



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Máster

Reconstrucción mediante fotogrametría aérea con drones de una edificación para diseño de proyección video-mapping sobre prototipo impreso con fabricación aditiva.

Reconstruction by aerial photogrammetry with drones of a building for video-mapping projection design on a printed prototype with additive manufacturing.

Autor/es

Adrián Gascón Morate

Director/es

Jorge Santolaria Mazo

Máster de Ingeniería en Diseño Industrial

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2021



Universidad
Zaragoza

Reconstrucción mediante **fotogrametría aérea con drones**
de una edificación para diseño de proyección **video-mapping**
sobre prototipo impreso con fabricación aditiva

Autor: Adrián Gascón Morate
Director: Jorge Santolaria Mazo



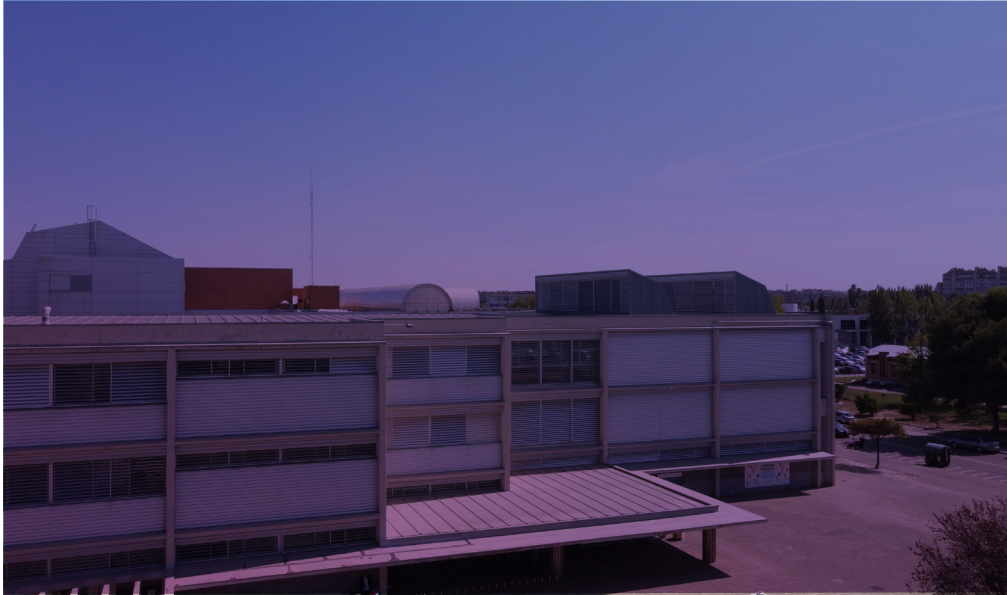
Agradecimientos

*Gracias a mi director del proyecto,
sin él no hubiera sido posible
llevar a cabo un proyecto de esta
envergadura y a mis familiares
y amigos por haberme dado el
apoyo y comprensión mientras
trabajaba para alcanzar las metas
planteadas.*

Índice

1 Resumen	4
2 Objetivo	5
3 Motivación	6
4 Cronología	7
5 Antecedentes	9
6 Técnicas de Ingeniería Inversa	11
7 ¿Qué es la fotogrametría?	12
8 Vuelo con drones	15
9 Normativa aplicable	16
10 Dron seleccionado	17
11 Edificio seleccionado	18
12 Toma aérea	20
13 Toma terrestre	22
14 Importación de fotografías	24
15 Alineación de fotografías	25
16 Generación de malla	27
17 Malla texturizada	28
18 Exportación modelo	29
19 Reconocimiento modelo	31
20 Preparación modelo	32
21 Fabricación aditiva	33
22 Impresora empleada	34
23 Modelo impreso	35
24 ¿Qué es video-mapping?	37
25 Efectos	38
26 Modelado tridimensional	39
27 Software emisión	41
28 Proyección	42
29 Valoración	44
30 Acciones futuras	45
31 Bibliografía	47

I. Resumen



En esta memoria están recogidas las diferentes fases que me han permitido alcanzar el objetivo planteado como objeto de mi Trabajo Fin de Máster.

A lo largo de ella explicaré los diferentes procedimientos que me han permitido, una vez seleccionado el edificio y mediante la captura de fotografías del mismo desde diferentes ángulos usando un dron, reconstruirlo tridimensionalmente con la técnica de fotogrametría para posteriormente, imprimirlo en 3D mediante fabricación aditiva y proyectar sobre él una animación audiovisual con la técnica video-mapping.

Este trabajo supone una continuación a mi Trabajo Fin de Grado en cuanto a la exploración de los usos y finalidades de la técnica de reconstrucción fotogramétrica en el cual vincularé mi relación profesional con el sector audiovisual, aunando así dos sectores diferentes con un objetivo común.

2. Objetivo

El **objetivo** de este trabajo radica en la utilización de la ingeniería inversa para obtener una reconstrucción de un edificio mediante fotogrametría con imágenes obtenidas a través del vuelo de un dron, con el fin de obtener su reconstrucción tridimensional para un posterior tratado de la malla orientado a la impresión tridimensional a escala del edificio escaneado para la realización de una proyección con la técnica video-mapping sobre la fachada de la maqueta aprovechando la geometría del edificio para crear diferentes animaciones.

La **metodología** del trabajo consiste en la implementación de técnicas de ingeniería inversa como la reconstrucción fotogramétrica, orientada a objetos de grandes dimensiones para, mediante las imágenes obtenidas con el vuelo de un dron, obtener una reconstrucción fiel del edificio. Posteriormente, mediante programas de animación de vídeo se realizará una proyección videomapping sobre la fachada de la reconstrucción impresa en 3D aprovechando las geometrías del edificio y creando una animación empleando todos los elementos que componen el mismo.

En el trabajo se abordan diferentes aspectos enmarcados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, buscando de esta manera su vinculación con la Agenda 2030 y el compromiso hacia un uso eficiente de todos los recursos. En este proyecto, los ODS relacionados con su evolución y finalidad son:



9.b Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas



9.5 Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo



11.4 Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo

3. Motivación

La motivación para elegir este proyecto se ve influenciada por diferentes aspectos.

A lo largo de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial y el Máster de Diseño, siempre me ha llamado la atención la técnica de la fotogrametría, siendo ésta el eje principal de mi trabajo fin de grado. En él experimenté esta técnica con el objetivo de poder reconstruir objetos animados, como personas, solucionando la necesidad de capturar todas las imágenes a la vez y evitar así el problema de movimientos no deseados, que perjudicasen el proceso.

En esta ocasión, y vinculándolo a mi otra pasión y faceta profesional como técnico del mundo audiovisual, he considerado útil explorar esta técnica llevándola a una mayor escala. Reconstruyendo edificios, se podrían generar animaciones y proyecciones video-mapping de una manera mucho más visual y efectiva, pudiendo fomentar la puesta en valor del patrimonio cultural, encontrar nuevas formas de ocio y exhibición acorde a las restricciones impuestas por la actual situación socio-sanitaria y dotar de una mayor accesibilidad a un patrimonio que, tras la gran evolución de las técnicas de realidad aumentada y representación virtual, se ve necesitado de dar el salto de una manera sencilla al mundo digital, facilitando su acceso a cualquier persona.

Uno de los mayores retos que tenemos es preservar el patrimonio y, como ingenieros, está en nuestras manos emplear nuestro conocimiento para su mantenimiento, estudio, recreación y puesta en valor tras unos años en los que, debido a diferentes sucesos y políticas, se ha ido descuidando y poniendo en segundo lugar.

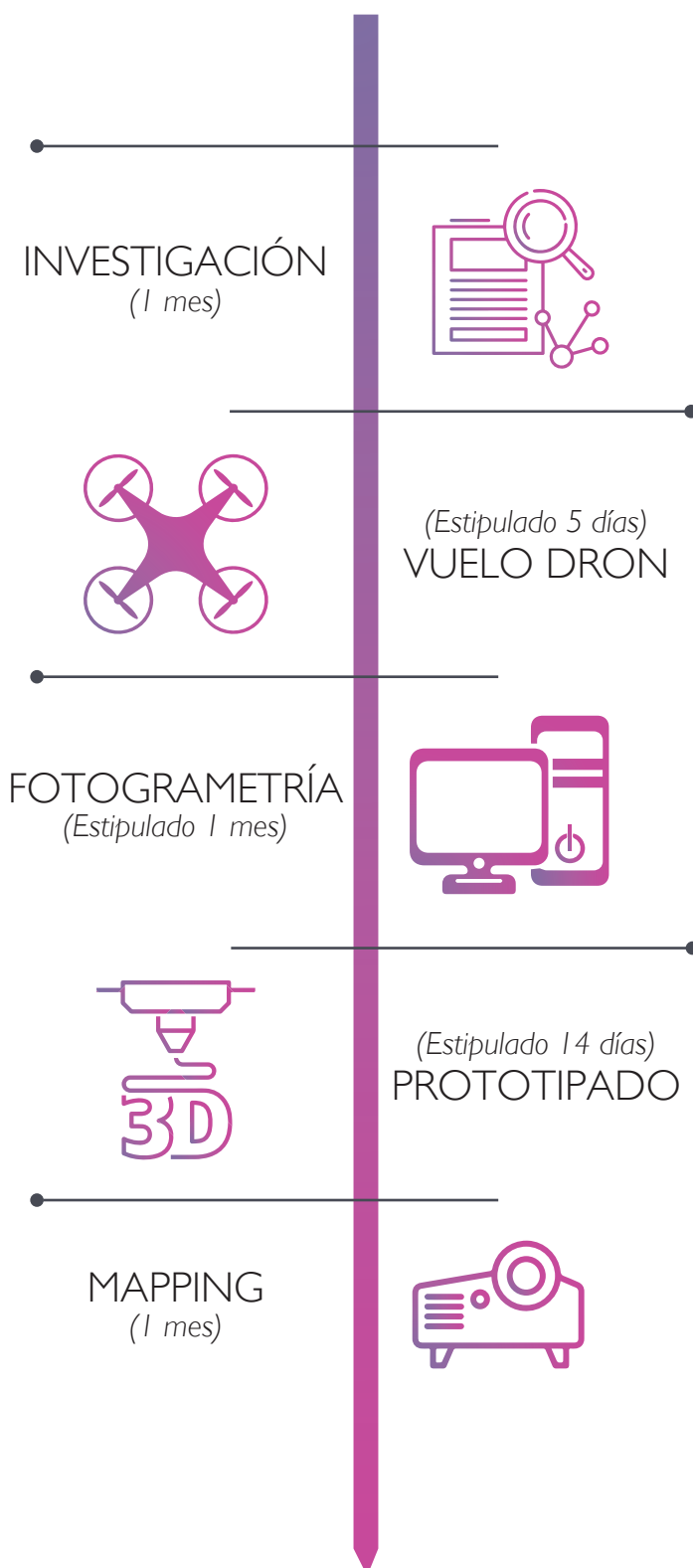
Este trabajo planteará diferentes retos enfocados a este objetivo y contará con diversos momentos claves que irán marcando los hitos en la cronología del proyecto.



Figura 1: Vuelo con dron, elaboración propia

4. Cronología

Este proyecto consta de diferentes fases, que irán permitiendo ir alcanzando los objetivos marcados. Como es un trabajo formado por procesos y técnicas muy diferentes, lo dividiré en diferentes capítulos que permitan explicar el proceso llevado en cada una.





INVESTIGACIÓN

A lo largo de esta fase se determinará el funcionamiento de la técnica empleada, se localizarán los puntos claves y las condiciones que determinarán la selección del edificio a reconstruir. Además, al emplear drones, se analizará la normativa existente actual que condicionará el trabajo.



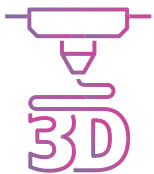
VUELO DRON

Una vez seleccionado el edificio, conocida la normativa aplicable y solicitados los permisos necesarios para ello, se procederá a la toma fotográfica del edificio mediante el uso de drones. Se contemplan varios días ya que su correcta toma dependerá de las condiciones meteorológicas, fundamentalmente la velocidad del viento.



FOTOGRAMETRÍA

Tras la captación de las fotografías, se procederá a su análisis y procesado por ordenador para, mediante la técnica de fotogrametría, generar el modelo tridimensional con el mapeado de su textura. Posteriormente este modelo, será tratado para adecuarlo a las necesidades del prototipado mediante impresión 3D.



PROTOTIPADO

Una vez obtenido el modelo tridimensional, se procederá al tratamiento de su malla y adecuación para la impresión en 3D. Se seleccionará la mejor tecnología de impresión en función de las necesidades finales de la maqueta sobre la que realizar la proyección.



MAPPING

Una vez impreso en 3D el edificio reconstruido, se creará mediante la tecnología de proyección videomapping una animación sobre él. Esta será una representación de cómo podría ser sobre el edificio real, siendo la proyección perfectamente escalable.

5. Antecedentes

Como se ha expresado en la motivación del trabajo, este proyecto surge como una continuación en el empleo de la técnica de reconstrucción mediante fotogrametría utilizada en mi trabajo Fin de Grado.

En él se exploraba la posibilidad de, con las limitaciones presupuestarias pertinentes, conseguir hacer una reconstrucción fotogramétrica de objetos en movimiento. Este problema se detectó ya que, el proceso de fotogrametría implica la toma de muchas imágenes, lo cual ocupa un tiempo prolongado. Para que la reconstrucción sea de calidad, es necesario que el objeto esté completamente inmóvil, pues así se podrán encontrar los puntos comunes entre las diferentes fotografías y generar la malla tridimensional.

Cuando el objeto que se pretende capturar es una persona, es imposible que permanezca inmóvil ya que, el simple hecho de respirar, produce pequeñas modificaciones en la postura que pueden perjudicar la calidad del proceso. Por ello se presentaba necesario crear un sistema que, de una manera simultánea permitiera capturar fotografías desde diferentes ángulos.

Con todo ello se creó el escáner 3D basado en RaspBerrys Pi, las cuales distribuidas alrededor del sujeto a escanear, capturaban y enviaban al ordenador la imagen desde diferentes ángulos. Con estas imágenes posteriormente, al ser simultáneas, se podía realizar la reconstrucción fotogramétrica.

El objetivo de este proyecto es explorar soluciones para otro de los problemas detectados en esta técnica, el tamaño. Cuando el objeto posee dimensiones inabarcables físicamente con los medios tradicionales, es necesario encontrar nuevas formas que permitan capturar fotografías desde unas dimensiones más amplias. Así surge la idea de poder capturar mediante drones, las imágenes que nos permitan reconstruir un edificio.

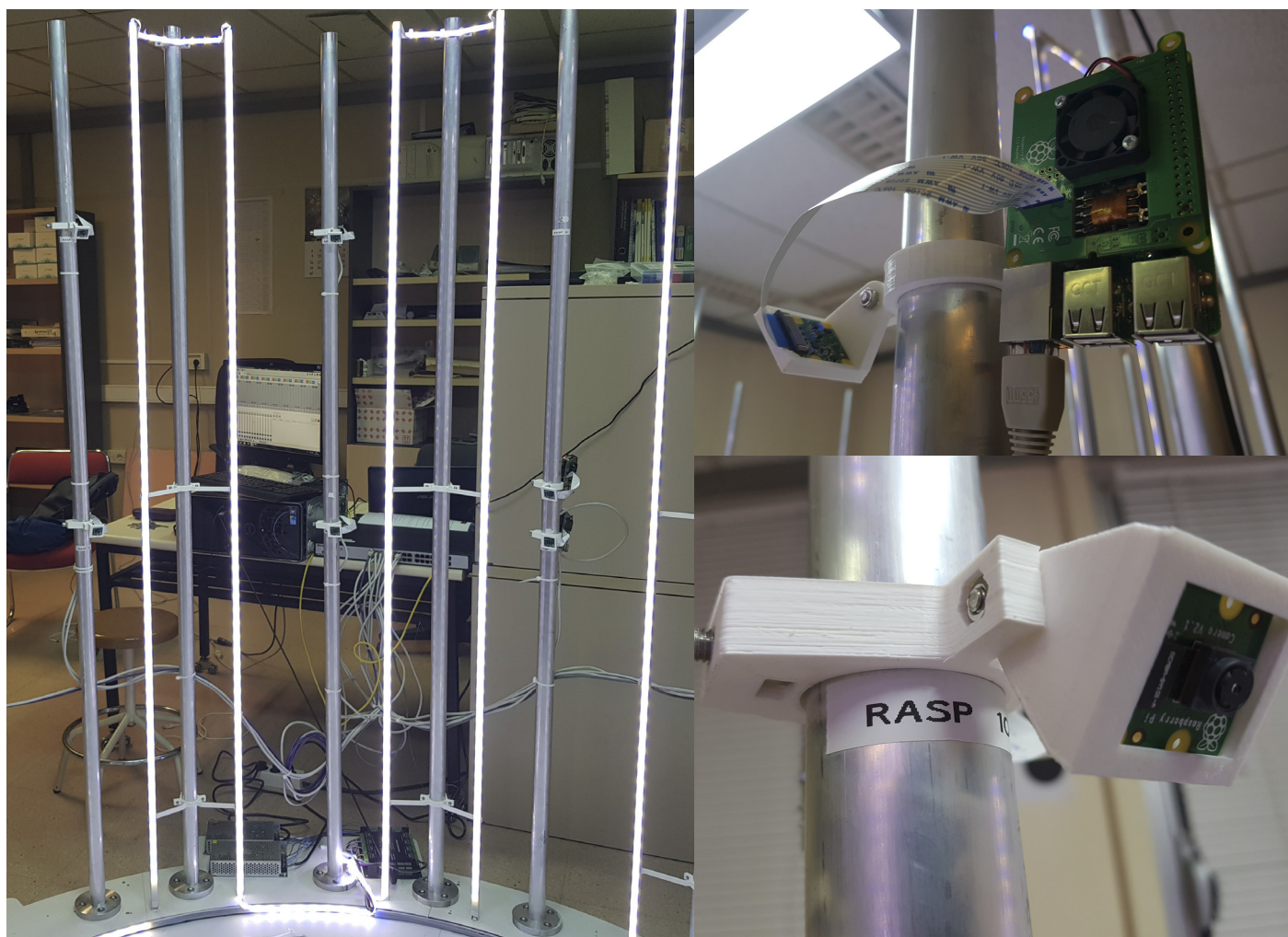


Figura 2: Trabajo fin grado, elaboración propia



INVESTIGACIÓN

A lo largo de esta fase se analizarán las tecnologías aplicables al proyecto, las necesidades y normativas referentes al mismo así como las soluciones adoptadas para conseguir alcanzar los objetivos de este proyecto.

6. Técnicas de ingeniería inversa:

Una de las tecnologías que más se están empleando en las aplicaciones industriales y proyectos de ingeniería y arquitectura actualmente es el prototipado 3D. La posibilidad de obtener modelos de una manera rápida y sencilla han cambiado la forma de concebir los proyectos. Pero no sólo se hace en ese orden, también realizar el proceso a la inversa ha supuesto la apertura de una nueva forma de trabajar.

Una de las maneras que nos permite obtener geometrías tridimensionales a través de objetos reales es la reconstrucción computerizada de un objeto a partir del objeto físico real, obteniendo y mapeando todas sus dimensiones y facetas. Esta es una de las muchas aplicaciones de la ingeniería inversa, en la cual se parte de un objeto o superficie ya creado y se estudia y mapea para conseguir las medidas y detalles exactos de sus superficies.

En la ingeniería inversa, en una gran cantidad de ocasiones resulta necesario obtener el modelo tridimensional de la pieza u objeto sobre el que se está trabajando, tarea para la que se emplean aparatos conocidos como escáneres 3D.

Dentro de la tecnología de escaneo tridimensional, encontramos diferentes versiones, que se clasificarían en:

- Escáneres con contacto:** Emplean un elemento denominado palpador, el cual va recorriendo la superficie a escanear y detecta las diferencias de alturas entre diferentes puntos, creando así la malla tridimensional del objeto.

- Escáneres sin contacto:** Obtienen la información de la superficie a través de la emisión de rayos y, mediante un sistema de espejos de alta precisión, capturan el reflejo del rayo así como la intensidad de éste permitiendo determinar la altura de los diferentes puntos, creando así el mapeado tridimensional en el modelado digital.

Las tecnologías presentadas anteriormente pueden encontrarse con diferentes problemas. En primer lugar es el alto coste económico que conlleva emplear instrumentos de medición tan precisos y en segundo lugar es su propia limitación de uso. Cuando el objeto o superficie a digitalizar es muy grande o con unas dimensiones impracticables para el ser humano, deja de tener sentido emplear escáneres con contacto y el empleo de los escáneres sin contacto comienza a verse comprometido si las distancias a mapear son muy extensas.

Existe una técnica, denominada fotogrametría, mediante la cual gracias al empleo de muchas fotografías y a través de una serie de procesos informáticos, podremos obtener la malla tridimensional que representa con gran precisión la superficie real del objeto.

Esta técnica nos permitirá, no solo abaratar los costes del proceso de digitalización si no requerimos de una gran precisión como la que aportan los escáneres sino también poder recrear digitalmente grandes superficies, bien en forma de construcciones o bien grandes extensiones de terreno, razón por la cual es una de las técnicas más empleadas en los proyectos de topografía y arquitectura.

Asimismo, y debido al auge que han experimentado la recreación y diseño de entornos virtuales, incrementado aún más tras la necesidad de trasladar a un entorno virtual las actividades cotidianas fruto de la actual situación sociosanitaria, estas técnicas han salido más allá del campo técnico de la ingeniería y, actualmente, la necesidad de mapear diferentes objetos y superficies para su empleo posterior en entornos virtuales de realidad aumentada o bien en entornos hiperrealistas, ha llevado a una gran generalización del proceso de fotogrametría, suponiendo un gran futuro y una apertura a futuros nuevos usos del mismo.

7. ¿Qué es la fotogrametría?

Entendemos como proceso de fotogrametría aquel mediante el cual, a través de imágenes de un objeto, podemos reconstruir digitalmente su modelo tridimensional, basándonos en los puntos comunes entre las diferentes imágenes.

fotogrametría

Del al. *Photogrammetrie*, y este de *Photogramm* 'fotograma', hoy *Fotogramm*, y *-metrie* '-metría'.

1. f. *Topogr.* Procedimiento para obtener planos de grandes extensiones de terreno por medio de fotografías aéreas.

1) RAE. (s. f.). RAE. Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://dle.rae.es/fotogrametr%C3%ADa>

Esta técnica es muy usada por topógrafos y arquitectos aunque, cada vez más, es un recurso muy habitual entre los ingenieros. Permite obtener datos con elevada precisión acerca de objetos o superficies físicas mediante el registro y medición de los datos obtenidos tras una representación fotográfica. Con todos estos registros, se pueden llegar a crear mapas topográficos, mallas, nubes de puntos o simplemente dibujos basados en el mundo real.

Su empleo puede destinarse para las aplicaciones más técnicas como técnicas de ingeniería inversa con unos márgenes de error muy pequeños o bien aplicaciones más visuales, como la inclusión de elementos reales en entornos digitales fruto de la realidad virtual y aumentada.

En nuestro caso la utilizaremos con el fin de obtener el modelado de un edificio real de una manera sencilla sin necesidad de modelarlo a mano, al tener unas dimensiones que complicarían la toma de medidas manuales. La posibilidad de poder obtener fotografías aéreas de un edificio nos permite poder capturar todos los detalles del mismo, pudiendo posteriormente trabajar sobre un modelo digital con unas proporciones y nivel de detalle fieles a la realidad.



Figura 3: fotogrametría, 3dnatives.com

El empleo de esta técnica para proyectos como el que aquí se expone, permitirá poner en valor el patrimonio cultural, no solo por las opciones que se abren al poder tenerlo recreado digitalmente y por tanto accesible para todo el mundo sino también por las innumerables oportunidades que estos modelados permitirán para realizar posteriormente proyecciones y animaciones sobre ellos, generando así nuevas formas de expresión artística y de generación cultural ligada al patrimonio de una localidad.

Una vez introducida la fotogrametría así como sus usos principales, ¿Cómo es el proceso por el cual, desde la captación de imágenes, podemos obtener el objeto reconstruido tridimensionalmente?

Para conseguir una reconstrucción fotogramétrica, el proceso consta de diferentes pasos, los cuales se agrupan en las siguientes etapas:

1

TOMA FOTOGRAMÉTRICA:

Fase mediante la cual se toman las fotografías del objeto o superficie.

En función de su tamaño y necesidades, se puede plantear de diferente manera, siendo estas fotografías captadas a nivel de suelo o empleando un vuelo fotográfico. Las imágenes serán captadas en un recorrido envolvente respecto la zona a digitalizar, en una condición de iluminación similar en todas ellas.

Resulta importante realizar una planificación del recorrido y puntos claves del mismo.

2

GENERACIÓN TRIDIMENSIONAL:

Una vez obtenidas las imágenes, éstas son ordenadas y revisadas para asegurar que cumplen los requisitos mínimos. Una vez se han comprobado, se introducen en el software con el que se vaya a realizar el proceso de fotogrametría.

Estos software son capaces de, una vez analizadas las fotografías, conocen la ubicación espacial exacta de cada imagen, generando los puntos que conforman el sólido. Tras una serie de procesos, de alineación de imágenes y puntos de control comunes entre ellas, vamos obteniendo diferentes productos:

- **Nubes de puntos densas:** Una vez situadas las imágenes, calculan cada píxel del objeto reconstruido con el color del homólogo de las imágenes originales.
- **Malla tridimensional:** A partir de las nubes de puntos, se generan triángulos que emplean los puntos como vértices, dando lugar a la superficie del objeto reconstruido.
- **Mallas texturizadas:** A partir de un cálculo inverso de los píxeles, es capaz de otorgar a cada parte de la malla el color correspondiente con la realidad.

En nuestro caso simplemente necesitamos la malla tridimensional, pues la superficie del prototipo a imprimir debe ser blanca para facilitar la proyección audiovisual.

3

EMPLEO DE LOS OBJETOS GENERADOS:

Una vez el software ha generado el producto que necesitamos, podemos exportarlo a otros programas con el fin de dar el tratamiento final al objeto renderizado. En función de los fines que vayan a usarse los proyectos fotogramétricos, podemos agruparlos en:

- **Proyectos de Ingeniería y Arquitectura:** Aquellos con un fin más técnico, obtención de medidas, piezas exactas etc.
- **Escenas 3D hiperrealistas:** Proyectos que emplean siempre mallas texturizadas y permiten introducir objetos reales en entornos virtuales con una gran calidad, pudiendo crear así personajes de videojuegos basados en personas reales, entornos interactivos formados por objetos reales, etc.

En nuestro caso podemos enmarcar el proyecto en el ámbito de la Ingeniería y la Arquitectura, aunque una vez modelada y tratada la malla el uso final será un proyecto audiovisual.

Como se ha mencionado anteriormente, la fotogrametría puede usarse con dos fines diferentes, por lo cual dentro del catálogo de software disponible, elegiremos aquel que, además de estar disponible para su uso y tener licencia para ello, mejor se adapte al objetivo del proyecto.

Existen dos tipos de fotogrametría:

Fotogrametría aérea: Es aquella que busca reconstruir o cartografiar grandes extensiones de terreno, edificaciones, entornos paisajísticos o patrimonio. Tradicionalmente se realizaba a partir de imágenes capturadas por aviones o aeronaves, por lo que su uso estaba muy restringido. Actualmente, tras la gran evolución de los drones, se ha convertido en un recurso muy habitual para la tomografía de zonas urbanas o patrimoniales.

Fotogrametría de corto alcance: Es la fotogrametría más tradicional, aquella en la que se trata de mapear un pequeño objeto con cámaras de mano o sujetas en un trípode. La finalidad de esta fotogrametría es reconstruir digitalmente objetos tridimensionales para su uso posterior en aplicaciones de ingeniería o entornos hiperrealistas.

En nuestro caso se trata de un proyecto basado en la fotogrametría aérea, para la cual emplearemos el uso de drones para tomar las fotografías perimetrales de un edificio como se verá en secciones posteriores de esta memoria.

De entre los software disponibles, están a la disposición de este proyecto un total de tres programas:



Autodesk ReCap: Nos permite convertir fotografías 2D en modelos tridimensionales y es apto tanto para objetos cercanos de proyectos de fotogrametría de corto alcance como para proyectos aéreos para posteriormente emplear esas mallas tridimensionales en otros programas de la familia Autodesk.



Agisoft Metashape: Este software es uno de los principales en el mundo de la fotogrametría, siendo usado a nivel profesional en una gran cantidad de proyectos tanto de corto alcance como espaciales.



CapturingReality: Es un software que recientemente ha sido adquirido por la compañía Unreal Engine, el motor gráfico de referencia a nivel mundial para recreaciones virtuales hiperrealistas empleadas en aplicaciones de realidad virtual y creación de videojuegos de nueva generación. Permite generar entornos de una manera sencilla tanto de objetos a corto alcance como grandes extensiones espaciales, pudiendo georreferenciar los mapas.

El software seleccionado para este proyecto ha sido CapturingReality debido principalmente a dos factores. Dentro de que era uno de los software disponibles para su uso en este proyecto, personalmente decidí decantarme por este al haber empleado ya en el máster el software Agisoft Metashape, queriendo explorar nuevas herramientas.

Por otro lado, junto con Agisoft es el programa más puntero para la realización de proyectos de fotogrametría aérea, pudiendo de una manera insertar las imágenes capturadas por el dron y, tras una previa configuración de parámetros, obtener una malla de calidad sobre la que poder trabajar para obtener el prototipo destinado a ser impreso.

Recientemente este software ha sido adquirido por la compañía Epic Games, propietaria del motor gráfico más extendido y con mayor potencia a nivel mundial, Unreal Engine. Las representaciones hiperrealistas de este motor gráfico, así como su gran potencia de procesamiento y renderizado, facilitan las labores de reconstrucción de la malla empleando el software de CapturingReality.

Con este software llevaremos a cabo la fase de reconstrucción a través de las fotografías y obtención de la malla tridimensional, tal y como se mostrará en páginas siguientes de esta memoria.

8. Vuelo con drones

Como se ha podido determinar anteriormente, este se trata de un proyecto de fotogrametría aérea, gracias a las facilidades que nos aportan los drones, pudiendo obtener imágenes de alta calidad de una manera sencilla.

El empleo de aeronaves no tripuladas está en creciente expansión, y con ello la normativa que regula el espacio aéreo, competencia en España de la Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA) y del Ministerio de Defensa (en el caso de aquellas zonas protegidas por pertenecer a terreno militar), por lo que estudiar y analizar la normativa existente es clave para plantear el desarrollo del proyecto cumpliendo con todas las garantías y será determinante para la elección del edificio a mapear tridimensional.

Antes de establecer la normativa aplicable y el dron que será empleado en el proceso, cabe determinar una serie de definiciones básicas que condicionará la elección del mismo:

dron

Del ingl. *drone*.

1. m. Aeronave no tripulada.

2) RAE. (s. f.). RAE. Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://dle.rae.es/dron%C2%B4?m=form>

Un dron es una aeronave no tripulada que ha irrumpido con gran fuerza en los últimos años en el mercado, razón por la cual ha sido necesario crear un marco legislativo común, debido a la peligrosidad que podían llegar a suponer estos aparatos en caso de un mal uso o una negligencia.

Existen diferentes tipos de drones que están clasificados en función de las características principales, que determinarán su diseño físico y limitaciones en el espacio aéreo. Estas características se basan en:

Masa máxima al despegue (MTOW): Esta es una de las principales características de estos aparatos y determinará su masa, en kg, a la hora de realizar el despegue.

Velocidad máxima: Esta característica viene determinada por la potencia de los motores que conforman la aeronave. Por normativa los drones vendrán limitados a una velocidad máxima (m/s) que no se podrá superar en vuelo.

Altura máxima de vuelo: Representa la altura máxima (siempre sobre el punto del terreno más próximo) que puede alcanzar la aeronave. Por norma general, el espacio aéreo europeo está segregado en diferentes Flight Levels, no pudiendo superar en ningún momento los 120 metros.

A tenor de las anteriores especificaciones y dentro del nuevo marco normativo europeo EASA21 (UE) 2019/945 los drones se pueden clasificar en 7 categorías:

- 0 **Categoría C0:** Masa máxima menor de 250g, velocidad máxima 19m/s.
- 1 **Categoría C1:** Masa máxima menor de 900g, velocidad máxima 19m/s.
- 2 **Categoría C2:** Masa máxima menor de 4kg, disponer sistemas de control cifrados.
- 3 **Categoría C3:** Masa máxima menor de 25kg, disponer sistemas de control cifrados.
- 4 **Categoría C4:** Masa máxima menor de 25kg, disponer sistemas de control cifrados.
- 5 **Categoría C5:** Masa máxima menor de 25kg, disponer sistemas de control cifrados.
- 6 **Categoría C6:** Masa máxima menor de 25kg, velocidad máxima 50m/s, disponer sistemas de control cifrados.

9. Normativa aplicable:

Como se ha visto anteriormente, y tras el auge y expansión de este tipo de aparatos, su uso queda reglado bajo un nuevo marco normativo europeo que entró en vigor en Enero de 2021, se trata de la norma EASA21 y recogido por el Reglamento 2019/945 (UE) sobre el uso y pilotaje de aeronaves no tripuladas.

El desarrollo de este proyecto se verá altamente condicionado por esta normativa, ya que ella determinará el tipo de aparato que podremos emplear así como la ubicación elegida y condiciones para la realización de la captura.

En cuanto a restricciones normativas no se van a encontrar grandes problemas en este proyecto al estar certificado y poseer el título de Piloto Profesional de Drones Europeo, estando habilitado por tanto para poder emplear aeronaves de las categorías C0-C6.

No obstante si será requisito imprescindible cumplir las normas que regulan el vuelo profesional de aeronaves, las cuales serán:

- No superar 120 metros de altura respecto el punto de despegue.
- No superar los 25kg de masa en el despegue.
- No perder el contacto visual con el aparato en ningún momento del vuelo.
- No realizar vuelos nocturnos sin autorización previa de la institución competente.
- No realizar vuelos sobre aglomeraciones de personas sin autorización previa de la AESA.
- Realizar el vuelo en una zona permitida, libre de Restricciones al vuelo con drones.

De entre toda la normativa, a la que tendremos que prestar más atención para la elección del emplazamiento es aquella en la que se determinan las restricciones en cada zona.

El espacio aéreo español está segregado por zonas con mayor o menor nivel de restricciones, pasando desde un vuelo libre, solicitud necesaria o completamente restringida.

Estas restricciones, que pueden ser permanentes (zonas de aproximación a aeropuertos y aeródromos, zonas militares...) o bien temporales (espacio aéreo segregado entre dos momentos temporales (grabación con helicóptero, pruebas...) pueden consultarse en la página de AESA destinada a los vuelos de drones, ENAIRE (drones.enaire.es), tanto en un perfil recreativo como profesional. En esta aplicación será donde consultaremos la posibilidad de realizar vuelos en el emplazamiento seleccionado para la toma fotográfica.

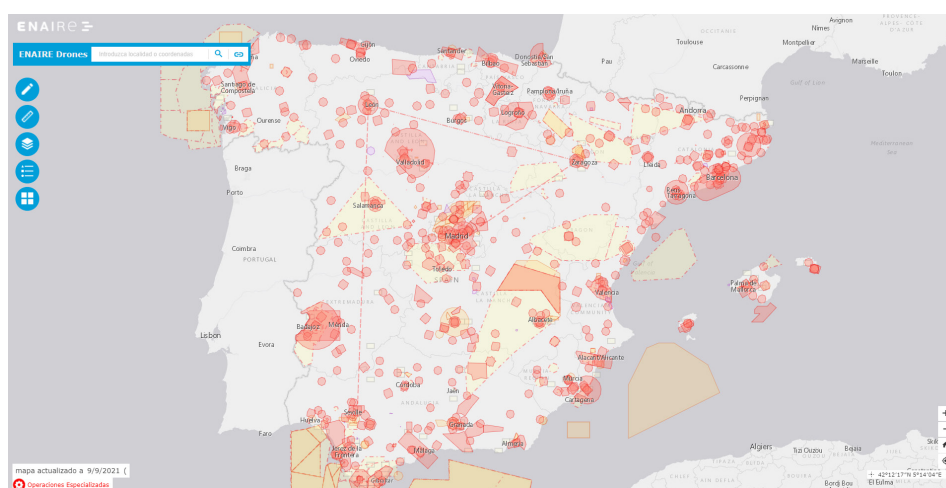


Figura 4: Mapa drone, ENAIRE

10. Dron seleccionado:

Una vez conocida la normativa asociada al tipo de vuelo que necesitamos realizar y, contando con la titulación y certificación europea pertinente en regla, se hace una selección entre los drones disponibles para realizar el vuelo fotográfico, entre los que tenía disponibles dos modelos de la serie MAVIC de DJI.



Figura 5: Mavic Mini Mavic PRO, DJI

MAVIC 2 PRO

Categoría C2

Masa 907 gramos

Velocidad máxima en vuelo 19m/s

Cámara 4K

MAVIC MINI

Categoría C0

Masa 249 gramos

Velocidad máxima en vuelo 13m/s

Cámara 2K

Ambos drones pertenecen a la familia de los aparatos no tripulados de 4 hélices, y en el marco normativo el MAVIC 2 PRO es necesario disponer una certificación para su manejo al ser de categoría C2 mientras que el MAVIC Mini es de categoría C0, por lo que su uso no requiere una certificación profesional.

Esto no supone un problema a la hora de la decisión al disponer de la certificación pertinente, en cambio las necesidades técnicas si que serán vinculantes a la hora de la selección. Aunque el modelo 2 PRO, tiene mejores parámetros de rendimiento, velocidad y calidad fotográfica, el tipo de vuelo que vamos a realizar, el tiempo que vamos a emplear, la altura que se va a alcanzar y la distancia máxima del aparato no hacen necesario unos parámetros tan elevados por lo que, al disponer el MAVIC MINI de una calidad de fotografía con una resolución de 4000x2250px y siendo esta suficiente para obtener una sesión fotográfica que asegure una calidad del proyecto de fotogrametría, se decide elegir este modelo de dron al ser más ligero y con una mayor facilidad en cuanto a logística.



Figura 6: Mavic Mini, DJI

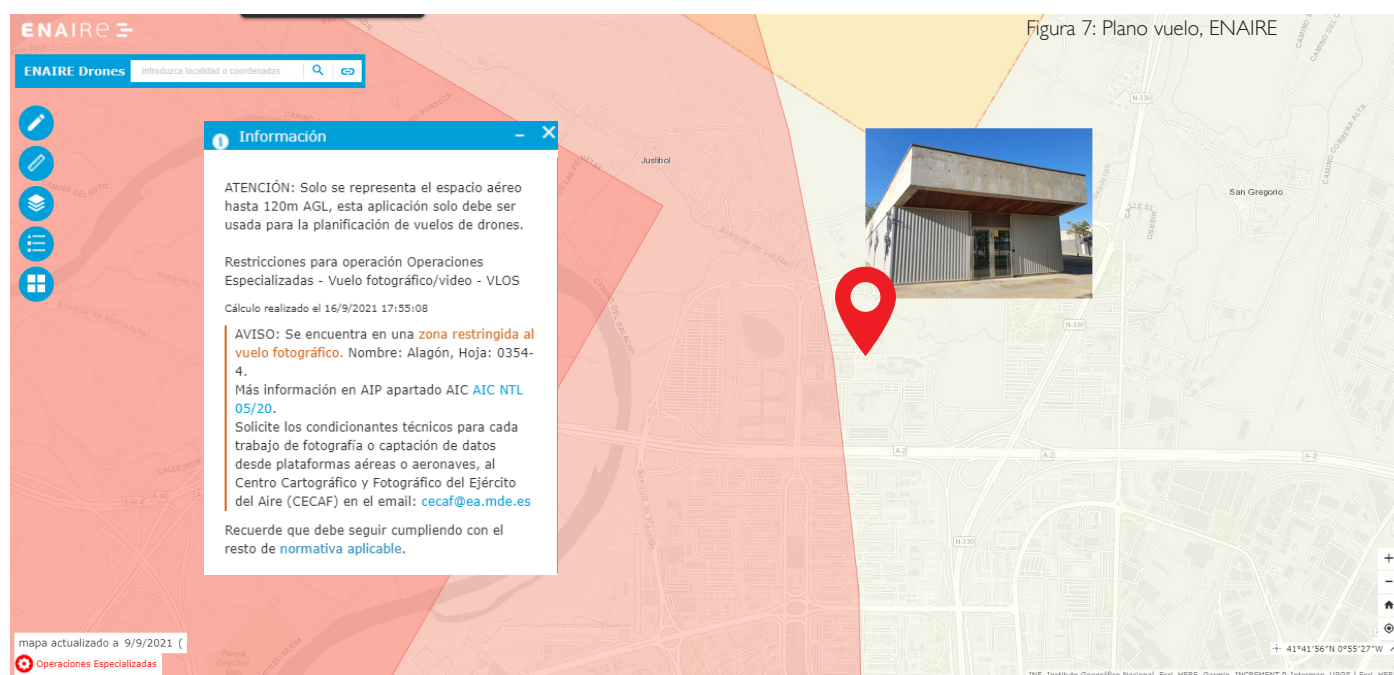
II. Edificio seleccionado:

El objetivo de este proyecto es reconstruir a través de fotogrametría un edificio, por lo que la elección de éste es una de las decisiones más influyentes del mismo. Conociendo que se va a destinar con un fin de prototipado mediante fabricación aditiva por impresión 3D y posteriormente jugar con la geometría de su fachada para crear animaciones proyectadas, se buscará un edificio geométrico que pueda descomponerse en diferentes formas.

Mientras se planteaba este proyecto, fruto de la situación sociosanitaria, existía un confinamiento perimetral, restricción que limitaba los edificios disponibles para su escaneo ya que, volar el dron en mitad de un núcleo urbano como Zaragoza supondría la necesidad de pedir una serie de permisos y su tramitación se dilataría en el tiempo.

Por todo ello se decide emplear una construcción sita en el Campus Río Ebro, donde se encuentra localizada la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza que además, al ser propiedad de la Universidad de Zaragoza, la tramitación del permiso por volar en zona privada y al ser con un fin académico para la propia institución sería mucho más ágil.

Una vez obtenida la autorización para volar con el dron DJI Mavic Mini en las instalaciones (siempre exteriores) de la Universidad de Zaragoza, se localiza en la web de ENAIRE la geolocalización del mismo para conocer si existe alguna restricción sobre él.



Como podemos ver en las restricciones existentes en la web de ENAIRE, no existe ninguna restricción que prohíba el vuelo en la zona seleccionada (zonas rojas), y sólo existe una advertencia generada por el Ejército que restringe el vuelo fotográfico. (advertencia amarilla).

En principio podría generar alarma esta restricción (todos los núcleos urbanos están bajo este tipo de restricciones para preservar la privacidad de las personas), pero tras consultar con la autoridad competente si era necesario solicitar los permisos requeridos en el aviso se determina que, al estar titulado como piloto, hacer el vuelo con una aparato de Categoría C0 y siendo unas fotografías exactas y una distancia de vuelo corta, no requiere de autorización especial para ello.

Con todo ello, una vez seleccionada la aeronave y el edificio a reconstruir, se procede a realizar los vuelos fotográficos y toma de fotografías terrestres para posteriormente realizar la fotogrametría.



VUELO DRON

A lo largo de esta fase se analizarán las tecnologías aplicables al proyecto, las necesidades y normativas referentes al mismo así como las soluciones adoptadas para conseguir alcanzar los objetivos de este proyecto.

12. Toma aérea:

Una vez con el edificio seleccionado y los permisos pertinentes solicitados, el siguiente paso es realizar la toma de las fotografías del edificio.

Para cubrir toda su geometría y poder hacer una reconstrucción en 360°, será necesario combinar las imágenes aéreas captadas por el dron con otras terrestres realizadas con una cámara de mano.

En esta primera parte de la captura de fotografías, se explicará el proceso por el cual a través de vuelos se realizaron las tomas aéreas.

Uno de los factores que más influyen a la hora de realizar vuelos con aeronaves no tripuladas, son las condiciones meteorológicas, principalmente de velocidad de viento (pues de ello dependerá la estabilidad del aparato) como de humedad y precipitación. Para ello se seleccionaron unos días que cumplieran estas condiciones y, en caso de tener que prolongar la captura más de un día, permitieran obtener, realizando el vuelo a la misma hora, las condiciones de luz más homogéneas que faciliten la interpretación de las imágenes en el software posterior.

El día seleccionado para el vuelo fue el 7 de abril de 2021, encontrando las siguientes condiciones atmosféricas:



Rango de temperaturas: 5°C / 16°C

Velocidad media aire: 10km/h / Rachas aire: 20km/h

Humedad: 38% | Precipitación: 0mm

Con estas condiciones, se realizaron una serie de vuelos perimetrales alrededor del edificio mediante los cuales se tomaron las fotografías que posteriormente se emplearán en la reconstrucción.

Como el aparato es un dron registrado con la identificación del piloto, se genera el plan de vuelo así como el recorrido realizado:

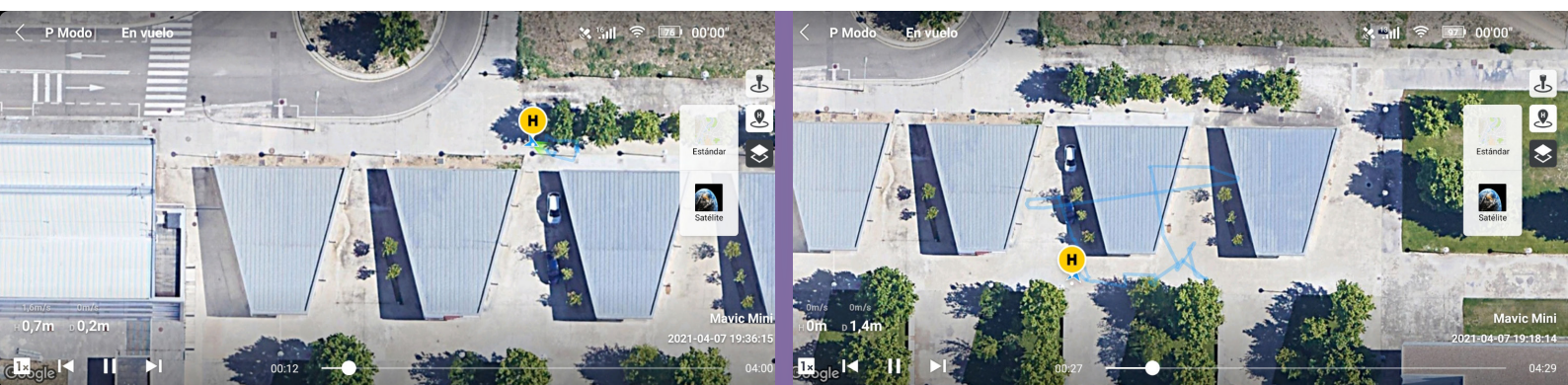


Figura 8: Vuelo con dron, elaboración propia

Como se puede ver en los planes de vuelo, se realizaron diferentes vuelos con diferentes recorridos alrededor del edificio objeto de nuestra reconstrucción.

En las técnicas de reconstrucción fotogramétrica no se necesita la misma densidad de imágenes a lo largo de toda la superficie, en aquellas zonas del edificio donde la geometría es más sencilla y presenta menos cambios se realizarán menos fotografías mientras que en aquellas donde existen más detalles o bien unos cambios bruscos en la geometría, se enfatizará con un mayor número de fotografías para facilitar el proceso de reconstrucción y aportar más detalles para que el software no encuentre problemas.

Se realizaron dos vuelos, correspondientes a dos baterías del DJI Mavic Mini, con los que se capturaron las imágenes suficientes para el proceso.

Se realizaron un total de 120 fotografías aéreas alrededor del edificio, describiendo un vuelo circular en forma helicoidal, aumentando el nivel de altura del vuelo en cada vuelta que se daba con el dron.

A la hora de capturar las fotografías, se enfatizó en aquellas partes que presentaban una mayor complejidad o bien suponían un cambio fundamental en la geometría del edificio, como podrían ser las esquinas del mismo o los voladizos.

A continuación se expone una pequeña muestra de las imágenes capturadas, donde se puede ver el edificio desde diferentes puntos de vista.



Figura 9: Vuelo con dron, elaboración propia

13. Toma terrestre:

Como se ha mencionado anteriormente, para hacer la captura fotográfica del edificio, se van a realizar fotografías tanto desde una vista aérea con un dron como desde suelo con una cámara de mano.

Esto se debe a la necesidad de capturar la geometría completa del edificio, lo que implica también capturar las zonas bajas del mismo. Además desde el suelo se podrán realizar fotografías que permitan complementar las zonas que precisan de una mayor densidad de fotos para lograr una mayor precisión en la fotogrametría.

Las zonas a las que habrá que prestar mayor atención desde un punto de vista a nivel de suelo son aquellas que se encuentran debajo del voladizo, las esquinas internas y toda la geometría que compone la puerta y el frontal del edificio.

De la misma manera, resulta fundamental hacer unos planos detalles de las uniones entre las diferentes partes de la geometría a nivel de suelo así como los resaltes de las lamas y las rejillas. La distribución de la posición de los disparos deberá permitir capturar todo el perímetro del edificio teniendo puntos comunes entre las diferentes fotografías para que, una vez importadas en el programa, se puedan encontrar la relación entre ellas y poder vincularlas espacialmente generando una malla.

Para este proceso se empleó la cámara de un Samsung Galaxy Note10 +, con una configuración de cámara similar a la que se empleó en el vuelo fotográfico para así obtener las imágenes lo más similares y homogéneas posible. Se capturan un total de 345 fotografías terrestres.



Figura 10: Vuelo con dron, elaboración propia



FOTOGRAMETRÍA

Una vez realizadas y capturas las fotografías necesarias para la reconstrucción, en esta fase se procederá a su análisis y procesamiento en el software seleccionado, para conseguir la malla tridimensional sobre la que poder realizar posteriormente el objeto destinado a la impresión tridimensional.

14. Importación fotografías:

Una vez se han realizado todas las fotografías, y teniendo seleccionado el software que se va a emplear para el proceso de reconstrucción fotogramétrica, se procede a la importación de las mismas para la revisión de parámetros y poder empezar con el proceso.

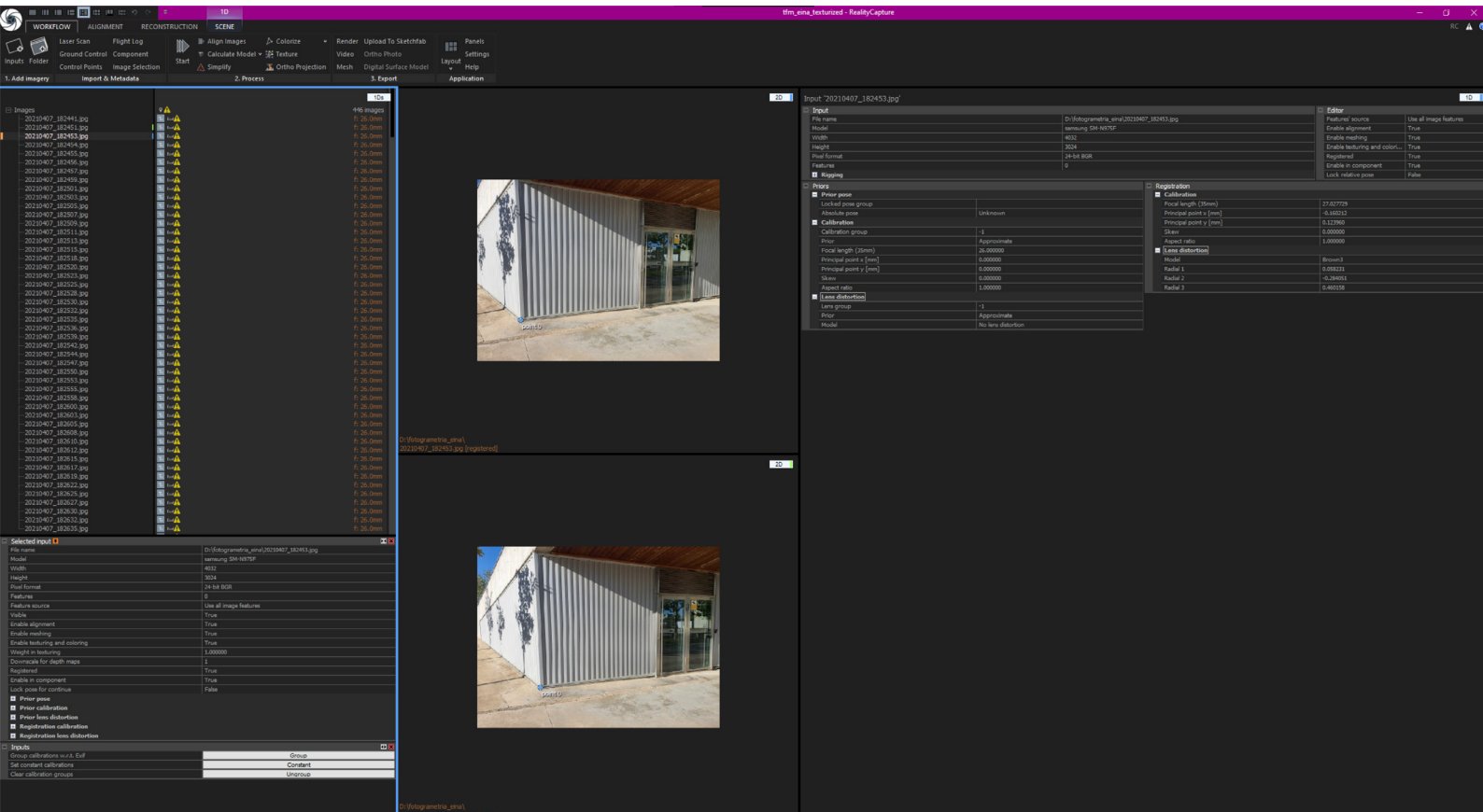


Figura 11: Software, elaboración propia

Para ello agrupamos todas las imágenes tanto las aéreas como las terrestres en una carpeta y la importamos en el software, de manera que podamos ver la información detallada de cada una de ellas y comprobar que los valores de calidad y resolución son similares para poder garantizar un proceso lo más efectivo posible.

Una vez importadas las imágenes, establecemos y configuramos los parámetros del programa para situar espacialmente las fotografías y asegurar el mejor resultado posible. Estos parámetros los establecemos en:

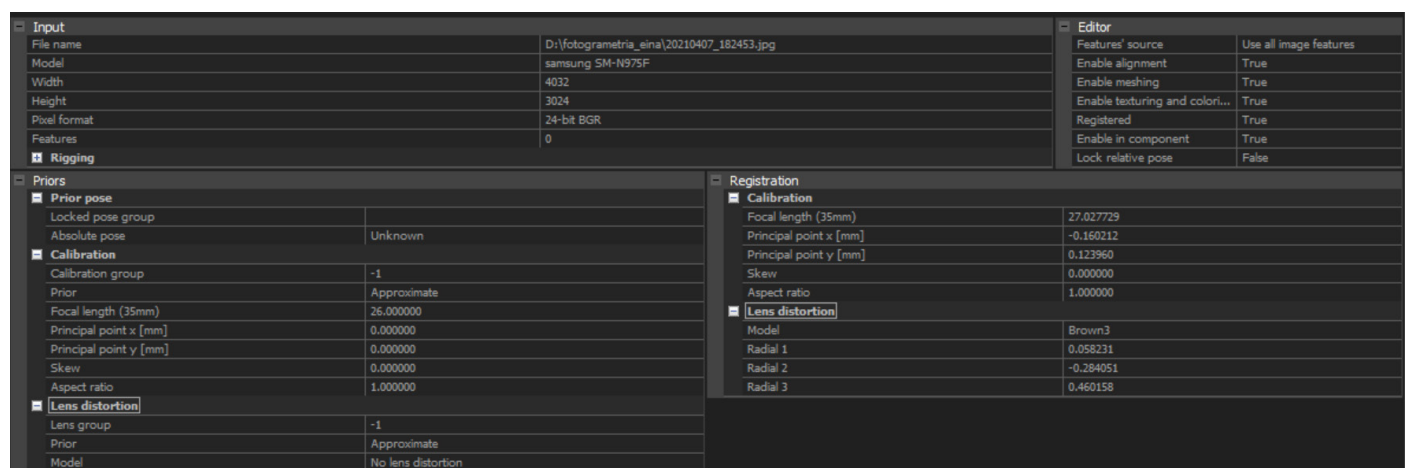


Figura 12: Software, elaboración propia

15. Alineación de fotografías:

Con este programa podríamos realizar el proceso de fotogrametría automáticamente, en el cual es él de forma autónoma quien intenta encontrar los puntos comunes entre las diferentes fotografías para situarlas espacialmente y crear la malla tridimensional.

Como se trata de un edificio de grandes dimensiones, donde intervienen muchas imágenes, emplearemos puntos de control que permitirán añadir manualmente puntos comunes entre fotografías, que ayudarán al proceso posterior.

Estos puntos de control se crearán en vértices estratégicos del edificio, y se señalarán en todas aquellas imágenes que aparezca ese vértice, indicándole de esta forma al programa cómo orientar las fotografías. Se emplearán tantos puntos como sea necesario para la obtención de unos resultados que nos permitan conseguir una recreación lo más fiel y objetiva con el edificio real.

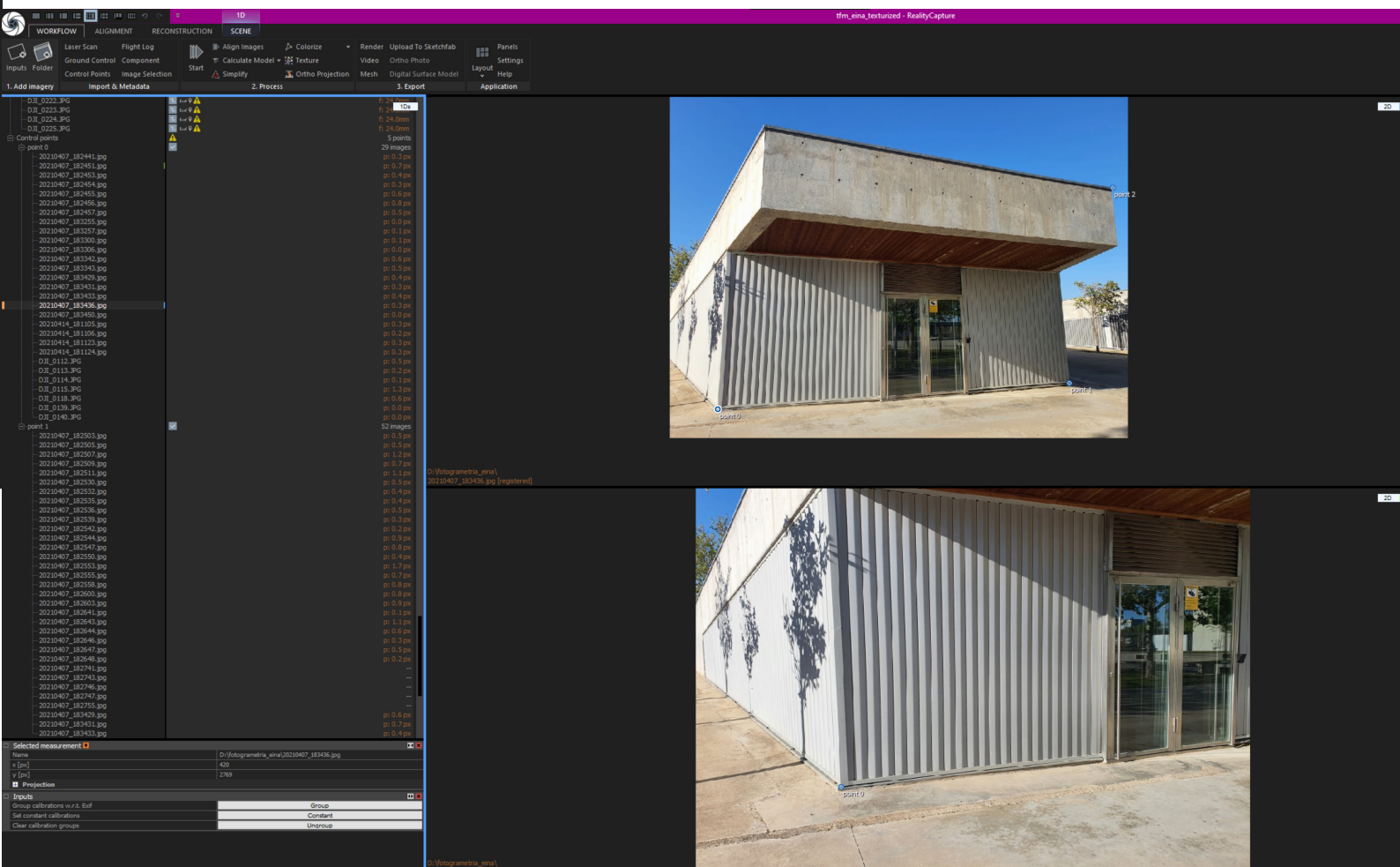


Figura 13: Software, elaboración propia

Cuando se han creado y seleccionado todos los puntos de control necesarios para garantizar la reconstrucción, se procede al inicio de la misma, mediante la cual obtendremos una nube densa de puntos, que serán el resultado de combinar las diferentes fotografías, ordenarlas espacialmente y encontrar los píxeles comunes entre ellas.

El color de cada punto de esta nube densa vendrá dado por la media de los colores de los píxeles de las fotografías que han intervenido para generar ese punto.

La nube de puntos densa será el primer paso de la reconstrucción, que nos permitirá obtener el sólido y posteriormente generar tanto la malla como la malla texturizada, resultado final del proceso.

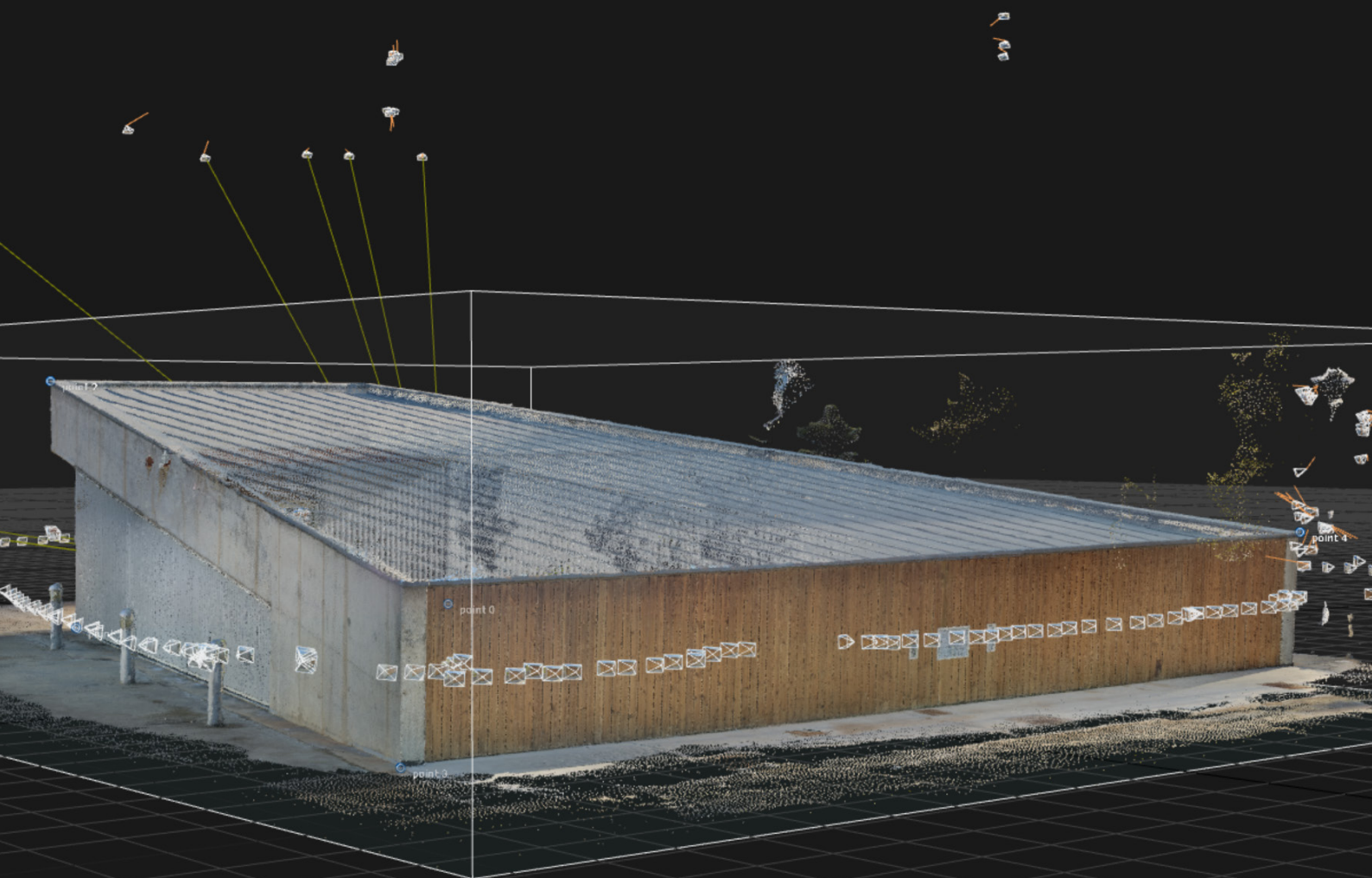
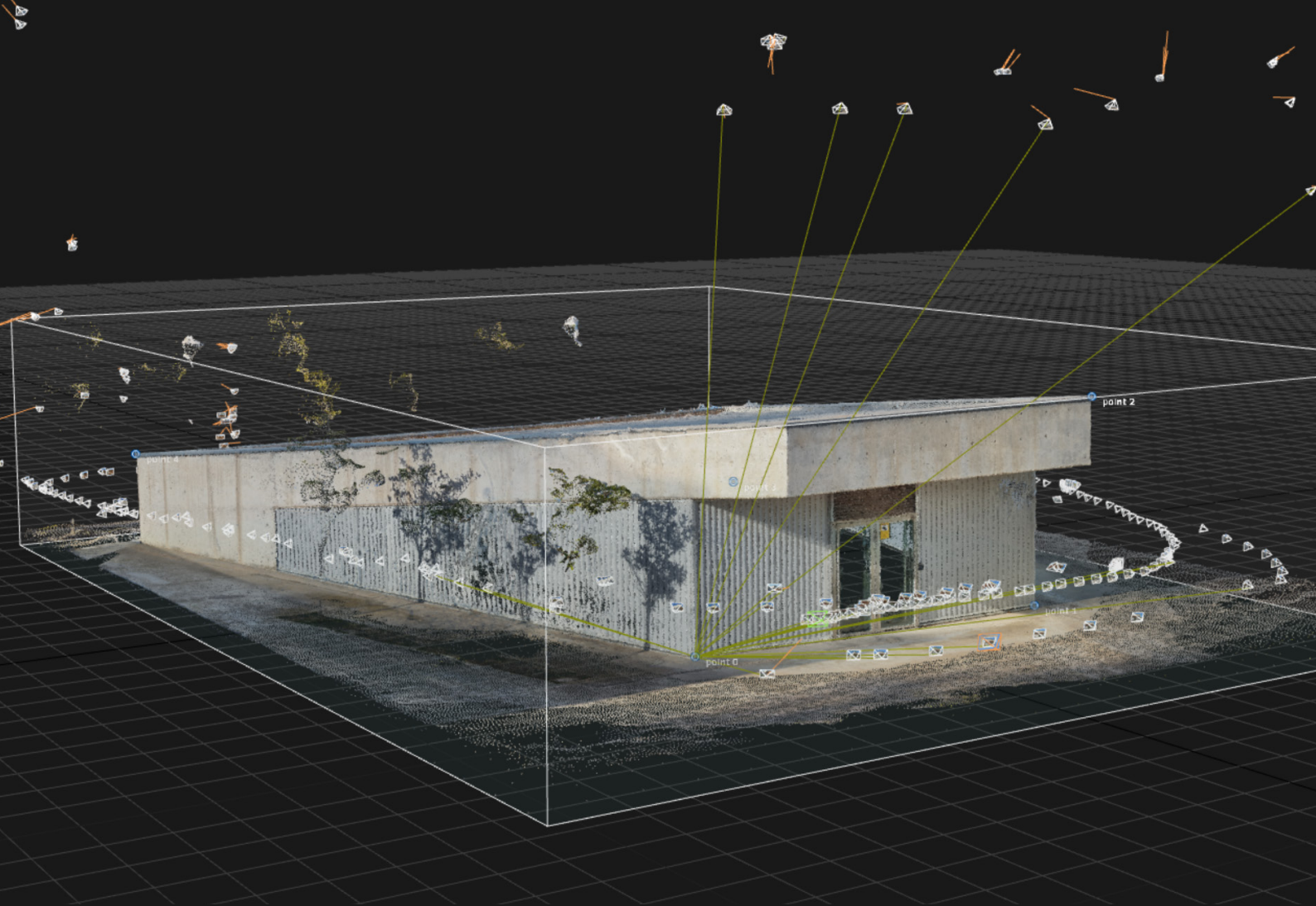


Figura 14: Software, elaboración propia

16. Generación de malla:

Una vez obtenida la nube de puntos es necesario acotar el área de actuación y limpiar aquellas zonas que no interesen en la reconstrucción. Esto nos permitirá eliminar aquellos puntos que no formen parte del objetivo de la reconstrucción fotogramétrica y así poder centrar los recursos del programa en aquellas áreas que si son importantes, aligerando el proceso y optimizando los procesos de reconstrucción.

Cuando ya la nube de puntos está optimizada para el siguiente paso, es generar la malla tridimensional. Este proceso consiste en emplear los puntos procedentes de la nube densa como vértices de los triángulos que componen la malla tridimensional, dando así lugar a la forma final del proceso.

Este proceso puede realizarse con un mayor o menor grado de definición, en función de la densidad de triángulos que se empleen en la reconstrucción



Figura 15: Software, elaboración propia

Estos niveles de detalle implican la cantidad de triángulos o facetas que compondrán el modelado final y resulta interesante hacer una correcta elección en función de cual vaya a ser su uso, ya que este proceso es uno de los más costosos y que más recursos consumirán del equipo por lo que es fundamental encontrar la forma de optimizar el proceso.

En nuestro caso vamos a realizar una reconstrucción con detalle normal ya que el equipo disponible tiene recursos suficientes para afrontar la tarea y posteriormente podremos tratar la malla con otros software para reducir así los triángulos del modelo en aquellas zonas donde no sea necesaria una gran densidad de los mismos.

La reconstrucción con gran detalle sería empleada en aquellos casos de fotogrametría de corto alcance donde conviene capturar con máximo detalle todas las zonas del objeto o bien en aquellas reconstrucciones que impliquen formas muy complejas o con zonas que contengan muchos cambios de orientación o empleen contornos curvos.

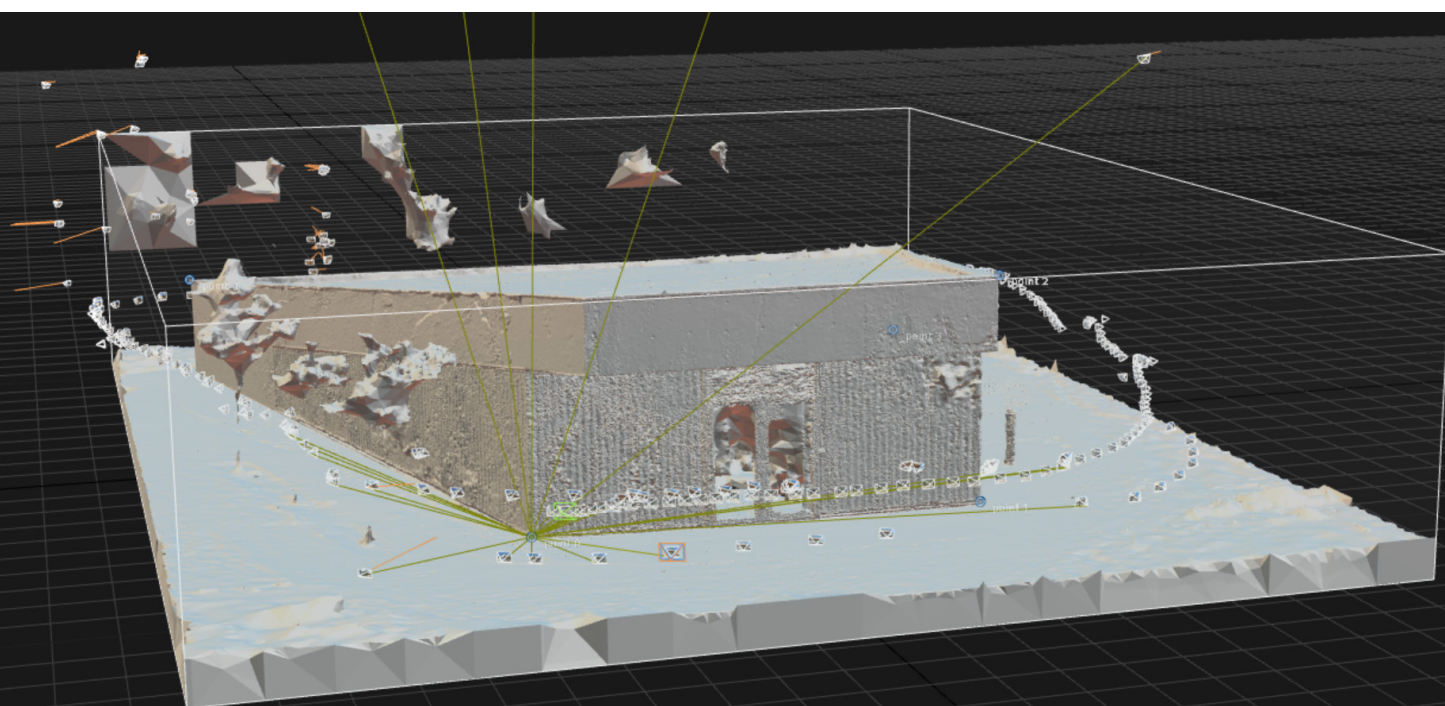


Figura 16: Software, elaboración propia

17. Malla texturizada:

Con la malla ya generada, el proceso para cumplir el objetivo del proyecto estaría finalizado ya que, solo es preciso el modelo tridimensional para su posterior impresión 3D en un único color para favorecer la proyección sobre su superficie.

No obstante y dada la envergadura del proyecto, resulta interesante realizar este paso adicional en la fotogrametría para poder obtener el modelo tridimensional con una textura, pudiendo emplearse posteriormente en aplicaciones de realidad virtual o aumentada, para las cuales es necesario un modelo texturizado de alta calidad,

Para obtener este último paso en la fotogrametría, el programa mediante la herramienta texturizar va a otorgar a cada faceta y triángulo formado a través de los puntos de la nube densa inicial unos valores de color acordes a la media de los píxeles que conformaban las imágenes iniciales que dieron lugar al proceso posterior.

Este mapa de textura el programa lo adaptará perfectamente a la forma del modelo tridimensional obtenido y será posible modificar y limpiar el modelo tridimensional y adaptar posteriormente esta textura, con el objetivo de obtener el modelo más eficiente y real posible.

Una vez texturizado el modelo de la fotogrametría, obtenemos resultados muy similares al edificio real:



Figura 17: Software, elaboración propia

18. Exportación modelo:

Tras obtener el modelado tridimensional así como el mapa de textura asociado al mismo, el proceso de reconstrucción fotogramétrico se da por concluido, exportando este modelo en un formato CAD que permita su edición en otros software especializados en reparación y adecuación de mallas y prepare el modelo para el posterior proceso de impresión 3D.

En el caso objeto de este proyecto, y en consecuencia a los programas de edición que se emplearán posteriormente, se va a exportar el modelo en STL (STereoLithography) y en OBJ (Wavefront 3D Object File), formatos de archivos que permitirán reconocer el modelo en los diferentes programas de edición CAD.

Asimismo, a la hora de exportar estas mallas desde CapturingReality, será necesario exportar también el mapa de textura generado, para su posterior empleo en otras aplicaciones virtuales.

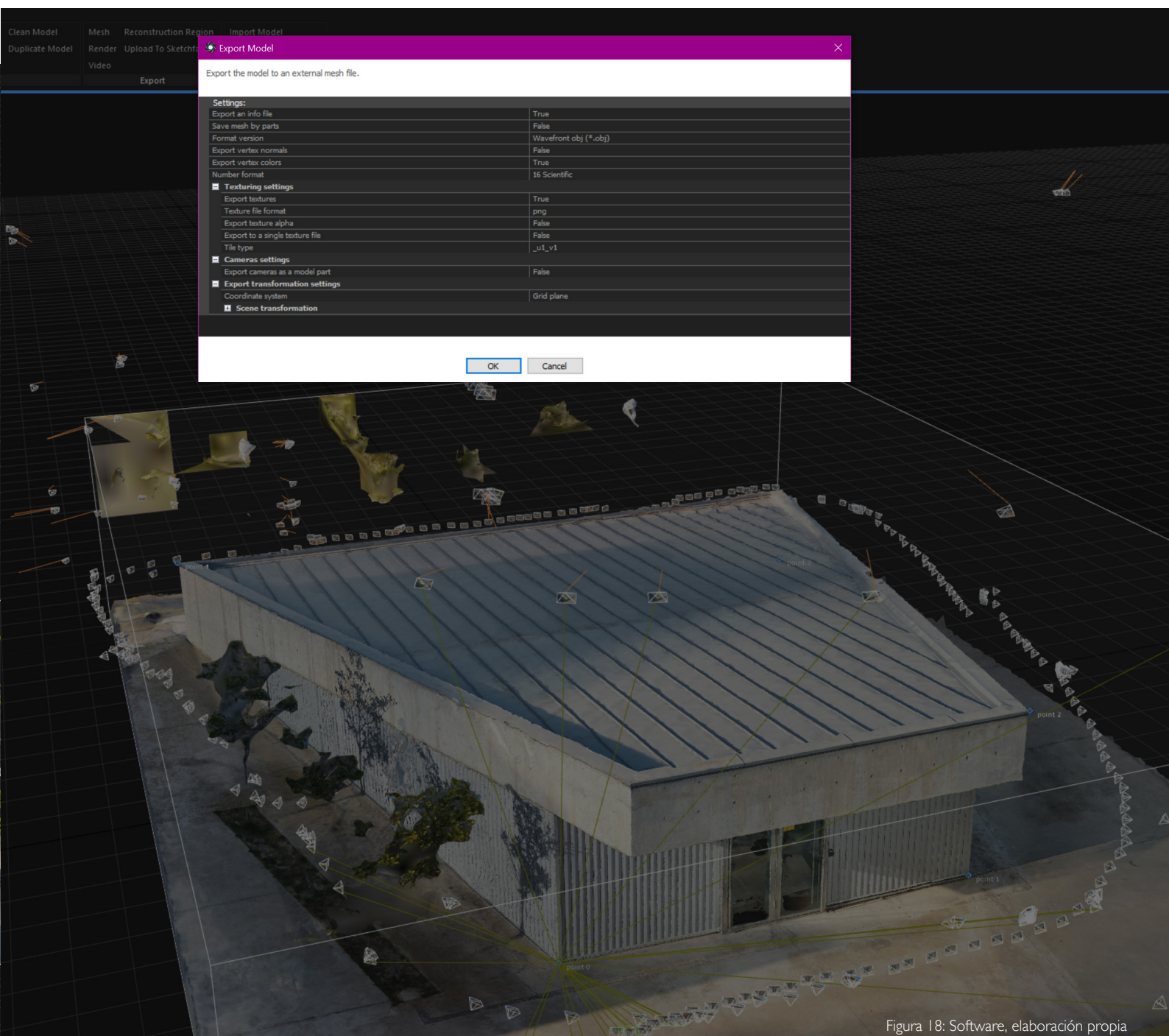
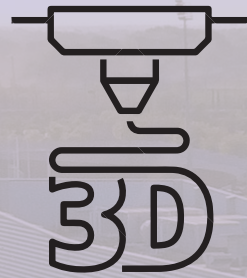


Figura 18: Software, elaboración propia



PROTOTIPADO

Tras obtener la malla tridimensional objeto, es necesario adaptarla y prepararla para su impresión tridimensional con la tecnología de fabricación aditiva que mejor se adapte a los objetivos de este proyecto y la finalidad del mismo.

19. Reconocimiento modelo:

Con la malla tridimensional obtenida y exportada en un tipo de archivo adecuado a los programas que se van a emplear, se procede a su reconocimiento para detectar aquellas zonas en las que haya que intervenir, bien se cierre de agujeros, alisar la malla, reducir triángulo... todos aquellos procesos que permitirán adaptar el resultado de la fotogrametría a la posterior impresión mediante fabricación aditiva.

En primer lugar este reconocimiento se va a realizar con el software SpaceClaim, mediante el cual podremos visualizar aquellos errores en la malla, cubrir los agujeros adaptándolos al contenido y reducir los triángulos de la misma, aligerando su procesamiento.

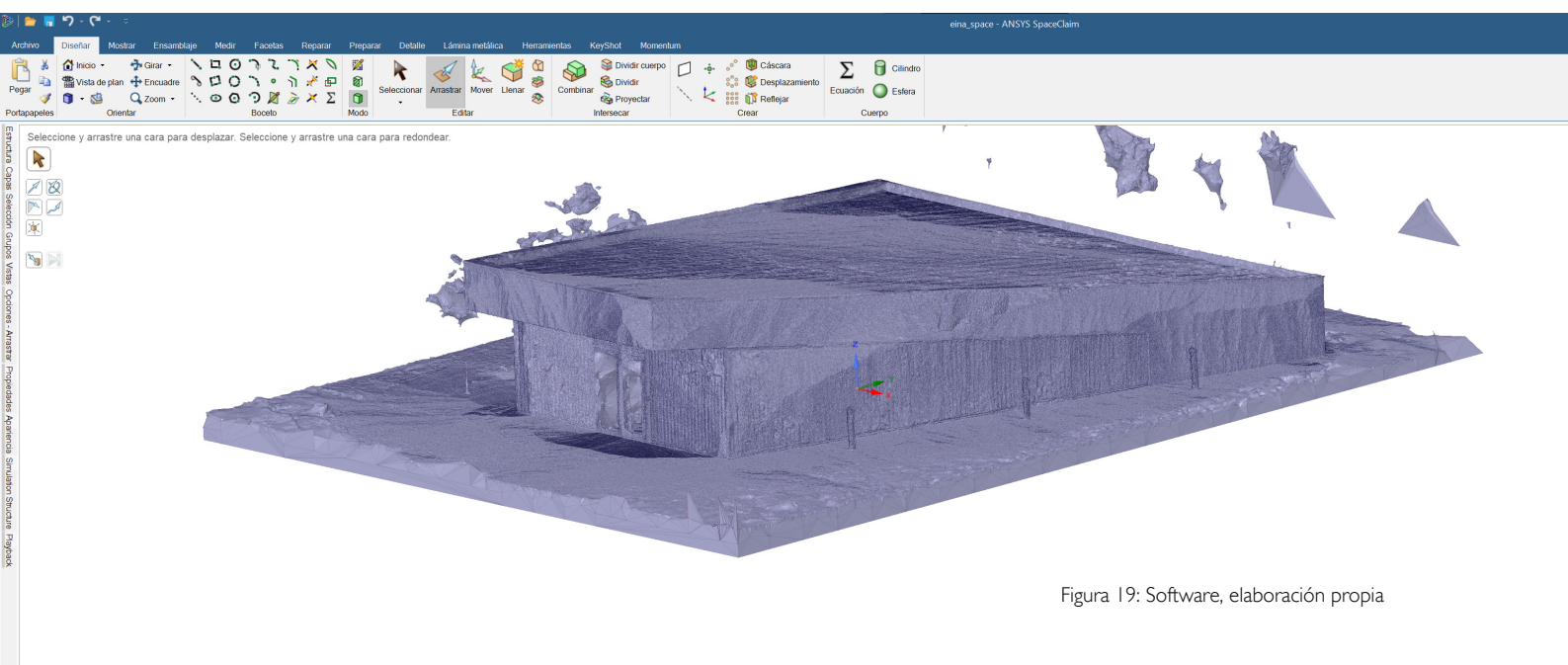


Figura 19: Software, elaboración propia

En la malla se pueden apreciar diferentes zonas sobre las que es necesaria una actuación. En primer lugar, es fundamental terminar de limpiar el modelo, eliminando aquellas zonas que se han generado de restos de la nube de puntos de la fotogrametría y no forman parte del edificio.

En lo que al edificio corresponde, se pueden apreciar los principales problemas en la zona de la entrada, formada por una puerta con grandes cristalerías. En la fotogrametría, el cristal al no ser un objeto opaco no se puede reconstruir con gran calidad, por lo que en los huecos donde va este material se encuentran protuberancias y reconstrucciones erróneas del modelo. Estas deberán arreglarse generando una malla plana que simule la forma que tiene el cristal en el edificio original.

Respecto la base del modelado, se ha generado con una gran cantidad de ruido y triángulos que obstaculizan un ritmo de trabajo fluido, por lo que será conveniente cortar el modelado por el plano de suelo y generar este suelo con uno nuevo en forma de rectángulo.

Por último y atendiendo a la calidad de la malla, se pueden apreciar diferentes agujeros y discontinuidades, fruto del gran número de triángulos generados en el proceso de fotogrametría, por lo que se procederá a su subsanación modificando la malla y cerrándolos conforme a la superficie donde se encuentran.

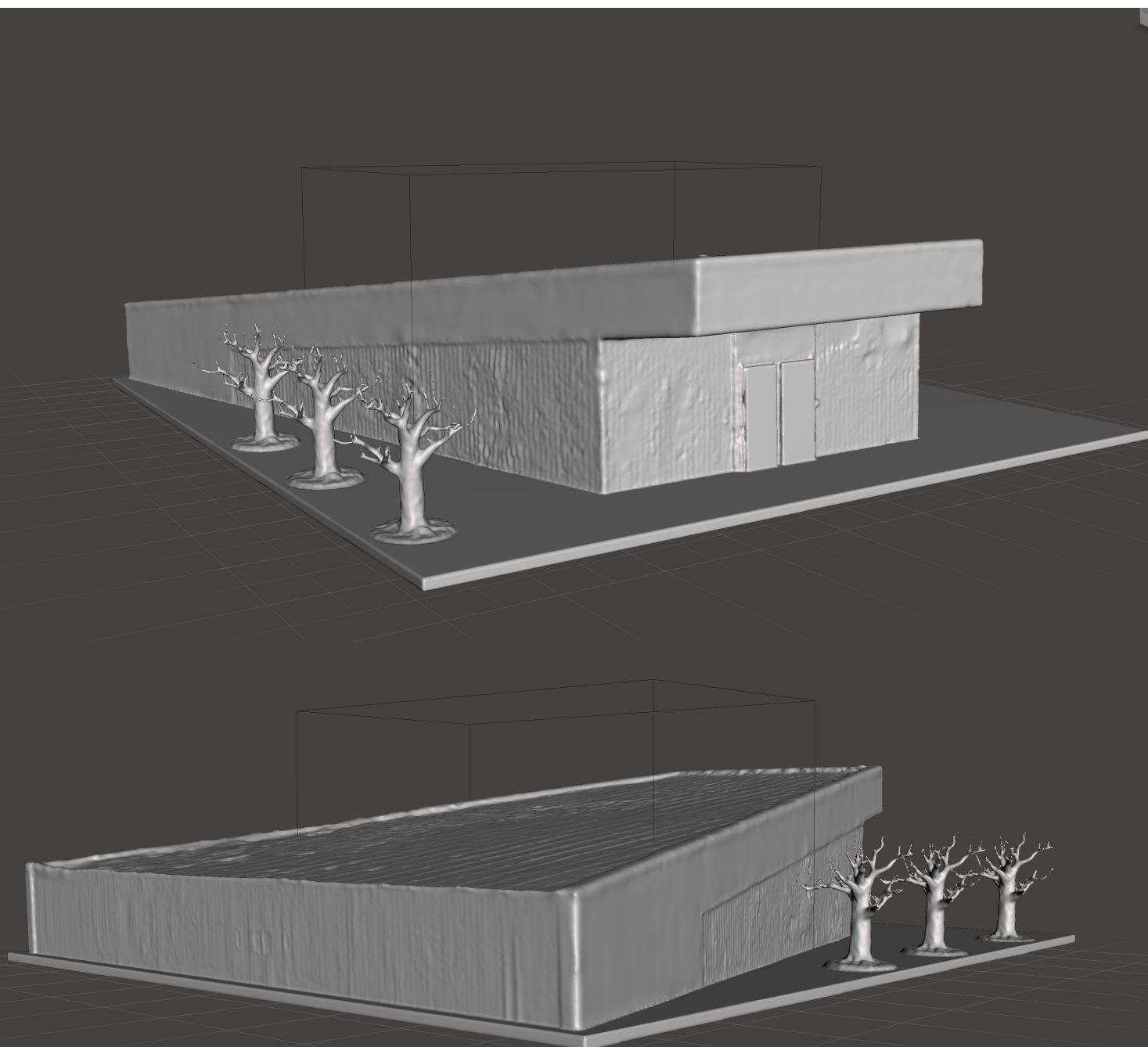
Tras seguir estos pasos se habrán arreglado aquellos errores fruto del proceso e imperfecciones generadas tras la fotogrametría y el siguiente paso será su adaptación para el proceso de impresión.

20. Preparación modelo:

El último paso previo a la impresión del modelo y una vez se han arreglado los grandes defectos encontrados en la malla tras la fotogrametría es la adecuación de la misma para la impresión y los objetivos finales.

De esta forma, se va a trabajar sobre todas las caras del objeto, aplanando y alisando las diferentes geometrías del edificio y optimizando el número de triángulos generando un modelo que estará preparado y listo para su posterior impresión tridimensional.

Con el software MeshMixer de la familia AutoCAD, se realizarán todas estas adaptaciones, que tras su aplicación generarán el modelo final para la impresión:



21. Fabricación aditiva:

En el prototipado y en la ingeniería inversa, una de las técnicas más empleadas para la obtención de prototipos y modelos rápidos con alta fiabilidad es la fabricación aditiva.

Se trata de uno de los métodos productivos más modernos y consiste en la deposición de material capa a capa en aquellas zonas que el modelado tridimensional del objeto lo requiere. El empleo de esta técnica permite el abaratamiento de costes y la obtención rápida de formas geométricas en volumen, razón por la cual cada día es empleada por un mayor número de empresas de sectores muy diferentes.

En función del tipo de materiales empleados así como su forma de procesamiento existen diferentes tipos de tecnologías de impresión 3D.

Para este proyecto, dada su finalidad así como los recursos disponibles, se pueden establecer dos alternativas diferentes de impresión:



Figura 21: DT60, DinamycalTools



Figura 22: Object, Polyjet

EXTRUSIÓN (FDM)

Estas impresoras emplean una bobina de filamento como material de extrusión.

Este material se hace pasar a través de un extrusor que, tras calentarlo a una temperatura adecuada, lo funde y lo deposita a través de una boquilla de tamaño variable sobre una superficie adecuada.

POLYJET

Este tipo de tecnología inyecta sobre la superficie gotas de fotopolímero líquido que se van solidificando tras un proceso de curación en cada capa que compone el proceso constructivo del objeto.

Permite obtener acabados de muy alta calidad superficial y precisión

Para este proyecto, atendiendo a las necesidades, la geometría obtenida y el acabado superficial necesario se seleccionará el tipo de impresión que más se adapte a estos criterios.

De esta forma, se ha decidido realizar la impresión mediante extrusión, al ser una forma más barata y con una mayor rapidez debido a que, la principal ventaja de la tecnología polyjet es su gran resistencia a esfuerzos y su gran acabado superficial, características que no son necesarias en el proyecto.

Al tratarse de un edificio geométrico, con pocas formas curvas y secciones pequeñas que requieran un gran detalle para ser interpretadas, se puede imprimir mediante FDM obteniendo una calidad superficial suficiente que asegure la proyección de las animaciones fruto del videomapping.

El edificio de esta forma será impreso en material plástico de color blanco, permitiendo así realizar todo tipo de proyecciones empleando su geometría como un lienzo.

22. Impresora empleada:

Tras realizar una comparativa entre las opciones de impresión disponibles, se determina hacer mediante FDM debido a que esta tecnología resulta más barata y se pueden obtener resultados en un tiempo más reducido configurando los diferentes parámetros de impresión.

Se empleará la impresora DT60 del fabricante DynamicalTools, un fabricante de origen nacional de impresoras 3D de gran formato, requisito esencial para el proyecto ya que, aunque se proyectará sobre una miniatura del edificio real, esta deberá tener unas dimensiones mínimas que permitan realizar animaciones y su visualización.

El prototipo será impreso en un material plástico de color blanco y la geometría se asegurará con soportes que permitan una impresión sin problemas que posteriormente serán eliminados.

▪ Características DT60.

- Volumen de impresión: **600 x 450 x 450 mm**
- Tamaño de la impresora: **1250 x 780 x 1750 mm**
- Precisión eje Z: **1,25 micrómetros**
- Precisión eje XY: **7,5 micrómetros**
- Temperatura máx. extrusor: **500°C**
- Temperatura máx de la cama: **120°C**
- Diámetros disponibles Nozzle: **0,2 / 0,4 / 0,6 / 0,8 / 1 / 1,2 mm.**

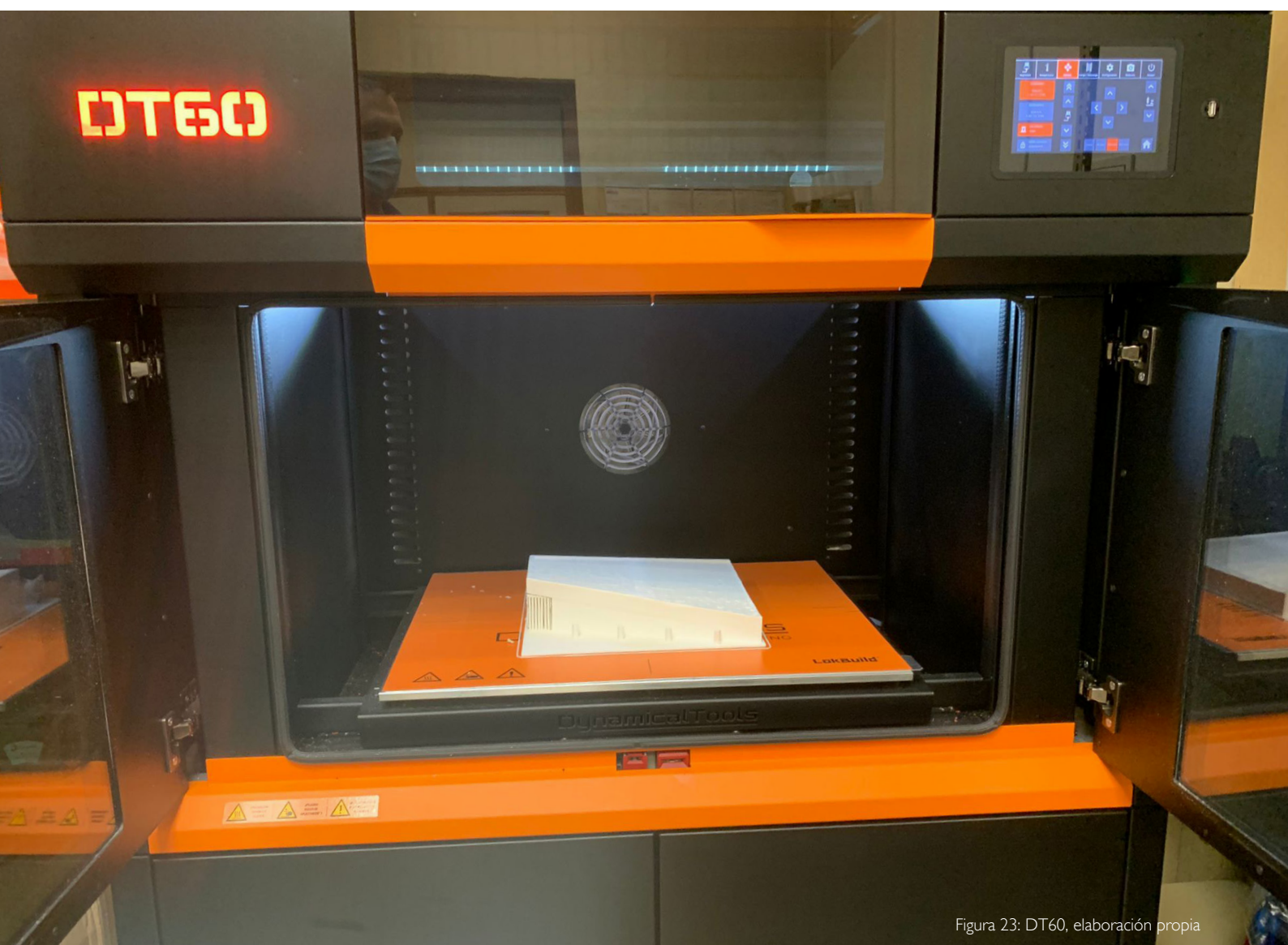


Figura 23: DT60, elaboración propia

23. Modelo impreso:



Figura 24: Maqueta, elaboración propia





MAPPING

La última fase del proyecto y objetivo final de todo el trabajo es emplear, una vez reconstruido e impreso, el edificio objeto del proceso como soporte para la proyección de animaciones.

Esta técnica se denomina video-mapping, y es empleada en multitud de ocasiones, que buscan poner en valor y emplear el patrimonio cultural como tapiz de nuevas formas de ocio.

24. ¿Qué es videomapping?

El Video-Mapping es una técnica que emplea una serie de proyectores de vídeo para generar una animación o proyectar una serie de imágenes sobre superficies reales, buscando de esta forma nuevas vías de expresión artística que pongan de manifiesto el valor de elementos arquitectónicos u objetos concretos. Se pretende crear una conexión emocional entre el público y el arte, tecnología y movimientos sociales contemporáneos.

En una animación video-mapping se interrelacionan tres elementos, que son fundamentales para conseguir su éxito:

Luz: Es el elemento protagonista en este tipo de animaciones. Originada por los proyectores, permite definir el espacio, la textura y los colores de las diferentes animaciones.

Perspectiva: Permite dar la sensación de profundidad tan típica de este tipo de animaciones y generar la sensación de movimiento sobre las superficies. Para conseguirla hay que determinar las distancias y ángulos de proyección.

Sonido: Es el elemento que permite complementar la experiencia del videomapping, y puede aportar un valor añadido a las emociones. Permitirá marcar el ritmo y crear una coherencia sensorial en el espectador.

En función del soporte físico donde se realice el video-mapping, este puede ser de diferente tipología, lo que condicionará principalmente la elección de los proyectores así como el tipo de animación:

Arquitectónico: Se proyecta sobre edificios para poner de manifiesto el valor arquitectónico del mismo, pudiendo mostrar a través de las animaciones la historia del lugar.

Table: Tipo de mapping cenital que se basa en proyectar sobre una mesa cualquier animación que interactúe con los elementos que hay sobre ella. Puede crear nuevas experiencias gastronómicas delante de la cara del espectador.

Artístico: Se emplea para complementar la escenografía de cualquier obra de teatro o espectáculo musical. Permite generar nuevas animaciones que complementen la escena, animar decorados y crear historias inmersivas.

Reconstructivo: Se emplea en aquellos conjuntos patrimoniales incompletos o extintos, permitiendo proyectar lo que un día existió e ilustrar la historia del sitio.

Promocionales: Cada vez son más las marcas que emplean esta técnica para proyectar sobre sus nuevos productos como acción comercial. Se pueden encontrar ejemplos de este tipo sobre coches, zapatillas deportivas...

En el marco de este proyecto, el tipo de mapping que se va a emplear es un videomapping arquitectónico. Aunque para esta defensa se proyectará sobre una maqueta a escala del edificio real, esta animación podría ser perfectamente escalable al edificio real, concatenando una serie de proyectores con la potencia suficiente para cubrir todo el edificio.

Las animaciones que se vana emplear tienen un claro objetivo expositivo, mostrando los diferentes tipos de efectos que se pueden generar sobre la superficie de un edificio y que, con un relato narrativo podrían combinarse para la generación audiovisual de una historia que ilustrase la historia del edificio o del entorno, que mostrase las actividades que se hacen dentro de él o su vida cotidiana interaccionando con las personas que hacen uso del mismo.

25. Efectos:

Dentro de la técnica de video-mapping se pueden generar multitud de efectos todos ellos con una premisa común: Aprovechas las geometrías de la superficie para crear la sensación de movimiento en el objeto.

Estas animaciones pueden ser de carácter bidimensional, aquellas en las que se juega con los contornos del objeto, se proyectan imágenes sobre él o se emplean animaciones coloristas o bien de carácter tridimensional, siendo estas las que generan movimientos tridimensionales en el objeto, efectos de derrumbe, volteo de piezas, profundidad, luces y sombras...

Para este proyecto se plantean una serie de animaciones a modo de ejemplo del potencial de esta técnica sobre los edificios como nueva forma de expresión artística visual y de ocio.

Silueta 2D: Mediante el dibujo 2D del contorno de la fachada principal se pueden generar animaciones jugando con las diferentes secciones que conforman la fachada.

Relleno color: Se pueden colorear las diferentes secciones de diferentes colores, creando combinaciones que puedan ir al ritmo de la música.

Proyección de imágenes: Cada sección que conforma la fachada puede usarse como un lienzo sobre el que proyectar imágenes .

Efectos 3D: Se juega con las diferentes secciones creando efectos tridimensionales. Estos efectos pueden ser derrumbe del edificio, juegos con las luces...

Para generar los efectos se va a hacer uso de diferentes programas de edición de vídeo aunque conviene separar este proceso en diferentes partes en función de la modalidad. Aquellas animaciones que empleen objetos o secuencias tridimensionales se harán con un programa específico como se mencionará en páginas siguientes de esta memoria mientras que aquellas animaciones que, en cambio, representen movimientos bidimensionales se generarán con programas de edición de vídeo.

Para la edición y creación de las animaciones bidimensionales se empleará el software Adobe AfterEffects, destinado a la creación de animaciones de vectores.

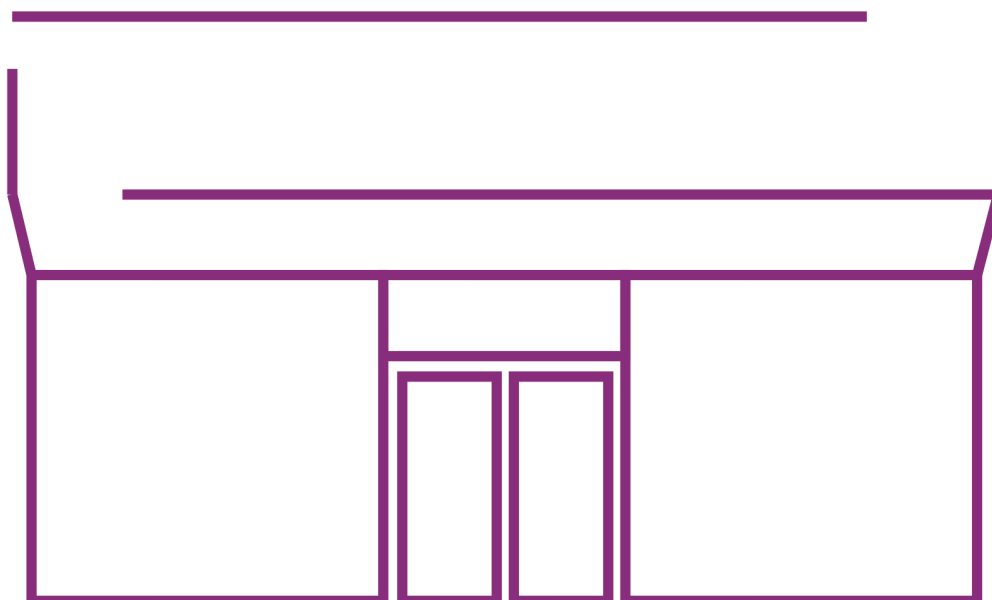


Figura 25: Mapping, elaboración propia

26. Modelado tridimensional:

Como se ha visto anteriormente, las animaciones pueden ser de diferentes tipos, siendo de una mayor complejidad aquellas que suponen un entorno o efecto tridimensional.

Para este tipo de animaciones, resulta fundamental modelar, al margen del modelo tridimensional que ya tenemos del edificio, la fachada principal del edificio sobre el que se va a realizar el videomapping, dándole una profundidad que no tiene por qué ser la original (solo interesa el frontal del edificio). Este modelado deberá estar hecho siguiendo las secciones que posteriormente se vayan a animar, es decir, la fachada será descompuesta en tantas unidades poligonales como se vayan a utilizar posteriormente.

Este modelado estará orientado a su posterior animación, por lo que es importante hacerlo siguiendo los bloques que se vayan a querer animar. Para ello, el software que se suele emplear es Cinema4D, que permite de una manera sencilla llegar a un modelado poligonal siguiendo el contorno a través de una fotografía. Posteriormente en este programa se podrán generar las diferentes animaciones tridimensionales aportando valores y atributos físicos a las diferentes secciones que se han modelado.

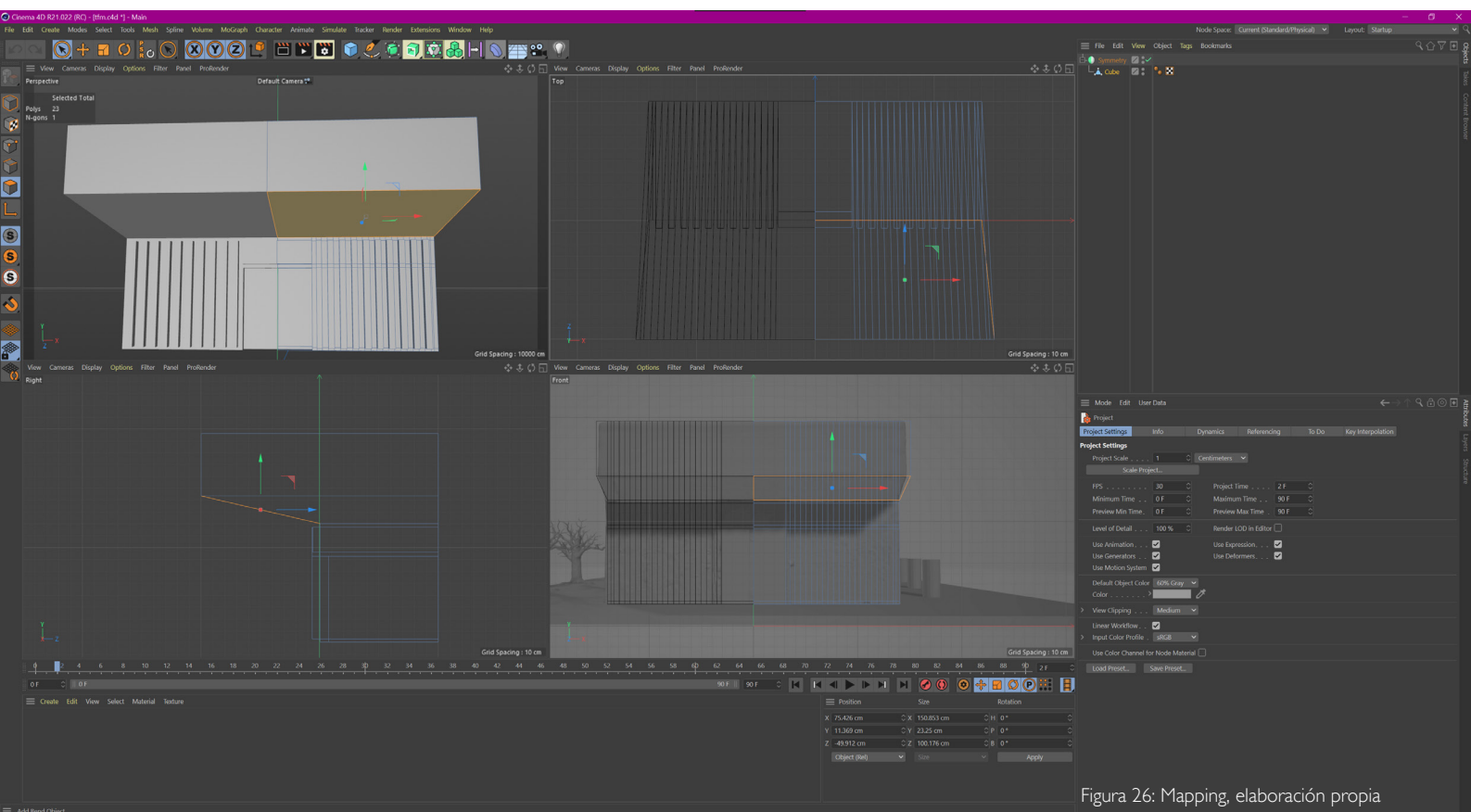


Figura 26: Mapping, elaboración propia

En el caso de este proyecto se ha realizado un modelado básico de la fachada del edificio, creando diferentes bloques correspondientes a la parte superior, la puerta, las lamas laterales y la parte superior de la puerta. Estos bloques posteriormente podrán ser animados para crear efectos con ellos.

En este caso, tal y como se ha mencionado anteriormente, la profundidad no es importante, ya que únicamente interesa la parte frontal del edificio, por lo que se modelará dando la profundidad que se estime necesaria para los efectos que se vayan a crear posteriormente.

Una vez se obtiene el modelado en Cinema4D, se pueden crear las diferentes animaciones tridimensionales que posteriormente se emplearán en la proyección.

Uno de los efectos que más se emplean en los video-mapping sobre edificios es aquel en el que se simula el derrumbe fragmentado del mismo.

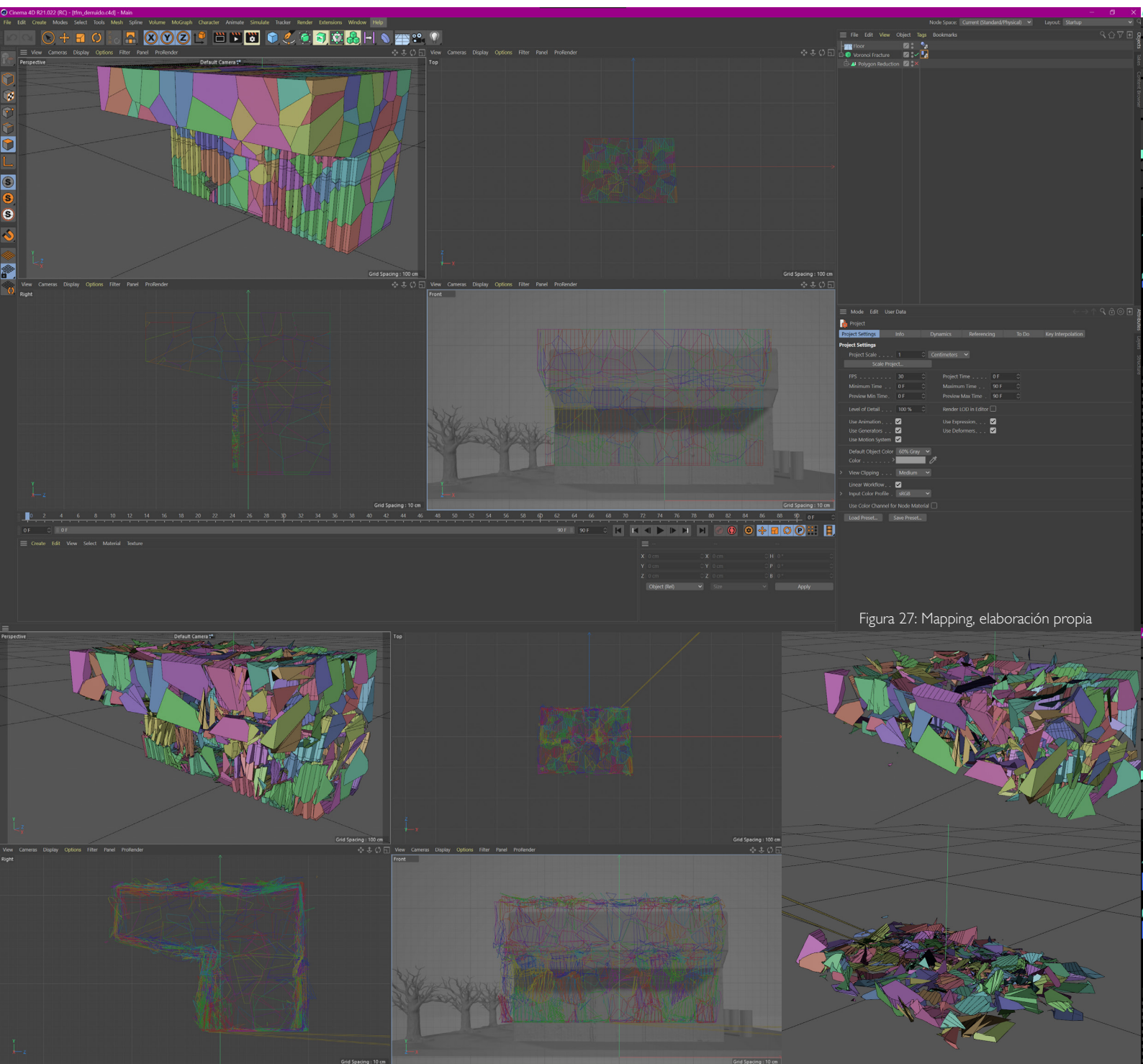
A modo de ejemplo, al tratarse de una de las más complejas, se ilustra a continuación el proceso para su diseño y proyección.

Su producción se realiza con el software mencionado anteriormente, Cinmea 4D, aplicando diferentes propiedades sobre el modelado que se ha creado para el mapeado del edificio.

En este caso, se trata de dotarle al edificio de las propiedades físicas que le otorgan el comportamiento de un elemento rígido mientras, paralelamente, se crea otro elemento primario (bola o cubo) al cual se le otorgan las propiedades de un elemento colisionador.

Generando una fractura denominada Voronoi sobre el cuerpo rígido y establecer un límite inferior que actuará como suelo, se obtendrá la animación deseada.

Sobre esta animación se podrán modificar diferentes parámetros, como aquellos asociados a la velocidad de fractura, la gravedad que actúa sobre el cuerpo o bien la dispersión de los diferentes fragmentos.



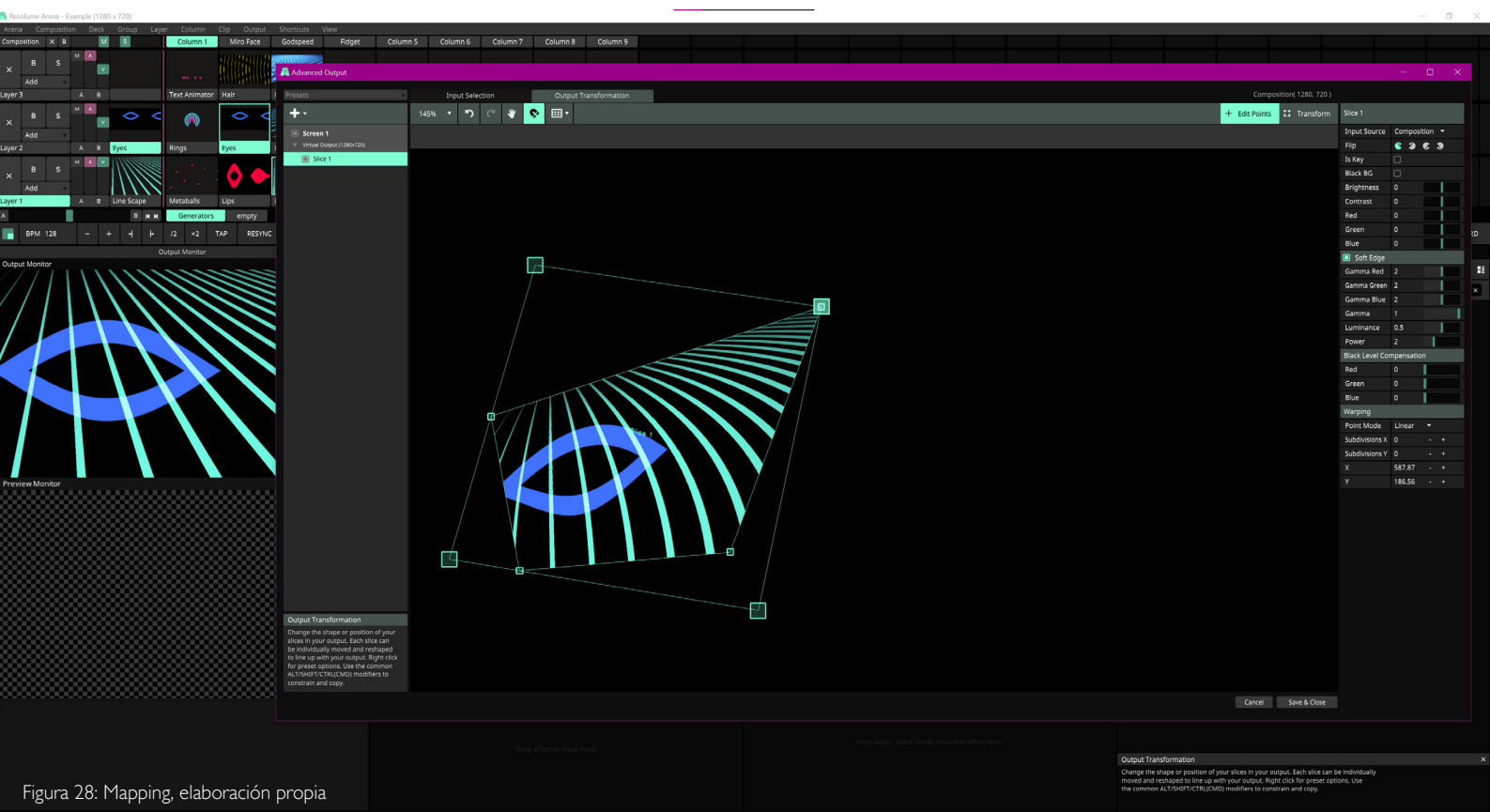
27. Software emisión:

Una vez se han generado todas las animaciones, independientemente sea cual sea su tipología, se exportan todas en diferentes archivos, en un formato de vídeo.

El programa final que se va a encargar de la emisión y la proyección aunando todas las animaciones es un software profesional empleado a nivel profesional en todo el mundo para el control de las proyecciones de pantallas de LED y video-mapping, denominado Resolume Arena.

Mediante este software se configuran, proyectando directamente sobre el objetivo, todas las secciones diferentes, modificando en perspectiva los puntos de cada bloque, adaptándolos a la geometría del edificio.

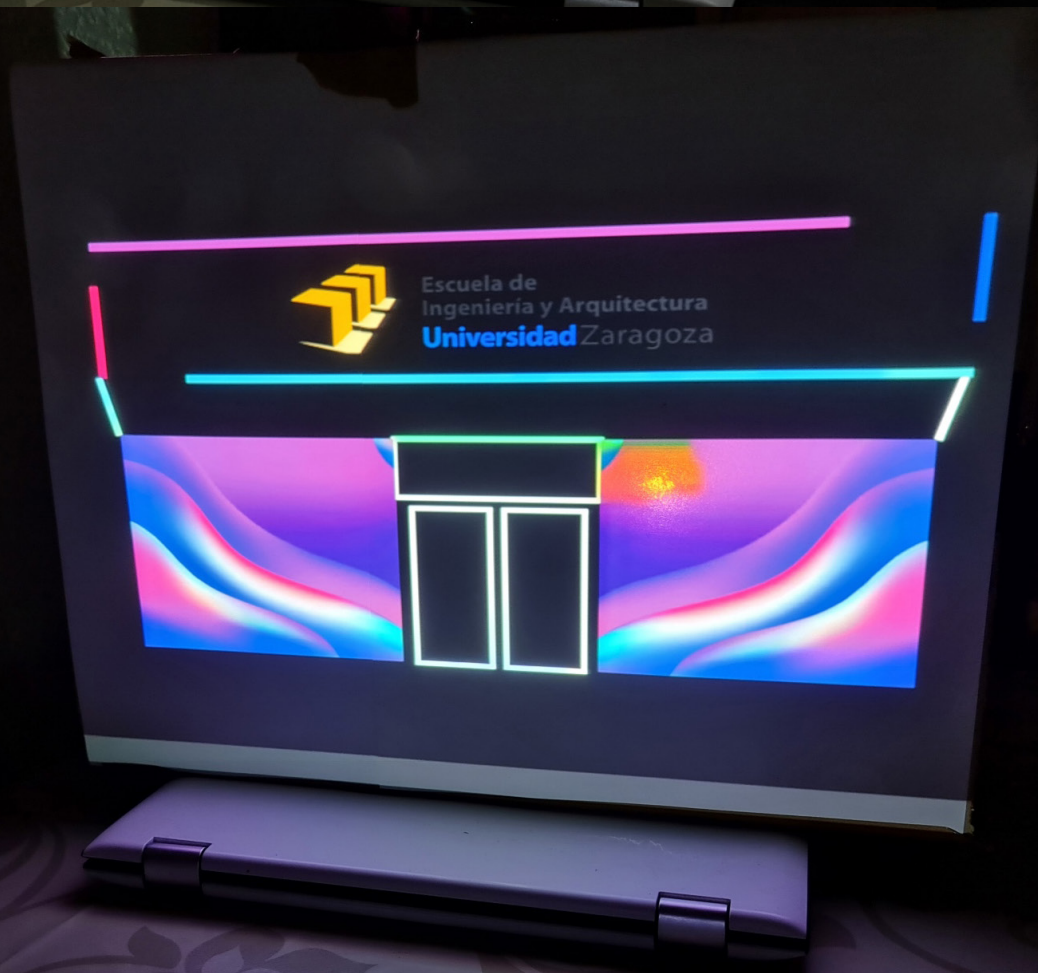
Una vez se han definido las formas de todas las pantallas, se cargan los diferentes vídeos que formarán parte de la proyección y se asignan a cada pantalla de emisión.



28. Proyección:



Figura 29: Mapping, elaboración propia

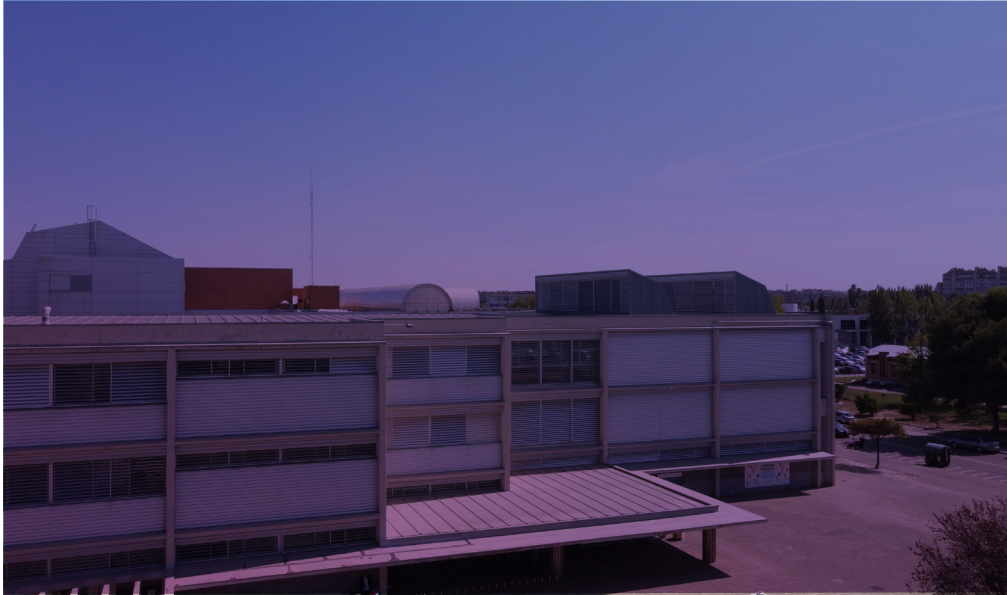


An aerial photograph of a city street at dusk or dawn, showing traffic, crosswalks, and buildings. A semi-transparent white rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing the title and a paragraph of text.

VALORACIONES FINALES

Tras la realización de todos los subprocesos que conforman el proyecto, se realiza una valoración final con las acciones futuras que podría caber esperar dentro de este proyecto.

29. Valoración:



Este proyecto ha supuesto un nexo de unión entre mis dos facetas profesionales.

Desde siempre me he querido dedicar al diseño y a la producción audiovisual y, aprovechar el marco de un trabajo de fin de máster, apoyado en todo momento incondicionalmente por el director del proyecto, me ha permitido poder alcanzar uno de los retos que tenía planteados desde hace mucho tiempo.

Se trata de un proyecto que ha llevado una gran carga de trabajo, formado por muchos subprocesos de los que, en caso de encontrar problemas, se resentían el resto de procesos.

La consecución y el alcance del reto planteado me ha permitido desarrollar un potencial y experimentar un crecimiento tanto personal como profesional.

30. Acciones futuras:

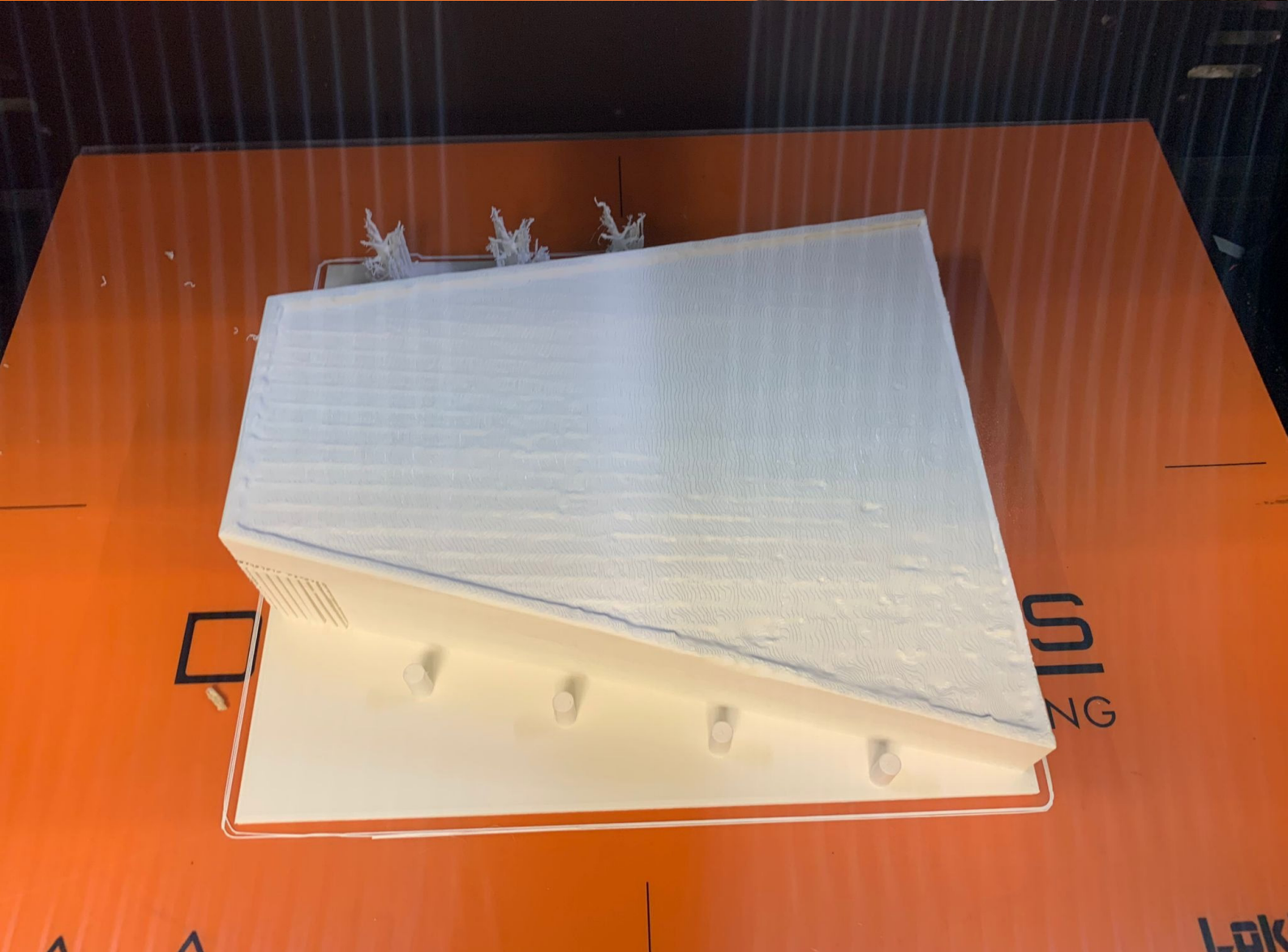
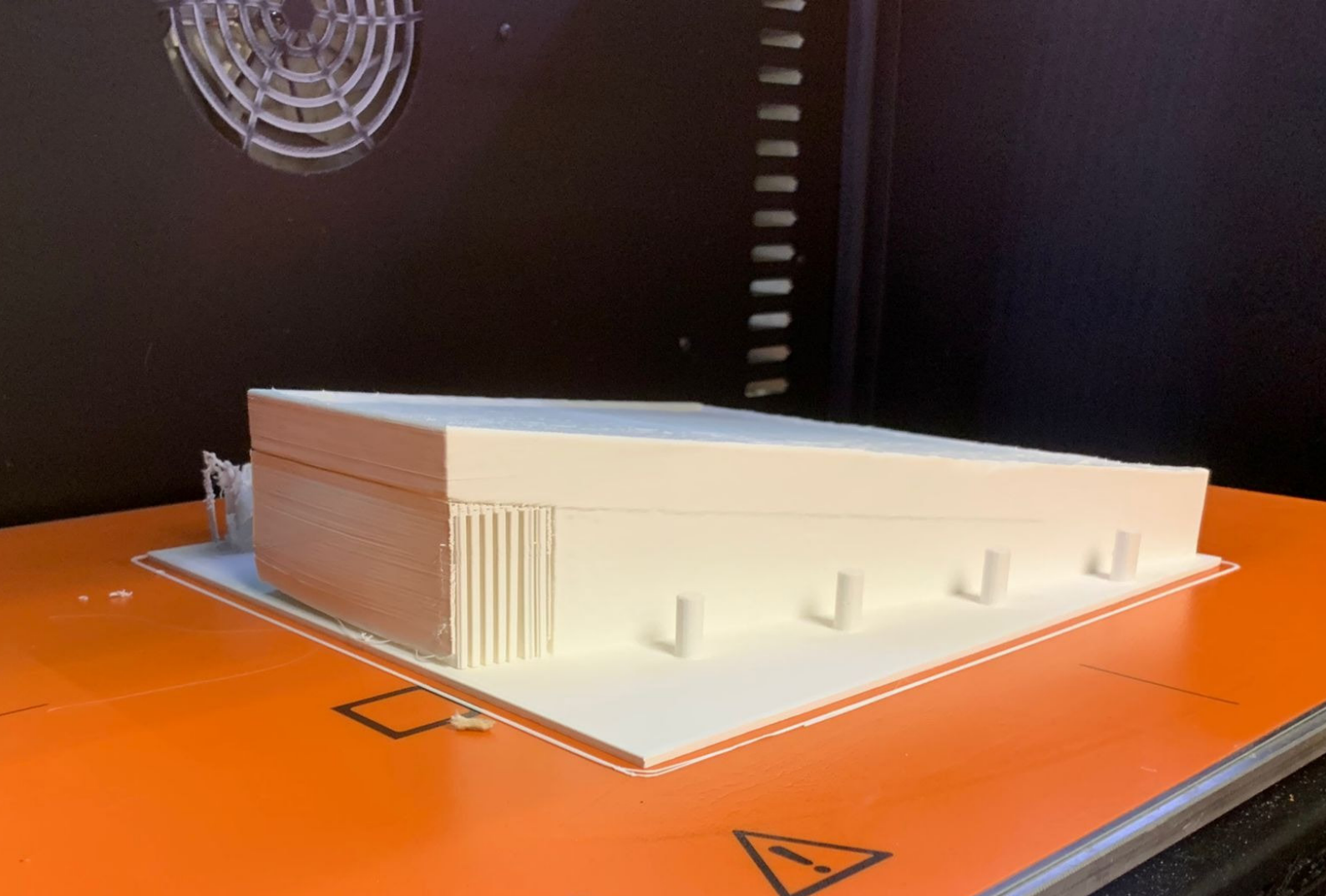
Una vez alcanzados los objetivos de este proyecto, se pueden establecer diferentes líneas de acción futura que permitirían continuar con el avance del proyecto.

La primera evolución del proyecto resulta evidente poder realizar una proyección a escala real sobre el edificio original, tarea que se podría solucionar escalando las animaciones y disponiendo de un mayor número de recursos materiales y económicos.

Aprovechando todos los productos conseguidos tras los diferentes procesos que han formado este proyecto, otra vía de trabajo a explorar podría ser la utilización tanto de la malla tridimensional como de su textura para poder incluir en un proyecto de realidad virtual o aumentada el edificio reconstruido con un mapeado de textura de calidad.

El proyecto podría contar con muchas salidas y, lo aquí expuesto, solo se trata de un ejemplo del gran potencial y posibilidades que brindan las nuevas técnicas así como una puesta en valor, no solo de las posibilidades de la proyección, sino de la importancia de las diferentes formas de expresión artística, su papel fundamental en una sociedad con retos cada día mayores y el reclamo de reivindicar el patrimonio que simbolizan el espacio físico donde se desarrollan las actividades cotidianas de ésta.





3 | Bibliografía

BIBLIOGRAFÍAS:

Técnicas de ingeniería inversa

Ingeniería Inversa. (s. f.). Ingenieros Asesores. Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://ingenierosasesores.com/actualidad/ingenieria-inversa-concepto-aplicaciones/>

Qué es la fotogrametría

Fotogrametría. (s. f.). Mediterránea Geomática. Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://www.globalmediterranea.es/fotogrametria-que-es/>

<https://www.3dnatives.com/es/mejores-software-programas-fotogrametria-190920192/#:~:text=La%20fotogrametr%C3%ADa%20es%20la%20ciencia,%E2%80%8Ben%20el%20mundo%20real.>

Vuelo con drones

Mapa vuelo drones. (s. f.). ENAIRE. Recuperado 12 de junio de 2021, de <https://drones.enaire.es/>

Normativa europea de UAS/drones | AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento. (s. f.). Agencia Estatal de Seguridad Aérea. Recuperado 22 de septiembre de 2021, de <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/normativa-europea-de-uas-drones>

<https://www.dji.com/es>

Qué es el videomapping

Video mapping. (s. f.). Wikipedia. Recuperado 21 de septiembre de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Video_mapping

NOTA:

Todas las imágenes aéreas y de producto son de elaboración propia teniendo el autor las originales.



EDIFICIO BETANCOURT
ESCUELA DE INGENIERIA
Y ARQUITECTURA
BIBLIOTECA HYPATIA