la producción de modelos vectoriales tridimensionales del Patrimonio Cultural en el marco del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

El avance de las Tecnologías de la Información Geográfica, junto a las necesidades de la Sociedad de la Información y del Conocimiento, ha favorecido un salto cuantitativo en la producción y gestión de la información espacial que ha tenido su reflejo en el incremento de calidad de los datos. A este avance se le une el desarrollo y generalización -fundamentalmente debido al abaratamiento y simplificación- de las técnicas de documentación geométrica, que ha hecho posible el incremento de la precisión y la resolución de la información que se puede obtener en los procesos de medición de la geometría y las características físicas de un objeto.

En 2007 se inicia en el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico el proyecto “Metodología de Documentación gráfica tridimensional del Patrimonio Cultural y de su contexto territorial”, que perseguía el desarrollo de una metodología innovadora para la generación de modelos geométricos y visuales tridimensionales de las entidades patrimoniales y su entorno territorial aplicados a diversos escenarios profesionales.

Las técnicas y procesos que se utilizan para obtener modelos geométricos del patrimonio han evolucionado rápidamente en los últimos años. Sin embargo, no se ha avanzado de igual manera en la definición de procesos estandarizados que aseguren la homogeneidad y la interoperatividad de los modelos geométricos. Con estas “Recomendaciones Técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales” se pretende aportar un protocolo mínimo que estandarice el proceso de toma de datos para las principales técnicas existentes actualmente.

Este documento forma parte de una serie denominada “Recomendaciones Técnicas”, que elabora el Centro de Documentación y Estudios del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, en cumplimiento del Art. 3 de la Ley 5/2007 por la que se crea como entidad de derecho público el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, que establece como uno de sus fines “el análisis, estudio, desarrollo y difusión de teorías, métodos y técnicas aplicadas a la tutela del patrimonio histórico y a su protección, conservación, gestión, investigación y difusión”.

2. Documentación del proceso.

Toda iniciativa de documentación debe partir de unos objetivos claros y bien formulados que concreten la finalidad de los trabajos. Dicho propósito es el que determinará los aspectos técnicos específicos que serán requeridos para desarrollar adecuadamente las labores de documentación.

El equilibrio entre la finalidad, las necesidades y las técnicas a utilizar es el único criterio válido para garantizar la viabilidad y la adecuación de los trabajos al proyecto de documentación.

A continuación, se enumeran los objetivos más comunes que justifican el planteamiento de un proceso de documentación geométrica de entidades patrimoniales:

- Documentar la geometría de la entidad patrimonial (forma, dimensiones, contexto espacial y temporal).
- Constituir un testigo del estado de conservación de la entidad patrimonial en un momento dado. Si se llevan a cabo diferentes trabajos de documentación a lo largo del tiempo, es posible tener una serie temporal que facilite el análisis de posibles deterioros, aberraciones y afecciones que estén afectando a la entidad.
- Conformar un soporte estructural que permita a un equipo de documentación, tener una documentación de referencia sobre la que enlazar y contextualizar información temática sectorial sobre el bien.
- Generar cartografía auxiliar de calidad de la entidad patrimonial y su entorno.
- Producir materiales multimedia con objetivos de difusión.

Como norma general, el proceso de actuación recomendado obliga a contemplar una fase inicial de recopilación de toda la información gráfica y documental sobre la entidad para conocer y analizar en profundidad la historiografía, el contexto histórico y las características formales y estructurales de la entidad objeto del proceso de documentación. Esta investigación ayudará a planificar los trabajos y diseñar las estrategias más adecuadas para generar conocimiento científico de calidad como resultado del proyecto.

A la finalización de los trabajos, se debe redactar una memoria resumen que recopile toda la información sobre el resultado de los trabajos así como de los procedimientos seguidos y los principales aspectos que han marcado el desarrollo del proyecto.

3. Técnicas de documentación geométrica.

Existen multitud de procedimientos para la documentación geométrica del patrimonio cultural. No se pretende en este documento hacer un compendio de todas las técnicas existentes, sino únicamente presentar aquellas que son utilizadas de manera más generalizada en la actualidad por las instituciones públicas para la documentación de entidades patrimoniales. Esta selección no determina el uso en exclusiva de estas técnicas en un trabajo de documentación, ni limita su aplicación en combinación con otros procedimientos no recogidos en este documento.

La elección tecnológica para un proyecto de documentación concreto puede estar condicionada por diversos factores entre los que destacan:

- Dimensiones y características geométricas de la entidad
- limitaciones en el acceso a la entidad
- experiencia del equipo de trabajo
- características requeridas del producto final
- disponibilidad de recursos

De manera general, podemos agrupar las técnicas para la documentación geométrica del patrimonio en dos grandes conjuntos: métodos directos e indirectos:

3.1. Los métodos directos

Hacen uso de técnicas de medición de topografía clásica utilizando dispositivos de captura en las que el operador selecciona *in situ* qué documentar. El procedimiento de toma de datos es relativamente rápido y el postproceso mínimo. Se requiere un personal cualificado tanto en los procedimientos generales de toma de datos, como experto en la temática concreta que se esté documentado. Este operador es el que realiza la medición directa, analizando el objeto y extrayendo la información significativa. Los instrumentos de medida más utilizados son: cinta métrica, nivel, distanciómetro láser, GPS o estación total. Generalmente se emplean de manera complementaria a las técnicas indirectas, para generar una infraestructura espacial de referencia que contextualice y ordene la planificación de la documentación por sectores.

3.2. Los métodos indirectos

Permiten tomar una gran cantidad de datos, con un nivel de detalle alto, en muy poco tiempo. Requieren mayor tiempo de postproceso y una planificación previa exhaustiva para optimizar el proceso de trabajo de campo y evitar zonas de oclusión o sombra. Se lleva a cabo utilizando

sensores ópticos y técnicas de medición no invasivas, que se agrupan fundamentalmente en dos bloques: pasivos y activos, en función del tipo de sensor que se utilice.

3.2.1. Sensores ópticos pasivos

Este tipo de sensores obtienen información "en bruto" de la entidad (generalmente con un porcentaje alto de redundancia) que debe ser procesada posteriormente (algoritmos matemáticos / topográficos) para poder obtener los datos geométricos de la entidad. Se hacen uso de técnicas fotogramétricas, que permiten determinar direcciones en el espacio y establecer mediciones precisas -tanto en 2D como en 3D- basándose en el uso de imágenes perspectivas obtenidas por procedimientos fotográficos. Con una única imagen se requiere una medición topográfica en el plano de la toma, que permita determinar las coordenadas espaciales de algún punto de la imagen. Si se utilizan dos o más fotografías con perspectivas diferentes y el solape suficiente (ver punto 5.1), será posible determinar las coordenadas espaciales de todos los puntos comunes entre las tomas. Estas técnicas presentan una serie de ventajas:

- Gran cantidad de información a escala y resolución variable en 2D y 3D (según el número de imágenes)
- Alta precisión métrica en las mediciones con sensores calibrados
- Información sobre la textura (mapa) incorporada de manera automática
- Rentabilidad esfuerzo/tiempo/recursos

En el marco de la obtención de información espacial a través de métodos indirectos con sensores pasivos, se contemplan las siguientes técnicas:

Rectificación fotográfica: En esta técnica se toman fotografías en paralelo al objeto a documentar (que debe ser básicamente plano) y se corrige la deformación de perspectiva que introduce la lente. Es una técnica muy rápida que permite obtener imágenes con relativa calidad métrica para entidades con formas simples y caras en el mismo plano.

Es posible unir mosaicos de imágenes rectificadas para poder documentar zonas amplias, e insertar esa información en otro tipo de soporte (CAD, bases de datos,...).

Fotogrametría a partir de imágenes estereoscópicas: Es una técnica semi-automática que permite la interpretación y el dibujo sobre una representación estereoscópica de la entidad, a través de pares de imágenes. Es necesario calibrar previamente la cámara y orientar los pares estereoscópicos, generalmente mediante dianas sobre la superficie o mediciones directas de la entidad a documentar. Es una técnica que requiere la interpretación de un operador de restitución cualificado, que interpreta y selecciona los elementos más significativos.

Fotogrametría a partir de múltiples imágenes: Esta técnica es la solución fotogramétrica más precisa y versátil para la generación de modelos geométricos 3D con texturas. Se puede utilizar cualquier formato de cámara, y se obtiene una documentación precisa de todo tipo de entidades patrimoniales, sea cual sea su forma y dimensiones. Se orientan las imágenes en bloque, eliminando los problemas derivados de la deformación introducida por la lente, y se aplican algoritmos de detección de geometrías comunes para generar un modelo digital de superficie. Esta técnica presenta ventajas frente a las anteriores:

- Mayor porcentaje de solape y redundancias entre tomas, lo que mejora el control geométrico y la precisión del modelo.
- Al disponer de un mayor número de imágenes con redundancia, se minimiza los errores y se ayuda a su identificación.
- Si se llevan a cabo las tomas con un mínimo control radiométrico, esta técnica facilita la homogeneización de texturas.
- Al poderse utilizar un mayor número de tomas, se reduce el porcentaje de sombras y oclusiones.

Tabla 1: Principales modelos de cámaras digitales terrestres (REMONDINO, 2011)								
Modelo	Formato	Tipo de sensor / resolución	Tamaño del sensor (mm)	Tamaño de píxel (micrometros)	Peso (kg)	RAW	Ratio de imágenes	Velocidad de disparo
Hasselblad H4D-60	Medio Formato DSLR	CCD / 60 Megapx	53,7 x 40,2	6	1,8	16-bit	0,7 fps	1/800
Pentax 645 D	Medio Formato DSLR	CCD / 40 Megapx	44 x 33	6	1,48	14-bit	1,1 fps	1/4000
Mamiya DM33	Medio Formato DSLR	CCD / 33 Megapx	48 x 36	7	1,63	16-bit	1,1 fps	-
Leica M9	Formato completo de 35 mm DSLR	CCD / 18,5 Megapx	23,9 x 35,8	5,9	0,593	14-bit	2 fps	1/4000
Canon EOS-1Ds Mark III	Formato completo de 35mm DSLR	CMOS / 22 Megapx	36 x 24	6,4	1,385	14-bit	5 fps	1/8000
Nikon D3X	Formato completo de 35mm DSLR	CMOS / 24,5 Megapx	35,9 x 24	5,95	1,260	14-bit	5 fps	1/8000
Nikon D700	Formato completo	CMOS / 12,1 Megapx	36 x 23,9	8,45	1,075	14-bit	5 fps	1/8000

	de 35mm DSLR							
Sony α900	Formato completo de 35mm DSLR	CMOS / 24,6 Megapx	35,9 x 24	5,9	0,895	12-bit	5 fps	1/8000
Sony αNEX-5	APS C	CMOS / 14 Megapx	23,5 x 15,7	5,1	0,287	12-bit	2,3 fps	1/4000
Olympus E-PL2	Micro cuatro tercios	Live MOS / 12,3 Megapx	17,3 x 13	4,3	0,317	12-bit	3 fps	1/4000
Panasonic Lumix DMC-GH2	Micro cuatro tercios	Live MOS / 16,1 Megapx	18,9 x 14,5	4,1	0,394	12-bit	5 fps	1/4000

3.2.2. Sensores ópticos activos

Este tipo de sensores, en cambio, obtienen el dato 3D a partir de una medición directa de la superficie a documentar. Pueden utilizarse en un amplio rango de distancias, lo que los convierte en sistemas muy versátiles. Por su tecnología, pueden ser de:

- tiempo de vuelo: Se emiten pulsos láser y se mide el tiempo que tarda la luz en viajar de vuelta (tiempo de vuelo). Ese lapso de tiempo, dada la velocidad constante de la luz, permite calcular la distancia al objeto. Su uso se aconseja para entidades de grandes dimensiones como inmuebles o paisaje.
- desplazamiento de fase: En esta técnica, se emite un haz de luz con una frecuencia de fase conocida, que se deforma en función del tiempo que tarda en rebotar en un objeto. Comparando el desplazamiento de la fase retornada, es posible calcular la distancia a la entidad documentada.
- basados en triangulación. Se emite un haz láser que se impacta sobre la superficie del objeto y se recoge por un sensor CCD que está a una distancia conocida del emisor láser. Entre el punto emisor, el punto receptor y el punto reflejado se forma un triángulo. La triangulación se calcula conocido la distancia entre el emisor y el receptor, y el ángulo de salida del haz láser. Son aconsejables para documentar objetos de dimensiones pequeñas, que puedan ubicarse muy cerca del escáner.

Tabla 2: Técnicas de escaneo láser de utilidad para la documentación del patrimonio [ENGLISH HERITAGE, 2007]				
Sistema de escaneo		Uso recomendado	Precisión en la medición	Ámbito de operación
Basado en triangulación	estación de rotación	Documentación de entidades patrimoniales de pequeñas dimensiones (bienes muebles). Pueden ser usados para obtener una réplica de la entidad.	50 microns	0,1 m - 1 m
	brazo montado	Documentación de entidades patrimoniales de pequeñas dimensiones (bienes muebles), o superficies pequeñas. Pueden ser usados para obtener una réplica de la entidad.	50 microns	0,1 m - 1 m
	espejo / prisma	Documentación de entidades patrimoniales de pequeñas dimensiones (bienes muebles) o superficies pequeñas <i>in situ</i> . Pueden ser usados para obtener una réplica de la entidad.	sub-mm	0,1 m - 25 m
Tiempo de vuelo		Bienes inmuebles de grandes dimensiones y modelos de superficie.	3 - 6 mm	2 m - 100 m
Desplazamiento de fase		Bienes inmuebles de grandes dimensiones y modelos de superficie.	5 mm	2 m - 50 m

Tras un barrido por toda la superficie, se genera directamente una nube de puntos con la geometría 3D de la entidad documentada. Son técnicas muy rápidas en cuanto al proceso de captura, pero posteriormente es necesario invertir tiempo y esfuerzo en el postproceso para obtener limpiar y procesar el modelo de manera que se obtenga el máximo de utilidad para la documentación. Presentan aún algunas limitaciones relacionadas con sus requerimientos en cuanto a infraestructura y su (todavía) elevado precio frente a las técnicas de sensores ópticos pasivos. No son tan versátiles como una cámara, ya que requiere mayor tiempo de escaneo, y tienen problemas para capturar ángulos y esquinas así como con las superficies de ciertos materiales con un alto nivel de brillo como el mármol. En cualquier caso, se están imponiendo como una técnica cada vez más extendida, sobre todo en proyectos de documentación de grandes dimensiones o de geometría compleja.

A continuación se recogen las especificaciones técnicas de los principales sensores láser que existen actualmente en el mercado. En la tabla 3, se describen los escáner láser que se utilizan en la captura de modelos geométricos para objetos cercanos, con rangos de captura que van desde los 10 cms hasta los 2 metros con una exactitud en la precisión del orden de micrómetros.

Tabla 3: Principales escáner láser de objeto cercano [REMONDINO, 2011]							
Modelo	Sistema de medición	Resolución lateral (mm)	Rango (cm)	Exactitud (micrometros)	Cámara	Peso (Kg)	Adquisición
Breuckmann StereoSCAN	Luz estructurada	0,02 - 0,08	6 - 150	5 - 100	2 blanco/negro ó color (1,4 - 5 Megapx)	6	1 s
Breuckmann smartSCAN3D-HE	Luz estructurada	0,01 - 0,8	3 - 150	5 - 120	2 blanco/negro ó color (1,4 - 5 Megapx)	4	1 s
ShapeGrabber	Láser y triangulación	0,02	21, 29, 63, 120	28, 38, 87, 275	1 (1.3 Megapx)	<14	<18K puntos/seg
Gom ATOS III	Luz estructurada	0,01 - 0,6	-	-	2 (8 Megapx)	-	-
Nextengine	Láser y triangulación	-	16 - 45	40 - 100	2 (3 Megapx)	3,2	120 s
Creaform EXAscan	Láser y triangulación	0,05		40	2	1,25	25K puntos/seg
PolhemusFastSCAN	Láser y triangulación	0,5@200mm	>75	130	1 ó 2		40K puntos/seg 500K puntos/seg
Kreon SOLANO	Láser y triangulación		>10	40	1	>0.4	
Artec MHT 3D	Láser y triangulación	0,5	40 - 100	100	1 (1.3 Megapx)	1.6	
Minolta Range7	Láser y triangulación	0,08, 0,14, 0,16, 0,28	54, 97, 109, 194	40	1 (1.3 Megapx)	6,7	-
Vialux	Luz estructurada	0,1	30	40	1	2,3	0,04 s; 7M puntos/seg

Por su parte, en la tabla 4, se hace referencia a los escáner láser de largo alcance que están mejor adaptados para el levantamiento de entidades patrimoniales de mayores dimensiones, así como su contexto espacial cercano. En este caso, el ámbito de operación abarca desde los 20 cms hasta los 1400 metros. Con exactitudes del orden de milímetros, que varían sensiblemente en función de la distancia.

Tabla 4: Principales escáner láser de largo alcance [REMONDINO, 2011]

Modelo	Sistema de medición	Peso (Kg)	Campo de visión máximo	Rango Mínimo/Máximo (m)	Precisión angular	Precisión de rango	Longitud de onda (nanómetros)	Cámara
Leica Scanstation 2	Tiempo-de-vuelo	18,5	270 x 360	0,3 - 300	0,003°	4mm @ 50m	532	integrada (1 Megapx)
Leica C10	Tiempo-de-vuelo	13	270 x 360	0,3 - 300	0,006°	4mm @ 50m	532	integrada (4 Megapx)
Leica HDS6200	Desplazamiento de fase	14	310 x 360	0,4 - 79	0,007°	3mm @ 50m	670	opcional
Riegl VZ-1000	Tiempo-de-vuelo	9,8	100 x 360	2,5 - 1,350	0,0005°	8mm @ 100m	NIR	opcional
Riegl VZ-400	Tiempo-de-vuelo	9,8	100 x 360	1,5 - 350 / 600	0,0005°	5mm @ 100m	NIR	opcional
Optech ILRIS HD-ER	Tiempo-de-vuelo	14	40 x 40 (360 x 360)	3 - 2,000	0,003°	7mm @ 100m	1535	integrado (3,1 Megapx)
Optech ILRIS HD-LR	Tiempo-de-vuelo	14	40 x 40 (360 x 360)	3 - 3,000	0,004°	7mm @ 100m	1064	integrado (3,1 Megapx)
Topcon GLS-1500	Tiempo-de-vuelo	17,6	360 x 70	1 - 330	0,006°	4mm @ 150m	NIR	integrado (2 Megapx)
Maptek I-Site 8800	Tiempo-de-vuelo	14	360 x 80	2,5 - 1,400	0,01°	10 mm	NIR	integrado (70 Megapx)
Trimble GX 3D	Tiempo-de-vuelo	13	360 x 300	>350	-	7mm @ 100m	532	videocámara integrada
Trimble CX	Tiempo-de-vuelo y desplazamiento de fase	12	360 x 300	1 - 80	0,004°	2mm @ 30m	660	integrado
Faro Photon 120	Desplazamiento de fase	14,5	320 x 360	0,6 - 120	-	2mm @ 10m	785	integrado
Faro Focus3D	Desplazamiento de fase	5	305 x 360	0,6 - 20 / 120	-	0,6mm @ 10m; 0,95 mm @ 25m	905	integrado (70 Megapx)
Z+F IMAGER 5006	Desplazamiento de fase	13,2	310 x 360	0,4 - 79	-	0,7mm @ 25m	VIS	opcional
Basis Surphaser 25HSX	Desplazamiento de fase	11	270 x 360	0,2 - 70	0,01°	1mm @ 15m	690	opcional

4. Especificaciones estandarizadas de los trabajos.

La definición de especificaciones estándar para establecer unos mínimos de calidad en los trabajos de documentación geométrica del patrimonio cultural es una labor ineludible en un documento de recomendaciones técnicas y necesaria dada la gran diversidad de técnicas existentes y la rápida evolución de los instrumentos de medición, los procesos y flujos de trabajo asociados a ellos. sin embargo, no está exenta de dificultades. Sobre todo en lo que se refiere a su adecuación a objetivos particulares fuera del ámbito de aplicación de este documento. , una recomendación que pretende orientar y ayudar a tomar decisiones en el marco de un proyecto de documentación. y su caducidad

4.1. Escala, precisión y exactitud

La elección de la **escala** de trabajo y representación de los datos del levantamiento es fundamental en todo proyecto de documentación. En este documento se hace referencia a las escalas más utilizadas en la documentación de entidades patrimoniales. Es importante definir y justificar adecuadamente la elección de la escala o escalas a la hora de plantear el proyecto puesto que en base a ella se realizará el encargo de los trabajos y se determinarán los resultados obtenidos.

La **exactitud** se refiere a la relación existente entre las medidas que se desprenden de los datos del modelo (levantamiento) y su valor en la realidad.

La **precisión** puede hacer referencia tanto a la calidad métrica de un instrumento de medida, como a la consistencia en el margen de error en el valor de una misma medida tomada en diferentes momentos (repetición).

La precisión admitida en función de la escala va determinada por el estándar de visualización del ojo humano (0,2mm) y el margen de tolerancia definida para cada escala concreta. En el caso de las escalas de documentación geométrica de entidades patrimoniales, se propone la siguiente tabla:

Tabla 5: Tolerancia aceptable en la precisión			
Escala de trabajo	Precisión máxima (+/- mm)	Margen de tolerancia ¹ (número de veces la precisión máxima para esa escala)	Precisión Recomendada (+/- mm)
1:5	1	2,5	2,5
1:10	2	2,5	5
1:20	4	1,5	6
1:50	10	1,5	15
1:100	20	1,5	30
1:200	40	1,5	60
1:500	100	1,5	150

4.2. Captura de imágenes para fotogrametría:

A continuación se detallan las recomendaciones a tener en cuenta en la captura de imágenes para su uso en técnicas fotogramétricas:

- Recomendado al menos 12 Megapíxeles de resolución
- Tamaño de píxel en la realidad ó GSD (*Ground Sample Distance*) menor o igual² a 0,05mm en una escala 1:1. Si extrapolamos a las escalas más utilizadas en documentación geométrica del patrimonio:

Tabla 6: GSD en función de la escala	
Escala de trabajo	Tamaño de píxel máximo (mm)
1:5	0,25
1:10	0,5
1:20	1
1:50	2
1:100	4

- La escala de trabajo no debe ser mayor de 10 veces la escala del negativo. La escala del negativo consiste en la relación entre la focal del objetivo y la distancia entre la cámara y la entidad a documentar.

¹ Tolerancia calculada en función del número de veces por el que se multiplica la precisión máxima (estándar de visualización del ojo humano) en relación a cada escala determinada.

² Se recomienda el valor propuesto para mejorar los resultados y no perder exactitud al aplicar los procesos geométricos de corrección y restitución de las imágenes.

- Uso de objetivo fijo calibrado (precisión focal de 0.01mm), se aconseja el uso de angular o gran angular (ya que así se disponen de ángulos paralácticos mayores) obteniendo una relación base altura superior, lo que facilita el solape.

Para fotogrametría estereoscópica

- El ratio base-altura (cámara-objetivo³) no debe ser inferior o igual a 1:3, ni mayor de 1:10. Valores recomendados: 1:4 / 1:5.
- 60% de solape mínimo entre imágenes adyacentes
- Continuidad de la escala entre imágenes adyacentes, manteniendo tanto la focal, como la distancia al objeto fotografiado durante el proceso de toma.
- Si hubiera inclinación de la cámara arriba-abajo o derecha-izquierda, debe ser igual en todas las tomas. Lo ideal es que el plano del sensor de la cámara y el plano de la entidad a documentar sean paralelos.

Para rectificación fotográfica:

- Las fotografías que se utilicen deben tener claramente identificados las dianas o puntos de control utilizados para la rectificación.
- Se recomienda que el eje óptico de la cámara sea lo más perpendicular posible al plano de la superficie a rectificar.

Según el objetivo que se utilice para llevar a cabo la documentación, y la distancia establecida a la entidad, se tendrá un campo visual. Se recomienda planificar la captura de imágenes en base a estos datos, utilizando un croquis planimétrico de la entidad a documentar y una plantilla en papel transparente con el ángulo visual del objetivo. De esta forma es posible identificar cuántas tomas serán necesarias en base al solape requerido, los obstáculos y la posición más adecuada de cada una de ellas [ALMAGRO, 2004]

4.3. Captura con láser escáner

Como metodología base se usa el escaneo tridimensional láser para la obtención de la nube de puntos con una resolución mínima entre 2 y 5 milímetros entre puntos, según los diferentes sectores definidos en el proyecto de documentación y las escalas de trabajo requeridas (Ver tabla 7).

Debe llevarse a cabo una planificación adecuada de la toma de datos que garantice tanto la inexistencia de oclusiones o zonas de sombra, como la obtención de la resolución necesaria para las zonas que así lo requieran.

³ Es el ratio de la distancia entre la posición de cámara en dos tomas y la distancia al objeto fotografiado.

Al mismo tiempo, se deben realizar los procedimientos topográficos necesarios para permitir enlazar posteriormente el sistema de coordenadas relativo utilizado en la captura, a un sistema de referencia global basado en coordenadas UTM, permitiendo establecer una correspondencia entre los datos obtenidos en el exterior y el interior de la entidad documentada.

Tabla 7: Especificaciones básicas del escaneo láser en función de la escala [ENGLISH HERITAGE, 2007]			
Escala de trabajo	Densidad de puntos (mm)	Ratio de captura	Precisión en la medida
1:10	1	2 - 30 mm (máx 0,5 m)	+/- 1 mm
1:20	3	5 - 60 mm (máx 1 m)	+/- 3 mm
1:50	5	10 - 100 mm (máx 2 m)	+/- 5 mm
1:100	15	20 - 200 mm (máx 3 m)	+/- 15 mm
1:200	30	50 - 600 mm (máx 5 m)	+/- 30 mm
1:500	75	0,1 - 1,5 mm (máx 10 mm)	+/- 75 mm

Una vez finalizada la toma de datos se procederá al filtrado y limpieza de la nube de puntos para eliminar redundancias y elementos no deseados. Posteriormente debe llevarse a cabo la optimización de la nube de puntos mediante la generación de un modelo de mallas o superficies triangulares simplificado que permita la representación de los detalles que se especifican en el proyecto de documentación. Es recomendable dividir en secciones tanto la nube de puntos como el modelo de mallas vectorial, con el objetivo de facilitar su manejo.

4.4. Procesos de anastilosis o recreación virtual

En el marco de un proyecto de documentación geométrica, pueden utilizarse técnicas infográficas destinadas a recrear virtualmente la entidad patrimonial con un doble objetivo:

- ayudar a plantear/contrastar hipótesis de trabajo, facilitando la toma de decisiones y la reflexión científica
- desarrollar productos de difusión que faciliten la transmisión del conocimiento histórico generado a la sociedad

Aunque este tipo de técnicas de representación son cada vez más demandadas y necesarias tanto en ámbitos científicos como por la sociedad en general, su uso debe estar cautelado y controlado por los agentes de la investigación histórica (arqueológica y arquitectónica), que tienen la responsabilidad de aportar el rigor científico y la obligación de establecer los niveles de incertidumbre que justifique y contextualice la hipótesis adoptada garantizando el compromiso ético/científico con la entidad patrimonial.

5. Formatos y preservación digital.

Como norma general, los formatos brutos (*raw*) de los dispositivos de captura son los que mantienen y almacenan más datos sobre el proceso de documentación. Sin embargo, tienen una limitación importante relacionada con su interoperatividad: en la mayoría de los casos se trata de formatos propietarios que no son universales y que cambian entre los diferentes fabricantes de dispositivos de captura. En concreto, este problema es más acentuado en lo que se refiere a los archivos generados por los escáneres láser.

La solución recomendada consiste en migrar a un formato más estándar, pero a veces supone perder parte de la información almacenada a cambio de ganar interoperatividad. En cualquier caso, se recomienda almacenar el resultado de los procesos de documentación que se obtienen en las distintas fases del proyecto, y llevar un registro o histórico de los procesos que se han llevado a cabo sobre los diferentes formatos. Sobre el proceso de preservación digital, consúltese el documento de Recomendaciones Técnicas 08: "Preservación Digital" de esta serie, elaborado por el Centro de Documentación y Estudios del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Modelo de nube de puntos (formato nativo del escáner, ASCII y DXF)

- Nube de puntos en bruto.
- Nube de puntos filtrada, orientada y optimizada de la entidad.
- Nube de puntos filtrada, orientada y optimizada para cada sector detallado en el proyecto de documentación.

Modelo 3D (3DS)

- Modelo de superficies triangulares optimizado de la entidad.
- Modelo de superficies triangulares optimizado para cada sector detallado en el proyecto de documentación.
- Modelo con texturas ortofotográficas corregidas de la entidad.
- Modelo con texturas fotorrealistas para cada sector detallado en el proyecto de documentación.

Planimetría (DWG y PDF)

- Los planos relacionados en el proyecto de documentación.

Ortofotografías (MRSID y TIFF)

- Las ortofotografías digitales de alta resolución, relacionadas en el proyecto de documentación.

5.1. Metadatos

Las imágenes utilizadas en el proceso de documentación deberán disponer de sus correspondientes metadatos EXIF e IPTC conforme al documento de Recomendaciones Técnicas 03: "Recomendaciones técnicas para la metadatatión de imágenes digitales" de esta serie, elaborado por el Centro de Documentación y Estudios del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

En cuanto a los archivos procedentes de escaneados láser, dado que no existe actualmente un estándar aceptado globalmente para la incorporación de metadatos, se propone el siguiente conjunto de metadatos mínimo:

- Nombre de archivo.
- Fecha de captura.
- Formato. (Recomendado tipos MIME o alguna lista de términos controlados)
- Sistema de escaneado utilizado.
- Datos de contacto de la empresa que realiza el levantamiento.
- Denominación de la entidad documentada.
- Codificación (si existe) en el sistema de información de aplicación (Ej. MOSAICO).
- Identificación del proyecto/trabajo de documentación, con indicación de la fase y el número específico de escaneado en relación al total de la serie.
- Número total de puntos capturados.
- Densidad de puntos del escaneado (rango de referencia).
- Referencia a las condiciones meteorológicas durante el proceso de escaneado (si se ha realizado en exteriores).

6. Memoria de los trabajos.

Cualquier proceso de documentación geométrica de entidades patrimoniales debe finalizarse con una memoria de los trabajos de documentación que deje constancia de los procedimientos seguidos, las características técnicas del producto obtenido, los objetivos cumplidos y las estrategias que se han seguido. Ello dará continuidad a los proyectos, en caso de que cambien los equipos que lo desarrollan, y servirá de apoyo para futuros replanteos de los trabajos realizados.

7. Fuentes⁴ y documentación complementaria.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO, A. (1996) "La fotogrametría en la documentación del Patrimonio Histórico" en MARTÍN, M. y RODRÍGUEZ BARBERÁN, J. (Coords.): Cuadernos Técnicos PH. Técnicas de Diagnóstico aplicadas a la Conservación de los Materiales de Construcción en los Edificios Históricos. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Sevilla, 1996. Págs. 95-109. <<http://www.iaph.es/web/canales/publicaciones/cuadernos/cuadernos-ph/contenido/CuadernosTecnicos/Cuadernoll>>
- ALMAGRO, A. (1999) "Photogrammetry for everybody" en *XVII CIPA International Symposium on Architectural Photogrammetry*, Recife (Brasil). Octubre, 1999. <<http://digital.csic.es/handle/10261/19824>>
- ALMAGRO, A. (2002) "Simple Photogrammetry. Easy and Fast" en *XVIII International Symposium of CIPA*, Postdam, September 18-21, 2001. Págs. 32-38. Berlín. <<http://digital.csic.es/handle/10261/19819>>
- ALMAGRO, A. (2003): "De la fotogrametría a la infografía. Un proceso informatizado de documentación" en GARCÍA PORRAS, A. (Ed.) *Informática y Arqueología medieval*: 47-81. Granada: Universidad de Granada. <<http://digital.csic.es/handle/10261/19816>>
- ALMAGRO, A. (2004): *Levantamiento Arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada. <<http://digital.csic.es/handle/10261/19802>>
- ALMAGRO, A. (2008): "La puerta califal del castillo de Gormaz" en *Arqueología de la Arquitectura*, 5, enero-diciembre 2008, Págs. 55-77. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/13076/1/Gormaz_ArqArqt.pdf>
- ALMAGRO, A. y ALMAGRO-VIDAL, A. (2007): "Traditional Drawings versus New Representation Techniques", en *CIPA 2007 XXI International Symposium, Atenas (Grecia), Anticipating the Future of the Cultural Past*, Athens 2007, Págs. 52-57. <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP011.pdf>>
- ALMAGRO, A.; NAVARRO PALAZÓN, J.; ORIHUELA, A. (2008) "Metodología en la conservación del patrimonio arquitectónico medieval" en SÁIZ-JIMÉNEZ, C. Y ROGERIO CANDELERA, M.A. (Eds.) *La investigación sobre patrimonio cultural*. 9ª Reunión de la Red Temática del CSIC de Patrimonio

⁴ Todas las url han sido consultadas y comprobadas con fecha 21/11/2011 a menos que se indique lo contrario

- Histórico y Cultural. Sevilla. Págs. 87-98 (texto) y 262-264 (láminas). <<http://digital.csic.es/handle/10261/14047>>
- ALMAGRO, A. (2011): "Veintidos años de experiencia de fotogrametría arquitectónica en la Escuela de Estudios Árabes, CSIC" en *Documentación gráfica del patrimonio*, Ministerio de Cultura, Págs: 26-45.
 - ANDREWS, D.; BEDFORD, J.; BLAKE, B.; BRYAN, P.; CROMWELL, T.; LEA, R. (2009) *Measured and Drawn: Techniques and practice for the metric survey of historic buildings*. 2ª Ed. English Heritage. Swindon (England). <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/measured-and-drawn/>>
 - BARBER, D.; MILLS, J.; BRYAN, P. (2003): "Towards a standard specification for the terrestrial laser scanning of cultural heritage" en *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34(5/C15). Págs: 619-624. <<http://cipa.icomos.org/text%20files/antalya/171.pdf>>
 - BARBER, D.; MILLS, J.; BRYAN, P. (2004): "Towards a standard specification for the terrestrial laser scanning of cultural heritage - One Year on" en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35 (B7). Págs: 966-971. <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm5/papers/187.pdf>>
 - BARRERA VERA, J.A. (2006): *Aplicación de tecnologías innovadoras en la documentación geométrica del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
 - BERALDIN J.A.; PICARD, M.; EL-HAKIM, S.; GODIN, G. (2005) "Virtual Reconstruction og Heritage Sites: Opportunities and Challenges Created by 3D Technologies" en *The International Workshop on Recording, modelling and Visualization of Cultural Heritage*. Ascona, Switzerland. <<http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=shwart&index=an&req=5764473&lang=en>>
 - BIANCHINI, M. (2008): *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*. Ed. Aracne. Roma, Italia.
 - BOEYKENS, S.; BOGANI, E. (2008): "Metadata for 3D Models. How to search in 3D Model repositories?" en *ICERI Proceidings 2008*. Ed. International Association Technology Education and Development. Valencia. <<https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/202356/1/boeykens-bogani.pdf>>
 - BRYAN, P.; BLAKE, B.; BEDFORD, J. (2009): *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage*. 2ª Ed. English Heritage. Swindon (England). <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-survey-specification/>>
 - BRYER, A. (2003): *Technologies pour le levé de monuments historiques: la photogrammétrie digitale comparée au laser scanner 3D. Levé de l'Arc d'Auguste à Aoste en Italie*. Tesis doctoral. Conservatoire National des Arts et Métiers. París, 2003. <http://www.esgt.cnam.fr/documents/dpe/memoires/03_Bryer_mem.pdf>
 - CARTA DE CRACOVIA (2000) "Principios para la Conservación y Restauración del Patrimonio Construido" <<http://www.mcu.es/museos/docs/CartaDeCracovia.pdf>>
 - CIPA (1981): *Advice and Suggestions for the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys*, UNESCO. <<http://unesdoc.unesco.org/images/0004/000481/048147Mb.pdf>>
 - DOCCI, M. (2002): "Nuevas fronteras del levantamiento arquitectónico. Los escáner láser 3D" en *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, nº 7. Págs: 575-852. Valencia, 2002.
 - EPOCH (2002):
 - EL-HAKIM, S. (2000): "A practical approach to creating precise and detailed 3D models from single and multiple views" en *Proceedings of the XIX ISPRS Congress*, Vol. XXXIII. Págs: 202-210. Amsterdam. <http://students.cs.byu.edu/~cs470ta/articles/el-hakim_290.pdf>

- EL-HAKIM, S.; BERARDIN, J.A. (2002): "Detailed 3D reconstruction of monuments using multiple techniques" en The International Workshop on Scanning for Cultural Heritage - Complementing or Replacing Photogrammetry. Corfú, Grecia. Págs: 58-64. <<http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=shwart&index=an&req=8913894&lang=en>>
- EL-HAKIM, S. (2006): "A Sequential Approach to Capture Fine Geometric Details from Images" en *Proceedings of ISPRS Commission V Symposium - Image Engineering and Vision Metrology*, September 25-27, 2006., Volume XXXVI, Part 5. <<http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=shwart&index=an&req=5764790&lang=en>>
- ENGLISH HERITAGE (2006): *Understanding Historic Buildings. A guide to good recording practice*. English Heritage. Swindon, England. <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/understanding-historic-buildings/>>
- ENGLISH HERITAGE (2007a): *Understanding the Archaeology of Landscapes. A guide to good recording practice*. English Heritage. Swindon, England. <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/understanding-archaeology-of-landscapes/>>
- ENGLISH HERITAGE (2007b): *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. English Heritage. Swindon, England. <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-for-heritage/>>
- ENGLISH HERITAGE (2010): *The Light Fantastic. Using airborne lidar in archaeology survey*. English Heritage. Swindon, England. <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/>>
- LERMA, J. L.; CABRELLES, M.; NAVARRO, S.; SEGUÍ, A.E. (2011a). "Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de alzados de edificios singulares" PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, nº 77. Págs: 127-129.
- LERMA, J. L.; CABRELLES, M.; NAVARRO, S.; SEGUÍ, A.E. (2011b). "La documentación patrimonial mediante sensores de imagen o de barrido láser" en *Documentación gráfica del patrimonio*, Ministerio de Cultura, Págs: 108-117.
- LERMA, J. L.; NAVARRO, S.; CABRELLES, M.; SEGUÍ, A.E.; HADDAD, N.; AKASHEH, T. (2011c): "Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation" en CHAU-CHANG WANG (Ed.) *Laser Scanning, Theory and Applications*. Ed. InTech. Págs: 414-430. <<http://www.intechopen.com/articles/show/title/integration-of-laser-scanning-and-imagery-for-photorealistic-3d-architectural-documentation>>
- LERMA, J.L.; NAVARRO, S.; CABRELLES, M.; VILLAVARDE, V. (2010): "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Paleolithic Cave of Parpalló as a case study" en *Journal of Archaeological Science*, nº 37. Págs: 499-507.
- LETELLIER, R. (2007): *Recording, Documentation and Information management for the Conservation of Heritage Places: Guiding principles*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. <http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/recordim.html>
- REMONDINO, F. (2011): "Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning" en *Remote Sensing - Open Access Journal* del Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), nº 3. Págs: 1104-1138 <<http://www.mdpi.com/2072-4292/3/6/1104/>>
- SANSONI, G.; TREBESCHI, M.; DOCCHIO, F. (2009): "State-Of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation" en *Sensors*, nº 9. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Págs: 568-601. <<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/1/568/>>

- VALLE MELÓN, J.M. (2006): "Reflexiones sobre la Documentación Geométrica del Patrimonio" en *Papeles del Partal. Revista de Restauración Monumental*. ALPRM. Barcelona. <http://www.academiadelpartal.org/revista/revista_03/n3_8.pdf>
- VALLE MELÓN, J.M. (2007): *Documentación Geométrica del Patrimonio: propuesta conceptual y metodológica*. Tesis doctoral. Universidad de la Rioja. <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=18561>>
-

SITIOS WEB DE REFERENCIA

- <http://aist.cas.usf.edu/>
- <http://cipa.icomos.org/>
- <http://gifle.webs.upv.es/>
- <http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/>
- <http://www.aimatshape.net/>
- <http://www.citygml.org/>
- <http://www.digicult.info/pages/index.php>
- <http://www.eea.csic.es/>
- <http://www.english-heritage.org.uk/professional/research/heritage-science/specialist-survey-techniques/>
- <http://www.english-heritage.org.uk/professional/research/landscapes-and-areas/aerial-survey/>
- <http://www.ehu.es/docarq/>
- <http://www.epoch-net.org/>
- <http://www.heritage3d.org>
- http://www.itabc.cnr.it/f_tutto.htm
- <http://www.laarch.unisi.it/>
- http://www.map.archi.fr/accueil_presentation-v09.php
- <http://www.personal.us.es/barrera/>
- <http://www.stonehengelaserscan.org/>
- <http://www.unicaen.fr/cireve/rome/index.php>
- <http://www.upv.es/cgf/>
- <http://www.upv.es/irp/>
- <http://www.web3d.org/realtime-3d/>
- <http://www3.usal.es/~imap3d/>
- <http://www3.uva.es/davap/>

8. Glosario de términos.

- **3D:** Hace referencia a las tres dimensiones cartesianas (X,Y,Z).
- **Aberración:** Distorsiones generadas por la óptica (objetivo) al capturar la imagen, entre la realidad y lo que se recoge en el sensor.
- **AF (Autofocus):** Función de enfoque automático en dispositivos de captura de imágenes.
- **CAD:** (*Computer Aided Design*) Diseño asistido por ordenador.
- **CCD:** (*Charge-Coupled Device*) Chip sensible a la luz recibida. Es un sensor compuesto de millones de celdas fotosensibles con filtros RGB que traducen en bits la información que reciben de la luz recibida.
- **CMM:** (*Coordinate Measuring Machine*) Dispositivo medidor de coordenadas.
- **CIPA:** (*International Committee for Architectural Photogrammetry*) Comité Internacional para Fotogrametría Arquitectónica.
- **DEM:** (*Digital Elevation Model*) Modelo Digital de Elevaciones.
- **Dianas:** Ver puntos de control.
- **DSM:** (*Digital Surface Model*) Modelo Digital de Superficies. A diferencia del Modelo Digital de Elevaciones (DEM), incluye la superficie del terreno con edificios y vegetación.
- **DTM:** (*Digital Terrain Model*) Modelo Digital del Terreno.
- **Escáner 3D:** Dispositivo que permite obtener y registrar las coordenadas tridimensionales de una superficie de manera muy precisa, densa y sin necesidad de contacto.
- **Exactitud geométrica:** La relación entre el resultado de una medida y su valor en la realidad.
- **GPS** (*Global Positioning System*): Sistema de posicionamiento global o NAVSTAR-GPS desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
- **Láser:** (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) Amplificación de la luz mediante la emisión radiación inducida. Un láser, o pulso láser, es un haz de luz colimado, monocromático y coherente.
- **Nube de puntos:** (*Point cloud*) Conjunto de puntos cuyas coordenadas espaciales XYZ son conocidas y han sido obtenidos a través de procesos de toma de datos masivos.
- **Precisión geométrica:** La variación de una serie de medidas sobre su valor medio (desviación estándar).
- **Puntos de control:** Puntos de apoyo para el control de mediciones topográficas en procesos de restitución, orientación o rectificación de imágenes o nubes de puntos.

- **Tiempo de vuelo:** (*Time of fly*) Se refiere al intervalo de tiempo que transcurre entre la emisión y la recepción de una señal emitida por un instrumento de cálculo de distancia para la obtención de la geometría de una superficie.
- **UTM** (*Universal Transverse Mercator*): Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator (tangente a un meridiano, en lugar de al Ecuador). Su unidad de medida es en metros al nivel del mar, en lugar de latitud y longitud.
- **Wireframe:** Modelo de visualización alámbrico que construye la geometría 3D mediante la representación de las aristas de los polígonos que conforman la superficie.