



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,  
Cartográfica y Topográfica  
Universitat Politècnica de València

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO  
TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO  
DEL CASTILLO DE SAGUNTO  
EMPLEANDO TÉCNICAS DE  
FOTOMODELADO

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía

**Autor:** Jhonny Darío Ramírez Asitimbay

**Tutor:** Ana Belén Anquela Julián

**Cotutor:** Jesús Palomar Vázquez

2019-2020

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL  
CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

# Agradecimientos

---

Con este proyecto, finalizo mi grado en la Universidad Politécnica de Valencia, cuyo inicio significó un cierre de una etapa y el inicio de una nueva, más allá de lo estrictamente académico.

Agradecer en primer lugar a mi tutora Ana Anquela, por darme la posibilidad de trabajar con ella en un proyecto de tal magnitud y que a pesar del momento de pandemia que nos ha tocado vivir, ha sabido responder a mis dudas y ayudarme desde la distancia en todo lo posible.

Agradezco a su vez a Jesús Palomar por brindarme de sus conocimientos para poder trabajar eficazmente en la adquisición de datos ya que ello me ha permitido finalizar este trabajo.

A mis amigos y amigas de los diferentes cursos y clases que he compartido con ellos les estoy muy agradecido por ayudarme a seguir adelante con la carrera y hacer que sea una etapa bastante divertida.

Agradezco a mis padres y mi hermana por apoyarme en todo momento para que no descuidara de mis estudios en los momentos más difíciles de mi vida.

Gracias por todo.

:)

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL  
CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

# Compromiso

---

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

# Resumen

---

Las técnicas de reconstrucción fotográfica permiten obtener modelos tridimensionales de importantes entornos físicos para salvar y tratar su información. La aportación que da el campo de la topografía a la sociedad es beneficiar a los usuarios de dichas imágenes y modelos tridimensionales para su uso y disfrute. El presente trabajo fin de grado consiste en la realización completa de un levantamiento topográfico tridimensional del foro romano del castillo de Sagunto (Valencia). Con el objetivo de favorecer el desarrollo de la metodología de trabajo colaborativo, para la creación y gestión de un proyecto de reconstrucción, se muestra como la información digital obtenida es útil en cada fase, ya que se dispone de comparaciones teóricas y reales de como avanza la ejecución de la obra.

Mediante técnicas de fotomodelado se obtiene un modelo en 3D del foro romano el cual sirve para el análisis comparativo sobre un modelo BIM del proyecto a realizar. A lo largo de este trabajo explicaremos como obtener las imágenes para lograr mayor detalle en el modelo 3D, y también como darle uso a la información obtenida.

**Palabras clave:** Levantamiento, Foro Romano, Sagunto, 3D, Fotomodelado, BIM.

# Resum

---

Les tècniques de reconstrucció fotogràfica permeten obtenir models tridimensionals d'importants entorns físics per a salvar i tractar la seua informació. L'aportació que dona el camp de la topografia a la societat és beneficiar als usuaris d'aquestes imatges i models tridimensionals per al seu ús i gaudi. El present treball fi de grau consisteix en la realització completa d'un aixecament topogràfic tridimensional del fòrum romà del castell de Sagunt (València). Amb l'objectiu d'afavorir el desenvolupament de la metodologia de treball col·laboratiu, per a la creació i gestió d'un projecte de reconstrucció, es mostra com la informació digital obtinguda és útil en cada fase, ja que es disposa de comparacions teòriques i reals de com avança l'execució de l'obra.

Mitjançant tècniques de fotomodelatge s'obté un model en 3D del fòrum romà el qual serveix per a l'anàlisi comparativa sobre un model BIM del projecte a realitzar. Al llarg d'aquest treball explicarem com obtenir les imatges per a aconseguir major detall en el model 3D, i també com donar-li ús a la informació obtinguda.

**Paraules clau:** Aixecament, Fòrum Romà, Sagunt, 3D, Fotomodelatge, BIM.

## Abstract

---

Photographic reconstruction techniques allow obtaining three-dimensional models of important physical environments to save and process their information. The contribution that the field of topography gives to society is to benefit the users of said images and three-dimensional models for their use and enjoyment. The present final degree project consists of the complete realization of a three-dimensional topographic survey of the Roman forum of the castle of Sagunto (Valencia). In order to favor the development of the collaborative work methodology, for the creation and management of a reconstruction project, it is shown how the digital information obtained is useful in each phase, since there are theoretical and real comparisons of how it progresses the execution of the work.

Using photomodeling techniques, a 3D model of the Roman forum is obtained, which is used for comparative analysis on a BIM model of the project to be carried out. Throughout this work we will explain how to obtain the images to achieve greater detail in the 3D model, and also how to use the information obtained.

**Keywords:** Topographic survey, Roman Forum, Sagunto, 3D, Photomodeling, BIM.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	14
1. PLANTEAMIENTO.....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2. OBJETIVOS.....	19
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.3. METODOLOGÍA.....	19
1.3.1. TIPO DEL TRABAJO.....	19
1.3.2. INVESTIGACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	20
1.3.3. CASO DE USO Y FLUJO DE TRABAJO.....	21
2. MARCO METODOLÓGICO Y ESTADO DEL ARTE.....	24
2.1. CONTROL DE CALIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES.....	25
2.2. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE UN PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN.....	26
2.2.1. CONTROL Y REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	26
2.3. RECONSTRUCCIÓN DIGITAL.....	27
2.3.1. LUZ ESTRUCTURADA.....	28
2.3.2. TIEMPO DE VUELO.....	28
2.3.3. TRIANGULACIÓN.....	29
2.3.4. DE CONTACTO.....	30
2.3.5. FOTOGRAMETRÍA.....	30
2.5. NUBE DE PUNTOS.....	39
2.5.1. DEFINICIÓN.....	39
3. DESARROLLO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL.....	41
3.1. MATERIAL UTILIZADO.....	41
3.2. SOFTWARE DE RECONSTRUCCIÓN DIGITAL.....	42
3.3. DIGITALIZACIÓN DE LOS MODELOS.....	43
3.3.1. ASPECTOS QUE INFLUYEN EN EL LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL.....	43
3.3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	44
3.3.3. OBTENCIÓN DEL MODELO.....	45
4. RESULTADOS.....	50
4.1. MODELO DIGITAL 3D.....	50
4.2. MODELO 3D PARA SKETCHFAB.....	52
4.3. DISCUSIÓN.....	55
5. PRESUPUESTO.....	57



6. CONCLUSIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa en formato de imagen de la zona de Sagunto. Fuente: CNIG .....	14
Figura 2: Cartel que muestra la Planta del Foro Romano del castillo de Sagunto. (Elaboración propia) .....	15
Figura 3: Flujo de documentación en un trabajo arquitectónico para reportar el avance del estado actual en una obra. (Elaboración propia) .....	17
Figura 4: Fases de desarrollo de un proyecto constructivo mostrado de forma esquemática. (Elaboración propia) .....	24
Figura 5: Representación del sistema de luz estructurada. Fuente: 3D Natives (03)....	28
Figura 6: Esquema del funcionamiento del sistema tiempo de vuelo. La luz es emitida sobre el objeto y la luz reflejada es la que recibe. Fuente: (04).....	29
Figura 7: Esquema del funcionamiento de la técnica de triangulación digital. Fuente: Georg Wiora (Wikipwedia) (05).....	29
Figura 8: Demostración de la tecnología de contacto tocando físicamente el objeto a levantar tridimensionalmente. Fuente: All3dp (06).....	30
Figura 9: Toma de fotos con solape alrededor de un castillo para emplear fotogrametría. (Elaboración propia) .....	31
Figura 10: Dos situaciones donde se muestra la importancia de la distancia para que entre todo el objeto en cámara. (Elaboración propia) .....	35
Figura 11: Posibles escenarios en los que se aplican diferentes ángulos y diferentes alturas para capturar toda la información del objeto. En el primer escenario, arriba a la izquierda, la toma se realiza de forma perpendicular al objeto. El segundo escenario, abajo a la izquierda, presenta una toma con un ángulo de 45°. Y en el último escenario, escena derecha, se sube la altura de la cámara. (Elaboración propia).....	35
Figura 12: Generación de modelos digitales del terreno e inventarios forestales. (Fuente: curso teledetección (11)) .....	37
Figura 13: Levantamiento topográfico tridimensional empleando técnicas de fotomodelado. (Fuente: Colegio de Arquitectos de Murcia (12)).....	38
Figura 14: Topografía de una espalda empleando técnicas de luz estructurada. Fuente: Centro Medicina Física Vilareal ((13)) .....	38
Figura 15: Malla digital obtenida de una nube de puntos tridimensional. (Elaboración propia) .....	39
Figura 16: Imagen capturada perpendicularmente a una de las paredes del castillo de Sagunto. (Elaboración propia) .....	43
Figura 17: Imagen que muestra la luz natural, varía con el tiempo. Por la mañana estaba nublado pero las nubes se terminaron disgregando. (Elaboración propia).....	44
Figura 18: Software que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones GIS, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales (15).....	45
Figura 19: Imágenes orientadas correctamente con el programa Agisoft. (Elaboración Propia).....	45

Figura 20: Nube de puntos inicial creada con Agisoft. (Elaboración Propia) .....	45
Figura 21: Rectificación de la zona de trabajo creada con Agisoft. (Elaboración Propia) .....	46
Figura 22: Modelo de nube de puntos densa junto con mapa de profundidad creada con Agisoft. (Elaboración Propia).....	46
Figura 23: Malla de puntos creada con Agisoft. (Elaboración Propia) .....	47
Figura 24: Modelo 3D creado con Agisoft. (Elaboración Propia) .....	47
Figura 25: Modelos 3D unidos mediante marcadores con el programa Agisoft. (Elaboración propia) .....	48
Figura 26: a) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia).....	50
Figura 27: b) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia).....	51
Figura 28:c) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia).....	51
Figura 29: d) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia).....	51
Figura 30: Recorrido por donde se ha realizado la captura de datos en el castillo de Sagunto. (Elaboración propia) .....	52
Figura 31: Ruinas centrales del foro romano del castillo de Sagunto digitalizadas con Agisoft. (Elaboración propia) .....	53
Figura 32: Ruinas centrales del foro romano del castillo de Sagunto digitalizadas con Agisoft. (Elaboración propia) .....	53
Figura 33: Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto en Sketchfab. (Elaboración propia) .....	54
Figura 34: Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto en Sketchfab con punto interactivo 4. (Elaboración propia) .....	54
Figura 35: Modelos 3D del foro romano del castillo de Sagunto con puntos interactivos 1, 2 y 3 con información de los carteles. (Elaboración propia) .....	55
Figura 36: Tabla salarial de oficinas y despachos Valencia 2019. (Fuente 16) .....	57

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1: Metodología de desarrollo del trabajo final de grado (TFG). (Elaboración propia) .....	20
Esquema 2: Diagrama de flujo de trabajo del caso de uso. (Elaboración propia) .....	21
Esquema 3: Flujo de avance que se pretende alcanzar con el uso de los programas informáticos. (Elaboración Propia).....	25
Esquema 4: División de la fotogrametría. (Elaboración propia) .....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aparatos para la captura de datos, imágenes, para el uso de técnicas de fotomodelado. (Elaboración propia) .....	34
---	----

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL  
CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

Tabla 2: Ventajas del láser escáner. (fuente: 10).....	36
Tabla 3: Material empleado en el levantamiento tridimensional digital. (Elaboración propia) .....	42
Tabla 4: Presupuesto del proyecto (Elaboración propia).....	58

# INTRODUCCIÓN





El término municipal de Sagunto se encuentra ubicado al norte de la provincia de Valencia, con coordenadas geográficas 39°40'35"N 0°16'24"O. Se encuentra limitado por la última estribación de la sierra Calderona, al sur, y a orillas del río Palancia, al norte. Sobre el cerro de la montaña, en el punto más alto de la ciudad, se localiza el castillo de Sagunto, declarado Monumento Nacional en 1931.

A día de hoy, podemos apreciar los distintos muros que envuelven el castillo, permitiéndonos observar los distintos tipos de construcciones y estilos de las diferentes épocas. Podemos encontrar obras de origen íbero, romano, medieval e incluso moderno pertenecientes a las diferentes culturas que ocuparon este castillo.

El principal interés en este trabajo es centrar la atención sobre la plaza de Armas. En esta plaza se aprecian los restos arquitectónicos más importantes de la antigüedad, el foro romano de Sagunto.

El foro romano, objeto de nuestro estudio, era un lugar importante ya que en él se encontraba el centro social, político y religioso de la ciudad. El suelo estaba conformado por losas de caliza gris, las cuales todavía se aprecian algunos fragmentos, y su planta y alzado forman una unidad magníficamente proporcionada.



Figura 2: Cartel que muestra la Planta del Foro Romano del castillo de Sagunto. (Elaboración propia)

En este trabajo se mostrará los beneficios de tener un modelo 3D en la metodología BIM. Por consiguiente, este trabajo se estructura siguiendo este orden: El primero el punto 1- Planteamiento, objetivos y metodología. Después el punto 2- Marco metodológico y estado del arte. Seguidamente el punto 3- Desarrollo del levantamiento topográfico tridimensional en el que se muestran los pasos a seguir para obtener un modelo 3D. El punto 4- Resultados, donde se muestran varios modelos 3D. En el punto 5- Presupuesto, se detallan los gastos que supone efectuar este proyecto. Y finalmente el punto 6- Conclusión, donde se anotan los pasos más importantes del trabajo y por otra parte también se muestran varias recomendaciones para el uso del producto final.

# CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO

## 1. PLANTEAMIENTO.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Cuando en un proyecto constructivo participan varios trabajadores los datos que desarrollan y los conocimientos que aportan no son trabajados en un mismo entorno físico, es decir en la obra en si o en un mismo despacho, sino que cada uno los desarrolla desde diferentes lugares. Pero toda la información está directamente relacionada con el mismo proyecto.

Para que todos puedan disponer de la información actual de la evolución del proyecto sin estar en el castillo se realiza una serie de documentaciones. Estas documentaciones son elaboradas mediante imágenes y descripciones que muestran el estado actual de la obra. Así de esta manera, todos pueden seguir el avance sin acudir al lugar de trabajo. Si la obra se desarrolla acorde al plan establecido todos estarán informados. Y también, si la obra sufre cualquier contratiempo todos sabrán dónde y porqué ha pasado.

En el siguiente diagrama muestra cómo se realiza el proceso de documentación del estado actual del avance de un proyecto.



*Figura 3: Flujo de documentación en un trabajo arquitectónico para reportar el avance del estado actual en una obra. (Elaboración propia)*

Podemos observar, en la secuencia de imágenes anterior, como es el proceso de recopilación de información para elaborar un reporte con imágenes del estado de avance de una obra. Este proceso se desglosa en cuatro partes:

1. **Captura de imágenes:** es la primera de las cuatro partes en la que se obtienen capturas fotográficas de aquello que se desea reportar. Estas fotos serán tomadas de forma distinta dependiendo del interés que se desee reportar.
2. **Anotaciones:** acompañan a las capturas de imágenes y sirven para ayudar con la comprensión del reporte fotográfico. Aquí se incluyen algunas instrucciones que se desean tener en cuenta.
3. **Elaboración de Reporte:** es el punto de recogida de información. Las imágenes tomadas junto con las anotaciones son escritas en un solo documento. En este

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

documento se indicarán las incidencias surgidas en la obra. También se incluyen posibles soluciones y mejoras para el avance de la reconstrucción.

4. Difusión de Información: es la última de las cuatro partes. El objetivo es hacer llegar a todos los integrantes del trabajo la última información sobre el avance de la obra.

Crear este informe con el apoyo de imágenes permite conocer el estado actual de la obra. Todos estos pasos enumerados anteriormente son ejecutados para que exista una retroalimentación entre todos los agentes implicados en la obra, aunque estos sean de distintas áreas.

Con el objeto de evitar errores en la transmisión de la difusión de los reportes, ya sea por parte de una mala interpretación o un escueto resumen de la situación de la obra, lo que se pretende es aportar una comparación visual en la que se pueda observar la situación de la obra y, por otra parte, la que debería de ser de acuerdo con los planos iniciales del proyecto. Con esto se consigue mayor toma de control, lo que se traduce en una reducción de coste en problemas surgidos por alguna equivocación de ejecución en la construcción.

Como consecuencia de todo lo anteriormente mencionado, a día de hoy es factible disponer de los medios tecnológicos que permiten hacer la vida más fácil en este ámbito. Estos medios relacionados con la construcción son:

- a) El BIM (Building Information Modeling) o Modelado de Información de Construcción, es una metodología que permite a todos los trabajadores estar al tanto de la información del proyecto.
- b) El CAD (Computer Aided Design) o Diseño Asistido por Computadora, es un software que facilita la elaboración de diseños en 2D y 3D.

Por tal motivo, lo que se pretende demostrar con este trabajo es la aplicabilidad de la influencia del BIM en procesos comunicativos, en reconstrucciones patrimoniales, y la utilidad de los modelos tridimensionales generados a partir de levantamientos topográficos.

A fin de que todo este planteamiento sirva de punto de partida para explicar todo el trabajo desarrollado cabe plantearse una serie de preguntas:

- 1- ¿Cómo podemos realizar una comparación entre un modelo original y un modelo digital de avance de obra?
- 2- ¿Cómo se actualiza la información de los nuevos avances de obra?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

En consecuencia, la idea clara de este objetivo general a desarrollar es:

Levantamiento topográfico tridimensional del foro romano del castillo de Sagunto empleando técnicas de fotomodelado bajo la influencia del BIM.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Partiendo del objetivo general podemos hallar los siguientes subobjetivos específicos:

- 1- Evolución de la fotogrametría hasta el día de hoy, y su avance con la creación de modelos tridimensionales.
- 2- Análisis de las herramientas más adecuadas para la realización de una nube de puntos tridimensional.
- 3- Control de los pasos para la elaboración del modelo 3D contrastados con los fundamentos de la fotogrametría.
- 4- Valoración del modelo obtenido para sus posibles usos en diferentes ámbitos.

## **1.3. METODOLOGÍA**

### **1.3.1. TIPO DEL TRABAJO.**

Una vez explicado el contratiempo que existe a la hora de actualizar toda la información en mitad de la fase de un proyecto, la explicación a las dos preguntas será útil para poder realizar todo este trabajo de manera que estas nos sirvan de guía. En este apartado se define el tipo de trabajo final de grado que se va a desarrollar, siempre acompañando con una explicación que resuelva los subobjetivos específicos. Se ha optado por el método inductivo para el desarrollo de este trabajo. Según la definición de Julián Pérez Porto y María Merino (2008):

*“El método inductivo o inductivismo es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación”.*

Con esta descripción mencionada particularizamos el estudio de trabajo a la fase de captación de datos del castillo de Sagunto. Con este método científico vamos a trabajar en la toma de datos para conocer el estado del arte y la repercusión actual sobre la metodología a integrar en este trabajo.

Por consiguiente, el objetivo de elaborar este proyecto es demostrar todas las mejoras actuales para realizar un levantamiento topográfico, usando los conocimientos de la fotogrametría, a partir de una toma de datos con una cámara convencional que



# LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

generará un modelo 3D, y también aportar los conocimientos de la metodología BIM en la actualidad.

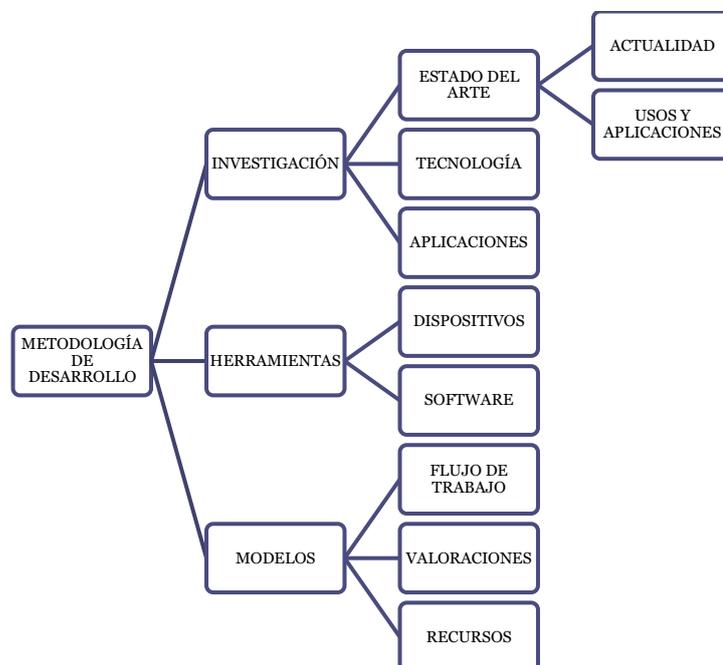
## 1.3.2. INVESTIGACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Tener en cuenta todos los puntos y métodos aplicados, es lo que nos permite conocer en profundidad cómo poner en marcha una actividad (en particular, el levantamiento topográfico tridimensional del castillo de Sagunto empleando técnicas de fotomodelado) y conocer varios aspectos favorables y desfavorables a tener en cuenta al aplicar estos procedimientos. Investigar el estado de arte en el cual se encuentra nuestro trabajo, ¿qué utilidad se le está dando?, ¿qué conocimientos tecnológicos se están usando? y ¿qué futuro se prevé para estas aplicaciones?, es lo que nos permite llevar a cabo cierta coherencia en el desarrollo del proyecto.

Para organizar las respuestas de todas estas preguntas se redacta una serie de puntos a tratar que nos facilitan la explicación del proyecto como:

- Dar fluidez al tema.
- Usar un modelo para el trabajo.
- Encontrar los beneficios e inconvenientes.
- Valorar el uso de los recursos empleados.

A continuación, se establece un esquema que muestra el modelo que se aplica en el trabajo de este proyecto.



Esquema 1: Metodología de desarrollo del trabajo final de grado (TFG). (Elaboración propia)

En el esquema anterior se muestra la fluidez que tiene el trabajo a desarrollar. La metodología del trabajo se divide en las siguientes tres fases:

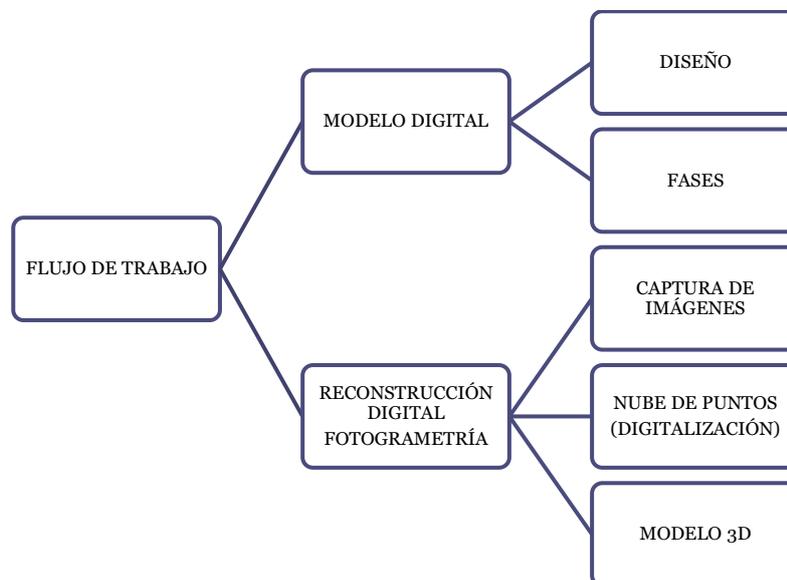
Investigación: es la fase que se dedica a indagar, buscar y recoger todo aquello relacionado con el tema del trabajo. La información que se busca es aquella que se relaciona directamente con el conocimiento actual de los métodos empleados para hacer levantamientos fotogramétricos, creación de modelos tridimensionales, el estado actual de los conocimientos relacionados con la fotogrametría y sus posibles usos para el futuro.

Herramientas: fase después de haber investigado todo lo relacionado con el trabajo, métodos y desarrollos, en referencia a todos los aparatos utilizados para realizar el proyecto, así como del software empleado para la reconstrucción 3D.

Modelos: fase que instaura un flujo de trabajo en la definición del prototipo tridimensional y en la aportación que se le da a la metodología BIM para comparar y mostrar ciertas valoraciones encontradas.

### 1.3.3. CASO DE USO Y FLUJO DE TRABAJO

Tras concluir con las definiciones de investigación y recolección de datos y con la elección del método inductivo para la elaboración de este trabajo, se procede a comenzar con el manejo de los instrumentos para la recolección de datos para su posterior uso en la creación del modelo digital tridimensional.



Esquema 2: Diagrama de flujo de trabajo del caso de uso. (Elaboración propia)

En este caso el trabajo se centra en el foro romano del castillo de Sagunto, ubicado en lo alto de la montaña, al cual se le aplicaran las técnicas necesarias para seguir el flujo de trabajo marcado.

Este esquema, el esquema número 2, muestra como está organizado el proyecto de estudio en cuestión. Para ello se ha decidido dividirlo en dos partes:

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

- **Modelo Digital:** es la parte desde la que se empieza a ejecutar el trabajo, ha sido diseñada por ingenieros y arquitectos y lo representan a través de planos e imágenes. Esta parte se encarga del diseño y las fases de trabajo que se deben realizar.
- **Reconstrucción Digital:** En esta otra parte se realiza la captura de datos que se va a realizar mediante toma fotográfica al castillo de Sagunto para su posterior creación del fotomodelado en 3D que servirá para la comparación BIM en el avance del proyecto.

Antes de comenzar se tratará una serie de aspectos a tener en cuenta como: métodos de levantamiento, la tecnología en el campo del modelado 3D desde sus principios y como se aplican esos conocimientos en la actualidad.

**CAPÍTULO 2.**  
**MARCO METODOLÓGICO Y ESTADO**  
**DEL ARTE**



## 2. MARCO METODOLÓGICO Y ESTADO DEL ARTE.

El siguiente capítulo reúne la información precedente a las materias que se tratan en este trabajo, como son las ciencias de la Ingeniería, la Construcción e Informática aplicada al sector de la creación de modelos virtuales 3D. Esta información nos permitirá conocer la actualidad de las ciencias y el estado actual de cómo se están aplicando.

La intención de este capítulo, es clasificar toda la información que se ha usado en este trabajo a través de una serie de cuestiones mencionadas al final del apartado del planteamiento, usando la información consultada para aclarar conceptos.

Para empezar, este marco se centra en mostrar la aplicación del BIM en los trabajos de reconstrucción. Los controles de calidad que se llevan a cabo en un levantamiento exigen una serie de revisiones y puntos a tener en cuenta para obtener un fotomodelado correcto del lugar. Estas revisiones se realizan sobre la propia obra en sí y en sus fotografías tomadas. Además, no solo se exigen controles en la obra sino también sobre la ejecución de la técnica llevada en el levantamiento fotogramétrico y en la toma de fotografías.

Por consiguiente, una vez revisada la información que se ha empleado en este estudio y en la obtención del modelo tridimensional del castillo, vamos a ver las ventajas que nos ofrece la nube de puntos obtenida del proyecto.

El avance de la tecnología en el ámbito de la construcción ha contribuido con una mayor rapidez y productividad en las actividades de las construcciones. Por esta razón, cuando se contempla el estudio de un proyecto se debe conocer que este está dividido en fases que abordan desde su principio hasta la finalización de la obra. Es normal que a día de hoy este sector haya decidido informatizarse y actualizarse con programas que obedecen la metodología BIM. Gracias a esta metodología se logra aunar todas las disciplinas y trabajos en una sola aplicación.

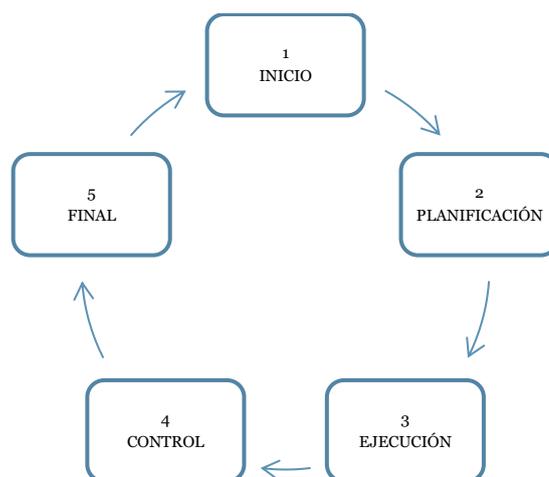


Figura 4: Fases de desarrollo de un proyecto constructivo mostrado de forma esquemática. (Elaboración propia)

La figura 2 muestra cómo sería la evolución una obra: un ciclo constructivo dividido en 5 fases. En todas ellas se debe aplicar la metodología BIM ya que para el año 2020 en España se impuso esta norma.

Con este objetivo, se pone en práctica el uso de ciertos programas informáticos que coordinen el trabajo de manera más eficaz. En este proyecto vamos a tener mayor enfoque en ciertas fases de trabajo, la fase 3 y la fase 4. Estas fases, la de ejecución y la de control, están enlazadas con la supervisión en construcción y gabinete.

Resumiendo, para impulsar el desarrollo del trabajo vamos a centrarnos en estas fases, ejecución y control. El empleo de la metodología descrita en este trabajo logra mostrar cómo se aplica la tecnología de los programas usados con este fin, y también vemos como se crea un flujo de avance.



*Esquema 3: Flujo de avance que se pretende alcanzar con el uso de los programas informáticos. (Elaboración Propia)*

## **2.1. CONTROL DE CALIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES.**

Los controles de calidad que se llevan a cabo en las construcciones sirven para tener presente el avance del proyecto, conocer si se está ejecutando de acuerdo con el plan inicial establecido y tener un informe que sirva para comparar más adelante.

Queda evidenciado pues la importancia de tener unos registros en los controles de calidad. Deben ser almacenados digitalmente y poder visualizarse en cualquier momento junto con sus respectivas anotaciones para cualquier aclaración.

Cuando todo el control es supervisado por todos los trabajadores implicados (encargados, técnicos, ingenieros, arquitectos...) se reducen los fallos que podrían afectar a varios ámbitos: financieros, sociales y monetarios.

## **2.2. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA DE UN PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN.**

### **2.2.1. CONTROL Y REGISTRO FOTOGRÁFICO**

El registro de información que se realiza en un proyecto es obtenido mediante tomas fotográficas por su mayor sencillez y rapidez. Estas tomas permiten visualizar con mayor detalle partes de la obra que se deseen. Sirven para explicar, aclarar dudas sobre la obra a encargados, expertos, etc. Porque, por ejemplo, es difícil explicar con palabras la descripción de un blandón, aparición de fisuras en elementos hormigonados, espesores elevados de capa, golpes de maquinaria en elementos hormigonados, etc. (01)

A continuación, más ventajas de la importancia de tomar fotos de la obra:

- Se consigue tener un seguimiento visual del proyecto.
- Dependiendo de la finalidad de los registros fotográficos tendremos unos parámetros u otros.
- Analiza el ritmo de progreso de la obra. Y gracias a esto se puede planificar las siguientes acciones.
- El almacenamiento de las imágenes es más seguro al guardarse de forma digital.
- Ayuda bastante cuando se adjuntan estas imágenes con los informes de obra.

#### **2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.**

Llevar un control con las imágenes de la obra es fundamental para tener una clara clasificación de estas. Es importante etiquetar bien cada imagen para poder encontrarla fácilmente en caso de necesitarla. Compartir estos registros visuales con los distintos grupos de trabajo se hace más fácil con programas informáticos que obedecen la metodología BIM.

Dependiendo de la función que se quiera dar a las imágenes estas estarán clasificadas por:

- Proyecto
  - o Reconstrucción
  - o Protección del arte
  - o Inspección
- Función
  - o Antes de empezar una construcción o reconstrucción
  - o Salvar el arte arquitectónico o pinturas de edificios
  - o De seguimiento de una obra (con cierta periodicidad)
  - o Para obtener modelos virtuales

#### **2.2.1.2. ÁREAS BENEFICIADAS DE LOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS.**

Siguiendo la metodología de trabajo colaborativo BIM la coordinación de datos y actualización de los mismos es más sencillo ya que la modificación de cualquier cosa estará al alcance de todos los participantes de las diferentes disciplinas de la obra. Esta

metodología agrupa toda la información del proyecto -geométrica o 3D, tiempos o 4D, costes o 5D, ambiental o 6D, y mantenimiento o 7D- en un modelo digital desarrollado por todos sus trabajadores (02)

### **2.3. RECONSTRUCCIÓN DIGITAL**

En este apartado se detallan los pasos a realizar en una reconstrucción digital de una estructura. Los principales componentes para este fin son: un dispositivo y un software. El correcto uso de estos componentes garantizará el modelado tridimensional de cualquier objeto. Con el modelado 3D obtenido vamos a poder realizar varias acciones como: retoques estéticos, agrandar el modelo, superponerlo en diferentes escenarios, entre otras. Mediante impresoras 3D podremos obtener el modelo digital en formato físico. Otra finalidad es añadir el modelo obtenido a la aplicación BIM.

Veamos qué factores debemos tener en cuenta antes de realizar un levantamiento topográfico tridimensional:

- Área de estudio
  - o Conocer la finalidad en una reconstrucción digital es muy importante. Hoy en día el uso de estos levantamientos se ha popularizado y su campo se ha extendido por el sector de la ingeniería, la medicina, la geología e incluso por el mundo de los videojuegos. Dependiendo del sector el enfoque y los parámetros variarán y se usarán unos instrumentos u otros. A otro nivel, se debe de tener en cuenta el tipo de trabajo que se realiza: académico o laboral.
- Tipo de objeto
  - o Dependiendo del objeto que se va a levantar digitalmente será mejor utilizar unos aparatos u otros (cámara, dron, laser escáner...) así como la técnica de adquisición. El tamaño del objeto a levantar condicionará la selección de las herramientas y la técnica de actuación a emplear.
- Superficie
  - o El tamaño de la superficie es un parámetro relevante a tener en cuenta ya que este condicionará el volumen de datos a extraer para obtener una buena precisión. Por eso conviene tener buena resolución en las cámaras, para que el producto final sea afín a la realidad.
- Espacio
  - o Con espacio nos referimos a la distancia que abarca el objeto a reconstruir ya que a mayor tamaño se necesitarán aparatos de mayor calidad. Estos aparatos suelen ser más caros, pero se consiguen mejores modelos 3D.

El avance de la tecnología encargada de realizar levantamientos tridimensionales ha ido desarrollando varias técnicas que cumplen el mismo objetivo, obtener un modelo digital del objeto. A continuación, veremos algunas de estas técnicas:



### 2.3.1. LUZ ESTRUCTURADA

Hoy en día existen muchas tecnologías enfocadas en la generación de modelos tridimensionales. Una de estas tecnologías es la llamada Luz estructurada. Esta se basa en la triangulación trigonométrica y en la proyección de un patrón de luz sobre el objeto a levantar digitalmente. Una de las principales características es que se trata de una técnica directa.

El funcionamiento de la Luz estructurada se basa en calcular las deformaciones del patrón que experimenta la luz al chocar con el objeto. Lo bueno de esta tecnología es lo veloz que digitaliza un objeto, apenas dos segundos, obteniendo grandes precisiones y alta resolución. Por otra parte, una de las desventajas de este sistema es que es sensible a las condiciones de iluminación, las bombillas distorsionan el haz del propio sensor y hacen que trabajar en el exterior sea difícil.

El patrón, el haz de luz, es lanzado sobre el objeto utilizando un proyector LCD u otra fuente de emisión de luz estable. Dependiendo del objeto a representar digitalmente será más conveniente utilizar un patrón u otro, estos van desde rallas a puntos de colores diferentes. (03)

En esta tecnología se debe contar con cámaras y proyectores. Unos recogen la información y otros proyectan el patrón. Por lo general, estos aparatos se encuentran como se observa en la siguiente figura 3:

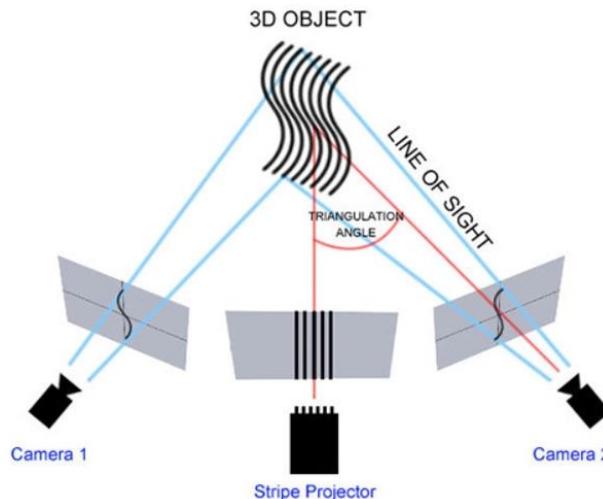


Figura 5: Representación del sistema de luz estructurada. Fuente: 3D Natives (03)

### 2.3.2. TIEMPO DE VUELO

Esta tecnología se basa en calcular el tiempo que tarda en ir y volver un haz de luz emitido que choca con el objeto a levantar. Uno de los inconvenientes de este sistema es que aquellos objetos que presenten un color negro o transparente no serán calculados correctamente.

Este método es usado generalmente para calcular grandes objetos, como construcciones, que no necesiten mucha precisión. La precisión de esta técnica es muy

baja porque influyen varios factores que distorsionan la señal, algunos de ellos son: la temperatura, la humedad, la señal...

Este tipo de técnica no se aconseja usar en entornos que presenten personas o animales ya que el rayo láser de estos aparatos puede causar daños. (04)

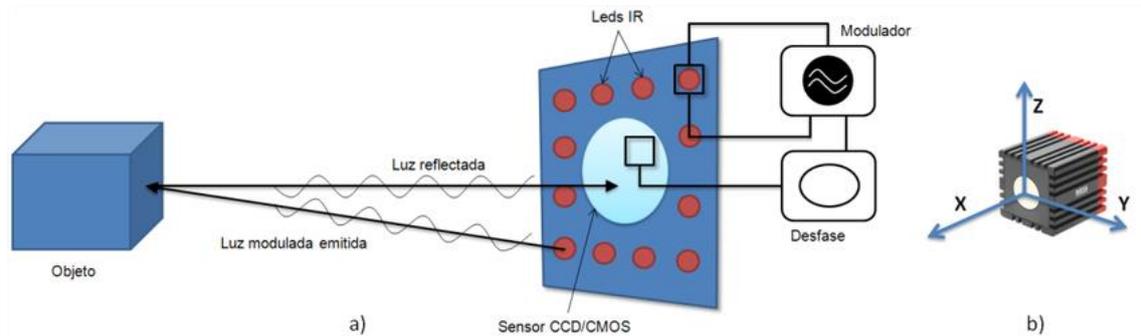


Figura 6: Esquema del funcionamiento del sistema tiempo de vuelo. La luz es emitida sobre el objeto y la luz reflejada es la que recibe. Fuente: (04)

### 2.3.3. TRIANGULACIÓN

La tecnología de triangulación comparte similitudes con otra técnica vista anteriormente, la luz estructurada, ya que se rige por el mismo fundamento de buscar la posición del objeto en el espacio.

Así pues, su estructura de captación de datos consta de dos dispositivos, una cámara y un emisor láser. El rayo láser choca con el elemento a levantar y este es registrado con la cámara. Con el cálculo de los ángulos y conociendo las características del láser y de la cámara se obtiene la ubicación del punto en el espacio con buena precisión. La resolución que se obtiene ronda sobre décimas de micrómetro. El inconveniente de esta técnica es que abarca solo unos cuantos metros de longitud. (05)

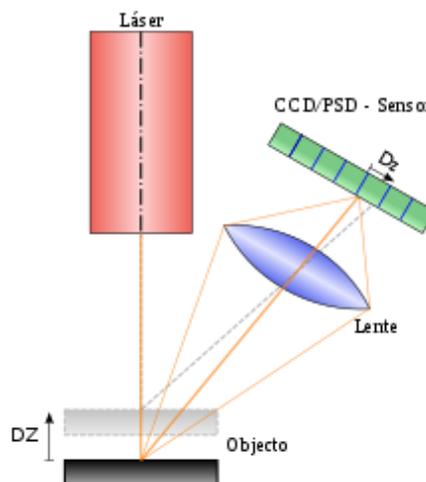
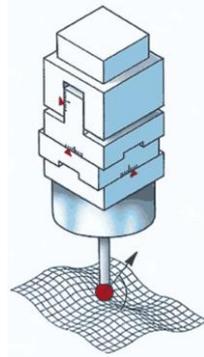


Figura 7: Esquema del funcionamiento de la técnica de triangulación digital. Fuente: Georg Wiora (Wikipedia) (05)

#### 2.3.4. DE CONTACTO

Sistema de reconstrucción digital muy preciso. Esta tecnología se basa en tocar el objeto a representar mediante un palpador acoplado en una máquina. El tiempo de demora es bastante elevado dado que cualquier movimiento por más pequeño que sea desestabiliza el escaneo. Es una técnica muy poco recomendada para la protección y conservación del patrimonio cultural ya que al estar en contacto directo con el bien arqueológico este puede ser dañado por el palpador. (06)



*Figura 8: Demostración de la tecnología de contacto tocando físicamente el objeto a levantar tridimensionalmente. Fuente: All3dp (06)*

#### 2.3.5. FOTOGRAMETRÍA

La técnica de la fotogrametría se remonta varios siglos atrás, pero comenzó a tener más prestigio a mediados del siglo XVIII donde fueron aplicados los fundamentos de la óptica. Obtuvo un buen desarrollo práctico por lo que su uso se extendió aportando beneficios en la toma de imágenes y reconstrucciones. Por consiguiente, esta técnica fue muy bien recibida por varios artistas como pintores y escultores que la pusieron en práctica para la creación de sus obras.

Apoyándose en modelos y métodos matemáticos, el trazado de diseños técnicos avanzó de forma significativa en los levantamientos en perspectiva del dibujo en alzado. El continuo avance de esta técnica fue creciendo en el área de la cartografía donde se aplicaron estos conocimientos en los levantamientos de construcciones, edificios y monumentos. Tras la introducción de la cámara, se comenzó a realizar lo que se conoce como fotografía terrestre hasta su posterior evolución de fotografía aérea logrando las primeras capturas de la cartografía base. El constante uso de esta tecnología hasta la actualidad ha sido gracias al desarrollo e innovación de la tecnología aplicada a la fotogrametría.

Viendo toda esta evolución, se puede decir que la fotogrametría es una tecnología imprescindible en el campo de la confección de modelos tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales. Este avance se centra en la posibilidad de poder medir a través de las fotos, sin estar en el terreno donde se encuentre el edificio.

La era digital de la fotogrametría llega por el desarrollo de la tecnología, los ordenadores y programas informáticos ahora son capaces de realizar más trabajo en poco tiempo. Estos nuevos dispositivos son capaces de extraer mayor cantidad de datos de las fotografías consiguiendo así un modelo digital más exacto y fiel a la realidad.

En definitiva, la fotogrametría se usa para la reconstrucción digital por la facilidad de tratar las imágenes, los formatos sencillos y la fácil restitución. Tan solo se deben cargar las imágenes al ordenador, procesarlas a través del programa y así podremos ver la ubicación de los puntos de referencia.

### 2.3.5.1. DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA.

La fotogrametría es, según H. Bonnebal, (1972):

*“la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.”* (07).

Hoy en día, la aplicación de la tecnología fotogramétrica es usada en el control de obras, canteras, levantamientos topográficos tridimensionales, conservación del patrimonio histórico y cultural, y grandes superficies. Todo esto gracias a los avances digitales en la tecnología informática. Al realizar varias fotografías alrededor de una construcción podemos hallar puntos de referencia para la generación de nubes de puntos. El tiempo de procesado de datos dependerá de la cantidad de puntos y del equipo que se esté usando. Con el programa informático se puede modificar esta nube de puntos eliminando aquellas zonas que no sean de nuestro interés.

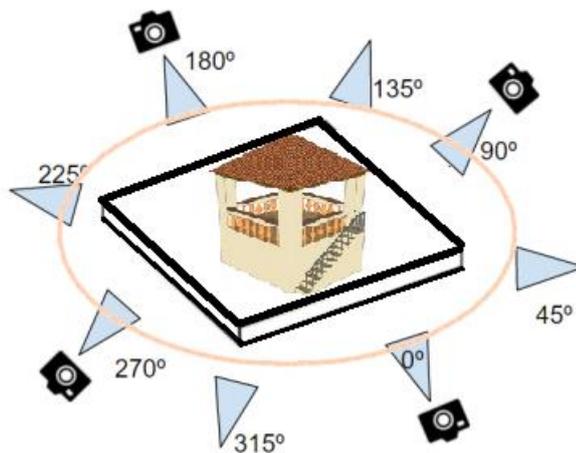


Figura 9: Toma de fotos con solape alrededor de un castillo para emplear fotogrametría. (Elaboración propia)

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

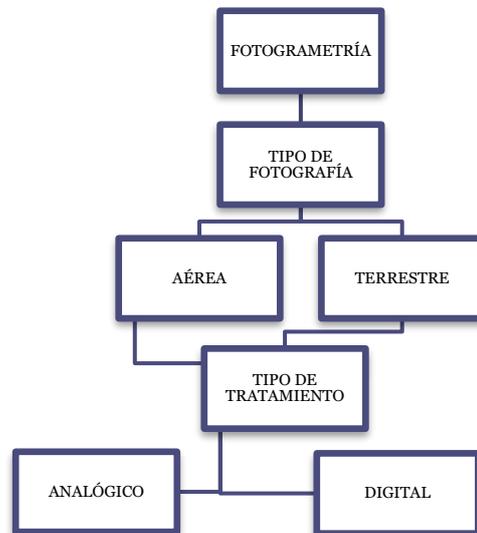
En la imagen anterior, figura 7, podemos apreciar la toma de fotografías alrededor del castillo con cierto solape para poder aplicar las técnicas de la fotogrametría. Al tener puntos en común en las fotos podremos obtener una nube de puntos del objeto escaneado.

### 2.3.5.2. PRINCIPIO DE LA FOTOGRAMETRÍA

El fundamento de la fotogrametría se puede definir como el conjunto de métodos y operaciones que por medio de la imagen de un objeto puede obtenerse su apariencia y tamaño.

Existen una serie de variantes que clasifican la fotogrametría en diferentes subapartados. Dependiendo de si la toma fotográfica se realiza desde tierra o desde aire se considerará fotogrametría terrestre o fotogrametría aérea, respectivamente. También se subdivide en dos apartados más dependiendo del tratamiento que se aplique a estas fotos, como puede ser el tratamiento analógico si se hace con restituidor o el tratamiento digital si se hace con ordenador.

### 2.3.5.3. DIVISIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA.



Esquema 4: División de la fotogrametría. (Elaboración propia)

La división que se aprecia en el esquema 4 se basa en el artículo de la página 4Dmetric del 18 de mayo 2020 (08):

Dependiendo el tipo de fotografía:

1. Fotogrametría Terrestre: se considera terrestre por realizar las fotos desde tierra, es decir, a la misma altura que el elemento a fotografiar. Tiene una gran aplicación en edificios.
2. Fotogrametría Aérea: a medida que aumenta la altura de fotografiar esta pasa a considerarse aérea. Estas cámaras están instaladas en aviones y drones que realizan varios barridos para obtener solape. Con estos vuelos se consigue abordar mayor campo y ha sido utilizado principalmente para la elaboración de cartografía.

Dependiendo del tipo de tratamiento:

1. Fotogrametría analógica: tratamiento con menos uso en la actualidad. Se trata de la realización que depende de la participación de un usuario encargado de realizar maniobras de escalado y alineado con los pares estereoscópicos. Todo esto se realizaba con grandes aparatos, los restituidores. Con el avance de los programas informáticos el tratamiento de las imágenes se fue desarrollando hasta conseguir mayor detalle.
2. Fotogrametría digital: actualmente el tratamiento con más uso. La informática ha revolucionado la reconstrucción espacial de las fotografías tratando los datos de forma numérica. Todo esto ha dado lugar al desarrollo de nuevos softwares relacionados con la reconstrucción tridimensional.

#### **2.3.5.4. MÉTODO GENERAL DE LA FOTOGRAMETRÍA**

La técnica de la fotogrametría es el resultado de la utilización de métodos basados en las matemáticas que actúan sobre las imágenes obtenidas digitalmente. La posibilidad de tratar información bidimensional, a partir de fotografías planas, y convertir esta en tridimensional es algo realmente novedoso. La aplicación del método radica en el estudio de puntos comunes a dos fotografías o más permitiendo proyectar estos puntos en un escenario tridimensional.

A mediados de la década de los sesenta el ingeniero Henri Bonneval presentó la metodología general de la fotogrametría para suplir con la innovación de la fotogrametría analógica aérea estereoscópica surgida a través de las imágenes obtenidas de los vuelos en aviones. Este estudio se centra en la idea de tratar las proyecciones como haces perspectivas con sus formaciones y sus construcciones. Un haz perspectivo es una agrupación de rectas que van desde el plano de un cuerpo reconstruido tridimensionalmente hasta un punto exterior llamado centro de proyección. Las cámaras emplean esta metodología ya que al obtener una fotografía esta ha sido registrada por este haz. (07)



## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

### a) Aparatos de captura.

A continuación, se indican en la siguiente tabla los diferentes aparatos encargados de registrar la información del lugar a levantar tridimensionalmente.

Tabla 1: Aparatos para la captura de datos, imágenes, para el uso de técnicas de fotomodelado.  
(Elaboración propia)

	Cámara fotográfica
	Teléfono móvil
	Drone
	Láser escáner

Todos los aparatos vistos en la tabla anterior son capaces de registrar información del elemento de estudio. Sin embargo, para conseguir la mejor calidad es necesario ajustar una serie de variables que se mencionan a continuación.

- Cámara fotográfica:
  - Calibración
  - Elección del entorno
  - Distancia y circunferencia focal
  - Enfoque
- Calibración: procedimiento que se realiza antes de comenzar con el trabajo de captura de datos. Consiste en adaptar la cámara para obtener fotografías claras, para ello se deberá elegir un programa adecuado. Si no se realizan estos ajustes la imagen resultante puede contener errores, manchas o desenfoces ocasionando la pérdida de calidad y dificultad para hallar los puntos homólogos.
- Elección del entorno: variable muy relacionada con la que acabamos de ver, ya que para ajustar la cámara se debe de tener en cuenta la elección del entorno. Se debe de tener en cuenta: la luz que va a incidir sobre el objeto, ya sea natural o artificial, el lugar donde está ubicado el objeto, dentro de un edificio o en el

exterior, y el lugar del objeto en el escenario, fácil acceso a todas las caras del objeto o dificultades para llegar a alguna.

- Distancia y lente focal: Esta variable también depende del entorno y por consiguiente de la calibración de la cámara. Cuando el objeto de estudio es más grande se debe elegir una distancia correcta para que entre en la imagen. También, seleccionamos el tipo de lente focal en función de la dimensión del objeto. (Ver figura 8)

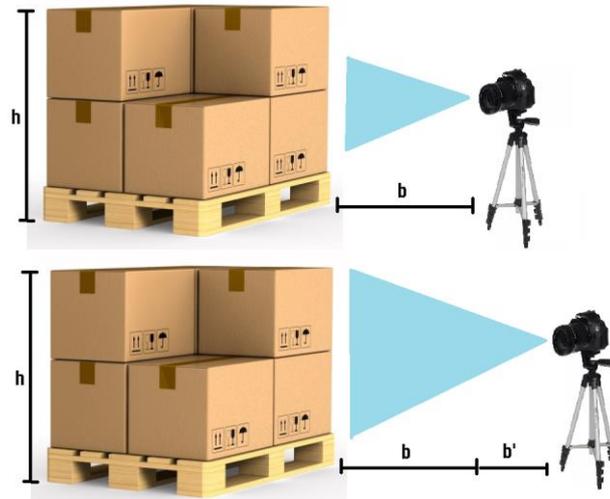


Figura 10: Dos situaciones donde se muestra la importancia de la distancia para que entre todo el objeto en cámara. (Elaboración propia)

- Enfoque: una vez establecidas las variables anteriores en función del tamaño del objeto, el lugar y distancia de cámara se debe corregir el enfoque y dirección de ángulo de cámara. Es recomendable realizar tomas fotográficas perpendiculares al objeto. Hay que rodear el objeto para tener todas las caras. En caso de necesitar fotos de diferentes partes podremos variar la altura  $h$  del trípode, así como el ángulo de captura.

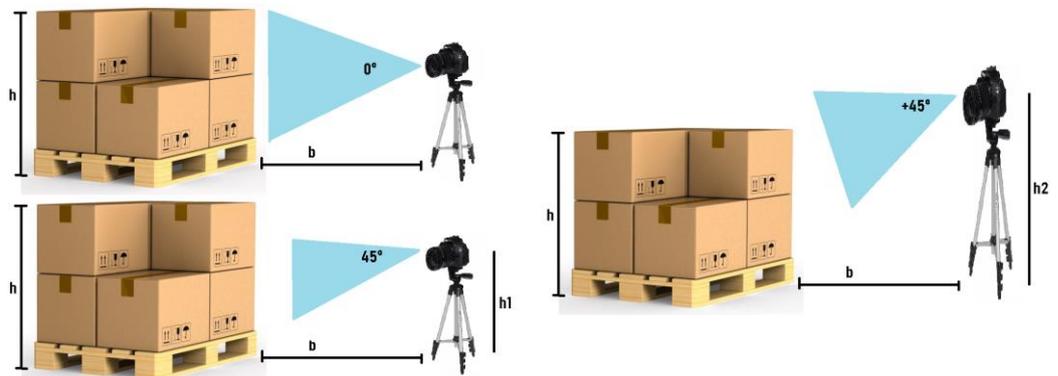


Figura 11: Posibles escenarios en los que se aplican diferentes ángulos y diferentes alturas para capturar toda la información del objeto. En el primer escenario, arriba a la izquierda, la toma se realiza de forma perpendicular al objeto. El segundo escenario, abajo a la izquierda, presenta una toma con un ángulo de  $45^\circ$ . Y en el último escenario, escena derecha, se sube la altura de la cámara. (Elaboración propia).

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

Todas estas variables deben tenerse en cuenta para obtener la mejor calidad y facilitar el proceso de reconstrucción digital.

- Drones:
  - Trayectoria de vuelo.
  - Solapes.
  - Orientación de la cámara.

Cuando se trabaja con un dron, vehículo aéreo no tripulado controlado a distancia, debemos tener en cuenta: la trayectoria de vuelo definida para abarcar todo el objeto, la existencia de un solape suficiente entre imágenes, y la posición de la cámara que deberá estar apuntando al suelo, es decir, perpendicular a este. Respecto a los solapes, se recomienda un solape del sesenta por ciento lateral y un setenta por ciento frontal. (09)

- Láser escáner:
  - Zona a escanear.
  - Programas compatibles con el láser escáner.

El láser escáner presenta una gran ventaja sobre los aparatos anteriormente mencionados, ya que directamente proyecta miles de puntos sobre la superficie del objeto a levantar y crea una nube de puntos al instante. En la siguiente tabla se recogen las ventajas respecto de la cámara y el dron.

Tabla 2: Ventajas del láser escáner. (fuente: 10)

Eficiencia	la relación tiempo/detalle permite incrementar la productividad del trabajo.
Escaneo	Además de obtener el escaneo del objeto permite obtener información de superficies y otros detalles.
Rapidez	Consigue registrar hasta un millón de puntos por segundo mediante barridos del láser escáner.
Seguridad	El riesgo del operador se reduce ya que basta con instalar el láser en el lugar deseado.
Exactitud	Mucha precisión en la medición, pudiendo llegar a décimos de milímetro en distancia.

### b) Reconstrucción del objeto.

Después de haber fotografiado todo el objeto pasamos a la etapa de reconstrucción digital. El proceso de reconstrucción se realiza en gabinete, en un despacho, con la ayuda de un ordenador y el correspondiente software, Agisoft Metashape. Este software permite crear modelos tridimensionales a partir de las imágenes tomadas por la cámara. Este proceso se realizado de forma semiautomática, ya que todos los procesos internos son ejecutados por algoritmos matemáticos como la orientación del objeto.

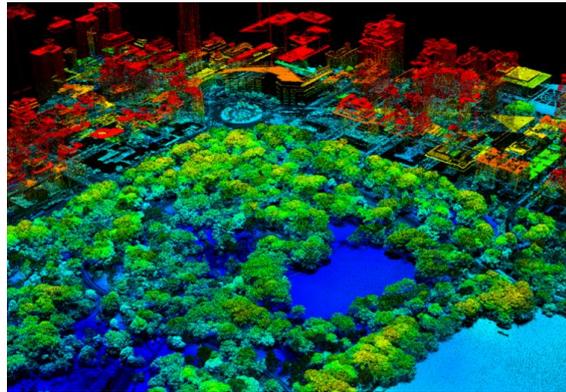
### **2.3.5.5. Actualidad de la fotogrametría.**

La fotogrametría ha repercutido en varios ámbitos de la actualidad. La finalidad inicial de esta técnica fue desarrollada con el único objetivo que la realización de mapas topográficos. No obstante, los campos de la medicina, la arqueología y otros más han sabido aprovechar esta ciencia en su favor. A medida que la sociedad avanza con el desarrollo de la tecnología, la aplicación de la fotogrametría en los diferentes trabajos ha resultado favorable para varios colectivos. Todo esto ha logrado que llame la atención al sector de la industria, entre otros, por mostrar avances para la comunidad.

A continuación, se enumeran actividades que se aprovechan de la fotogrametría:

- 1- Colocación de carreteras.
- 2- Rastros catastrales.
- 3- Cartografía y mapas forestales.
- 4- Protección y reconstrucción de edificios históricos.
- 5- Rehabilitaciones.
- 6- Medicina.

Estas imágenes que se muestran a continuación plasman la aplicación de la tecnología fotogramétrica en las diferentes actividades.



*Figura 12: Generación de modelos digitales del terreno e inventarios forestales.  
(Fuente: curso teledetección (11))*

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

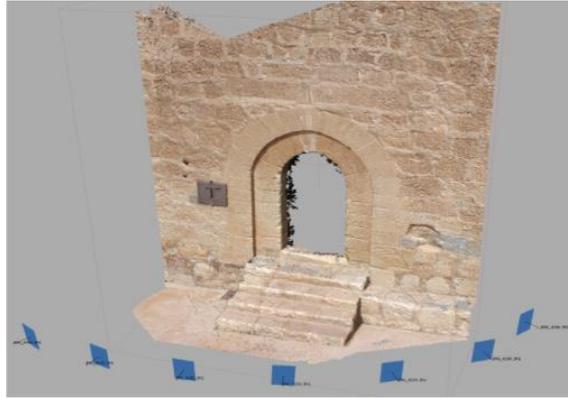


Figura 13: Levantamiento topográfico tridimensional empleando técnicas de fotomodelado. (Fuente: Colegio de Arquitectos de Murcia (12))

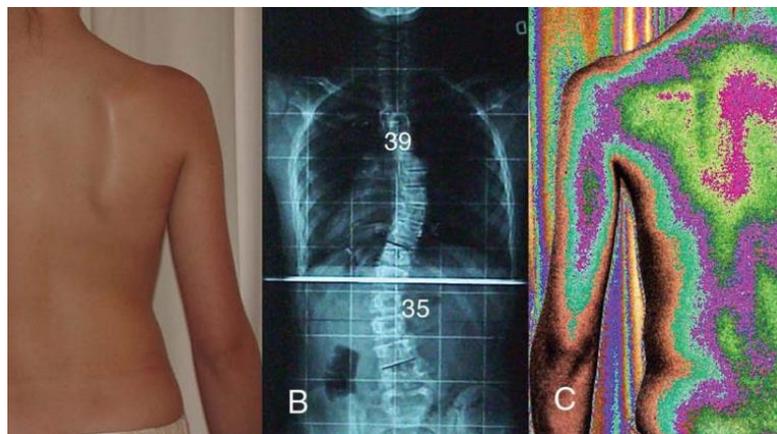


Figura 14: Topografía de una espalda empleando técnicas de luz estructurada. Fuente: Centro Medicina Física Vilareal ((13))

Todas estas figuras generan una colección de miles de puntos que son representados tridimensionalmente en forma de nubes de puntos.

En los próximos puntos se mostrará más información sobre la generación de la nube de puntos a partir de varias imágenes fotográficas.

## 2.5. NUBE DE PUNTOS

### 2.5.1. DEFINICIÓN

La empresa IDEA Ingeniería define, en su publicación de 2019, que una nube de puntos es:

*“Una nube de puntos 3D es el primer producto resultante del escaneado láser o la fotogrametría digital. Está formado por millones de puntos posicionados tridimensionalmente en el espacio, formando con exactitud milimétrica una entidad física y representando su superficie externa. La nube de puntos contiene una amplia información métrica sobre las superficies escaneadas, así como la relativa a sus colores y reflectividad de los materiales.”* (14)

Tras la definición queda claro cuál es el objetivo de la nube de puntos. El principal objetivo es favorecer el trabajo de reconstrucción digital, conseguir resultados inmediatos, menguar costes y lograr trabajos de buena calidad.

Una vez tenemos la nube de puntos el siguiente paso es obtener una malla del modelo digital.

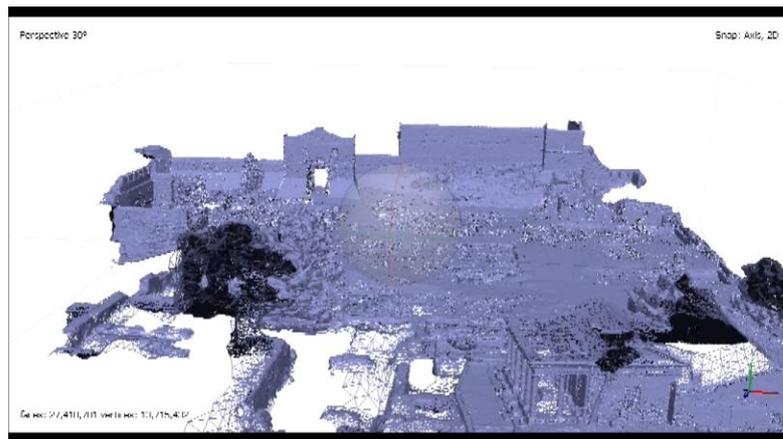


Figura 15: Malla digital obtenida de una nube de puntos tridimensional. (Elaboración propia)

En la Figura 13 se aprecia como todos los puntos de la nube de puntos son unidos entre si mediante una base triangular. Esta formación de triangulaciones por todo el modelo forma la malla digital del proyecto.

Todo el proceso de reconstrucción digital se verá en el siguiente capítulo. En él se muestra todo el proceso del trabajo, desde la toma fotográfica hasta la obtención del modelo tridimensional final. Para organizar el capítulo 3 se tendrá en cuenta una serie de aspectos:

- Material utilizado
- Puntos de vista de captura
- Distancia
- Iluminación
- Proceso
- Resultado final

CAPÍTULO 3.  
DESARROLLO DEL  
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO  
TRIDIMENSIONAL

### **3. DESARROLLO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL.**

En este capítulo se van a desarrollar las actividades enfocadas a la obtención final de un modelo digital 3D del foro romano del castillo de Sagunto. Todo este proceso está dirigido a mostrar paso a paso como se aplican las técnicas de fotomodelado en la reconstrucción digital.

El trabajo digital está desarrollado para abarcar toda la operatividad y relación de las diferentes herramientas y metodologías de labor puestas en funcionamiento, con el fin de analizar el progreso e implementación en la reconstrucción tridimensional tal y como se mencionó en la metodología inicial del trabajo.

Por lo cual, el objetivo es demostrar que se puede realizar un levantamiento topográfico tridimensional por medio de un sistema de captura ligero, y señalar sus posibles usos en la ejecución de futuros proyectos.

#### **3.1. MATERIAL UTILIZADO.**

Para la realización de este proyecto se ha utilizado alguno de los aparatos de captura mencionados en la Tabla 1. Con este material se ha conseguido realizar el fotografiado de los elementos a reconstruir. Con las fotos digitalizadas se elabora la nube de puntos 3D para proseguir con el resto de procesos.

La elección del material de captura utilizado en este trabajo se rige por algunos aspectos vistos en el apartado 2.3. Reconstrucción Digital, pero también se tiene en cuenta el criterio establecido de usar un dispositivo de captura ligero y económico, por lo tanto, el material que se ha empleado en este trabajo es:

- La toma fotográfica se ha realizado con un dispositivo de captura de la marca Canon modelo EOS700D. Es una cámara fotográfica que puede obtener fotos con buena resolución de imagen y por consiguiente poder tener mejor calidad al aplicar las técnicas de fotogrametría.
- Como hardware empleado en este proyecto se dispone de un ordenador Workstation Gaming, especificaciones en la tabla 4, que soporta programas de diseño gráfico. En él se ha realizado todo el procesado de imágenes. Es necesario disponer de un equipo potente para poder trabajar con el software Agisoft.

# LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

Tabla 3: Material empleado en el levantamiento tridimensional digital. (Elaboración propia)

EQUIPO		ESPECIFICACIONES
<b>ORDENADOR WORKSTATION GAMING</b>		PROCESADOR INTEL XEON 2689HQ MEMORIA RAM 32 GB TARJETA GRÁFICA ATI RADEON RX 470 4GB
<b>CANON EOS700D</b>		SENSOR CMOS APS-C (22.3 X 14.9 mm) 18 megapíxeles RESOLUCIÓN MÁXIMA 5.184 X 3.456 píxeles ISO 100-25600

## 3.2. SOFTWARE DE RECONSTRUCCIÓN DIGITAL.

Hoy en día existen muchos programas para la creación de modelos 3D. Podemos clasificar estos programas en dos partes: software de licencia libre y software de licencia comercial. Esta diferencia de programas viene determinada por la finalidad que se desee obtener, mientras que unos son gratis hay otros que son de pago y son más específicos con el propósito. Para nuestro trabajo en concreto se ha optado por usar un software de pago, el software Agisoft Metashape Profesional.

La elección de usar este programa tanto para el diseño como para la reconstrucción digital fue por el gran enfoque que tiene en la fotogrametría, ya sea para realizar la modelación de un artefacto o realizar un mapeado de una excavación. Otro punto a su favor es la capacidad que posee para procesar imágenes de cualquier cámara digital y sin necesidad de calibrar.

Agisoft Metashape Profesional es un producto de software independiente que efectúa el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones GIS, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas. (15)

### **3.3. DIGITALIZACIÓN DE LOS MODELOS.**

Llegados a este punto, antes de iniciar la digitalización, y teniendo en cuenta los apartados anteriores sobre la elección de software de reconstrucción y el material utilizado para el proyecto, vamos a seguir los pasos que se presentaron en el Diagrama 2 para tener un flujo de trabajo ordenado.

El flujo tendrá el siguiente orden:

- 1) Aspectos que influyen en el levantamiento tridimensional.
- 2) Adquisición de datos.
- 3) Obtención del modelo.

#### **3.3.1. ASPECTOS QUE INFLUYEN EN EL LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL.**

##### **3.3.1.1. ÁNGULOS DE CAPTURA.**

Como hemos mencionado en el capítulo 2, dependiendo de la clase de imagen a capturar y el tratamiento que se emplee variarán los puntos de vista y los ángulos de captura. Así pues, existe una relación directa con el proceso de adquisición de datos y el material empleado para capturar la información, pudiendo usarse cámaras, láser 3d o incluso drones. En este proyecto, en particular, se ha optado por utilizar una cámara de fotos sin trípode, logrando así obtener imágenes desde cualquier ángulo posible.

Todas las capturas se han realizado perpendicularmente a los muros del castillo ya que así podremos obtener un mejor solape entre foto y foto.



*Figura 16: Imagen capturada perpendicularmente a una de las paredes del castillo de Sagunto. (Elaboración propia)*

### 3.3.1.2. DISTANCIA DE CAPTURA.

La distancia de captura varía en todo el proyecto dado que nos encontramos con una superficie grande e irregular. Cuando se está realizando una pasada fotográfica a una de las paredes, de forma perpendicular, siempre se mantiene esa misma distancia a lo largo de la pared.

### 3.3.1.3. ILUMINACIÓN.

Dado que el elemento a levantar digitalmente se encuentra al aire libre, es conveniente que se seleccione un día nublado para evitar problemas con las sombras. No obstante, se acudió a la zona de trabajo varios días para completar el fotografiado, y la luz natural varió en cada día.



*Figura 17: Imagen que muestra la luz natural, varía con el tiempo. Por la mañana estaba nublado pero las nubes se terminaron disgregando. (Elaboración propia)*

### 3.3.1.4. UBICACIÓN DE LA CÁMARA

La ubicación de la cámara es libre dado que se realiza desde el lugar en el que se encuentre el operador, la altura media de la cámara está comprendida en unos 160 cm, altura a la vista del operador.

### 3.3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS.

La adquisición de datos es el procedimiento en el que se recoge información del lugar de trabajo. En este proyecto nos centraremos en capturar toda la información posible del foro romano del castillo de Sagunto. Antes de empezar con el proceso de captura debemos acudir al área de trabajo para explorar todo el castillo, las zonas difíciles, esquivar las zonas con mucha vegetación, y establecer un plan para actuar.

Del número de fotos tomadas dependerá el resultado final ya que cuantas más tengamos mayor solape existirá entre una y otra. No obstante, a mayor volumen de datos más tiempo tardará en ejecutar el programa.

### 3.3.3. OBTENCIÓN DEL MODELO.

Tras obtener todas las fotos del área de trabajo se procederá a la digitalización de imágenes desde el ordenador con el programa Agisoft Metashape Professional. Este programa permite de forma automática la búsqueda de puntos homólogos entre todas las fotografías.



*Figura 18: Software que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones GIS, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales (15)*

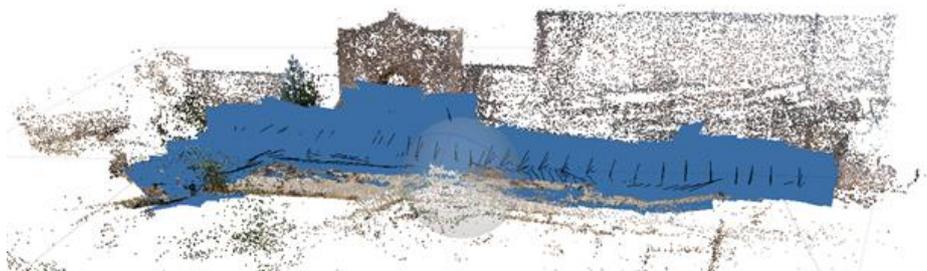
El flujo de trabajo que se ha seguido en este proyecto para la obtención de un modelo tridimensional del foro romano del castillo de Sagunto es el siguiente:

1. Empezamos con el proceso denominado “orientar fotos”. En este proceso se muestran las cámaras orientadas correctamente. Seguidamente se hace un estudio para ver las imágenes que no han sido orientadas correctamente y las eliminamos. También revisaremos aquellas que se han orientado de manera incorrecta para que no distorsionen el resultado.



*Figura 19: Imágenes orientadas correctamente con el programa Agisoft. (Elaboración Propia)*

2. Tras orientar las fotos obtenemos la cantidad de 512.435 puntos. Todos estos puntos conforman la primera nube de puntos.



*Figura 20: Nube de puntos inicial creada con Agisoft. (Elaboración Propia)*

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

3. Dado que no interesa trabajar con todos los puntos obtenidos en primera instancia se procede a rectificar la zona de trabajo para no saturar el rendimiento del equipo.



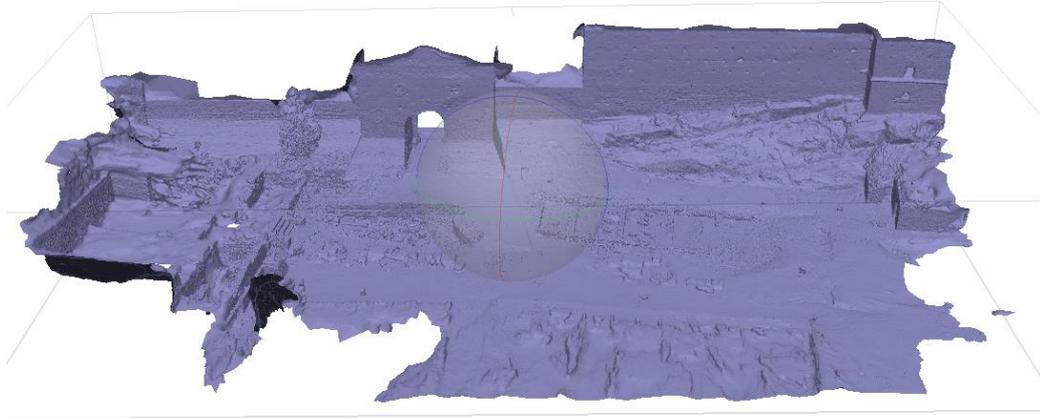
Figura 21: Rectificación de la zona de trabajo creada con Agisoft. (Elaboración Propia)

4. Con la zona de trabajo definida anteriormente se pasa al siguiente paso llamado “crear nube de puntos densa”. Aquí se seleccionan algunos parámetros como la calidad o el filtrado de profundidad. En este caso se elige una calidad “extra alta” y un filtrado de profundidad “agresivo” para tratar de obtener la mejor calidad. Cuando se eligen estos parámetros el tiempo de procesado puede alcanzar más de diez horas hasta obtener el resultado.



Figura 22: Modelo de nube de puntos densa junto con mapa de profundidad creada con Agisoft. (Elaboración Propia)

5. El siguiente paso consiste en crear la malla de puntos a partir del mapa de profundidad creado en el anterior paso. Los parámetros que se eligen en este paso es calidad “alta” y como número de caras “media”. El resto de parámetros se dejan por defecto.



*Figura 23: Malla de puntos creada con Agisoft. (Elaboración Propia)*

6. Finalmente llegamos al último paso de este flujo de trabajo llamado “crear textura”. Aquí se completa el modelo 3D con los siguientes parámetros: tipo de textura “Mapa RGB”, origen de datos “imágenes”, modo de mapeado “genérico” y los demás se dejan por defecto. En los parámetros avanzados se marcan las casillas de “cierre de agujeros” y “efecto fantasma”. La calidad de todos estos pasos anteriores marcará el resultado final del modelo con la textura obtenida.



*Figura 24: Modelo 3D creado con Agisoft. (Elaboración Propia)*

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

Todo el proceso obtenido en el anterior flujo de trabajo se aplica en la otra parte del castillo. Se ha dividido en dos partes por el gran volumen de datos y el elevado tiempo de procesado.

A continuación, se explica cómo se unen los dos modelos 3D creados:

1. Se trata de tener puntos en común para unir un modelo con otro. En este caso se asigna a cada punto un marcador con una numeración. Esta numeración debe coincidir con el mismo punto de los diferentes modelos.



*Figura 25: Modelos 3D unidos mediante marcadores con el programa Agisoft. (Elaboración propia)*

# CAPÍTULO 4. RESULTADOS



## 4. RESULTADOS.

En el siguiente capítulo, el capítulo 4, se muestran y analizan los resultados obtenidos de la realización de este modelado 3D del foro romano del castillo de Sagunto.

En este capítulo, a su vez, se organizan las respuestas a las preguntas planteadas inicialmente en este proyecto final de carrera. Dar respuesta a la comparativa entre modelos digitales de avance de obra y su actualización de modelos es lo que se muestra con los siguientes resultados.

### 4.1. MODELO DIGITAL 3D.

En este proyecto se ha buscado obtener un modelado tridimensional digital del foro romano del castillo de Sagunto empleando técnicas de fotomodelado. Disponer de este modelo 3D puede ayudar en los análisis comparativos del BIM, comparando los modelados iniciales con los actuales, para alcanzar el objetivo del trabajo final.

A continuación, en las figuras siguientes se muestra el modelo 3D general de la parte donde se ubica el foro romano:



Figura 26: a) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia)

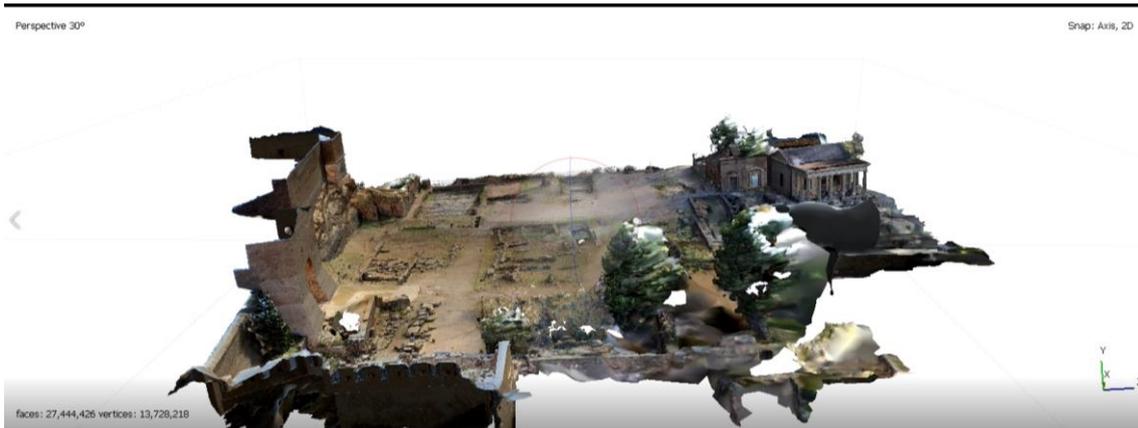


Figura 27: b) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia)

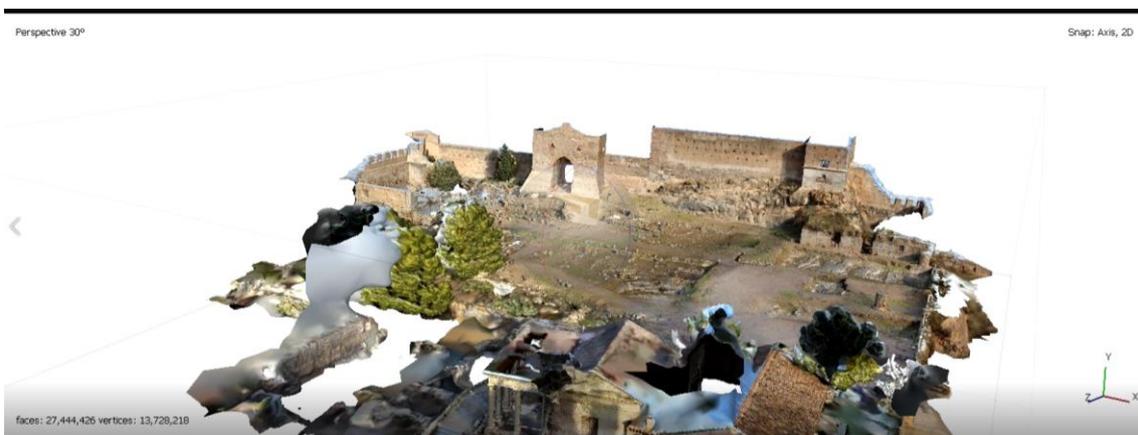


Figura 28:c) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia)

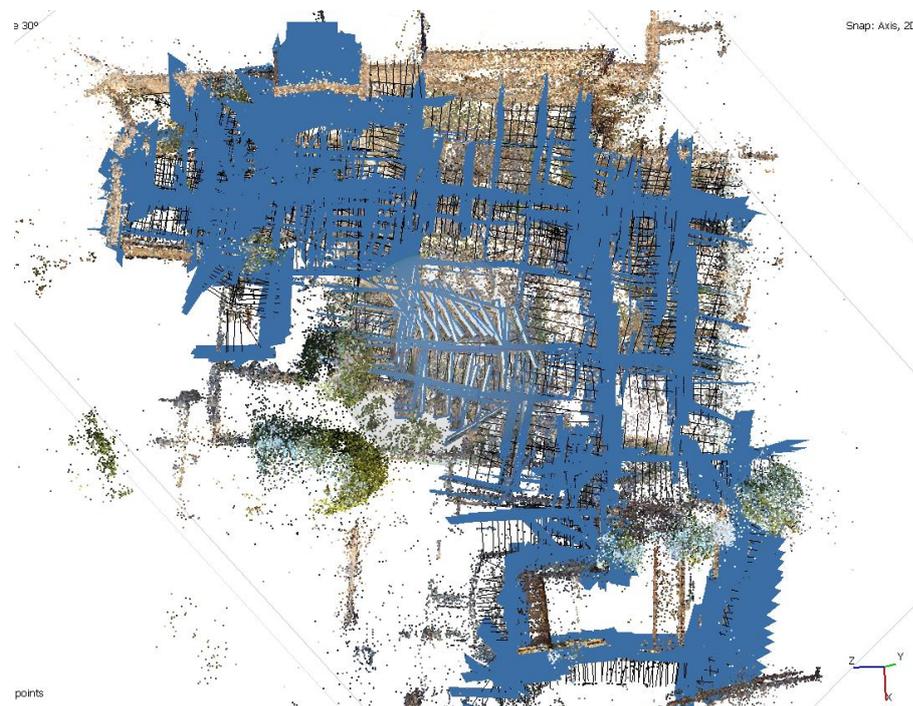


Figura 29: d) Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto realizado con el software Agisoft Metashape Professional. (Elaboración Propia)

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

Para la obtención de este modelo se ha empleado la cantidad total de 1357 fotos tomadas por todo el castillo. En el procesamiento de imágenes, en el programa Agisoft Metashape, se han orientado correctamente 1339 fotografías. Las otras fotografías que no han sido capaces de ser orientadas por el programa se deben a la poca correlatividad de puntos entre esa imagen y las siguientes, ya sea por entornos llenos de plantas o por una mala captura.

El recorrido fotográfico que se ha planteado para este proyecto ha sido el de realizar tomas lineales paralelas al objeto a representar. La siguiente figura muestra el recorrido por donde se han ido realizando las diversas capturas:



*Figura 30: Recorrido por donde se ha realizado la captura de datos en el castillo de Sagunto. (Elaboracion propia)*

### **4.2. MODELO 3D PARA SKETCHFAB.**

Los modelos tridimensionales deben ser compartidos en plataformas de internet para que otros usuarios puedan observarlos desde diversos equipos, ordenadores e incluso móviles.

La plataforma que se ha utilizado para la divulgación de este proyecto es Sketchfab. Sketchfab es una plataforma para publicar, compartir e integrar experiencias interactivas 3D en cualquier lugar en línea: sitios web, plataformas de comercio electrónico, blogs, artículos, campañas publicitarias y en varios canales sociales.

Dado al gran tamaño de nuestro modelo tridimensional general de unos 5,23 gb se ha decidido realizar un modelo digital 3d de menor tamaño para subir el archivo a la plataforma de Sketchfab. El tamaño máximo que permite subir a un usuario estándar es de 50 mb.

Por tal motivo se ha decidido digitalizar la zona central de la plaza de armas del castillo de Sagunto. En este lugar se encuentra parte de las ruinas del foro romano que en tiempos pasados hacían la función de basílica, sede del tribunal donde la gente se reunía. Arquitectónicamente estaba compuesto por una planta rectangular con tres habitaciones separadas por columnas.

A continuación, se muestra la zona digitalizada tridimensionalmente en el foro romano.



*Figura 31: Ruinas centrales del foro romano del castillo de Sagunto digitalizadas con Agisoft. (Elaboración propia)*



*Figura 32: Ruinas centrales del foro romano del castillo de Sagunto digitalizadas con Agisoft. (Elaboración propia)*

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

Una vez creado el modelo digital 3d con el programa Agisoft Metashape queda exportar el modelo y subirlo a la plataforma de Sketchfab.

Dentro de Sketchfab se debe ordenar el modelo para que los giros, en los ejes XYZ, sean los correctos. A demás, este programa permite interactuar con el modelo permitiendo colocar puntos de información.

El siguiente enlace muestra el modelo en la plataforma de Sketchfab:

<https://skfb.ly/o6MFs>

Seguidamente, se muestran capturas del modelo subido en la plataforma:

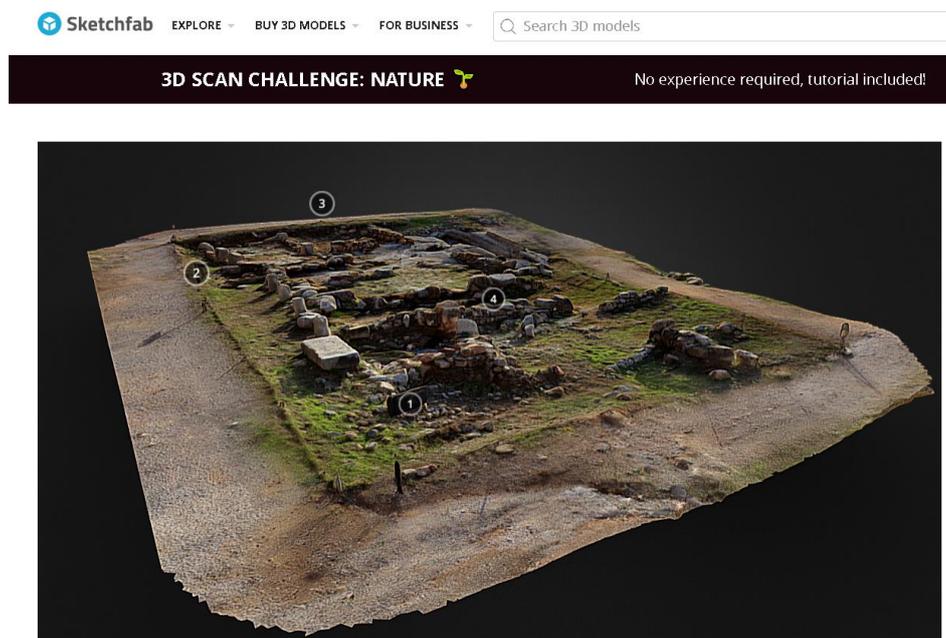


Figura 33: Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto en Sketchfab. (Elaboración propia)



Figura 34: Modelo 3D del foro romano del castillo de Sagunto en Sketchfab con punto interactivo 4. (Elaboración propia)

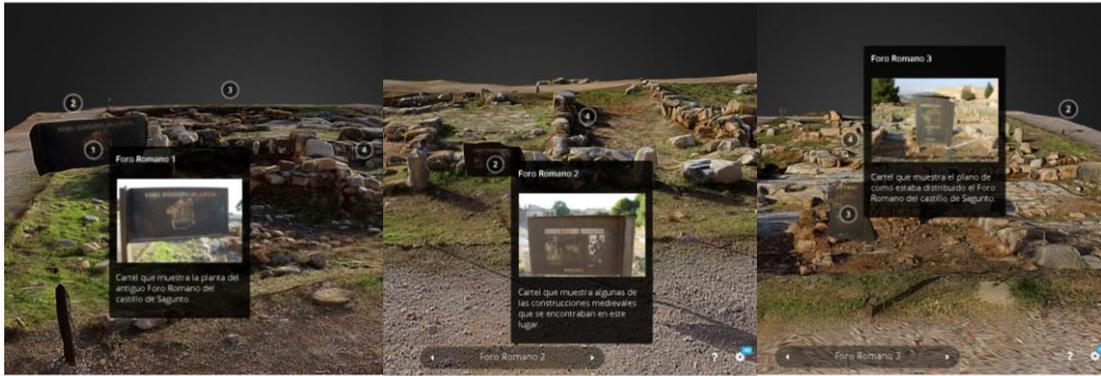


Figura 35: Modelos 3D del foro romano del castillo de Sagunto con puntos interactivos 1, 2 y 3 con información de los carteles. (Elaboración propia)

### 4.3. DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos en este capítulo, derivan de los capítulos 2, marco metodológico y estado del arte, y la aplicación del desarrollo del capítulo 3.

Tras generar una nube de puntos y crear, a partir de esta, modelos tridimensionales para que sirvan de comparación en proyectos BIM, con antiguos y futuros modelos 3D, se ha llegado a dividir estos estudios en tres apartados:

- Recopilación de datos.
- Procesamiento
- Modelado

De la división de estos tres apartados, el volumen de material capturado fotográficamente precisa de tiempo y un correcto manejo de la cámara, por parte del usuario, ya que de él dependerá la calidad de las imágenes. La distancia y los ángulos influye en la distorsión del modelo, por lo que se recomienda hacer tomas perpendiculares y paralelas al objeto. A mayor cantidad de imágenes tomadas menor será la oclusión, pero supondrá un mayor tiempo de procesamiento en el programa.

Tras la recopilación de datos el siguiente estudio se centra en el procesamiento de estos, que siguen un flujo de trabajo fácil y lineal. Pese a la sencillez en el flujo de trabajo, el tiempo de dedicación puede incrementarse por un gran volumen de datos del modelo, así como de sus dimensiones. Se debe dedicar cierto tiempo a la eliminación y corrección de imperfecciones en cada apartado (nube de puntos, nube de puntos densa...) para obtener un modelo limpio.

Es por eso que se requiere de la participación de un usuario para borrar manualmente secciones del modelo que no interesan o que han sido generadas incorrectamente por el programa.

## CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO

## 5. PRESUPUESTO.

Para evaluar el presupuesto de este proyecto se ha establecido desde el punto de vista de un empresario con personal a cargo. El computo del salario se ha basado en las tablas de oficinas y despachos de la provincia de Valencia del año 2019.

TABLAS ODD PROVINCIA DE VALENCIA 2019				
GRUPO	NIVEL		2018	TRAMO 1(1,3%)
I	I	Titulado Superior y Director	1.584,89	1.605,49
II	II	Titulado Medio o Diplomado	1.408,82	1.427,13
II	II	Traductor tit. e intérprete jurado	1.408,82	1.427,13
III	III	Jefe Superior	1.322,49	1.339,68
III	III	Jefe delineante	1.322,49	1.339,68
III	III	Jefe de Proyecto	1.322,49	1.339,68
III	III	Analista	1.322,49	1.339,68
III	IV	Jefe de Oficina	1.230,79	1.246,79
III	IV	Delineante proyectista	1.230,79	1.246,79
III	IV	Contable	1.230,79	1.246,79
III	IV	Programador de ordenador	1.230,79	1.246,79
III	IV	Traductor no titulado	1.230,79	1.246,79
				TRAMO 2(2%)
IV	V	Oficial 1º Administrativo	1.065,07	1.086,37
IV	V	Delineante	1.065,07	1.086,37
IV	V	Operador	1.065,07	1.086,37
IV	V	Encargado	1.065,07	1.086,37
IV	VI	Oficial 2º Administrativo	1.010,82	1.031,04
IV	VI	Comercial	1.010,82	1.031,04
IV	VI	Azafata	1.010,82	1.031,04
				TRAMO 3(2,3%)
V	VII	Conductor	955,33	977,30
V	VII	Grabador	955,33	977,30
V	VII	Auxiliar Administrativo	955,33	977,30
VI	VIII	Almacenero	892,73	913,26
VI	VIII	Conserje	892,73	913,26
VI	VIII	Ordenanza tramitador	892,73	913,26
VI	VIII	Telefonista	892,73	913,26
VI	VIII	Limpieza	892,73	913,26
VI	VIII	Peones	892,73	913,26
VI	VIII	Mozos	892,73	913,26
		Plus Conv.todas las cat.+ 1,5%	66,73	67,73
		Kilómetro	0,20	0,20
		Dieta completa	20,14	20,14
		Plus idiomas	10%salario b	10% salario b
		Plus domingos y festivos+1,5%	44,37	45,04
		Quebranto de moneda+1,5%	49,16	49,90
		Plus comida+1,5%	7,77	7,89

Los salarios del año 2019 son el resultado de incrementar la tabla definitiva del año 2018 en un 1,3% los niveles I, II, III y IV; un 2% los niveles V y VI y un 2,3% en los niveles VII y VIII.  
El resto de pluses y complementos son los consignados en la presente tabla definitiva para el año 2019

Figura 36: Tabla salarial de oficinas y despachos Valencia 2019. (Fuente 16)

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

El presupuesto calculado está establecido para un ingeniero en geomática y topografía. Se va a calcular los días de trabajo para obtener el precio final de lo que cuesta realizar este trabajo.

El tiempo medio estimado del proyecto es de 3 días para la fase de campo y 3 días para la fase de gabinete. En total son 6 días de trabajo.

Vamos a suponer que todo el material empleado en el trabajo es alquilado para así poder calcular mejor los gastos y beneficios.

El valor de la licencia del software Agisoft Metashape es de unos 2.955,31 euros. Este precio se incluirá en el cálculo como uso por días. Para manejar este software se ha necesitado realizar la compra de un equipo que pueda soportar todas las especificaciones técnicas que establece el programa. El valor del equipo está comprendido en unos 1000 euros, pero también se va a incluir en el cálculo por días de uso.

Como se sabe el número de horas laborales al año son de 1800 h. Si se trabaja una media de 8 horas por día obtenemos un total de 225 días laborales por año.

Coste por días del software: 24,30 euros los tres días.

Coste del equipo por días: 8,22 euros los tres días.

Sueldo Bruto Anual:  $(1408,82 + 66,73) * 14 = 20.657,70$  euros

Retención por Seguridad Social: 40%

Sueldo Bruto Anual con retención de la Seguridad Social: 28.920,78 euros

Sueldo por días: 128,54 euros al día.

En la siguiente tabla se muestra los gastos finales.

*Tabla 4: Presupuesto del proyecto (Elaboración propia)*

<b>Actividad</b>	<b>Duración</b>	<b>Precio</b>
<i>Sueldo Ingeniero</i>	128,58 * 6 días	771,48 euros
<i>Dietas</i>	7,77 * 6 días	46,62 euros
<i>Coche de alquiler</i>	20 * 6 días	120 euros
<i>Cámara alquiler</i>	172,50 euros los 3 días	172,50 euros
<i>Ordenador</i>	2,74 * 3 días	8,22 euros
<i>Licencia software</i>	8,1 * 3 días	24,30 euros
<i>Despacho alquiler</i>	(400/30) * 3 días	40 euros
	Beneficio industrial del 25%	295.78 euros
	<b>Presupuesto total</b>	<b>1478.90 euros</b>

# CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES



## 6. CONCLUSIONES.

Tras abordar este proyecto se ha comprobado lo fácil que es el uso de las nuevas tecnologías, en particular el uso de los programas de restitución de la fotogrametría en proyectos de ingeniería.

La fotogrametría ha resultado ser una técnica de estudio de estructuras tridimensionales bastante eficaz, rápida y sin alterar el medio. Se obtiene un volumen de información enorme en poco tiempo, con tan solo una cámara de fotos y sin producir daños al castillo. La aplicación en el tratamiento del Patrimonio es esencial, dado que permite documentar toda la estructura de estudio y poder realizar una reconstrucción virtual de la zona con bastante precisión y realismo. Toda esta documentación obtenida sirve para poder elaborar planes de restauración, en caso de derrumbamientos u otras catástrofes. En otras palabras, el levantamiento topográfico es de gran interés en el ámbito de la conservación.

Respecto a las fases de trabajo, se ha llegado a la conclusión de que antes de iniciar el trabajo de campo es recomendable inspeccionar la zona, calibrar la cámara y fijar los parámetros de calidad y formato de las imágenes. Es recomendable acudir un día nublado para evitar conflictos con las sombras.

Con la aparición actual de los softwares específicos y el desarrollo de nuevos algoritmos se da un valor importante al uso de la fotogrametría frente a otros medios ya existentes. Es cierto que la combinación de aparatos ya existentes, como los laser escáner, permiten mejorar los resultados.

El covid-19 ha supuesto un cambio de paradigma, la cuarta revolución industrial es una realidad y las geotecnologías tienen un papel protagonista en el proceso. Con el uso de las nuevas tecnologías y la realidad aumentada se logra difundir aquellos lugares emblemáticos a miles de personas que deseen visitar el lugar. Así pues, este monumento nacional ubicado en el corazón de Sagunto está más cerca de las personas, conocedoras de su valor como bien cultural y de la importancia que tiene proteger y conservar para que perdure por siempre.

## BIBLIOGRAFÍA

- 4DMETRIC. *Fotogrametría aérea y fotogrametría terrestre.*  
<<https://www.4dmetric.com/fotogrametria-aerea-y-fotogrametria-terrestre/>>  
[Consulta: 14 de agosto de 2020] (08)
- AGISOFT. *Agisoft Metashape User Manual.*  
<<https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>> [Consulta: 2 de julio de 2020]  
(15)
- ALL3DPRO. *Los mejores escáneres 3D de 2021.*  
<<https://all3dp.com/es/1/escaner-3d-portatil-aplicacion-software-3d-scanner/>>  
[Consulta: 9 de junio de 2020] (06)
- ALQUILAVISUAL. *Alquiler de material audiovisual.*  
<<https://alquilavisual.es/camaras-video-foto/canon-5d-mark-iii>> [Consulta: 5 de julio 2020]
- ANDER ESARTE ESEVERRI (2020) “BIM o Metodología BIM (qué es) más que tecnología” en *EspacioBIM*, 16 de enero.  
<<https://www.espaciobim.com/bim>> [Consulta: 5 de junio de 2020] (02)
- BONNEVAL, H. (1972): *Photogrammétrie Générale*. París: Eyrolles. (07)
- CABEZOS BERNAL, P., & CISNEROS VIVÓ, J. (2012). *Fotogrametría con cámaras digitales convencionales y software libre*. EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 17(20), 88-99.
- COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS REGION DE MURCIA. *Curso de Fotogrametría Arquitectónica.*  
<<https://www.coamu.es/secciones/formacion/ficha.jsp?id=672&tipo=1>> [Consulta: 6 de octubre de 2020] (12)
- CURSOSTELEDETECCION. *Dónde descargar datos LIDAR.*  
<<https://www.cursosteledeteccion.com/donde-descargar-datos-lidar/>> [Consulta: 19 de septiembre de 2020] (11)
- DAVID MAGAZ (2013) “Razones para realizar fotografías durante la ejecución de una Obra” en *CalidadObraCivil*, 23 de junio.  
<<http://www.calidadobracivil.com/2013/06/archivo-fotografico/>> [Consulta: 4 de junio de 2020] (01)
- EUROPCAR. *Alquiler de coches y furgonetas.*  
<<https://www.europcar.es/es-es>> [Consulta: 5 de julio de 2020]
- GÓMEZ LAHOZ, J. (2012), *Introducción a la fotogrametría digital: El método general de la fotogrametría digital. Apuntes de la Asignatura ‘Procesamiento avanzado de imágenes*. Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Salamanca.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRIDIMENSIONAL DEL FORO ROMANO DEL CASTILLO DE SAGUNTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE FOTOMODELADO

IDEAINGENIERIA. *¿Qué es una nube de puntos?*

<<https://ideainingeneria.es/nube-de-puntos/que-es-nube-de-puntos/>> [Consulta: 8 de noviembre de 2020] (14)

IDEALISTA. *Alquiler de oficinas.*

<<https://www.idealista.com/alquiler-oficinas/valencia-valencia/>> [Consulta: 5 de julio de 2020]

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. *Fotogrametría.*

<<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Fotogrametria.pdf>>

[Consulta: 18 de junio de 2020]

INTERSINDICAL VALENCIANA. *Tablas salariales oficinas y despachos 2019.*

<<http://stics.intersindical.org/web/index.php/convenis-sectores-3/17-oficines-i-despatxos>> [Consulta: 5 de julio 2020] (16)

LERMA GARCÍA, J.L., *Fotografía moderna: analítica y digital.* Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 2002 [Consulta 26 de junio de 2020]

LUCÍA C. (2019) “Escáner láser 3D o escáner de luz estructurada: ¿cuál es mejor?” en *3Dnatives*, 8 de agosto.

<<https://www.3dnatives.com/es/escaner-laser-3d-escaner-luz-estructurada-mejor-080820192/>> [Consulta: 7 de junio de 2020] (03)

MAESTRE LOPEZ-SALAZAR, RAMÓN (2003). *Perspectiva cónica y fotografía: Análisis aplicado al levantamiento de planos de arquitectura*, Valencia.

PÉREZ PORTO, J. MERINO, M. (2012). “Definición de método inductivo” en *Definicion.de*, 23 de mayo.

<<https://definicion.de/metodo-inductivo/>> [Consulta:15 de junio de 2020]

REHABILITAS. *Topografía de superficie de la espalda: fotogrametría digital.*

<<https://rehabilitas.es/topografia-de-superficie-de-la-espalda-fotogrametria-digital/>>

[Consulta: 17 de octubre de 2020] (13)

RPASDRONES. *Metodología de trabajo para levantamiento LIDAR-Fotogramétrico mediante UAV de ala rotativa.*

<<https://www.rpas-drones.com/levantamiento-lidar-fotogrametrico-uav-ala-rotativa/>> [Consulta: 1 de agosto de 2020] (09)

RUIZ SARMIENTO, J.R., & GALINDO, CIPRIANO, & GONZÁLEZ JIMÉNEZ, JAVIER (2011). CÁMARAS BASADAS EN TIEMPO DE VUELO. USO EN LA MEJORA DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE CARAS.

<[https://www.researchgate.net/publication/265817241\\_CAMARAS\\_BASADAS\\_EN\\_TIEMPO\\_DE\\_VUELO\\_USO\\_EN\\_LA\\_MEJORA\\_DE\\_METODOS\\_DE\\_DETECCION\\_DE\\_CARAS](https://www.researchgate.net/publication/265817241_CAMARAS_BASADAS_EN_TIEMPO_DE_VUELO_USO_EN_LA_MEJORA_DE_METODOS_DE_DETECCION_DE_CARAS)> [Consulta: 9 de junio 2020] (04)

RUTAS CON HISTORIA. *El Castillo de Sagunto.*

<<https://www.rutasconhistoria.es/loc/el-castillo-de-sagunto>> [Consulta: 28 de mayo de 2021]

SKETCHFAB. *Foro Romano del castillo de Sagunto.*  
<<https://sketchfab.com/3d-models/foro-romano-del-castillo-de-sagunto-dd30843aaf62401cbbb6327579b8e745>> [Consulta: 28 de mayo 2021]

TOPOTIENDA. *Escáner láser: qué es, cuales son sus funciones, y qué diferentes tipos hay.*  
<[https://topotienda.com/noticias/11\\_escaner-laser-que-es-cuales-son-sus-funciones#:~:text=Diferencia%20de%20fase%3A%20Estos%20esc%C3%A1neres,emitidas%20con%20las%20recibidas.La](https://topotienda.com/noticias/11_escaner-laser-que-es-cuales-son-sus-funciones#:~:text=Diferencia%20de%20fase%3A%20Estos%20esc%C3%A1neres,emitidas%20con%20las%20recibidas.La)> [Consulta: 16 de septiembre] (10)

WIKIPEDIA. *Escáner* *3D.*  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner\\_3D#Triangulaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_3D#Triangulaci%C3%B3n)>  
[Consulta: 9 de junio de 2020] (05)