



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Conservación del Patrimonio  
Arquitectónico

AUTOR/A: López de Rego Lage, Ignacio

Tutor/a: Rodríguez Navarro, Pablo

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



MASTER OFICIAL EN  
CONSERVACIÓN DEL  
PATRIMONIO ARQ.  
CPA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

# Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

**Director Académico:** Pablo Rodríguez Navarro

**Autor:** Ignacio López de Rego Lage

**Titulación:** Máster Universitario en Conservación del Patrimonio Arquitectónico

**Curso académico:** 2023/2024



**Resumen:**

Este estudio pretende analizar la viabilidad del procesado de nubes puntos para generación de sólidos y su integración en BIM. Ello permitiría suprimir el calcado de las nubes de puntos para la generación de la planimetría (supresión de posibles errores de calcado) así como la introducción de información directa en el modelo. Se pretende por lo tanto superar la etapa de planos analíticos independientes entre sí, pasando a un modelo realista que contenga toda la información y que pueda cruzar la información de diversos ámbitos.

En la actualidad, los trabajos dedicados al estudio, restauración y/o gestión del patrimonio basan su trabajo en un escaneado 3d y/o en una fotogrametría. Dichas restituciones digitales poseen un elevado coste económico y aportan una basta información geométrica, cromática, etc. Los procesos actuales, basados en el calcado de ortofotos y/o secciones de las mismas, tanto en 2D como en 3D, provocan la pérdida de dicha información. Otro elemento a reseñar es la complejidad del levantamiento en 3D debido a que la geometría de las construcciones patrimoniales no posee formas puras (cualquier intento de parametrización, generaría volúmenes inexactos).

Esta pérdida de información genera la necesidad de una sistematización para la generación volumétrica automatizada con la menor pérdida de información posible. Este trabajo pretende abrir caminos para la posible obtención del sistema.

**Palabras clave:**

HBIM; nubes de puntos; fotogrametría; escáner láser

## **Abstract**

This study aims to analyze the feasibility of point cloud processing for solid generation and its integration into BIM. This would allow the elimination of point clouds' tracing for planimetry generation (and the subsequent suppression tracing errors) as well as the introduction of direct information into the model. It is therefore intended to overcome the stage of independent analytical plans, moving towards a realistic model which contains all the information and can cross-reference information from various areas.

Currently, studies dedicated to the investigation, restoration and/or management of heritage base their work on 3D scanning and/or photogrammetry. These digital restitutions imply high economic cost and provide extensive geometric, chromatic, etc. information. Current processes are based on tracing orthophotos and/or sections, both in 2D as well as 3D, which cause the partial loss of said information. Another element to review is the complexity of 3D survey because the geometry of heritage constructions does not possess pure forms (and thus any parameterization attempt shall generate inaccurate volumes).

This loss of information urges the sistematization of an automated volumetric generation, with the least possible information loss. This work aims to open paths for obtaining that system.

### **Key words:**

HBIM; point cloud; photogrammetry; lasser scanner

# Contenido

1.	Introducción: .....	1
1.1	Ámbito y extensión .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.3	Metodología .....	1
2.	Antecedentes: .....	3
2.1	Levantamiento .....	3
2.1.1	Método tradicional o empírico .....	3
2.1.2	Método topográfico .....	3
2.1.3	Rectificación fotográfica .....	3
2.1.4	Fotogrametría .....	4
2.1.5	Láser escáner .....	7
2.1.6	Tiempo de procesado .....	7
2.2	Nubes de puntos .....	8
2.2.1	Escáner láser .....	8
2.2.2	Fotogrametría .....	10
2.3	Mallas .....	11
2.4	Textura .....	11
2.5	HBIM .....	12
2.6	Geometría en programas informáticos .....	12
3.	Estado previo de la cuestión .....	15
3.1	Investigaciones existentes .....	15
3.1.1	Generación de planimetría 2D .....	15
3.1.2	Calcado de perímetros en 3D .....	19
3.1.3	Secciones planas y posterior modelado en 3D .....	20
3.1.4	Utilización de librerías .....	21
3.1.4	Modificación de elementos genéricos .....	21
3.1.5	Modelos paramétricos .....	22
3.1.6	Conversión de mallas en polisuperficies .....	23

3.1.7	Displaced Subdivision Surface (Displaced subD).....	24
3.2	Investigación previa. La fachada Norte de la Catedral de Santiago.....	26
3.2.1	Proceso malla y generación de volumetría.....	27
3.2.2	Integración en BIM.....	33
3.2.3	Conclusiones.....	43
4.	Proceso.....	45
4.1	Softwares a utilizar:.....	45
4.1.1	Recap.....	45
4.1.2	Metasahape.....	45
4.1.3	3DsMax.....	45
4.1.4	Revit.....	45
4.1.5	Dynamo.....	45
4.2	Punto de partida.....	45
4.2.1	Nube de puntos.....	46
4.2.2	Malla existente.....	47
4.2.3	Fotogrametría SFM.....	48
4.3	Dynamo: Programación en Revit.....	62
4.3.1	Nube de puntos de Escáner láser.....	63
4.3.2	Malla original.....	80
4.4	Metashape y 3DSMax.....	83
4.4.1	Simplificación de la malla.....	83
4.4.2	División malla y simplificación Malla.....	85
4.4.3	Generación de sólido.....	87
4.4.4	Subdivision surface.....	89
4.4.5	Proyección de textura.....	92
4.4.6	Inserción en Revit.....	93
5.	Conclusiones.....	99
6.	Glosario.....	101
7.	Bibliografía.....	105
8.	Figuras:.....	109

ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030 .....	115
---	-----



## **1. Introducción:**

### **1.1 Ámbito y extensión**

En la actualidad, los trabajos dedicados al estudio, restauración y/o gestión del patrimonio basan su desarrollo en un escaneado 3d y/o en una fotogrametría. Dichas restituciones digitales poseen un elevado coste económico y aportan una basta información geométrica, cromática, etc. Los procesos actuales, basados en el calcado de ortofotos y/o secciones de las mismas, tanto en 2D como en 3D, provocan la pérdida de información. Otro elemento a reseñar es la complejidad del levantamiento en 3D debido a que la geometría de las construcciones patrimoniales no posee formas puras (cualquier intento de parametrización, generaría volúmenes inexactos).

Esta pérdida hace necesaria una sistematización para la generación volumétrica automatizada con la menor pérdida de información posible. Este trabajo pretende abrir caminos para la posible obtención del sistema.

### **1.2 Objetivos**

Investigación de un sistema automatizado que permita obtener un modelo simplificado derivado de la nube de puntos y/o malla. Dicha investigación requiere:

- Conocer procedimientos de obtención de nubes de puntos y mallas: escáner 3D y fotogrametría.
- Conocer el procesado y simplificación de los datos obtenidos.
- Conocer los tipos de sólidos y su aplicación en HBIM.

### **1.3 Metodología**

Para la consecución de dichos objetivos se procederá de la siguiente manera:

- Análisis de los procedimientos de obtención de nubes de puntos y mallas: escáner 3D y fotogrametría.
- Análisis de la interoperabilidad entre programas informáticos.

- Análisis de los procesos de simplificación de datos.
- Análisis del sistema de conversión de datos en sólidos y su división.
- Análisis de la extensión de archivos.
- Análisis de los tipos geométricos utilizados por los programas informáticos y su peso.

## **2. Antecedentes:**

### **2.1 Levantamiento**

*“El proceso de levantamiento arquitectónico tiene como objetivo la obtención de un documento gráfico que represente el estado actual de un lugar, edificio, u objeto a escala.”* (Gil-Piqueras & Rodríguez Navarro, 2019, p. 645).

El levantamiento gráfico de edificaciones se divide en cuatro sistemas diferenciados: método empírico, método topográfico, fotogrametría y escáner láser (Pavlidis et al., 2007, p. 96). A estos métodos habría que añadir la rectificación fotográfica.

#### **2.1.1 Método tradicional o empírico**

Sistema de levantamiento basado en la toma de datos in situ por medio de cinta métrica y/o medidor láser. Para esta toma de datos se precisa de unos croquis previos (plantas, secciones, alzados, etc), realizados a mano, de la edificación.

La precisión del levantamiento depende de la exactitud de las herramientas de medición, la complejidad geométrica de la edificación, la accesibilidad y la correcta elección de las medidas a tomar.

Los levantamientos obtenidos a partir de este no poseen georreferenciación. Se podría realizar una georreferenciación posterior de exactitud variable.

#### **2.1.2 Método topográfico**

Sistema de levantamiento basado en la toma de datos in situ por medio de herramientas topográficas: estaciones topográficas y estaciones totales. Los datos obtenidos no son distancias relativas, como en el caso anterior, sino que se obtienen coordenadas geográficas y/o coordenadas relativas a un punto geográfico conocido.

Como en el sistema anterior se precisan croquis previos de plantas, alzados, secciones, etc.

#### **2.1.3 Rectificación fotográfica**

*“Se entiende por rectificación fotográfica el proceso que corrige los efectos de perspectiva de una imagen fotográfica.”* (Lerma et al., 2010, p. 110) (Figura 1). Este método debe ser

ejecutado plano a plano. La distorsión óptica de la cámara por medio de calibración de la cámara o a partir de las líneas rectas de la imagen.

Se precisará un escalado final de la imagen.



Figura 1: Rectificación fotográfica.(Cabezos Bernal & Cisneros Vivó, 2012, p. 97)

#### 2.1.4 Fotogrametría

Sistema de levantamiento basado en la toma de información por medio de sensores 3D pasivos. Los sensores pasivos son *“aquellos que se limitan a observar la escena a través de un sistema óptico u óptico-electrónico, con el objetivo de obtener de esta visión, la información de carácter geométrico”*. ((Gabriele Guidi et al., 2010, p. 10) extraído de (Rodríguez Navarro, 2012, p. 100)). Para su ejecución se han de tomar fotografías del mismo elemento desde,

## 2. ANTECEDENTES

como mínimo, dos puntos de vista distintos. La calidad del modelo obtenido dependerá de la cantidad de fotografías obtenidas y del solapamiento entre ellas.

El proceso de ejecución es el siguiente:

-Obtención de fotografías: Obtención de imágenes del elemento desde varios puntos de vista. La toma fotográfica se realizará, siempre que sea posible, en perpendicular al objeto, con la misma apertura focal y el mismo tiempo de exposición (de ser posible ISO 100).

La fotografía digital ha evolucionado generando diversos tipos de archivos (Baldissini et al., 2010, pp. 310-312), descritos por su información y peso variable:

-TIFF: Formato de imagen compatible con múltiples programas. Soporta colores CMYK, RGB, CIELab y escala de grises, con o sin canales alfa.

-JPEG: Permite una profundidad de color de 24 bits y modos de color CMYK, RGB y escala de grises. La compresión del archivo por medio de la supresión selectiva de información.

-JPEG2000: Formato evolucionado del JPEG incluyendo la mejora del rendimiento de compresión y que permite transparencias y canales alfa.

-RAW: Registra fielmente el 100 % de los datos (aquello que se percibe con el ojo) y los metadatos (condiciones alrededor de la toma). No transforma la luz en impulso eléctricos ni realiza un procesamiento de las señales (sí que ocurre en los casos anteriores) sino que memoriza los datos brutos del sensor. Poseen una compresión de 1/3 con respecto a la original sin pérdida de datos. Se obtiene, por lo tanto, una imagen de mayor calidad, que puede trabajar en cualquier espacio de color. Permite un control más fino de los parámetros y sus cambios no son destructivos (no se modifican en su base de datos).

Existen diversos sistemas de compresión de imágenes (Baldissini et al., 2010, pp. 312-314). Su aplicación puede generar pérdida de información.

-LZW (Lemple-Zif-Welch): Compresión sin pérdida de información. Válido para archivos TIFF, PDF y GIF.

-DXTn: Convierte grupos de 4x4 píxeles en imágenes de 64 o 128 bits. Se produce una compresión de 8:1 o 4:1. Es compatible con formatos: DXT1, DXT2, DXT3, DXT4, DXT5.

-JPEG: Sistema de compresión plana calibrable con pérdida de información estandarizada. Posee una alta relación de compresión (25:1 o 30:1). En el proceso convierte los datos en término cromático y luminancia.

-Toma de datos métricos. El modelo obtenido no posee escala, por lo que se precisa tomar un mínimo de dos dimensiones (tres puntos) para su escalado. Se obtendrán coordenadas (x,y,z) de los tres puntos. Éstas, en función de los medios utilizados, pueden ser relativas o tratarse de localización geográfica (caso de medios topográficos).

-Calibrado de la cámara. Se trata del análisis de las distorsiones producidas por la cámara y su objetivo. Tanto el efecto barril como el efecto cojín (Figura 2).

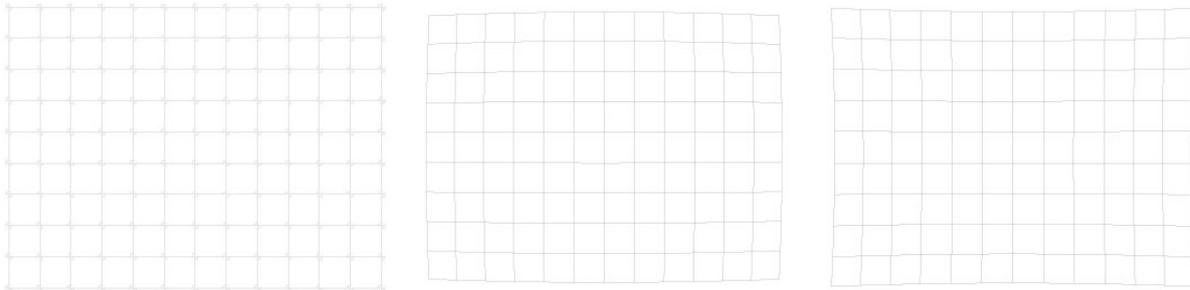


Figura 2: Efecto barril y efecto cojín. Elaboración propia.

-Orientación de las fotografías: El software localiza la posición relativa de los puntos desde los que se tomaron cada una de las fotografías. En caso de tratarse de elementos homogéneos puede ser necesario tomar fotografías generales y/o colocar dianas para facilitar la orientación.

-Nube de puntos densa: Obtención de un modelo de puntos en 3d con características RGB.

-Escalado del modelo: Introducción de los datos métricos obtenidos en la fase previa.

-Generación de malla: Generación de modelo superficial por medio de triangulación de puntos obtenidos en fase previa.

-Texturización del modelo: Proyección de las fotografías sobre la malla

### 2.1.5 Láser escáner

Sistema de levantamiento basado en la toma de información por medio de sensores 3D activos. Los sensores son aquellos que *“emiten una luz desde el propio instrumento; esta luz tiene una estructura definida y conocida por el sensor que debe de captarla”*: ((Gabriele Guidi et al., 2010, p. 12) extraído de (Rodríguez Navarro, 2012, pp. 102-103)).

Existen, principalmente, dos tipos de sensores 3D activos con aplicación en levantamiento de patrimonio:

-Triangulación: Obtiene modelos más precisos pero su distancia es más limitada ((Docci & Maestri, 2010, pp. 221-223) extraído de (Rodríguez Navarro, 2012, p. 103)).

-Distancia:

-Sistema basado en la toma de datos métricos mediante el análisis del tiempo de vuelo (ToF), llegando a realizar 50000 puntos por segundo.

-Sistema basado en el análisis de la diferencia de fase (PS). Pueden procesar 5000000 de puntos por segundo ((Apollonio & Remondino, 2010) extraído de (Rodríguez Navarro, 2012, p. 103)).

### 2.1.6 Tiempo de procesado

El tiempo de procesado varía de manera substancial entre los diversos métodos. Un ejemplo es el levantamiento de la necrópolis de Panoria (Figura 3). (Granada, España): el levantamiento de manera tradicional conllevó unas 34,5 horas, mientras que el levantamiento fotogramétrico por medio de un UAV (Unnamed Aerial Vehicule) conllevó 11 horas (tres de toma de datos y ocho de procesado en gabinete) (J. A. Benavides López et al., 2016, p. 504).

**Table 5**

Comparison of the estimated time for recording the architectural features of the dolmens between traditional systems and 3D modelling-based methodology.

Structure	Hand-made drawings			3D modelling (SfM and BIM)		
	Plans	Sections	Total	Fieldwork	Lab work	Total
Dolmen 6	4 h	3.5 h	7.5 h	3 h	5 h	8 h
Dolmen 7	4 h	4 h	8 h	(data collection)	(data processing)	
Dolmen 10	5 h	4 h	9 h			
Dolmen 18	5 h	5 h	10 h			
Total	18 h	16.5 h	34.5 h			

Figura 3: Comparativo de tiempos de levantamiento. (J. A. Benavides López et al., 2016, p. 506)

En el caso de la Torre nazarí de Romilla se realizó una comparativa (José Antonio Benavides López, 2017, p. 189) entre un escaneado láser y fotogrametría con UAV. El tiempo de escaneado fue de tres horas mientras que la fotogrametría implicó 30 min de tomas fotográficas con el dron y 20 minutos de mediciones topográficas.

Se concluye que las nuevas tecnologías son mucho más rápidas que las técnicas tradicionales.

## 2.2 Nubes de puntos

Modelos obtenidos a partir de fotogrametrías y/o láser escáner conformados por puntos en el espacio. Éstos por lo tanto no poseen la aristas del elemento (Mataix Sanjuán et al., 2013, p. 223). Se caracterizan principalmente en función de su resolución y su precisión. Se define resolución como *“el valor mínimo observable que permite determinar la geometría de un elemento”* (Fernández Pino et al., 2017, p. 121) mientras que la precisión es *“la exactitud del valor de la medida”* (Fernández Pino et al., 2017, p. 121)

El método de obtención las dota de características diferentes.

Para la georreferenciación de las nubes de puntos deberemos escoger un sistema de coordenadas absolutas, acto seguido se establecerá una red topográfica con puntos de control y, finalmente, toma de medidas con la estación total.

### 2.2.1 Escáner láser

-Los SCMD (Sistema de Captación Masiva de Datos) obtienen puntos sin color. Para obtener su color incorporan una cámara que les aporta el RGB de cada punto (Puche Fontanilles et al., 2017, p. 230).

-Posee características métricas. Para su georreferenciación se necesitaría apoyarse en instrumentos topográficos.

-Posee valor de la reflectancia que es *“el valor porcentual de la energía con la que vuelve el impulso láser comparado con el de salida”* (Puche Fontanilles et al., 2017, p. 230). Ésta nos permitiría diferenciar materiales en función de su curva (Figura 4) de distribución estadística (de Solà-Morales et al., 2017, p. 88). En función del ángulo de incidencia el perfil se desplazará en los ejes X o Y.

## 2. ANTECEDENTES

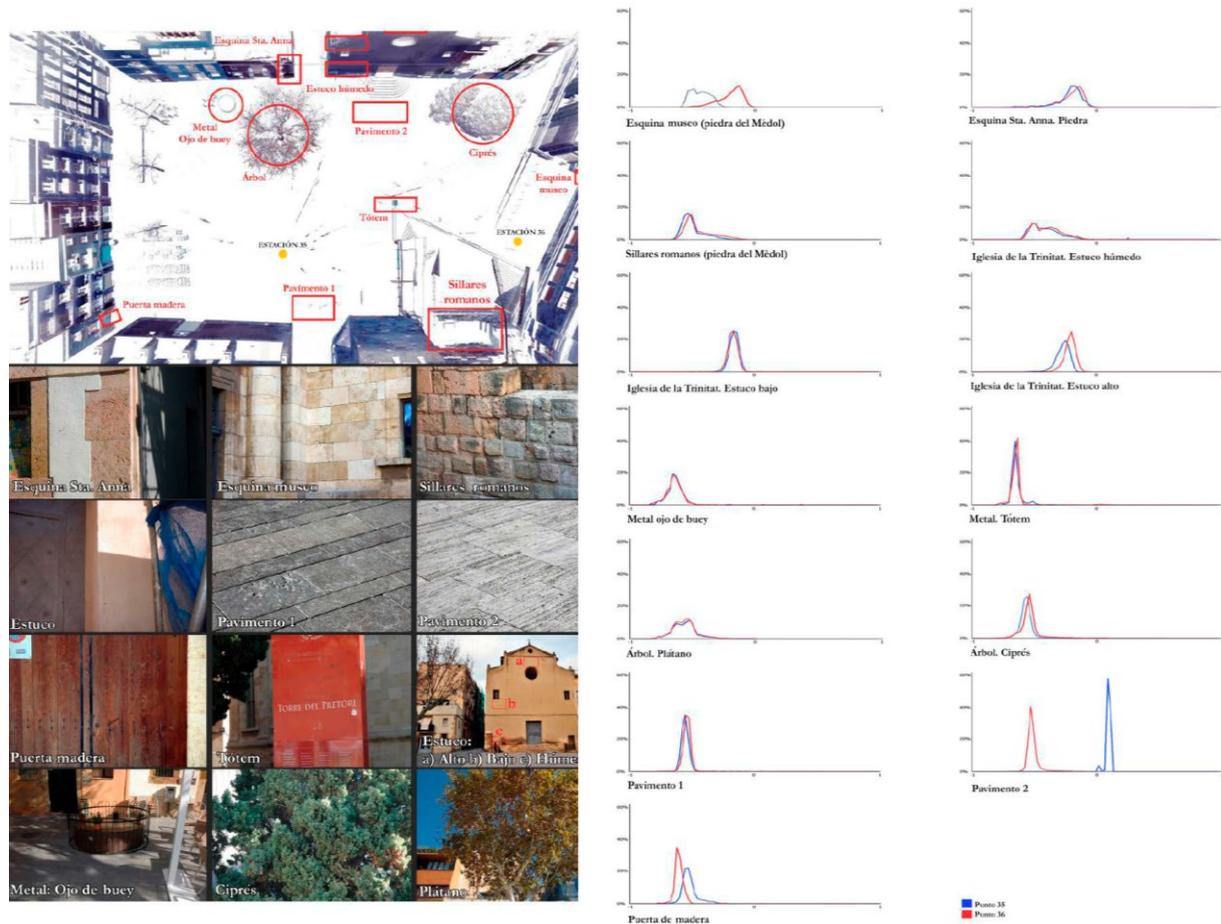


Figura 4: Análisis reflectancia de los materiales. (de Solà-Morales et al., 2017, pp. 86-87)

-Las nubes poseen una densidad de puntos heterogénea. Al tratarse de escaneos desde una posición fija, el láser realiza un barrido esférico por lo que, en función de la distancia entre el elemento y el escáner la separación entre puntos variará (Figura 5).

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

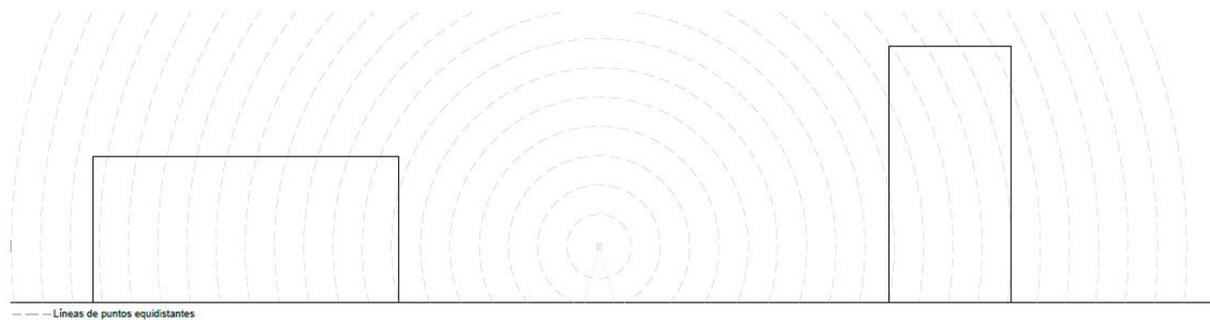


Figura 5: Líneas de puntos equidistantes láser escáner. Elaboración propia.

- La precisión de la nube depende de las características de la herramienta utilizada.
- Se requieren superficies de apoyo estables para su escaneo. En caso de suelos con baja resistencia se precisaría trípodes ligeros (Rodríguez Navarro et al., 2021, p. 8). La necesidad de una superficie de apoyo dificulta y/o imposibilita la correcta toma de datos de elementos por encima de la cota de escaneo tales como: cubiertas, superficies superiores de cornisas, impostas, etc.
- Velocidad de la ejecución.
- Necesidad de planificación de la toma de datos (Bacci et al., 2010, p. 85)
  - Minimizar el número de escaneado
  - Evitar superficies sombreadas
  - Realizar una superposición de entre un 30-40%

### 2.2.2 Fotogrametría

- Nube de puntos homogénea.
- Obtención de características cromáticas de los puntos.
- Necesidad de escalado.
- Precisión del modelo en función del solapamiento de las fotografías. A mayor solapamiento mayor precisión pudiendo reducir entre un 34-45% la desviación (en laboratorio un 52%) (G. Guidi et al., 2015, p. 4)
- Menor necesidad logística (Rodríguez Navarro et al., 2021, p. 8).

## 2. ANTECEDENTES

- Mayor tiempo de trabajo en campo.
- Posibilidad de obtención de malla texturizada posteriormente.
- Necesidad de una planificación exhaustiva (Bacci et al., 2010, p. 92):
  - Se recomienda una superposición horizontal y vertical de 60%.
  - La distancia entre disparos consecutivos debe estar entre el 50% y el 100% de la distancia entre la lente y el objeto. El ángulo entre dos imágenes consecutivas debe ser inferior 180°.
  - La distancia focal debe ser la misma durante toda la toma.
  - Condiciones de iluminación homogénea.
  - Se recomienda tomar fotos en secuencia.
- Dependencia de las condiciones meteorológicas debido a contrastes que compliquen el reconocimiento y ligazón de las diversas fotografías.
- Necesidad de georreferenciación del modelo.

### 2.3 Mallas

La malla es una superficie poligonal compuesta a base de triángulos. Éstas se conocen como Triangulated Irregular Network (TIN) y se obtienen a partir de diversos algoritmos tales como: i.e. Delauney, Poisson, Ball-Pivoting, etc. (G. Guidi et al., 2015, p. 1).

La resolución de las mallas como de las nubes de puntos varia. Hay que tener en cuenta que a mayor resolución mayor tiempo de procesado y que pueden llegar a no ser manejables (J. A. Benavides López et al., 2016, p. 498).

La malla obtenida no posee características cromáticas. Para ello habrá que generar la textura fotorrealista.

### 2.4 Textura

Proyección de las fotografías sobre la malla para dotarla de características cromáticas y fotorrealismo.

## 2.5 HBIM

Heritage Building Information Modelling (HBIM) es la disciplina del BIM (Building Information Modelling) aplicada al patrimonio.

El BIM se basa en la modelización 3D de la edificación incluyendo la información necesaria para el objetivo deseado: construcción, gestión, análisis, etc. Éste surge como una necesidad para un mayor control de tiempos y economía en la construcción de los proyectos. Se trata de un sistema que precisa de un trabajo previo muy grande que hace que la producción sea muy lenta al principio y se incremente exponencialmente según se avanza.

La posibilidad de poseer un modelo con información hace que sea una herramienta de gran utilidad para la gestión del patrimonio construido. Sin embargo, el BIM fue creado para geometrías de arquitecturas actuales basadas en sistemas industrializados y que generan formas geométricas puras. En base a ello se ha generado una librería de familias de elementos constructivos aplicable a la mayoría de las edificaciones.

Los edificios patrimoniales no poseen formas puras debido a diversos factores:

- Sistema constructivos.
- Elementos decorativos.
- Deformaciones derivadas del tiempo, uso y/o patologías.

La imposibilidad de utilizar familias de elementos actuales para arquitecturas patrimoniales hace necesario el desarrollo de nuevas bibliotecas parametrizables que permitan desarrollar estos modelos. Sin embargo, las infinitas casuísticas derivadas de la no existencia de formas puras impiden su parametrización para generar un modelo geoméricamente preciso.

## 2.6 Geometría en programas informáticos

Se analiza a continuación los tipos de elementos geoméricos existentes en el programa BIM utilizado, en este caso se opta por Revit.

Los tipos geoméricos existentes en Revit (Moretó, 2018, p. 3) se agrupan en: puntos, curvas, superficies, sólidos y mallas.

## 2. ANTECEDENTES

Las curvas son cualquier tipo de línea, abierta o cerrada, en 2 o tres dimensiones, cuya diferencia para su caracterización es su método de génesis. Se define (Moretó, 2018, pp. 12-14):

-Línea (Line): Curva que no posee curvatura.

-Polígono (Polygon): Curva cerrada formada por líneas

-Arco (Arc), círculo (Circle) y elipse (Ellipse): Curvas planas con curvatura.

-Policurva (PolyCurve): Curva formada por varias curvas concatenadas. Pueden ser abiertas o cerradas.

-NURBS Curve: Curva definida a partir de sus puntos de control (similar a las splines de CAD). Se diferencian en función de su grado (Figura 6). Las de grado 1 pasan por los puntos de control, las de grado 2 son tangentes a las líneas los unen, pero se separan de los puntos y las de grado 3 se suavizan y se alejan de ambos. Se pueden modificar los nudos aplicando un peso (weight) para modificar para acercarlos puntos.

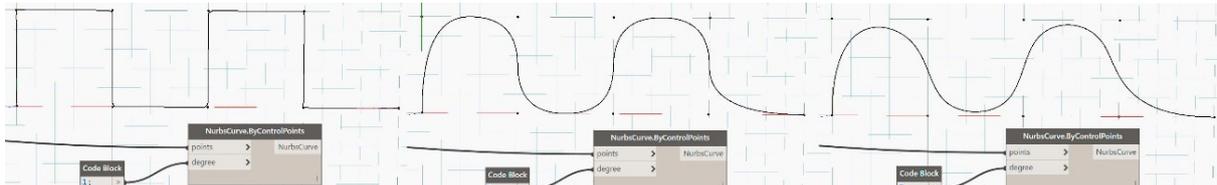


Figura 6: Tipos de NURBS Curve. (Moretó, 2018, pp. 13-14).

Las superficies (Moretó, 2018, pp. 16-20) son sucesiones de curvas de diferentes sentidos. En función de las curvas que las definen se diferencian:

-Superficies genéricas

-NurbsSurface (Figura 7): Entramado de continuo de NurbsCurves en dos direcciones.

-PolySurface (Figura 7): Superficies conformadas por dos o más superficies unidas entre sí mediante una o varias aristas.

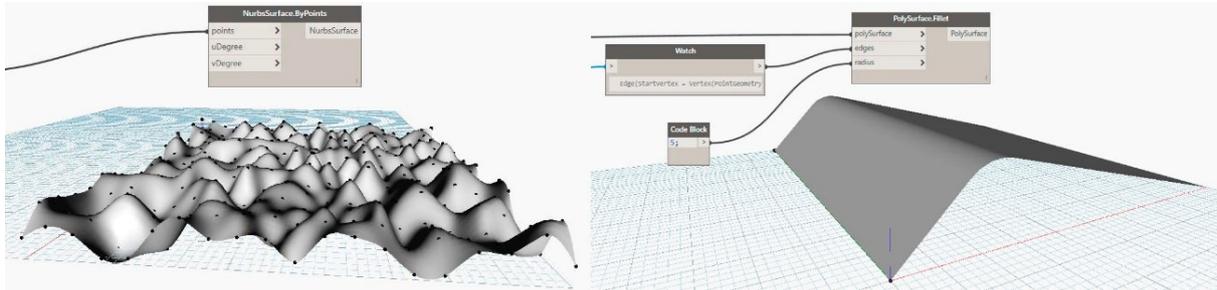


Figura 7: NurbsSurface y PolySurface. (Moretó, 2018, pp. 19-20).

Los sólidos (Moretó, 2018, p. 20) son volúmenes cerrados, conformados por superficies, macizas (no huecas).

Las mallas son elementos superficiales análogos a las generadas a partir de la fotogrametría.

### 3. Estado previo de la cuestión

A continuación, se pasa a relatar los distintos tipos de trabajo de delineado y/o modelados realizados a partir de nubes de puntos y mallas.

#### 3.1 Investigaciones existentes

##### 3.1.1 Generación de planimetría 2D.

-Generación de ortofotos para obtención de plantas, alzados y secciones (Figura 8).

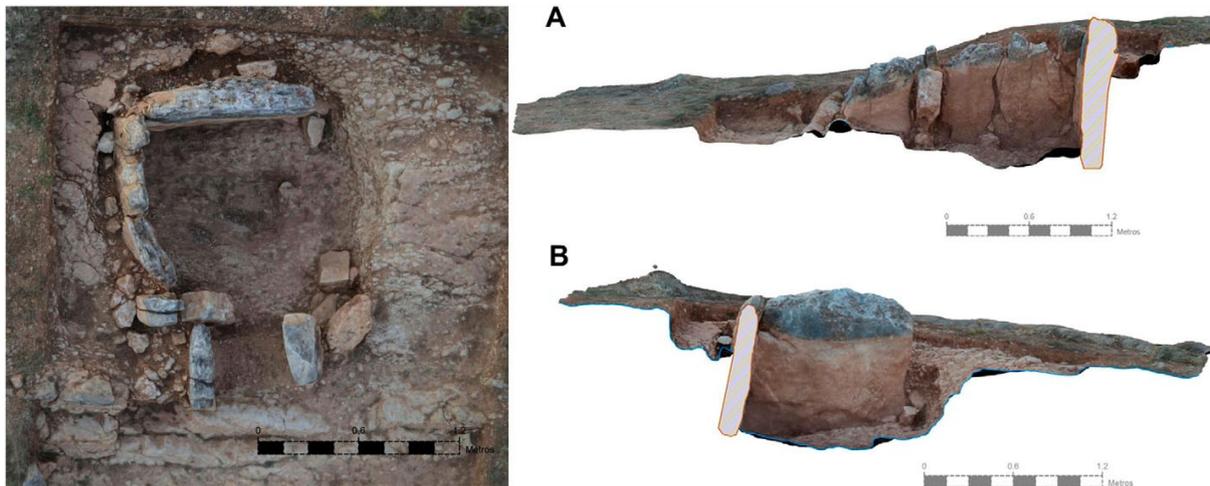


Figura 8: Ortofotos en planta sección. (J. A. Benavides López et al., 2016, pp. 498-499)

-Generación de ortofotografías a partir de la nube de puntos con modo de visión silueta en el software Cyclone. “En esta opción, se visualizan los puntos cuyas normales difieren de las de los puntos adyacentes, de tal forma que se resaltan las zonas de aristas y de cambio de planos” (Puche Fontanilles et al., 2017, pp. 233-234) (Figura 9).

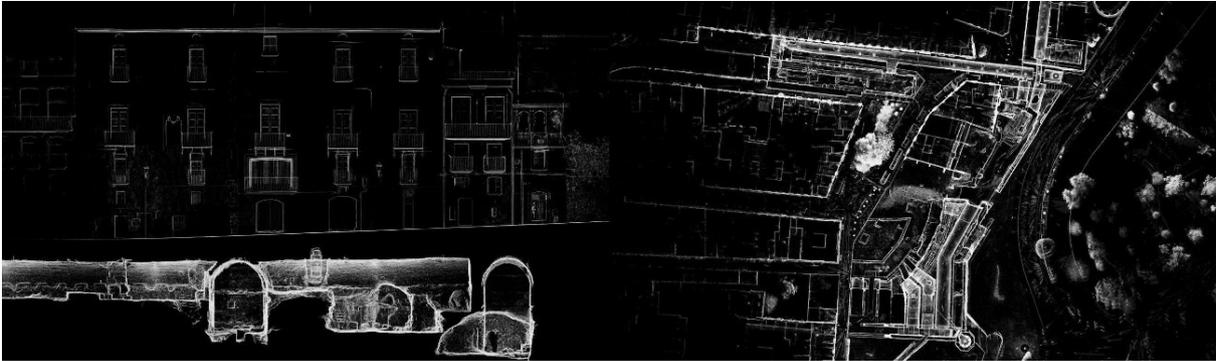


Figura 9: Ortofoto con visión de silueta. (Puche Fontanilles et al., 2017, p. 234)

-Generación de planos de curvas de nivel (elevaciones) a partir de las ortofotos (Figura 10).

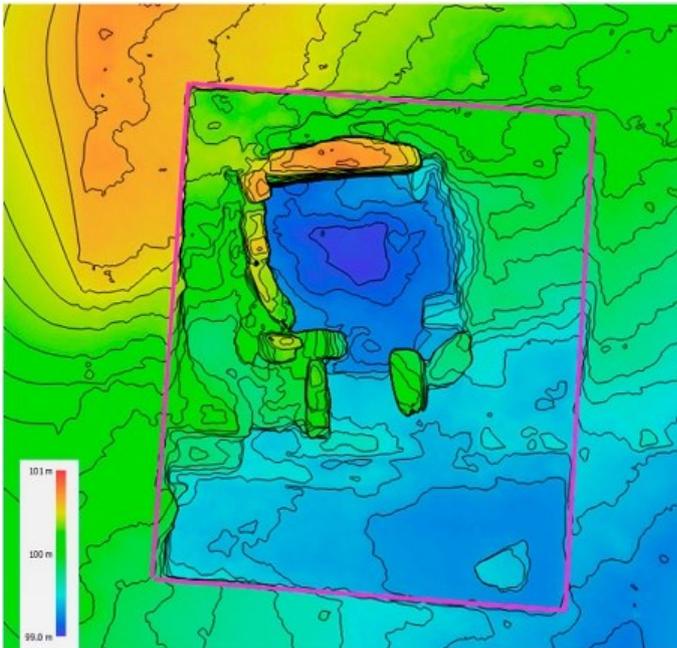


Figura 10: Plano de elevaciones. (J. A. Benavides López et al., 2016, p. 499).

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

-Calcado de ortofotos en software 2D (Figura 11).



Figura 11: Calcado de ortofotos en 2D.

-Generación de secciones planas a partir de cortes de malla (Fernández Pino et al., 2017, pp. 122-123). Para ello primero se obtiene una malla. Posteriormente se genera un modelo topográfico a base de cortes horizontales de la malla obteniendo las curvas de nivel. De manera análoga se realizan cortes en el plano vertical (Figura 12).

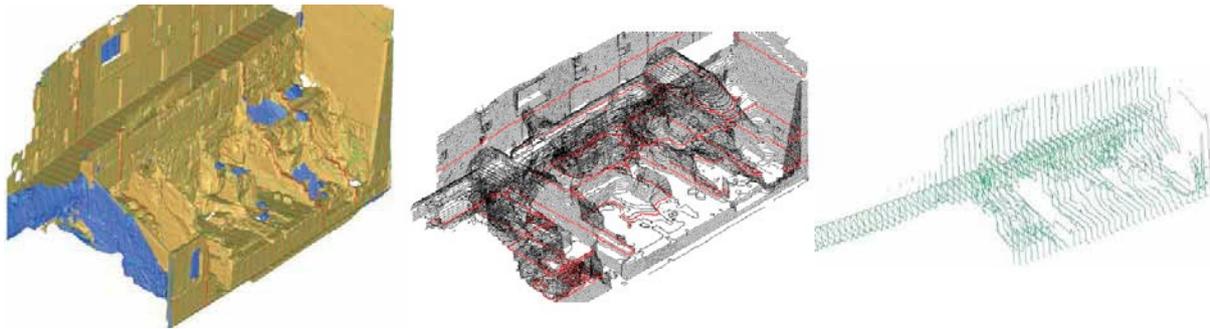


Figura 12: Malla, curvas de nivel y cortes verticales. (Fernández Pino et al., 2017, p. 122)

Para la obtención de los planos se realizaron cortes de la malla aplicándole un efecto transparencia a los elementos que topográficamente queden a una profundidad mayor (Figura 13). Al tratarse de una malla superficial, aquellos elementos no visibles continuarán sin verse.

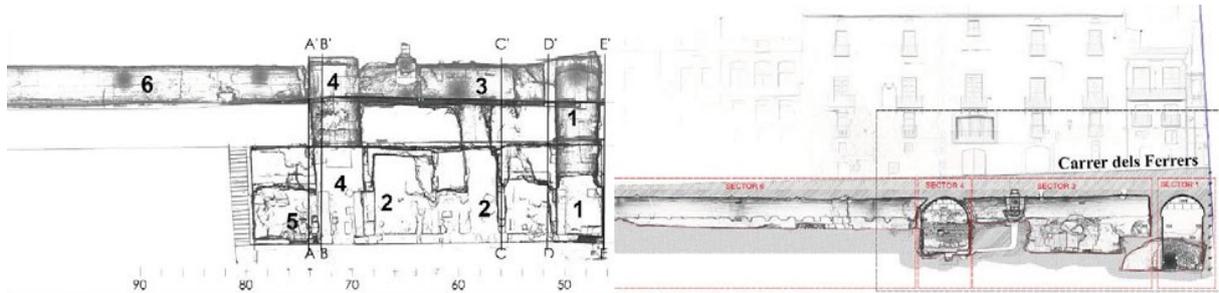


Figura 13: Planta y sección con visión radiografiada. (Fernández Pino et al., 2017, p. 120)

-Introducción de la nube de puntos obtenida a partir de un láser escáner 3D en un software de delineado digital. Calcado del alzado en un plano a partir de la nube de puntos y de rectificaciones de fotografías del mismo (Mora Flores et al., 2011) (Figura 14).



Figura 14: Delineación de alzados. Modificado de (Mora Flores et al., 2011, p. 47)

### 3.1.2 Calcado de perímetros en 3D.

Introducción de la nube de puntos en un software CAD para posterior calcado de las aristas de los elementos en 3D. Se trata de un trabajo arduo que precisa de un proceso manual de selección de puntos que delimitan las aristas de los elementos (Mañana-Borrazás et al., 2009, pp. 42-43) (Figura 15).



Figura 15: Calcado 3D en dibujo no planar. Modificado de (Mañana-Borrazás et al., 2009, p. 42)

### 3.1.3 Secciones planas y posterior modelado en 3D.

Proceso de modelado en base a secciones de la nube de puntos (Santagati & Lo Turco, 2016, p. 9) (Figura 17):

- Identificación de todos los elementos que geoméricamente describen las superficies.
- Identificación de la génesis geométrica de la superficie y de su ley matemática (revolución, extrusión)
- Identificación de los planos de construcción: asignar perfiles y caminos. (Figura 16)

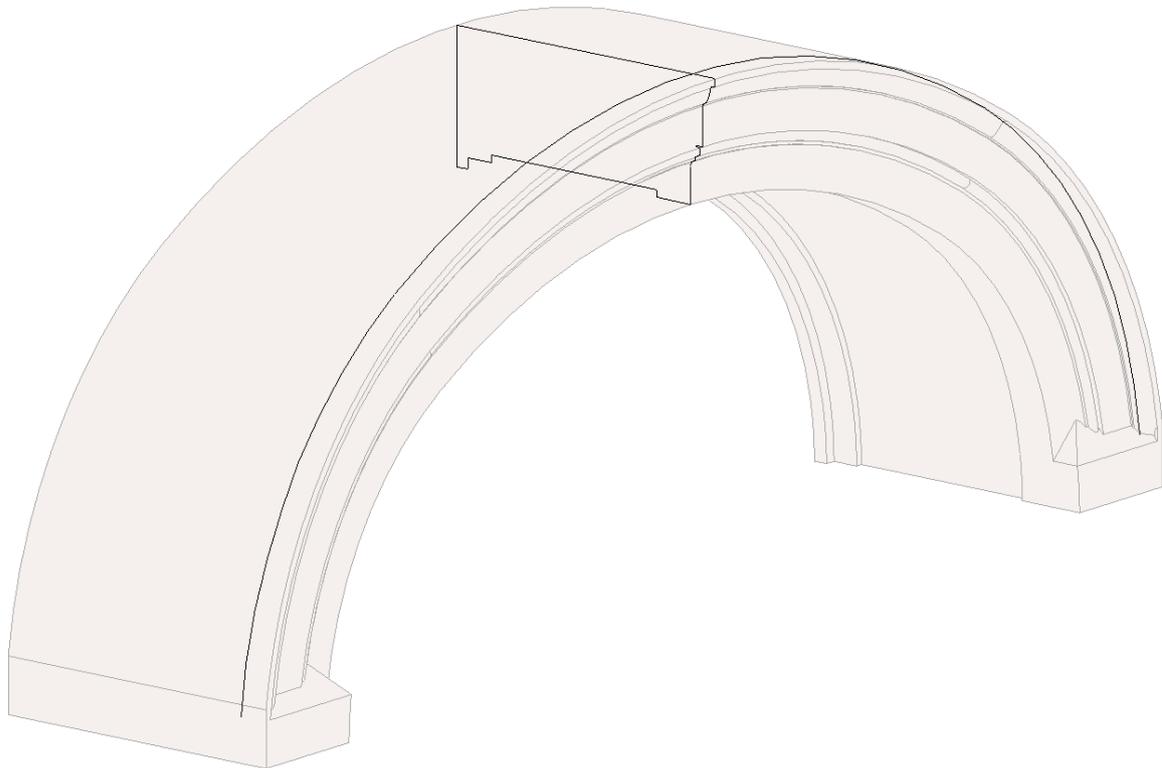


Figura 16: Perfil generador (sección) y perfil directriz (arco). Elaboración propia

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION



Figura 17: Proceso de modelado por elementos y secciones. (Santagati & Lo Turco, 2016, p. 5)

#### 3.1.4 Utilización de librerías

Generación de modelos en base a librerías de elementos ya existentes en los propios programas, generalmente dedicadas a elementos de nueva construcción o a librerías generadas específicamente para patrimonio (véase capítulo relativo a modelos paramétricos).

#### 3.1.4 Modificación de elementos genéricos

Modificación de elementos genéricos planares del software (muros, suelos) por medio de una malla para aplicación de las deformaciones existentes en los elementos constructivos (Figura 18).

Para una mejor comprensión y representación de los elementos se generarán texturas a base de ortofotografías que serán aplicadas como imágenes de material de acabado (Nieto et al., 2016, p. 4). En este caso se escoge dividir la superficie en cada uno de los elementos de acabado que la componen (Figura 18).

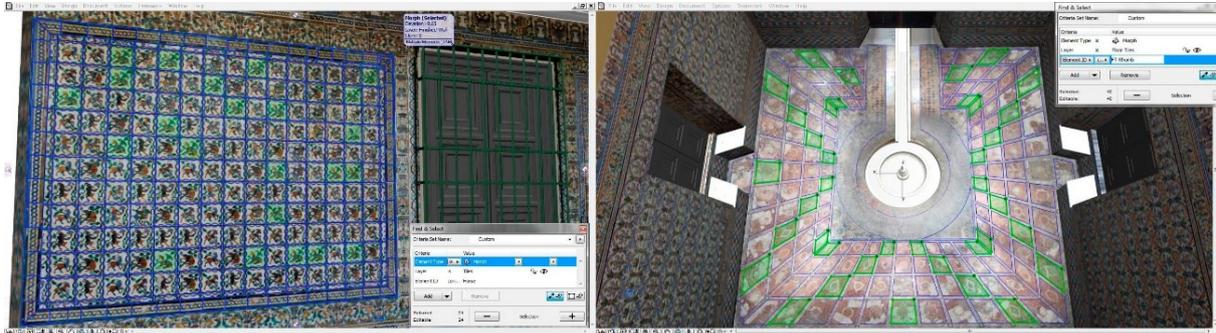


Figura 18: División de superficie para aplicación de deformaciones y texturas. Modificado de (Nieto et al., 2016, pp. 5-6).

### 3.1.5 Modelos paramétricos

Generación de modelos en base a parámetros. En este caso se investiga la parametrización de tuberías a partir de la nube de puntos obtenida con láser escáner (Bauer & Polthier, 2009) (Figura 19). Estas superficies se componen de consecuciones de cilindros y toroides. Las tuberías se definen por medio de esferas de radio constante trasladadas a lo largo de una directriz. Ésta se compone de segmentos rectos y arcos. La superficie exterior se compondrá de una consecución de arcos. Al tratarse de un elemento con sección transversal simétrica, se decide trabajar con la mitad del elemento para simplificar los cálculos a realizar.

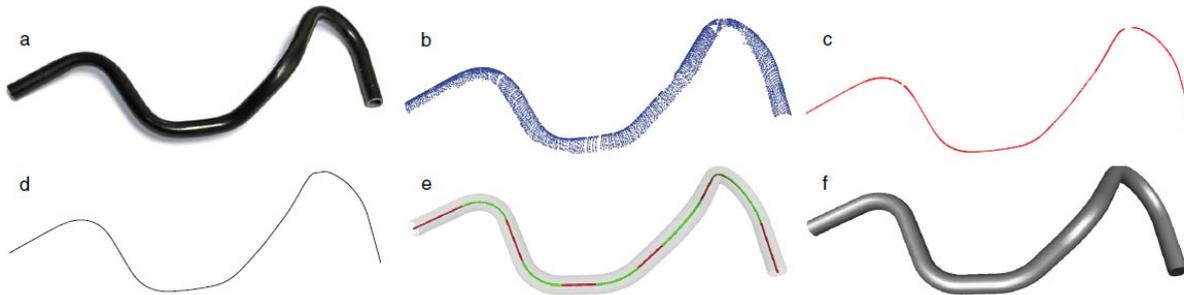


Figura 19: Reconstrucción paramétrica de una tubería. a) Fotografía. b) Fotogrametría. c) Búsqueda del eje. d) Reconstrucción. e) Geometrización eje. f) Superficie reconstruida. (Bauer & Polthier, 2009, p. 721).

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

Este método se basa en la obtención de modelos lo más simplificado posible conociendo la geometría base del elemento a analizar. En stricto sensu, los modelos paramétricos son aquellos que pueden ser modificados en base a los parámetros definitorios del mismo. En este ámbito cabe destacar la investigación de Belén Rivera (Rivera et al., 2018) en la que se analiza la parametrización de dos elementos: la Cruz de la Orden de Cristo y la Esfera Armilar. Para ello se realiza un análisis del tipo, con la obtención de los parámetros necesarios para su definición geométrica. Acto seguido se realiza la toma de datos y se genera un modelo paramétrico idealizado (sin las deformaciones y/o pérdida de material debidas al paso del tiempo) (Figura 20).

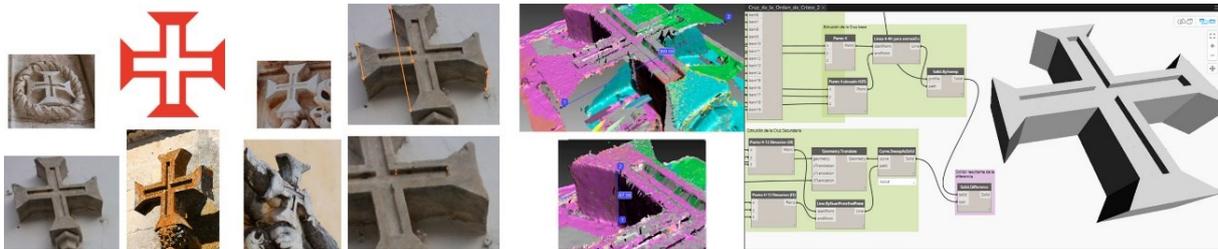


Figura 20: Proceso de obtención de modelo paramétrico: Análisis del tipo, obtención de parámetros, toma de datos y generación de modelo. Modificado de (Rivera et al., 2018, pp. 1072-1074).

#### 3.1.6 Conversión de mallas en polisuperficies.

Búsqueda de un método de semiautomatización (Figura 21) para la conversión de mallas en sólidos. Cabe destacar la necesidad de realizar un buen escaneado en todo el perímetro de la pieza. Se procederá a la obtención de la malla y se analizará por el propio software para comprobar que posea una geometría válida (no posea caras duplicadas, aristas no conectadas, etc.). A continuación, se comprobarán y unificarán las normales de las superficies para que no existan superficies invertidas que impidan la generación de sólidos. Acto seguido se procederá a rellenar los huecos existentes en la malla. El último paso consiste en convertir la malla en superficies NURBS y juntarlas en un sólido (Figura 21) (Antón et al., 2018, pp. 793-795).

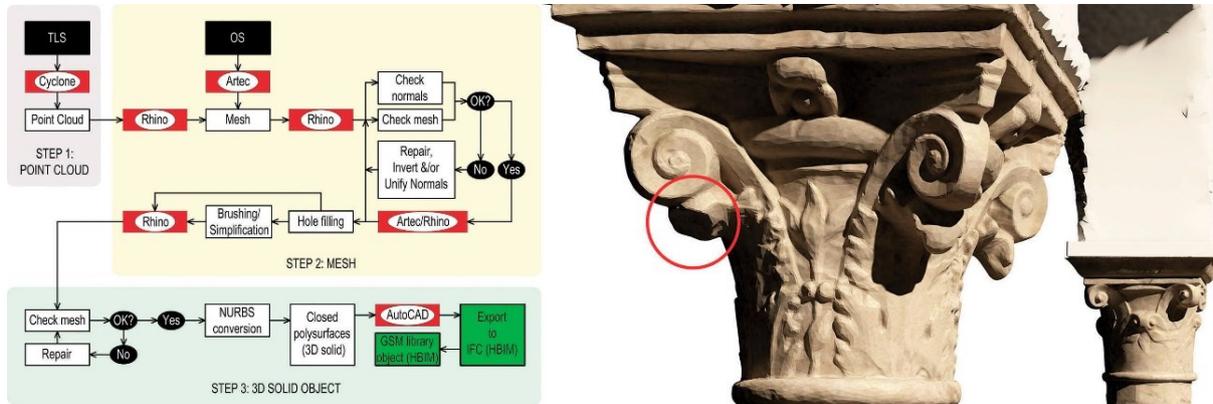


Figura 21: Proceso de conversión de malla en NURBS y resultado. Modificado de (Antón et al., 2018, p. 794,801)

### 3.1.7 Displaced Subdivision Surface (Displaced subD).

Aplicación de técnicas utilizadas en animación digital y videojuegos para el aligerado de modelos (Figura 22) geométricos de gran complejidad (Fantini, 2012).

Caso de estudio	Modelo de alto detalle	Malla de control	Displacement (openEXR)	map	Color map (JPG)
Friso perteneciente al "Teatro Marítimo"	40 MB	158 KB	1904 KB		1522 KB
	1316297 polígonos	2737 polígonos	2048x2048 píxeles		2048x2048 píxeles
Cúpula Serapeo	c.a. 300 MB	c.a. 89 KB	5536 KB		6563 KB
	4000000 polígonos	3472 polígonos	4096x4096 píxeles		4096x4096 píxeles
Cúpula termas eliocamino	48 MB	392 KB	2095 KB		5658 KB
	1188577 polígonos	2809 polígonos	4096x4096 píxeles		2048x2048 píxeles

Figura 22: Compresión Displaced subD (Fantini, 2012, p. 315)

Las Displaced subD son simplificaciones geométricas de densidad variable basados en polígonos de cuatro lados (Figura 23). "La desviación (el delta) entre el modelo de alto detalle y la superficie de subdivisión se guarda en una imagen en escala de grises que luego se aplicará como textura de desplazamiento" (Fantini, 2012, p. 312).

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

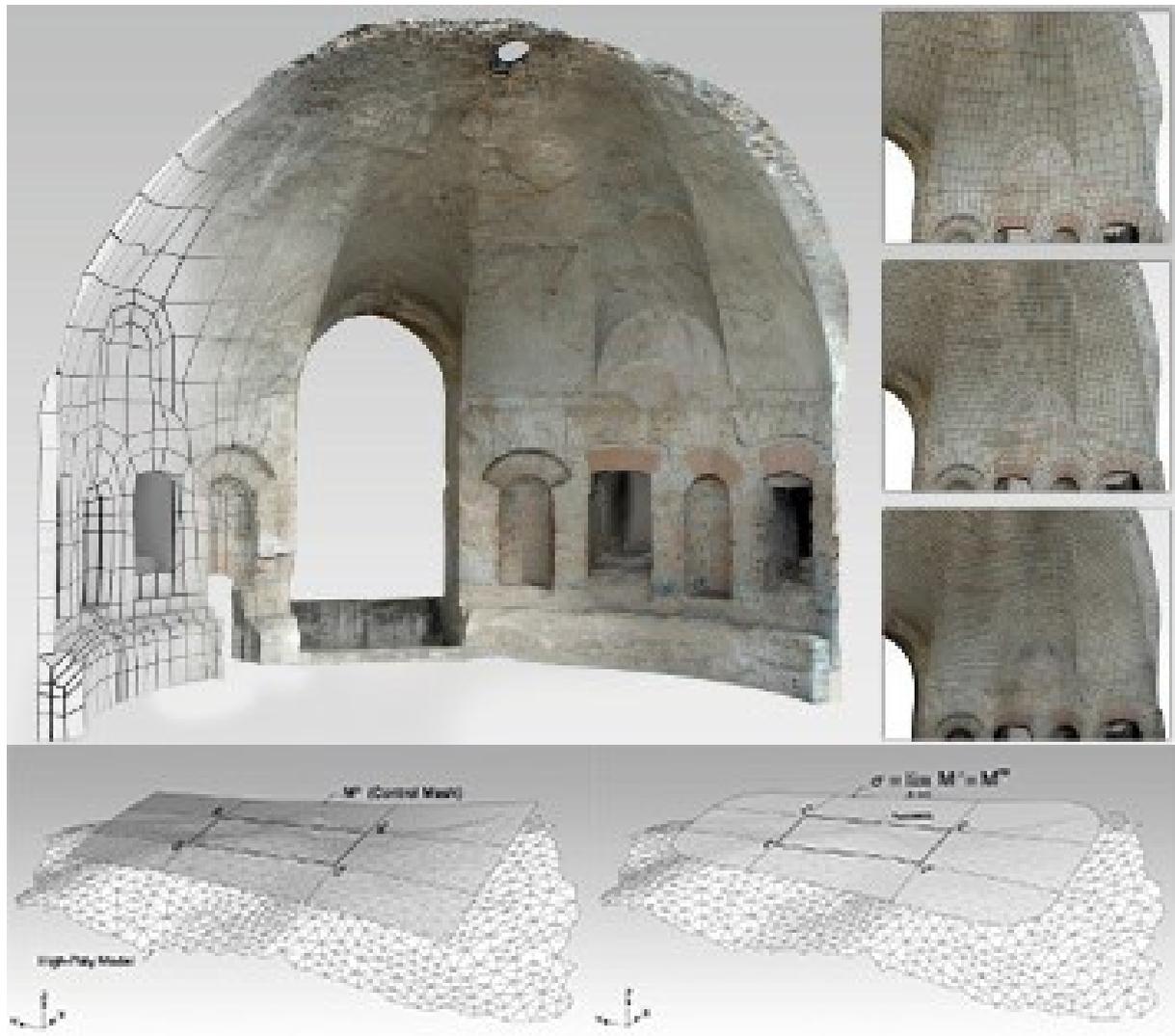


Figura 23: Displaced subD con detalles variable. Malla de control. Modificado de (Fantini, 2012, p. 312,317).

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

### 3.2 Investigación previa. La fachada Norte de la Catedral de Santiago.

Durante la DO del PBE para la conservación y puesta en valor de la Capilla del Cristo de Burgos y la fachada al Patio Xélmirez de la Catedral de Santiago de Compostela Fase 1 (López de Rego Uriarte, 2019) se estima la implementación del HBIM para la recogida de toda información que surja durante la misma. En aras de obtener un modelo fidedigno, no idealizado, de la misma se opta por buscar un método semi automatizado a partir de una malla (Figura 24) obtenida de un escaneado previo que posee 10810019 caras y fue creado por Javier Guerreiro Prieto (Geobim) en el año 2020.

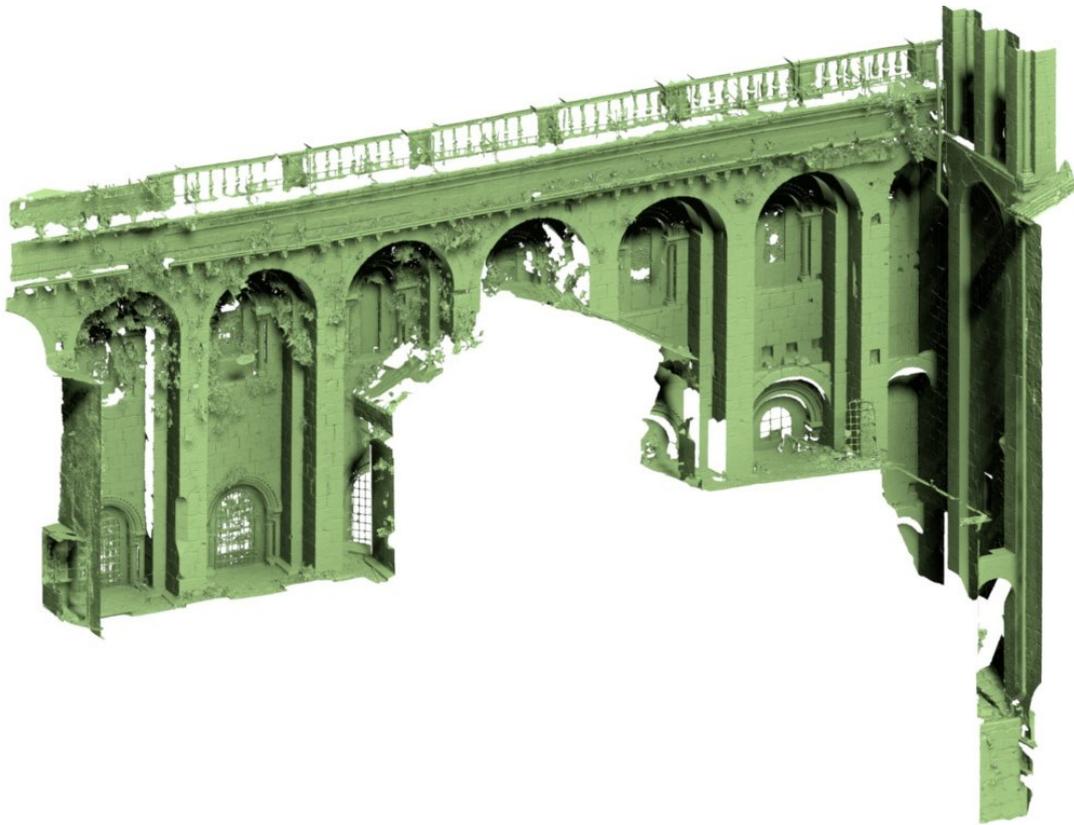


Figura 24: Malla base. Realizada por Javier Guerreiro (Geobim).

### 3.2.1 Proceso malla y generación de volumetría.

El primer paso consistió en decidir los elementos en los que se iba a dividir la fachada. Se decidió dividir la fachada en los siguientes elementos: contrafuertes, fábrica, arcadas (se dividen en columnas y arquivolta con cimacio), arcos, entrearcos, canecillos, cornisas, sobrecornisa e irregularidad (Figura 25).

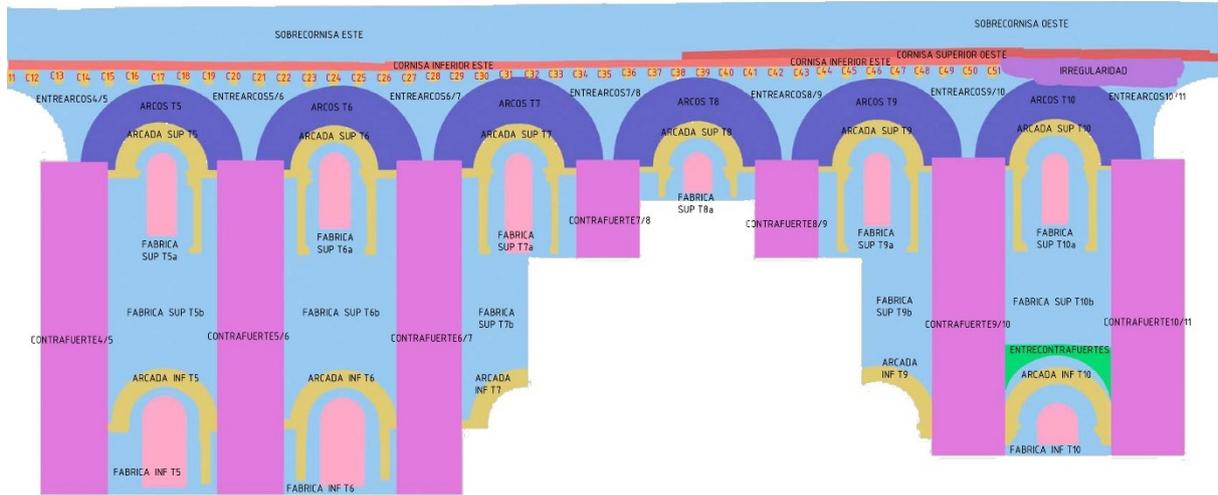


Figura 25: División fachadas en elementos. Elaboración conjunta: Diego Bello Iglesias, José Ignacio López de Rego Uriarte, Ignacio López de Rego Lage y David Castiñeira Expósito.

Seguidamente se generó un nomenclátor (Figura 26) que definiera unívocamente cada uno de los elementos y que a la vez especificará su posición relativa, no sólo con respecto a la fachada, sino con respecto a la totalidad de la catedral. Es por ello que se comienza por el área general de la Catedral, seguido por la nave (en caso de no haber referencia se refiere a la nave central), el tramo (los tramos se cuentan desde el pórtico del altar mayor), el nivel (inferior es todo aquello que queda por debajo de la tribuna), el tipo de elemento y la situación del mismo.

Área: N (Norte), S (Sur), E (Este) y O (Oeste).

Nave: N (Norte), S (Sur)

Tramo: Se especifica con número. La Fachada al Patio Xelmírez va del 3 al 11. (Figura 27)

Nivel: SUP (superior a tribuna) e INF (inferior)

Situación: Izquierda-derecha, E-W, 1,2,3.

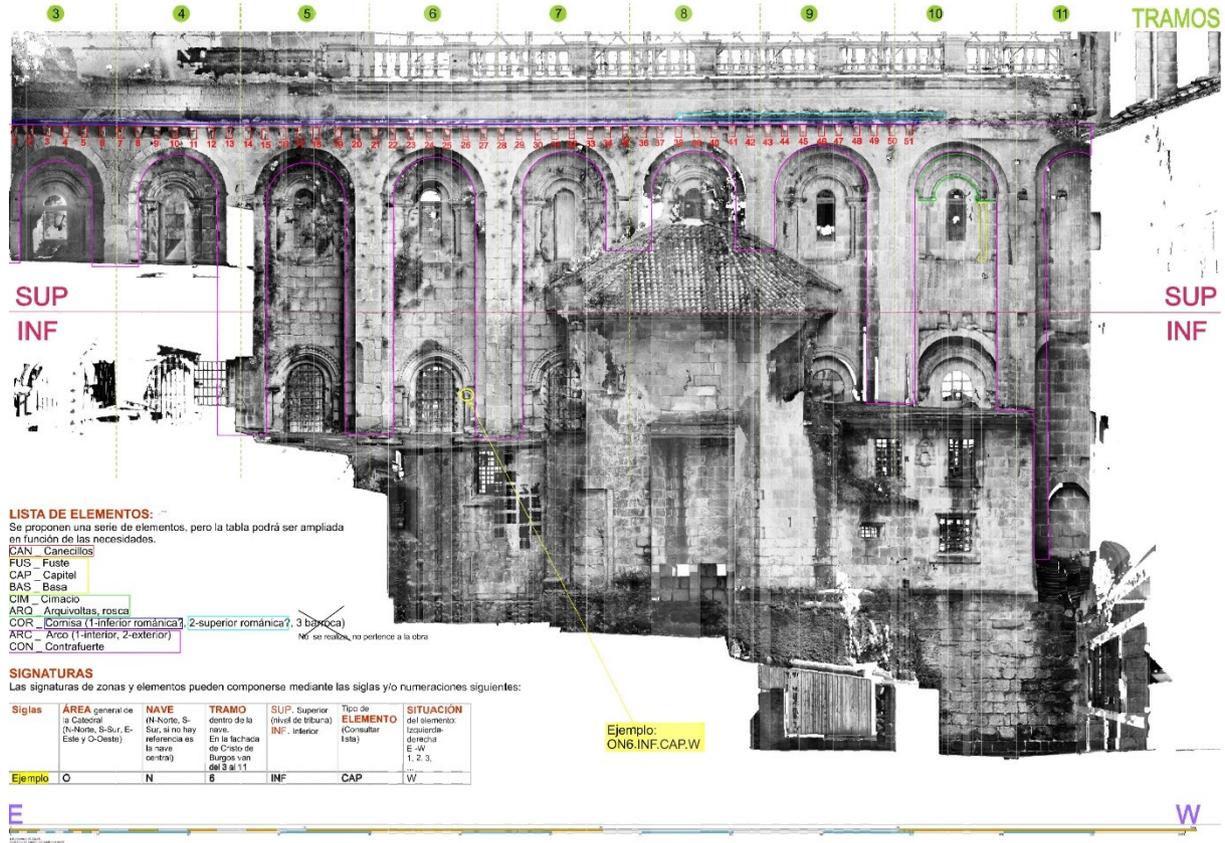


Figura 26: Nomenclátor. Modificado de Sonia García Rodríguez.

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

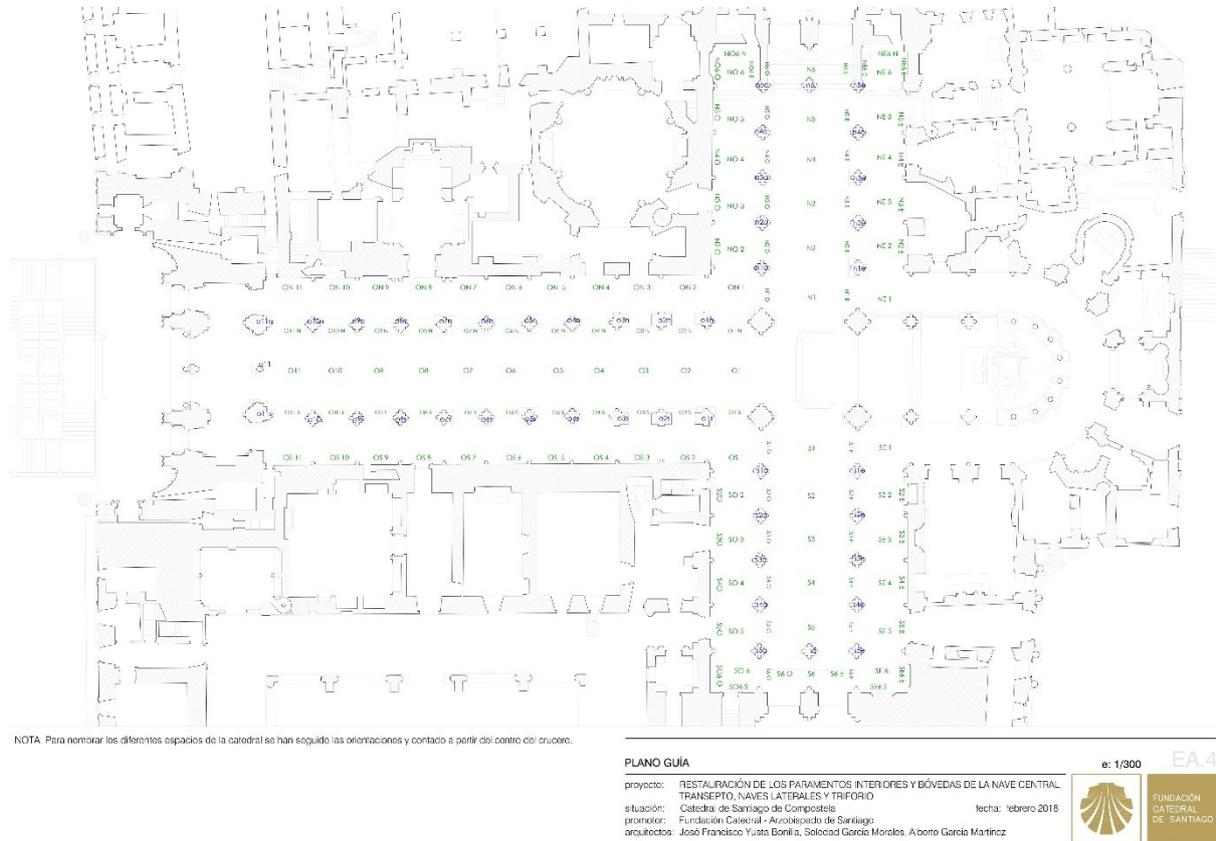


Figura 27: Tramos de la catedral. (Yusta Bonilla et al., 2018)

Se divide la malla en tantas piezas como elementos poseerá el archivo. La división se realiza con el programa 3DSMax. Acto seguido se generan las superficies base para completar el volumen. Al tratarse de una malla que atiende exclusivamente a una de las caras del muro de la fachada Norte de la Catedral de Santiago de Compostela se han de crear no solamente las del perímetro de corte, sino también una tapa posterior. Una vez generadas, se aproximan las superficies a la malla. Para una mayor aproximación, se subdividen las superficies y se realiza un ajuste fino, dejando siempre algo de espacio. (Figura 28)

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

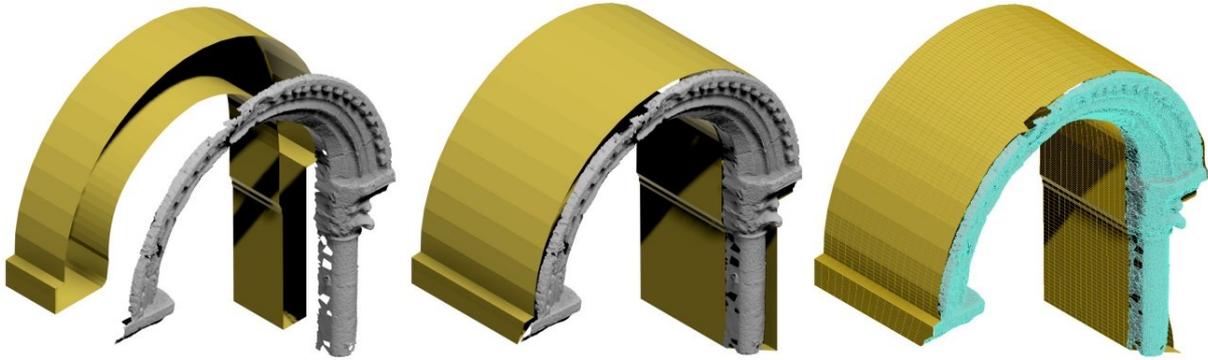


Figura 28: División de malla y generación de superficies envolventes. Aproximación de superficies y ajuste fino. Elaboración propia.

Una vez realizado ese ajuste fino, se procederá a alargar aquellas zonas que no poseen datos por medio de la creación de una superficie a partir de la extrusión de los bordes. Finalmente se juntan todos los elementos en un elemento y se exportan en extensión .obj. (Figura 29)

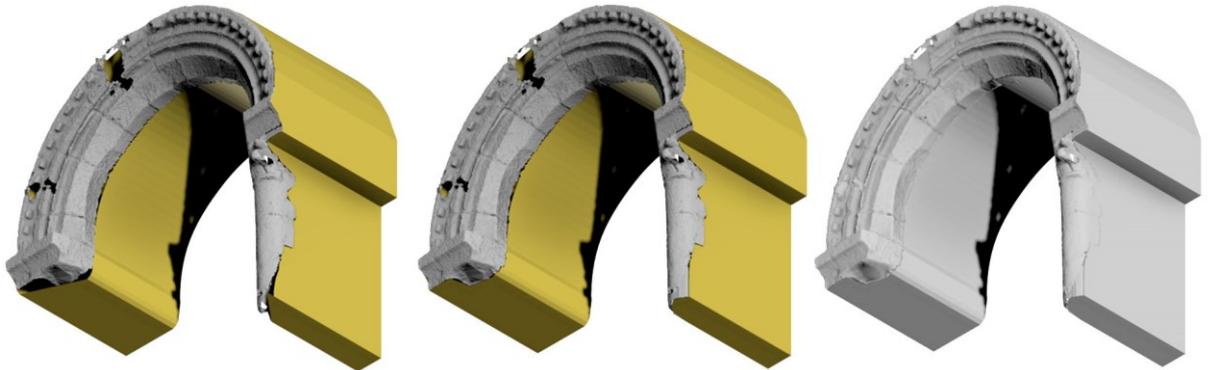


Figura 29: Extensión de superficies faltantes y creación de elemento único. Elaboración propia.

A continuación, importaremos el .obj en el software Meshmixer. Este es un software dedicado a impresión 3D. Acto seguido, se realizará un análisis del mismo para comprobar todos los defectos y vacíos que posea. Se obtienen tres tipos de errores distintos: azules, morados y rojos. Los azules atienden a vacíos de fácil solución, los morados a superficies aisladas que

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

son susceptibles de ser eliminadas y los rojos se refieren a vacíos de compleja resolución. Seleccionando las esferas de colores se corrigen automáticamente dichos errores. En el caso de los azules se opta por utilizar el flat fill para corrección de errores. Los morados se suprimen. Los errores rojos se simplifican generando “bridges” (puentes) entre diversas superficies para reducir el tamaño de las oquedades y que, en un posterior análisis se conviertan en diversos errores azules.

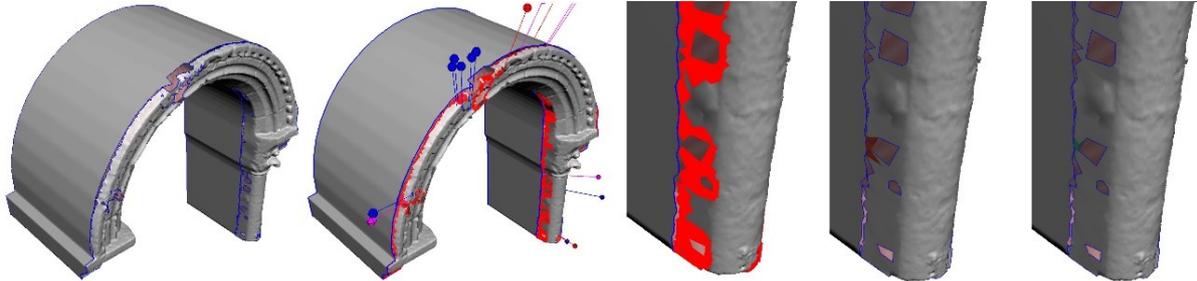


Figura 30: Cerrado de huecos y conversión a sólido. Elaboración propia.

Una vez solucionadas todas las incidencias existentes en el elemento se procede a convertirlo en sólido. Para ello vamos a la opción Edit>Make solid. Allí escogeremos la definición que deseemos para el sólido.

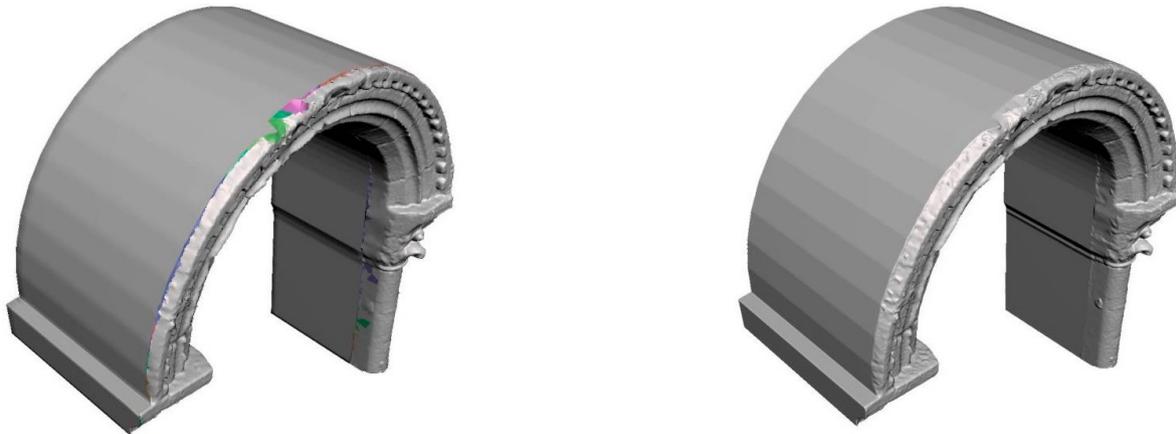


Figura 31: Modelo sólido. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Acto seguido pasaremos a optimizar el modelo reduciendo el número de caras que posee el modelo. Para ello importamos el modelo en 3DSMax y le aplicamos el modificar Optimize. Éste reduce el número de caras existente en el modelo. En esta pieza se pasa, manteniendo una definición geométrica alta, de 653768 cara a 78232 (Figura 32).

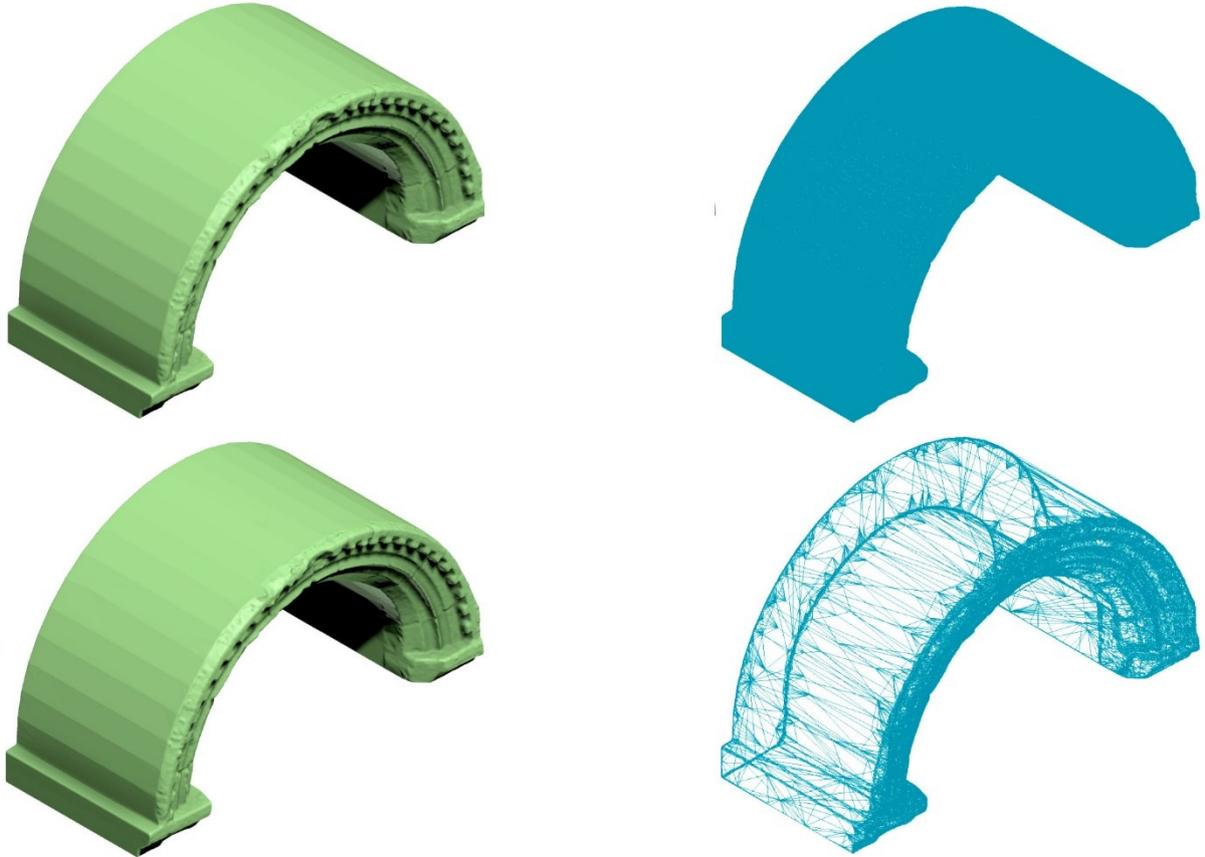


Figura 32: Optimizado modelo. Pieza original con mallado y pieza definitiva con simplificación de mallado. Elaboración propia.

#### 3.2.2 Integración en BIM.

Una vez optimizado el modelo se exporta en formato .sat. Posteriormente se inserta en un archivo independiente de Revit (insertar>cad) como modelos genéricos (Figura 33). En este caso se utilizó la versión de Revit 2019. Se toma la decisión de integrar cada uno de los elementos en archivos independientes que posteriormente serán vinculados en un archivo madre (Figura 37). Esta decisión parte de la necesidad de reducir el peso del archivo y la RAM necesaria para su procesado. Atendiendo a lo especificado por Autodesk (Autodesk, 2018), y teniendo en cuenta que se trabajaba con un portátil de 8GB de RAM, no sería recomendable superar los 300 Mb. En este caso la suma del peso de cada uno de los archivos es superior a los 3.7Gb (Figura 38). Los vinculados generan menor peso en el archivo al no cargar todas sus características. El peso final del archivo madre es de 4.416 KB y su consumo de RAM es superior a los 10GB (Figura 35). Este análisis se ha realizado con un ordenador de 32 Gb de RAM.

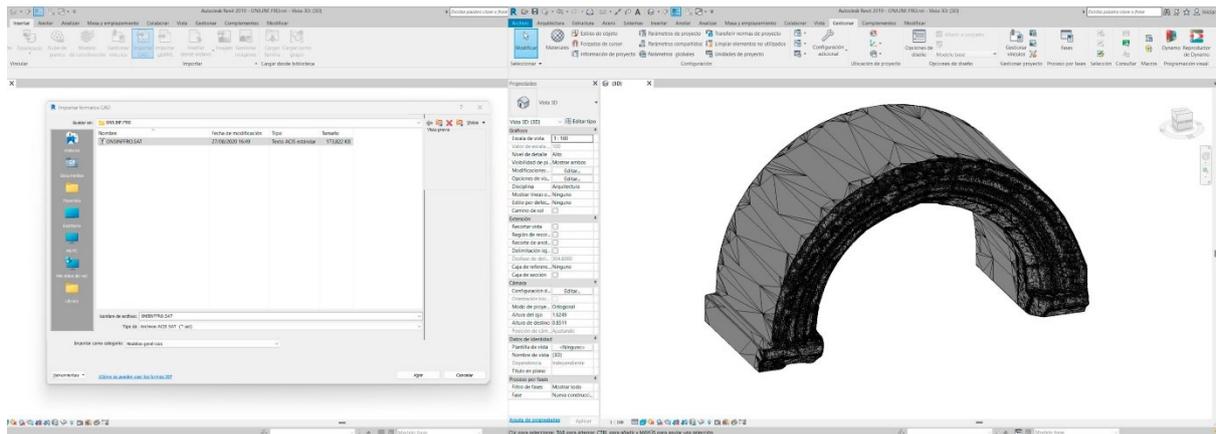


Figura 33: Inserción de sat en Revit. Elaboración propia.

La localización de las piezas se ejecutó insertando un plano de alzado con su posición para utilizarlo como guía e ir moviendo los elementos hasta su posición (Figura 34).

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

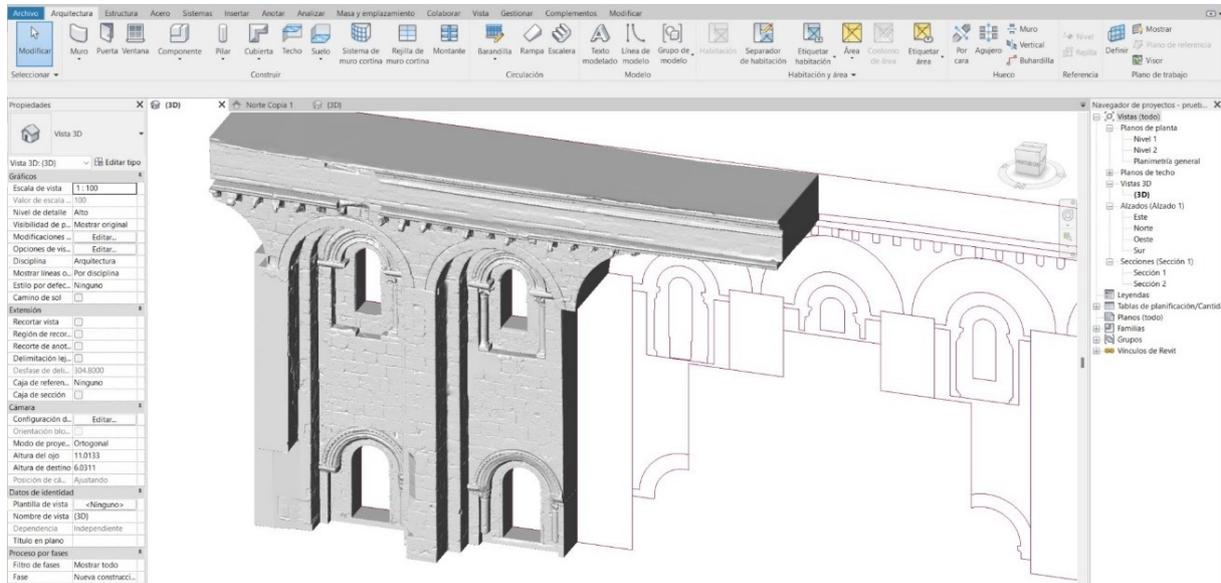


Figura 34: Localización piezas. Elaboración propia.

Para ocultar las aristas de la malla y obtener un modelo visualmente más atractivo se ha de ir a opciones de visualización de gráficos (vista>gráficos>desplegable) y tanto en el estilo sombreado como en el estilo realista podemos retirar mostrar aristas. Se podría acceder también a través del comando rápido GD (Figura 36).

Autodesk Revit (7)	0%	10,590.6 MB	0.1 MB/s	0 Mbps
Autodesk Revit	0%	9.7 MB	0 MB/s	0 Mbps
Autodesk Revit 2019	0%	10,575.7 MB	0.1 MB/s	0 Mbps
CefSharp.BrowserSubprocess	0%	2.2 MB	0 MB/s	0 Mbps
Chromium host executable (32 bits)	0%	1.0 MB	0 MB/s	0 Mbps
Chromium host executable (32 bits)	0%	1.5 MB	0 MB/s	0 Mbps
Chromium host executable (32 bits)	0%	0.4 MB	0 MB/s	0 Mbps
Host de ventana de consola	0%	0.1 MB	0 MB/s	0 Mbps

Figura 35: Consumo de RAM. Elaboración propia

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

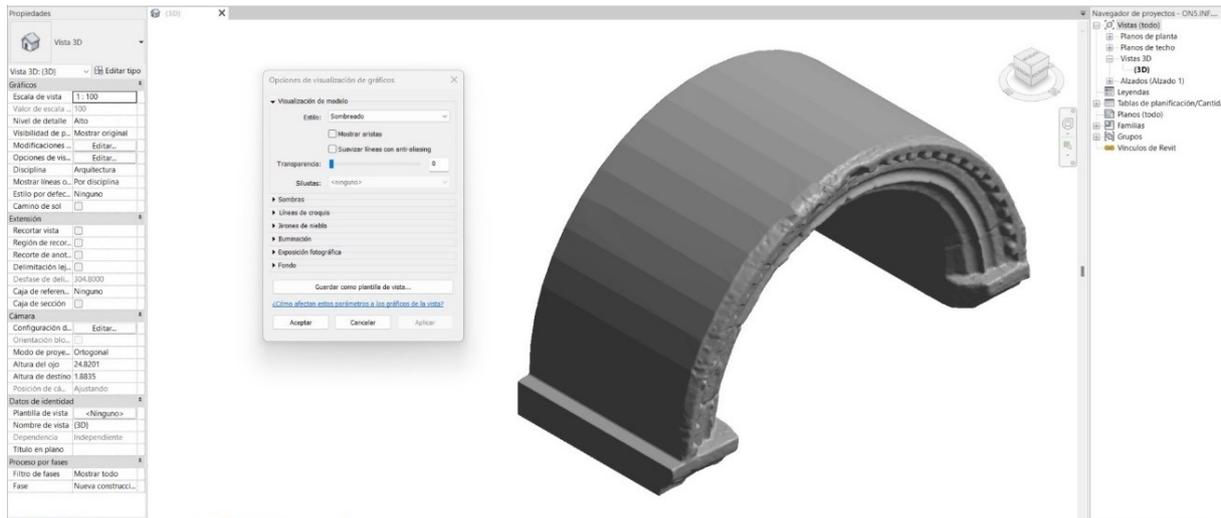


Figura 36: Ocultar aristas de la malla. Elaboración propia.

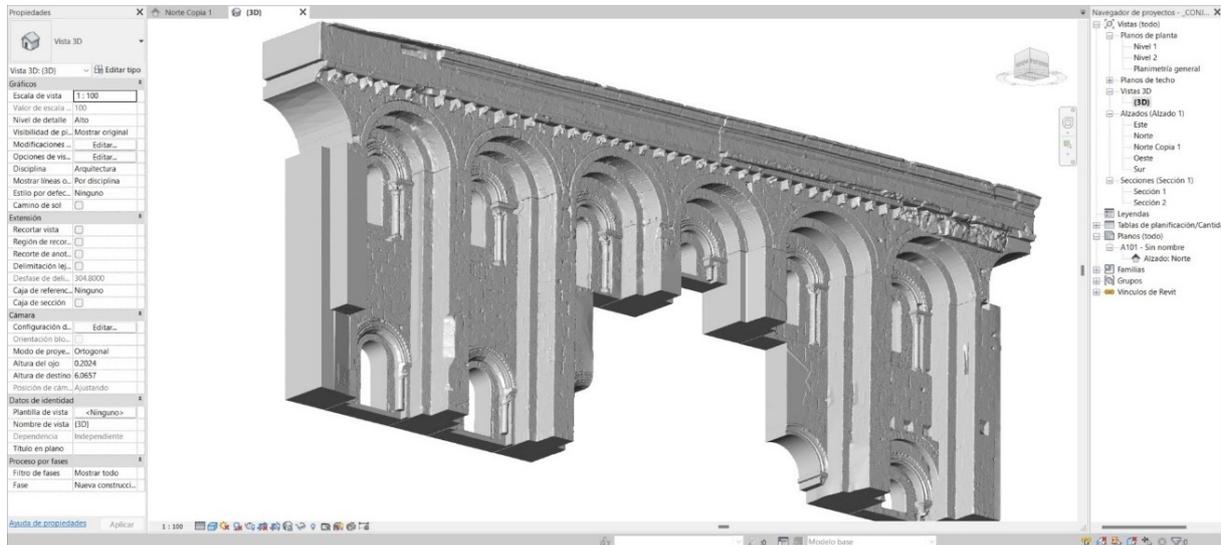


Figura 37: Modelo BIM completo de la fachada. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

	Cantida d	Posible tamaño	Nombres 3ds	Partes	Nombre real	N_CARAS	MB_SA T	MB_RE V	optimiza r
Sobrecornisa	2	2.65	Sobrecornisa este	Sobrecornisa este	ON3 8.SUP.COR.3	161310	352	63.8	1
			Sobrecornisa Oeste	Sobrecornisa Oeste	ON8 11.SUP.COR.3	78158	173	32.7	2.5
Cornisas	3	2.65	Cornisa superior oeste	Cornisa superior oeste	ON8 11.SUP.COR.2	53036	113	21.6	2
			Cornisa inferior este	Cornisa inferior este	ON3 8.SUP.COR.1	49500	109.7	20.9	1.5
			Cornisa inferior Oeste	Cornisa inferior Oeste	ON8 11.SUP.COR.1	50236	109.8	21.5	1.5
Arco bóveda	1	2.65	Irregularidad	Irregularidad	ON10 11.SUP.COR.I NF	101460	225.7	42.1	3.5
Canecillos	41	2.65	C11	C11	ON4.SUP.CAN.11	19618	41.36	8.5	2
			C12	C12	ON4.SUP.CAN.12	52752	115.86	22.1	2
			C13	C13	ON4.SUP.CAN.13	54054	117.44	22.2	2
			C14	C14	ON5.SUP.CAN.14	43780	94.5	18	2
			C15	C15	ON5.SUP.CAN.15	43712	95.42	18.1	2
			C16	C16	ON5.SUP.CAN.16	26834	57.93	11.6	2
			C17	C17	ON5.SUP.CAN.17	20496	42.5	8.8	2
			C18	C18	ON5.SUP.CAN.18	20250	42.81	8.86	2
			C19	C19	ON5.SUP.CAN.19	38428	83	16	2
			C20	C20	ON5.SUP.CAN.20	48330	105.38	20	2
			C21	C21	ON6.SUP.CAN.21	43402	94	18	2
			C22	C22	ON6.SUP.CAN.22	29884	63.7	12.8	2
			C23	C23	ON6.SUP.CAN.23	48318	104.7	20	2
			C24	C24	ON6.SUP.CAN.24	32788	69.5	13.8	2
			C25	C25	ON6.SUP.CAN.25	45328	98.9	19.1	2
			C26	C26	ON6.SUP.CAN.26	17624	36	7.85	2
			C27	C27	ON6.SUP.CAN.27	38310	83.1	16.3	2
			C28	C28	ON7.SUP.CAN.28	38510	83.15	16.1	2
			C29	C29	ON7.SUP.CAN.29	38998	84.4	16.3	2
			C30	C30	ON7.SUP.CAN.30	37772	80.9	15.7	2
			C31	C31	ON7.SUP.CAN.31	29928	65.53	12.5	2
			C32	C32	ON7.SUP.CAN.32	25494	53.1	11.36	2
			C33	C33	ON7.SUP.CAN.33	24780	52.1	10.5	2
			C34	C34	ON7.SUP.CAN.34	39880	85.38	16.49	2
			C35	C35	ON7.SUP.CAN.35	26604	56.48	11.29	2
			C36	C36	ON8.SUP.CAN.36	40252	86.3	16.5	1
			C37	C37	ON8.SUP.CAN.37	37000	80.3	15.54	2
			C38	C38	ON8.SUP.CAN.38	25900	54.6	13.9	2
			C39	C39	ON8.SUP.CAN.39	21560	42.9	8.8	2
			C40	C40	ON8.SUP.CAN.40	18588	39.4	8.2	2
			C41	C41	ON8.SUP.CAN.41	24290	51	10.3	2
			C42	C42	ON8.SUP.CAN.42	24450	51.8	10.4	2
			C43	C43	ON9.SUP.CAN.43	39658	83.6	16.1	1.5
			C44	C44	ON9.SUP.CAN.44	23434	49.3	16.1	2
C45	C45	ON9.SUP.CAN.45	22812	47.6	9.7	2			
C46	C46	ON9.SUP.CAN.46	25982	54.9	11	2			
C47	C47	ON9.SUP.CAN.47	25420	54.6	10.9	2			
C48	C48	ON9.SUP.CAN.48	18912	39.6	8.2	2			
C49	C49	ON9.SUP.CAN.49	31712	67.3	13.2	1.5			
C50	C50	ON9.SUP.CAN.50	21888	45.8	9.4	2			
C51	C51	ON10.SUP.CAN.51	25088	52.6	10.6	2			
Entrearcos	7	2.65	Entrearcos 4/5	Entrearcos 4/5	ON4 5.SUP.EARC	113730	250.3	45.9	2.5
			Entrearcos 5/6	Entrearcos 5/6	ON5 6.SUP.EARC	94304	207	38.35	2.5
			Entrearcos 6/7	Entrearcos 6/7	ON6 7.SUP.EARC	105660	233.5	42.95	2.5
			Entrearcos 7/8	Entrearcos 7/8	ON7 8.SUP.EARC	92996	202	37.1	1.5
			Entrearcos 8/9	Entrearcos 8/9	ON8 9.SUP.EARC	90930	200	36.7	2.5
			Entrearcos 9/10	Entrearcos 9/10	ON9 10.SUP.EARC	98406	208	38.2	1
Arcos	6	2.65	Arcos T5	Arcos T5	ON5.SUP.ARC	236290	532.5	95.2	2.5
			Arcos T6	Arcos T6	ON6.SUP.ARC	261310	591	105.5	2.5
			Arcos T7	Arcos T7	ON7.SUP.ARC	248640	557.1	99.9	2.5

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

			Arcos T8	Arcos T8	ON8.SUP.ARC	250220	551	97.6	1.5			
			Arcos T9	Arcos T9	ON9.SUP.ARC	254880	560	99.5	2			
			Arcos T10	Arcos T10	ON10.SUP.ARC	241350	544.12	97.23	2			
Contrafuertes	7	2.65	Contrafuerte 4/5	Contrafuerte 4/5	ON4 5.SUP.CON	219410	493	88.9	1			
			Contrafuerte 5/6	Contrafuerte 5/6	ON5 6.SUP.CON	244728	551	101	2.2			
			Contrafuerte 6/7	Contrafuerte 6/7	ON6 7.SUP.CON	222954	501.2	89.53	2.4			
			Contrafuerte 7/8	Contrafuerte 7/8	ON7 8.SUP.CON	150097	335.8	60.88	2.7			
			Contrafuerte 8/9	Contrafuerte 8/9	ON8 9.SUP.CON	160000	271	41.5	no			
			Contrafuerte 9/10	Contrafuerte 9/10	ON9 10.SUP.CON	181354	396	73.4	1			
			Contrafuerte 10/11	Contrafuerte 10/11	ON10 11.SUP.CON	207680	467.27	86.38	1.3			
			Entrecontrafuertes	Entrecontrafuertes	ON10.SUP.ECON	168530	381.22	69.2	2.5			
			Arcadas	31	2.65	Arcada Sup T5	Arcada Sup T5 arcq+cim	ON5.SUP.FRO	105788	236	43.63	2
	Arcada Sup T5 col W	ON5.SUP.COL.W				33670	74.3	14.5	2			
Arcada Sup T6	Arcada Sup T6 arcq+cim	ON6.SUP.FRO				73622	162.7	31	2.5			
	Arcada Sup T6 col E	ON6.SUP.COL.E				42482	93.5	18.3	2			
	Arcada Sup T6 col W	ON6.SUP.COL.W				45746	100.9	19.5	2			
Arcada Sup T7	Arcada Sup T7 arcq+cim	ON7.SUP.FRO				96794	215	40.2	2			
	Arcada Sup T7 col E	ON7.SUP.COL.E				39950	87.9	17	2			
	Arcada Sup T7 col W	ON7.SUP.COL.W				30488	66.9	13.25	2			
Arcada Sup T8	Arcada Sup T8 arcq+cim	ON8.SUP.FRO				66908	148.1	27.9	2			
	Arcada Sup T8 col E	ON8.SUP.COL.E				10664	22.1	5	2			
	Arcada Sup T8 col W	ON8.SUP.COL.W				16946	36.7	7.7	2			
Arcada Sup T9	Arcada Sup T9 arcq+cim	ON9.SUP.FRO				103150	229.45	42.3	1			
	Arcada Sup T9 col E	ON9.SUP.COL.E				42656	94.19	18	2			
	Arcada Sup T9 col W	ON9.SUP.COL.W				53730	119.25	22.5	2			
Arcada Sup T10	Arcada Sup T10 arcq+cim	ON10.SUP.FRO				94834	210	39.2	2			
	Arcada Sup T10 col E	ON10.SUP.COL.E				36238	79.6	15.4	2			
	Arcada Sup T10 col W	ON10.SUP.COL.W				41766	92.3	17.8	2			
Arcada Inf T5	Arcada Inf T5 arcq+cim	ON5.INF.FRO				78232	173.8	32.7	2			
	Arcada Inf T6 col W	ON5.INF.COL.W				26418	58.1	11.6	2			
Arcada Inf T6	Arcada Inf T6 arcq+cim	ON6.INF.FRO				78646	174.25	32.8	2			
	Arcada Inf T6 col E	ON6.INF.COL.E				30758	67.5	14.4	2			
	Arcada Inf T6 col W	ON6.INF.COL.W				52756	116.9	22	2			
Arcada Inf T7	Arcada Inf T7	ON7.INF.FRO				108500	240.9	44.8	2			
Arcada Inf T9	Arcada Inf T9 arcq+cim	ON9.INF.FRO				65320	144.64	27.2	1			
	Arcada Inf T9 col W	ON9.INF.COL.W				18536	40.5	8.4	1			
Arcada Inf T10	Arcada Inf T10 arcq+cim	ON10.INF.FRO				85250	189.3	35.6	2			
	Arcada Inf T10 col E	ON10.INF.COL.E				25240	55	11.1	2			
	Arcada Inf T10 col W	ON10.INF.COL.W				21318	46.1	9.4	2			
Arcada Inf T11	Arcada Inf T11 arcq+cim	ON11.INF.FRO										
	Arcada Inf T11 col E	ON11.INF.COL.E										
	Arcada Inf T11 col W	ON11.INF.COL.W										
Fábricas	14	2.65				FAB INFERIOR T5	FAB INFERIOR T5	ON5.INF.FAB	157800	352.94	64.18	2.4
						FAB INFERIOR T6	FAB INFERIOR T6	ON6.INF.FAB	168863	378.52	68.27	2
						FAB INFERIOR T10	FAB INFERIOR T10	ON10.INF.FAB	159730	358	68.4	
						FAB_SUPERIOR_T5 a	FAB_SUPERIOR_T5 a	ON5.SUP.FAB.INT	156380	349	63.4	2.7
						FAB_SUPERIOR_T5 b	FAB_SUPERIOR_T5 b	ON5.SUP.FAB.EXT	169520	381.66	69.47	3

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

			FAB_SUPERIOR_T6 a	FAB_SUPERIOR_T6 a	ON6.SUP.FAB.INT	167850	375	72.88	2.4
			FAB_SUPERIOR_T6 b	FAB_SUPERIOR_T6 b	ON6.SUP.FAB.EXT	177570	398	72	2.4
			FAB_SUPERIOR_7a	FAB_SUPERIOR_7a	ON7.SUP.FAB.INT	154510	344.68	62.81	2.5
			FAB_SUPERIOR_7b	FAB_SUPERIOR_7b	ON7.SUP.FAB.EXT	94922	210.34	39.15	2
			FAB_SUPERIOR_T8	FAB_SUPERIOR_T8	ON8.SUP.FAB	75770	110.58	21.37	2.5
			FAB_SUPERIOR_T9 a	FAB_SUPERIOR_T9 a	ON9.SUP.FAB.INT	35126	73.3	14.85	0.1
			FAB_SUPERIOR_T9 b	FAB_SUPERIOR_T9 b	ON9.SUP.FAB.EXT	96144	213.5	39.3	2.7
			FAB_SUPERIOR_T1 0a	FAB_SUPERIOR_T1 0a	ON10.SUP.FAB.INT	224190	498	91.8	3
			FAB_SUPERIOR_T1 0b	FAB_SUPERIOR_T1 0b	ON10.SUP.FAB.EXT	164570	370	67	2.7
Cantidad	113								2.0
RAM (MG)	300	300						3700.37	
tam max	2.65								

Figura 38: Tabla de monitoreo. Elaboración propia.

El proceso de modelado semiautomático fue ejecutado por David Castiñeira Expósito, Diego Bello Iglesias e Ignacio López de Rego Lage.

Una vez analizado el proceso de modelado semiautomático con un nivel de detalle (LOD) muy alto se procede a la introducción de información (LOI). Se comienza por la introducción de la información aplicable a toda la obra (Figura 39). La información se agrupa en: construcción, otros, datos de identidad, general, datos, gráficos, general, materiales y acabados y resultados del análisis.

En **construcción** se agrupan los datos de los agentes intervinientes en la obra: dirección de obra, dirección de ejecución, empresa contratista, jefe de grupo de la empresa, jefe de obra, responsable de arqueología, responsable de fauna, responsable de flora, responsable de restauración, responsable de topografía y agente restaurador. En la figura (Figura 39) se difuminan los nombres por protección de datos.

En **otros** se aportan datos de identidad del proyecto tales como: fecha de emisión del proyecto, estado del proyecto (en ese momento en ejecución), nombre del cliente, dirección de proyecto, nombre de proyecto y número de proyecto (Fase I).

En **datos de identidad** se incorpora el nombre del edificio y el autor.

Toda esta información se ha introducido como líneas de texto.

En **general** se incorporan por medio de parámetros url (archivos vinculados), con referencias relativas, de todos aquellos documentos preceptivos para el comienzo de las obras: resolución de patrimonio (PBE), la licencia de obra, el acta de replanteo, el acta de aprobación del PSS



En cada uno de los elementos se incluye la siguiente información (Figura 40): nube de puntos del elemento, nube de puntos del tramo en el que se localiza, ortofoto de planta y alzado del elemento, así como del tramo contenedor, malla del elemento y del tramo contenedor, análisis de las colonizaciones biológicas y ficha de estado de conservación de elementos escultóricos. Se incorpora además una fotografía del elemento.

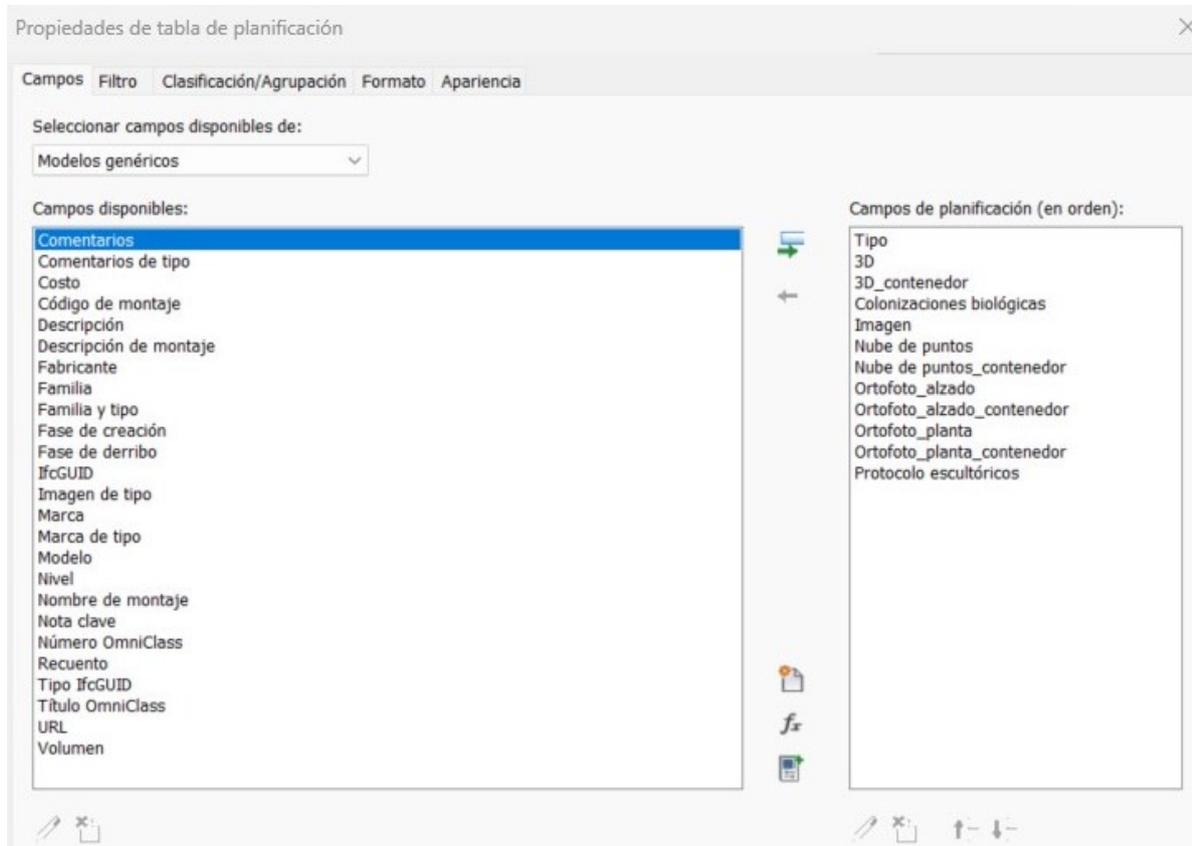


Figura 40: Información incluida en los elementos. Elaboración propia.

Para la inclusión de estos datos se genera el siguiente archivo en .txt con la siguiente composición (Figura 41):

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

*GROUP	ID	NAME						
GROUP	1	Dirección Facultativa						
GROUP	2	Empresa constructora						
GROUP	3	Empresas subcontratadas						
GROUP	4	Informes						
GROUP	5	Ortofotos						
GROUP	6	Papeleo						
GROUP	7	Plan director						
GROUP	8	Datos						
GROUP	9	Materiales y medios						
GROUP	10	Nubes de puntos						
GROUP	11	Pdf 3D						
*PARAM	GUID	NAME	Datatype	Datacategory	Group	Visible	Description	Usermodifiable
PARAM	e347e101-baf9-40df-80be-1d8852d8512c	Nube de puntos contenedor	URL		10	1		1
PARAM	2b75f003-b67f-4c37-a0f2-5d65cd2ff97f	Mortero de cal	TEXT		9	1		1
PARAM	96e85b10-2a5b-4b18-bc20-27b0d58c335d	Fauna	TEXT		3	1		1
PARAM	9420d910-599c-4b30-8afe-03e09d85bbaf	Biocida ficha	URL		9	1		1
PARAM	9fd60311-c387-4f48-91aa-b80104e5b3c4	Estilo	TEXT		8	1		1
PARAM	64818118-e9fc-471b-8e27-04ec77d87297	Ortofoto planta contenedor	URL		5	1		1
PARAM	cfea341d-0518-45e3-87b3-be507fbd728e	Plano vasculares	URL		4	1		1
PARAM	69d1041f-6b1a-4af7-80cf-0f69a23358e2	Empresa	TEXT		2	1		1
PARAM	9445b423-5f86-464e-8072-908491a88b18	Biocida	TEXT		9	1		1
PARAM	b8662e26-9289-4c62-906f-20ed7cfe741a	Nube de puntos	URL		10	1		1
PARAM	d780b32a-76a2-4c11-8e4d-01a16542a952	Hidrolimpiadora	TEXT		9	1		1
PARAM	5015da32-8ef1-4f74-b674-f26e5bfb81cb	3D	URL		11	1		1
PARAM	54cdac33-67bb-4586-8b04-c85ccf07eb5a	Protocolo escultóricos	URL		4	1		1
PARAM	b8f05337-796d-470a-a6bf-efb8d9970f97	Actuaciones históricas	TEXT		8	1		1
PARAM	4a49da39-00e9-449e-a5c5-75764c7e59d3	Colonizaciones biológicas	URL		4	1		1
PARAM	97c5493a-5a6a-4a68-95ca-899eac6c3882	Ortofoto alzado	URL		5	1		1
PARAM	6026a33b-8d9c-464f-be3d-464b37e1b9d3	Protocolo paramentos lisos	URL		4	1		1
PARAM	33ffff3d-c678-499d-b787-1b6a82bc757e	Ortofoto alzado contenedor	URL		5	1		1
PARAM	046f1748-0243-465f-b70b-05ab01637e09	Dirección de obra	TEXT		1	1		1
PARAM	9e90fc4e-c6e0-4ea7-9384-78c8f361eae9	Jefe de grupo	TEXT		2	1		1
PARAM	e4040d56-5db3-40bf-8f27-daf0806d0830	Proceso de limpieza	URL		4	1		1
PARAM	f4b6b457-48e4-4c37-8aaa-1b1f624a879b	Arqueología	TEXT		3	1		1
PARAM	35didd5b-1d04-4e53-a7dd-af07e6f95d21	Flora	TEXT		3	1		1
PARAM	6c50225c-22f0-4d1c-9c2e-f7cd8ea2353d	Proyecto arqueológico	URL		4	1		1
PARAM	4a6e425f-7764-4bed-ac13-5898c3671495	Restauración	TEXT		3	1		1
PARAM	30b9d868-46de-4a75-b64a-d6e3ec422f1b	Mortero de cal ficha	URL		9	1		1
PARAM	f9d78b6f-4873-4dfd-a9d5-3d53f6d094d4	Licencia de obra	URL		6	1		1
PARAM	fb998877-48ee-42c0-98cd-e22b7cc6cd66	Plano algas cianobacterias	URL		4	1		1
PARAM	9f6f3a7c-1808-4032-9198-cb0417042a6d	Herbicida	TEXT		9	1		1
PARAM	9739e67e-c491-4f1b-b61c-44d5e2cebe21	Hidrolimpiadora ficha	URL		9	1		1
PARAM	b80e2b80-486d-4c2e-885a-f207ae10aac2	Nomenclatura biologicas	URL		7	1		1
PARAM	db51ac85-cfc0-4dc8-82b8-e9c1cc1e38f9	Acta aprobación PSS	URL		6	1		1
PARAM	f3c3e28d-135f-4a5d-ae59-64bb4093058a	Plano líquenes	URL		4	1		1
PARAM	3585d690-57f6-4b05-a2e7-0b81fb31bf43	3D contenedor	URL		11	1		1
PARAM	e888889f-cec6-489a-b0e7-22d2f44bd3c	Red topográfica	URL		7	1		1
PARAM	4077a2a3-e5ec-45f3-be60-b3e2bb5dc226	Acta de replanteo	URL		6	1		1
PARAM	34b53ac3-8f63-40b6-808b-3c19b0209507	Plano alteraciones	URL		4	1		1
PARAM	0faa54cc-6472-45e6-a21e-5b6a5f088332	Material	TEXT		8	1		1
PARAM	de79d8cc-bc36-47a0-aa60-3fdbf6c6c41	Resolución patrimonio (PBE)	URL		6	1		1
PARAM	f73fe6d4-ed31-4ace-bdfe-043d05acb01d	Plano topográfico	URL		7	1		1
PARAM	46812cdc-a803-41e4-acbd-4aca830f684e	Jefe de obra	TEXT		2	1		1
PARAM	843c8ae5-11d0-48b4-a3b0-9aad1ed7c1f1	Ortofoto planta	URL		5	1		1
PARAM	97d4eeeb-cf00-489f-ada8-672fac337a8f	Nomenclatura	URL		7	1		1
PARAM	232fe8f0-192a-4e95-a2ad-f467b9be0bae	Herbicida ficha	URL		9	1		1
PARAM	86bce3f2-e437-4cea-bd9d-78c7d5532fd9	Dirección ejecución de obra	TEXT		1	1		1
PARAM	455fd5f3-9112-4750-94aa-61b7ca5bf9c	Restauradora	TEXT		3	1		1

Figura 41: Archivo de parámetros compartidos. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Al componerse el archivo definitivo de archivos vinculados, los parámetros se pueden vincular a la capa de los elementos, o por ligarlos a los archivos vinculados. Los elementos han sido incorporados todos en la capa de modelo genérico. La principal diferencia entre asignar los parámetros a los archivos de Revit vinculados (Figura 42) o los elementos en sí es la accesibilidad. En el primer caso, los parámetros URL funcionarían como vínculos desde el propio archivo madre. Así, si clicamos en un parámetro se abre directamente el archivo en cuestión. Sin embargo, si los insertamos en los elementos ocurren dos diferencias principales: la selección del elemento se complejiza pues, mientras que con los archivos vinculado se selecciona pasando el ratón por encima, en familias pertenecientes a archivos vinculados hay que colocar el cursor sobre la familia y presionar el tabulador hasta que se indique el elemento; al seleccionarlo los parámetros aparecen sombreados en gris (Figura 43) y no se puede interactuar con ellos (no se abren directamente los archivos por medio de la URL). En el caso habría que seguir la ruta indicada en el parámetro o abrir el archivo propio del elemento.

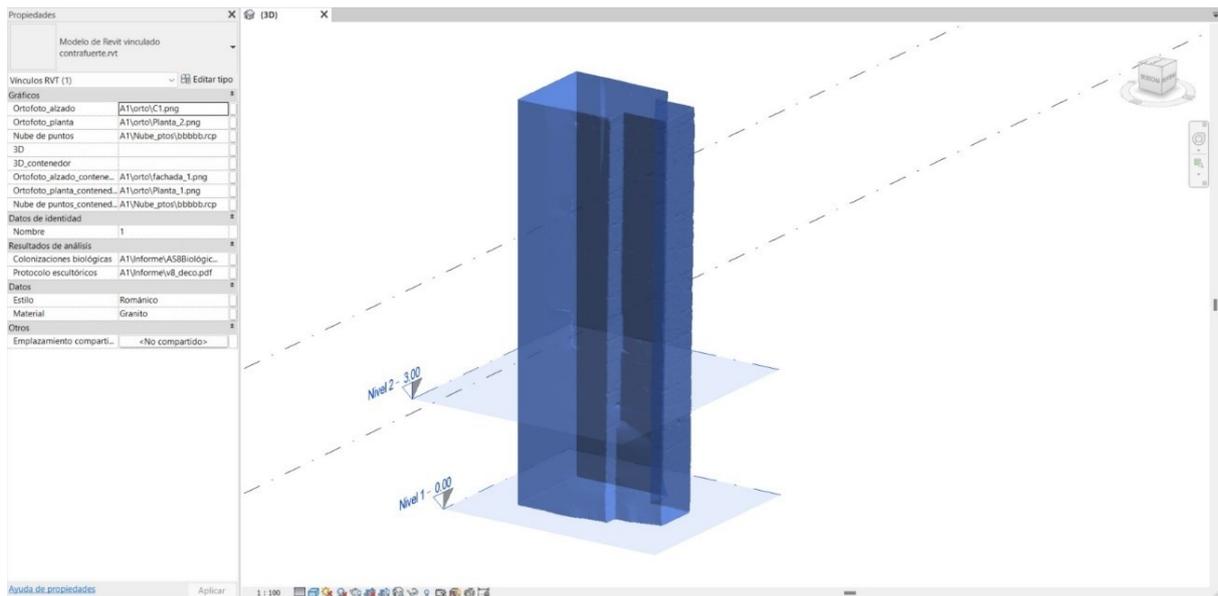


Figura 42: Parámetros incluidos en vínculos de Revit. Elaboración propia.

### 3. ESTADO PREVIO DE LA CUESTION

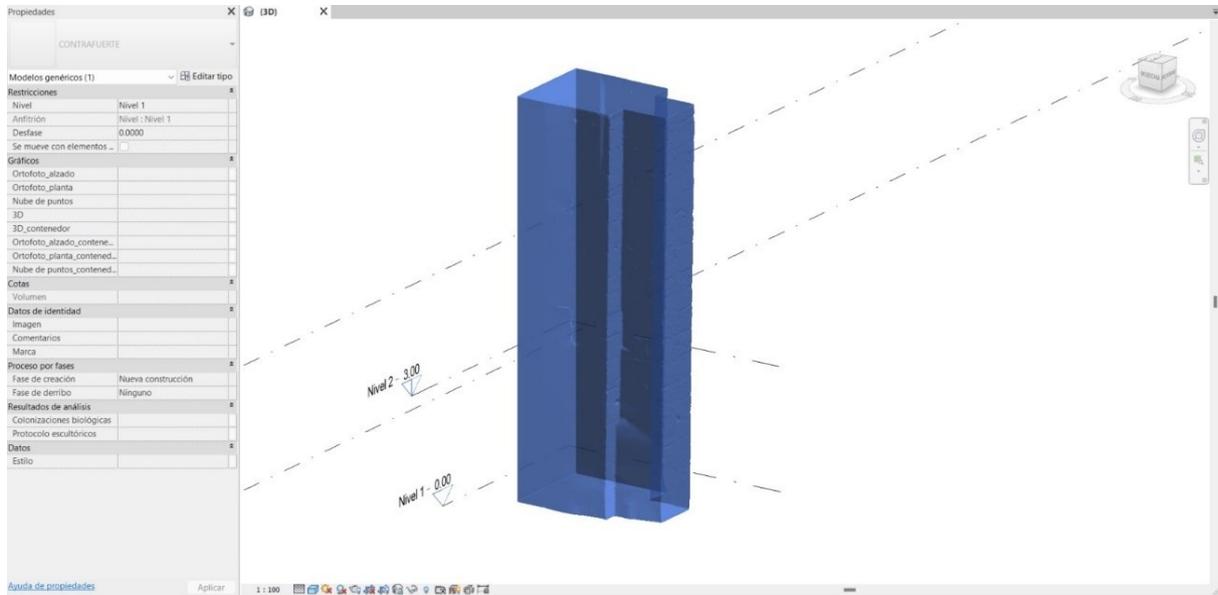


Figura 43: Parámetros incluidos en modelos genéricos. Elaboración propia.

#### 3.2.3 Conclusiones.

Durante el proceso se constataron las siguientes incidencias:

- Necesidad de una malla ambas caras del elemento.
- Las plantas superiores generan deformaciones en el modelo y huecos que han de ser rellenados.
- Complejidad del proceso por el uso de diversos softwares.
- Utilización de un software de impresión 3D (Meshmixer) no diseñado para este proceso.
- Procesado lento.
- Generación de aristas blandas, en las intersecciones de los planos generados por el usuario para impresión 3D.

- Modelo obtenido de gran complejidad y poca viabilidad de gestión por medio de ordenadores “normales”.
- Introducción de una geometría ajena al software en BIM.
- Necesidad de búsqueda de un sistema de introducción de elementos en su localización definitiva de manera automatizada.
- Una vez integrado en el BIM, no se permite aplicar pinturas a las superficies para su cómputo en proyecto.

## **4. Proceso**

Se procede a investigar un sistema de generación de sólidos para implementación en BIM que reduzca la complejidad del proceso y que limite el software a utilizar lo máximo posible.

### **4.1 Softwares a utilizar:**

#### **4.1.1 Recap**

Este software de Autodesk para procesado de nubes de puntos se utiliza para la segmentación de nubes de puntos.

#### **4.1.2 Metasahape**

Este software de Agisoft se ha utilizado para el procesado de fotogrametría, simplificación de mallas y generación de texturas. Se ha utilizado la versión 1.8.5.

#### **4.1.3 3DsMax**

Este software de Autodesk se ha utilizado para la conversión de mallas en Subdivision Surfaces y generación de sólidos. Se ha utilizado 3ds Max 2023.

#### **4.1.4 Revit**

Este software de Autodesk se ha utilizado para la conversión de mallas en Subdivision Surfaces y generación de sólidos. En este caso se ha utilizado la versión 2022.

#### **4.1.5 Dynamo**

Este software de Autodesk de programación visual que se utiliza para la generación de geometrías propias del software BIM. Se ha utilizado la versión 2.12.0.5740.

### **4.2 Punto de partida**

Se trabajo con tres levantamientos distintos.

### 4.2.1 Nube de puntos

Se parte de una nube de puntos densa (Figura 44) del Pazo do Espiño en Santiago realizado por la empresa GEOBIM en el año 2021. Esta nube pose 309958481 puntos. Se aporta nube de puntos en formato .las y se convierte a .rcp para su gestión con programas de Autodesk.

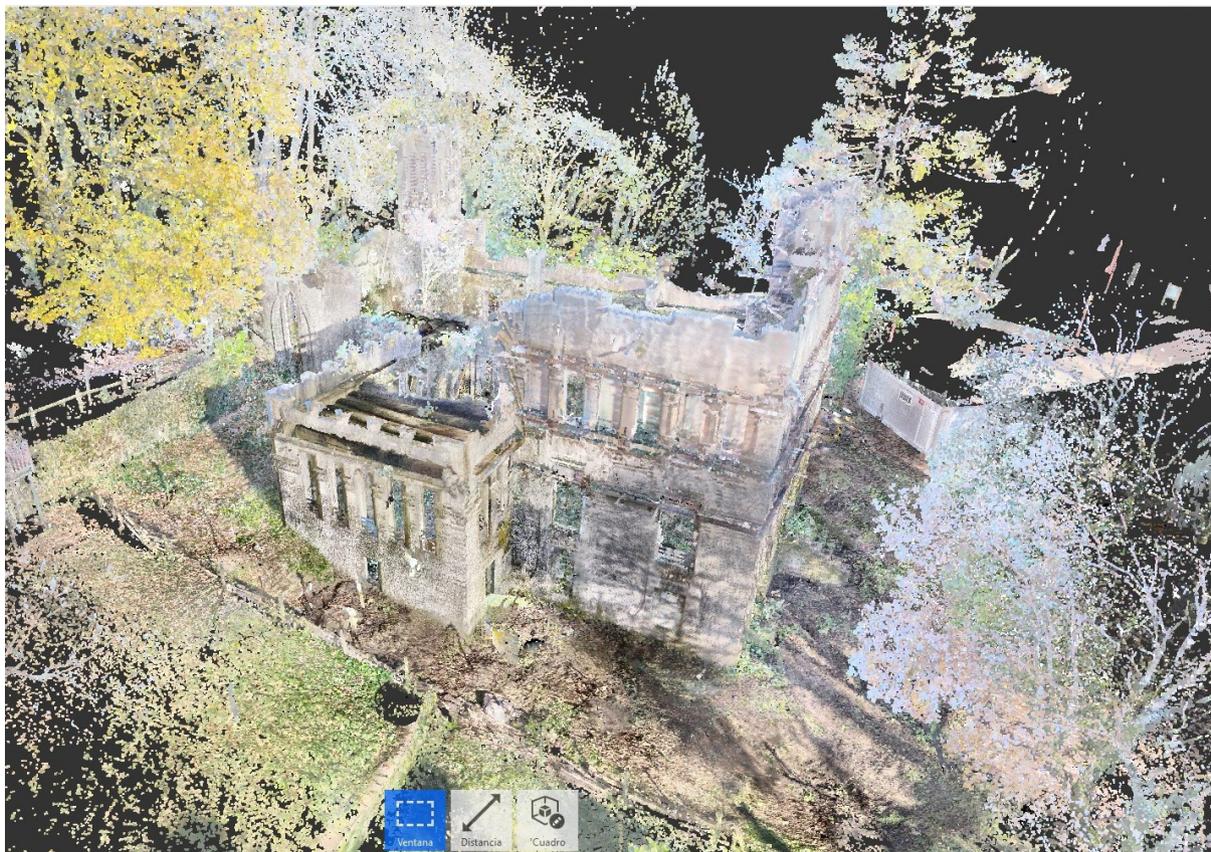


Figura 44: Nube de puntos densa del Pazo do Espiño. Elaborado por GEOBIM.

El Pazo do Espiño (Figura 45) es un pazo modernista diseñado por el arquitecto Jesús López de Rego y Labarta por encargo de Ramón de la Peña Quiroga.

## 4. PROCESO



Figura 45: Pazo do Espiño. Elaboración propia (2022)

### 4.2.2 Malla existente

Fotogrametría de elaboración propia, en el año 2021, para un trabajo del máster CPA (Conservación del Patrimonio Arquitectónico) para valoración de construcciones históricas. Se ejecutó con el programa Metashape 1.2.7.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Se obtiene un modelo que no es capaz de ligar el interior y el exterior. Es por ello que se decide realizar un modelo del interior con 521 fotografías. Se obtiene una nube de puntos densa de 29326644 puntos y una malla de 1955109 caras (Figura 46) (calidad media).

El monumento levantado es una capilla románica situada en Padrón (A Coruña).

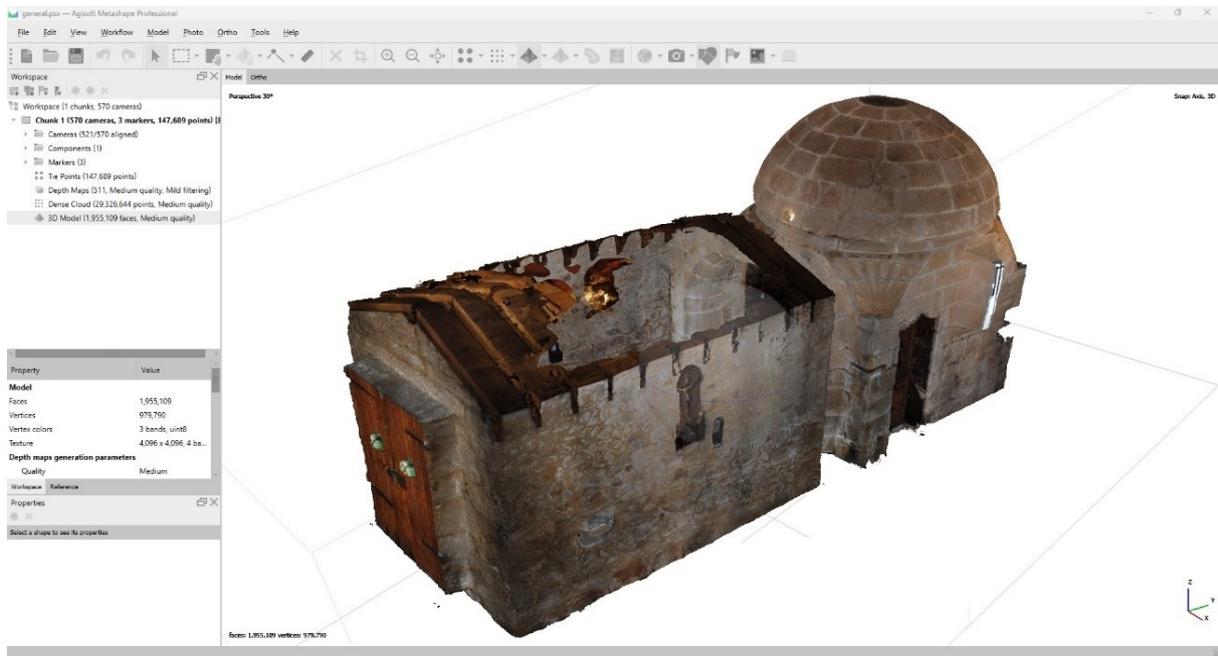


Figura 46: Malla de la Capilla de la Santa Cruz. Elaboración propia.

### 4.2.3 Fotogrametría SFM

Se plantea el reprocesado de la fotogrametría en base a las 1005 fotos (del interior y exterior) realizada en 2021. En este caso se realiza con la versión 1.8.5 de Metashape.

Las fotografías se realizan en todo el perímetro, interior y exterior, de la edificación, en perpendicular a los paramentos y a diversas alturas. Se introducen las fotografías en el software y se procede a su orientación (Figura 47). En este orientado se genera una nube de

#### 4. PROCESO

puntos base de 789018 puntos. Se observa que, con la actualización del software, se ligan perfectamente el interior y el exterior.

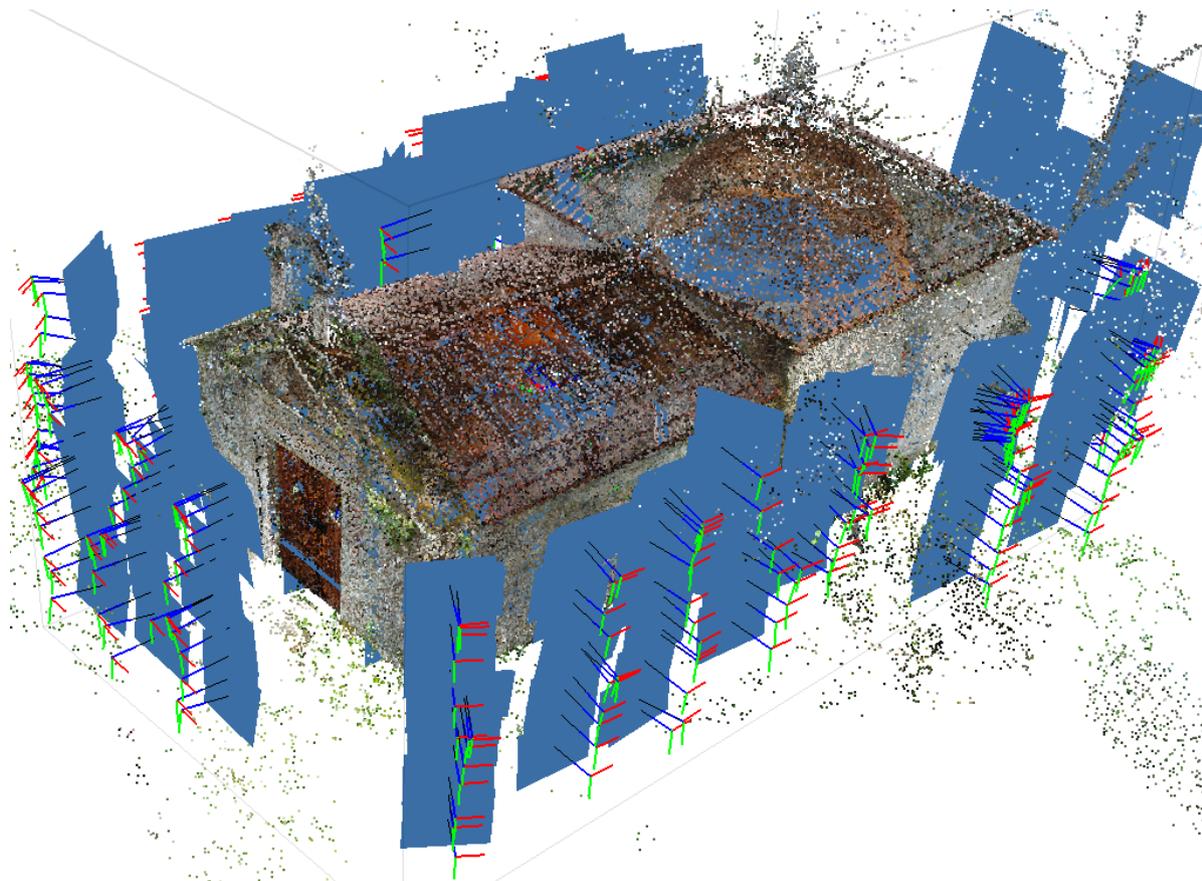


Figura 47: Orientación fotografías. Elaboración propia.

Se procesa la nube de puntos densa del complejo en calidad media y se obtiene una nube de 58703790 puntos (Figura 48) que incluye, además de la capilla, el entorno cercano y árboles existentes.



Figura 48: Nube de puntos densa. Elaboración propia.

El paso siguiente es el análisis de la confianza de los puntos (Figura 49). Este paso se realiza simultáneamente a la nube de puntos densa. Para ello vamos a `Workflow>Build Dense Cloud>Advanced` y marcamos la casilla “Calculate point confidence”.

Con ello se obtiene un análisis de la precisión de los puntos en función de la cantidad de planos de profundidad en los que aparecen. Este varía entre 0-255 y se representa por medio de una escala de 1-100 en la que 1 representa el 0 y 100 el 255. Los valores inferiores representan menor confianza. En este caso se observa que los puntos de menor confianza (Figura 50) son: los del terreno perimetral y los de cubierta. Los del terreno son debidos a no ser objeto de la fotogrametría, por lo que se tomaron un menor número de fotografías, mientras que los de cubierta son debidos a la dificultad de toma de fotos. La altura del elemento dificulta la toma fotográfica sin el uso de medios auxiliares (escaleras, andamios, etc.) o drones, pero sin duda el elemento diferencial es la existencia de espesa vegetación en su contorno.

#### 4. PROCESO

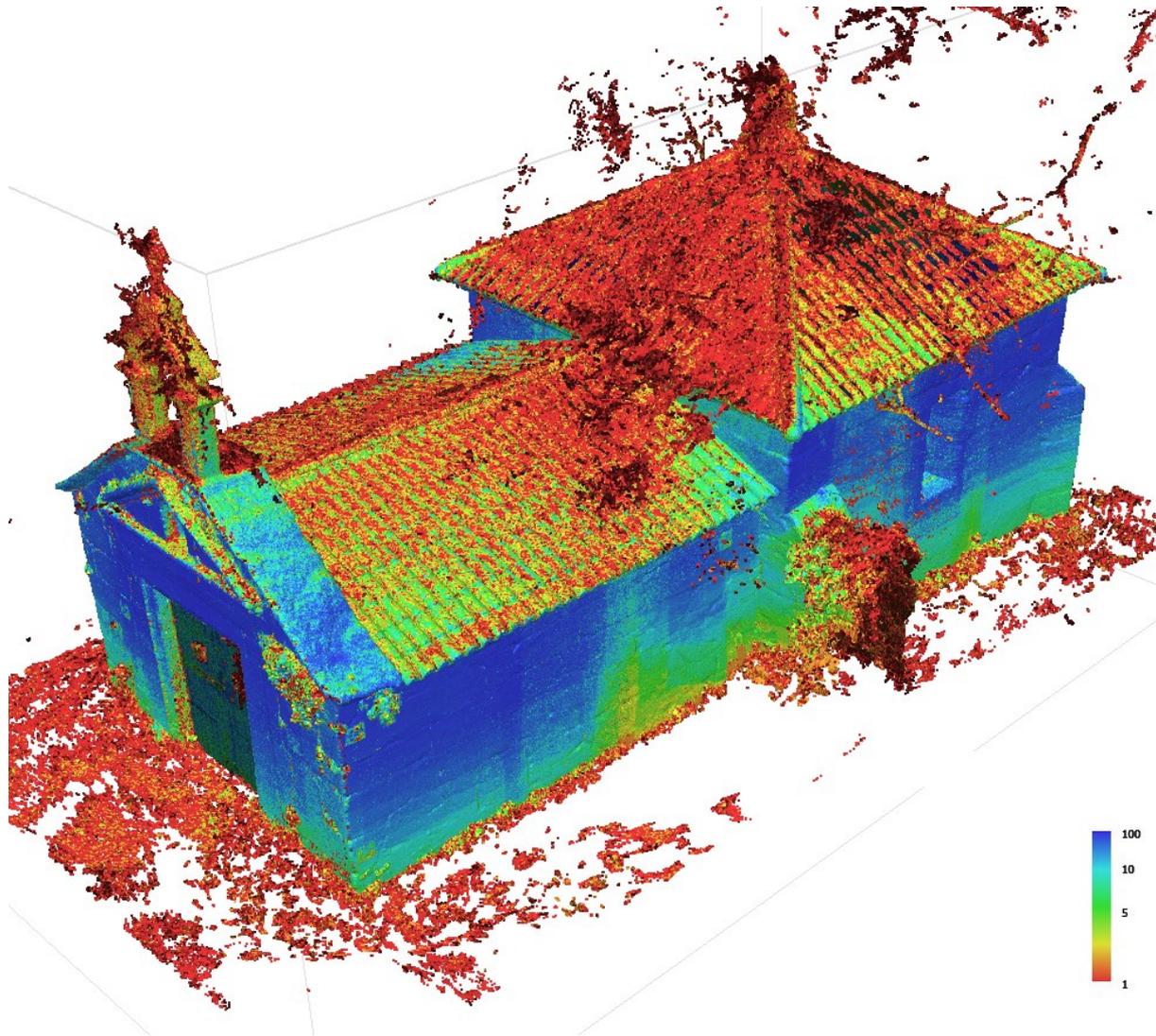


Figura 49: Análisis de la confianza de los puntos. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

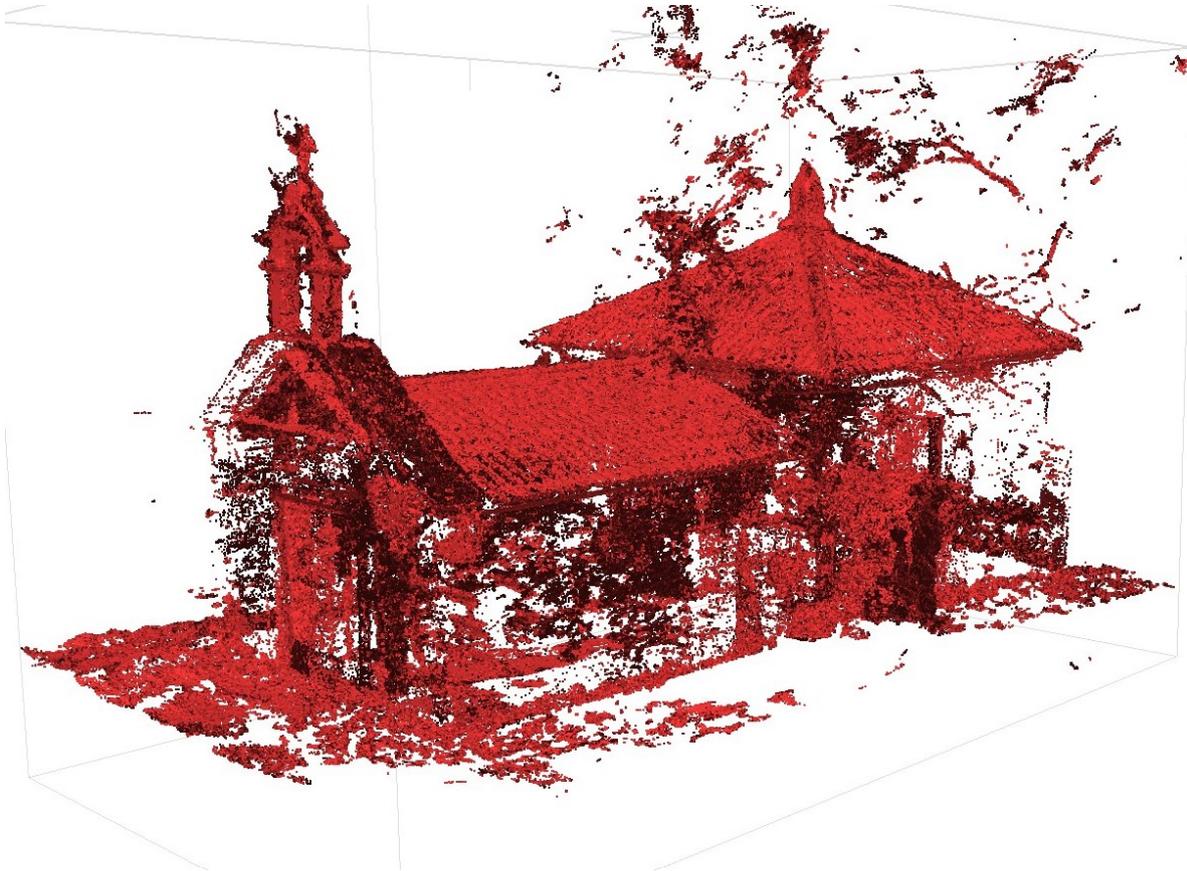


Figura 50: Puntos de confianza 1. Elaboración propia

Se eliminan puntos del entorno no cercano y se opta por eliminar los puntos con confianza 1 Y 2 (Figura 51), puesto que, si se eliminarán los puntos de confianza 3 (Figura 52), la definición geométrica de la cubierta sería casi imposible. Se busco un punto medio entre definición geométrica y precisión.

Para eliminar los puntos se va a: Tools>Dense cloud>Filter by confidence. Se escogerían los rangos a eliminar, teniendo en cuenta que el 0 equivale al 1, y con la herramienta de selección los suprimimos.

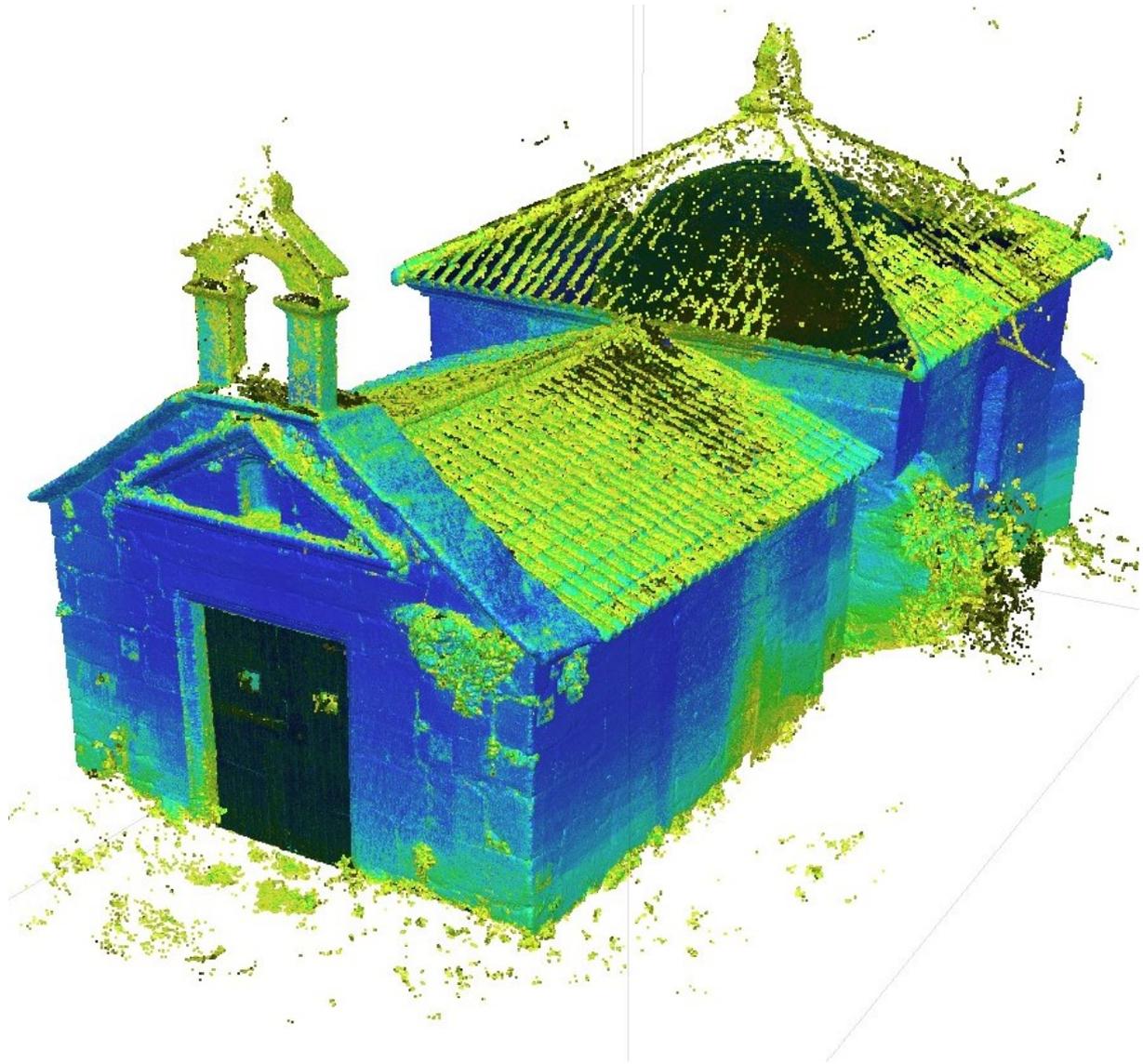


Figura 51: Nube de puntos sin clases 1 y 2. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

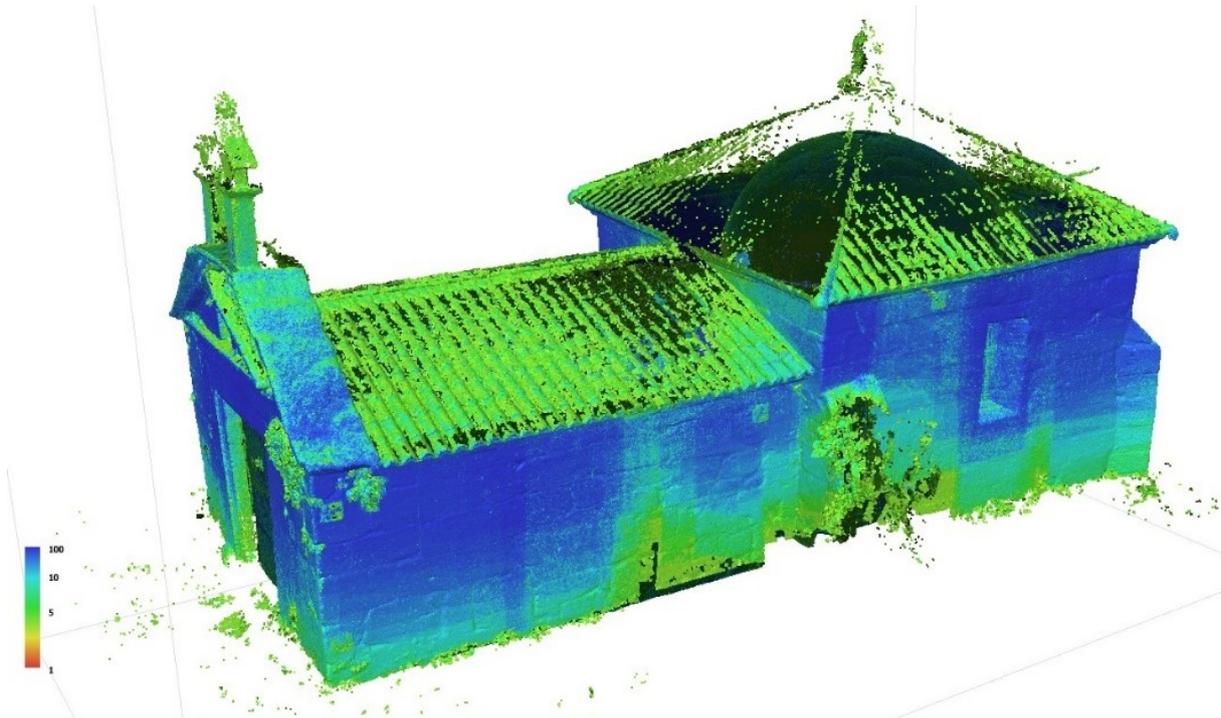


Figura 52: Nube de puntos densa sin confianza 1-3. Elaboración propia.

Se suprimen el 37.58% de los puntos con respecto a la nube original y el 33.31% con respecto a la nube retirándole el entorno lejano (Figura 53). En el caso de eliminar los puntos de confianza 3 se eliminarían cerca del 45% de los puntos de la nube original.

Tipo eliminados	puntos	Cantidad de puntos eliminados	Porcentaje respecto al total	Porcentaje respecto al entorno	Puntos en nube densa
Ninguno		0	100%	106.83%	58703790
Entorno		3753103	6.39%	100%	54950687
Confianza 1		11846705	20.18%	21.56%	43103982
Confianza 2		6458935	11.00%	11.75%	36645047
Confianza 3		4147896	7.07%	7.55%	32497151
<b>Porcentajes eliminado</b>			<b>44.64%</b>	<b>40.86%</b>	
<b>Porcentaje sin confianza 3</b>			<b>37.58%</b>	<b>33.31%</b>	

Figura 53: Análisis nubes de puntos. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

Se clasifican los puntos (Figura 54) para comprobar su utilidad. Para ello se va a Tools> Dense Cloud> Classify Points. La intención es comprobar si se puede afinar los elementos a eliminar, tales como árboles, para depurar aún más la nube. Se observa que, atendiendo a la leyenda (Figura 55), la categorización obtenida no se ajusta a la realidad (Figura 56). Muchas partes de la edificación se describen como vegetación o terreno, dificultando el proceso de depuración de la malla.

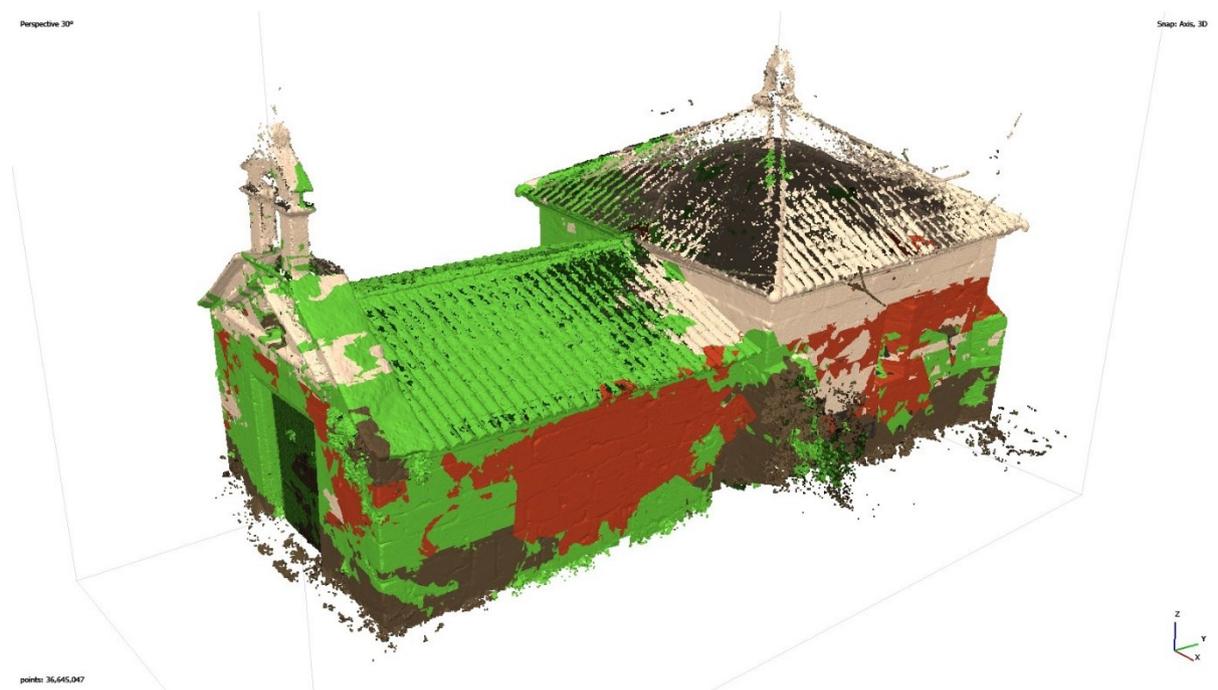


Figura 54: Clasificación de puntos. Elaboración propia.

created	high vegetation	rail	transmission tower	man - made object
unclassified	building	road surface	wire connector	
ground	low point	overlap points	bridge deck	
low vegetation	model key poir	wire guard	high noise	
medium vegetation	water	wire conductor	car	

Figura 55: Leyenda clasificación de puntos. (*Point Cloud Classification : Helpdesk Portal, s. f.*)

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Clasificación	Cantidad de puntos	Porcentaje de puntos	Puntos sin esta clase
Ground	3457081	9.43%	33187966
High Vegetation	21436528	58.50%	15208519
Building	3905342	10.66%	32739705
Road Surface	1293387	3.53%	35351660
Car	342	0.00%	36644705
Man-made Object	6552367	17.88%	30092680
Total	36645047	100%	

Figura 56: Clasificación de los puntos de la nube. Elaboración propia.

A continuación, se procesa la malla derivada de la nube de puntos. Para ello vamos a Workflow>Build Mesh. Es importante, para obtener una buena malla hay que indicar en “source data: Depth maps” y en “Advanced> Interpolation: Extrapolated”. El primero (Agisoft Metashape, 2022, p. 40) permite generar un modelo utilizando toda la información de las imágenes con menor consumo de recursos y el segundo permite generar modelos sin huecos (Agisoft Metashape, 2022, p. 41).

Se obtiene una malla (Figura 57), en calidad media, de 896985 caras.

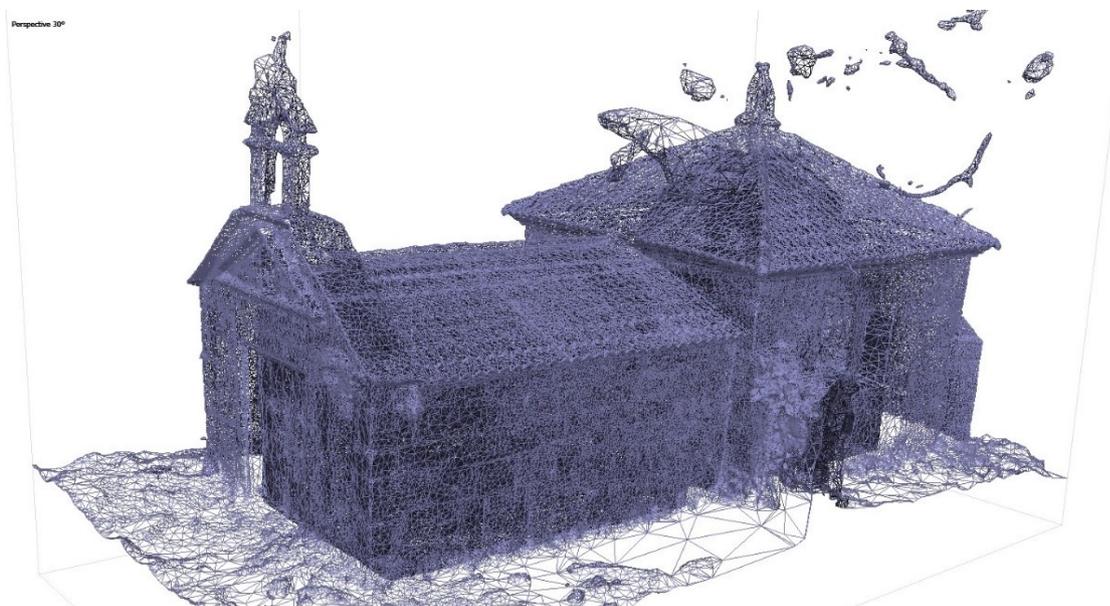


Figura 57: Malla. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

Se observa la existencia objetos independientes de la edificación tales como cielo, ramas, etc. Se procede por lo tanto a suprimirlos. Para ello vamos a Model>Gradual Selection y el "Criterion" escogemos "Connected component size" e incrementamos el nivel hasta seleccionar todos los elementos a eliminar (Figura 58) y los suprimimos (Figura 59). Se obtiene una malla de 860447 caras, siendo los elementos extraños un 4.07% (Figura 60) de la malla original.

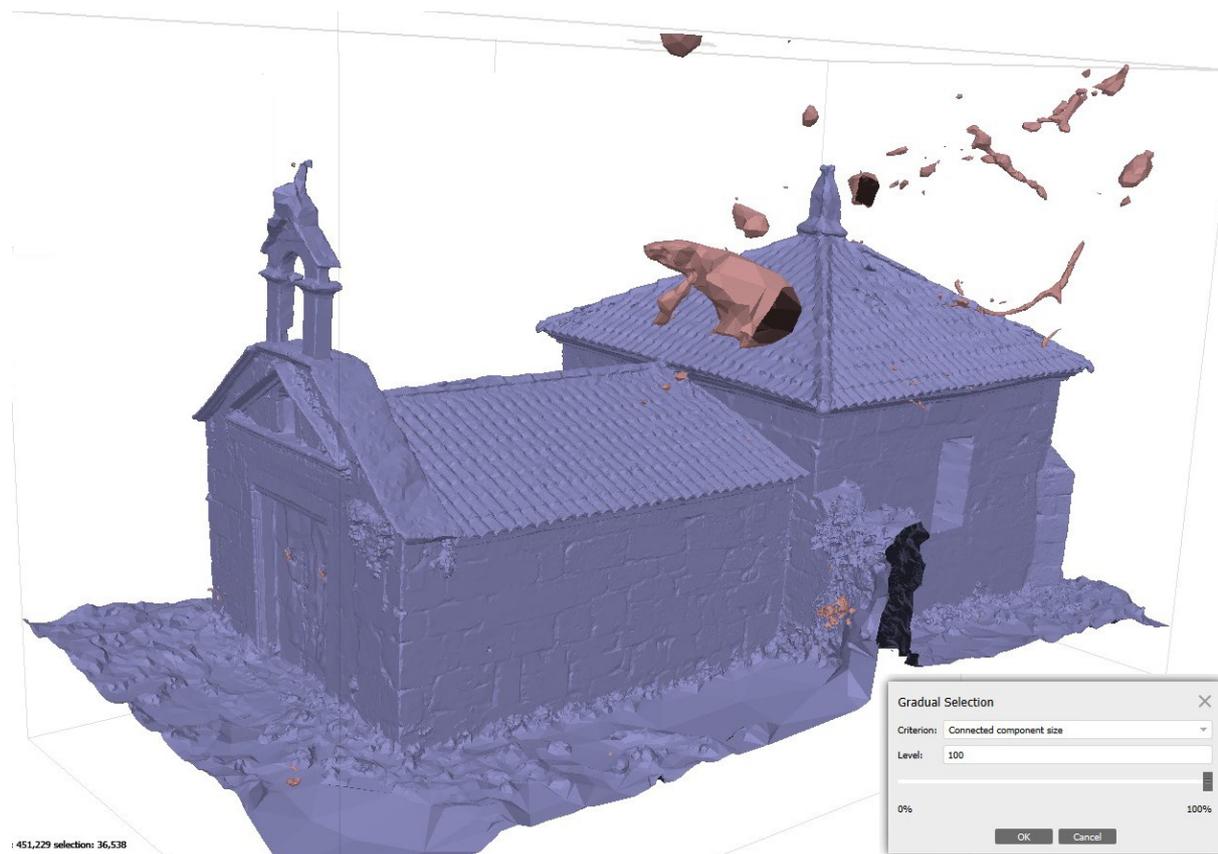


Figura 58: Selección de elementos ajenos. Elaboración propia.

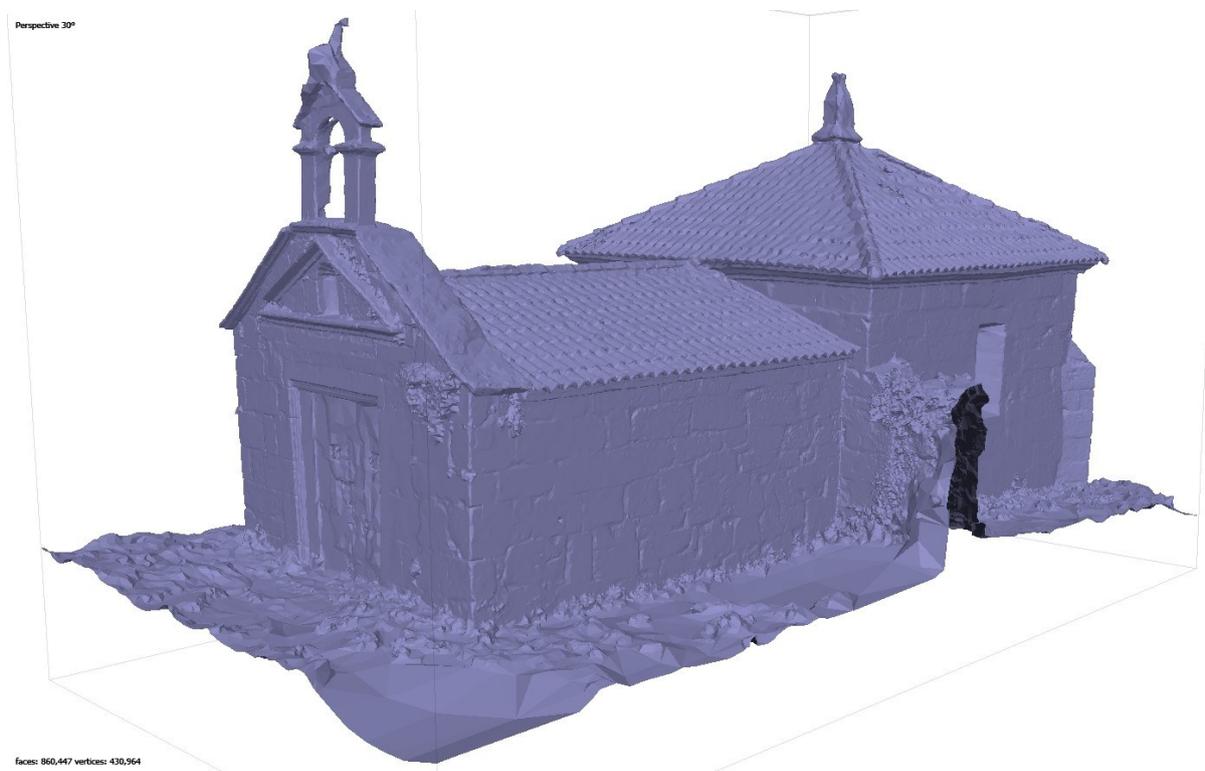


Figura 59: Malla sin elementos ajenos. Elaboración propia.

Malla	Número caras	Porcentaje final
Original	896985	100%
Sin elementos extraños	860447	95.93%

Figura 60: Reducción de la malla por supresión de elementos extraños. Elaboración propia.

Este proceso de supresión de elementos ajenos a la malla del monumento se puede realizar también en 3DS Max. El proceso es el siguiente:

- Selección de la malla.
- File>Export>Export Selected. Exportamos el archivo a obj.

#### 4. PROCESO

Importamos el archivo obj en 3DS Max, como malla única (single mesh) y comprobando que no se genera un volteo en los ejes ZY. Una vez importando vamos al menú “Modify” y en selection escogemos “element”. Acto seguido seleccionamos la malla que nos interesa (Figura 61) y vamos a File> Export>Export Selected. Guardamos el archivo como obj, fijándonos en no seleccionar la opción de voltear los ejes YZ. Dicho modelo se volvería a integrar en metashape (Archivo> Importar> Modelo).

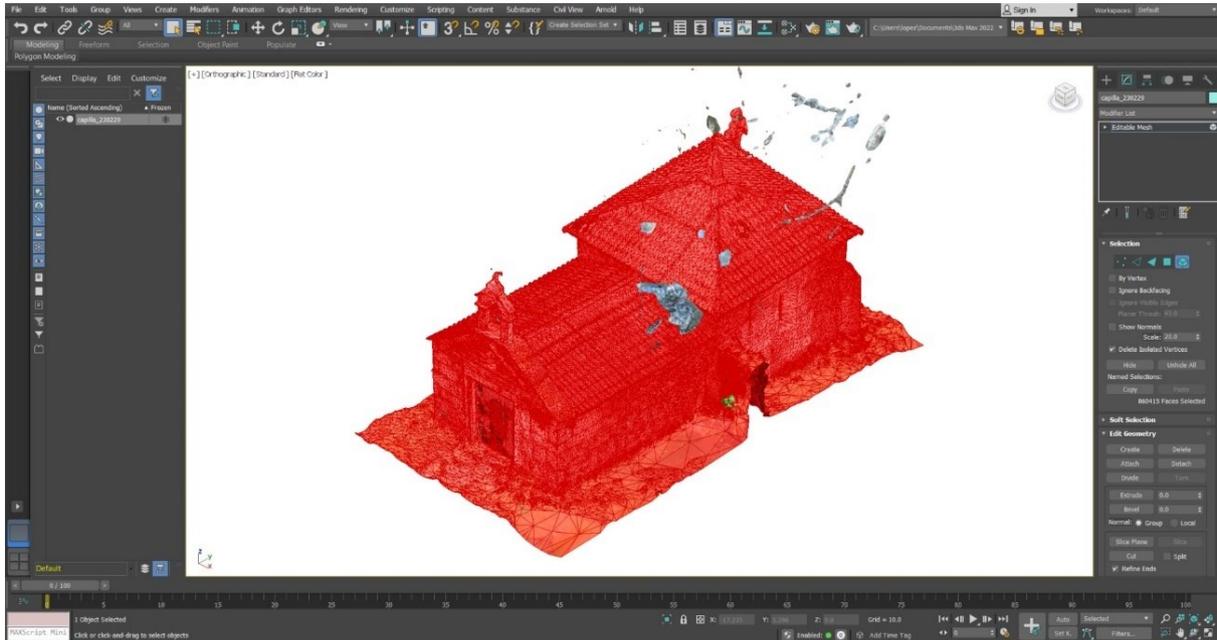


Figura 61: Separación malla 3DS Max. Elaboración propia.

Finalmente se realiza un análisis comparativo de las mallas obtenidas (Figura 62). El análisis comparativo se basa en:

Total faces: Cantidad de caras que posee

Total vertices: Cantidad de vértices que posee

Out of range indices:

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Free vertices: “Vértice interior que precisa ser recolocada para incrementar la calidad del elemento” (Kim et al., 2020, p. 2)

Similar vertices: vértices similares.

Duplicate faces: Superficies duplicadas.

Zero faces: Superficies de dimensiones muy reducidas no aceptables para impresión 3D (Baily, s. f.).

Degenerated faces: Superficies con dos vértices idénticos por lo que no poseen área ni normal (Autodesk, 2022).

Open edges: Aristas abiertas.

Multiple edges: Múltiples aristas.

Flipped normals: Normales volteadas.

Connected componentes: Número de elementos que la componen

Las mallas obtenidas no poseen: *out o frange indices*, *free vertices*, *duplicate faces*, *zero faces* ni *flipped normals*. Se observa una supresión de todas las superficies degeneradas y una reducción del número de componentes de un 99,89% (de 900 a 1). La cantidad de caras y de vértices eliminadas ronda el 4 y el 4,5% respectivamente. Se observa una reducción substancial de vértices similares. En el caso de las *degenerated faces*, se eliminan en el momento de aislar la malla del monumento. En este modelo no se aprecia una mejora cualitativa con la aplicación de *fixed topology*, simplemente se reducen el número de vértices y caras en una proporción inferior al 0,02%.

Se analiza qué proceso es mejor para el aislamiento de la malla del edificio: por medio de metashape o 3DSMax. En ambos casos se obtiene una superficie triangulada con una cantidad de vértices y caras similar. Las principales diferencias son:

-En 3DsMax se genera una *zero face*, no se suprimen todas las *degenerated faces* y se obtienen una mayor cantidad de *open edges*.

-En metashape se obtiene una mayor cantidad de *multiple edges*.

Se concluye que, debido a la obtención de una malla con menores errores y a la simplicidad del proceso, es mejor el aislamiento por medio del software metashape. Además, se reduce la cantidad de software a emplear (simplificación del proceso), eliminando posibles errores derivados de la continua conversión de archivos.

#### 4. PROCESO

	Original	Metashape	%	3DSMax	%	Fixed Topology	%
Total faces	896985	860447	95.93	860362	95.92	860370	99.99
Total vertices	451229	430964	95.51	430911	95.50	430946	100.00
Out of range indices	0	0				0	
Free vertices	0	0				0	
Similar vertices	133	43	32.33	42	31.58	43	100.00
Duplicate faces	0	0		0		0	
Zero faces	0	0		1		0	
Degenerated faces	6	0		1	16.67	0	
Open edges	2709	2227	82.21	2364	87.26	2306	103.55
Multiple edges	45	40	88.89	3	6.67	0	
Flipped normals	0	0				0	
Connected components	900	1	0.11	1	0.11	3	300.00

Figura 62: Comparativa mallas. Elaboración propia.

Se elabora la textura (Figura 63) de la malla en pos de obtener fotorrealismo que nos permita un mejor análisis de la edificación y la diferenciación de los elementos que componen la construcción para su posterior división en el modelo. Para su generación iremos a Workflow>Build Texture y en Advanced aplicaremos la opción de “Enable hole filling”.



Figura 63: Malla texturizada. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Finalmente se realizará un escalado del modelo en base a las medidas tomadas en campo. En este caso se optó por localizar dianas en diversos puntos de la edificación para ayudar con la orientación de las fotos. Se decide tomar medias de la triangulación localizada en el exterior del paramento sur (Figura 64).

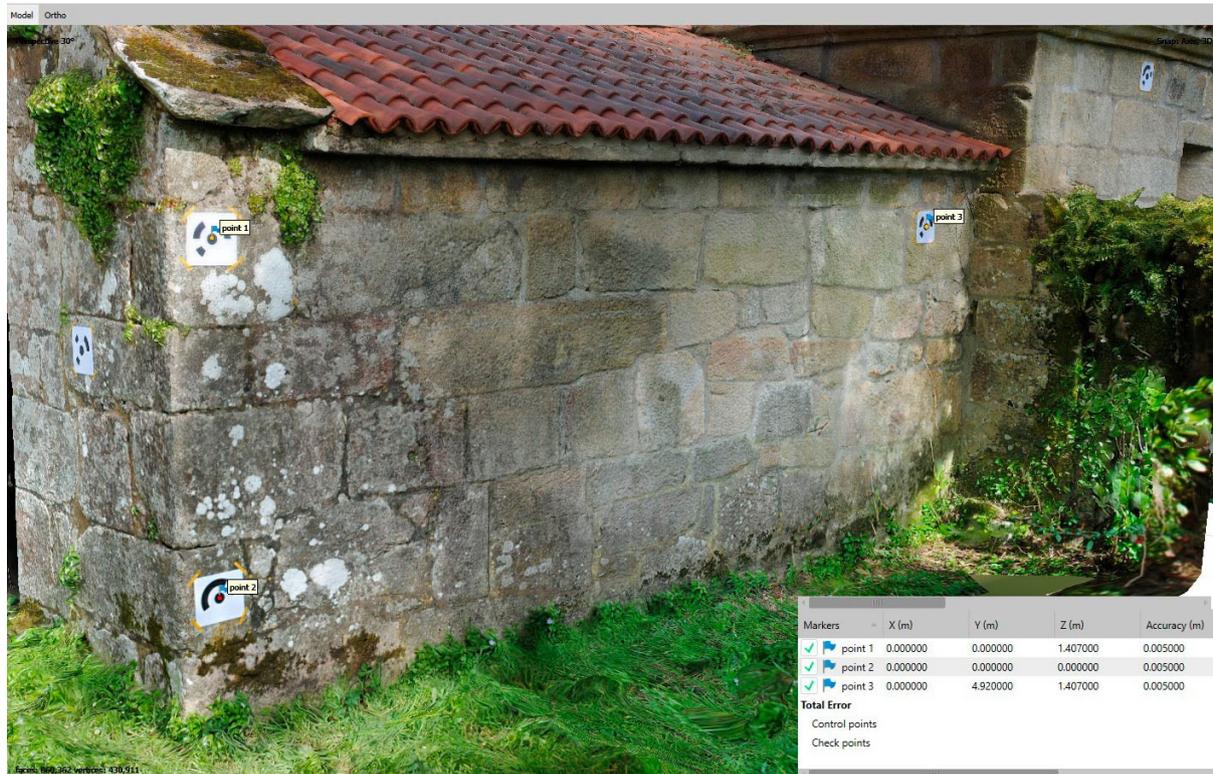


Figura 64: Dianas para escalado del modelo. Elaboración propia.

### 4.3 Dynamo: Programación en Revit

Dynamo es una herramienta de programación visual integrada en Revit. Se trata de un software abierto programable en lenguaje python que permite la inclusión de paquetes programados por otras personas. Se instalan y utilizan los siguientes paquetes (Figura 65).

#### 4. PROCESO

Paquete	Versión	Autor
BlackBox	2016.8.5	Anderj24
Clockwork for Dynamo	2.4.0	andydandy
DynaMaps	2019.2.21	mostafa.elayoubi.ds
DynamoIronPython2.7	1.0.0	DynamoTeam
Landform	2021.1.25	Laurenkschmidt Prix LaurenS
MeshToolKit	3.0.0	DynamoTeam
Modelical	2022.5.12	FrantxoMOD
Orchid	212.1.0.8171	erfajo
Sastrugi	2.0.1	ewano
Solid Convex Hull	0.0.5	nate.peters@autodesk.com
Spring nodes	210.1.1	dimitar.ven
SteamNodes	1.2.4	julien_benoit
Zhukoven.com	2021.2.27	@zhukoven

Figura 65: Paquetes instalados en Dynamo. Elaboración propia.

Este software se utiliza en el procesado de: nube de puntos y malla.

#### 4.3.1 Nube de puntos de Escáner láser

Se procede a reducir el número de puntos de la nube, en ReCaP. Para ello se utilizan tanto las de selección poligonal como la rectangular. Es por ello que primero se eliminan todos los puntos del entorno que no pertenezcan a la edificación. Como el fin último es la búsqueda del sistema se continuó simplificando la nube: primero nos quedamos con la capilla y finalmente se decidió reducirla hasta una de las pilastras de la arcada de acceso a la capilla. Esta reducción del ámbito (Figura 67) hace que trabajemos con una nube de 651637 puntos (Figura 66).

Nube de puntos	Número de puntos	Porcentaje
Original	309958481	100%
Pazo	212965115	68.71%
Capilla	37933637	12.24%
Portada	13275777	4.28%
Pilastra	651637	0.21%

Figura 66: Análisis reducción del ámbito de la nube de puntos. Elaboración propia.



Figura 67: Reducción ámbito nube de puntos. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

La decisión de trabajar esta nube de puntos en ReCaP viene determinada por el hecho que se insertan en Revit en .rcp o .rcs, ambos formatos nativos de ReCaP. Se toma esta decisión para reducir los softwares a utilizar.

Se inserta la nube de puntos en Revit (Figura 68), para ellos vamos a insertar> nube de puntos. Se recomienda insertarla en el 0,0,0 y trabajar con coordenadas compartidas, puesto que trabajar lejos del 0,0,0 dificulta el correcto funcionamiento del software (Autodesk, 2020).

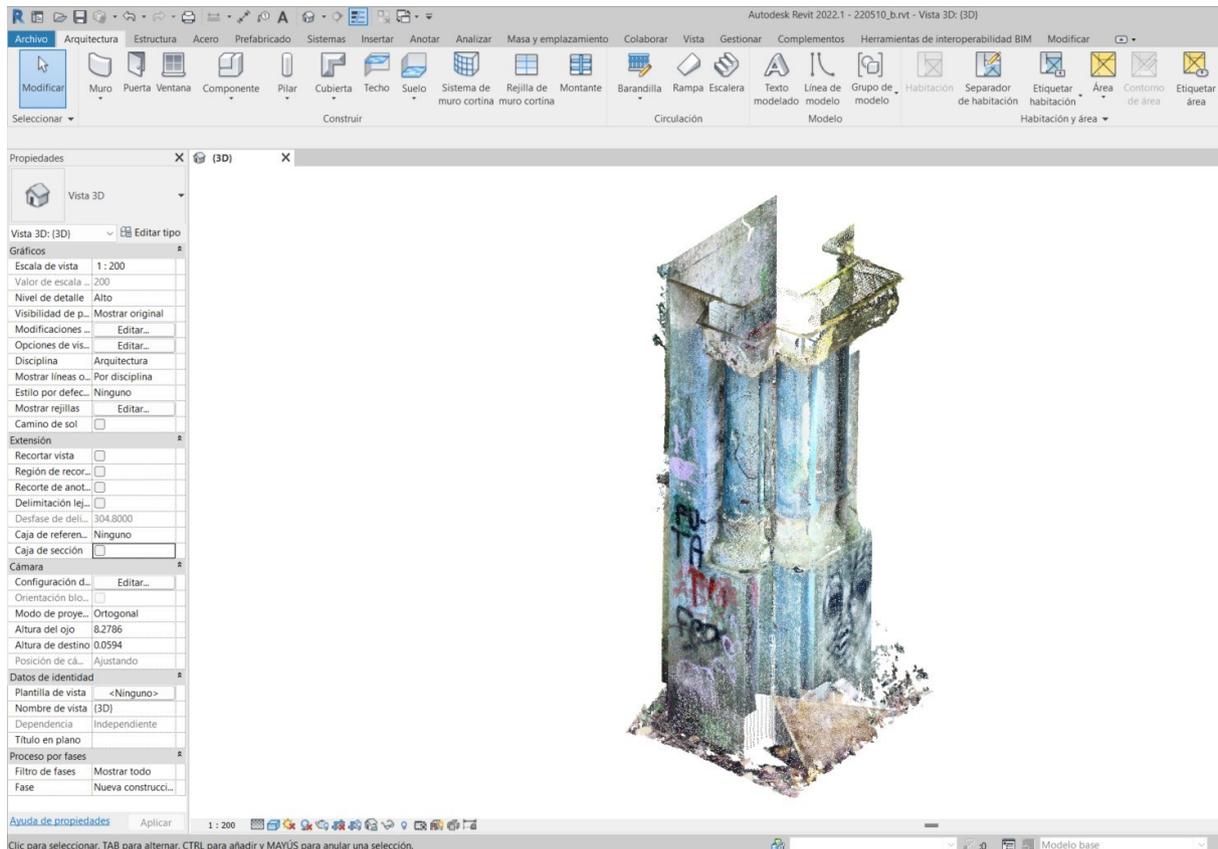


Figura 68: Nube insertada en Revit. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Hay que tener en cuenta que los puntos insertados no son puntos de Revit. Es por ello que pasa a procesar la nube. Para ello vamos a Gestionar> Dynamo. Se comienza por un diezmo a 100 puntos y su conversión a geometría de Dynamo ( Figura 69 y Figura 71). La elección de los puntos es aleatoria. Los paquetes necesarios son los especificados en la Figura 70.

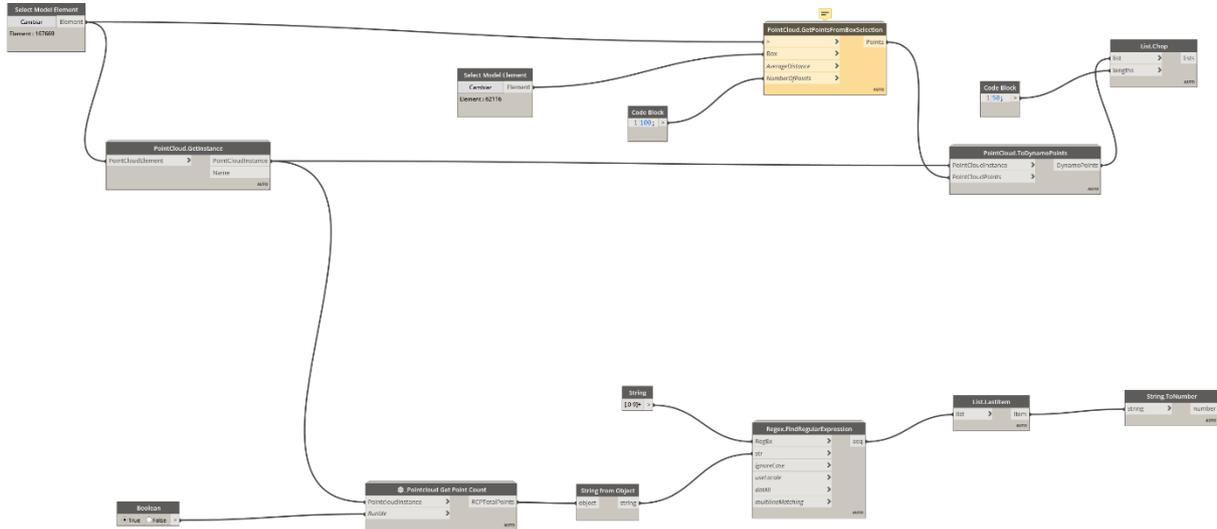


Figura 69: Programación para escoger 100 puntos de la nube. Elaboración propia.

Paquete	Versión	Autor
BlackBox	2016.8.5	Anderj24
Clockwork for Dynamo	2.4.0	andydandy
DynamolronPython2.7	1.0.0	DynamoTeam
Sastrugi	2.0.1	ewano
SteamNodes	1.2.4	julien_benoit

Figura 70: Paquetes utilizados. Elaboración propia

#### 4. PROCESO

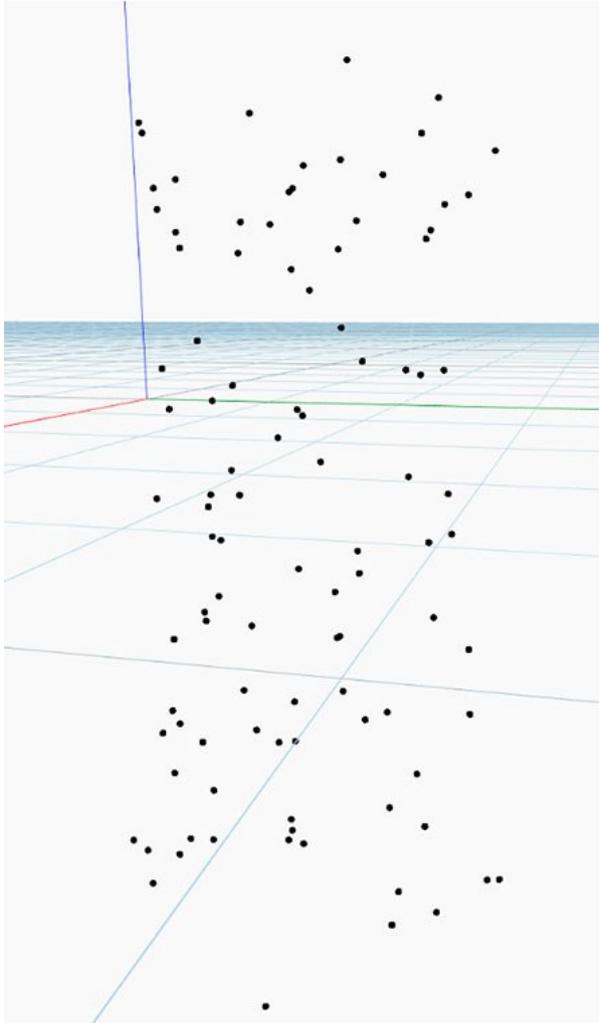


Figura 71: Puntos obtenidas de la reducción a 100 puntos. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Una vez obtenido un diezmado aleatorio se procede a la búsqueda de un sistema de selección por localización. Es por ello que se procede a escoger los puntos cuya coordenada Z esté comprendida entre 0,5 y 0,6 (Figura 72 y Figura 74). Se observa una limitación de selección de 50000 puntos por lo que, teniendo en cuenta que la nube base posee 651637 puntos, se pierden más de 600000 (Figura 73) en el camino. Se obtienen 1534 con la Z comprendida entre 0,5 y 0,6.

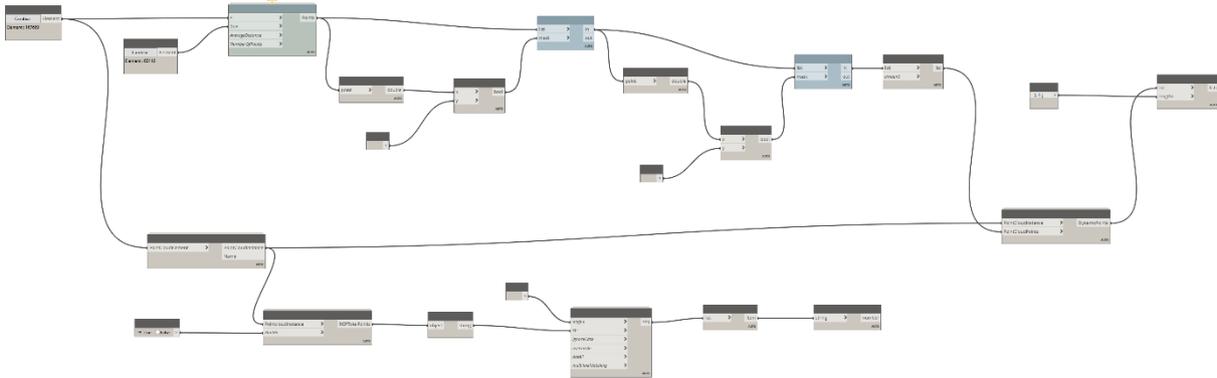


Figura 72: Programación para obtener puntos  $0,5 < Z < 0,6$ . Elaboración propia.

Nube de puntos	Número de puntos	Porcentaje
Pilastra	651637	100%
Puntos importados	50000	7.67%
Puntos descartados	601637	92.33%
Puntos $0,5 < Z < 0,6$ importados	1534	0.24%

Figura 73: Análisis puntos obtenidos. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

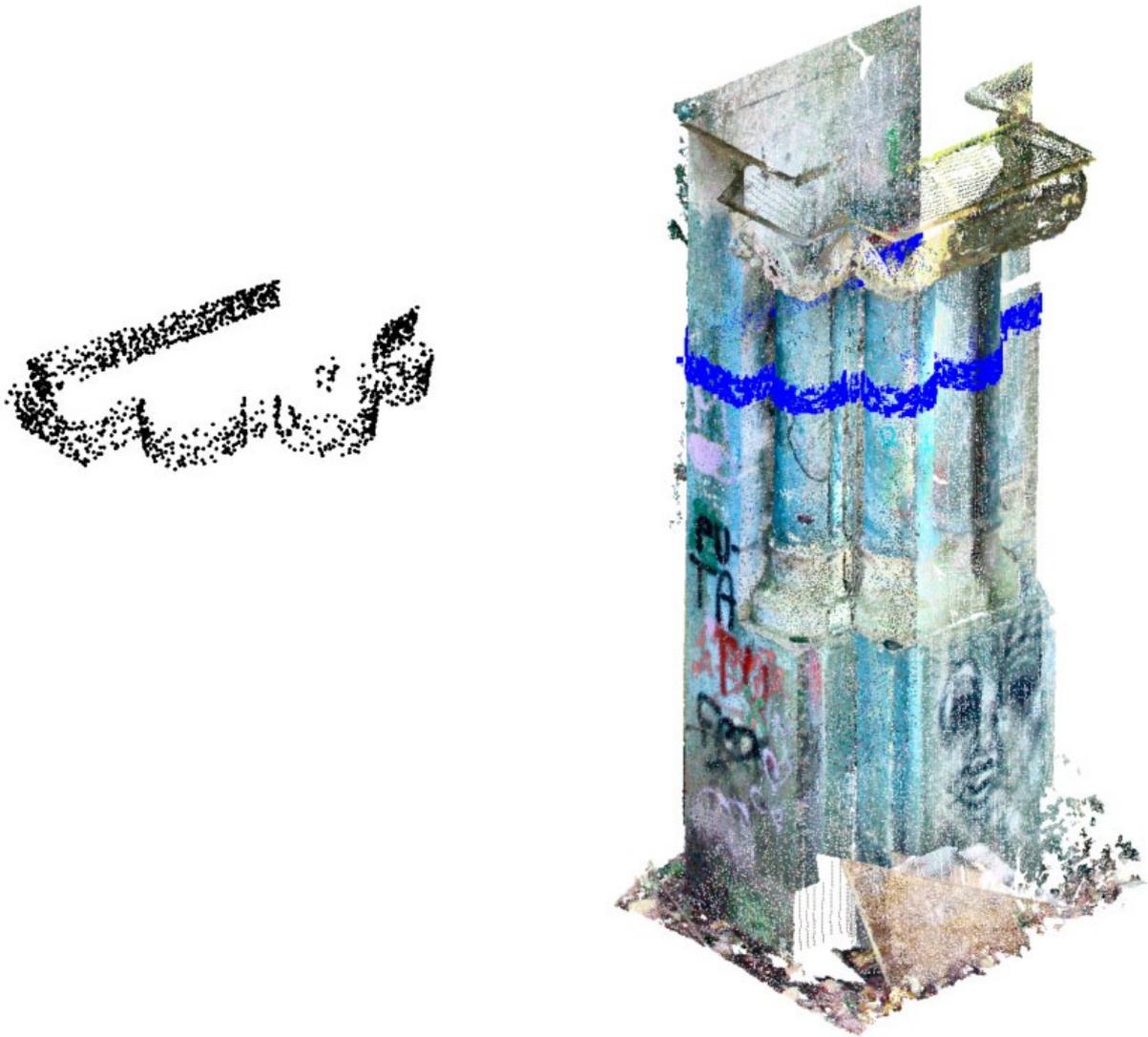


Figura 74: Puntos obtenidos entre la cota  $0,5 < Z < 0,6$ . Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

El siguiente paso para obtener un sólido, es pasar de una geometría adimensional (el punto) a una lineal, en este caso policurvas. Para ello se decide obtener las policurvas planares (misma cota Z) a partir de la unión de los puntos con el más cercano (Figura 75). Se generan geometrías cerradas para un posible solevado posterior. Se obtienen 100 policurvas (Figura 76) distintas con una composición dispar (Figura 77). El valor máximo de curvas que las componen es de 30 y el mínimo de 3. Esta disparidad hace que se obtengan líneas que no definen geoméricamente la pieza.

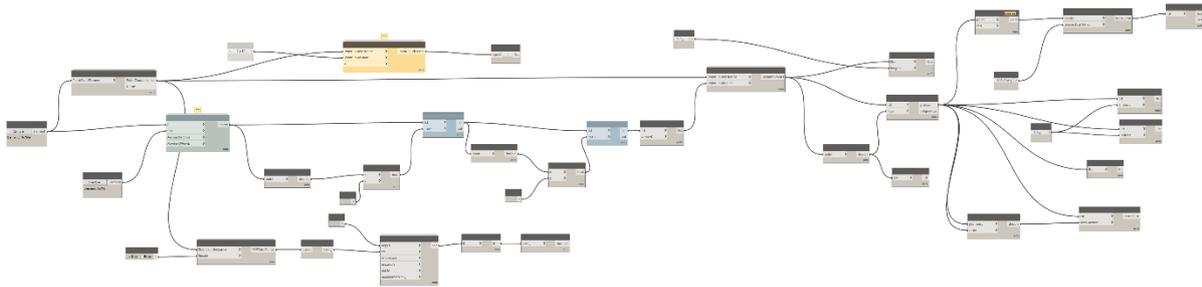


Figura 75: Programación para obtención de polilínea. Elaboración propia.

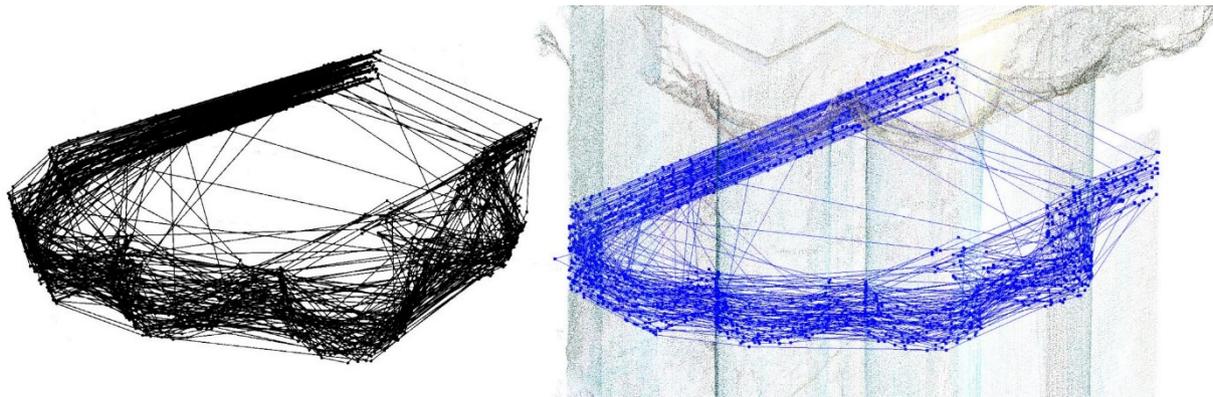


Figura 76: Policurvas obtenidas. Elaboración propia

#### 4. PROCESO

Tipo	Curvas
PolyCurve	24
PolyCurve	17
PolyCurve	16
PolyCurve	8
PolyCurve	20
PolyCurve	17
PolyCurve	17
PolyCurve	14
PolyCurve	28
PolyCurve	13
PolyCurve	8
PolyCurve	21
PolyCurve	14
PolyCurve	8
PolyCurve	18
PolyCurve	13
PolyCurve	30
PolyCurve	20
PolyCurve	10
PolyCurve	11
PolyCurve	17
PolyCurve	18
PolyCurve	22
PolyCurve	8
PolyCurve	22
PolyCurve	16
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	12
PolyCurve	16
PolyCurve	4
PolyCurve	22
PolyCurve	13
PolyCurve	26
PolyCurve	16
PolyCurve	10
PolyCurve	16
PolyCurve	22
PolyCurve	11
PolyCurve	25
PolyCurve	6
PolyCurve	19
PolyCurve	25
PolyCurve	21
PolyCurve	15
PolyCurve	17
PolyCurve	7
PolyCurve	20
PolyCurve	21
PolyCurve	16
PolyCurve	25
PolyCurve	14
PolyCurve	15
PolyCurve	9
PolyCurve	15
PolyCurve	24
PolyCurve	8
PolyCurve	12
PolyCurve	8
PolyCurve	11
PolyCurve	19
PolyCurve	12
PolyCurve	21
PolyCurve	19
PolyCurve	19
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	11
PolyCurve	13
PolyCurve	25
PolyCurve	10
PolyCurve	17
PolyCurve	10
PolyCurve	18
PolyCurve	22
PolyCurve	10
PolyCurve	8
PolyCurve	14
PolyCurve	20
PolyCurve	9
PolyCurve	3
PolyCurve	7
PolyCurve	5
PolyCurve	11
PolyCurve	8
PolyCurve	16
PolyCurve	9
PolyCurve	12
PolyCurve	14
PolyCurve	12
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	5
PolyCurve	15
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	9
PolyCurve	11
PolyCurve	6
Máximo	30
Mínimo	3
Medio	14.34

Figura 77: Análisis policurvas. Elaboración propia.

Se procede a convertir las policurvas en nurbscurve para suavizar el perfil de las piezas (Figura 78). Esto eliminaría los quiebros derivados de unir los puntos por medio de rectas. Una vez obtenidas se genera un sólido por medio del solevado a partir de dichas nurbscurve. Al no ajustarse las nurbscurves a lo forma del elemento, se genera un sólido distinto (Figura 79).

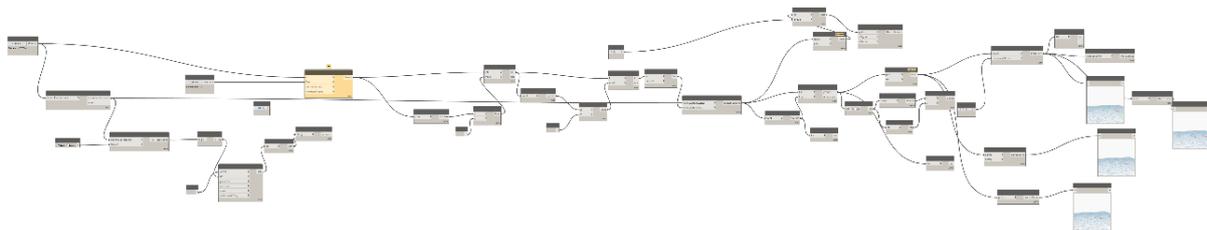


Figura 78: Programación conversión a nurbscurve. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

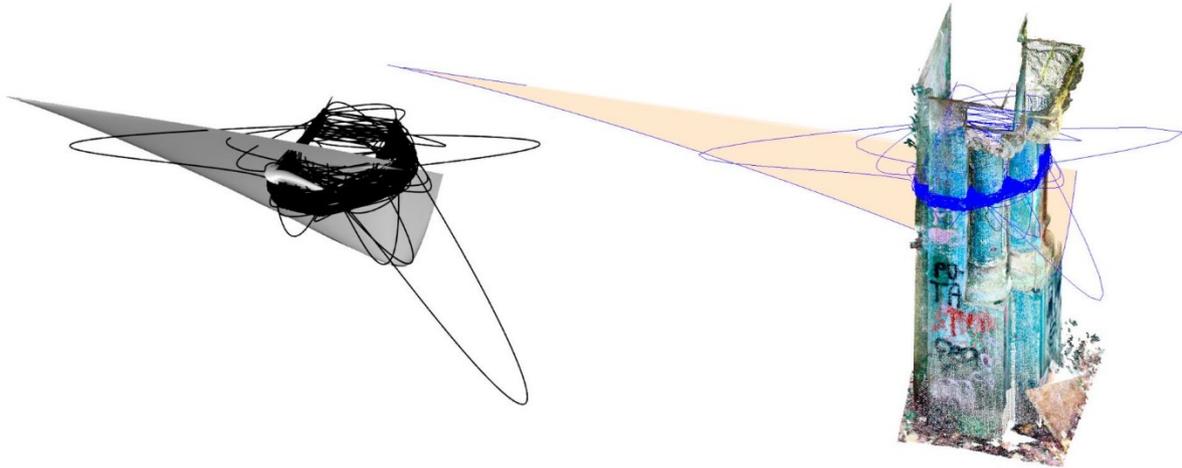


Figura 79: Nurbcurve y volumetría. Elaboración propia.

Se procede a trabajar con las secciones verticales (Figura 80) en el entorno comprendido entre  $0,5 < Z < 1$ . Se decide obtener policurvas planas, con la misma X, abiertas. En un primer momento, se obtienen 1082 curvas, pero, analizando la cantidad de curvas contenidas en su interior, se escogen todas aquellas que posean un número de curvas superior a la media (7). Las geometrías obtenidas (Figura 81) presentan una casuística similar a la de las horizontales: gran diversidad en la composición de las policurvas.

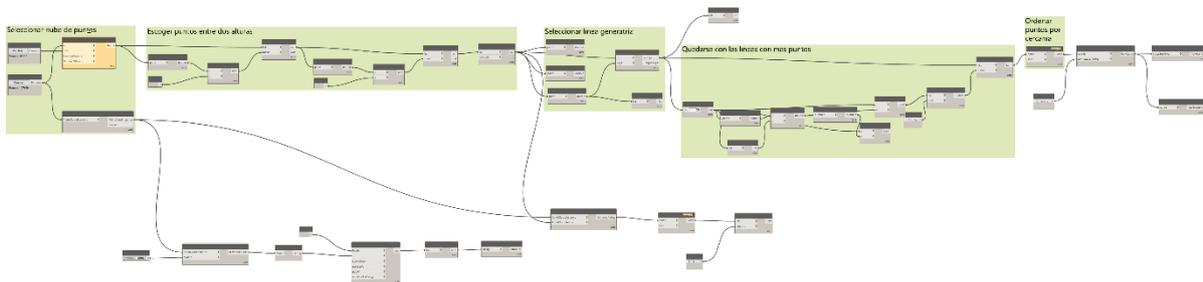


Figura 80: Programación generación líneas verticales. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

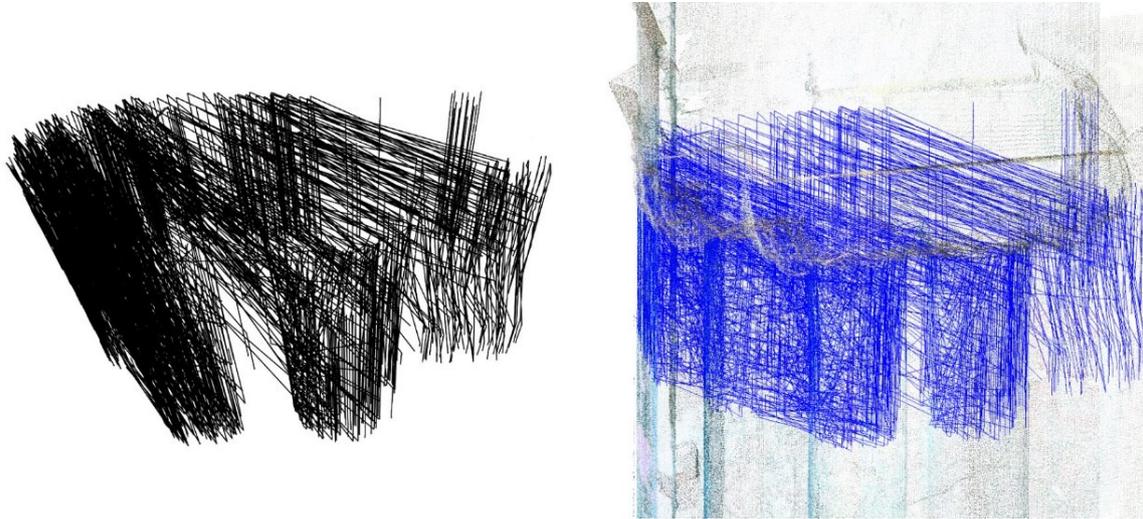


Figura 81: Secciones verticales. Elaboración propia

Tipo	Curvas
PolyCurve	9
PolyCurve	10
PolyCurve	11
PolyCurve	7
PolyCurve	12
PolyCurve	7
PolyCurve	14
PolyCurve	7
PolyCurve	14
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	12
PolyCurve	13
PolyCurve	9
PolyCurve	12
PolyCurve	9
PolyCurve	9
PolyCurve	8

PolyCurve	8
PolyCurve	11
PolyCurve	13
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	8
PolyCurve	12
PolyCurve	9
PolyCurve	8
PolyCurve	11
PolyCurve	10
PolyCurve	11
PolyCurve	9
PolyCurve	7
PolyCurve	11
PolyCurve	7
PolyCurve	11
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	7

PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	11
PolyCurve	9
PolyCurve	11
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	17
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	9
PolyCurve	8

PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	12
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	11
PolyCurve	15
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	15
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	7

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	8
PolyCurve	11
PolyCurve	7
PolyCurve	11
PolyCurve	14
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	27
PolyCurve	18
PolyCurve	11
PolyCurve	26
PolyCurve	33
PolyCurve	9
PolyCurve	9
PolyCurve	17
PolyCurve	14
PolyCurve	8
PolyCurve	14
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	12
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	36
PolyCurve	9
PolyCurve	9
PolyCurve	11
PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	17
PolyCurve	8
PolyCurve	12
PolyCurve	20
PolyCurve	7
PolyCurve	22
PolyCurve	28
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	29
PolyCurve	16
PolyCurve	7
PolyCurve	26
PolyCurve	10
PolyCurve	12
PolyCurve	13
PolyCurve	9
PolyCurve	12
PolyCurve	12
PolyCurve	17
PolyCurve	10
PolyCurve	9
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	14
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	16
PolyCurve	16
PolyCurve	7
PolyCurve	11
PolyCurve	13
PolyCurve	8
PolyCurve	13
PolyCurve	8
PolyCurve	15
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	14
PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	23
PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	10
PolyCurve	8
PolyCurve	13
PolyCurve	12
PolyCurve	12
PolyCurve	11
PolyCurve	13
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	8
PolyCurve	9
PolyCurve	10
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	11
PolyCurve	11
PolyCurve	8
PolyCurve	11
PolyCurve	9
PolyCurve	8
PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	12
PolyCurve	22
PolyCurve	24
PolyCurve	24
PolyCurve	9
PolyCurve	30
PolyCurve	17
PolyCurve	13
PolyCurve	20
PolyCurve	19
PolyCurve	15
PolyCurve	16
PolyCurve	24
PolyCurve	8
PolyCurve	17
PolyCurve	21
PolyCurve	20
PolyCurve	8
PolyCurve	25
PolyCurve	11
PolyCurve	14
PolyCurve	19
PolyCurve	23
PolyCurve	28
PolyCurve	11
PolyCurve	23
PolyCurve	10
PolyCurve	23
PolyCurve	24
PolyCurve	14
PolyCurve	17
PolyCurve	7
PolyCurve	13
PolyCurve	27
PolyCurve	9
PolyCurve	22
PolyCurve	22
PolyCurve	22
PolyCurve	35
PolyCurve	11
PolyCurve	11
PolyCurve	15
PolyCurve	18
PolyCurve	18
PolyCurve	20
PolyCurve	24
PolyCurve	9
PolyCurve	17
PolyCurve	12
PolyCurve	24
PolyCurve	8
PolyCurve	23
PolyCurve	12
PolyCurve	12
PolyCurve	7
PolyCurve	27
PolyCurve	33
PolyCurve	27
PolyCurve	16
PolyCurve	10
PolyCurve	8
PolyCurve	28
PolyCurve	18
PolyCurve	10
PolyCurve	33
PolyCurve	7
PolyCurve	17
PolyCurve	18
PolyCurve	18

#### 4. PROCESO

PolyCurve	7
PolyCurve	7
PolyCurve	25
PolyCurve	8
PolyCurve	25
PolyCurve	17
PolyCurve	15
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	21
PolyCurve	10
PolyCurve	14
PolyCurve	25
PolyCurve	14
PolyCurve	25
PolyCurve	8
PolyCurve	15
PolyCurve	25
PolyCurve	31
PolyCurve	20
PolyCurve	16
PolyCurve	20
PolyCurve	8
PolyCurve	15
PolyCurve	7
PolyCurve	18
PolyCurve	20
PolyCurve	13
PolyCurve	25
PolyCurve	30

PolyCurve	13
PolyCurve	30
PolyCurve	26
PolyCurve	25
PolyCurve	15
PolyCurve	19
PolyCurve	15
PolyCurve	12
PolyCurve	14
PolyCurve	19
PolyCurve	32
PolyCurve	10
PolyCurve	18
PolyCurve	16
PolyCurve	19
PolyCurve	19
PolyCurve	14
PolyCurve	18
PolyCurve	17
PolyCurve	17
PolyCurve	13
PolyCurve	22
PolyCurve	21
PolyCurve	19
PolyCurve	17
PolyCurve	36
PolyCurve	9
PolyCurve	14
PolyCurve	11
PolyCurve	8
PolyCurve	12

PolyCurve	16
PolyCurve	13
PolyCurve	10
PolyCurve	10
PolyCurve	15
PolyCurve	11
PolyCurve	20
PolyCurve	23
PolyCurve	26
PolyCurve	22
PolyCurve	15
PolyCurve	19
PolyCurve	27
PolyCurve	16
PolyCurve	10
PolyCurve	9
PolyCurve	18
PolyCurve	15
PolyCurve	11
PolyCurve	10
PolyCurve	26
PolyCurve	27
PolyCurve	7
PolyCurve	20
PolyCurve	27
PolyCurve	8
PolyCurve	15
PolyCurve	20
PolyCurve	12
PolyCurve	11
PolyCurve	13

PolyCurve	7
PolyCurve	26
PolyCurve	16
PolyCurve	23
PolyCurve	12
PolyCurve	13
PolyCurve	9
PolyCurve	10
PolyCurve	17
PolyCurve	11
PolyCurve	21
PolyCurve	7
PolyCurve	9
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	7
PolyCurve	10
PolyCurve	13
Máximo	36
Mínimo	7
Medio	13.33

Figura 82: Análisis policurvas. Elaboración propia.

Al tratarse de una pieza con un carácter eminentemente vertical, se busca la sección base matriz de la pieza. Para ello se realiza la intersección de las líneas derivadas de las secciones verticales con un plano horizontal (Figura 83) situado a la cota media de los puntos seleccionados. Se observa una definición precisa del perímetro (Figura 84) pero la existencia de puntos en los alrededores de la sección genera ruido y desfigura la sección.

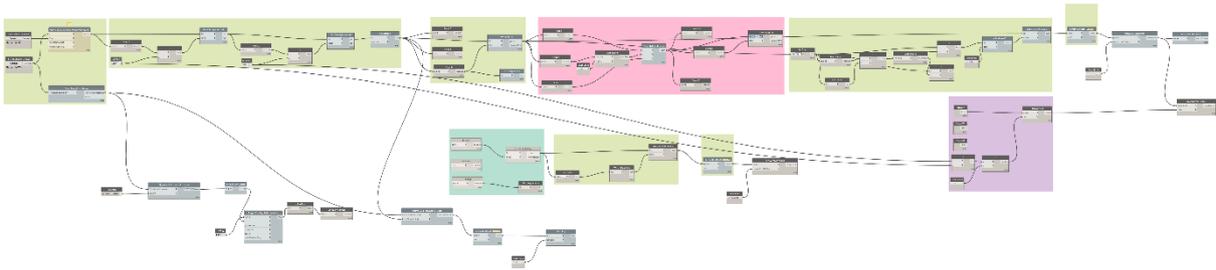


Figura 83: Programación para obtención de sección base horizontal. Elaboración propia.



Figura 84: Geometría de la sección horizontal. Elaboración propia.

Se perfecciona la selección de puntos. Se pasa de un sistema de selección a planar a un sistema cuasiplanar. Se opta por agrupar los puntos con la misma "x" y con una coordenada "y" similar (Figura 85). Se considera "y" similar a aquellos cuya coordenada "y" es la misma si se realiza un redondeo a dos decimales.

#### 4. PROCESO

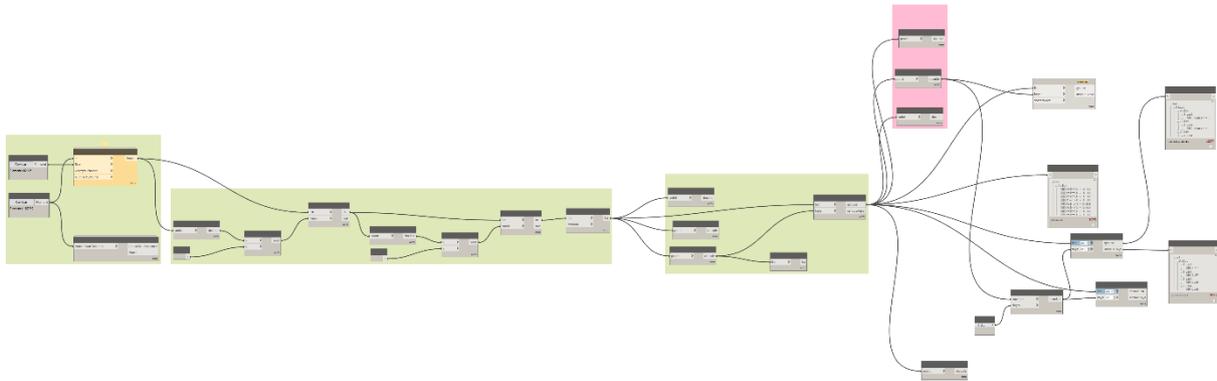


Figura 85: Selección de puntos similares. Elaboración propia.

Una vez investigada la selección de puntos con coordenadas similares en alguno de los ejes (x,y) (Figura 86), se procede a generar policurvas 3d que unan puntos con coordenadas “x” e “y” similares (Figura 87). Posteriormente se obtienen las superficies derivadas del solevado entre las policurvas (Figura 88). Las superficies no representan la envolvente exterior de la pieza.

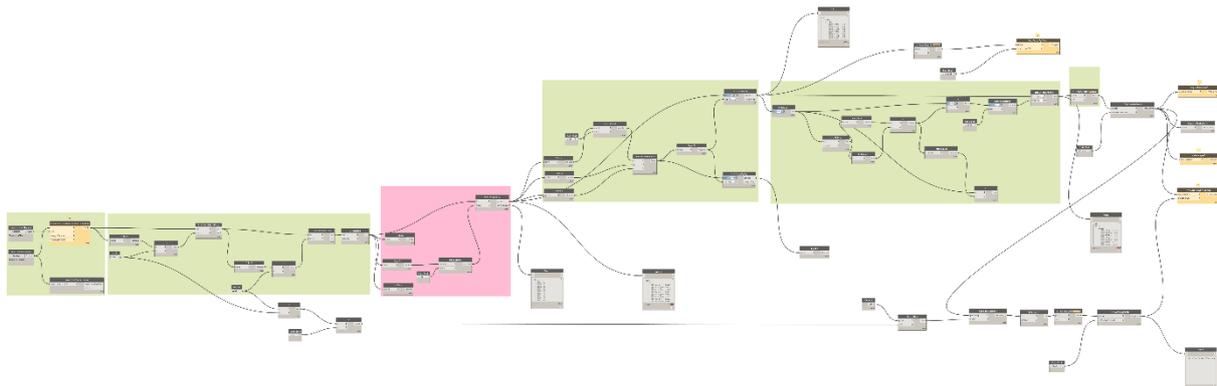


Figura 86: Obtención de líneas de sección cuasi planar y superficies. Elaboración propia.

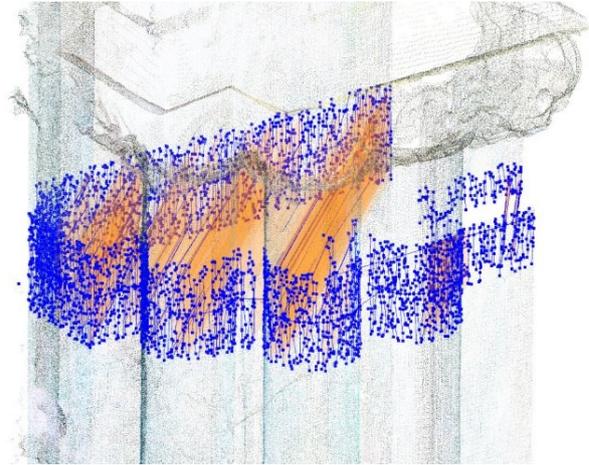
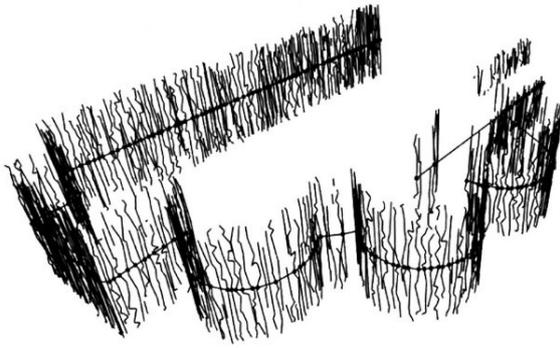


Figura 87: Secciones verticales cuasiplanares. Elaboración propia.

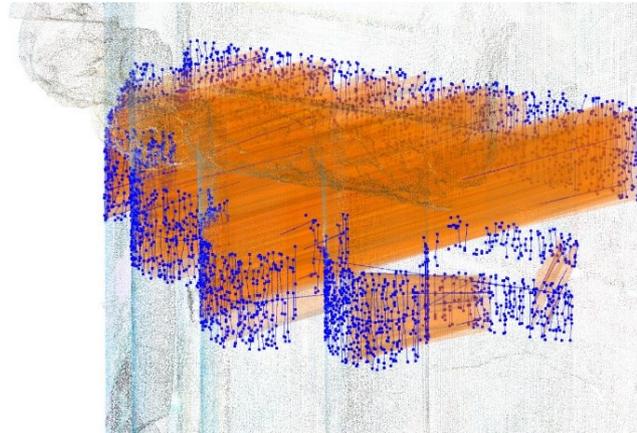
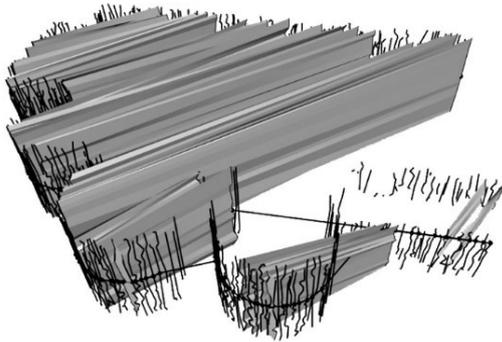


Figura 88: Superficies a partir de policurves. Elaboración propia.

Por último, se investiga la posibilidad de generar nurbsuface a partir de la agrupación de puntos en grupos de cuatro (Figura 89). Se trabaja con los puntos comprendidos  $0,5 < Z < 0,75$ . Se observa que las superficies obtenidas no reflejan la superficie exterior del elemento (Figura 90).

#### 4. PROCESO

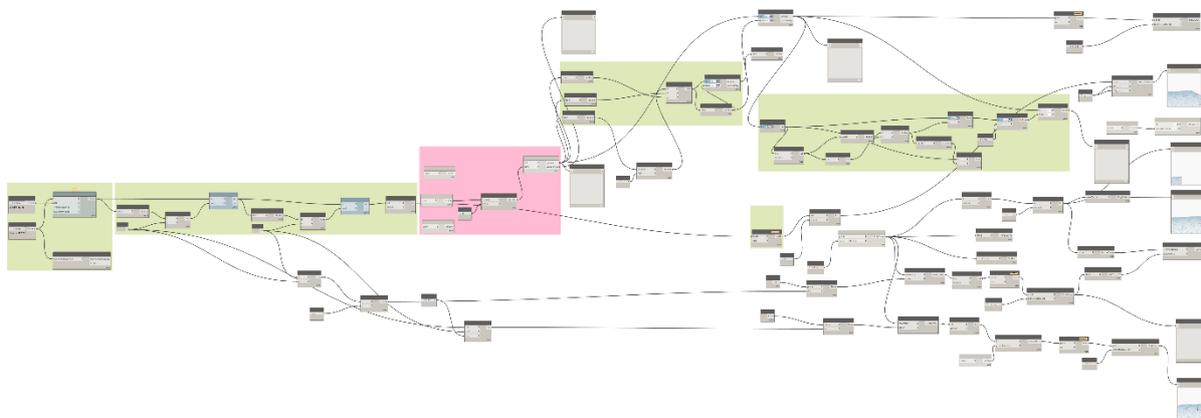


Figura 89: Programación para generación nurbsurface. Elaboración propia.

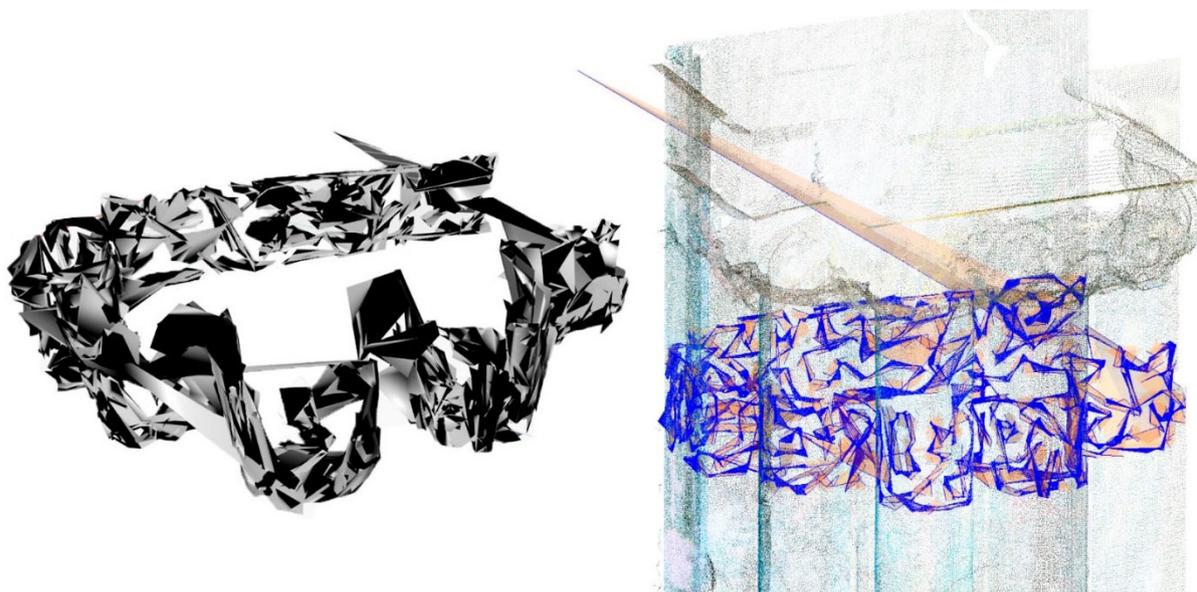


Figura 90: NurbsSurface. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.



#### 4. PROCESO

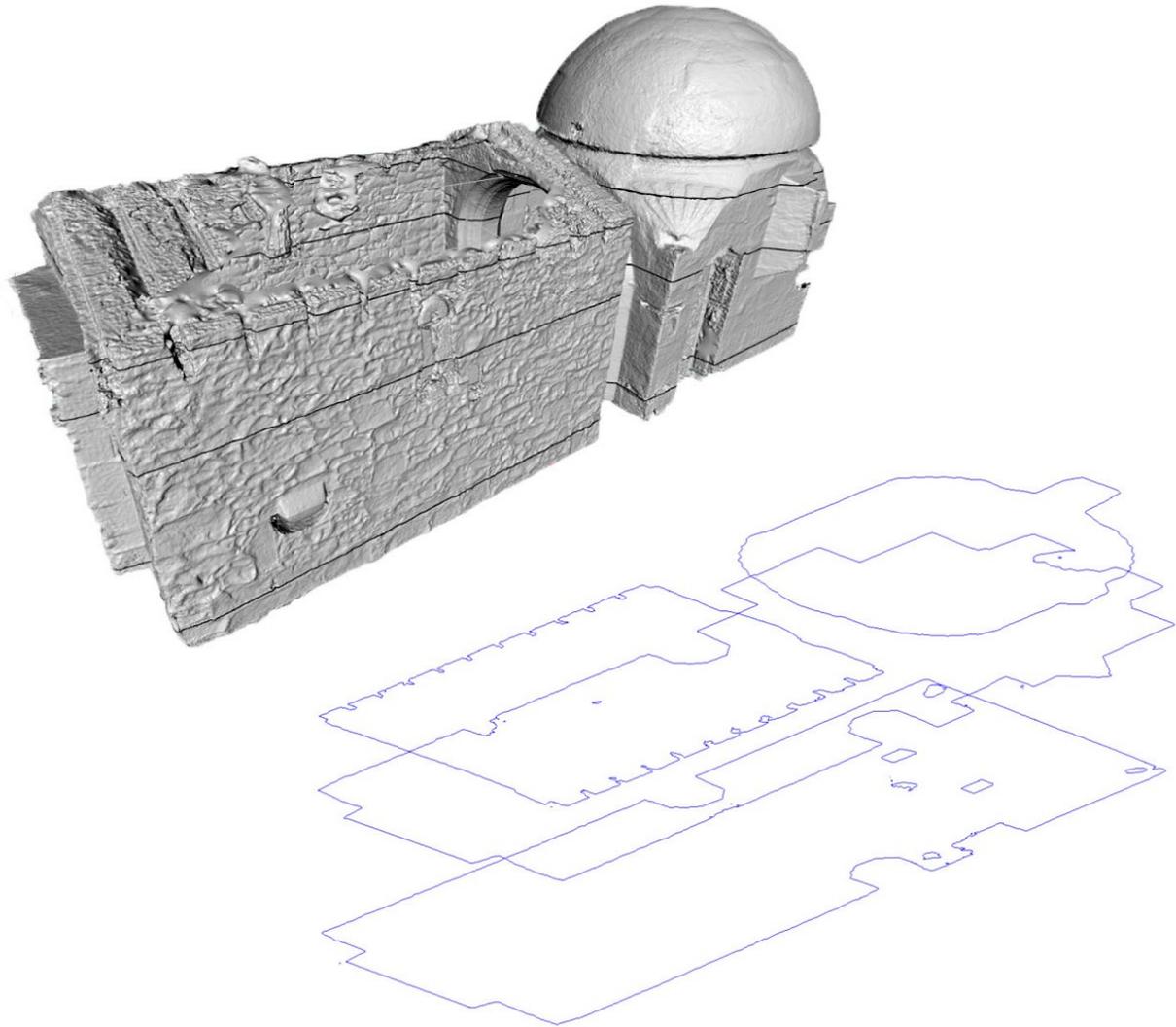


Figura 92: Cortes obtenidos. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Dada la complejidad de la geometría, se procede a realizar cortes horizontales de la cúpula. Se definen los planos de corte comprendidos entre las cotas 13 y 16,75 con una equidistancia de 0,5m (Figura 93). Se obtienen policurvas y nurbscurves de corte (Figura 94) pero no se consigue el solevado.

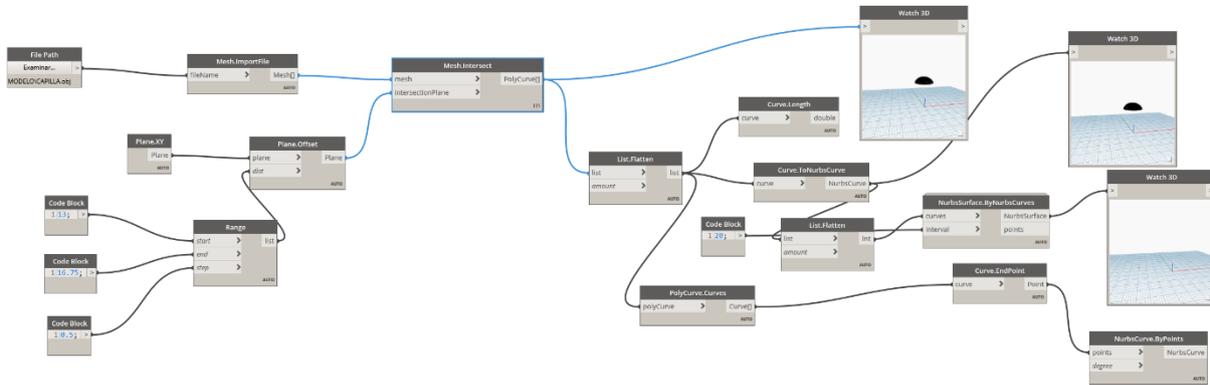


Figura 93: Programación corte cúpula. Elaboración propia.

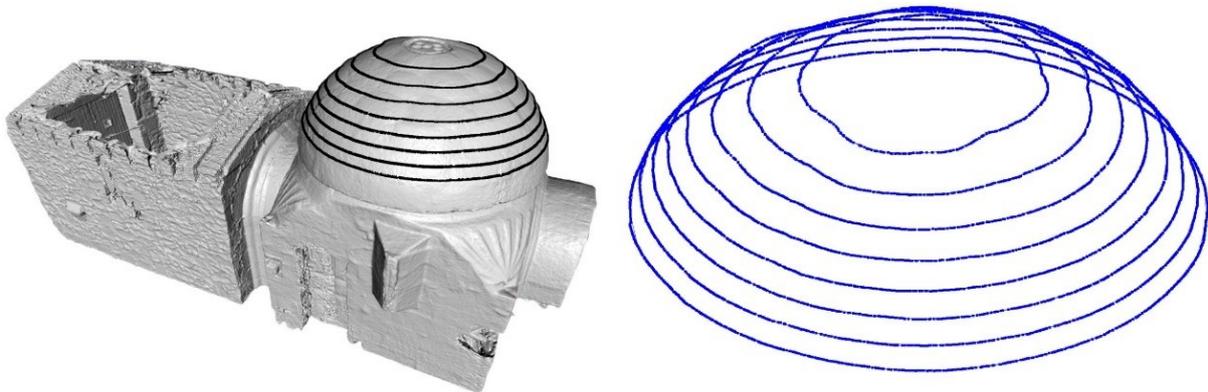


Figura 94: Cortes cúpula. Elaboración propia.

Del proceso se obtienen las siguientes conclusiones:

- Obtención de secciones continuas en cualquier plano seleccionado.
- Necesidad de una malla cerrada para obtención de secciones reales.
- Necesidad de búsqueda de sistema de generación de sólidos a partir de secciones.

### 4.4 Metashape y 3DSMax

Se plantea la simplificación del método desarrollado en el capítulo Investigación previa. La fachada Norte de la Catedral de Santiago. Los objetivos principales son:

- Limitación de la cantidad de software a utilizar.
- Generación de modelos simplificados con menor peso en base a *subdivision surfaces*.
- Obtención de aristas vivas en la división de elementos.
- Simplificación generación de planos para obtención de sólidos.
- Mejora inserción de elementos volumétricos en software BIM para su mejor procesado.

#### 4.4.1 Simplificación de la malla.

Se procede a una simplificación progresiva de la malla (Figura 95) por medio de un diezmo de la misma (herramientas>malla>diezmar malla) en el software metashape. Éste se realiza para poder observar el incremento de pérdida de información geométrica y así poder decidir el nivel de detalle base que poseerá el modelo definitivo. Analizando las características de las mallas (Figura 96) obtenidas una reducción significativa de los *multiple edges* y de *open edges*. Se observa además que el primer diezmo casi no disminuye la cantidad de *similar vertices*, mientras que el segundo sí. Por último, se debe mencionar la división del modelo en 11 mallas no conectadas.

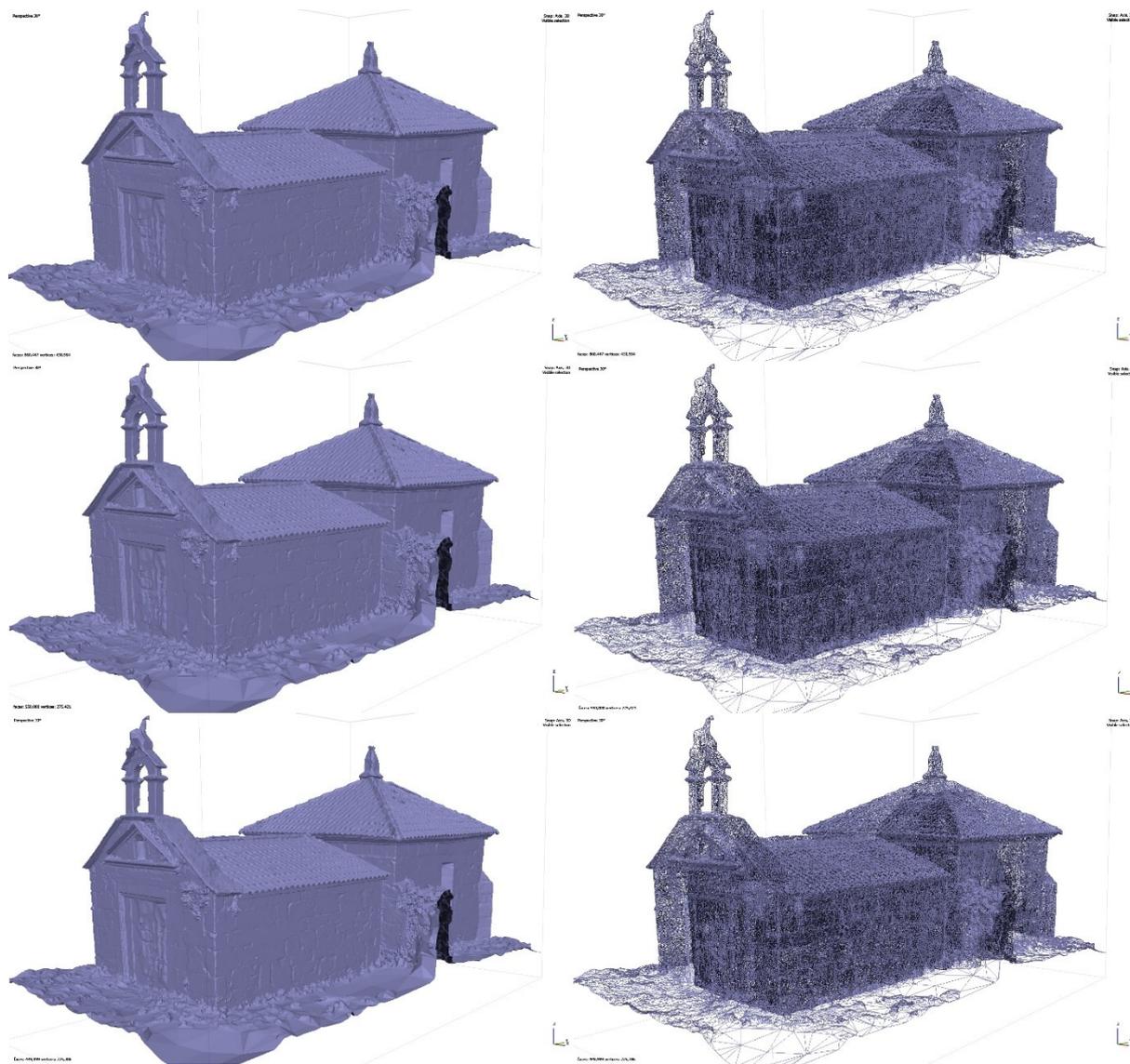


Figura 95: Proceso diezrado da malla. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

	Original	Reduc_1	Porcentaje	Reduc_2	Porcentaje
Total faces	860447	550000	63.92	449999	52.30
Total vertices	430964	275421	63.91	225386	52.30
Out of range indices	0	0		0	
Free vertices	0	0		0	
Similar vertices	43	42	97.67	26	60.47
Duplicate faces	0	0		0	
Zero faces	0	0		0	
Degenerated faces	0	0		0	
Open edges	2227	1444	64.84	1347	60.48
Multiple edges	40	10	25.00	9	22.50
Flipped normals	0	0		0	
Connected components	1	11	1100.00	11	1100.00

Figura 96: Comparativa modelos. Elaboración propia.

Se escoge la malla Reduc\_2 que posee 449999 caras debido a su alta definición geométrica y su menor tamaño de archivo. Hay que tener en cuenta que en el peso de las nuevas mallas no se incluye la textura.

Se procede a generar la textura y a exportar el modelo en formato .obj de manera análoga a lo especificado en el capítulo 4.2.3

#### 4.4.2 División malla y simplificación Malla

Se importa la malla texturizada en 3DsMax. Es importante la presencia de la textura para poder conocer la delimitación de los elementos.

Primeramente, se comprobará la existencia de errores en las mallas. Para ello se aplicará el modificador meshcleaner.

Seguidamente se procede a la división de la malla. En este caso se decide dividir la edificación en sillar. Para ello se utilizará el modificador cut delimitando los sillares (Figura 97). Una vez obtenido el borde vamos a *Edge>detach* y designamos el nombre que queramos (Figura 98).

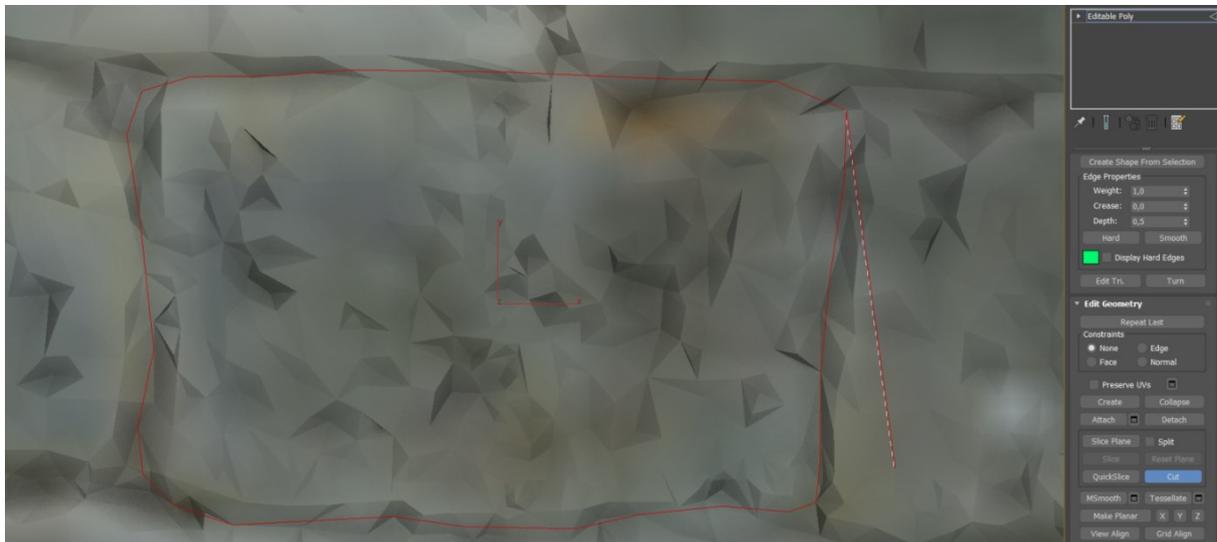


Figura 97: Delimitación sillar. Elaboración propia.

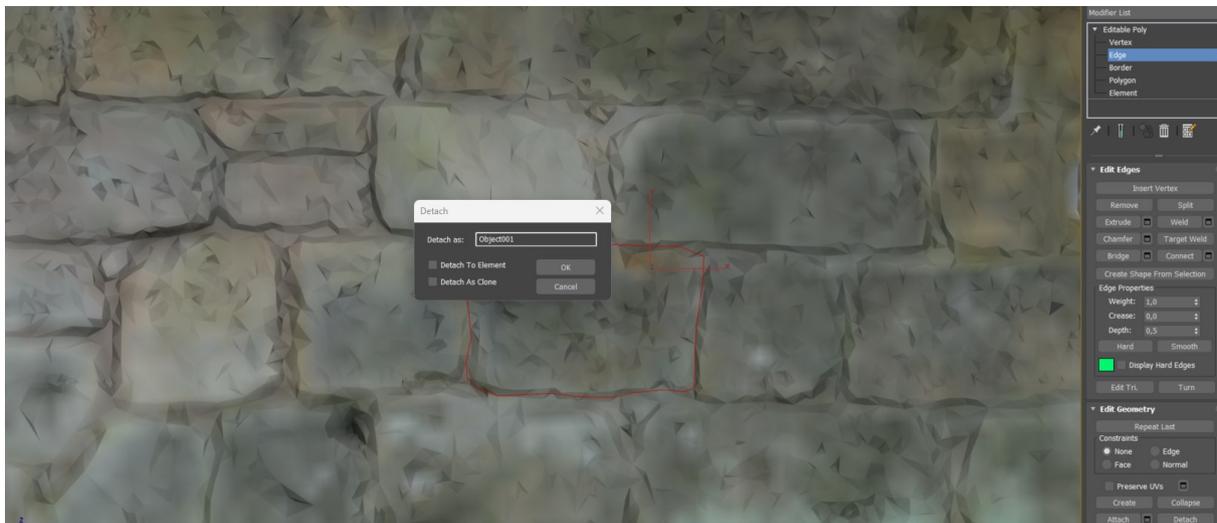


Figura 98: División malla. Elaboración propia.

#### 4.4.3 Generación de sólido.

Una vez aislado el sillar se proceder a obtener un sólido. Primeramente, seleccionamos el borde y lo extruimos (Figura 99). A continuación, hacemos que dicha extrusión sea plana (Figura 100). Seguidamente realizamos una copia del borde por medio de escalado (Figura 100). Este paso es importante puesto que, si no, al aplicar la textura y meterlo posteriormente en Revit, generará errores. Alinearemos dichos puntos y cerraremos el hueco por medio de la opción cap (Figura 101).

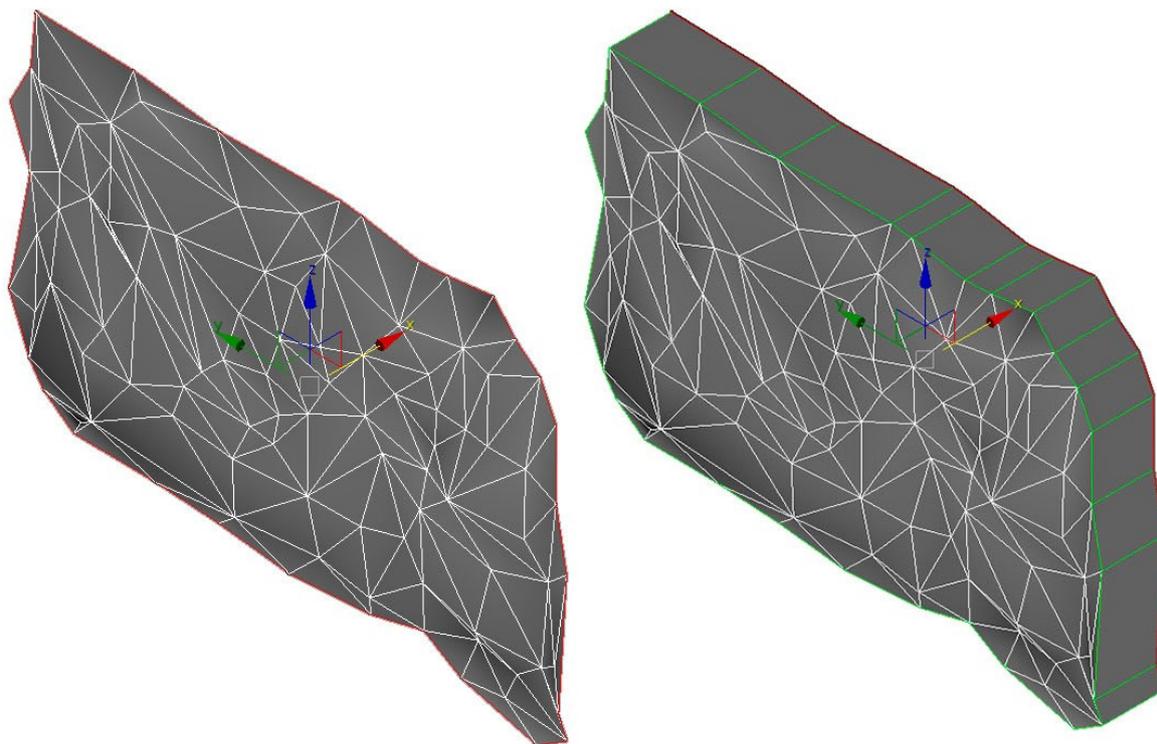


Figura 99: Selección de borde y extrusión. Elaboración propia.

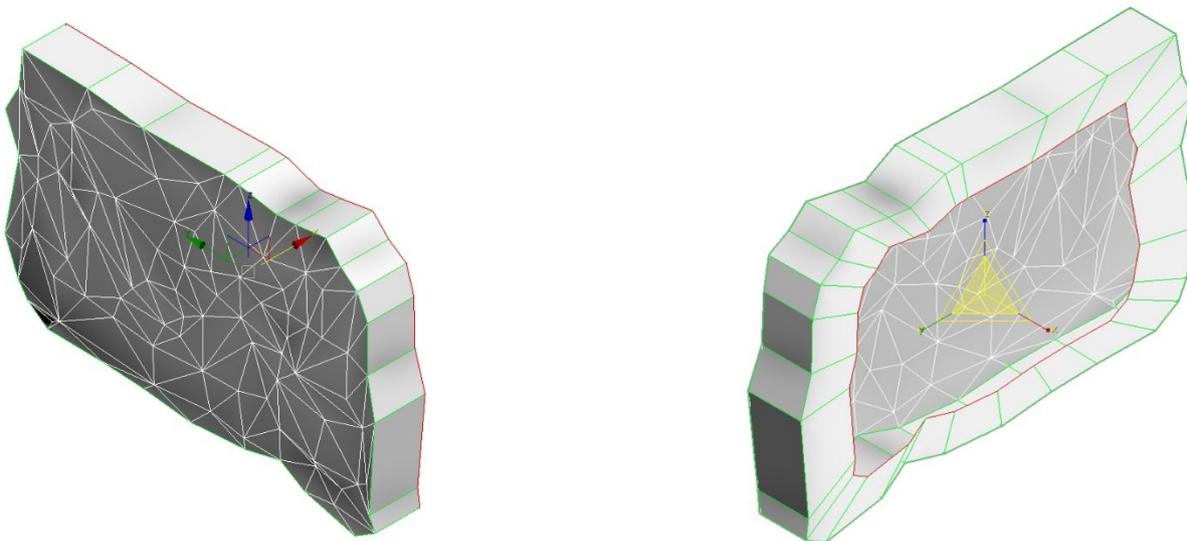


Figura 100: Conversión extrusión a planar y escalado con copia del borde posterior. Elaboración propia.

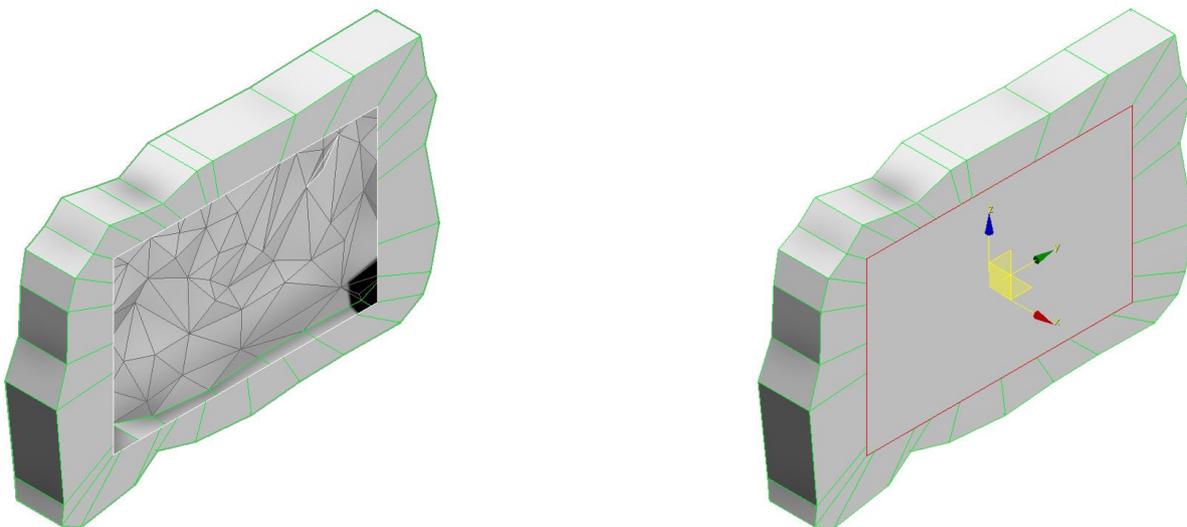


Figura 101: Regularización hueco y cerrado del mismo. Elaboración propia.

#### 4.4.4 Subdivision surface.

El siguiente proceso implica la simplificación del modelo por medio de la conversión de las superficies trianguladas en una malla continua de quads (superficies definidas por cuatro puntos) que son más fácilmente procesadas por los ordenadores y que reducen el número de caras. Este proceso podría realizarse antes de la subdivisión de elementos. Las ventajas de simplificar el modelo antes es que las piezas divididas ya no precisan bloquear sus bordes para juntarse con las piezas adyacentes. Las contras de simplificar el modelo previamente es la velocidad de procesado de los datos y la limitación de la cantidad de caras.

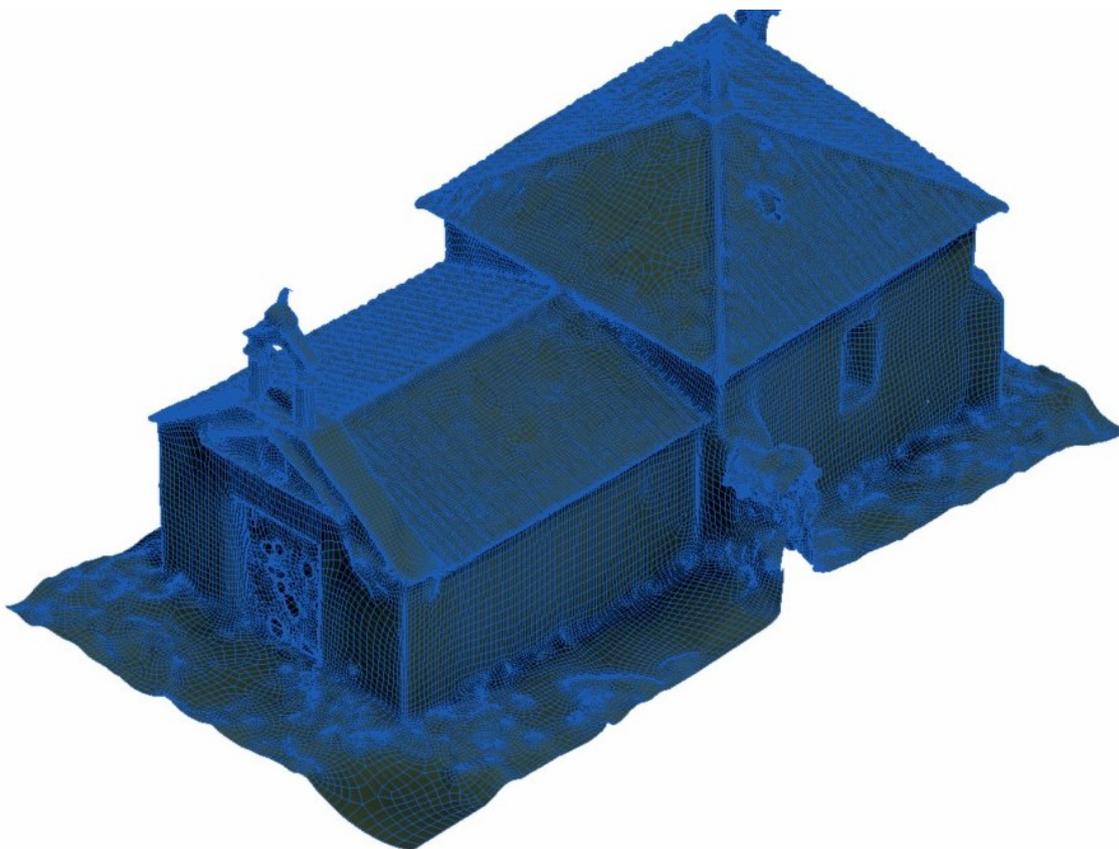


Figura 102: Capilla simplificada por medio de quads. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

Se realiza un primer simplificado de la malla en su conjunto con el objetivo de obtener un modelo de 225000 caras. Tras un largo procesado se obtiene un modelo con 232616 caras y 233247 vértices (Figura 102).

En este caso se comienza por escoger los bordes que han de permanecer inamovible. En este caso se representan en verde (hard) (Figura 103).

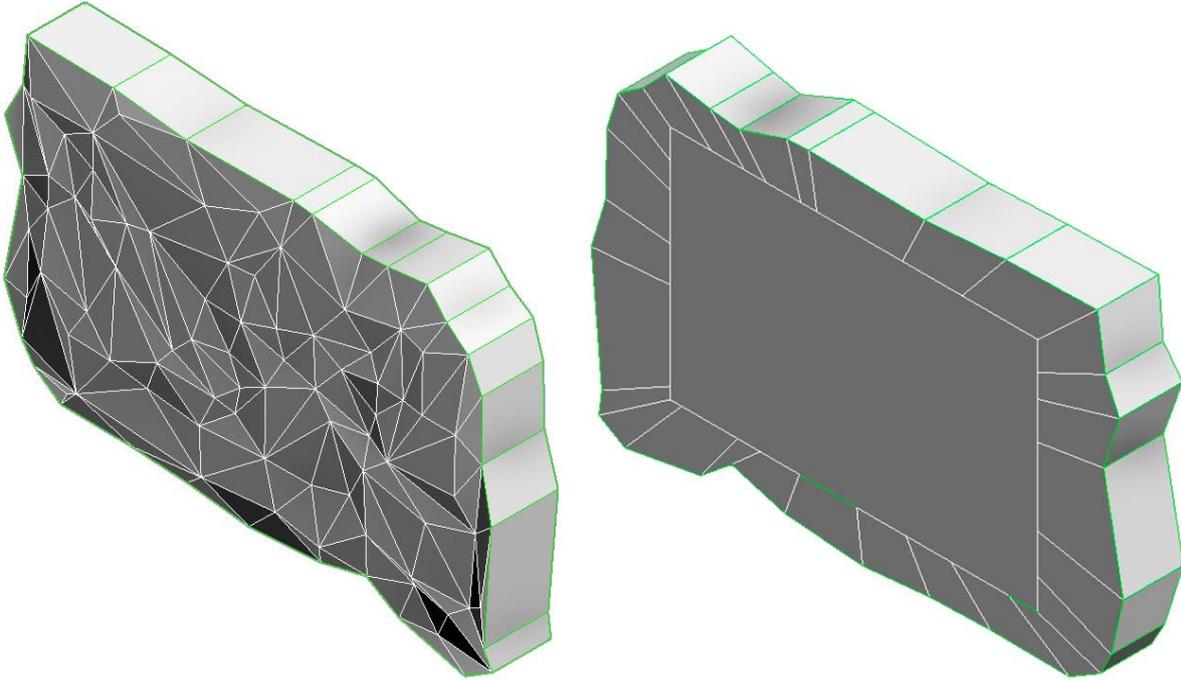


Figura 103: Aristas duras. Elaboración propia.

Para la simplificación primero aplicamos un subdivide, que nos permite una mejor organización de los triángulos que componen la malla (Figura 104). Posteriormente aplicamos un retopology que convierte los triángulos de la malla en quads (Figura 104). En caso de querer reducir el número de triángulos previo al retopology se podría utilizar el modificador prooptimizer (de manera análoga a lo ejecutado en la catedral). En la última imagen se muestra la superposición de ambas: la malla original y la nueva.

#### 4. PROCESO

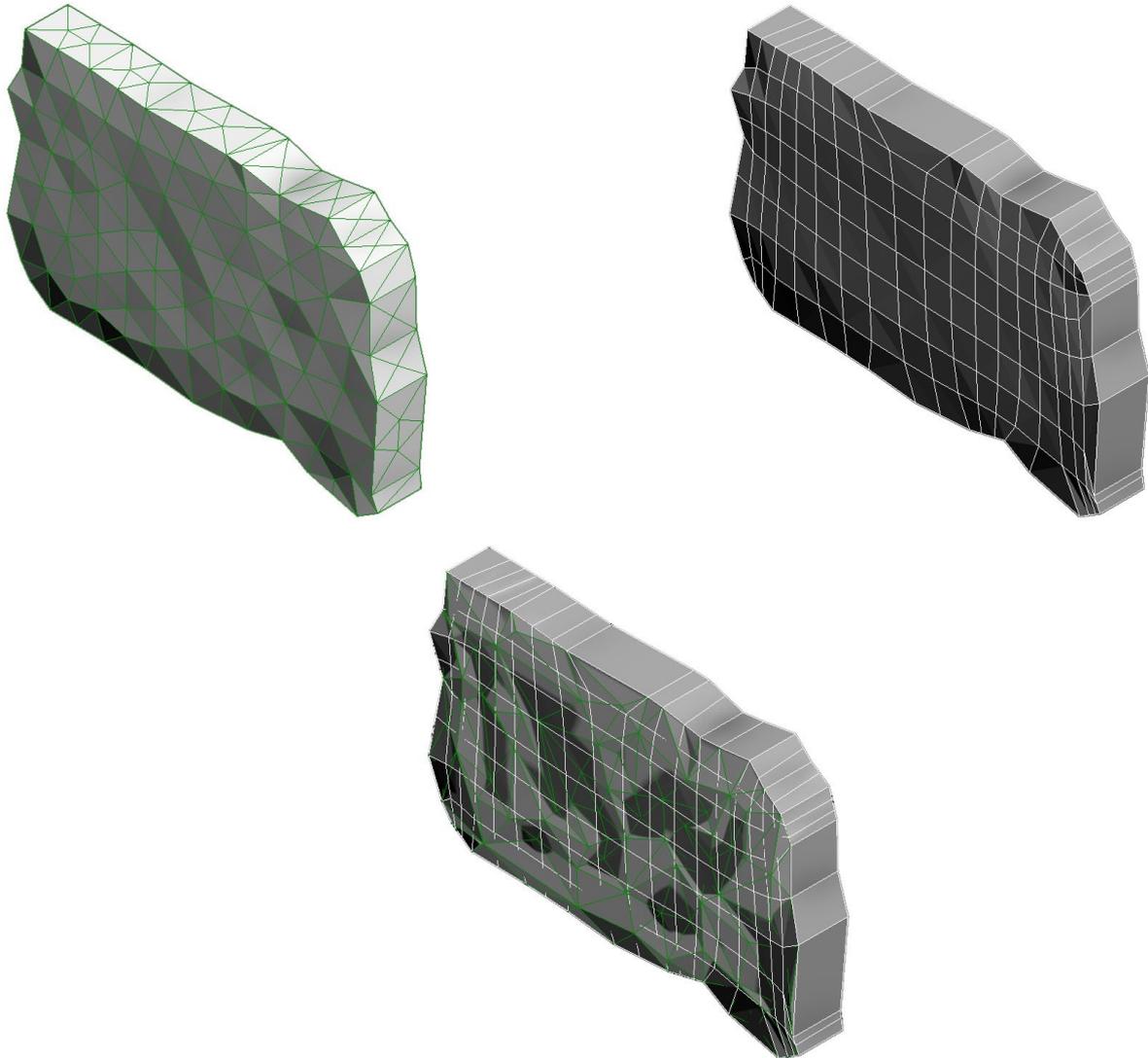


Figura 104: Proceso de simplificación: redistribución triangulaciones, conversión a quads y superposición de ambas. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

#### 4.4.5 Proyección de textura.

Una vez simplificado el modelo, se exporta a .obj y se inserta en el metashape para obtener su textura. Se observa que se importa en la misma localización que la de origen (Figura 105: Sillar importado sin textura. Elaboración propia.. Hay que tener en cuenta que el modelo simplificado se importa triangulado. Se genera la textura de manera análoga a lo comentado anteriormente.



Figura 105: Sillar importado sin textura. Elaboración propia.

#### 4. PROCESO

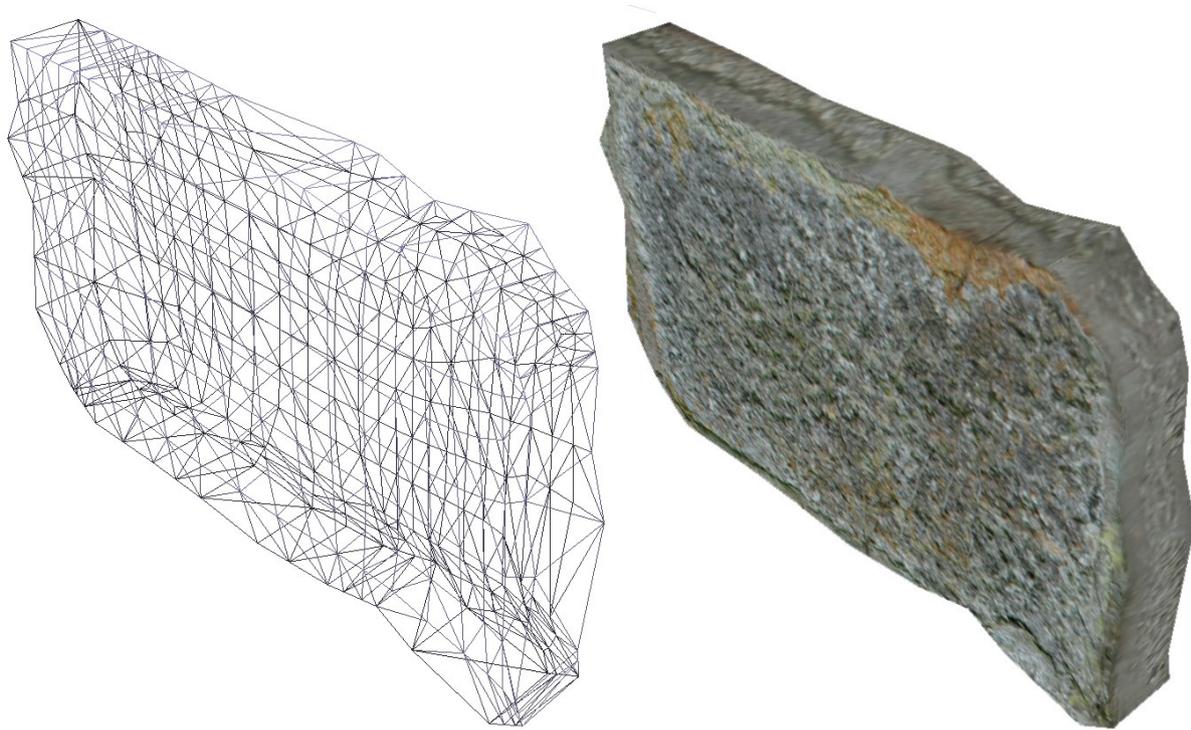


Figura 106: Sillar triangulado y sillar texturizado. Elaboración propia.

##### **4.4.6 Inserción en Revit.**

Se procede a importar los objetos dentro de una familia de modelo genérico de Revit. Se observa que tanto en el caso del obj exportado de Metashape como en el de 3DSMAX se conservan ciertas triangulaciones mientras que otras se convierten en superficies. Es por ello que en la formación de quads habrá que tener en cuenta la posible subdivisión en triángulos (Figura 107).

Una vez insertados y guardados en una familia (Figura 108) se pueden utilizar y meter toda la información necesaria.

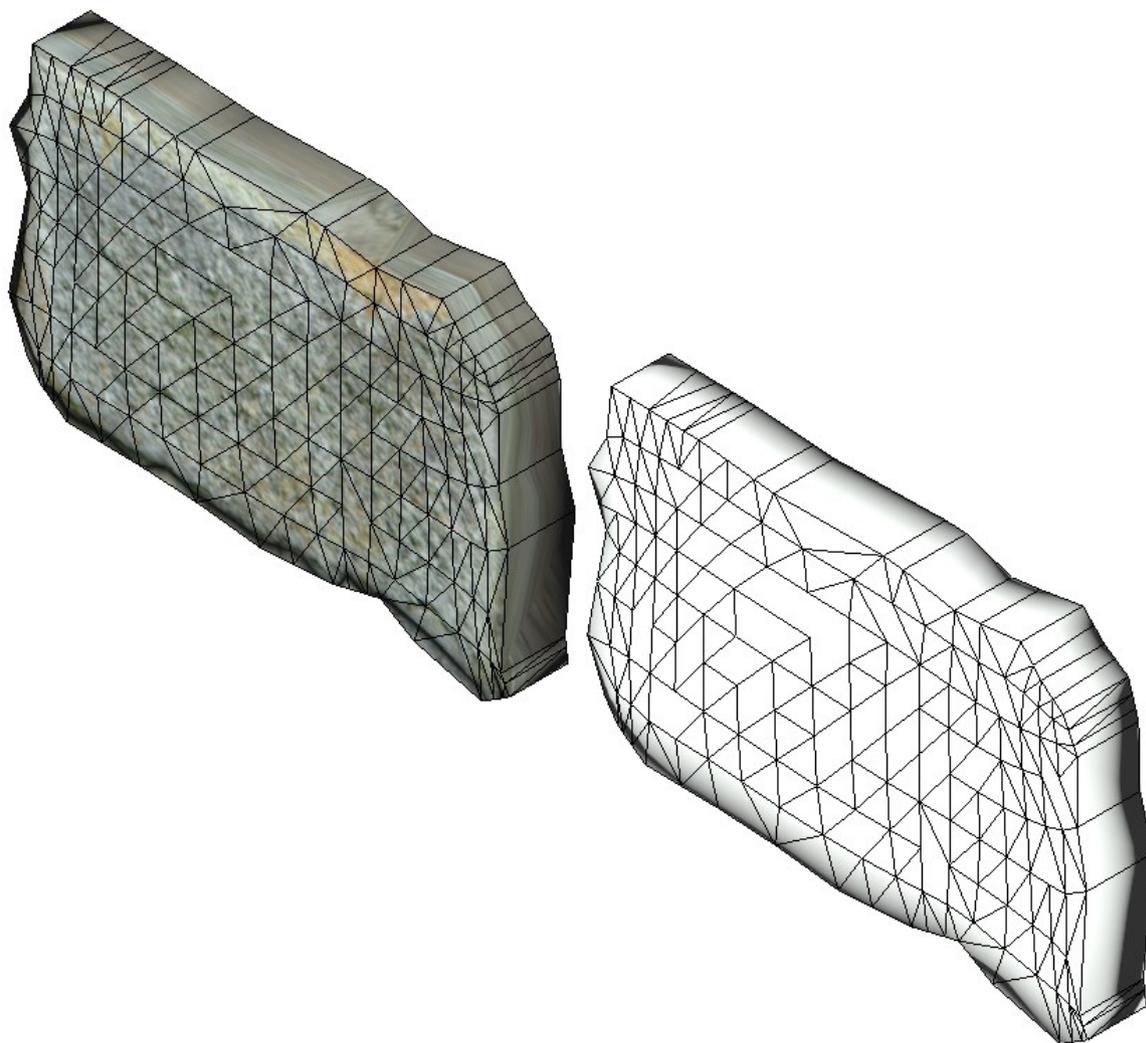


Figura 107: Triangulaciones en Revit. Elaboración propia.

## 4. PROCESO

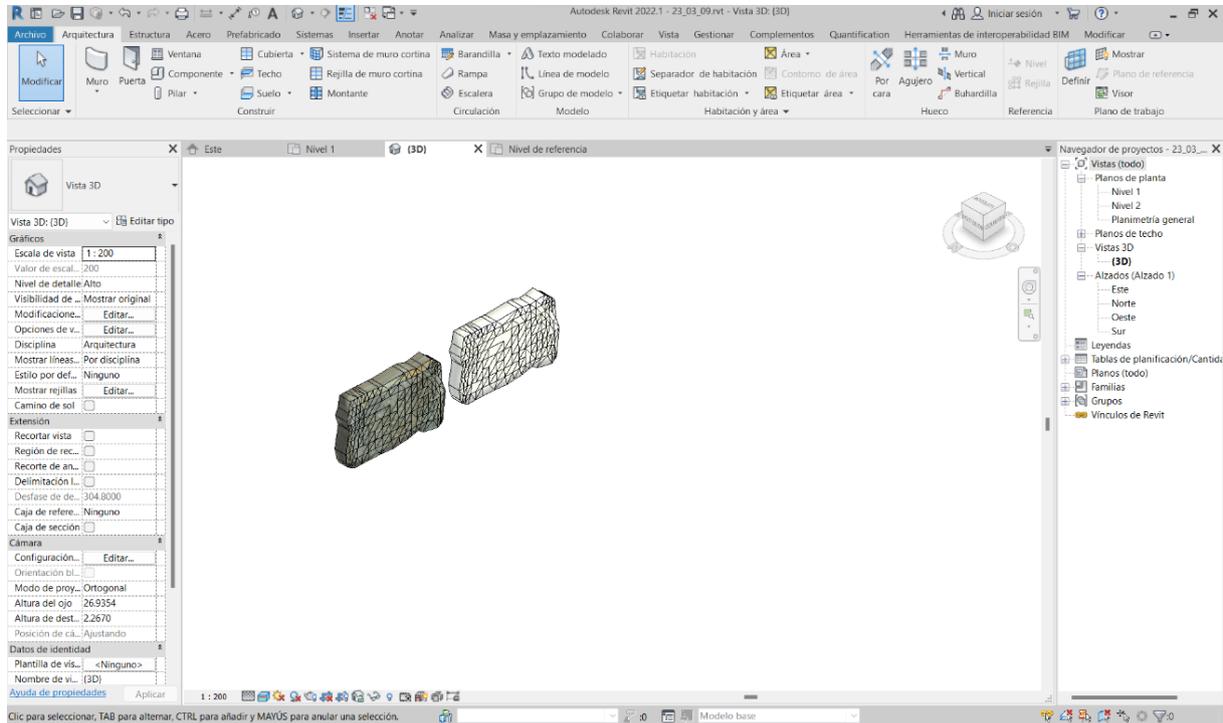


Figura 108: Sillar en BIM. Elaboración propia.

Importar volúmenes basados en mallas directamente desde la pestaña insertar de Revit ocasiona que la geometría no sea una geometría nativa del software por lo que su interacción es reducida. Se procede a insertar la geometría por medio de dynamo (Figura 109) para obtener una geometría nativa.

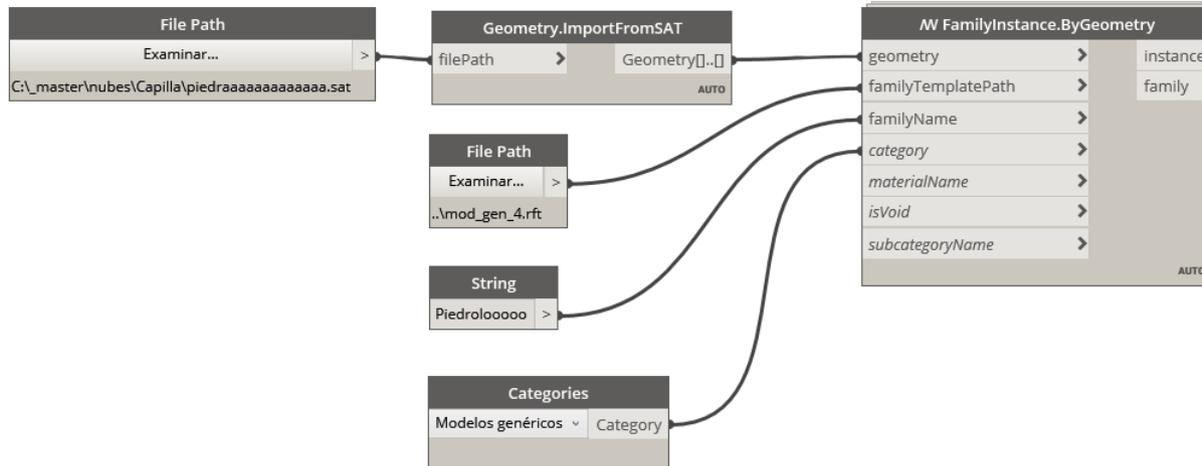


Figura 109: Insertar sólidos desde dynamo. Elaboración propia.

Al tratarse de una geometría nativa esta puede ser modificable por medio de pinzamientos (Figura 110). Si bien es cierto que esta propiedad puede no ser beneficiosa para nuestro objetivo (modificar uno de estos elementos generaría imprecisiones en el modelo) existe la posibilidad de bloquear los pinzamientos. Además, hay que añadir que con geometrías nativas podemos pintar las superficies exteriores con materiales (Figura 111). Esto resulta muy útil a la hora de señalar patologías superficiales y/o tratamientos a aplicar sobre el monumento.

De todas las características asignadas a los elementos se pueden extraer tablas con información que, si fuera preciso, relacionen los diversos datos y obtengan conclusiones y/o resultados aritméticos (Figura 112) en función de lo que nosotros le indiquemos.

#### 4. PROCESO

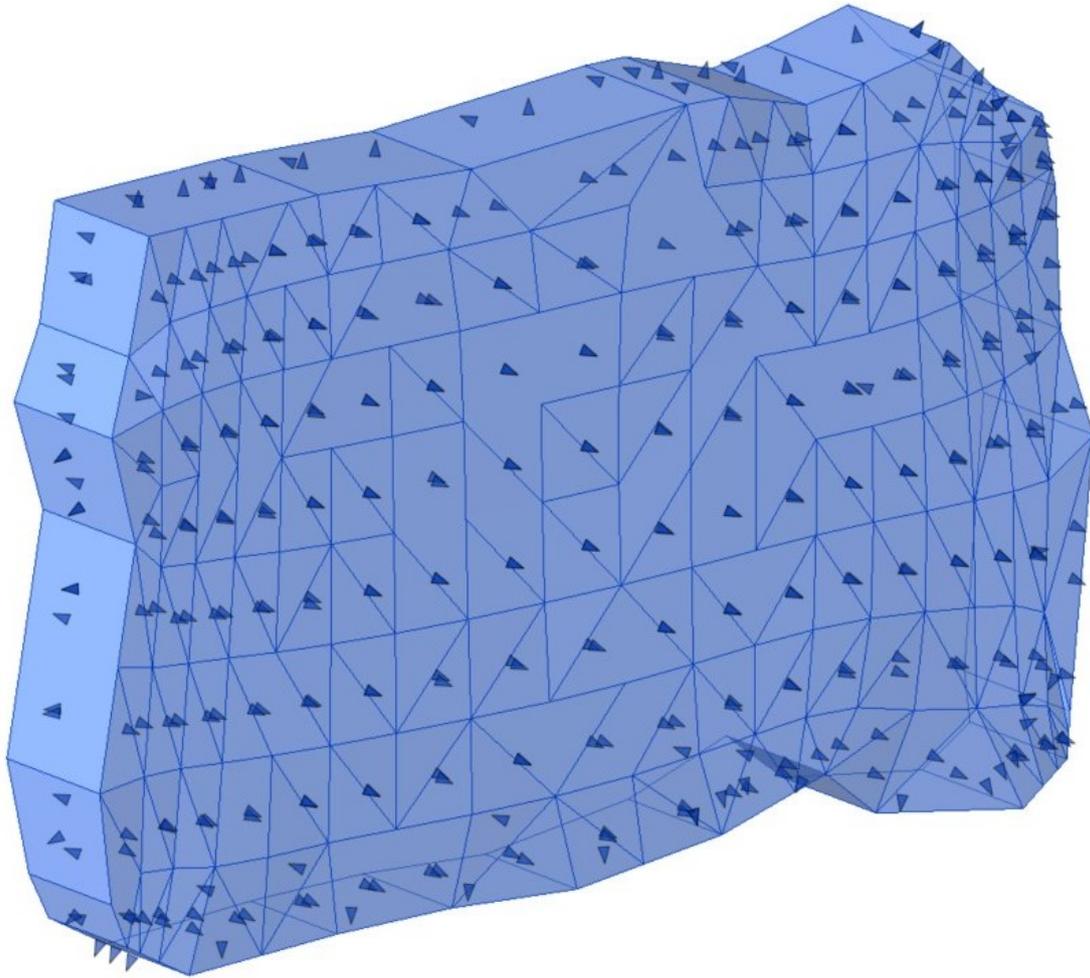


Figura 110: Geometría nativa con pinzamientos editables. Elaboración propia.

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

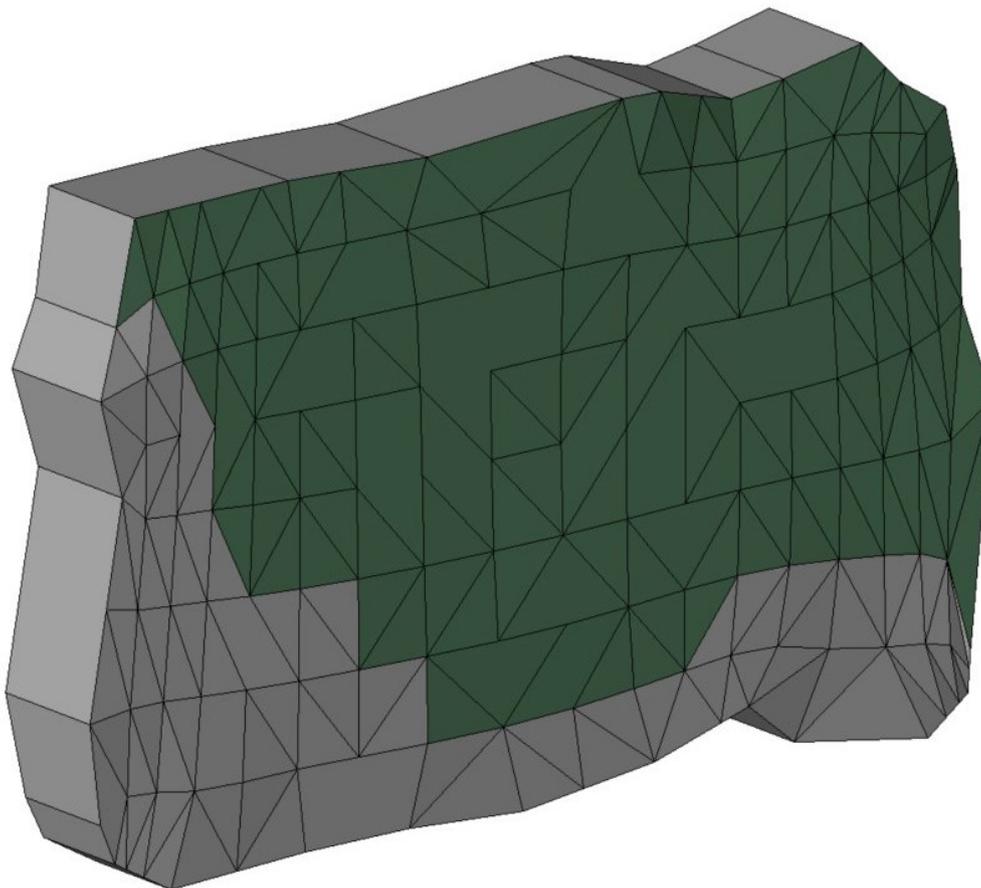


Figura 111: Pintado de superficie. Elaboración propia.

	Material: Área	Material: Volumen	Material: Peso unitario	Masa
Colonización	0.16 m <sup>2</sup>	0.00 m <sup>3</sup>	0.1 kN/m <sup>3</sup>	0.00 kg
Granito	0.46 m <sup>2</sup>	0.02 m <sup>3</sup>	26.5 kN/m <sup>3</sup>	47.48 kg

Figura 112: Propiedades elemento. Elaboración propia.

## **5. Conclusiones**

La metodología BIM busca un mayor control tanto a nivel geométrico como de información de los proyectos. En tanto en cuanto se trata de un sistema de generación de modelos con información asociada, se considera una herramienta con potencialidad infinita desde el punto de vista analítico, proyectual y/o de gestión de patrimonio.

El diseño, la concepción, la construcción y los avatares del tiempo, provocan que el patrimonio no se componga de formas puras, de primitivas (planos, esferas, conos, toros, etc.). Así pues, ante la complejidad geométrica del patrimonio arquitectónico, no hay discusión en que el sistema idóneo, fiel y preciso es la obtención de nubes de puntos densas (ya sean obtenidas mediante fotogrametría SfM o mediante escáner láser 3D) que nos definan este tipo de bienes.

También hay que señalar que, aunque estas nubes de puntos nos definan perfectamente el modelo tridimensional del objeto de levantamiento, en la mayor parte de los casos se utilizan para la obtención de secciones planas, es decir, plantas, alzados o secciones, derivadas de ortofotos provenientes de los cortes de estos modelos 3D.

Así pues, nos encontramos con modelos muy precisos, muy fieles, pero que necesitan la discretización de puntos de la nube y/o puntos de vista, de los que se obtienen dibujos planos; simplificación realizada por parte del delineante, que evidentemente, provoca la pérdida de información.

La modelización en sistema HBIM por medio de elementos paramétricos propios del software plantea los siguientes problemas: la no existencia de elementos paramétricos que definan tipos arquitectónicos patrimoniales (bóvedas, plintos, arcos, canecillos, pechinas, etc.) y la no adaptación de los elementos a las deformaciones.

Dicha modelización, a pesar de poseer volumen, así como la inclusión de información, se trata más de una simplificación-idealización de la construcción que de un levantamiento preciso del mismo. Además, ambos procesos de delineación requieren de una gran inversión de tiempo para el levantamiento en base a los puntos seleccionados por el autor.

De este análisis se extrae la siguiente cuestión: ¿Qué sentido tiene la obtención de una nube de puntos de alta precisión, si su destino final es su discretización o el uso de sus ortofotos? Ante esta cuestión surge la necesidad de investigar en cómo realizar el proceso de conversión de la propia nube de puntos o malla, en un elemento sólido que pueda ser integrado en sistema BIM. Este TFM trata de explorar las posibilidades de desarrollo de un proceso

semiautomatizado con la menor pérdida de información posible, integrando un modelo tridimensional y preciso en el modelado HBIM.

En esta investigación se extraen las siguientes conclusiones:

- No se detecta un sistema automático de conversión a sólido. Hay que tener en cuenta que los modelos obtenidos a partir de escaneados 3d y/o fotogrametrías son superficiales por lo que, como mínimo se habrá de generar esa superficie de cierre.
- La discretización de puntos, pérdida de información geométrica, no se realiza de manera aleatoria, sino que va en función de la precisión del modelo que se quiera obtener.
- Se ha de definir los elementos en que se quiere descomponer la construcción. Dicha descomposición deberá ser acorde con la escala del complejo.
- No se busca la parametrización (idealización) de los elementos, sino que se trata a cada uno de ellos como único.
- La obtención de sólidos con caras definidas por superficies trianguladas (provenientes de la malla) causan dos problemas principales: la no definición de las aristas de los elementos y la dificultad de pintado de las superficies por su descomposición en múltiples triángulos.
- Los tiempos de conversión de la nube de puntos/ malla a elementos de HBIM es arduo, lento y requiere del uso de diversos softwares.
- El modelo generado permite la inclusión de todo tipo información tanto a nivel proyectual como de gestión, de difusión, de archivo, etc.

A partir de este trabajo se abren varias vías de investigación cuyo objeto sea:

- Obtención de elementos en los que se definan sus aristas.
- Simplificación del sistema por medio de reducción de la cantidad de programas utilizados.
- Explorar otras vías de obtención de sólidos que hagan posible la generación de sólidos a partir de superficies Nurbs derivadas de la malla/ nube de puntos.

## 6. Glosario

ABIM	Archeological Building Information	BIM aplicado a la arqueología
AEC	Architecture, Engineering and Construction	
BIM	Building Information Modelling	
BRDF	bidirectional reflectance distribution function	
BTF	bidirectional texture function	
Bump Mapping	Mapeado topológico. Textura que aporta un aspecto rugoso a una superficie sin modificar su geometría	
C2C	Algoritmo que permite comparar nubes de puntos	
CAVE	<a href="https://www.cs.columbia.edu/CAVE/software/curet/">https://www.cs.columbia.edu/CAVE/software/curet/</a>	
CH	Cultural Heritage	Patrimonio cultural
CIELab	Modelo cromático basado en la percepción del ojo humano	
CYMK	Cian Magenta Yellow y Black	Sistema de color basado en cian, magenta, amarillo y negro
DA-HBIM	Diagnostic Aide HBIM	
DBAT	Damped Bundle Adjustment Toolbox	

DEM	Digital Elevation Model	Modelo digital de elevación.
EFNDT	European Federation for Non-Destructive Testing	Federeación Europea de Ensayos no Destructivos.
EXIF	Exchangeable Image File Format	
FEM	Finite Element Model	Modelo de elementos finitos
GCP	Ground Control Points	
GDL	Geometric Descriptive Language	Es lenguaje de archicad
GIS	Geographic Information System	
GPC	Global Point Cloud	
HBIM	Heritage Building Information Modelling	
HDR	High Dynamic Range	
HDS	High Definition Surface	Levantamiento gráfico de alta definición
ICF	Iterative Closest Points	
ICT	Information and Comunication Technologies	
IM	Image matching	
LIDAR	Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging	
LOD	Level of Detail	
LOI	Level of information	

## 6. GLOSARIO

LOR	Level of Reliability	
M3C2C	Algoritmo que permite comparar deformaciones	
MDE	Modelos digitales de elevación	
MDS	Modelos digitales de superficie	
Modelos paramétricos		
PCI	Point Cloud Inserts	
PS	Phase Shift	Escáner de cambio de fase
PTM	Polynomial Texture Mapping	ayuda a completar los modelados 3D de piezas arqueológicas, detectando pequeñas alteraciones y/o modificaciones de estas que no son visibles a simple vista, y midiendo pequeñas alteraciones de materiales
RGB	Red Green Blue	Sistema de color basado en rojo, verde y azul.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems	
SCMD	Sistema de captación masiva de datos	
SFM	Structure From Motion	
SMLAB	Survey And Modelling Lab of Architectural Heritage	Laboratorio para el Levantamiento y Modelización

Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

		del Patrimonio Arquitectónico que inicia su actividad en el año 2014, teniendo su sede en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Granada.
TIN	Triangulated Irregular Network	
TLS	Terrestrial Laser Scanner	
TOF	Time Of Flight	Escáner de tiempo de vuelo
UAV	Unnamed Aerial Vehicle	Vehículo aéreo no tripulado
URL	Uniform Resource Locator	Localizador de Recurso Uniforme
UTM	Universal Transverse Mercator	Sistema de coordenadas universal

## 7. Bibliografía

- Agisoft Metashape. (2022). *User Manual Professional Edition, Version 1.8*.  
[https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_8\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf)
- Antón, D., Medjdoub, B., Shrahily, R., & Moyano, J. (2018). Accuracy evaluation of the semi-automatic 3D modeling for historical building information models. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(5), 790-805. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1415391>
- Apollonio, I. F., & Remondino, F. (2010). Modellazione 3D da sensori attivi, Pipeline con laser scanner. En Edizioni Della Normale (Ed.), *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei* (pp. 94-147).
- Autodesk. (2018).  
<https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/System-requirements-for-Autodesk-Revit-2019-products.html>.
- Autodesk. (2020). Ayuda | Acerca del límite máximo de distancia | Autodesk.  
<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/ESP/?guid=GUID-3F79BF5A-F051-49F3-951E-D3E86F51BECC>
- Autodesk. (2022). *3ds Max 2023 Developer Help | Degenerate Faces | Autodesk*.  
[https://help.autodesk.com/view/MAXDEV/2023/ENU/?guid=degenerate\\_faces](https://help.autodesk.com/view/MAXDEV/2023/ENU/?guid=degenerate_faces)
- Bacci, G., Manferdini, A. M., & Masci, M. E. (2010). Il progetto del rilievo. En Edizioni Della Normale (Ed.), *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei* (pp. 64-93).
- Baily, J. (s. f.). *What Are Zero Faces In Blender And How Do They Affect 3D Printable Models? – blender base camp*. Recuperado 11 de julio de 2023, de [https://www.blenderbasecamp.com/home/what-are-zero-faces-in-blender-and-how-do-they-affect-3d-printable-models/?utm\\_content=cmp-true#google\\_vignette](https://www.blenderbasecamp.com/home/what-are-zero-faces-in-blender-and-how-do-they-affect-3d-printable-models/?utm_content=cmp-true#google_vignette)
- Baldissini, S., Manferdini, A. M., & Masci, M. E. (2010). Un sistema informativo on-line per la gestione del rilievo. En Edizioni Della Normale (Ed.), *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei* (pp. 308-335).
- Bauer, U., & Polthier, K. (2009). Generating parametric models of tubes from laser scans. *CAD Computer Aided Design*, 41(10), 719-729. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2009.01.002>
- Benavides López, J. A., Aranda Jiménez, G., Sánchez Romero, M., Alarcón García, E., Fernández Martín, S., Lozano Medina, A., & Esquivel Guerrero, J. A. (2016). 3D  
Procesado de nube de puntos y mallas para generación de sólidos y su integración en formato HBIM. El caso del Pazo do Espiño y de la Capilla de la Santa Cruz.

- modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, 495-506. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.022>
- Benavides López, José Antonio. (2017). *Nuevas tecnologías en la documentación del patrimonio: La alcazaba de Guadix - El castillo de Píñar* (Vol. 1) [Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/47477>
- Cabazos Bernal, P. M., & Cisneros Vivó, J. J. (2012). Fotogrametría con cámaras digitales convencionales y software libre. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 17(20). <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1407>
- De Luca, L. (2006). *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Définition d'une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices* (Número February). École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre d'Aix-en-provence.
- de Solà-Morales, P., Puche Fontanilles, J. M., Macias, J. M., Toldrà, J. M., & Fernández, I. (2017). Ensayos de nuevos análisis óptico-visuales para el estudio de estructuras arquitectónicas-patrimoniales. El uso de la reflectancia láser. En L. Roldán Gómez, J. M. Macias Solé, A. Pizzo, & O. Rodríguez Gutiérrez (Eds.), *Modelos constructivos y urbanísticos de la arquitectura de Hispania. Definición, evolución y difusión del periodo romano a la Antigüedad tardía (MARqHis 2013-2015)* (pp. 77-88).
- Docci, M., & Maestri, D. (2010). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Latterza Editoriale.
- Fantini, F. (2012). Modelos Con Nivel De Detalle Variable Realizados Mediante Un Levantamiento Digital Aplicados a La Arqueología. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 17(19). <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1383>
- Fernández Pino, I., Macias Solé, J. M., Puche i Fontanilles, J. M., Solà-Morales, P., & Toldrà Domingo, J. M. (2017). Metodología de análisis del circo romano de Tarragona y nuevos resultados. En *Modelos constructivos y urbanísticos de la arquitectura de Hispania. Definición, evolución y difusión del periodo romano a la Antigüedad tardía (MARqHis 2013-2015)* (pp. 117-135). <http://recercat.cat/handle/2072/302064>
- Gil-Piqueras, T., & Rodríguez Navarro, P. (2019). Fotogrametría multi-imagen mediante SFM. Revisión del software disponible. En *Avances en expresión gráfica aplicada a la edificación* (pp. 645-660).
- Guidi, G., Micoli, L. L., Gonizzi, S., Brennan, M., & Frischer, B. (2015). Image-based 3D

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- capture of cultural heritage artifacts: An experimental study about 3D data quality. *2015 Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015*, 321-324. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7419514>
- Guidi, Gabriele, Russo, M., & J.A.Beraldin. (2010). *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*.
- Kim, J., Choi, J., & Kang, W. (2020). A Data-Driven Approach for Simultaneous Mesh Untangling and Smoothing Using Pointer Networks. *IEEE Access*, 8, 70329-70342. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986488>
- Lerma, J. L., Cabrelles, M., Navarro, S., & Seguí, A. E. (2010). La documentación patrimonial mediante sensores de imagen o de barrido láser. *Documentación gráfica del Patrimonio*, 108-117. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Documentaci+n+gr?fica+del+Patrimonio#0>
- López de Rego Uriarte, J. I. (2019). *Proyecto Básico y de Ejecución para la conservación y puesta en valor de la Capilla del Cristo de Burgos y la fachada al Patio Xélmirez de la Catedral de Santiago de Compostela Fase 1*.
- Mañana-Borrazás, P., Blanco-Rotea, R., & Rodríguez-Paz, A. (2009). Geometrical documentation of cultural heritage elements with terrestrial laser scanning. The Lapa's Experience in Galicia. *Cuadernos de Estudios Gallegos*, LVI(122), 33-65. <http://digital.csic.es/handle/10261/20449>
- Mataix Sanjuán, J., León Robles, C., & Montes Tubío, F. de P. (2013). Fortalezas y debilidades de la técnica de levantamiento gráfico con escáner láser para la catalogación del Patrimonio Cultural. Aplicación a la iglesia de San Francisco (Priego de Córdoba). *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 18(21). <https://doi.org/10.4995/ega.2013.1535>
- Mora Flores, Á., Herráez Boquera, J., Navarro Esteve, P., Barros e Costa, H., & Denia Ríos, J. L. (2011). Aplicaciones De La Tecnología De Digitalización Tridimensional Por La Coordinación De Monumentos Históricos Del Instituto Nacional De Arqueología E Historia (Inah) En México Df. (2009 Y 2010). *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 16(17). <https://doi.org/10.4995/ega.2011.882>
- Moretó, J. (2018). Tema 05: Geometría de Dynamo. *DominaDynamo Dynamo para Revit*. [https://dominadynamo.com/wp-content/uploads/2018/03/T05\\_Geometría-de-Dynamo\\_r01.pdf](https://dominadynamo.com/wp-content/uploads/2018/03/T05_Geometría-de-Dynamo_r01.pdf)

- Nieto, J. E., Moyano, J. J., Rico Delgado, F., & Antón García, D. (2016). Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling. *Virtual Archaeology Review*, 7(14), 1. <https://doi.org/10.4995/var.2016.4349>
- Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(1), 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>
- Point Cloud Classification: Helpdesk Portal*. (s. f.). Recuperado 3 de julio de 2023, de <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000148866-point-cloud-classification>
- Puche Fontanilles, J. M., Macias Solé, J. P., Toldrà Domingo, J. M., & de Sola-Morales, P. (2017). Beyond metrics. Point clouds as semantic graphic expression. *EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22(31), 228-237. <https://doi.org/10.4995/ega.2017.6781>
- Rivera, B., Merchán, P., Salamanca, S., Pérez, E., Moreno, M. D., & Merchán, M. J. (2018). Creación de bibliotecas de objetos paramétricos para su integración en modelos HBIM. *XXXIX Jornadas de Automática*, 1069-1076. <https://doi.org/https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.1069>
- Rodríguez Navarro, P. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3d activos. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 17(20). <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1408>
- Rodríguez Navarro, P., Wragg, E., Verdiani, G., & Gil-Piqueras, T. (2021). Modelling the Last of the “Movies”: Discussion and Digital Survey of the Eothen Formerly MI286. *Virtual Archaeology Review*, 12(25), 57-72. <https://doi.org/10.4995/var.2021.14543>
- Santagati, C., & Lo Turco, M. (2016). From structure from motion to historical building information modeling: populating a semantic-aware library of architectural elements. *Journal of Electronic Imaging*, 26(1), 011007. <https://doi.org/10.1117/1.jei.26.1.011007>
- Yusta Bonilla, J. F., García Morales, S., & García Martínez, A. (2018). Plano guía. En *Restauración de los paramentos interiores y bóvedas de la nave central, transepto, naves laterales y triforio*.

## 8. Figuras:

Figura 1: Rectificación fotográfica.(Cabezos Bernal & Cisneros Vivó, 2012, p. 97) .....	4
Figura 2: Efecto barril y efecto cojín. Elaboración propia.....	6
Figura 3: Comparativo de tiempos de levantamiento.(J. A. Benavides López et al., 2016, p. 506).....	7
Figura 4: Análisis reflectancia de los materiales.(de Solà-Morales et al., 2017, pp. 86-87) ....	9
Figura 5: Líneas de puntos equidistantes láser escáner. Elaboración propia.....	10
Figura 6:Tipos de NURBS Curve.(Moretó, 2018, pp. 13-14).....	13
Figura 7: NurbsSurface y PolySurface. (Moretó, 2018, pp. 19-20).....	14
Figura 8: Ortofotos en planta sección. (J. A. Benavides López et al., 2016, pp. 498-499).....	15
Figura 9: Ortofoto con visión de silueta. (Puche Fontanilles et al., 2017, p. 234).....	16
Figura 10: Plano de elevaciones. (J. A. Benavides López et al., 2016, p. 499). ....	16
Figura 11: Calcado de ortofotos en 2D. ....	17
Figura 12: Malla, curvas de nivel y cortes verticales. (Fernández Pino et al., 2017, p. 122) .	17
Figura 13: Planta y sección con visión radiografiada. (Fernández Pino et al., 2017, p. 120).	18
Figura 14: Delineación de alzados. Modificado de (Mora Flores et al., 2011, p. 47) .....	18
Figura 15: Calcado 3D en dibujo no planar. Modificado de (Mañana-Borrazás et al., 2009, p. 42).....	19
Figura 16: Perfil generador (sección) y perfil directriz (arco). Elaboración propia .....	20
Figura 17: Proceso de modelado por elementos y secciones. (Santagati & Lo Turco, 2016, p. 5).....	21
Figura 18: División de superficie para aplicación de deformaciones y texturas. Modificado de (Nieto et al., 2016, pp. 5-6).....	22
Figura 19: Reconstrucción paramétrica de una tubería. a) Fotografía. b) Fotogrametría. c) Búsqueda del eje. d) Reconstrucción. e) Geometrización eje. f) Superficie reconstruida. (Bauer & Polthier, 2009, p. 721). ....	22

Figura 20: Proceso de obtención de modelo paramétrico: Análisis del tipo, obtención de parámetros, toma de datos y generación de modelo. Modificado de (Rivera et al., 2018, pp. 1072-1074).....	23
Figura 21: Proceso de conversión de malla en NURBS y resultado. Modificado de (Antón et al., 2018, p. 794,801) .....	24
Figura 22: Compresión Displaced subD (Fantini, 2012, p. 315).....	24
Figura 23: Displaced subD con detalles variable. Malla de control. Modificado de (Fantini, 2012, p. 312,317). .....	25
Figura 24: Malla base. Realizada por Javier Guerreiro (Geobim). .....	26
Figura 25: División fachadas en elementos. Elaboración conjunta: Diego Bello Iglesias, José Ignacio López de Rego Uriarte, Ignacio López de Rego Lage y David Castiñeira Expósito. ....	27
Figura 26: Nomenclátor. Modificado de Sonia García Rodríguez. ....	28
Figura 27: Tramos de la catedral. (Yusta Bonilla et al., 2018).....	29
Figura 28: División de malla y generación de superficies envolventes. Aproximación de superficies y ajuste fino. Elaboración propia.....	30
Figura 29: Extensión de superficies faltantes y creación de elemento único. Elaboración propia.....	30
Figura 30: Cerrado de huecos y conversión a sólido. Elaboración propia.....	31
Figura 31: Modelo sólido. Elaboración propia.....	31
Figura 32: Optimizado modelo. Pieza original con mallado y pieza definitiva con simplificación de mallado. Elaboración propia. ....	32
Figura 33: Inserción de sat en Revit. Elaboración propia.....	33
Figura 34: Localización piezas. Elaboración propia. ....	34
Figura 35: Consumo de RAM. Elaboración propia.....	34
Figura 36: Ocultar aristas de la malla. Elaboración propia.....	35
Figura 37: Modelo BIM completo de la fachada. Elaboración propia. ....	35
Figura 38: Tabla de monitoreo. Elaboración propia.....	38

## 8. FIGURAS

Figura 39: Información de la obra. Elaboración propia. Se difuminan campos por protección de datos. ....	39
Figura 40: Información incluida en los elementos. Elaboración propia.....	40
Figura 41: Archivo de parámetros compartidos. Elaboración propia. ....	41
Figura 42: Parámetros incluidos en vínculos de Revit. Elaboración propia.....	42
Figura 43: Parámetros incluidos en modelos genéricos. Elaboración propia. ....	43
Figura 44: Nube de puntos densa del Pazo do Espiño. Elaborado por GEOBIM.....	46
Figura 45: Pazo do Espiño. Elaboración propia (2022).....	47
Figura 46: Malla de la Capilla de la Santa Cruz. Elaboración propia.....	48
Figura 47: Orientación fotografías. Elaboración propia. ....	49
Figura 48: Nube de puntos densa. Elaboración propia. ....	50
Figura 49: Análisis de la confianza de los puntos. Elaboración propia. ....	51
Figura 50: Puntos de confianza 1. Elaboración propia.....	52
Figura 51: Nube de puntos sin clases 1 y 2. Elaboración propia.....	53
Figura 52: Nube de puntos densa sin confianza 1-3. Elaboración propia. ....	54
Figura 53: Análisis nubes de puntos. Elaboración propia.....	54
Figura 54: Clasificación de puntos. Elaboración propia. ....	55
Figura 55: Leyenda clasificación de puntos. ( <i>Point Cloud Classification : Helpdesk Portal</i> , s. f.) .....	55
Figura 56: Clasificación de los puntos de la nube. Elaboración propia. ....	56
Figura 57: Malla. Elaboración propia. ....	56
Figura 58: Selección de elementos ajenos. Elaboración propia.....	57
Figura 59: Malla sin elementos ajenos. Elaboración propia. ....	58
Figura 60: Reducción de la malla por supresión de elementos extraños. Elaboración propia. .....	58
Figura 61: Separación malla 3DS Max. Elaboración propia.....	59

Figura 62:Comparativa mallas. Elaboración propia. ....	61
Figura 63: Malla texturizada. Elaboración propia. ....	61
Figura 64: Dianas para escalado del modelo. Elaboración propia. ....	62
Figura 65: Paquetes instalados en Dynamo. Elaboración propia. ....	63
Figura 66: Análisis reducción del ámbito de la nube de puntos. Elaboración propia. ....	63
Figura 67: Reducción ámbito nube de puntos. Elaboración propia. ....	64
Figura 68: Nube insertada en Revit. Elaboración propia. ....	65
Figura 69: Programación para escoger 100 puntos de la nube. Elaboración propia. ....	66
Figura 70: Paquetes utilizados. Elaboración propia. ....	66
Figura 71: Puntos obtenidas de la reducción a 100 puntos. Elaboración propia. ....	67
Figura 72: Programación para obtener puntos $0,5 < Z < 0,6$ . Elaboración propia. ....	68
Figura 73: Análisis puntos obtenidos. Elaboración propia. ....	68
Figura 74: Puntos obtenidos entre la cota $0,5 < Z < 0,6$ . Elaboración propia. ....	69
Figura 75: Programación para obtención de polilínea. Elaboración propia. ....	70
Figura 76: Policurvas obtenidas. Elaboración propia. ....	70
Figura 77: Análisis policurvas. Elaboración propia. ....	71
Figura 78: Programación conversión a nurbscurve. Elaboración propia. ....	71
Figura 79: Nurbscurve y volumetría. Elaboración propia. ....	72
Figura 80: Programación generación líneas verticales. Elaboración propia. ....	72
Figura 81: Secciones verticales. Elaboración propia. ....	73
Figura 82: Análisis policurvas. Elaboración propia. ....	75
Figura 83: Programación para obtención de sección base horizontal. Elaboración propia. ....	76
Figura 84: Geometría de la sección horizontal. Elaboración propia. ....	76
Figura 85: Selección de puntos similares. Elaboración propia. ....	77
Figura 86: Obtención de líneas de sección cuasi planar y superficies. Elaboración propia. ...	77

## 8. FIGURAS

Figura 87: Secciones verticales cuasiplanares. Elaboración propia.....	78
Figura 88: Superficies a partir de polcurves. Elaboración propia. ....	78
Figura 89: Programación para generación nurbsurface. Elaboración propia.....	79
Figura 90: NurbsSurface. Elaboración propia. ....	79
Figura 91: Programación corte de malla por tres planos. Elaboración propia. ....	80
Figura 92: Cortes obtenidos. Elaboración propia. ....	81
Figura 93: Programación corte cúpula. Elaboración propia. ....	82
Figura 94: Cortes cúpula. Elaboración propia.....	82
Figura 95: Proceso diezmado da malla. Elaboración propia. ....	84
Figura 96: Comparativa modelos. Elaboración propia. ....	85
Figura 97: Delimitación sillar. Elaboración propia. ....	86
Figura 98: División malla. Elaboración propia.....	86
Figura 99: Selección de borde y extrusión. Elaboración propia. ....	87
Figura 100: Conversión extrusión a planar y escalado con copia del borde posterior. Elaboración propia. ....	88
Figura 101: Regularización hueco y cerrado del mismo. Elaboración propia. ....	88
Figura 102: Capilla simplificada por medio de quads. Elaboración propia. ....	89
Figura 103: Aristas duras. Elaboración propia. ....	90
Figura 104: Proceso de simplificación: redistribución triangulaciones, conversión a quads y superposición de ambas. Elaboración propia. ....	91
Figura 105: Sillar importado sin textura. Elaboración propia.....	92
Figura 106: Sillar triangulado y sillar texturizado. Elaboración propia. ....	93
Figura 107: Triangulaciones en Revit. Elaboración propia. ....	94
Figura 108: Sillar en BIM. Elaboración propia.....	95
Figura 109: Insertar sólidos desde dynamo. Elaboración propia.....	96
Figura 110: Geometría nativa con pinzamientos editables. Elaboración propia. ....	97

Figura 111: Pintado de superficie. Elaboración propia. ....	98
Figura 112: Propiedades elemento. Elaboración propia.....	98

## **ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030**

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

<b>Objetivos de Desarrollo Sostenibles</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>No Procede</b>
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>				X
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>				X
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>				X
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>				X
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>				X
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>				X
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>				X
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>	X			
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>	X			
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>				X
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>				X
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>				X
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>				X
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>				X
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>				X
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>				X
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>				X

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

**ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.**

La investigación realizada genera nuevos puestos de trabajo para el desarrollo del procesado de las nubes de puntos y generación de sólidos.

**ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.**

Se realiza una investigación para la implementación de una nueva tecnología asociada a las nubes de puntos para la generación de sólidos. Esta innovación permitirá dar un paso más en el control y análisis del patrimonio.