

GUÍA SOBRE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y ESTÁNDARES PARA EL LEVANTAMIENTO GRÁFICO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

(Documento de trabajo, versión 2.0, noviembre 2024)

Proyecto de I+D+i ref. PID2020-119469RB-I00
Ministerio de Ciencia e Innovación / Agencia Estatal de Investigación /
10.13039/501100011033.

Pablo Rodríguez-Navarro / Teresa Gil-Piqueras
Investigadores responsables

Prefacio

Esta guía es fruto del material desarrollado a lo largo del proyecto LEVANTAMIENTO GRÁFICO INTEGRAL 3D DEL PATRIMONIO: OPTIMIZACIÓN DE FLUJOS DE TRABAJO Y PROPUESTA DE ESTÁNDARES (3D4HERITAGE), PID2020-119469RB-I00, financiado por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 de la Agencia Estatal de Investigación / 10.13039/501100011033.

A lo largo de la redacción de la base de datos bibliográfica realizada en el proyecto, y disponible en la web https://levarq.blogs.upv.es/?page_id=4833, detectamos que, fruto del rápido avance de la tecnología y del desarrollo de las diversas técnicas de levantamiento, en ocasiones hay cierta confusión en el uso de los términos. En la actualidad, no podemos obviar que el vocabulario empleado en los levantamientos gráficos arquitectónicos requiere de conocimientos relacionados con los métodos de levantamiento, los sistemas de medición, los instrumentos de toma de datos, la imagen fotográfica, las técnicas de levantamiento y los resultados obtenidos. Por tanto, el contenido de este documento se ha desarrollado en base a la consulta de fuentes bibliográficas, a la investigación científica y a la propia experiencia obtenida en el proceso de toma de datos y elaboración gráfica desarrollada en los múltiples casos de estudio afrontados en este proyecto.

A lo largo de la guía se ha recopilado información sobre los métodos de levantamiento, los sistemas de medición, los instrumentos de toma de datos, la imagen fotográfica, las técnicas de levantamiento y los resultados que hoy en día se pueden obtener, en función del uso deseado. También se incluyen algunos estándares empleados a lo largo de nuestros levantamientos. El objetivo es proporcionar una comprensión clara y precisa de algunos términos, con el objeto de estandarizar el lenguaje y asegurar que todos los profesionales y académicos que trabajan en este ámbito puedan comunicarse de manera efectiva y precisa.

Esta guía es un documento vivo que irá avanzando a medida que se obtengan más resultados.

Índice

0. Introducción

1. Conceptos Generales

- Estándar
- Estandarización
- Resolución
- Exactitud
- Precisión
- Tolerancia

2. Métodos de Levantamiento

- 2.1 Métodos Directos
- 2.2 Métodos Indirectos
 - Sensores activos
 - Sensores pasivos

3. Técnicas de levantamiento

3.1 Escáner Láser 3D

- 1. Tipos de escáneres
 - Escáneres Láser de Tiempo de vuelo (Time-of-Flight)
 - Escáneres Láser de Variación de fase (Phase-Shift)
 - Escáneres Láser de Triangulación
- 2. Conceptos relacionados con el proceso de escaneado, procesado y sus resultados
 - Nube de puntos
 - Limpieza de nube de puntos
 - Ruido
 - Filtrado
 - Registro
 - Segmentación semántica
 - Meshing o superficiado
 - Retopología
 - Texturizado
 - Renderizado
 - Vectorización
 - Gamificación

3.2 Fotogrametría

- 1. - Fotogrametría SFM – Fotogrametría multi-imagen (Structure from Motion)
- 2. Sobre la imagen digital
 - Distancia focal
 - Calidad de la imagen
 - Distorsión
 - FOV- Campo de visión
- 3. Sobre la imagen digital
 - Calibración
 - Puntos morfológicos / puntos de control (GCP)
 - GDS
- 4. Resultados
 - Imagen ráster
 - Imagen vectorial
 - Imagen HDR
 - Imágenes multiespectrales
 - Fotomontaje

- Fotomosaicos
 - Ortoimagen
 - Ortofotografía
 - Ortomosaico
5. Drones
- UAV - Vehículo aéreo no tripulado (unmanned aerial vehicle). Vuelo programado
 - RPAS- Pilotado a distancia

4. Resultados gráficos

Escala

AR- Realidad aumentada

5. Especificaciones técnicas del levantamiento

0. Introducción

En el campo de la arquitectura y la edificación, el avance de la tecnología ha transformado significativamente la manera en la que se llevan a cabo los levantamientos gráficos arquitectónicos. Hoy en día, la documentación del patrimonio requiere el uso de una variedad de técnicas y herramientas que permiten la captura precisa y detallada de las características físicas y espaciales de nuestro patrimonio.

El uso de las técnicas avanzadas de levantamiento está implementado en múltiples campos. Algunas de las principales áreas de aplicación son las siguientes:

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

Planificar la conservación: Desarrollo de estrategias para la preservación a largo plazo.
Evaluar el estado actual: Diagnóstico preciso del estado de conservación de los elementos.
Prevenir daños futuros: Implementación de medidas para evitar deterioros.
Establecer criterios fiables de actuación: Definición de estándares y procedimientos de intervención.

REHABILITACIÓN

Documentación y diagnóstico: Registro detallado de las condiciones actuales y análisis de necesidades.
Planificación de intervenciones: Diseño de planes de acción basados en datos precisos.
Monitoreo de cambios: Seguimiento de las modificaciones durante y después de las intervenciones.
Conservación de elementos históricos: Preservación de componentes significativos del patrimonio.

GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN

Ayudar a la toma de decisiones: Proporcionar datos para decisiones avaladas.
Modelos 3D, aproximación al usuario: Creación de representaciones tridimensionales para facilitar la comprensión.
Análisis para la planificación: Evaluación de escenarios y estrategias de desarrollo.
Protección del bien: Implementación de medidas para salvaguardar activos valiosos.
Integración urbana y territorial: Incorporación de elementos patrimoniales en el entorno urbano y regional.

CONTROL DE OBRAS

Monitoreo del progreso de las obras: Seguimiento detallado del avance de los trabajos.
Detección de desviaciones en el diseño: Identificación y corrección de discrepancias en tiempo real.
Ayuda a mantenimiento de las instalaciones: Facilitar la gestión y el mantenimiento continuo de las infraestructuras.

INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN

Contexto científico: Apoyo a estudios y análisis rigurosos.
Documentación de datos para el avance en el conocimiento: Captura y registro de información para futuras investigaciones.
Modelado y simulación: Creación de modelos virtuales para experimentación y pruebas.
Difusión y avance en el conocimiento: Compartir descubrimientos y fomentar el aprendizaje.
Investigación arquitectónica y arqueológica: Exploración y documentación de hallazgos históricos y arquitectónicos.
Aprendizaje interactivo y experiencias inmersivas: Utilización de tecnologías avanzadas para la educación y la divulgación.

1. Conceptos Generales

ESTÁNDAR

Elemento que sirve como modelo o punto de referencia para la creación de elementos iguales a este.

ESTANDARIZACIÓN

Es el proceso cuyas características principales de un elemento se adaptan o ajustan a las de un modelo estándar ya definido.

En arquitectura, este proceso se realiza con el objetivo de incrementar la velocidad y, por tanto, productividad en la edificación.

RESOLUCIÓN

1. Resolución de imagen. Número de píxeles asignados a cada pulgada en una imagen. Se mide en píxeles por pulgada (ppp). A mayor número de píxeles por pulgada, mayor resolución y, por tanto, mejor calidad de impresión de la imagen.

En el mundo digital, la resolución de imagen afecta a la claridad y definición visual en pantallas y dispositivos. Por ejemplo, una imagen con una resolución de 300 ppp se considera de alta calidad para la impresión, mientras que una resolución de 72 ppp suele ser suficiente para visualización en pantallas.

2. Resolución de la cámara. Cantidad de píxeles que un sensor de cámara puede captar. Se mide en megapíxeles (MP), donde un MP equivale a un millón de píxeles.

Existen otros datos importantes en relación a la resolución de la cámara que también hay que tener en cuenta, como:

- Tamaño del Archivo. Generalmente, una mayor cantidad de megapíxeles significa una imagen con más detalles y una capacidad mayor para ampliar o recortar la imagen sin perder calidad. Por otro lado, una mayor resolución también significa archivos de mayor tamaño, lo cual puede requerir más espacio de almacenamiento y mayor capacidad de procesamiento.

- Calidad de la Imagen. En ella intervienen otros factores como la calidad del lente, el tamaño del sensor y el procesamiento de la imagen.

3. Resolución del láser. La resolución del escáner se mide en varios factores, en función del contexto en el que se utilice el término.

- Distancia de Separación entre Puntos. Se refiere a la distancia de separación entre dos puntos consecutivos capturados por el escáner, medida en modo radial. Los fabricantes la proporcionan a una distancia estándar de 10 m de separación entre el escáner y la superficie escaneada. Se expresa en número de puntos por unidad de superficie y en Europa se mide en mm.

- Puntos por Unidad de Superficie. En algunos casos, la resolución también se expresa como el número de puntos por unidad de superficie (por ejemplo, puntos por metro cuadrado), que proporciona una medida de la densidad de datos capturados en un área determinada.

- Resolución Angular. La resolución angular describe la precisión con que el escáner puede medir ángulos, especialmente útil para escáneres que capturan datos en un campo de visión amplio. Con ángulos muy agudos el haz láser puede no reflejarse bien, por lo que la precisión del escáner es menor.

- Otros factores que intervienen en la resolución:

A mayor resolución: mayor peso de los archivos, mayor densidad de puntos, mayor grado de detalle, y mayor tiempo en la toma de datos.

La resolución puede variar según la distancia entre el escáner y el objeto. Más cerca, con mismo ángulo de incidencia, significa mayor resolución.

EXACTITUD

Relación entre las medidas obtenidas del objeto y su medida real. Cuanta más proximidad haya entre la medición del dato sobre el modelo y su medida real, más exacto será el modelo. La manera de mejorar la exactitud o fidelidad es la repetición.

PRECISIÓN

En términos relacionados con los instrumentos de medición, la precisión es la calidad métrica que se puede obtener con dicho instrumento. En el caso de los levantamientos gráficos, la precisión también equivale a la similitud entre la copia digital y el modelo real. Los fabricantes de instrumentos garantizan una precisión determinada mediante la calibración de sus equipos.

El profesor A. Almagro Gorbea distingue dos conceptos de precisión en su libro “Levantamiento arquitectónico”. La primera es la precisión absoluta, la cual “nos daría el error máximo con que representamos un punto respecto a su posición real en el espacio” y la segunda es la precisión relativa que “define el error con que ese punto se ha dibujado en relación a otros próximos en su entorno.”

TOLERANCIA

Máximo error o inexactitud que se tolera o permite al comparar el valor nominal y el valor real de las dimensiones que constituyen un elemento.

2. Métodos de Levantamiento

2.1 MÉTODOS DIRECTOS

Se entiende como levantamientos directos aquellos que hacen uso de técnicas de medición clásicas, aportando datos directos que no precisan de una elaboración posterior. Ejemplos de instrumentos de medición directa son la cinta métrica, la plomada o el nivel. También se incluyen en este método equipos más avanzados como son el distanciómetro láser o el nivel topográfico. El uso de estos dispositivos, en general no requieren de una planificación previa, sino que el operador determina *in situ* la información a documentar.

En estos casos, para alcanzar la precisión en la medición, conviene recurrir al empleo de metodologías de tomas de datos como la triangulación o la medición por coordenadas o abscisas.

2.2 MÉTODOS INDIRECTOS

Este método de toma de datos requiere un procesado para obtener la información deseada. Su uso nos permite obtener un alto nivel de detalle, a la vez que capturar una gran cantidad de datos en poco tiempo. Sin embargo, requieren de una planificación previa para optimizar el tiempo de recogida de datos y evitar zonas con poca información que puedan afectar a los resultados. Una de las ventajas de este método es que no requiere contacto físico directo con el modelo a levantar, evitando por un lado cualquier daño o deterioro del mismo, y por otro facilitando la adquisición de datos de áreas inaccesibles.

En el levantamiento gráfico digital por métodos indirectos se utilizan instrumentos dotados de sensores ópticos, que a su vez se dividen en dos categorías principales, en función del instrumento de toma de datos empleado: cámara digital o escáner láser. Estos sensores se denominan:

- SENSORES ACTIVOS

Se definen como aquellos instrumentos de medición cuya obtención del dato se realiza mediante la emisión de una luz, cuya estructura es definida y conocida por el sensor, y la posterior captura de la energía reflejada por el objeto. La información obtenida define la geometría 3D del objeto mediante coordenadas (X,Y,Z), en base a un sistema cartesiano.

Los equipos que usan estos sensores son: el escáneres láser, y el LIDAR (Light Detection and Ranging).

Dentro de las ventajas principales, estos sensores pueden tomar datos en condiciones de poca luz o incluso en la oscuridad. Además, ofrecen alta precisión y resolución, y son capaces de captar detalles finos y tridimensionales.

- SENSORES PASIVOS

Se habla de sensores pasivos cuando estos obtienen información de carácter geométrico del objeto mediante la captura de luz natural reflejada en él, es decir, en el momento de la toma de datos no emiten su propia fuente de luz, sino que capturan la energía natural reflejada por el modelo. Esta metodología se limita a “observar la escena a través de un sistema óptico u óptico-electrónico” como es la fotografía.

Estos procedimientos, ofrecen una alta precisión métrica en 2D y 3D, así como información sobre la textura del objeto estudiado. Las cámaras digitales, que se utilizan para los levantamiento fotogramétricos, emplean estos sensores.

Como ventaja principal es su coste, mucho mas reducido que en el caso de los sensores activos. También son muy recomendables cuando queremos obtener levantamientos con texturas reales o producir gemelos digitales de gran realismo.

Comparación entre sensores activos y pasivos

	Sensores Activos	Sensores Pasivos
Fuente de Energía	Propia (emiten energía)	Externa (utilizan luz ambiental)
Condiciones de Luz	Funcionan en la oscuridad	Requieren luz natural
Datos	Coordenadas	Píxeles
Información de superficie	A nivel de puntos (XYZ), que en ocasiones pueden llevar información RGB	Texturas reales
Precisión y Resolución	Alta	Variable
Coste	Mayor	Menor
Aplicaciones	Escaneado láser	Fotogrametría

3. Técnicas de levantamiento

3.1 ESCÁNER LÁSER 3D

Un escáner láser terrestre (*Terrestrial Laser Scanner -TLS*) es un dispositivo de medición activa, sin contacto, que utiliza la tecnología láser para capturar datos precisos del entorno. Mide las superficies situadas a su alrededor mediante la medición de los puntos contenidos en ellas. La cobertura completa del objeto se obtiene al unir varios escaneos desde distintas posiciones del sensor. Estos datos se denominan nubes de puntos y se definen como el conjunto denso de puntos capturados por un escáner láser que, al combinarse con los resultados de otros escaneos, nos aporta una representación tridimensional detallada y precisa del entorno escaneado.

LÁSER: Siglas de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (haz intenso de luz que produce imágenes con impulsos electrónicos)

ESCÁNER DE LUZ ESTRUCTURADA: Emite un patrón de luz sobre el objeto y captura la deformación del patrón para crear un modelo 3D. Común en aplicaciones industriales y diseño de productos.

LiDAR (acrónimo de Light Detecting and Ranging): Similar al escáner láser, ya que usa tecnología láser para medir coordenadas y crear modelos tridimensionales. Al igual que el láser escáner, funciona mediante la emisión de pulsos de luz láser, midiendo el tiempo que tardan en regresar al equipo después de ser reflejados por el modelo. La diferencia con el escáner láser es que los LiDAR, capturan información de múltiples retornos, lo que permite obtener datos de diferentes niveles (como el suelo y la vegetación).

1. TIPOS DE ESCÁNERES

Existen varios tipos de escáneres láser terrestres (TLS), cada uno diseñado para diferentes aplicaciones y entornos. Los principales tipos son:

- ESCÁNERES LÁSER DE TIEMPO DE VUELO (TIME-OFFLIGHT)

Miden la distancia al objeto mediante el intervalo de tiempo que tarda un haz de luz en viajar desde el instrumento al objeto, rebotar en él y volver al punto de emisión. Este tipo de escáneres son ideales para documentar grandes áreas ya que alcanzan grandes distancias con una precisión elevada.

- ESCÁNERES LÁSER DE VARIACIÓN DE FASE (PHASE-SHIFT)

Miden la distancia comparando la diferencia de fase entre el haz de luz emitido y el reflejada. El sistema emite y recepta un haz de luz cuya frecuencia de fase es conocida. Esta se deforma en función del intervalo de tiempo que tarda en rebotar en el objeto de estudio. Para averiguar la distancia en la que se encuentra el objeto con respecto al instrumento emisor, se tiene en cuenta el incremento de fase entre la onda emitida y la recibida, y la velocidad constante de la luz.

- ESCÁNERES LÁSER DE TRIANGULACIÓN

Para poder realizar este método, es necesario además del dispositivo emisor del haz láser, un sensor CCD que recepta dicho haz. Ambos elementos, junto con el punto reflejado en el objeto de estudio, forman un triángulo cuyos ángulos son conocidos, así como la distancia entre el punto emisor y el receptor. Partiendo de dichos datos, mediante el sistema de triangulación se obtienen las coordenadas de los puntos contenidos en el objeto.

Este sistema se usa fundamentalmente para distancias cortas, puesto que ofrece una alta precisión.

2. Conceptos relacionados con el proceso de escaneado, procesado y sus resultados

- NUBE DE PUNTOS

Representación de una escena mediante una agrupación de puntos en un sistema de coordenadas (X, Y, Z). Esta otorga datos de la geometría 3D de un objeto de forma precisa y se obtiene mediante instrumentos de medición activos y pasivos. Además, puede contener información adicional como el color y la reflectividad de cada punto.

- LIMPIEZA DE NUBE DE PUNTOS

Proceso de depuración de puntos que no se requieren en el modelo final o de errores formados en el escaneado láser bien sea por los instrumentos empleados, errores ambientales o metodológicos.

- RUIDO

Nivel de error que sufre una nube de puntos con respecto al elemento real. Esto puede ser causado por interferencias del sensor, la posición del escáner con respecto al elemento escaneado, reflexiones no deseadas o las condiciones ambientales.

La eliminación del ruido mejora la precisión y la calidad de la representación 3D, ya que facilita el análisis y la modelación precisa, reduciendo errores en la interpretación de los datos.

- FILTRADO

Proceso de depuración de puntos de ruido de un archivo y compresión de la nube de puntos. Esto permite mejorar el rendimiento del programa utilizado antes de realizar otros procesos como el registro, superficiado o renderizado.

- REGISTRO

Unión de cada una de las nubes de puntos obtenida por el escáner láser para representar una escena, en una única nube de dicha escena.

- SEGMENTACIÓN SEMÁNTICA

La segmentación consiste en dividir una imagen en regiones en función de los valores de color, textura, reflectividad, forma, etc. El proceso se lleva a cabo al buscar discontinuidades en los valores de los píxeles que conforman la imagen.

La segmentación semántica sigue el mismo proceso de la segmentación, pero incluyendo la asociación de cada región a una etiqueta o categoría.

- MESHING O SUPERFICIADO

Proceso de conversión de un escaneado de nube de puntos con un sistema de coordenadas (X, Y, Z) a una estructura o modelo tridimensional compuesta por mallas de polígonos 3D. La calidad de la nube de puntos define la precisión del modelo hallado ya que cuantos más puntos conformen la nube, el modelo obtendrá mayor número de polígonos y, por tanto, mayor densidad de polígonos y mayor precisión.

- RETOPOLOGÍA

Proceso digital que consiste en construir una malla simplificada de polígonos sobre una forma 3D ya existente, que poseía una cantidad de polígonos o vértices mucho mayor de la requerida. De esta manera, se reduce el número de polígonos que tiene el modelo 3D permitiendo simplificar el proyecto para su manejo, además de reducir el flujo de trabajo del ordenador, facilitando así la acción de postproducción, bien sea texturizar, renderizar, etc.

- TEXTURIZADO

Proceso digital cuya función es otorgar texturas a un modelo 3D. El proceso incluye la creación de las texturas a partir de fotografías, su aplicación al modelo y la disposición de la iluminación que se desea en la escena.

- RENDERIZADO

Proceso de generación de imágenes a partir de un modelo digital 3D. El modelo consta de objetos tridimensionales estrictamente definidos por lo que, como resultado, se obtiene un elevado nivel de detalle y realismo donde se muestra la geometría, los puntos de vista, las texturas de cada material, además de la iluminación y las sombras que hay en la escena.

- VECTORIZACIÓN

Técnica digital que consiste en convertir una imagen en formato de mapa de bits, en una imagen formada por vectores. Este proceso permite obtener una alta calidad de imagen que no varía al modificar la escala.

3.2 FOTOGRAFETRÍA

Técnica de medición cuyo objeto es estudiar y definir la información tridimensional de un elemento, bien sea para realizar un estudio de este, definir su forma con precisión u obtener sus dimensiones, utilizando medidas hechas sobre una o varias fotografías de dicho elemento.

“Aquella técnica que permite medir objetos, edificios o la misma superficie terrestre, a partir de imágenes perspectivas obtenidas por procedimientos fotográficos.” Almagro Gorbea, A. (2004). Levantamiento arquitectónico, Universidad de Granada, p. 59.

1. FOTOGRAFETRÍA SFM – Fotogrametría multi-imagen (*Structure from Motion*)

Técnica basada en los principios de la fotogrametría, donde se obtiene un modelo tridimensional de un objeto a partir de una superposición de fotografías realizadas desde diferentes puntos de vista, pero difiere de esta, ya que todo el proceso se resuelve mediante cálculos computacionales obteniendo conjuntos de coordenadas o nubes de puntos.

2. SOBRE LA IMAGEN DIGITAL

- DISTANCIA FOCAL

Es la distancia medida en milímetros, entre el centro óptico de un objetivo y el plano focal sobre el que se proyecta una imagen. Esta determina el encuadre o ángulo de visión que se puede capturar.

- CALIDAD DE LA IMAGEN

La calidad de imagen se define por la cantidad de detalle o la nitidez que se puede conseguir en una imagen.

- DISTORSIÓN

Alteración que sufre la geometría de un objeto al ser representado en el plano de una imagen. Esta es causada normalmente por el lente de la cámara utilizada para capturar la imagen o por el punto de vista desde el que se sitúa.

- FOV- CAMPO DE VISIÓN

El campo de visión de una cámara define el área de visualización que esta puede capturar. Cuanto mayor es el FOV, la escena se ve menos limitada capturando así una zona más extensa y obteniendo como resultado menos puntos ciegos.

3. SOBRE LOS DATOS

- CALIBRACIÓN

Proceso al que se le somete a la cámara fotográfica para corregir la distorsión que esta misma provoca de tal forma que como resultado, se obtenga una mayor precisión métrica del elemento fotografiado.

- PUNTOS MORFOLÓGICOS / puntos de control (GCP)

Puntos de referencia utilizados en fotogrametría, los cuales deben mostrarse físicamente en el entorno de trabajo y de los que se conoce con precisión su localización geográfica. Estos son necesarios para establecer una correlación entre lo que se observa en las fotografías realizadas y las coordenadas reales de todos los elementos fotografiados.

- GSD

En una imagen, el “Ground Sampling Distance (GSD)” es la distancia real que se representa entre los centros geométricos de dos píxeles consecutivos. Cuanto mayor es el valor GSD, mayor es la distancia representada por cada píxel que conforma la imagen y, por tanto, se reduce la resolución de la imagen, así como la calidad de detalle de esta.

4. SOBRE LOS RESULTADOS

- IMAGEN RÁSTER

Imagen formada por una serie de bits, los cuales se traducen por píxeles con información de color (RGB) en el formato digital.

- IMAGEN VECTORIAL

Imagen definida por objetos geométricos dependientes (vectores) acotados mediante atributos matemáticos que marcan su posición, color, grosor de línea, tipo de línea, etc. Esta característica permite modificar la imagen sin perder calidad ya que el programa con el que se esté cambiando la imagen, únicamente recalcula la posición de los vectores y devuelve una nueva imagen con la misma calidad que la inicial.

- IMAGEN HDR

Acrónimo del nombre “High Dynamic Range”. Esta es una técnica de procesado fotográfico cuyo objeto es lograr el mayor rango de niveles de exposición en todas las zonas que constituyen la imagen. Consiste en realizar varias tomas de una escena con diferentes exposiciones para posteriormente unirlas en una sola imagen mediante la edición, consiguiendo así una fotografía con un rango dinámico mucho mayor del que se lograría con una sola captura.

- IMAGEN MULTIESPECTRAL

Son aquellas que tienen por objeto capturar los valores de intensidad en las longitudes de onda discretas en las que el sistema capte radiación. Son descritas por el intervalo espectral en el que se encuentre, la resolución espectral y la escala temporal. El resultado se procesa como varias bandas o imágenes que forman una única entidad.

- FOTOMONTAJE

El fotomontaje o manipulación fotográfica, es una práctica que consiste en combinar dos o más fotografías con el objetivo de crear una nueva imagen, sin tener control sobre las medidas ni sobre las distorsiones de la imagen.

- FOTOMOSAICOS

Se denomina así a la técnica de representación mediante fotografías utilizada en aquellas situaciones donde un solo cuadro no es capaz de abarcar toda la entidad que se desea trabajar. Consiste en crear un mosaico controlado mediante la superposición de imágenes, la utilización de puntos de control y la rectificación de las fotografías para asegurar la concordancia entre ellas.

- ORTOIMAGEN

Imagen ráster obtenida mediante rectificación de una imagen o bien, al combinar una serie de fotografías en las que se ha corregido previamente los desplazamientos generados por la posición del sensor fotográfico y la curvatura causada por la superficie del terreno.

- ORTOFOTOGRAFÍA

Fotografía aérea del terreno, georreferenciada en el espacio y rectificada para ofrecer una proyección ortogonal del entorno con las mismas propiedades que un plano. Por consiguiente, todos los elementos se encuentran a escala y no muestran deformaciones.

- ORTOMOSAICO

Imagen obtenida mediante la composición de varias imágenes a las que se les ha sometido a un proceso de rectificación fotogramétrica para corregir la distorsión geométrica y el color de estas. De esta forma se obtiene un mosaico continuo sin deformaciones y a escala.

- FOTOPLANO

Ortoimagen escalada a la que se ha completado con líneas vectoriales (elaboración gráfica) para conformar un plano arquitectónico.

5. SOBRE EL USO DE DRONES

Se incluye en esta parte algunos términos relacionados con los drones, puesto que se usan en fotogrametría para el transporte de las cámaras fotográficas:

- UAV - Vehículo aéreo no tripulado (*unmanned aerial vehicle*). *Vuelo programado*

Aeronave que vuela de forma autónoma en base a una programación previa. Este también es denominado *Dron*. En fotogrametría, el uso de dichos vehículos permite la obtención de datos cartográficos, así como imágenes aéreas del elemento de estudio.

- RPAS- Pilotado a distancia

Vehículo aéreo manejado a distancia por un piloto humano mediante controles en remoto.

4. Resultados gráficos

- ESCALA

Proporción entre las dimensiones de un elemento en su tamaño real con respecto al dibujo o maqueta que lo representa con unas medidas diferentes.

- APROXIMACIÓN DIGITAL

Aproximación necesaria para trabajar con una imagen (por ejemplo dibujar líneas sobre ella), pero que una vez terminado el trabajo, ya no será necesario volver a este grado de aproximación. En este sentido nos definiría la resolución necesaria de la imagen, que sería superior a la resolución necesaria para su utilización final.

- AR- REALIDAD AUMENTADA

La realidad aumentada produce una realidad combinada ya que, mediante el uso de una cámara o un dispositivo electrónico, consigue proyectar imágenes virtuales sobre escenarios reales.

- VR- REALIDAD VIRTUAL

Ilusión creada mediante recursos digitales simulando un escenario con el mayor realismo posible o, en el caso de los videojuegos, crear entornos ficticios y fantásticos haciendo creer al sujeto que se encuentra inmerso en dicho escenario.

5. Especificaciones Técnicas

Extraído de:

Rodríguez Navarro, P., Gil Piqueras, T. and Soler Estrela, A. (2023) Metodologías para el levantamiento gráfico integral de castillos situados en localizaciones complejas. In: *XVI Congreso Internacional de Expresión Gráfica aplicada a la Edificación, APEGA 2023*. 28-29-30 September 2023, Cuenca, España, pp. 330-338. DOI: <https://doi.org/10.4995/APEGA2023.2023.19058>

Rodríguez-Navarro, P., Gil-Piqueras, T. (2024) Estándares y métodos para optimizar la digitalización 3D de las fortificaciones. In: *Defensive architecture of the mediterranean*. vol. XVII. (*Defensive Architecture of the Mediterranean*, edited by Islami, Veizaj.). Universiteti Politeknik i Tiranës. P. 139-144. <https://doi.org/10.4995/Fortmed2024.2024.18097>

Previo a cualquier proceso de levantamiento gráfico, deberíamos determinar el estándar necesario. El primer paso será analizar los objetivos del levantamiento, es decir, para qué uso va a destinarse dicha digitalización. Un sistema aceptable sería establecer el uso más exigente que pudiera tener nuestra digitalización, que en la actualidad podemos considerar que es la impresión, digital o en papel, de los planos arquitectónicos a escala que lo definan. A partir del factor de escala requerido, será necesario determinar la resolución necesaria para cumplir con el estándar requerido en cualquier digitalización.

Sabemos que la impresión requiere un documento final de 300 ppp, que equivalen a 117,8 píxeles x cm, es decir, 1 metro a escala 1/100 (1 cm de impresión). Si lo trasladamos a la realidad, es decir a escala 1:1 para obtener los mm/píxeles reales deberemos calcularlo del siguiente modo:

$$\text{Res} = (1 \text{ mm} \times 117,8 \text{ píxeles/mm}) / 1000 \text{ mm} = 0,1178 \text{ píxeles/mm.}$$

Calculando la inversa obtendremos la resolución mínima necesaria en mm/píxel para la escala 1/100: $\text{Res} = 1 / 0,1178 = 8,49 \text{ mm/píxel}$ Empezamos viendo los requerimientos necesarios para las ortoimágenes de la fotogrametría.

Debemos calcular la altura de nuestro vuelo (distancia a la superficie a representar), en función de los parámetros de la cámara que vayamos a utilizar, para determinar el nivel de detalle que podemos alcanzar con nuestras fotografías, es decir, la resolución o GSD (Ground Sample Distance). El GSD define la longitud representada por cada píxel, dada la distancia desde la cámara al objeto fotografiado, y conociendo las características del sensor y la distancia focal de la cámara (Rodríguez-Navarro et al., 2022). En nuestro caso usamos una cámara Sony RX100II, con sensor de 1 pulgada y 20 megapíxeles, con las siguientes características:

- Sw (ancho del sensor) = 13,2 mm
 - Sh (altura del sensor) = 8,8 mm
 - Fr (distancia focal de la lente) = 10 mm (28mm distancia focal equivalente)
 - imW (ancho de la imagen) = 5472 pixels
- $$\text{GSD} = (\text{Sw} \times \text{H} \times 1000) / (\text{Fr} \times \text{imW})$$

Si despejamos H (distancia a la superficie a representar o altura de vuelo)

$$\begin{aligned}\text{H} &= (\text{GSD} \times \text{Fr} \times \text{imW}) / (\text{Sw} \times 1000) \\ \text{H} &= (8,49 \times 10 \times 5472) / (13,2 \times 1000) = 35,19 \text{ m}\end{aligned}$$

Así pues, para obtener este levantamiento con la resolución necesaria para la escala requerida, debemos de mantener siempre una distancia en la toma fotográfica ≤ 35 metros.

Esta distancia máxima la usaré principalmente en el vuelo del dron para las tomas fotográficas cenitales mediante el vuelo programado, que me garantizarán la obtención de la ortoimagen en planta. Lo lógico será que el resto de tomas fotográficas para cubrir los elementos verticales, y que se realizarán en vuelo manual, sean siempre a una distancia menor. No obstante, hay que tener la precaución de no superar esta distancia para evitar bajar la resolución requerida.

Con el escáner láser cambiaremos los píxeles por los puntos con información RGB; con una densidad suficiente, la ortoimagen de una nube puede dar una impresión fotográfica, pero nunca llegará a tener el mismo aspecto. En todo caso, sí que podemos obtener una ortoimagen con la que podamos definir y dibujar cualquier elemento constructivo y sus patologías.

Sin embargo, en los levantamientos mediante escáner láser 3D va a ser más complejo garantizar la obtención del estándar determinado. La propia geometría de la toma de datos del escáner, en base a una toma radial, que impacta a su vez en distintos ángulos con la superficie a representar, hace mucho más complejo el conocimiento de una densidad de puntos mínima en toda la superficie.

En esta toma de datos manejamos las siguientes variables:

- Posicionamiento de las estaciones escáner en función del elemento (evitar sombras)
- Distancia a la superficie a representar.
- Ángulo de impacto desde la estación escáner.
- Resolución elegida en el escáner (a 10 metros)

Aunque a priori puedan parecer pocos factores, la complejidad de su sistematización es muy alta. La superposición de las distintas nubes individuales es fundamental en el resultado, y el factor de decisión entre:

- a- más estaciones escáner con menos resolución
b- menos estaciones escáner con más resolución es absolutamente determinante en los resultados finales.

6. Bibliografía

- Adams, A. T. (2016) *Drawing for Understanding: Creating Interpretive Drawings of Historic Buildings*. Liverpool University: Historic England
- Aguilar-Camacho, J., Granado-Castro, G. and Barrera-Vera, J.A. (2023) Optimizing workflows and proposal of a standard in surveying of decorative heritage elements (The Royal Alcázar of Seville, Spain). *Disegnarecon*, 16 (30), 1-1. <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.1>
- Almagro Gorbea, A. (2004). Levantamiento arquitectónico. Universidad de Granada
- Andrews, D., Bedford, J. and Bryan, P. (2015) *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage*. 3th ed. Liverpool University: Historic England.
- Bajena, I., Kuroczyński, P. and Münster, S. (2021). Metadata scheme for 3D re-constructions. How to capture the source-based 3D reconstruction of Cultural Heritage? In: Börner, W. (ed.) 26th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT26). 2-4 November 2021 in Vienna: Austria: Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie.
- Battiato, S., Farinella, G.M., Leo, M. and Gallo, G. (eds.) (2017). New trends in image analysis and processing. In *ICIP international workshops, WBICV, SSPandBE, 3AS, RGBD, NIVAR, IWBAAS, and MADiMa 2017, 11 – 15 September 2017 in Catania. Italy*. doi: 10.1007/978-3-319-70742-6
- Bertocci, S. and Bini, M. (2012) *Manuale di Rilievo Architettonico e Urbano*. Italy: Illustrated.
- Betsas, T., and Georgopoulos, A. (2022) Point-Cloud Segmentation for 3D Edge Detection and Vectorization. *Heritage*, 5(4), 4037–4060. doi: 10.3390/HERITAGE5040208
- Boardman, C. and Bryan, P. (2018) *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture*. Liverpool University: Historic England
- Bonanos, A., Faka, M., Abate, D., Hermon, S. and Blanco, M. (2019) Heliostat surface shape characterization for accurate flux prediction. *Renewable Energy*. 142. doi: 10.1016/j.renene.2019.04.051
- Brusaporci, S. and Maiezza, P. (2016). Re-loading BIM: between spatial and database information modeling for architectural heritage documentation. *XIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica aplicada a la Edificación, APEGA 2016. 1-2-3 December 2016 in Castellón de la Plana, España*.
- Brusaporci, S., Centofanti, M., Paris, L., Maiezza, P. and Rossi, M. (2015). Survey of the Church of Sant'Antonio Abate a Rieti by Vignola: Regola, orders and proportions. *Disegnare Idee Immagini*. 26. 22-33.
- Cabezos Bernal, P. M. Rodríguez Navarro, P., Gil Piqueras, T., Cisneros Vivó, J. J., Gil-Gil, C. (2022). *Captura fotográfica gigapíxel de obras de arte*. Editorial Universitat Politècnica de València. ISBN: 978-84-1396-021-0
- Cabezos Bernal, P.M., Rodriguez Navarro, P., Gil Piqueras, T., Martin Fuentes, D., Rossi, A. (2023) Creating Virtual Art Galleries to improve dissemination and accessibility. 1-2 December 2023 in *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*. edited by Sdegno, A., Riavis, V. 228-242. ISBN 9788899586355
- Cabezos-Bernal, P., Rodríguez-Navarro, P. and Gil-Piqueras, T. (2021). Documenting Paintings Using Gigapixel SFM Photogrammetry. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1-2021, 93-100. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-93-2021

- Cabezos-Bernal, P.M., Rodríguez-Navarro, P. and Gil-Piquer, T. (2021) Documenting Paintings with Gigapixel Photography. *Journal of imaging*, 8 (7), 1 – 20. doi: 10.3390/jimaging7080156
- Cabrelles, M., Lerma, J. L. (2017). Documentación 3D de la Cova dels Cavalls y de su entorno (Tírig, Castellón). In: Martín Furones, Á. (ed.), *Primer Congreso en Ingeniería Geomática -CIGeo. 5 – 6 July 2017 in Universitat Politècnica de València. Valencia. Spain.* 54-59. doi: 10.4995/CIGeo2017.2017.6627
- Camagni, F., Colaceci, S., and Russo, M. (2019) Reverse modeling of cultural heritage: pipeline and bottlenecks. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W9, 197–204. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-197-2019
- Centro de Documentación y Estudios, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH) (2011) *Recomendaciones técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales*. <https://hdl.handle.net/11532/161557>
- Che, E., Jung, J. and Olsen, M.J. (2019) Object Recognition, Segmentation, and Classification of Mobile Laser Scanning Point Clouds: A State of the Art Review. *Sensors 2019*, 19(4), 810. doi: 10.3390/s19040810
- Ciuffreda, A.L., Coli, M., Tanganelli, M. and Verdiani, G. (2022). Integration and BIM digitization of interdisciplinary research and diagnostic campaigns for knowledge and conservation: Palazzo Vecchio in Florence. *Restauro Archeologico*, 30, 232. doi: 10.36253/rar-14305.
- Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Piemonte, A. and Véron, P. (2020). Semantic annotations on heritage models: 2D/3D approaches and future research challenges, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B2-2020, 829–836. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-829-2020
- De Luca, L. (2011) *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*. Italy: Dario Flaccovio Editore.
- Docci, M. and Maestri, D. (2010) *Manuale di Rilevamento Architettonico e Urbano*. Italy: Laterza.
- Doneus, N., Miholjek, I., Džin, K., Doneus, M., Dugonjić, P. and Schiel, H. (2020). Archaeological prospection of coastal and submerged settlement sites. Re-evaluation of the roman site complex of Vižula, Croatia. *Archaeologia Austriaca*, 104, 253-281. doi: 10.1553/archaeologia104s253.
- Ducke, B., Score, D. and Reeves, J. (2011). Multiview 3D reconstruction of the archaeological site at Weymouth from image series. *Computers Graphics*, 35(2), 375–382. doi: 10.1016/J.CAG.2011.01.006
- García García, L. A., Sánchez Rivera, J. I., Fernández Martín, J. J. and San José Alonso, J. I. (2018). Il Monasterio de las Huelgas a Burgos: analisi architettonica di uno spazio per la sepoltura dei reali di Castiglia. *Disegnare idee immagini.*, 56, 10 – 19.
- Gehmlich, B. and Block-Berlitz, M. (2015). Diversity of Flight Strategies in UAV Recording. In: Börner, W. and Uhlirz, S. (eds.) 20th Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT 20). 2-4 November 2015 in Vienna. Austria: Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie. ISBN 978-3-200-04698-6
- Gil Piquer, T., Rodríguez Navarro, P., Cabrera Revuelta, E., & Gandía Álvarez, E. (2022). Preliminary Studies of the Coastal Defenses of Cullera's Cape Built during the Spanish Civil War: From Historical Study to Formal Analysis *Heritage*, 5, 3032-3048. <https://doi.org/10.3390/heritage5040157>
- Gil Piquer, T., Rodríguez Navarro, P., Cortés Meseguer, L. (2022) Primeras aportaciones del levantamiento gráfico digital al conocimiento del estado actual de la iglesia de Sueca (Valencia).

In: *XIX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. 2-4 June 2022 in Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.* 355-358. ISBN: 978-84-17853-51-8

Gil-Piquerias, T., Rodríguez-Navarro, P. (2023) Reflections on workflow and standards for the graphic survey of architectural and archaeological heritage. *Disegnarecon*, 30 (16). <https://doi.org/10.20365/disgnarecon.30.2023.ed>

Gil-Piquerias, T., Rodríguez-Navarro, P. and Anaya Visbal, J.E. (2022) Digital graphic survey of the complex of fishermen's houses in Cape Cullera (Valencia). *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 16, 117-131. doi: 10.4995/ege.2022.17883

Gil-Piquerias, T., Rodríguez-Navarro, P. and Pérez-Vila, A. (2019). *Fotogrametría multi-image mediante SFM. Revisión del software disponible*. In *Avances en Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación*. Tirant Ed, Valencia. 645-659. ISBN: 978-84-17973-12-4

Grilli, E. and Remondino, F. (2019). Classification of 3D Digital Heritage. *Remote Sensing*, 11(7), 847. doi: 10.3390/rs11070847

Guidi, G. and Frischer, B. (2020) *3D Digitization of Cultural Heritage*. In: Liu, Y., Pears, N., Rosin, P.L., Huber, P. (eds) *3D Imaging, Analysis and Applications*. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-44070-1_13

Guidi, G., Gonizzi, S., and Micoli, L. L. (2014) Image pre-processing for optimizing automated photogrammetry performances. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-5, 145–152. doi: 10.5194/isprsannals-II-5-145-2014

Guidi, G., Malik, U.S., Manes, A., Cardamone, S., Fossati, M., Lazzari, C., Volpato, C. and Giglio, M. (2020). Laser Scanner-Based 3D Digitization for the Reflective Shape Measurement of a Parabolic Trough Collector. *Energies*, 13, 5607. doi: 10.3390/en13215607

Guidi, G., Russo, M., Magrassi, G. and Bordegonim, M. (2010) Performance Evaluation of Triangulation Based Range Sensors. *Sensors* 2010, 10, 7192 – 7215. doi: 10.3390/s100807192

Guidi, G., Umair Shafqa, M. and Micoli, L. (2020). Optimal Lateral Displacement in Automatic Close-Range Photogrammetry. *Sensors* 2020, 20(21), 6280. doi: 10.3390/s20216280

Kaiser, T., Clemen, C. and Block-Berlitz, M. (2022). Co-registration of video-grammetric point clouds with bim -first conceptual results. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLVI-5/W1-2022. 141–148. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-141-2022

Kossleris, S., Kourounioti, O., Agrafiotis, P., and Georgopoulos, A. (2017). Developing a Low-Cost System for 3d Data Acquisition. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W8, 28–29 November 2017, Hamburg, Germany. 119–126. doi: 10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLII-2-W8-119-2017

Kuroczyński, P. (2017). Virtual Research Environment for digital 3D reconstructions – Standards, thresholds and prospects. *Studies in Digital Heritage*, 1, 456. doi: 10.14434/sdh.v1i2.23330

Kuroczyński, P., Hauck, O.B., Dworak, D. (2014): Digital reconstruction of cultural heritage – questions of documentation and visualisation standards for 3D content. In: Klein, R., Santos, P. (eds.) 5th International Euro-Mediterranean International Conference on Cultural Heritage.

Lane, R. (2016) *Understanding Historic Buildings: A Guide to Good Recording Practice*. Liverpool University: Historic England

López-Mencherio Bendicho, VM. and Grande, A. (2011). Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. El Borrador SEAV. *Virtual Archaeology Review*. 2(4), 71-75. doi: 10.4995/var.2011.4558

- Luigini, A., Brusaporci, S., Vattano, S. and Tata, A. (2019) 3D DIGITAL MODELS FOR A WIDESPREAD MUSEUM: THE RENON'S "BAUERNHÖFE". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W9. 447-453. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-447-2019
- Manzetti, M. and Sarris, A. (2021). A Methodological Approach for Intra – Site Analysis of Prehistoric Settlements. *Studies in Digital Heritage*. 5. doi: 88-106. 10.14434/sdh.v5i2.32980
- Martín-Fuentes, D. and Cabezas-Bernal, P.M. (2023) Universal Point Cloud viewer based on Unreal Engine. *Disegnarecon*, 30 (16). doi: 10.20365/disegnarecon.30.2023.13
- Molada-Tebar, A., Riutort-Mayol, G., Marqués-Mateu, Á. and Lerma, J.L. (2019). A Gaussian process model for color camera characterization: assessment in outdoor Levantine rock art scenes. *Sensors 2019*, 19(21), 4610. doi: 10.3390/s19214610
- Nex, F. and Remondino, F. (2019). Latest Developments, Methodologies, and Applications Based on UAV Platforms. *Drones 2019*, 3(1), 26. doi: 10.3390/drones3010026
- Onrubia, J., López-Mencher, V.M., Rodríguez, D. and Morales, F.J. (eds.). (2020). *LEGATUM 2.0 Musealización y Puesta en Valor del Patrimonio Cultural*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Pearson, T. (2018) *Graphical and Plane Table Survey of Archaeological Earthworks: Good Practice Guidance*. Liverpool University: Historic England
- Pereira Uzal, J.J. (2020). Diagnóstico por imagen en bandas no visibles sobre patrimonio cultural: Una aproximación a la imagen infrarroja, ultravioleta, fluorescencias y análisis de imagen. *Books on Demand*, 2020.
- Pérez Pedraza, J. C.; Pérez Fargallo, A.; Barrera Vera, J. A. (2023) Las Casas de Carabineros en la Costa Oriental Gaditana. In: *Defensive architecture of the mediterranean*. vol. XIV. (*Defensive Architecture of the Mediterranean*, edited by Bevilacqua, M. G.). Pisa: Pisa University Press, 2023. P. 749-756 – DOI: 10.12871/978883339794896.
- Remondino, F., Nocerino, E., Toschi, I. and Menna, F. (2018). A critical review of automated photogrammetric processing of large datasets. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLII-2/W5, 591-599. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-591-2017
- Ricci, Y., Pasquali, A. and Rodriguez-Navarro, P. (2023). “Machine Learning in Architectural Surveying: Possibility or Next Step of Development? From Photogrammetry to Augmented Reality of a Sculptural Group”. In: Giordano, A., Russo, M., Spallone, R. (eds) Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design. Springer. doi: 10.1007/978-3-031-36155-5_29
- Rodríguez Navarro, P., Gil Piqueras, T. and Soler Estrela, A. (2023) Metodologías para el levantamiento gráfico integral de castillos situados en localizaciones complejas. In: *XVI Congreso Internacional de Expresión Gráfica aplicada a la Edificación, APEGA 2023. 28-29-30 September 2023 in Cuenca, España*. Versión autor.
- Rodríguez-Navarro, P. (2012) La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. *EGA Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 2, 100 - 111. doi: 10.4995/ega.2012.1408
- Rodriguez-Navarro, P. (2023) Torres de vigía y defensa del litoral valenciano. *Asociación Española de Amigos de los Castillos. Boletín de Castellología Valenciana*, 3, 5-14.
- Rodríguez-Navarro, P. and Gil-Piqueras, T. (2020) New Contributions on the Escuelas Pías Dome in Valencia. *Nexus Network Journal*, 22, 1081–1098. doi: 10.1007/s00004-020-00500-5

Rodríguez-Navarro, P., Cabezos Bernal, P., Gil-Piqueras, T. and Giménez Ribera, M. (2022). Using drones under 250 g for documenting the architectural heritage. *Disegnarecon*, 15 (29). doi: 10.20365/disegnarecon.29.2022.1

Rodríguez-Navarro, P., Cabezos-Bernal, P. M. and Gil-Piqueras, T. (2020) Photographic Techniques for Urban Art Documentation. *DisegnareCon*, 13 (24), 23.1 – 23.22. doi: 10.20365/disegnarecon.24.2020.23

Rodríguez-Navarro, P., Chopping, A., Rodrigo, D., Verdiani, G. and Gil-Piqueras, T. (2018). Digital applications to urban archaeological sites: the St. Mary Spital. Chapel and Charnel House. In *23th Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT 23)*. Viena, Austria. 181-181.

Rodríguez-Navarro, P., Estruch González, S. (2019). Indian Villas in the Valencian Landscape (Spain): Casino del Americano. In: Amoruso, G., Salerno, R. (eds) *Cultural Landscape in Practice. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 26. Springer, Cham. 37-53. doi: 10.1007/978-3-030-11422-0_4

Rodríguez-Navarro, P., Gil Piqueras, T., Verdiani, G. (2018). *Drones for Architectural Surveying. Their Use in Documenting Towers of the Valencian Coast*. In: Castaño Perea, E., Echeverría Valiente, E. (eds) *Architectural Draughtsmanship*. EGA 2016. Springer, Cham. 1555-1566. doi: 10.1007/978-3-319-58856-8_121

Rodríguez-Navarro, P., Gil-Piqueras, T. (2024) Estándares y métodos para optimizar la digitalización 3D de las fortificaciones. In: *Defensive architecture of the mediterranean*, vol. XVII. (*Defensive Architecture of the Mediterranean*, edited by Islami, Veizaj.). Universiteti Politeknik i Tiranës. P. 139-144. <https://doi.org/10.4995/Fortmed2024.2024.18097>

Rodríguez-Navarro, P., Gil-Piqueras, T. and Ruggieri, A. (2023). Levantamiento gráfico integral para el análisis de la Fortaleza de Santa Ana en Oliva (Valencia). In: *Defensive architecture of the mediterranean*. vol. XIV. (*Defensive Architecture of the Mediterranean*, edited by Bevilacqua, M. G.). Pisa: Pisa University Press, 2023. P. 1131-1138 – DOI: 10.12871/9788833397948142.

Rodríguez-Navarro, P., Gil-Piqueras, T. and Verdiani, G. (2015). Comprehensive Methodology for Documenting the Defense Towers of the Valencian Coast (Spain). *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries*, 1, 321-328. doi: 10.4995/FORTMED2015.2015.1741

Rodríguez-Navarro, P., Gil-Piqueras, T., Ruggieri A., Rueda García, A., Cuahutencos Meza, C. (2023). Tejeda Monastery, Garaballa (Cuenca, Spain): Testing Methodologies For Graphic Survey. In: *F-ATLAS CONFERENCE. Franciscan Observance Landscapes: 11th-12th-13th May 2023*. Asisi. Finrenze: Unifi, 2023. In press.

Rodríguez-Navarro, P., Gil-Piqueras, T., Sender Contell, M., Giménez Ribera, M. (2022). Establecimiento de estándares para el levantamiento gráfico del patrimonio. Estado del arte. In: *XIX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. 2-4 June 2022 in Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena*. 387-390. ISBN: 978-84-17853-51-8

Rodríguez-Navarro, Pablo; Gil-Piqueras, Teresa. (2020). El Castillo de Bairén (Gandía, España). Proyecto de documentación gráfica. In *Defensive Architecture of the Mediterranean*, edited by Navarro Palazón, J. and Luis José García-Pulido Vol. X, (439-446). Granada: Universidad de Granada, Universitat Politècnica de València, Patronato de la Alhambra y Generalife. doi.org/10.4995/FORTMED2020.2020.11420

San José Alonso, J. I. (2018). Architectural documentation, technology and survey. *EGA-Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 34, 240-251. doi: 10.4995/ega.2018.10937

Sender Contell, M. and Perelló Roso, R. (2021) Virtual reconstruction of a disappeared monastery of Santa María de la Murta. *DisegnareCon*, 14 (27), 1-10. doi: 10.20365/disegnarecon.27.2021.3

Sender Contell, M., Giménez Ribera, M. and Perelló Roso, R. (2020) Importancia del dibujo en los proyectos de rehabilitación. Aceitera de Marxalenes. *EGE Revista De Expresión Gráfica En La Edificación*, (13), 78–97. doi: 10.4995/ege.2020.14676

Sender Contell, M., Giménez Ribera, M., Gil Piqueras, T., Rodriguez Navarro, P. (2024) “Civil Architecture of Maestrazgo, the Castellote House: Graphic Processes for Its Knowledge”. In: Hermida González, L., Pedro Xavier, J., Sousa, J.P., López-Chao, V. (eds) *Graphic Horizons*. Springer.

Sender Contell, M., Perelló Roso, R., Giménez Ribera, M. and Albelda Pla, A. (2023) The graphic survey of the architectural heritage supported by the 3D laser scanner. Case study: the Castellot house. *Disegnarecon*, 16(30), 1–9. <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.9>

Sender Contell, M.; Perelló Roso, R.; Giménez Ribera, M. (2023) Elementos fortificados en los monasterios jerónimos de la Corona de Aragón. In: *Defensive architecture of the mediterranean*. vol. XIV. (*Defensive Architecture of the Mediterranean*, edited by Bevilacqua, M. G.). Pisa: Pisa University Press, 2023. P. 849-856 – DOI: 10.12871/9788833397948108. *Premio al mejor Paper de investigación*.

Sevara, Ch., Verhoeven, G., Doneus, M. and Draganits, E. (2018). Surfaces from the Visual Past: Recovering High-Resolution Terrain Data from Historic Aerial Imagery for Multitemporal Landscape Analysis. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 25, 611-642. doi: 10.1007/s10816-017-9348-9

Soler, F., Melero, F. J. and Luzón, M. V. (2016). A complete 3D information system for cultural heritage documentation. *Journal of Cultural Heritage*, 23, 49–57. doi: 10.1016/j.culher.2016.09.008

Ştefan, L., Hermon, S. and Faka, M. (2018). Prototyping 3D Virtual Learning Environments with X3D-based Content and Visualization Tools. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 9.

Suma, R., Stavropoulou, G., Stathopoulou, E. K., Gool, L. V., Georgopoulos, A., and Chalmers, A. (2016). Evaluation of the effectiveness of HDR tone-mapping operators for photogrammetric applications. *Virtual Archaeology Review*, 7(15), 54. doi: 10.4995/VAR.2016.6319

Val Fiel, M. and Soler Estrela, A. (2021) Interactive Virtual Reality applications for the enhanced knowledge of Spanish Mediterranean Fortress-Castles. *DisegnareCon*, 27 (14), 1-15. doi: 10.20365/disegnarecon.27.2021.19

Verdiani, G. (2017). Fortifications and documentation: the case of Fortezza Vecchia in Livorno. State of the digital survey. *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries*, 6, 311-318.

Verdiani, G. (2019). Digital survey: from new technology to everyday use, a knowledge path and challenge for scholars. *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 0(11), 94-105. doi: 10.4995/ege.2019.12873

Verdiani, G. and Arslan, P. (2022). Visions of Far Places and Overlaying Illusions: the Gothic Fresco by Pisanello in Verona as a Graphic Crossing in Space and Time. *Disegno* 9.2021. doi: 10.26375/disegno.9.2021.14

Verdiani, G., Charalambous, A. and Corsini, F. (2022). Reconstructing the Past, Enhancing the Traces from Frescos: The Case of the St. Venanzio Cathedral in Fabriano, Italy. *i-com*. 21. 19-32. doi: 10.1515/icon-2022-0014

Verdiani, G., Charalambous, A. and Ricci, Y. (2022). Digital heritage consolidation and innovation, three case studies between documentation and divulgation aims. In: *Technical Annals. 2nd International Conference TMM-CH Transdisciplinary Multispectra. 13 – 15 December 2022 in Athens, Greece*. doi: 10.12681/ta.32154.

Wefers, S., Atorf, P. and Klonowski, J. (2015). UAV photogrammetry and 3D analyses of CH sites. The millstone quarry district of Mayen (DE) as a case study. In: Börner, W. and Uhlirz, S. (eds.) 20th Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT 20). 2-4 November 2015 in Vienna. Austria: Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie. ISBN 978-3-200-04698-6.