



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE

**MÁSTER UNIVERSITARIO**

**GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**MODELADO BIM DEL PATRIMONIO ARQUITEÓNICO**

**IGLESIA DE SAN SATURNINO EN CEADÉA, ZAMORA**

**Autor : Abderrahim, Boukraa Ahnin**

**Tutores: Jesús M<sup>a</sup> García Gago  
Luis Javier Sánchez Aparicio**

Septiembre 2023



**Agradecimientos:**

*A mi familia por todo el esfuerzo y apoyo prestado en todo momento, especialmente a mis padres y a mi mujer.*

*A mis tutores Jesús M<sup>a</sup> García Gago y Luis Javier Sánchez Aparicio por toda la ayuda prestada en la realización del TFM (Trabajo Fin de Máster).*

*A todos mis profesores que me han impartido las clases durante el estudio de máster y que me han facilitado los conocimientos teóricos y prácticos, que me han servido de referencia para resolver las dudas en la realización de este TFM.*

*A mis amigos y compañeros por todo el apoyo prestado durante el estudio de este Máster.*

## ÍNDICE

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.Introducción .....                                                                      | 9  |
| 2.Objetivos del trabajo: .....                                                            | 9  |
| 2.1. Objetivos generales .....                                                            | 9  |
| 2.2. Objetivos Específicos .....                                                          | 9  |
| 3. Estado de arte .....                                                                   | 10 |
| 3.1. Modelado de Información de Edificios Históricos (HBIM) .....                         | 10 |
| 4. Tecnologías de recopilación de datos geométricos para HBIM.....                        | 11 |
| 4.1. Técnica de escaneo láser .....                                                       | 11 |
| 4.1.1. Láser escáner Faro Focus 3D utilizado en este trabajo: .....                       | 13 |
| 4.1.2. Algunos escáneres laser de última generación para el tema de modelado 3D: .....    | 14 |
| 4.1.2.1. Escáner 3D Leica ScanStation P30 / P40.....                                      | 14 |
| 4.1.2.2. Escáner Láser móvil, Leica BLK2GO .....                                          | 14 |
| 4.1.2.3. Dron terrestre: Leica BLK2FLY Escáner láser de vuelo autónomo: .....             | 15 |
| 4.2. Técnica de fotogrametría.....                                                        | 16 |
| 4.2.1. Consideraciones previas a la toma fotográfica:.....                                | 17 |
| 4.2.2. Tipos de toma fotográfica .....                                                    | 17 |
| 4.2.3. Cámara de fotografía usada en este trabajo: .....                                  | 18 |
| 5. Caso de estudio del Modelado 3D del Patrimonio Arquitectónico. ....                    | 19 |
| 5.1. Descripción del trabajo. ....                                                        | 19 |
| 5.2. Ubicación de la iglesia Ceadea. ....                                                 | 19 |
| 5.3. Descripción formal: .....                                                            | 21 |
| 5.3.1. Tejado de la iglesia Ceadea: .....                                                 | 25 |
| 5.3.2. Suelo de la iglesia Ceadea: .....                                                  | 25 |
| 5.3.3. Muros de sillares de granito y mampostería de piedra:.....                         | 26 |
| 6. Procesos previos.....                                                                  | 27 |
| 6.1. Planificación y captura de datos geométricos.....                                    | 27 |
| 7. Trabajo de gabinete .....                                                              | 27 |
| 7.1. Softwares utilizados en el trabajo. ....                                             | 27 |
| 7.1.1. Autodesk Recap Pro: .....                                                          | 28 |
| 7.1.2. Autodesk Revit.....                                                                | 28 |
| 7.1.3. CloudCompare:.....                                                                 | 28 |
| 7.2. Visualización y verificación de la nube de puntos mediante Autodesk Recap Pro: ..... | 29 |
| 7.3. Proceso de modelado HBIM con el software Autodesk Revit .....                        | 31 |
| 7.3.1. configuración y orientación de la nube de puntos .....                             | 31 |
| 7.3.2. Organización de elementos del modelado 3D .....                                    | 33 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.3. Modelado de muros .....                                                                               | 34 |
| 7.3.3.1. Ejemplo de creación de un tipo de muro con perfiles de barrido: .....                               | 34 |
| 7.3.3.2. Creacion de las familias de perfil de barrido.....                                                  | 36 |
| 7.3.4. Creación de muros de sillares de granito: .....                                                       | 38 |
| 7.3.5. Creación de la parte superior de la espadaña de la iglesia Ceadea. ....                               | 40 |
| 7.3.6. Creación de molduras.....                                                                             | 41 |
| 7.3.7. Creación de las campanas. ....                                                                        | 42 |
| 7.3.8. Creación de pináculo pequeño:.....                                                                    | 44 |
| 7.3.9. Creación de las cubiertas de la iglesia Ceadea. ....                                                  | 45 |
| 7.3.9.1. Creación la estructura de madera de par y nudillo de la cubierta de la nave....                     | 45 |
| 7.3.9.2. Modelado 3D de la cubierta de la capilla .....                                                      | 47 |
| 7.3.9.3. Modelado 3D de los tejados.....                                                                     | 49 |
| 7.3.10. Creación de la familia puerta. ....                                                                  | 50 |
| 7.3.11. Creación de la familia Ventana.....                                                                  | 51 |
| 7.3.12. Colocación de las familias, puerta y ventana en sus correspondientes aperturas en el modelo 3D. .... | 52 |
| 7.3.13. Creación de la topografía del terreno. ....                                                          | 55 |
| 7. Productos generados.....                                                                                  | 56 |
| 8. Conclusión .....                                                                                          | 60 |
| 9. Referencias: .....                                                                                        | 61 |
| 10. Anexos .....                                                                                             | 63 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 (a) Proceso de escaneo láser para crear una nube de puntos; (b) Nube de puntos georreferenciada, (X, Y, Z). Fuente: (López et al.,2018)..... | 11 |
| Figura 2 Sistemas y Precisión del escaneo láser terrestre (TLS). Fuente: (López et al.,2018) .....                                                    | 12 |
| Figura 3 Láser escáner Faro Focus 3D. Fuente: Faro. Com / focus .....                                                                                 | 13 |
| Figura 4 Características del láser escáner Faro Focus 3D. Fuente: Faro. Com / focus.....                                                              | 13 |
| Figura 5 Leica ScanStation P40/P30. Fuente: Leica Geosystems.....                                                                                     | 14 |
| Figura 6 Escáner Láser móvil, Leica BLK2GO. Fuente: Leica Geosystems.....                                                                             | 14 |
| Figura 7 Nube de puntos obtenidos por BLK2GO. Fuente: Leica Geosystems .....                                                                          | 15 |
| Figura 8 Leica BLK2FLY Escáner láser de vuelo autónomo. Fuente: Leica Geosystems.....                                                                 | 15 |
| Figura 9 Escáner láser autónomo volador BLK2FLY BLK2GO. Fuente: Leica Geosystems .....                                                                | 16 |
| Figura 10 Tipos de toma fotográfica. Fuente [12]. .....                                                                                               | 17 |
| Figura 11 Cámara Canon EOS 350D DIGITAL. Fuente: Mundodelafotografía. Com .....                                                                       | 18 |
| Figura 12 Características de Canon EOS 350D DIGITAL. Fuente: Camerarace. com.....                                                                     | 19 |
| Figura 13 Nube de puntos de la iglesia Ceadea. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.....                                                             | 19 |
| Figura 14 Imagen satélite de la ubicación de la Iglesia Ceadea, Google Maps .....                                                                     | 20 |
| Figura 15 Ubicación del pueblo Ceadea en el mapa de Google Maps. ....                                                                                 | 20 |
| Figura 16 Imagen de la Iglesia Ceadea. Fuente: Felipe Cuenca Díaz.....                                                                                | 21 |
| Figura 17 Pórtico de la iglesia Ceadea. Fuente: Terraduro. ....                                                                                       | 21 |
| Figura 18 Entrada hacia el campanario y la pequeña ventana de sacristía de la izquierda.<br>Fuente: Elaboración propia. ....                          | 22 |
| Figura 19 Campanario de la iglesia Ceadea. Fuente: Terraduro.....                                                                                     | 22 |
| Figura 20 Fachada sur, que tiene la ventana, y la facha este de la capilla. Fuente: Elaboración<br>propia. ....                                       | 23 |
| Figura 21 Fachada norte de la capilla, la nave y la espadaña. Fuente: Elaboración propia. ....                                                        | 23 |
| Figura 22 Fachada oeste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                                         | 24 |
| Figura 23 Estructura de madera de la cubierta de capilla, vista desde abajo. Fuente: Elaboración<br>propia. ....                                      | 24 |
| Figura 24 Estructura de madera de las cubiertas de capilla y nave, vista desde abajo. Fuente:<br>Elaboración propia. ....                             | 25 |
| Figura 25 Tejado de la iglesia Ceadea, vista desde arriba. Fuente: Elaboración propia. ....                                                           | 25 |
| Figura 26 Pavimento de suelo con piedras de granito en forma de red. Fuente: Elaboración<br>propia. ....                                              | 25 |
| Figura 27 Muro de mampostería y sillares de granito. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                 | 26 |
| Figura 28 Reparación de muro por ladrillo de macizo. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                 | 26 |
| Figura 29 Muro de sillares de granito de la espadaña. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                | 27 |
| Figura 30 Autodesk Recap Pro: Fuente: AUTODESK .....                                                                                                  | 28 |
| Figura 31 Autodesk Revit: Fuente: AUTODESK .....                                                                                                      | 28 |
| Figura 32 CloudCompare: Fuente: CloudCompare.....                                                                                                     | 28 |
| Figura 33 Los tres archivos importados mostrados en el interfaz de Recap pro. Fuente: Captura<br>de pantalla Recap Pro.....                           | 29 |
| Figura 34 visualización de la nube de puntos en el interfaz de Recap pro. Fuente: Captura de<br>pantalla Recap Pro.....                               | 29 |
| Figura 35 Eliminación de los puntos exteriores no deseados. Fuente: Captura de pantalla Recap<br>Pro. ....                                            | 30 |
| Figura 36 Edición del cuadro de delimitación que controle la visibilidad de las áreas del<br>proyecto. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.....     | 30 |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 37 Eliminación de los puntos en sitios interiores y complicados de ver. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.....                  | 31 |
| Figura 38 Configuración de las unidades. Fuente: Captura de pantalla Revit. ....                                                           | 31 |
| Figura 39 Alineación de la nube de puntos según las líneas de referencia horizontales y verticales. Fuente: Captura de pantalla Revit..... | 32 |
| Figura 40 Organización de elementos del modelado 3D.....                                                                                   | 33 |
| Figura 41 Herramientas para crear formas del modelado. Fuente: captura de pantalla Revit. ..                                               | 33 |
| Figura 42 Vista nube de puntos a nivel de referencia a destinos elevaciones. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                        | 34 |
| Figura 43 Mediciones del grosor de muros sobre la nube de puntos. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                                   | 34 |
| Figura 44 Proceso de crear el tipo de muro y su edición. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                                            | 35 |
| Figura 45 Edición de capas y asignación del material. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                                               | 35 |
| Figura 46 Carga de perfiles para barridos de muro. Fuente: Captura de pantalla Revit. ....                                                 | 36 |
| Figura 47 Vista previa del tipo de muro con sus perfiles y acabados. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                                | 36 |
| Figura 48 Carpeta English de plantillas para crear nuevas familias. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                                 | 37 |
| Figura 49 Familia cornisa exterior creada sobre la plantilla Metric Profile.rtf. Fuente: Captura de pantalla Revit.....                    | 37 |
| Figura 50 Familia perfil parametrizado, creada sobre la plantilla Metric Profile.rtf. Fuente: Captura de pantalla Revit. ....              | 37 |
| Figura 51 Primera aproximación al modelado de los muros de la iglesia Ceadea. Fuente: Captura de pantalla Revit. ....                      | 38 |
| Figura 52 Parametrización de la familia bloque de piedra. Fuente: Captura de pantalla Revit. .                                             | 39 |
| Figura 53 Modelado de sillares de granito y sus juntas. Fuente: Captura de pantalla Revit, elaboración propia. ....                        | 39 |
| Figura 54 Parámetros de Corte de la pieza. Fuente: Captura de pantalla Revit, elaboración propia. ....                                     | 40 |
| Figura 55 Creación de la ventana circular. Fuente: Captura de pantalla Revit, elaboración propia. ....                                     | 40 |
| Figura 56 Dibujo de líneas sobre la nube de puntos para la extrusión sólida. Fuente: Elaboración propia. ....                              | 41 |
| Figura 57 Modelado 3D de las partes medio y superior de la espadaña. Fuente: Elaboración propia. ....                                      | 41 |
| Figura 58 Boceto de camino para el perfil. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                | 41 |
| Figura 59 Dibujo del perfil sobre la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia.....                                                       | 42 |
| Figura 60 Modelado 3D de los perfiles de la espadaña. Fuente: Elaboración propia. ....                                                     | 42 |
| Figura 61 Creación del contrapeso. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                        | 43 |
| Figura 62 Creación de eje de giro. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                        | 43 |
| Figura 63 Creación de las campanas. Fuente: Elaboración propia.....                                                                        | 43 |
| Figura 64 Modelado 3D de las campanas de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia. ....                                               | 43 |
| Figura 65 Proceso de creación de pináculo pequeño. Fuente: Elaboración propia. ....                                                        | 44 |
| Figura 66 Modelado 3D del pináculo pequeño de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia. ....                                          | 44 |
| Figura 67 Modelado 3D de la parte superior de la espadaña. Fuente: elaboración propia.....                                                 | 45 |
| Figura 68 Modelado 3D de tirantes y sus canecillos. Fuente: elaboración propia.....                                                        | 45 |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 69 Modelado 3D de tirantes, canecillos y el cuerpo de par y nudillo. Fuente: elaboración propia .....                                      | 45 |
| Figura 70 Parametrización de la familia tablazón y sus propiedades. Fuente: elaboración propia .....                                              | 46 |
| Figura 71 Familia de tablazón vista en 3D. Fuente: elaboración propia.....                                                                        | 46 |
| Figura 72 Creación de la cubierta de 3cm para colocación de las tablazones. Fuente: elaboración propia .....                                      | 47 |
| Figura 73 Modelación 3D de tablazón del almizate y de la cubierta. Fuente: elaboración propia .....                                               | 47 |
| Figura 74 Modelado 3D las cuadrales. Fuente: elaboración propia .....                                                                             | 47 |
| Figura 75 Modelado 3D de las vigas diagonales de la cubierta de la capilla. Fuente: elaboración propia .....                                      | 48 |
| Figura 76 Empalme de las cuatro vigas diagonales en el vértice. Fuente: elaboración propia ...                                                    | 48 |
| Figura 77 Modelado 3D de la estructura de madera, cubierta de la capilla. Fuente: elaboración propia .....                                        | 48 |
| Figura 78 Modelación 3D de tablazón de la cubierta capilla. Fuente: elaboración propia .....                                                      | 48 |
| Figura 79 Modelado 3D de la estructura de madera de todas las cubiertas de la iglesia Ceadea. Fuente: elaboración propia .....                    | 49 |
| Figura 80 Modelado 3D de la familia teja. Fuente: Grupo Render 7 School .....                                                                     | 49 |
| Figura 81 Modelado 3D de la familia teja cumbre .....                                                                                             | 49 |
| Figura 82 Modelado 3D del tejado de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia .....                                                           | 50 |
| Figura 83 Vista de plano de planta de la familia puerta. Fuente: Elaboración propia. ....                                                         | 50 |
| Figura 84 Vista de plano interior y de 3D interior y exterior de la familia puerta. Fuente: Elaboración propia. ....                              | 51 |
| Figura 85 Creación de los perfiles de la familia ventana. Fuente: Elaboración propia.....                                                         | 51 |
| Figura 86 Creación de los cristales y producto final de la familia ventana. Fuente: Elaboración propia. ....                                      | 52 |
| Figura 87 Propiedades de la familia ventana. Fuente: Elaboración propia .....                                                                     | 52 |
| Figura 88 Apertura de la entrada de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                            | 53 |
| Figura 89 Creación de la extrusión sólida, para cerrar la apertura precisamente donde se va a colocar la puerta. Fuente: Elaboración propia. .... | 53 |
| Figura 90 Colocación de la familia puerta principal da la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia. ....                                        | 54 |
| Figura 91 Ventana de la capilla de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                             | 54 |
| Figura 92 Importación de nube de puntos limpia a CloudCompare. Fuente: Elaboración propia. ....                                                   | 55 |
| Figura 93 Reducción de puntos, un punto cada metro cuadrado. Fuente: Elaboración propia..                                                         | 55 |
| Figura 94 Terreno ajustado a la nube de puntos original. Fuente: Elaboración propia. ....                                                         | 56 |
| Figura 95 Modelado 3D del terreno alrededor de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia. ....                                                | 56 |
| Figura 96 Fachada norte de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                                     | 57 |
| Figura 97 Fachada este, de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia .....                                                                    | 57 |
| Figura 98 Fachada sureste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia .....                                                                  | 57 |
| Figura 99 Fachada sur de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                                       | 58 |
| Figura 100 Fachada oeste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                                    | 58 |
| Figura 101 Fachada noroeste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                | 59 |
| Figura 102 Muebles de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.....                                                                          | 59 |

## 1.Introducción

El patrimonio histórico arquitectónico de las comunidades o de los estados, a lo largo de los tiempos pasados, estaba expuesto a varios factores de deterioro o de destrucción debido a los fenómenos naturales o a conflictos provocados por los humanos, lo que producen grandes pérdidas morales y económicas.

De allí, surge la idea de reconstrucciones digitales que presentan un gran potencial para recuperar el patrimonio perdido. Sin embargo, la producción de estos modelos semánticamente ricos podría requerir equipos especiales y experiencia para la recopilación, el procesamiento, el modelado y la gestión de datos. Estos recursos podrían no estar disponibles. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar métodos accesibles para ayudar a la conservación y recuperación cultural tras su deterioro utilizando procesos de última generación como Building Information Modeling (BIM).

BIM Modelo de Información para la Construcción es un proceso para planear, diseñar, construir y administrar, orientado a obras nuevas.

BIM podría definirse como un conjunto interdisciplinar de procesos que utiliza información geométrica y no geométrica para producir elementos paramétricos que representen los bienes construidos [1].

El desarrollo de entornos y herramientas BIM suelen estar orientados a proyectos de nueva construcción, con un apoyo soporte para la complejidad de los sitios patrimoniales [2]. Por ello, Murphy et al. (2009) identificaron el Heritage Building Information Modeling (HBIM) como un proceso más amplio que combina tecnologías de adquisición de datos con entornos BIM para producir modelos patrimoniales integrales. Los datos espaciales relativos al patrimonio histórico se recopilan usando tecnologías modernas, como el escaneado láser y la fotogrametría, y se procesan para producir nubes de puntos. Esas nubes se desarrollan aún más dentro de los entornos BIM para producir elementos paramétricos que reflejan los datos geométricos, físicos e históricos de los bienes patrimoniales [3].

## 2.Objetivos del trabajo:

### 2.1. Objetivos generales

El objetivo general de este trabajo es conseguir la digitalización del patrimonio arquitectónico mediante la aplicación de la creciente tecnología digital BIM, que ayuda a documentar, preservar y visualizar el patrimonio arquitectónico.

### 2.2. Objetivos Específicos

Modelación paramétrica del patrimonio histórico “Iglesia de San Saturnino Ceadea de Zamora” a partir de la nube de puntos obtenidos por escaneado láser y fotogrametría, usando el proceso del Modelado de Información de Edificios Históricos (HBIM), un modelo especial del BIM, que proporciona una solución para el modelado paramétrico de edificios históricos.

### 3. Estado de arte

#### 3.1. Modelado de Información de Edificios Históricos (HBIM)

Los edificios históricos son el resultado de una serie de transformaciones que han sufrido a lo largo de su historia, por lo que deben ser concebidos como producto de una secuencia de acciones constructivas, destructivas y transformadoras. Además, estas edificaciones se caracterizan por el uso de materiales y técnicas constructivas, en muchos casos, específicas de cada edificio [4]. La gestión de la información recopilada durante el proceso de conocimiento de la construcción juega un papel crucial en el campo de la documentación y conservación de la arquitectura [5].

La metodología BIM se basa en una serie de fundamentos que han propiciado un interés creciente en el campo del estudio del patrimonio construido. El enfoque multi e interdisciplinar, la extensión de la visión más allá de las tres dimensiones espaciales clásicas, pasando por implementar tiempo, costes, sostenibilidad y gestión, así como una concepción del edificio no sólo como un objeto en sí mismo sino como una unión de elementos, que representan y contienen información y relaciones, son factores clave del BIM y también imprescindibles a la hora de trabajar el patrimonio construido. Sin embargo, la transición de lo diseñado a lo construido ha requerido un cambio de paradigma, el desarrollo de un nuevo enfoque destinado a leer y comprender el patrimonio primero, y luego su representación y comunicación. Según esta lógica nació lo que Murphy (2009) [6] denominó HBIM [7].

Las tecnologías H-BIM son herramientas que utilizan nubes de puntos obtenidos mediante dispositivos de escaneo láser o fotogrametría y se procesan para obtener objetos paramétricos que pueden contener datos relativos a objetos reales, ya sean geométricos, físicos, datos históricos, etc. [3]. Los métodos apropiados para recopilar datos gráficos son técnicas de fotogrametría y escaneo láser 3D. Las superficies de los objetos escaneados con estas tecnologías se transfieren al plano geométrico mediante nubes de puntos; sin embargo, se accede a la información semántica, morfológica y tipológica a través de fuentes textuales e históricas. Esta información proporciona detalles sobre los materiales y técnicas constructivas del edificio, sus características arquitectónicas y las transformaciones que ha sufrido desde el pasado hasta el presente. La utilización de todos los datos recopilados en una base de datos constituye la base de la segunda etapa, las nubes de puntos generadas se modelan de forma paramétrica utilizando técnicas automáticas o manuales. El método automático se deriva de la segmentación automática y la creación de objetos paramétricos mediante nubes de puntos utilizando algoritmos específicos y complementos de software disponibles para superficies niveladas o geometrías primitivas. Sin embargo, el método manual implica integrar directamente nubes de puntos filtradas en entornos BIM para generar objetos [8].

El uso de modelado paramétrico completo está ganando atención para nuevos edificios con patrones de modelo repetitivos debido a una mejor escalabilidad y control del modelo. Para edificios patrimoniales, se propone el uso de modelado paramétrico completo cuando artefactos patrimoniales del mismo tipo (por ejemplo, partes de un edificio patrimonial, como puertas y ventanas) que comparten características geométricas comunes (por ejemplo, puertas revestidas con paneles de madera rectangulares) se pueden

utilizar como el instrumento para la duplicación y adaptación a otros edificios dentro del contexto arquitectónico similar [9].

De acuerdo con la información presentada anteriormente, los proyectos HBIM utilizan las tecnologías de escaneo láser y fotogrametría como herramientas fundamentales para adquisición de datos geométricos y no geométricos.

Muchos investigadores y diseñadores BIM apuestan por el futuro avance de herramientas tecnológicas para lograr la mejor representación posible del patrimonio histórico y sus elementos personalizados mediante el proceso HBIM.

## 4. Tecnologías de recopilación de datos geométricos para HBIM.

### 4.1. Técnica de escaneo láser

Se adoptan tecnologías de escaneo láser por su capacidad para acelerar la recopilación de datos espaciales de edificios existentes o superficies complejas, así como por la exactitud y precisión de los datos adquiridos.

Los escáneres láser se subdividen en dos áreas específicas, aéreas y terrestres. Cada uno tiene un rango y precisión adecuado al uso al que será destinado. En particular, Laser Scanner Technologies (TLS) funcionan a través de un rayo láser que viaja hacia el área que se está escaneando y regresa, mide ángulos y distancias con precisiones de milímetros a centímetros (Figura 1a). En este contexto, TLS obtiene una reproducción geométrica precisa y detallada de objetos tridimensionales en un corto tiempo, en forma de millones de puntos (una nube de puntos), con coordenadas geométricas (X, Y, Z) (Figura 1b), en un entorno digital, con información tanto métrica como radiométrica [3].

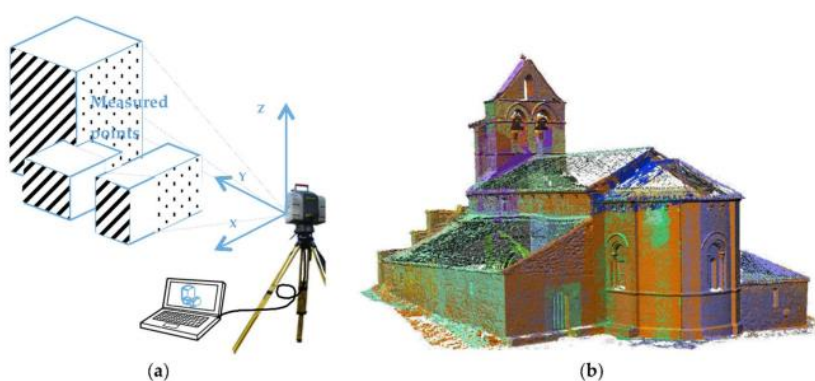


Figura 1 (a) Proceso de escaneo láser para crear una nube de puntos; (b) Nube de puntos georreferenciada, (X, Y, Z).  
Fuente: (López et al., 2018)

Además, entre los sistemas TLS destacan tres tipos diferentes: triangulación, diferencia de fase y tiempo de vuelo (Time of Flight: TOF). Cada uno de estos sistemas TLS es capaz de producir nubes de puntos de los objetos; sin embargo, la precisión y la densidad de las nubes de puntos obtenidas variarán dependiendo del tipo de escáner seleccionado, así como el número de exploraciones realizadas (Figura 2) [10].

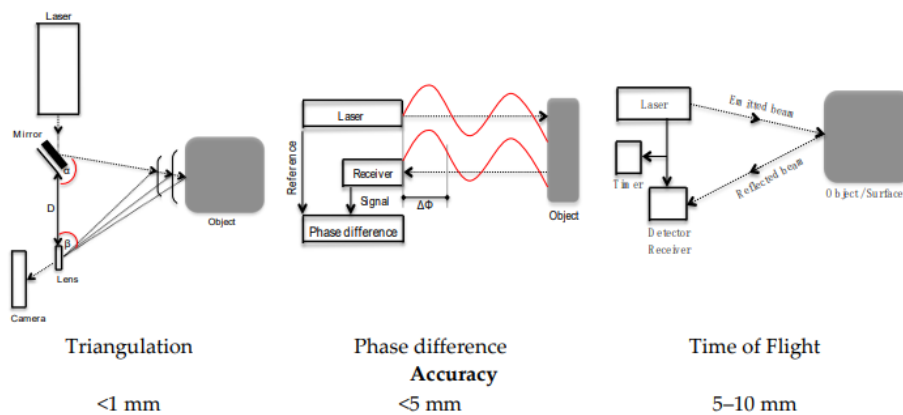


Figura 2 Sistemas y Precisión del escaneo láser terrestre (TLS). Fuente: (López et al., 2018)

Actualmente, TLS juega un papel muy importante en una amplia gama de propósitos que pueden ser directamente extrapolado al patrimonio cultural, incluido el seguimiento de una intervención, detección de defectos, o la reproducción de modelos existentes. Sin embargo, el alto costo de estas tecnologías, la necesidad para la gestión especializada y el preprocesamiento de la información adquirida se puede considerar como desafíos y/o desventajas. Hay que tener en cuenta que, en general, no es posible capturar toda la información geométrica de algunos objetos o superficies externas desde una sola posición de escaneo, ya que puede haber elementos que bloqueen la vista del escáner. Por esta razón, es necesario colocar el escáner en diferentes posiciones con respecto al objeto. Los datos extraídos de los diferentes escaneos crean nubes de puntos parciales  $\{(x_i, y_i, z_i)\}$ , y luego cada una de estas nubes de puntos se fusionaron para dar lugar a una nube global que describirá el sitio. Este proceso se conoce como registro de la nube de puntos. Para realizar el registro, es necesario establecer una cierta superposición entre puntos adyacentes (es decir, 20–30%). En esta superposición, varios puntos de unión u objetivos comunes entre nubes de puntos deben ser identificados [3].

La alineación de nubes de puntos se realiza comúnmente utilizando un algoritmo de optimización basado en el punto más cercano iterativo, Iterative Closest Point, (ICP). La alineación frecuentemente cuenta con la ayuda del usuario con software de procesamiento y edición de datos 3D. Posteriormente, para que se pueda utilizar la nube de puntos sin procesar, se realizan una serie de pasos, como limpiar y filtrar el “ruido” de los datos de la nube de puntos. La limpieza y el filtrado generalmente son asistidos por el usuario, con un software específico para el manejo de nubes de puntos, ya que es necesaria la interpretación de la escena (por ejemplo, limpiar puntos de árboles, personas o valores atípicos).

Alternativamente, se puede utilizar el mallado de superficies poligonales como método de procesamiento de datos. Con este método, se crea una superficie compuesta de triángulos en la nube de puntos. Esta malla está editada para rellenar agujeros en la nube, así como suavizar y reducir los puntos del modelo. El preprocesamiento de la información se considera vital, ya que el alineamiento y depuración de la nube de puntos es lo que permite referenciar con precisión la información capturada [3].

#### 4.1.1. Láser escáner Faro Focus 3D utilizado en este trabajo:



Figura 3 Láser escáner Faro Focus 3D. Fuente: Faro. Com / focus

## FARO Laser Scanner Focus<sup>3D</sup>

[www.faro.com/focus](http://www.faro.com/focus)

### Especificaciones de rendimiento

#### Unidad de medición de distancia

Intervalo de univocidad: 153.49 m (503.58 pies).

Rango de Focus<sup>3D</sup> 120<sup>1</sup>: 0.6 m a 120 m en interior o exterior con poca luz ambiental e incidencia normal a una superficie reflectora del 90 %.

Rango de Focus<sup>3D</sup> 20<sup>2</sup>: 0.6 m a 20 m en una incidencia normal en una superficie reflectora mate mayor que el 10 %.

Velocidad de medición: 122,000/244,000/488,000/976,000 puntos/s.

Error de la medición de la distancia<sup>3</sup>: ±2 mm a 10 m y 25 m, cada una a un coeficiente de reflexión del 90 % y 10 %.

| Error de medición <sup>3</sup> | a 10 m | a 10 m, se reduce el error <sup>4</sup> | a 25 m  | a 25 m, se reduce el error <sup>4</sup> |
|--------------------------------|--------|-----------------------------------------|---------|-----------------------------------------|
| a 90 % de ref.                 | 0.6 mm | 0.3 mm                                  | 0.95 mm | 0.5 mm                                  |
| a 10 % de ref.                 | 1.2 mm | 0.6 mm                                  | 2.20 mm | 1.1 mm                                  |

#### Unidad de color

Resolución: Color de hasta 70 megapíxeles.

Característica dinámica de color: Ajuste automático del brillo.

#### Unidad deflectora:

Campo visual vertical (vertical/horizontal): 305°/360°.

Tamaño de los pasos (vertical/horizontal): 0.009° (40,960 píxeles 3D en 360°)/0.009° (40,960 píxeles 3D en 360°).

Velocidad máx. de escaneo vertical: 5,820 rpm o 97 Hz.

#### Láser (emisor óptico)

Potencia del láser (cw Ø): 20 mW (láser de clase 3R).

Longitud de onda: 905 nm.

Divergencia del haz: Típica de 0.16 mrad (0.009°).

Diámetro del haz al salir: 3.8 mm, circular.

#### Control y tratamiento de datos

Almacenamiento de datos: SD, SDHC™, SDXC™; tarjeta de 32 GB incluida.

Control del escáner: A través de una pantalla táctil.

Nuevo acceso WiFi (WLAN): Control remoto, se puede visualizar el escaneo y la descarga en dispositivos móviles con Flash®.

#### Sensor múltiple

Compensador de dos ejes: Cada nivel analiza con una precisión de 0.015° y un rango de ±5°.

Sensor de altura: Detecta la altura en relación a un punto fijo a través de un barómetro electrónico y la agrega al escaneo.

Compás: El compás electrónico le brinda orientación al escaneo. Se incluye una función de calibración.



1) Depende de la luz ambiental, que puede ser una fuente de error. La luz ambiental brillante (por ejemplo, la luz del sol) puede disminuir el rango real del escáner a distancias menores. En condiciones de poca luz ambiental, el rango puede ser mayor a 120 m para la incidencia normal en superficies altamente reflectoras.

2) El error de medición de distancia se define como el error máximo en la distancia que mide el escáner desde el punto de origen hasta un punto en un objetivo plano.

3) El error de medición se define como una desviación estándar de valores sobre el plano óptico.

4) Se puede activar un algoritmo de reducción de error a puntos promediados en conjuntos de 4 o 16 y así reducir el error de los datos no procesados por un factor de 2 o 4.

Sujeto a cambios sin previo aviso. Patentado: EE. UU. 7,430,068 B2; 7,733,544; 7,847,922 B2.

Figura 4 Características del láser escáner Faro Focus 3D. Fuente: Faro. Com / focus

4.1.2. Algunos escáneres laser de última generación para el tema de modelado 3D:

*4.1.2.1. Escáner 3D Leica ScanStation P30 / P40*

El Leica ScanStation P30/P40 ofrece datos 3D de la más alta calidad, así como imágenes de alto rango dinámico (HDR) a una velocidad de escaneo rápida de 1 millón de puntos por segundo con alcances de hasta 270 m. El rango y la precisión angular, el bajo ruido y el compensador de doble eje proporcionan una buena base para conseguir nubes de puntos 3D en color altamente detalladas y una claridad propia del mundo real.



*Figura 5 Leica ScanStation P40/P30. Fuente: Leica Geosystems*

*4.1.2.2. Escáner Láser móvil, Leica BLK2GO*

El BLK2GO es un escáner láser de mano para la captura de imágenes y escaneo, que crea un gemelo digital 3D mientras camina por un espacio, realiza millones de mediciones precisas para recrear el espacio que lo rodea en 3D, los datos capturados constituyen la base para crear modelos BIM y HBIM, es una de las mejores innovaciones de 2020, no requiere un trípode ni un operador capacitado.



*Figura 6 Escáner Láser móvil, Leica BLK2GO. Fuente: Leica Geosystems*



*Figura 7 Nube de puntos obtenidos por BLK2GO. Fuente: Leica Geosystems*

#### *4.1.2.3. Dron terrestre: Leica BLK2FLY Escáner láser de vuelo autónomo:*

- El Leica BLK2FLY es un escáner láser de vuelo autónomo con un sistema avanzado para evitar obstáculos y facilitar la captura de la realidad desde el cielo. Mientras vuela, captura exteriores de edificios, estructuras y entornos para crear nubes de puntos 3D. También dispone del sensor GrandSLAM que fusiona LiDAR, radar, cámaras y GNSS para una cobertura de escaneo completa y rutas de vuelo optimizadas.



*Figura 8 Leica BLK2FLY Escáner láser de vuelo autónomo. Fuente: Leica Geosystems*



*Figura 9 Escáner láser autónomo volador BLK2FLY BLK2GO. Fuente: Leica Geosystems*

#### 4.2. Técnica de fotogrametría.

La fotogrametría es una técnica de medición 3D precisa, sin contacto, que se basa en varias imágenes de alta calidad que permiten acelerar la recopilación de datos semánticos y espaciales de un edificio u objeto. La fotogrametría es una técnica basada en la triangulación, donde las líneas de visión de cámaras, que se encuentran ubicadas en varios lugares, se unen en un punto común del objeto. Los resultados que se obtienen con el levantamiento fotográfico son imágenes ortográficas o modelos de superficies trianguladas y texturizadas.

Según Grussenmeyer, 2008 [11], el post-procesamiento de la reconstrucción fotográfica puede considerarse una gran desventaja. Esto se debe a que es un proceso que genera un gran esfuerzo manual y consume mucho tiempo, sobre todo cuando la textura del objeto es pobre y su forma muy compleja. Además, para que las imágenes puedan ser utilizadas como modelos 2D o 3D de alta precisión, primero se deben aplicar procesos de intersección de puntos característicos y escalabilidad a cada captura obtenida y posteriormente combinarlos con mediciones topográficas o empíricas precisas.

Aunque el desarrollo actual de la inteligencia computacional no permite una automatización completa, la combinación de la fotogrametría con la visión por ordenador (básicamente incorporando algoritmos de Estructura para el Movimiento (Structure for Motion: SfM)) está empezando a proporcionar resultados precisos en el modelado 3D del patrimonio cultural. El acceso gratuito y en línea a multitud de fotografías de calidad se está convirtiendo en una forma incomparablemente rápida, barata y realista de capturar la realidad para reproducir virtualmente artefactos y edificios. Es por eso, cada vez es más fácil encontrar herramientas de software para reconstruir modelos 3D a partir de fotografías de forma más automática posible [3].

#### 4.2.1. Consideraciones previas a la toma fotográfica:

Para empezar la toma de fotos, se debe hacer previamente un análisis del contexto que incluya las condiciones de iluminación existentes en la escena, ya que influirán en la estrategia de disparo y en los valores de exposición, apertura y sensibilidad de la cámara; junto con un análisis de posibles ocultaciones debido a la presencia de obstáculos y que afectará al protocolo de toma múltiple de imágenes y los solapes existentes entre imágenes adyacentes. La longitud focal de la cámara se debe mantenerla constante y fijada en infinito a lo largo de toda la toma. No obstante, podría suceder que para determinadas tomas de detalle se emplease una focal diferente debido a la cercanía al objeto de interés.

Para la toma fotográfica se recomienda la cámara réflex por la posibilidad que ofrece de configurar parámetros básicos de la toma, aunque se podrían emplear cámaras del tipo compacta e incluso smartphones.

En la configuración de la cámara se emplea siempre la ISO más baja posible, desaconsejando el empleo de  $ISO > 800$  por la pérdida de la calidad en la imagen. La apertura de diafragma estará comprendida entre  $f/4$  y  $f/5.6$ , evitando aperturas de diafragma inferiores a  $f/8$  que, aun aportando una mayor profundidad de campo, pueden originar fotografías borrosas por difracción. En cuanto a la velocidad de exposición, se debe tener en cuenta el uso del trípode para tiempos de exposición menores a  $1/60$ . Así mismo, se deben de realizar las fotografías con focal constante. Las condiciones de iluminación idóneas serán aquellas en las que la luz sea uniforme en todo el objeto, como los días nublados [12].

Para poder dotar al objeto de propiedades métricas, es necesario disponer de alguna medida conocida entre dos puntos reconocibles en las imágenes, midiendo la distancia entre ellos, por ejemplo, con cinta métrica, o bien incorporando a la escena algún tipo de jalón o triada que permita su identificación en al menos tres fotografías para poder escalar así el modelo.

#### 4.2.2. Tipos de toma fotográfica

El tipo de toma que se puede realizar vendrá determinado por una serie de factores intrínsecos al edificio, como dimensiones, forma y morfología y factores externos relacionados con el entorno, como presencia de oclusiones y distancia a edificios colindantes. En la siguiente figura, citamos los distintos tipos de toma fotográfica: Circular (izquierda), planar (centro) y básica independiente (derecha).

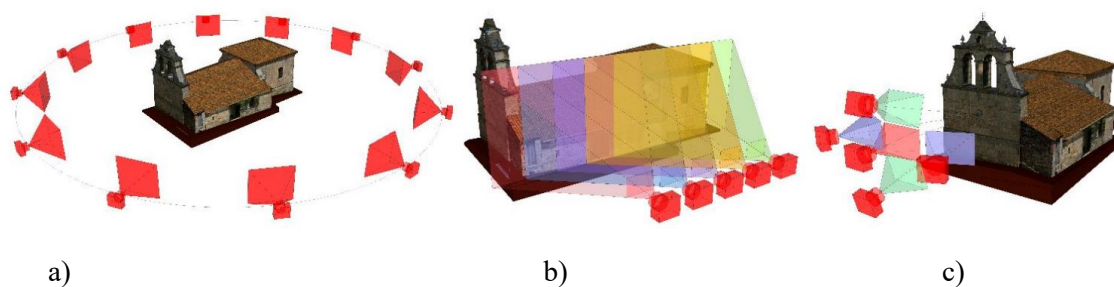


Figura 10 Tipos de toma fotográfica. Fuente [12].

a) **Toma circular o en anillo:** será la que realizaremos para obtener el modelo 3D de todo el edificio que nos permita posteriormente realizar las secciones necesarias para dibujar la planta de este. Las imágenes serán convergentes, garantizando un solape mínimo del 80% entre fotografías adyacentes, aumentando el número de fotografías en las esquinas de tal forma que éstas permitan “atar” las distintas caras que componen el objeto. La distribución de las fotografías alrededor de la edificación se realizará de forma que siempre se mantenga una proporción adecuada entre la base (separación entre fotografías) y la distancia al objeto de interés. Para asegurar la correspondencia de imágenes durante la etapa de orientación, como norma general, la separación entre dos puntos de estación debe formar, aproximadamente, un ángulo de intersección de 15° con el objeto [12].

El número de imágenes necesarias para la medida completa depende esencialmente de las dimensiones, forma, morfología y situación respecto de edificaciones colindantes del edificio estudiado y de la longitud de la focal empleada.

b) **Toma planar o de mosaico:** Recomendada para documentar únicamente una fachada de un edificio, efectuando una serie de imágenes frontales a la fachada con un solape mayor al 80% entre fotos adyacentes [12].

c) **Toma básica independiente:** En el caso de documentar una fachada de un tamaño pequeño y fácilmente abarcable o algún elemento arquitectónico aislado, el tipo de toma puede estar compuesta por cinco fotografías en cruz con un solape entre tomas adyacentes superior al 90%, con una imagen central principal, totalmente frontal a la fachada y cuatro fotografías complementarias que se tomarán a la izquierda, derecha, arriba y abajo de la toma principal, que adoptarán una ligera perspectiva convergente [12].

#### 4.2.3. Cámara de fotografía usada en este trabajo:



Figura 11 Cámara Canon EOS 350D DIGITAL. Fuente: Mundodelafotografía. Com

| TECNOLOGÍA        |                        |
|-------------------|------------------------|
| TECNOLOGÍA        | CMOS                   |
| FORMATO           | APS-C                  |
| DIMENSIONES       | 22,2 x 14,8 mm         |
| ZONA              | 328,56 mm <sup>2</sup> |
| RESOLUCIÓN        | 8 Mp                   |
| RESOLUCIÓN MÁXIMA | 3456 x 2304            |
| ISO MÁX.          | 1600                   |
| ISO MÍN.          | 100                    |
| FORMATO RAW       | ✓                      |

Figura 12 Características de Canon EOS 350D DIGITAL. Fuente: Camerarace. com

## 5. Caso de estudio del Modelado 3D del Patrimonio Arquitectónico.

### 5.1. Descripción del trabajo.

Se trata de un modelado HBIM, de la iglesia de Ceadea, a partir de la nube de puntos facilitados por los profesores Jesús M<sup>a</sup> García Gago y Luis Javier Sánchez Aparicio.



Figura 13 Nube de puntos de la iglesia Ceadea. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.

### 5.2. Ubicación de la iglesia Ceadea.

La iglesia Ceadea conocida como iglesia parroquial de San Saturnino se encuentra separada del núcleo, al noroeste del casco urbano Ceadea y a la vera del camino tradicional que une Ceadea y Arcillara, en una suave elevación del terreno.

El pueblo Ceadea pertenece al municipio de Fonfría, rozando con Portugal, situada en el oeste de la provincia de Zamora de la comunidad autónoma de Castilla y León.

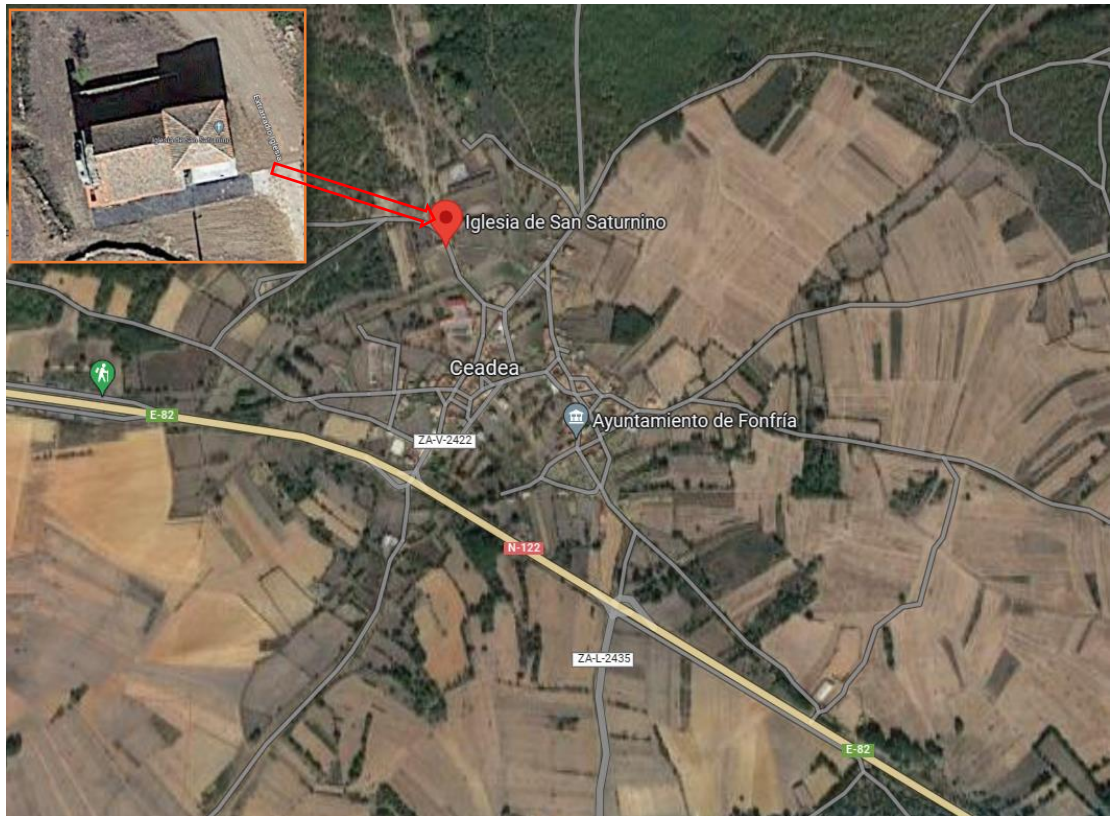


Figura 14 Imagen satélite de la ubicación de la Iglesia Ceadea, Google Maps

Nota: La foto que han puesto en Google Maps de esa Iglesia no corresponde con la realidad.

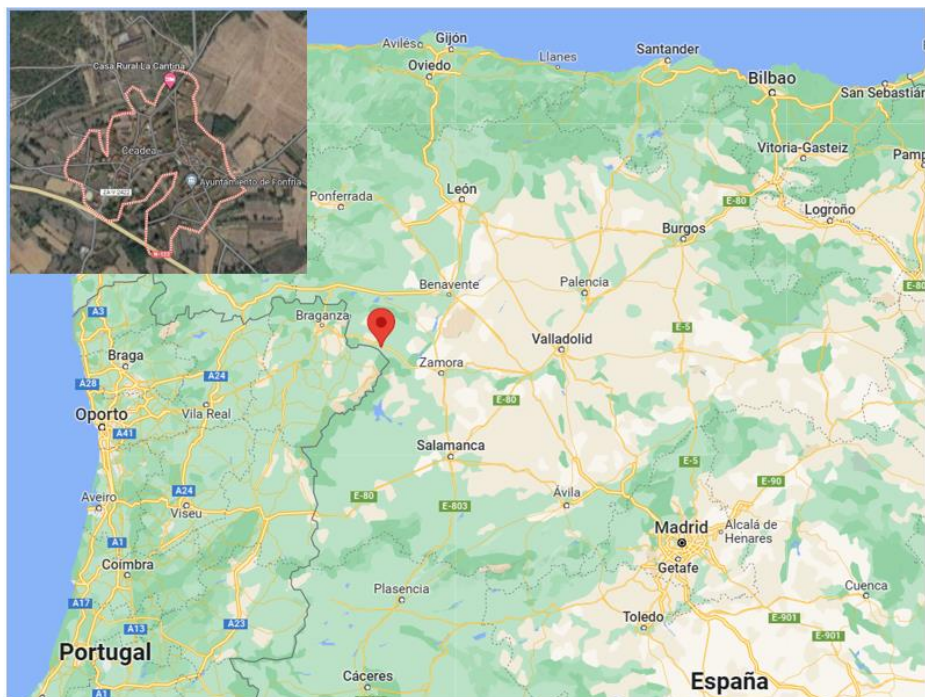


Figura 15 Ubicación del pueblo Ceadea en el mapa de Google Maps.

### 5.3. Descripción formal:

La iglesia Ceadea, es un pequeño templo de sillares de granito y mampostería de piedra, está compuesto por una sola nave y capilla de mayor altura, con contrafuertes exteriores en la nave para contrarrestar el empuje del arco interior que comunica los dos espacios. Su trabajada espadaña con elementos barrocos destaca sobre la sobriedad del resto del edificio. Tiene dos accesos en la fachada sur, uno en la parte izquierda que da acceso hacia el campanario por escaleras de piedra y otro central da acceso a la nave.

La entrada de la nave es de arco de medio punto, junto con una ventana que da luz a la nave, resguardadas por un pequeño pórtico sobre dos columnas. La iglesia también tiene dos sacristías en cada lado del pórtico de la misma fachada sur, comparten la misma cubierta y forman un único entramado con pendiente hacia el sur. La sacristía de derecha tiene entrada desde el pórtico y sin ventanas, la de la izquierda tiene acceso desde la nave y tiene una pequeña ventana en la fachada sur.



*Figura 16 Imagen de la Iglesia Ceadea. Fuente: Felipe Cuenca Díaz*

Ventana y entrada de arco de medio punto de la nave y entrada de la sacristía de derecha resguardadas por el pequeño pórtico sobre dos columnas.



*Figura 17 Pórtico de la iglesia Ceadea. Fuente: Terraduro.*



*Figura 18 Entrada hacia el campanario y la pequeña ventana de sacristía de la izquierda. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 19 Campanario de la iglesia Ceadea. Fuente: Terraduro.*

La capilla y la nave forman un solo volumen, comunicados mediante un gran arco de medio punto, con una ventana en la fachada sur. Tanto la capilla como la nave están formados por muros de mampostería de piedra y en las esquinas por sillares de granito cruzados, lo que da al cuerpo una buena consolidación, cubiertos mediante estructura de madera, siendo en la nave a dos aguas con estructura de par y nudillo con tirantes y en la capilla a cuatro aguas con cuatro faldones sin almizate y con cuadrales en las esquinas atando los estribos y asegurando la no deformación del ángulo.



*Figura 20 Fachada sur, que tiene la ventana, y la facha este de la capilla. Fuente: Elaboración propia.*

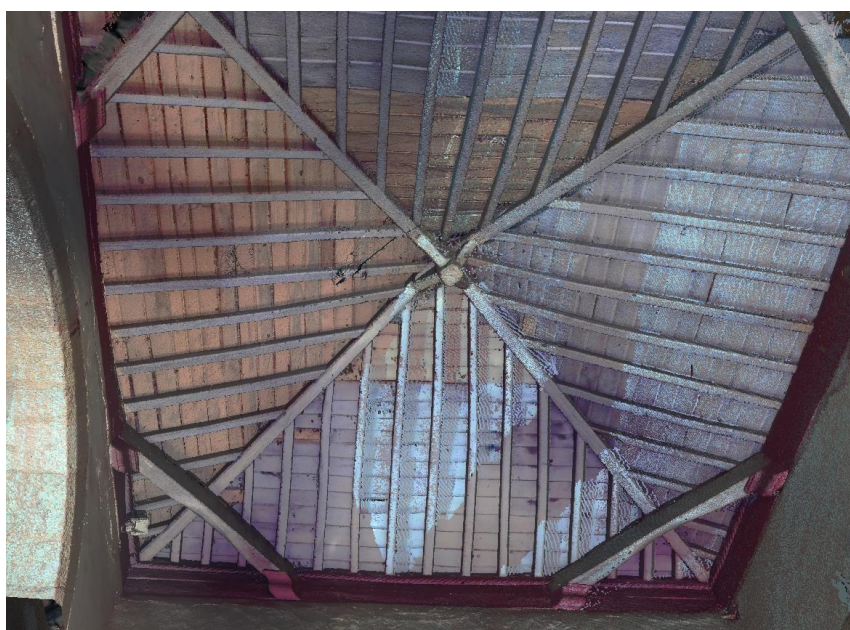


*Figura 21 Fachada norte de la capilla, la nave y la espadaña. Fuente: Elaboración propia.*

La iglesia Ceadea tiene una voluminosa espadaña en la parte oeste, está compuesta solo por sillares cruzados de granito, y con huecos para dos campanas y remate piramidal, además de un hueco circular centrado en la fachada y que da luz a la nave.



*Figura 22 Fachada oeste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 23 Estructura de madera de la cubierta de capilla, vista desde abajo. Fuente: Elaboración propia.*

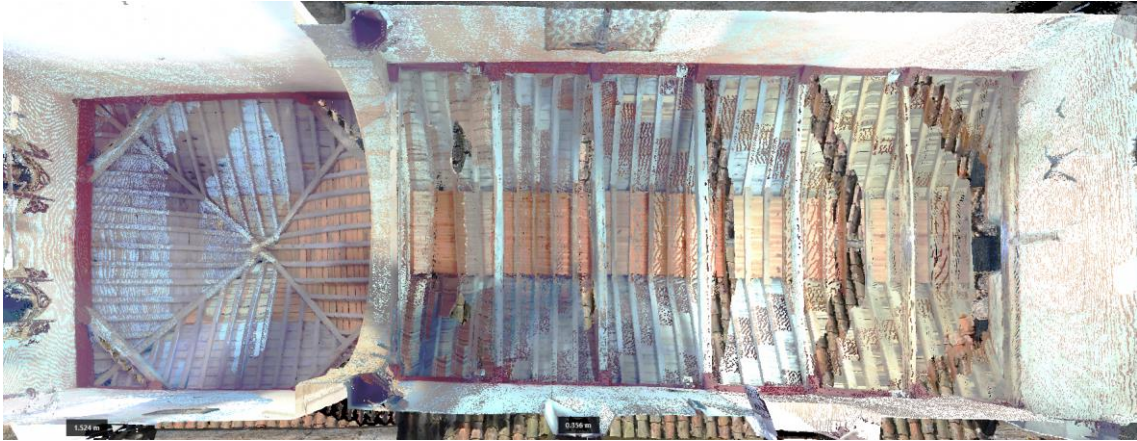


Figura 24 Estructura de madera de las cubiertas de capilla y nave, vista desde abajo. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.1. Tejado de la iglesia Ceadea:

Los tejados de la iglesia están cubiertos por elementos de cobertura en forma de canalón, estos elementos llamados tejas curvas de cerámica de bordes convergentes, se usan en las cubiertas inclinadas y permiten obtener diferentes valores de solape entre ellas.



Figura 25 Tejado de la iglesia Ceadea, vista desde arriba. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2. Suelo de la iglesia Ceadea:

El suelo de la nave, esta pavimentado con piezas de granito que forma una red de paralelos y perpendiculares de rectángulos estrechos y tres en tres de cuadrados entre estos paralelos, hasta llegar a los tres escalones de la plataforma de la capilla.



Figura 26 Pavimento de suelo con piedras de granito en forma de red. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.3. Muros de sillares de granito y mampostería de piedra:

Los muros de la iglesia son de mampostería de piedra, están ligados con mortero de cal o barro y sus esquinas son de sillares de granito. En los muros que fueron reparados tras un deterioro por pérdida de materiales de construcción, usaron una mezcla de cemento y arena para unir los ladrillos de macizo y otros restos de piedra. Estos muros están revestidos por el mortero de cal excepto los muros de la espadaña que son solo de sillares de granito sin ningún revestimiento.



*Figura 27 Muro de mampostería y sillares de granito. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 28 Reparación de muro por ladrillo de macizo. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 29 Muro de sillares de granito de la espadaña. Fuente: Elaboración propia.*

## 6. Procesos previos.

### 6.1. Planificación y captura de datos geométricos.

Antes de empezar la captura de datos geométricos habrá de planificar e identificar los mínimos puntos posibles de estación para cubrir la medición de todo el objeto, en este caso la Iglesia Ceadea, tanto dentro como fuera de este.

Los aparatos de medición, para obtener nube de puntos, se optan según la complejidad y la precisión requerida para el proyecto. En el caso de este estudio, se realizó la toma de datos mediante el escáner FARO FOCUS 3D S120 dentro del edificio y por fuera se utilizó la cámara terrestre Canon EOS 350D DIGITAL.

La precisión de los datos recopilados es importante cuando se trata del modelado HBIM, sobre todo para modelar los elementos complejos como los de la decoración de pilares, columnas, arcos, etc.

## 7. Trabajo de gabinete.

La nube de puntos que procesamos en este trabajo para el modelado HBIM del patrimonio arquitectónico esta facilitada por los profesores Jesús M<sup>a</sup> García Gago y Luis Javier Sánchez Aparicio.

### 7.1. Softwares utilizados en el trabajo.

En este trabajo vamos a necesitar los siguientes softwares que permiten construir el modelado paramétrico HBIM a partir de la nube de puntos del patrimonio arquitectónico, Iglesia Ceadea.

#### 7.1.1. Autodesk Recap Pro:

Recap Pro es un software es fácil de usar, permite importar archivos de puntos de escaneos para visualizar en 3D la nube de puntos, así como filtrar, limpiar, clasificar terreno, exportar fichero en diferentes formatos (\*. rep, \*. rcs, \*. Pts, \*. e57).



Figura 30 Autodesk Recap Pro: Fuente: AUTODESK

#### 7.1.2. Autodesk Revit

Es un software de diseño inteligente de modelado BIM, usando el modelado paramétrico de objetos y elementos constructivos del edificio de manera colaborativa.

Revit permite a los agentes implicados en el proceso de creación de un proyecto BIM, trabajar de manera unificada en una única plataforma, diseñar, colaborar, visualizar de manera más real del conjunto de trabajo, así como modificaciones en el proyecto sin que los cambios influyan a todo el proceso, lo que agiliza el tiempo de trabajo y minimiza el riesgo de cometer errores durante la ejecución del proyecto.



Figura 31 Autodesk Revit: Fuente: AUTODESK

#### 7.1.3. CloudCompare:

Es un software libre, diseñado para procesar nube de puntos 3D, permite clasificar, reducir la nube de puntos, construir modelados 3D a partir del mallado triangular de la nube de puntos, así como sacar secciones horizontales y verticales del modelo.

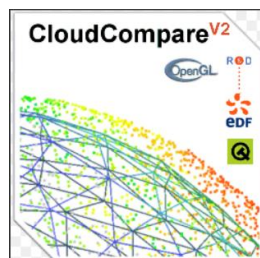


Figura 32 CloudCompare: Fuente: CloudCompare

## 7.2. Visualización y verificación de la nube de puntos mediante Autodesk Recap Pro:

El software Recap Pro permite importar archivo de puntos de escaneo \*. e57 y visualizar, clasificar, limpiar y realizar mediciones de distancia y ángulos sobre la nube de puntos.

En el primer paso, importamos los tres archivos de escaneo nombrados como:

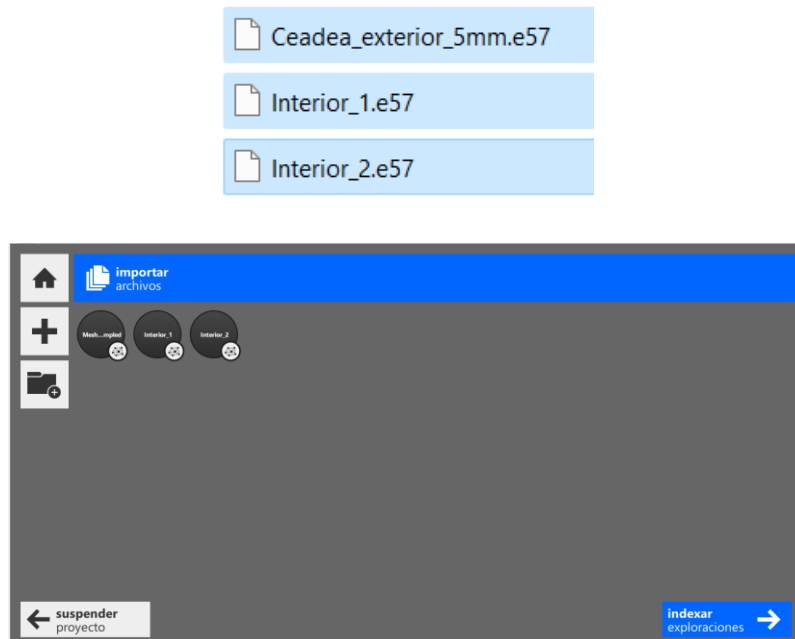


Figura 33 Los tres archivos importados mostrados en el interfaz de Recap pro. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.

Al pulsar Indexar exploraciones se inicia el proyecto de la nube de puntos donde podemos actuar sobre ella mediante los iconos visibles en el interfaz.

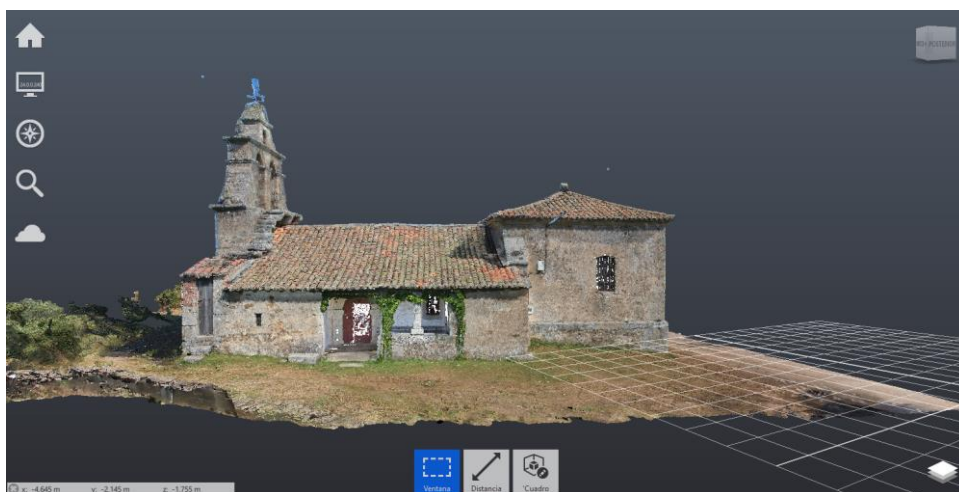


Figura 34 visualización de la nube de puntos en el interfaz de Recap pro. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.

En esta nube de puntos existen puntos no deseados para el futuro proceso, como la existencia de obstáculos entre el escáner y el objeto (Personas, arboles, coches, ...), así que hay que eliminarlos y dejar la nube de puntos limpia.

Seleccionamos los puntos que queremos eliminar mediante el icono ventana y se suprime, también con la ayuda de edición del cuadro de delimitación que controle la visibilidad de las áreas del proyecto podemos acceder y eliminar los puntos en sitios interiores y complicados de ver.

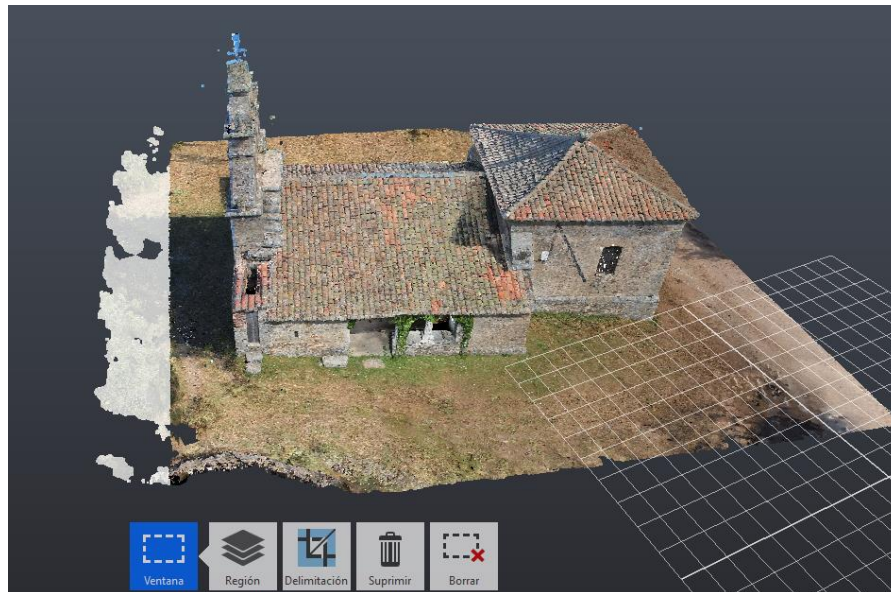


Figura 35 Eliminación de los puntos exteriores no deseados. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.



Figura 36 Edición del cuadro de delimitación que controle la visibilidad de las áreas del proyecto. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.

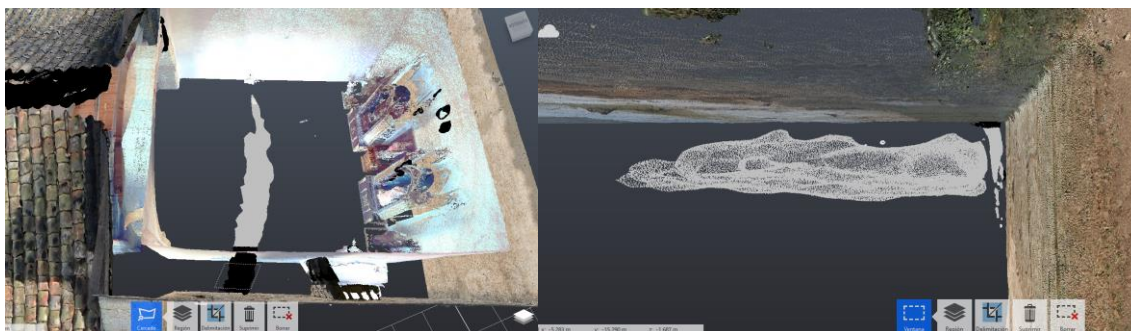


Figura 37 Eliminación de los puntos en sitios interiores y complicados de ver. Fuente: Captura de pantalla Recap Pro.

Cuando ya esta limpio el producto procedemos a guardarlo en formato \*.rcp o exportarlo en otros formatos RCP,RCS,PTS y E57. En este caso lo guardamos en formato \*.rcp para importarlo a Revit como proyecto de nube de puntos.

### 7.3. Proceso de modelado HBIM con el software Autodesk Revit

#### 7.3.1. configuración y orientación de la nube de puntos

El siguiente proceso en este estudio es realizacion del modelado HBIM usando el software **Autodesk Revit**, así que creamos el nuevo proyecto Revit de plantilla arquitectónica y verificamos las unidades del proyecto poniendo las de distancia y longitud a metro, ver el siguiente cuadro.

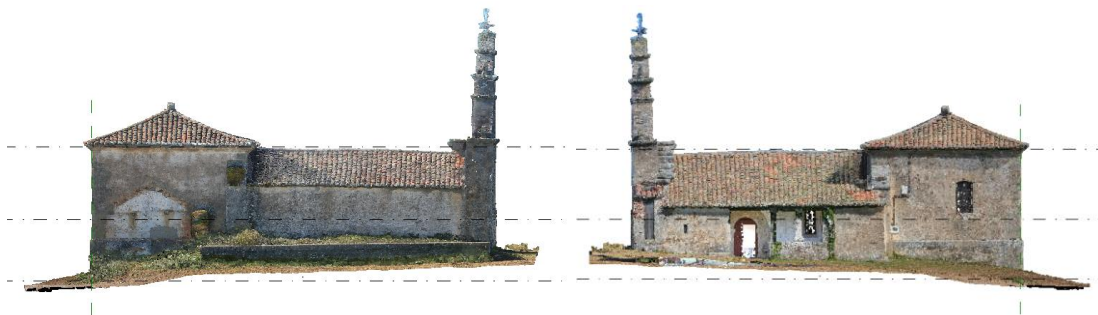
| Unidades           | Formato       |
|--------------------|---------------|
| Ángulo             | 12.35°        |
| Área               | 1234.57 m²    |
| Coste por área     | 1235 \$/m²    |
| Distancia          | 1235 [cm]     |
| Longitud           | 1234.57 [m]   |
| Densidad de masa   | 1234.57 kg/m³ |
| Ángulo de rotación | 12.35°        |
| Pendiente          | 12.35°        |
| Velocidad          | 1234.6 km/h   |
| Duración           | 1234.6 s      |
| Volumen            | 1234.57 m³    |
| Divisa             | 1234.57       |

Símbolo decimal/agrupación de cifras:  
123,456,789.00

Formato dialog box options:  
☐ Utilizar configuración de proyecto  
 Unidades: Metros  
 Redondeo: 2 posiciones decimales (Incremento de redondeo: 0.01)  
 Símbolo de unidad: Ninguno  
☐ Suprimir ceros a la derecha  
☐ Suprimir 0 pies  
☐ Mostrar + para valores positivos  
☐ Usar agrupación de cifras  
☐ Suprimir espacios

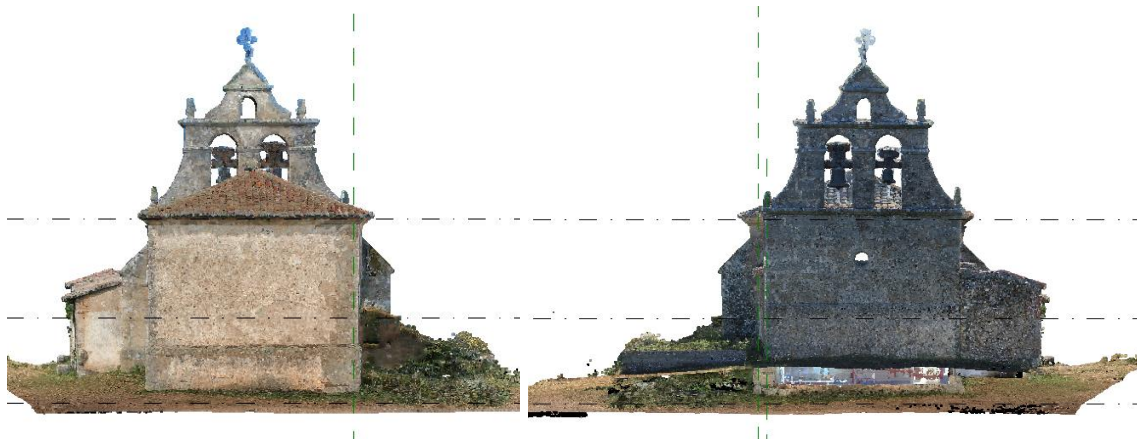
Figura 38 Configuración de las unidades. Fuente: Captura de pantalla Revit.

El siguiente paso, insertamos la nube de puntos y la orientamos según los planos horizontales y verticales que fueron creados a este fin, para ello, mediante seleccionar vínculos podemos manipular la nube de puntos haciendo desplazar, rotar hasta conseguir su orientación a demás elegimos el nivel uno como un nivel de referencia del punto más bajo del edificio.



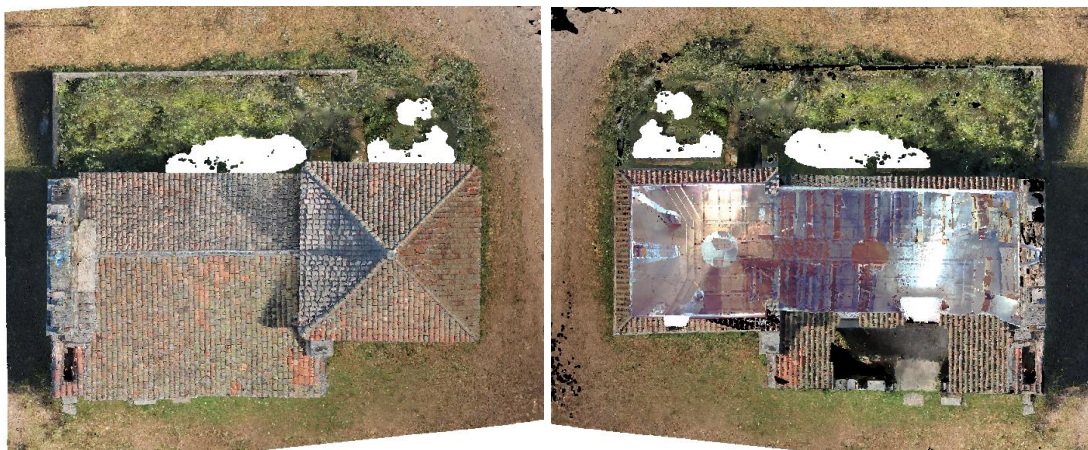
Fachada norte

Fachada sur



Fachada este

Fachada oeste



Vista superior

Vista inferior

*Figura 39 Alineación de la nube de puntos según las líneas de referencia horizontales y verticales. Fuente: Captura de pantalla Revit.*

### 7.3.2. Organización de elementos del modelado 3D

En este trabajo seguimos un orden para el modelado de elementos estructurales del edificio, empezando por los muros, suelos, techos, cubiertas, puertas, ventanas, ...

Cada elemento se considera como una familia que se determina por tipo y cada tipo tiene sus características.

#### Familia

- Muros
- Suelos
- Techos
- 

#### Tipo

- Muro simple, compuesto, ...
- Suelo de hormigón, con bovedilla cerámica, ...
- Falso techo de metal, de placas de yeso, ...
- 

#### Características

- Dimensiones
- Materiales
- Acabados
- 

Figura 40 Organización de elementos del modelado 3D

Muchas veces, cuando modelamos un patrimonio histórico, encontramos con objetos que no están en la biblioteca de familias parametrizadas, así acudimos a modelarlos en el lugar accediendo a las herramientas de crear formas solidas o vacías mediante la opción **Modelar in situ**, en vez de crearlas como familias parametrizadas independientes.

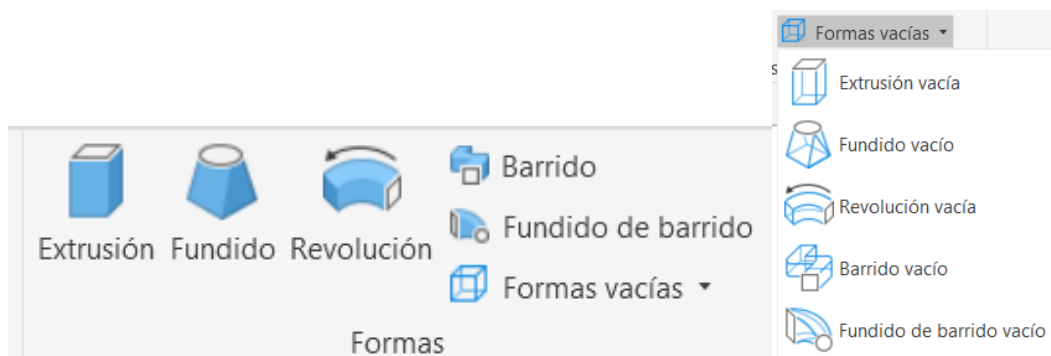


Figura 41 Herramientas para crear formas del modelado. Fuente: captura de pantalla Revit.

### 7.3.3. Modelado de muros.

Para modelar los muros, empezamos a modelar sobre el nivel uno como nivel de referencia, pero si lo dejamos a una elevación de cero metros no podremos saber el límite de los muros ver la figura siguiente, así que tenemos que elevarlo temporalmente a una altura donde se aprecian mejor los límites de los muros, por ejemplo, a una altura de 1.5m.

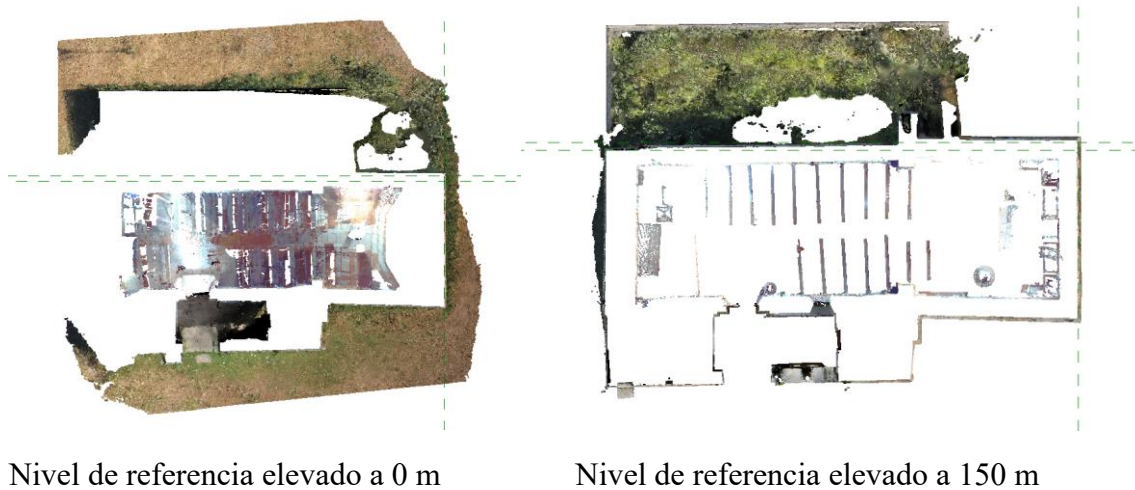


Figura 42 Vista nube de puntos a nivel de referencia a distintos elevaciones. Fuente: Captura de pantalla Revit.

A continuación, medimos los grosores de los muros que componen el edificio para poder crear los distintos tipos de estos muros con sus características concordantes con la realidad.

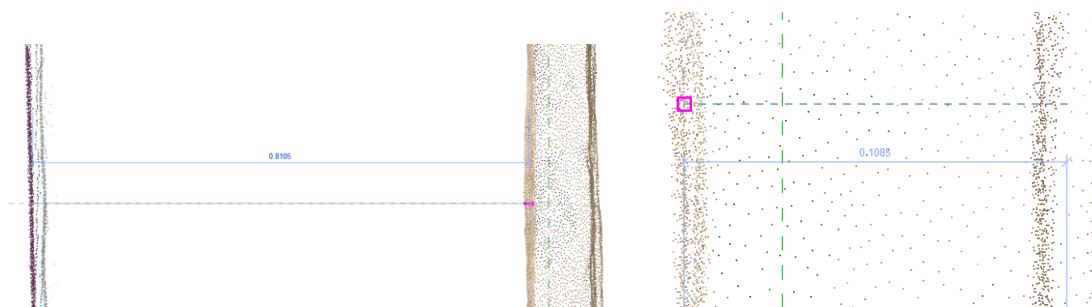


Figura 43 Mediciones del grosor de muros sobre la nube de puntos. Fuente: Captura de pantalla Revit.

#### 7.3.3.1. Ejemplo de creación de un tipo de muro con perfiles de barrido:

En el interfaz de Revit elegimos a opción arquitectura→Muro→ (Muro

Arquitectónico)→Muro básico y con editar tipo, lo duplicamos y lo nombramos Muro de Mampostería, a continuación, con editar estructura nos lleva a un cuadro donde podemos añadir contornos de núcleo, agregar material, modificar grosor de los acabados y estructura.

Para poder editar el material, creamos un nuevo material por defecto y cambiamos el nombre y el color del material.

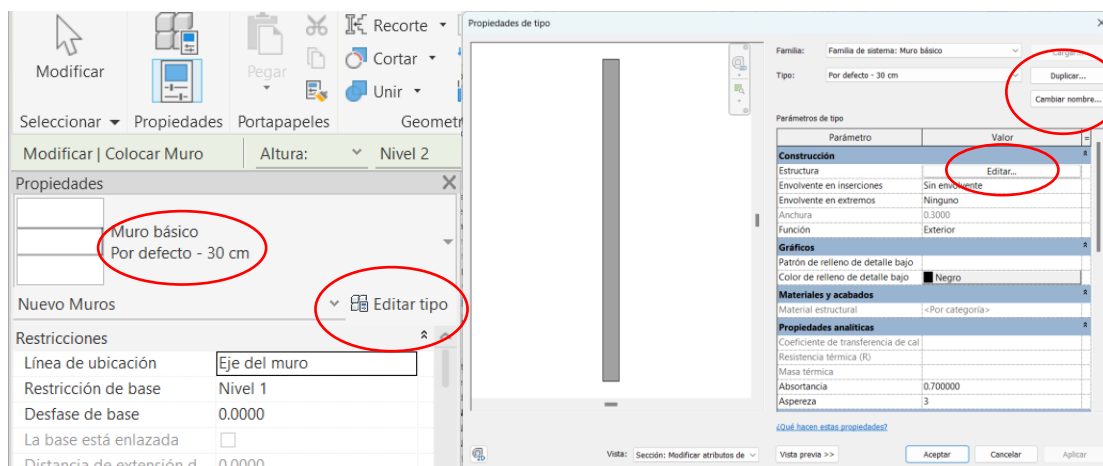


Figura 44 Proceso de crear el tipo de muro y su edición. Fuente: Captura de pantalla Revit.

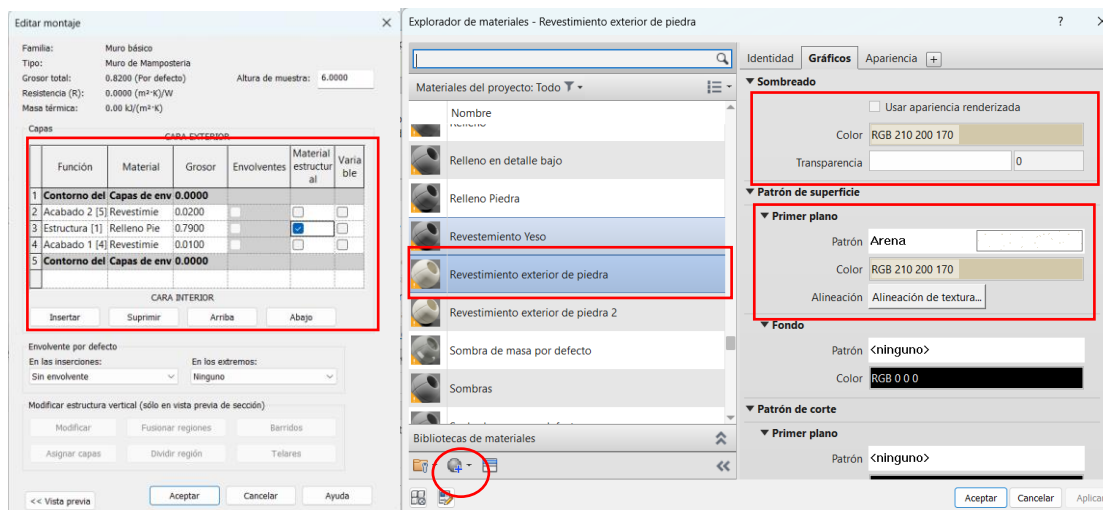


Figura 45 Edición de capas y asignación del material. Fuente: Captura de pantalla Revit.

Para este muro en especial, contiene dos perfiles de barrido, uno delimita los sillares de granito por la parte de arriba a 1.62m y otro situado a la parte superior del muro a 6.32m, estos perfiles los hemos creado como unas familias paramétricas exteriores y con la opción de barridos, situada en el cuadro de modificar estructura vertical, podemos añadir y cargar estos perfiles.

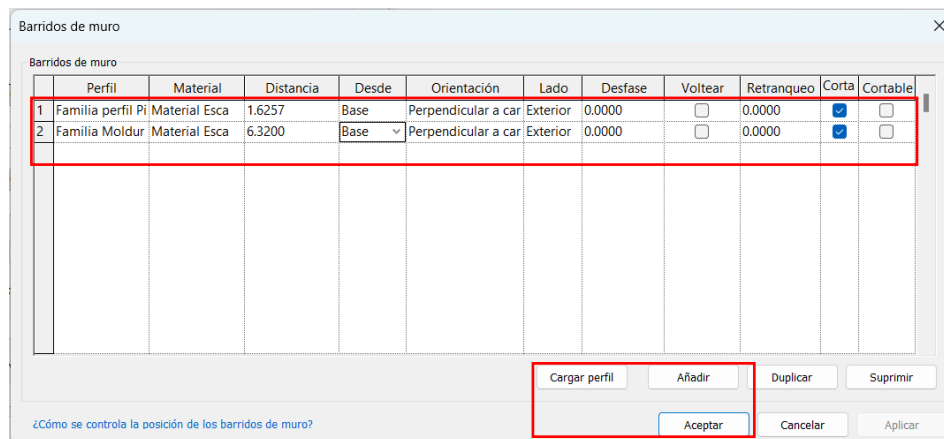


Figura 46 Carga de perfiles para barridos de muro. Fuente: Captura de pantalla Revit.

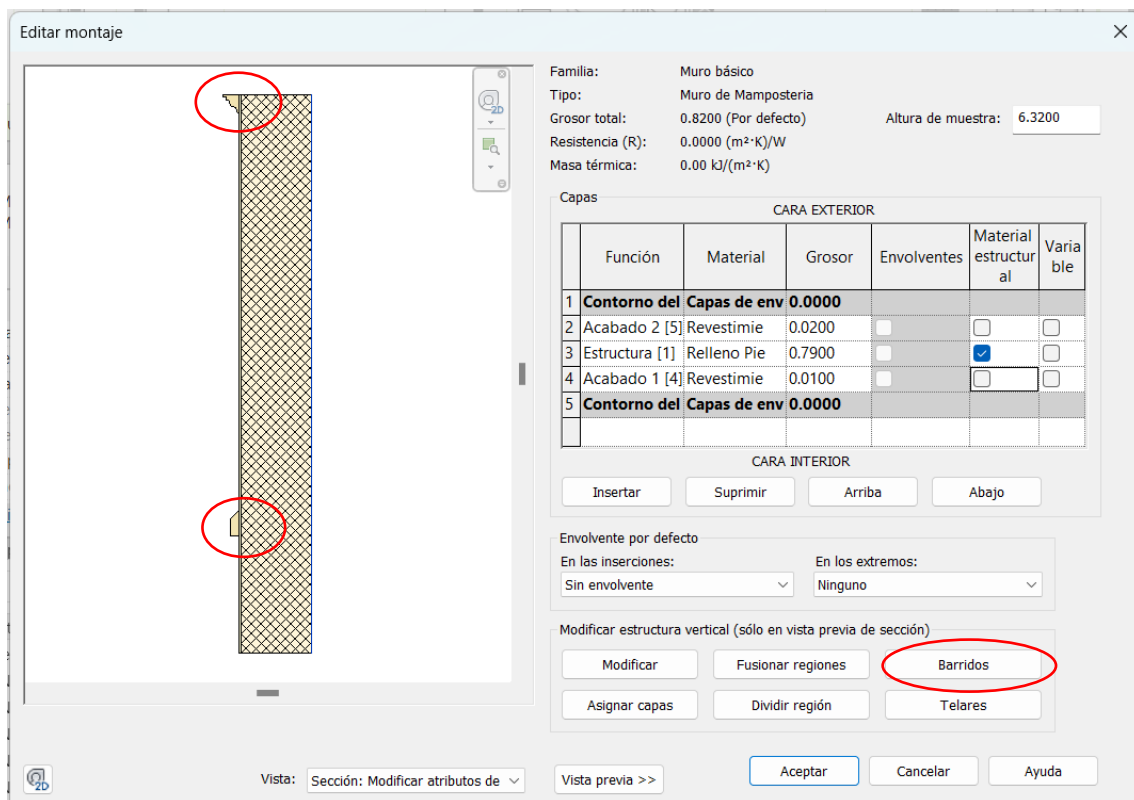


Figura 47 Vista previa del tipo de muro con sus perfiles y acabados. Fuente: Captura de pantalla Revit.

### 7.3.3.2. Creacion de las familias de perfil de barrido.

Para crear estos perfiles, accedimos a la carpeta English de plantillas para crear nuevas familias y seleccionamos Metric Profile.rtf y dibujamos la sección del perfil, y si queremos parametrizar el perfil habra que dibujarlo siguiendo los planos de referencia creados anteriormente para este fin.

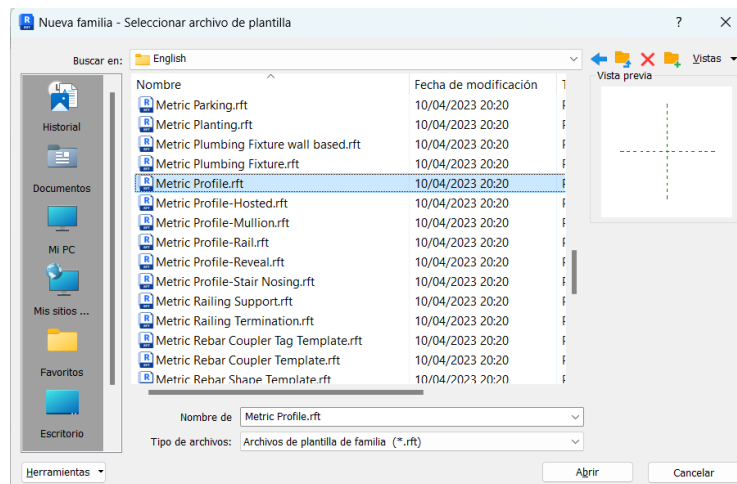


Figura 48 Carpeta English de plantillas para crear nuevas familias. Fuente: Captura de pantalla Revit.

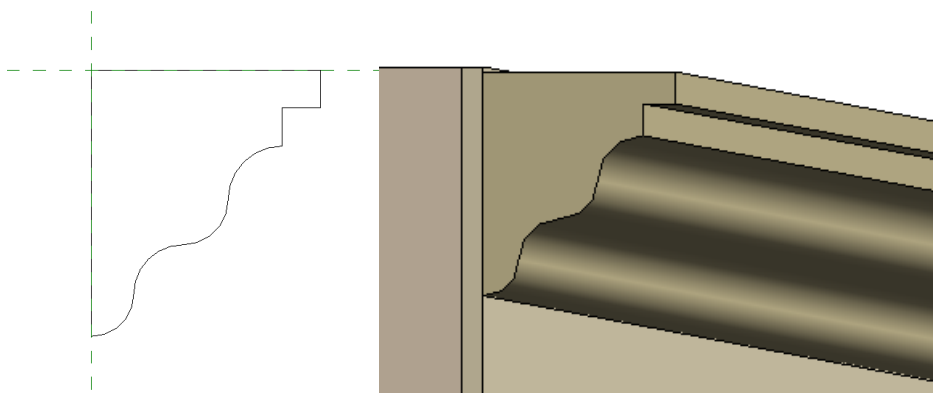


Figura 49 Familia cornisa exterior creada sobre la plantilla Metric Profile.rft. Fuente: Captura de pantalla Revit.

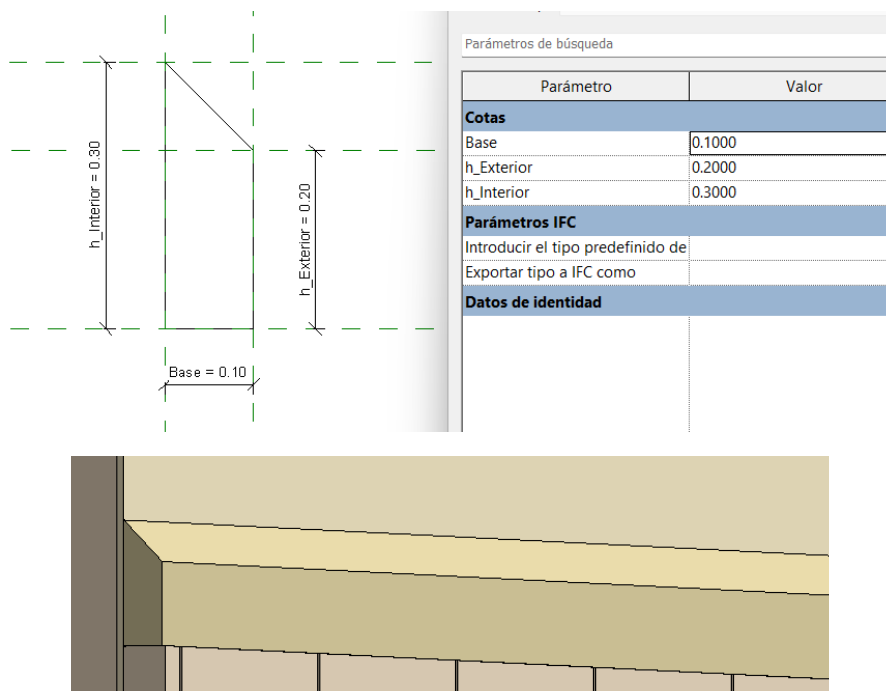
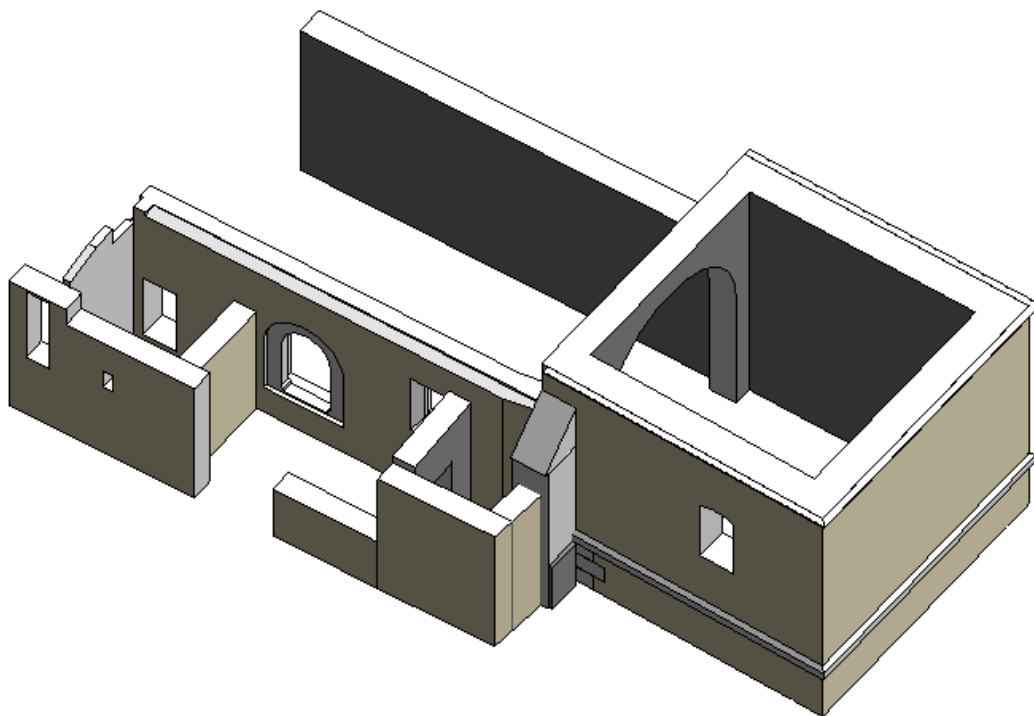


Figura 50 Familia perfil parametrizado, creada sobre la plantilla Metric Profile.rft. Fuente: Captura de pantalla Revit.

Seguimos el mismo procedimiento para crear todos los tipos de muros que componen la iglesia tanto perimetrales como interiores. Estos muros están formados por mampostería de piedra y en las esquinas por sillares de granito cruzados, lo que da al cuerpo una buena consolidación. En la siguiente figura muestra la primera aproximación al modelado de los muros y apertura de las ventanas y puertas de la iglesia usando la nube de puntos mediante el software Revit.



*Figura 51 Primera aproximación al modelado de los muros de la iglesia Ceadea. Fuente: Captura de pantalla Revit.*

#### 7.3.4. Creación de muros de sillares de granito:

Los muros que forman tanto la base como los de la espadaña son de sillares de granito de diferentes medidas y para modelarlos nos limitamos a crear una familia paramétrica de sillares de granito y luego modelamos los muros con bloques de medida estándar según el tipo requerido. Para ello, primero creamos la familia un bloque sólido, a partir de la **plantilla Metric Generic Model wall based. rft** ubicada en la carpeta English que está en plantillas de familia de Revit, a continuación, creamos un bloque vacío que ocupa el mismo volumen del anterior sin cortarlo y que corte el espacio que ocupa el bloque en el muro. Esta operación es importante a la hora de calcular el volumen del material del muro, es decir cada espacio que ocupa el bloque en el muro se restará del volumen total de este muro.

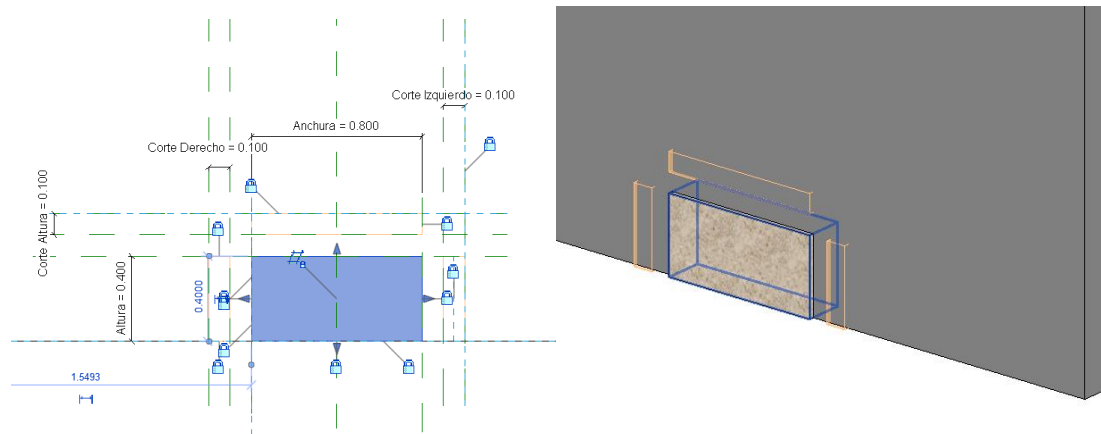


Figura 52 Parametrización de la familia bloque de piedra. Fuente: Captura de pantalla Revit.

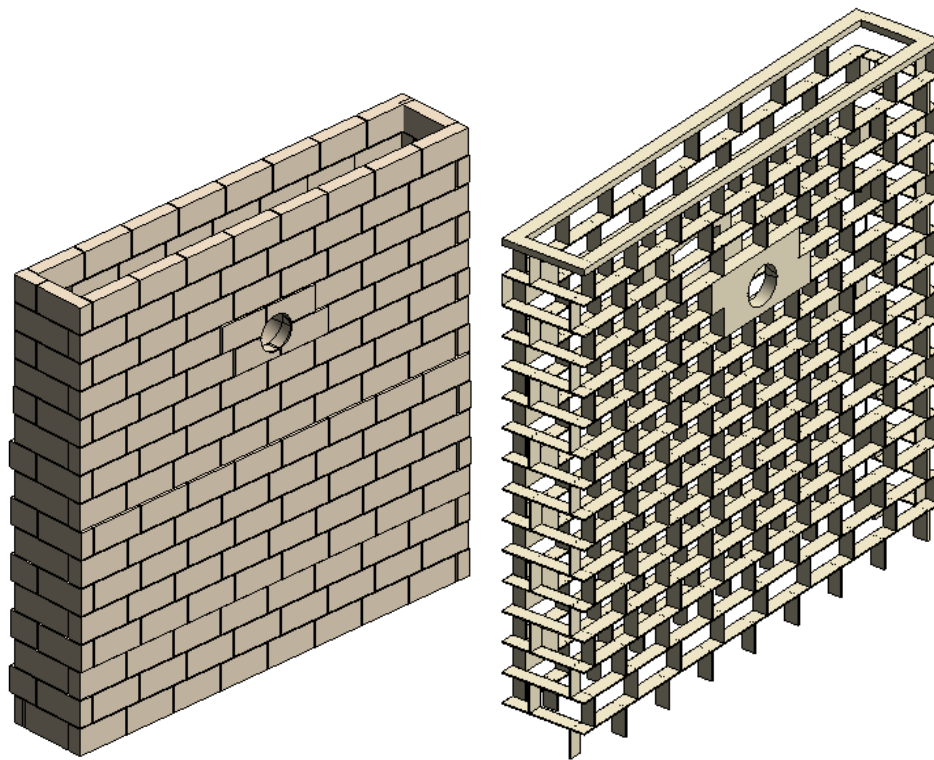


Figura 53 Modelado de sillares de granito y sus juntas. Fuente: Captura de pantalla Revit, elaboración propia.

En los bordes del muro tenemos que ajustar el bloque con el límite ya que las herramientas de Revit no cortan la familia, así que tenemos que crear geometrías vacías de igual dimensión de cada cara del bloques, en este caso he creado geometrías de vacío por la cara llamadas Corte derecha, Corte izquierda y Corte altura.

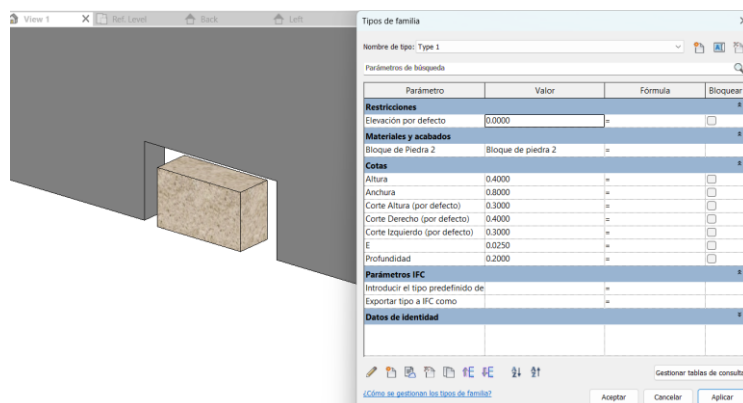


Figura 54 Parámetros de Corte de la pieza. Fuente: Captura de pantalla Revit, elaboración propia.

Cuando ya terminé de modelar sillares de granito de la espadaña, encontré con un problema de hacer la apertura de un ventana circular en el medio de la fachada, ya que no he podido cortar las piezas con las herramientas disponibles de Revit. así que se me ocurre la idea de eliminar las piezas alrededor de la ventana (Figura 53a) y acceder desde Modelar in situ para crear un modelado genérico similar a los bloques de piedra (Figura 53b) y cortados por un extrusión vacía circular que permite un corte perfecto de la ventana (Figura 53c).

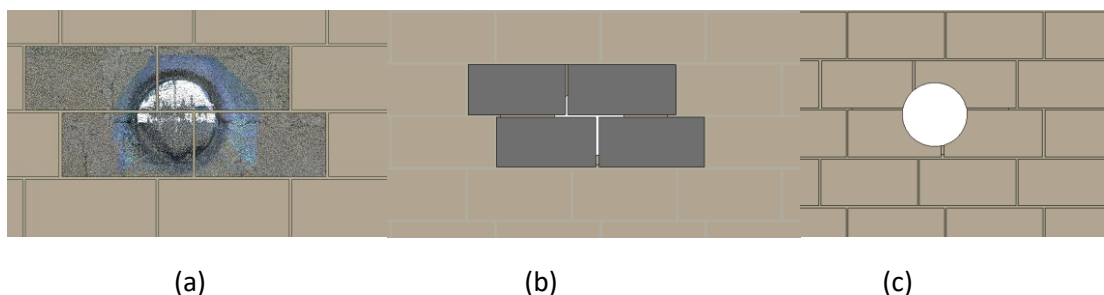


Figura 55 Creación de la ventana circular. Fuente: Captura de pantalla Revit, elaboración propia.

### 7.3.5. Creación de la parte superior de la espadaña de la iglesia Ceadea.

Esta parte no está creada con la opción de muro arquitectónico sino esta creada por la opción de Modelar in situ, categoría muros, modelando sobre la nube de puntos. Primero modelamos la parte del medio con huecos para dos campanas y luego la parte superior con un hueco y remate piramidal. En estas dos partes hemos utilizado la extrusión sólida.



Figura 56 Dibujo de líneas sobre la nube de puntos para la extrusión sólida. Fuente: Elaboración propia.

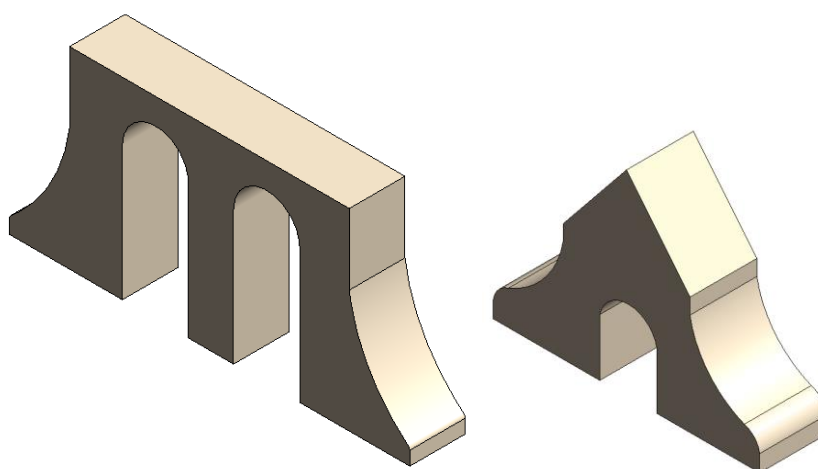


Figura 57 Modelado 3D de las partes medio y superior de la espadaña. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.6. Creación de molduras.

En esta parte, las molduras están creadas mediante la opción de Barrido sólido, primero dibujamos el boceto de camino y luego dibujamos el perfil.

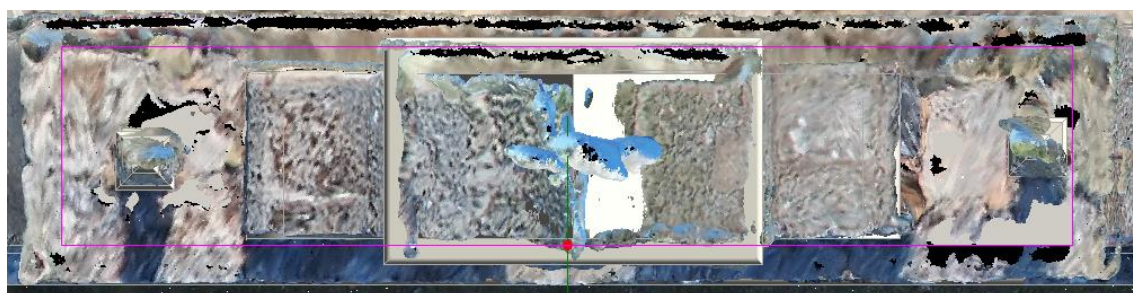


Figura 58 Boceto de camino para el perfil. Fuente: Elaboración propia.

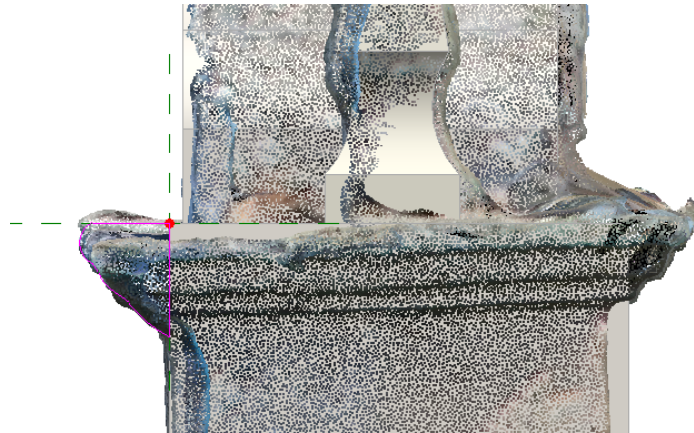


Figura 59 Dibujo del perfil sobre la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia.

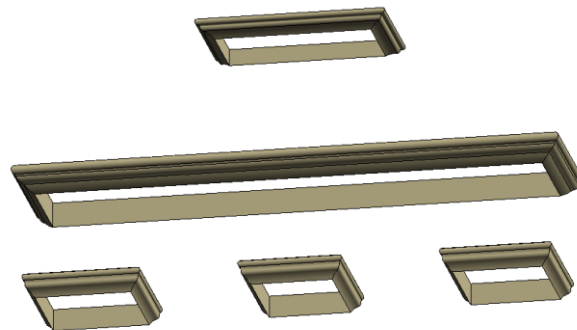


Figura 60 Modelado 3D de los perfiles de la espadaña. Fuente: Elaboración propia.

#### 7.3.7. Creación de las campanas.

La creación de las campanas las hemos generado de tres pasos, primero creamos lo que es el contrapeso mediante el dibujo de la Extrusión sólida, en el siguiente paso creamos el eje de giro, mediante la Revolución sólida dibujando línea de contorno y luego línea de eje, por último, creamos las campanas con el mismo proceso de Revolución sólida. Todas estas partes forman un solo sólido

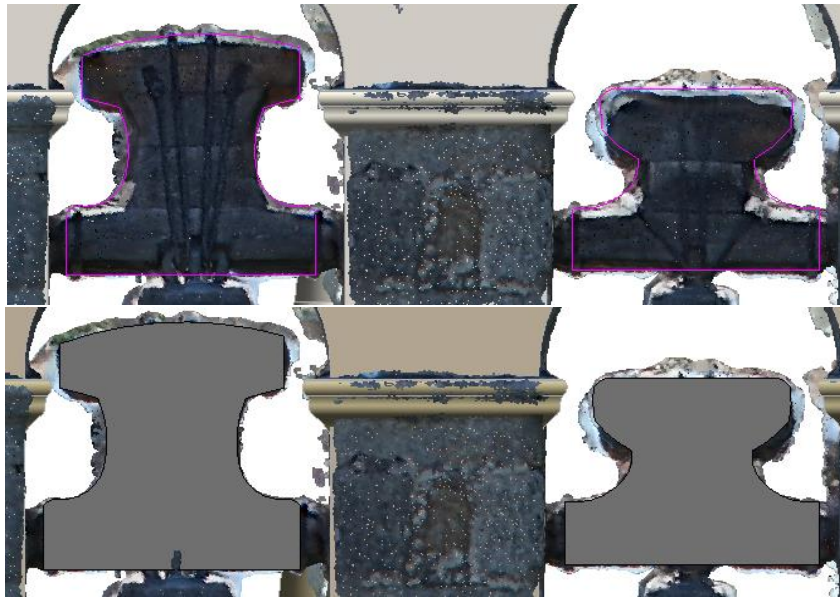


Figura 61 Creación del contrapeso. Fuente: Elaboración propia.

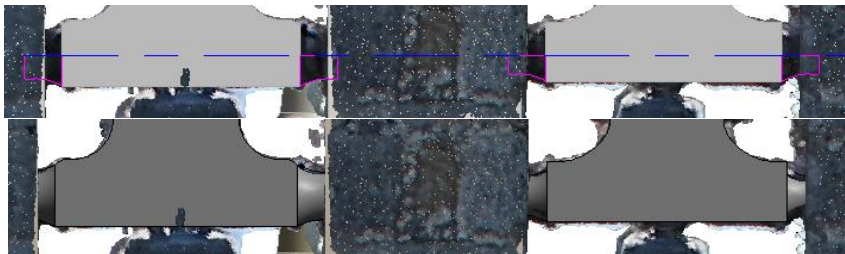


Figura 62 Creación de eje de giro. Fuente: Elaboración propia.



Figura 63 Creación de las campanas. Fuente: Elaboración propia.

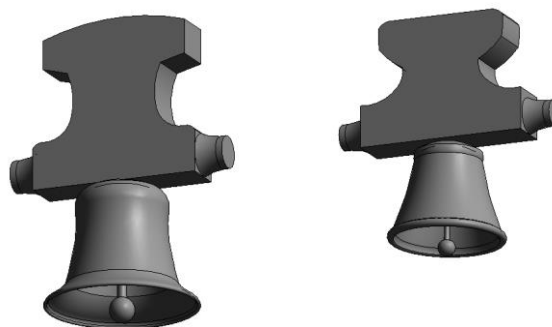


Figura 64 Modelado 3D de las campanas de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.

#### 7.3.8. Creación de pináculo pequeño:

El modelado del pináculo pequeño se realiza en dos pasos, primero creamos una extrusión sólida, parecido a un pequeño pilar cuadrado de  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  y a continuación, usamos la herramienta de Barrido sólido con el boceto de camino el mismo cuadrado anterior y dibujamos línea de perfil siguiendo la nube de puntos.

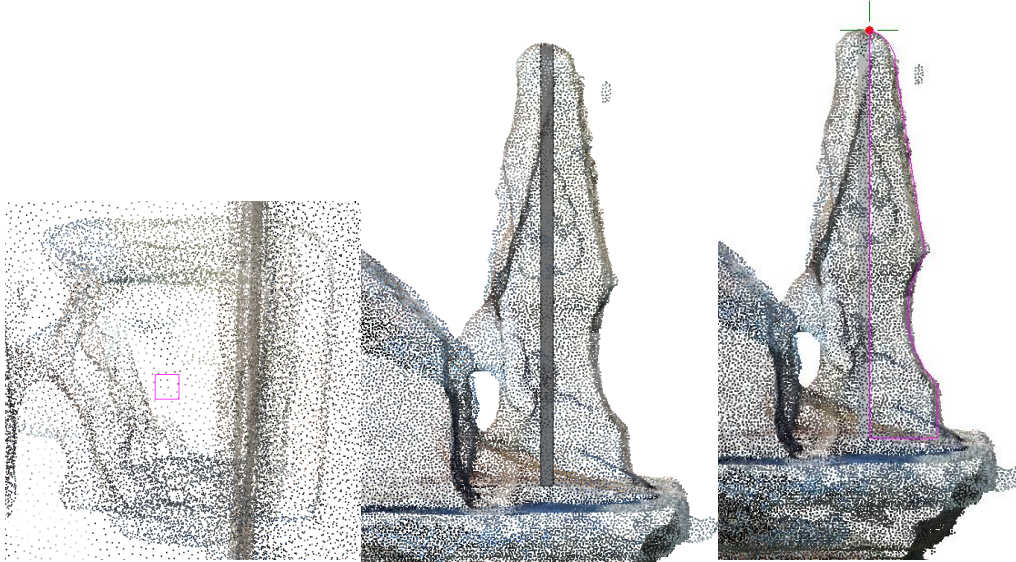


Figura 65 Proceso de creación de pináculo pequeño. Fuente: Elaboración propia.

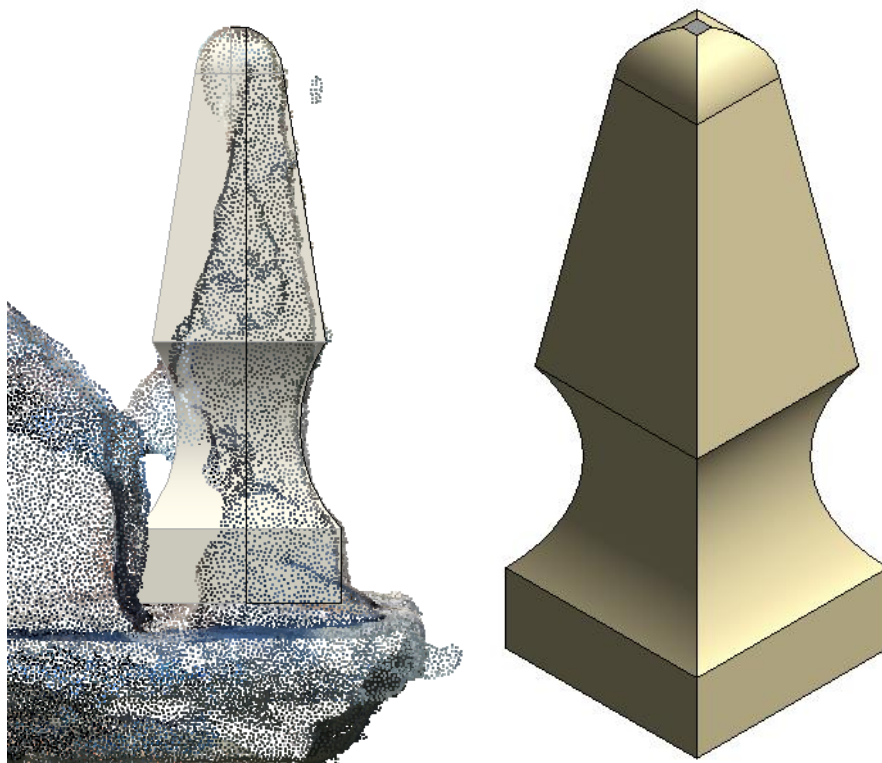


Figura 66 Modelado 3D del pináculo pequeño de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.

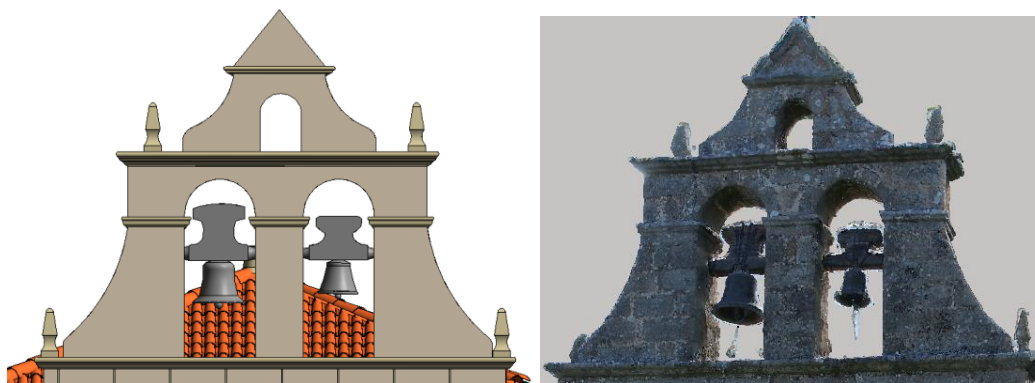


Figura 67 Modelado 3D de la parte superior de la espadaña. Fuente: elaboración propia

### 7.3.9. Creación de las cubiertas de la iglesia Ceadea.

#### 7.3.9.1. Creación la estructura de madera de par y nudillo de la cubierta de la nave.

##### Paso 1.

Creamos primero los tirantes y sus canecillos mediante la opción de Modelar in situ utilizando la herramienta de Extrusión sólida.

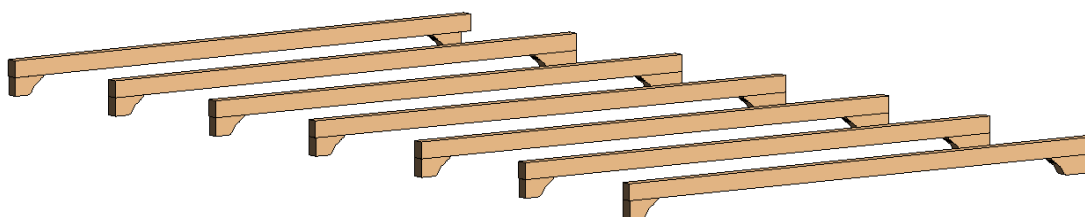


Figura 68 Modelado 3D de tirantes y sus canecillos. Fuente: elaboración propia

##### Paso 2.

Con la opción de Modelar in situ utilizando la herramienta de Extrusión sólida, modelamos primero las vigas inclinadas de acuerdo con la pendiente de cada faldón de la cubierta, de tal manera que, cada viga se apoya con su correspondiente en la cumbrera (vértice superior), a continuación, se modela con la misma extrusión sólida el nudillo.

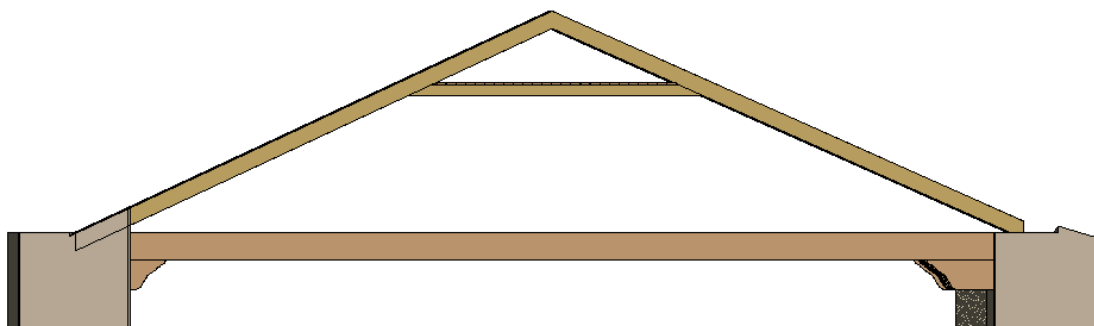


Figura 69 Modelado 3D de tirantes, canecillos y el cuerpo de par y nudillo. Fuente: elaboración propia

### Paso 3.

#### Creación de tablazón del almizate y de la cubierta

Para crear la tablazón, primero creamos la familia parametrizada. Para ello accedemos a la carpeta English de plantillas de familia y seleccionamos “Metric Structural Framing – Beams and Braces. rft”, cuando ya creada la familia parametrizada de tablazón, podemos crear otros ejemplares a partir de esta, y usarla según el tipo requerido.

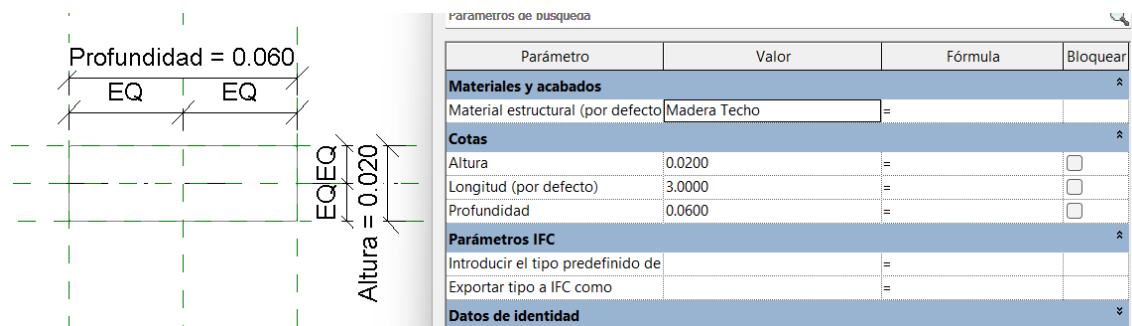


Figura 70 Parametrización de la familia tablazón y sus propiedades. Fuente: elaboración propia

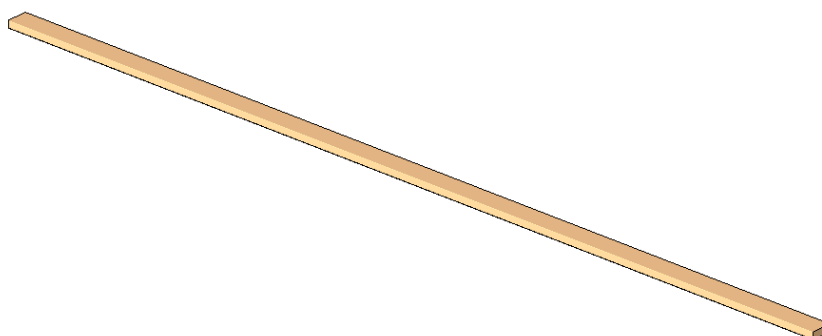


Figura 71 Familia de tablazón vista en 3D. Fuente: elaboración propia

A continuación, antes de cargar cada tipo de esta tablazón en el proyecto, hay que crear las cubiertas a cara de las vigas y a cara de los nudillos para poder colocar las tablazones en sus correspondientes lugares. Para ello usamos la herramienta de Cubierta por perímetro, pues nos permite crear la cubierta según el perímetro que queremos y elegimos las pendientes que coinciden con la inclinación de las vigas.

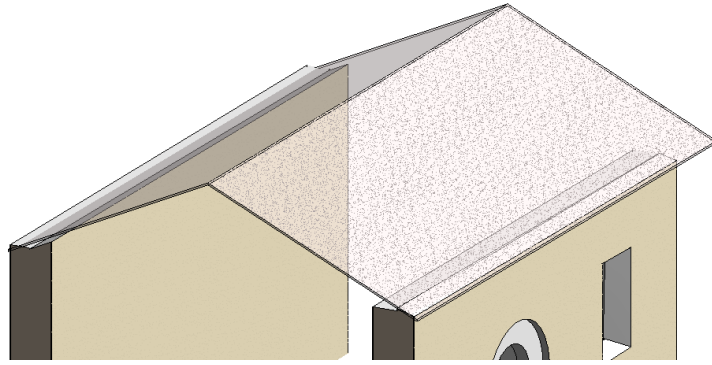


Figura 72 Creación de la cubierta de 3cm para colocación de las tablazones. Fuente: elaboración propia

Por último, cargamos la familia en el proyecto y seleccionamos Sistema de vigas en Estructura, definimos la cara del faldón de la cubierta como plano de trabajo y seleccionamos sus acabados como línea de contorno, a continuación, indicamos la dirección de viga y procesamos la operación para que se coloquen las tablazones a cara de las vigas, además elegimos en las propiedades la separación fija el valor de la anchura de tablazón más 2mm. Este proceso se repite en todas las cubiertas.

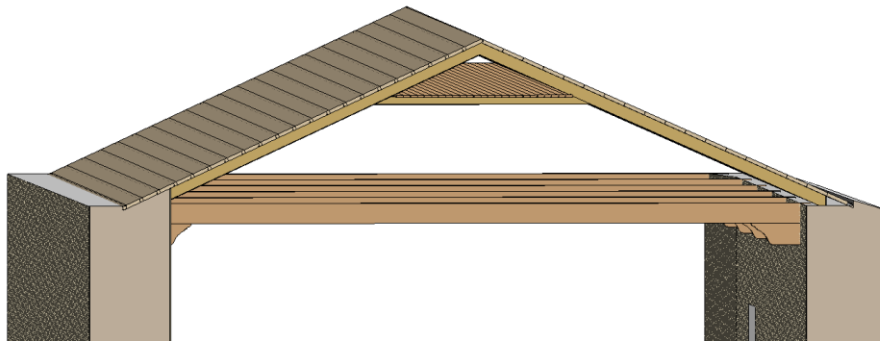


Figura 73 Modelación 3D de tabla del almizate y de la cubierta. Fuente: elaboración propia

#### 7.3.9.2. Modelado 3D de la cubierta de la capilla

Seguimos el mismo procedimiento anterior en modelado 3D de la cubierta de la nave. En el caso de la capilla tiene cuatro cuadrales en las esquinas atando los estribos. La estructura de la cubierta es de cuatro aguas con cuatro faldones sin almizate, esta soportada por cuatro vigas diagonales empalme en el vértice y reforzadas por cuatro cuadrales en el centro.

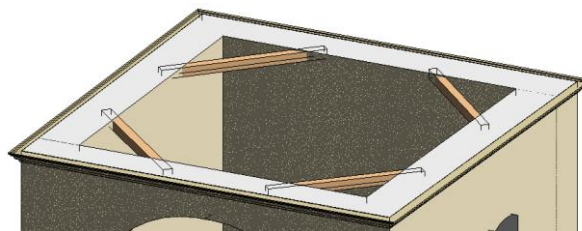


Figura 74 Modelado 3D las cuadrales. Fuente: elaboración propia

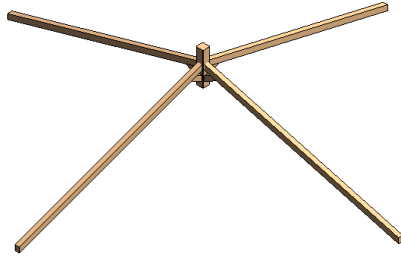


Figura 75 Modelado 3D de las vigas diagonales de la cubierta de la capilla. Fuente: elaboración propia

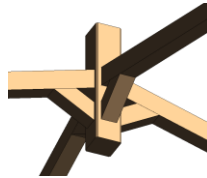


Figura 76 Empalme de las cuatro vigas diagonales en el vértice. Fuente: elaboración propia

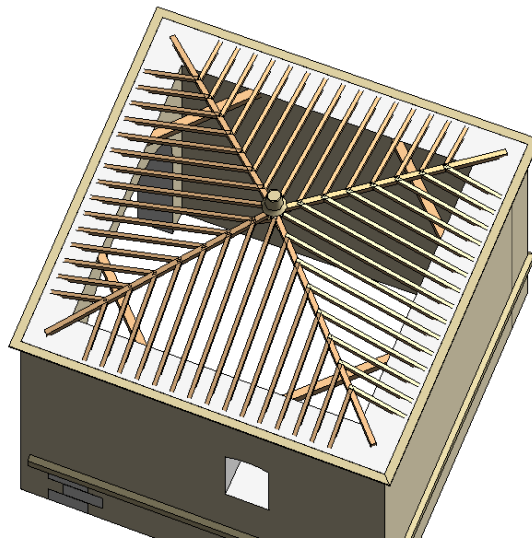


Figura 77 Modelado 3D de la estructura de madera, cubierta de la capilla. Fuente: elaboración propia

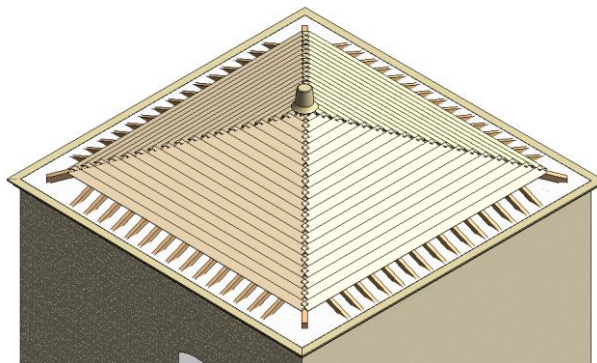
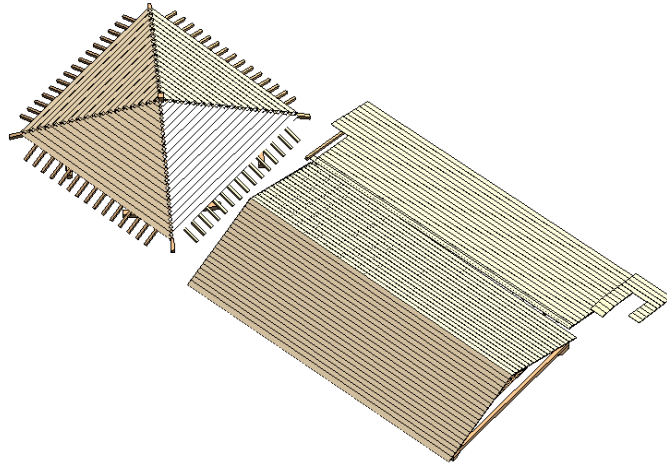


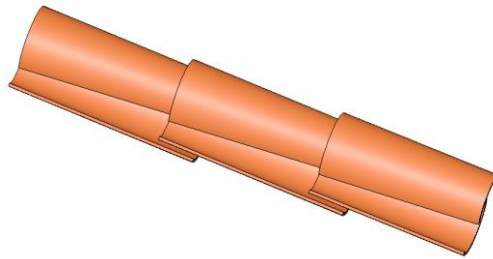
Figura 78 Modelación 3D de tablazón de la cubierta capilla. Fuente: elaboración propia



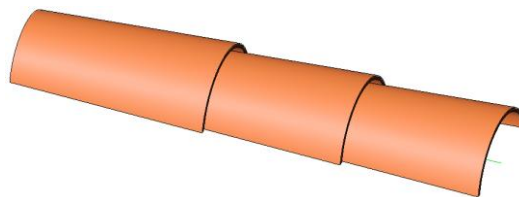
*Figura 79 Modelado 3D de la estructura de madera de todas las cubiertas de la iglesia Ceadea. Fuente: elaboración propia*

#### *7.3.9.3. Modelado 3D de los tejados.*

La familia de tejas fue creada como una viga agrupando par de tejas tres en tres. Esta familia fue facilitada por el grupo Render 7 School. Para su colocación seguimos el mismo proceso anterior de colocar tablazón, aprovechando las caras de las mismas cubiertas anteriores como planos de trabajo.



*Figura 80 Modelado 3D de la familia teja. Fuente: Grupo Render 7 School*



*Figura 81 Modelado 3D de la familia teja cumbrera*

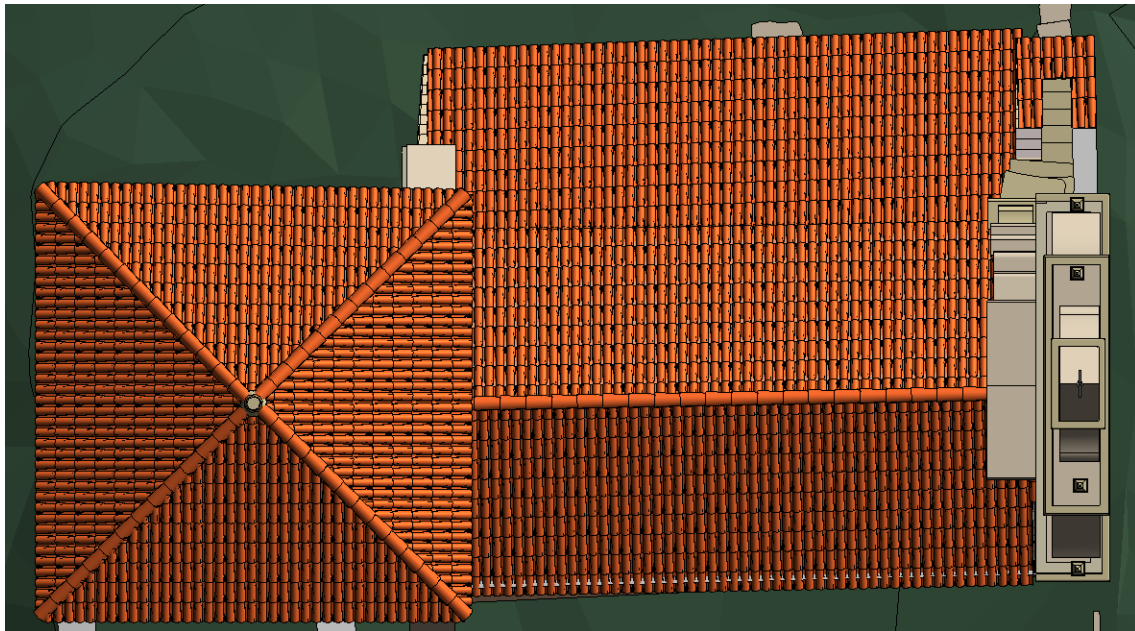


Figura 82 Modelado 3D del tejado de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.

#### 7.3.10. Creación de la familia puerta.

Para crear la familia puerta iremos a la carpeta English de plantillas para crear nuevas familias y seleccionamos Metric Door.rtf , a continuación dibujamos los planos de referencia, respetando las medidas de la puerta tomadas sobre la nube de puntos, después trazamos los perfiles y acabados de la puerta de acuerdo con los planos de referencia creados anteriormente.

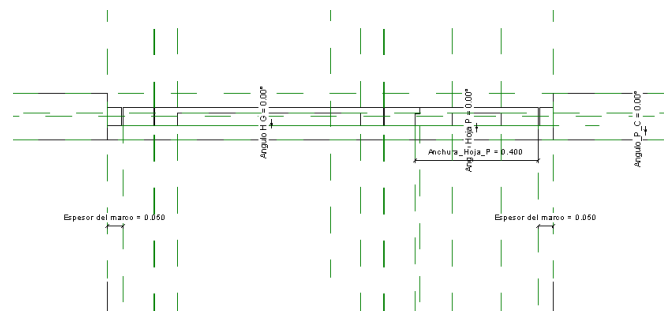


Figura 83 Vista de plano de planta de la familia puerta. Fuente: Elaboración propia.

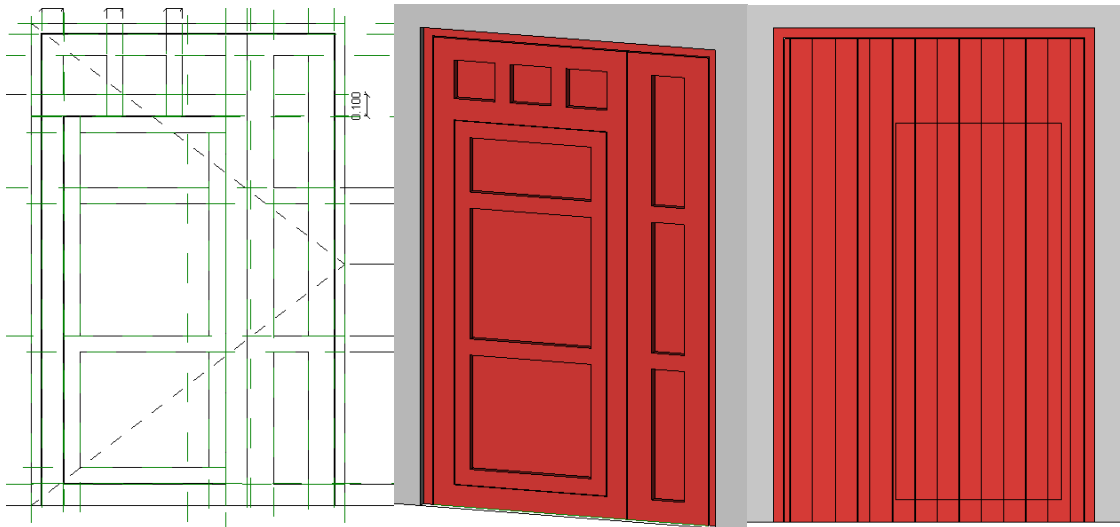


Figura 84 Vista de plano interior y de 3D interior y exterior de la familia puerta. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.11. Creación de la familia Ventana.

En esta parte, para crear la familia Ventana iremos a la carpeta English de plantillas para crear nuevas familias y seleccionamos Metric Window.rtf, comprobamos las unidades de la plantilla poniéndolas a metro y a continuación dibujamos los planos de referencia, respetando las medidas de la ventana tomadas sobre la nube de puntos, escogemos el plano central como plano de trabajo para trazar los perfiles y acabados de la ventana, de acuerdo con los planos de referencia creados anteriormente.

Con la herramienta extrusión sólida, trazamos lo que es el marco y el cuerpo de la ventana, después con la Extrusión vacía trazamos los sitios del cristal, seguido de otra operación de Barrido vacío, el boceto de camino será los lados de la extrusión vacía, para la decoración de los perfiles.

Cuando ya terminada esta parte, trazamos los cristales mediante la Extrusión sólida con un grosor de 1.5 mm y le asignamos el material de cristal que viene por defecto en el software.

Por último, para crear familias parametrizadas complejas habrá que introducir formulas en las propiedades de la familia.

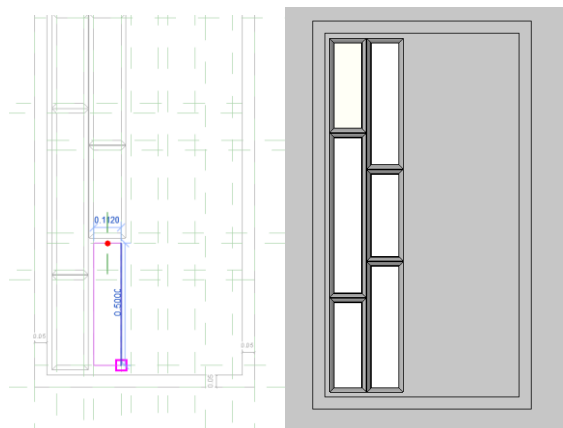


Figura 85 Creación de los perfiles de la familia ventana. Fuente: Elaboración propia.

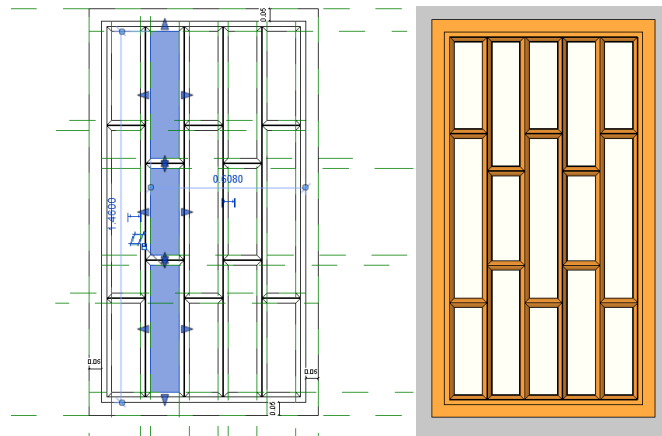


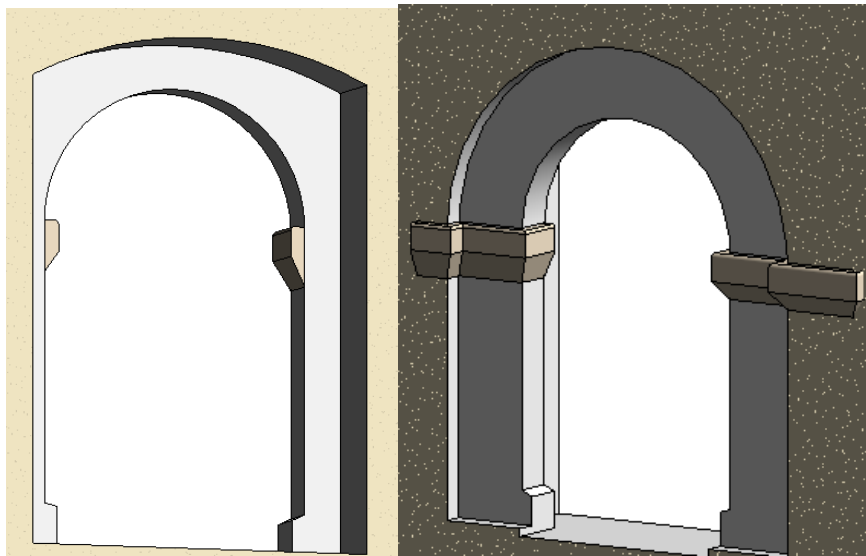
Figura 86 Creación de los cristales y producto final de la familia ventana. Fuente: Elaboración propia.

| Parámetro                         | Valor       | Fórmula                                                           | Bloquear                            |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Construcción</b>               |             |                                                                   |                                     |
| Cierre de muro                    | Por anfitri | =                                                                 |                                     |
| Tipo de construcción              |             | =                                                                 |                                     |
| <b>Cotas</b>                      |             |                                                                   |                                     |
| Alt Central G                     | 0.6400      | $=(\text{Altura} - 0.26 \text{ m}) / 2.09375$                     | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Alt Central P                     | 0.3400      | $=(\text{Altura} - 0.26 \text{ m} - (\text{Comple\_Alt\_P} * 2))$ | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Altura                            | 1.6000      | =                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Altura_Cuadro                     | 1.5000      | $=\text{Altura} - 0.1 \text{ m}$                                  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Anchura                           | 1.9000      | =                                                                 | <input type="checkbox"/>            |
| Anchura aproximada                |             | =                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Altura aproximada                 |             | =                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Anchura hoja E                    | 0.3120      | $=(\text{Anchura} - (0.34 \text{ m})) / 5$                        | <input type="checkbox"/>            |
| Comple_Alt_G                      | 0.3500      | $=(\text{Altura} - 0.26 \text{ m} - \text{Alt Central G}) / 2$    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Comple_Alt_P                      | 0.5000      | $=(\text{Altura} - 0.26 \text{ m}) / 2.68$                        | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Propiedades analíticas</b>     |             |                                                                   |                                     |
| Construcción analítica            |             | =                                                                 |                                     |
| Definición de propiedades físicas |             |                                                                   |                                     |

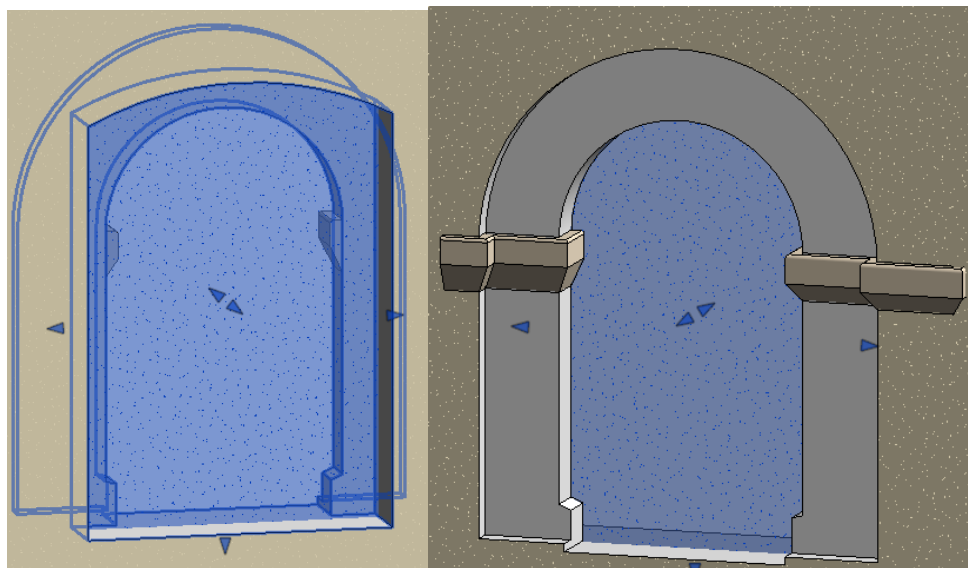
Figura 87 Propiedades de la familia ventana. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.12. Colocación de las familias, puerta y ventana en sus correspondientes aperturas en el modelo 3D.

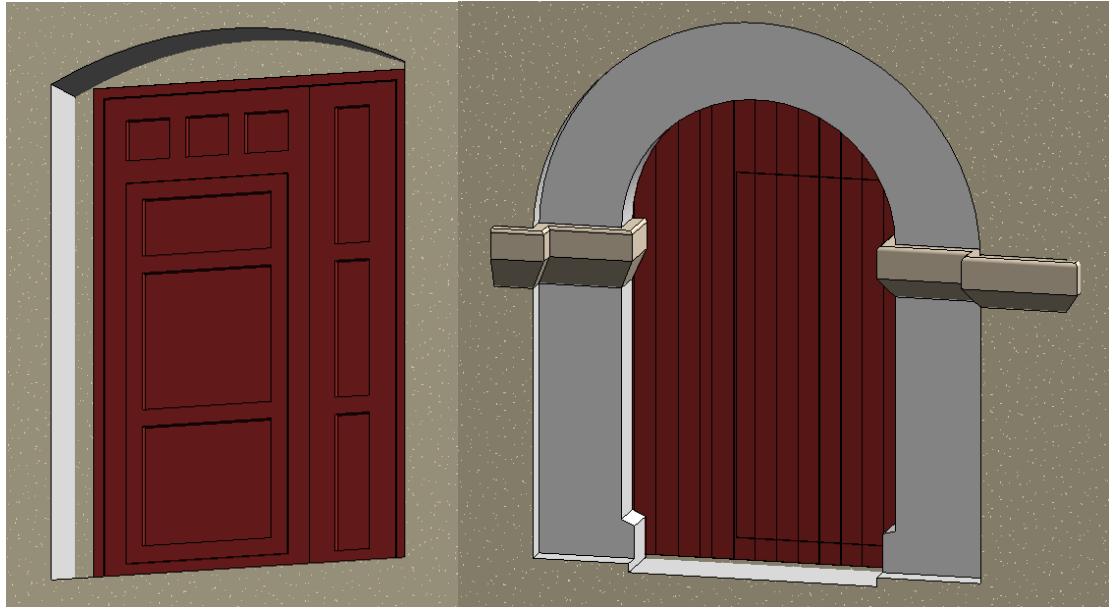
Cuando hemos modelado el edificio histórico de acuerdo con la geometría que determina la nube de puntos, tuvimos que dejar las aperturas para las puertas y ventanas, pues se trata de geometrías no estandarizadas como en el caso de BIM, ya que en los patrimonios históricos son específicos y complejos. Pero a la hora de colocar estas familias en sus sitios, no nos deja poner, porque estas familias vienen con la función de que, al colocarla a la cara del muro, deja su apertura ajustada a esta automáticamente, así que no pueden hacer la apertura en un vacío. Entonces la solución que he propuesto es crear un modelado in situ de tipo Muros con la herramienta Extrusión sólida, justamente donde se va a colocar cada familia, así nos permite colocar todas las familias, puertas y ventanas en el modelado 3D del edificio.



*Figura 88 Apertura de la entrada de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 89 Creación de la extrusión sólida, para cerrar la apertura precisamente donde se va a colocar la puerta.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 90 Colocación de la familia puerta principal da la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*

Seguimos con los mismos procedimientos anteriores para colocar el resto de puertas y ventanas en sus correspondientes aperturas en el modelo 3D.



*Figura 91 Ventana de la capilla de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*

### 7.3.13. Creación de la topografía del terreno.

Para esta operación de crear la topografía del terreno, primero limpiamos la superficie del terreno en el software Recap Pro, quitando todo lo que no es terreno como muros, arboles, ..., luego importamos el archivo como nube de puntos en el software CloudCompare para procesarla y reducir el número de puntos dejando un punto por metro cuadrado. Con esta operación, el fichero que vamos a exportar a Revit será ligero y a la hora de crear el mallado de terreno será un mallado suave.

A continuación, exportamos el fichero desde CloudCompare como formato CAD (.dxf) y lo importamos a Revit, luego con la opción Masa y emplazamiento, usamos la herramienta Sólido topográfico → Crear desde importación → Crear desde CAD.

Seleccionamos la nube de puntos y se crea la topografía. Después Ajustamos esa topografía sólido a la nube de puntos original.

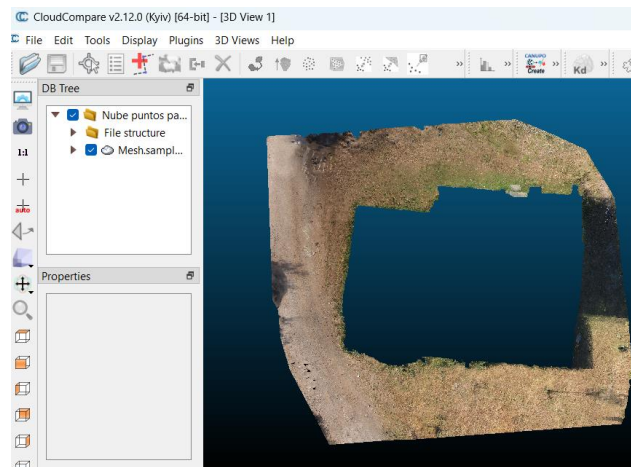


Figura 92 Importación de nube de puntos limpia a CloudCompare. Fuente: Elaboración propia.

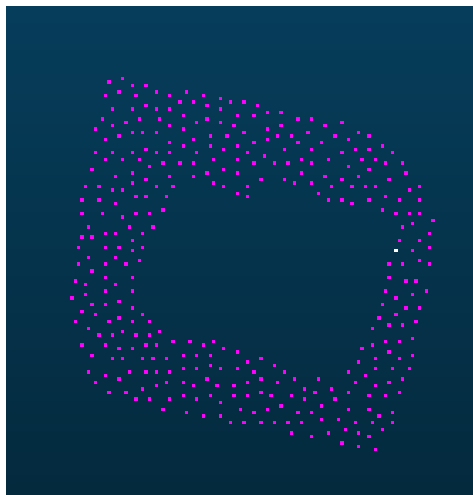


Figura 93 Reducción de puntos, un punto cada metro cuadrado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 94 Terreno ajustado a la nube de puntos original. Fuente: Elaboración propia.

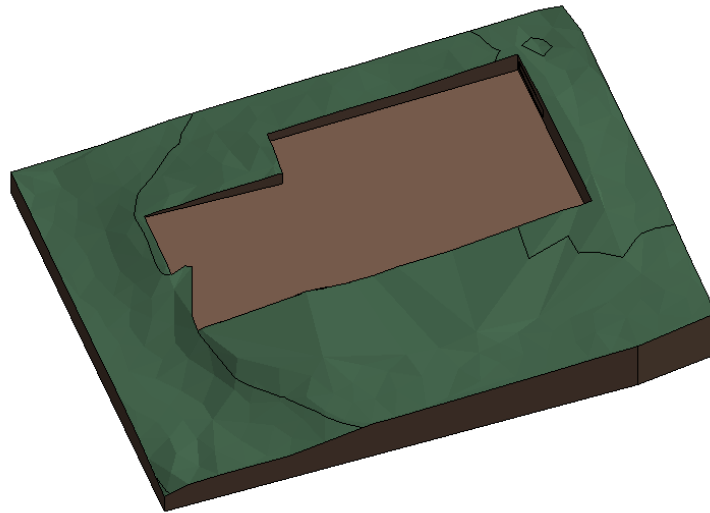
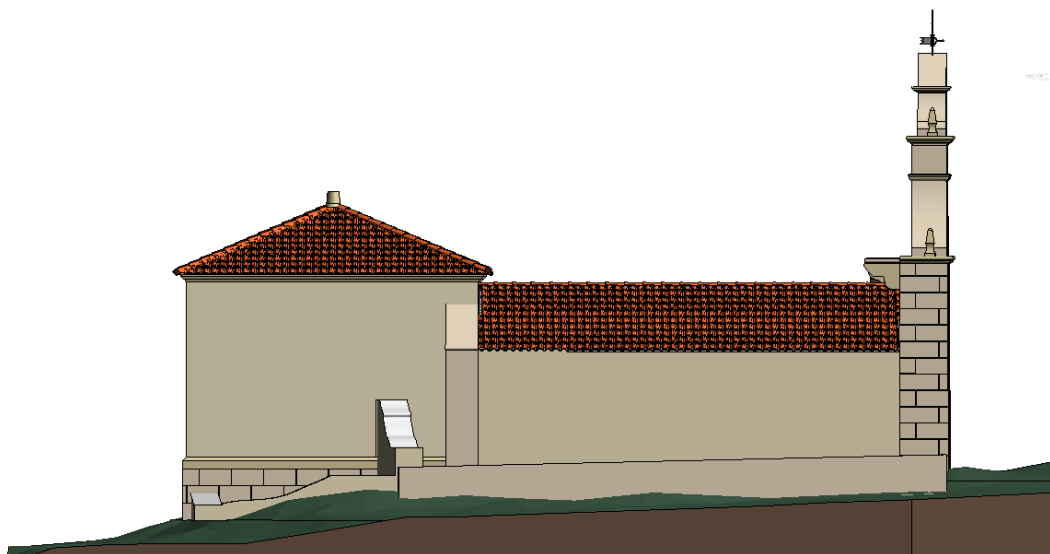


Figura 95 Modelado 3D del terreno alrededor de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.

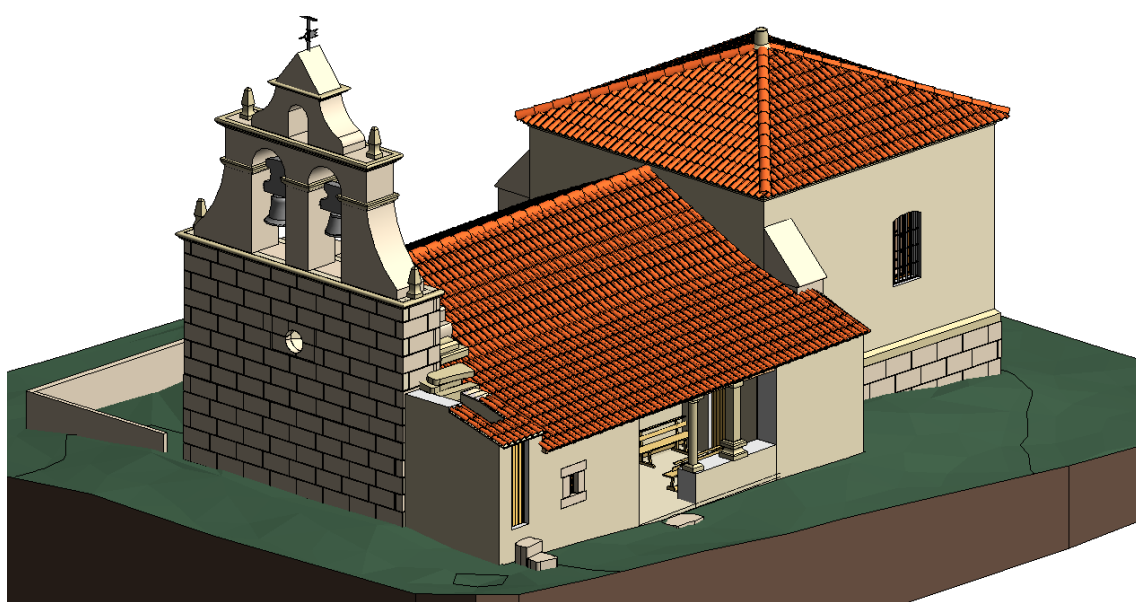
## 7. Productos generados



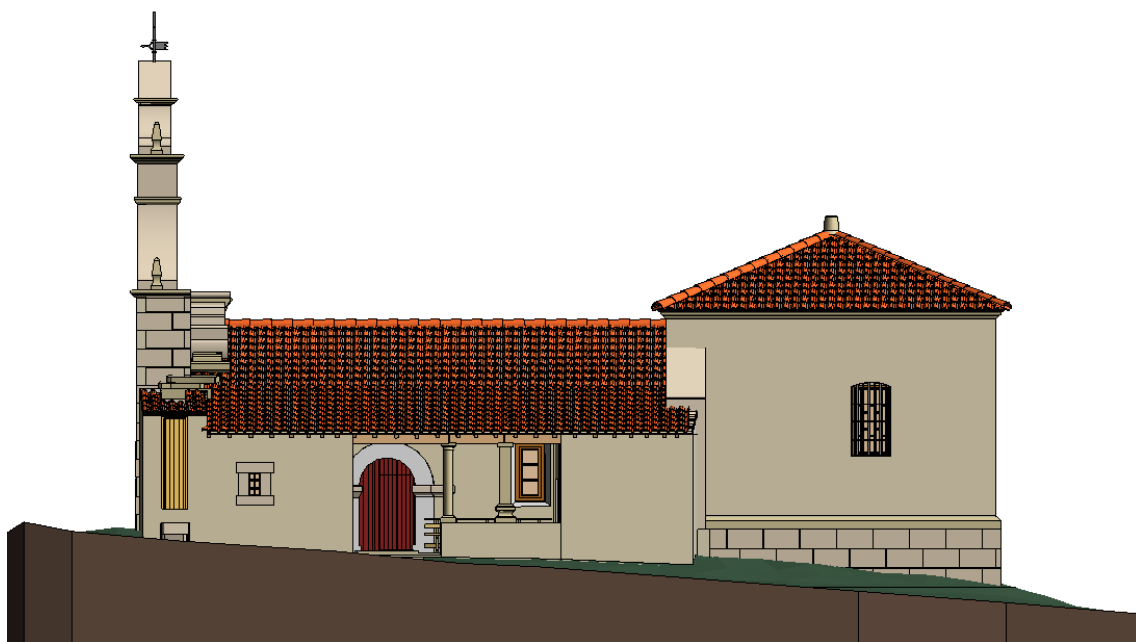
*Figura 96 Fachada norte de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 97 Fachada este, de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



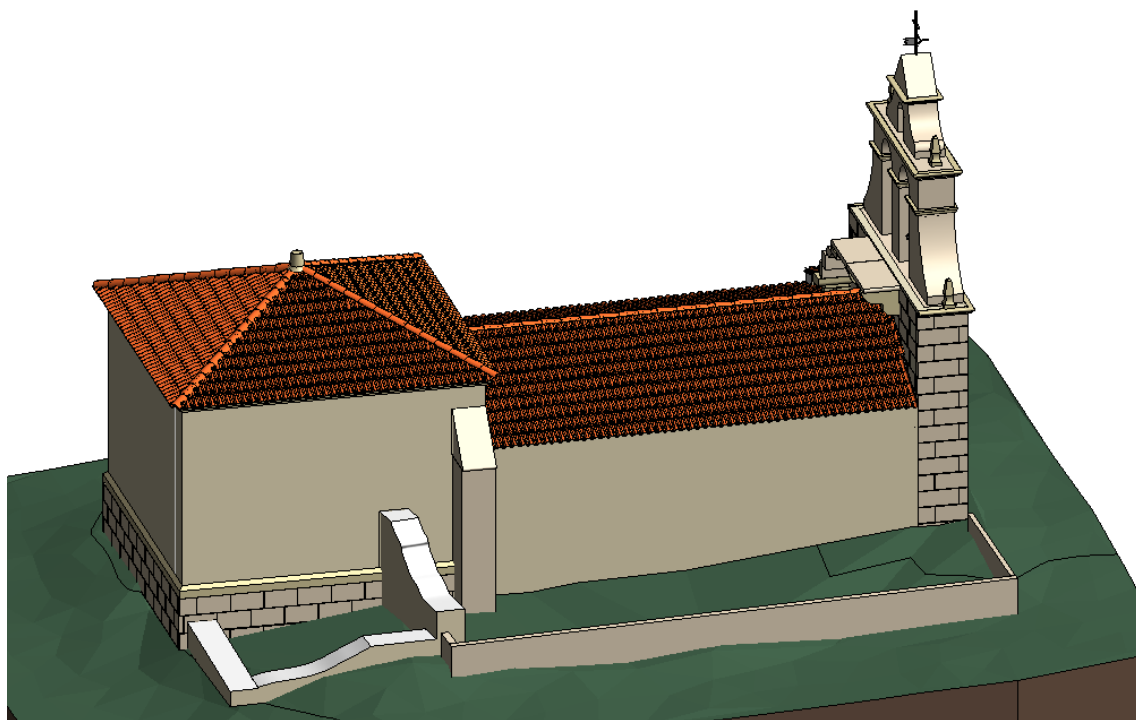
*Figura 98 Fachada sureste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



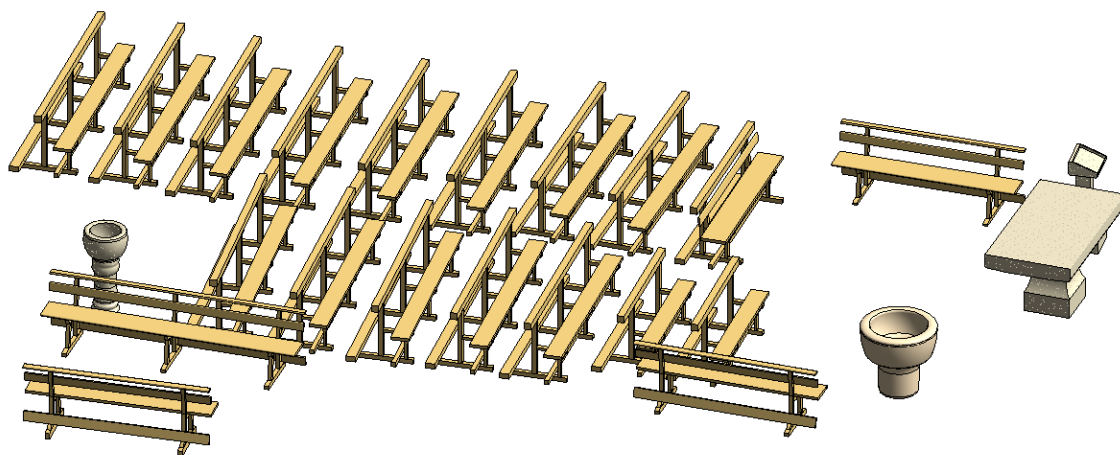
*Figura 99 Fachada sur de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 100 Fachada oeste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 101 Fachada noroeste de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 102 Muebles de la iglesia Ceadea. Fuente: Elaboración propia.*

## 8. Conclusión

Este trabajo presenta una aplicación práctica de HBIM para modelización paramétrica del patrimonio histórico “Iglesia de San Saturnino Ceadea de Zamora” a partir de la nube de puntos obtenidos por escaneado láser y fotogrametría. La investigación que realice a la hora de ejecución de este trabajo me ha servido de gran utilidad para entender el proceso BIM o HBIM y la importancia que debe tener la conservación del patrimonio histórico a nivel público.

Para el modelado BIM, existen varios softwares similares como ArchiCAD (Graphisoft), REVIT (Autodesk), Allplan (Nemetschek), etc. En este trabajo manejé el software Revit por primera vez para modelar la iglesia Ceadea y durante el desarrollo de este, tuve que crear elementos parametrizados específicos para este modelado, ya que no existen bibliotecas de objetos paramétricos estandarizados en términos de familias del modelado HBIM. Desde mi punto de vista, para conseguir la creación del modelado con sus elementos paramétricos ya supone un gran desafío.

También se puede decir en una serie de conclusiones extraídas de la investigación realizada que:

HBIM puede representar un importante valor añadido a los procesos de documentación, conservación, diseño, construcción y gestión de edificios patrimoniales.

La modelización de los edificios históricos conlleva un estudio y análisis previo que requiere una extensa recopilación de documentación para representar correctamente el estado actual del edificio, así como una reproducción lo más cercana posible a estados anteriores.

La combinación de técnicas de escaneo láser junto con la tecnología de modelado BIM genera información histórica relevante de datación que sería imposible de obtener con un levantamiento tradicional.

Los resultados muestran el potencial y las ventajas sobre la tecnología convencional actual, así como la tecnología y las herramientas convencionales actuales demostraron ser ventajosas y efectivas sobre la metodología tradicional anterior.

En conclusión, es de esperar que en el futuro, HBIM se adapte de forma natural y sostenible en el ámbito patrimonial y tecnológico, basándose en los resultados positivos y su gran aportación de valor.

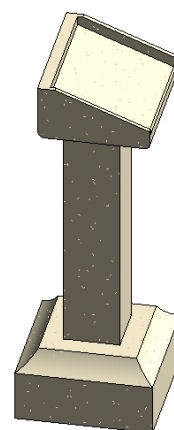
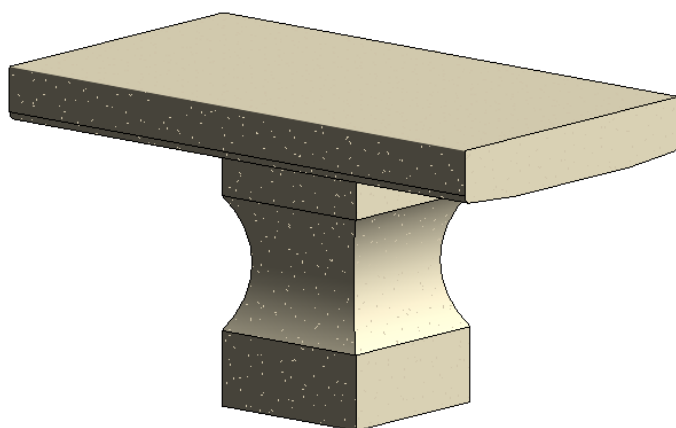
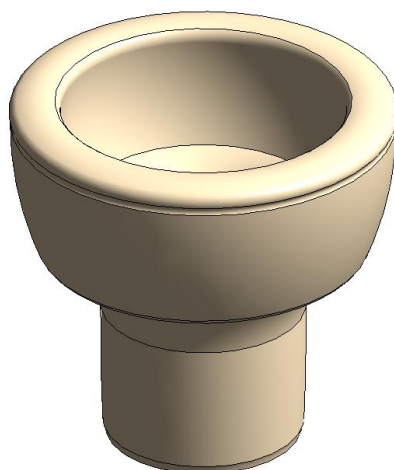
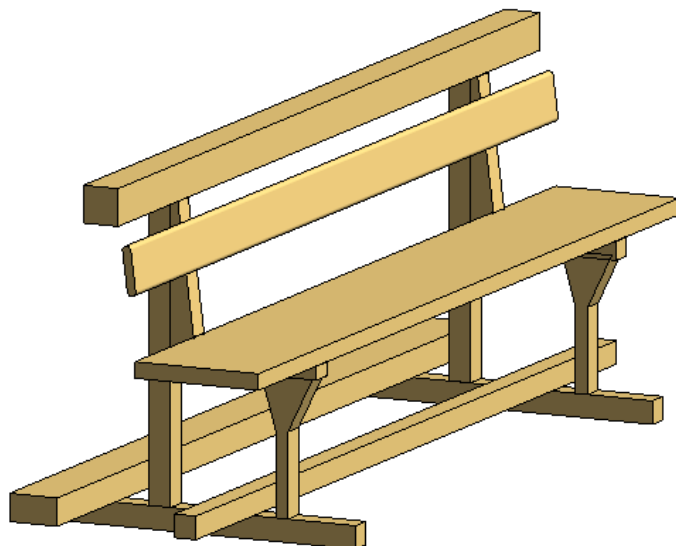
## 9. Referencias:

- [1] R. Argiolas, V. Bagnolo, S. Cera, S. Cuccu. (2022). VIRTUAL ENVIRONMENTS TO COMMUNICATE BUILT CULTURAL HERITAGE: A HBIM BASED VIRTUAL TOUR [https://www.researchgate.net/publication/367809011\\_VIRTUAL\\_ENVIRONMENTS\\_TO\\_COMMUNICATE\\_BUILT\\_CULTURAL\\_HERITAGE\\_A\\_HBIM\\_BASED\\_VIRTUAL\\_TOUR](https://www.researchgate.net/publication/367809011_VIRTUAL_ENVIRONMENTS_TO_COMMUNICATE_BUILT_CULTURAL_HERITAGE_A_HBIM_BASED_VIRTUAL_TOUR)
- [2] Historic England 2019 Statement of Heritage Significance: Analysing Significance in Heritage Assets Historic England Advice Note 12. Swindon. Historic England. [Statements of Heritage Significance: Analysing Significance in Heritage Assets | Historic England](#)
- [3] López, F.J.; Lerones, P.M.; Llamas, J.; Gómez-García-Bermejo, J.; Zalama, E. A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technol. Interact.* **2018**, 2, 21. <https://doi.org/10.3390/mti2020021>
- [4] Garcia-Gago J., Sanchez-Aparicio L.J., Soilan M., Gonzalez-Aguilera D, HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the Master Gate of San Francisco in Portugal (2022) *Automation in Construction*, 141, art. no. 104453 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104453>.
- [5] Davide Simeone, Stefano Cursi, Ilaria Toldo, Gianfranco Carrara. (2014). BIM and knowledge Management for Building Heritage [https://www.researchgate.net/publication/268034993\\_BIM\\_and\\_Knowledge\\_Management\\_for\\_Building\\_Heritage](https://www.researchgate.net/publication/268034993_BIM_and_Knowledge_Management_for_Building_Heritage)
- [6] Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. 2009. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4), 311- 327 [https://www.researchgate.net/publication/241582141\\_Historic\\_building\\_information\\_modelling\\_HBIM](https://www.researchgate.net/publication/241582141_Historic_building_information_modelling_HBIM)
- [7] Argiolas, R. and Bagnolo, V. and Cera, S. and Cuccu, S. (2022) VIRTUAL ENVIRONMENTS TO COMMUNICATE BUILT CULTURAL HERITAGE: A HBIM BASED VIRTUAL TOUR <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVI-5-W1-2022/21/2022/>
- [8] Karasaka, L.; Ulutas, N. Point Cloud-Based Historical Building Information Modeling (H-BIM) in Urban Heritage Documentation Studies. *Sustainability* **2023**, 15, 10726. <https://doi.org/10.3390/su151310726>
- [9] Guerra de Oliveira, S.; Biancardo, S.A.; Tibaut, A. Optimizing H-BIM Workflow for Interventions on Historical Building Elements. *Sustainability* **2022**, 14, 9703. <https://doi.org/10.3390/su14159703>
- [10] Dore, C. and Murphy, M. (2017). CURRENT STATE OF THE ART HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 185–192, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-185-2017>
- [11] Grussenmeyer, P.; Landes, T.; Voegtli, T.; Ringle, K. Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. In *Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, 3–11 July 2008; pp. 213–218. [https://www.researchgate.net/publication/228645072\\_Comparison\\_Methods\\_of\\_Terrestrial\\_Laser\\_Scanning\\_Photogrammetry\\_and\\_Tacheometry\\_Data\\_for\\_Recording\\_of\\_Cultural\\_Heritage\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/228645072_Comparison_Methods_of_Terrestrial_Laser_Scanning_Photogrammetry_and_Tacheometry_Data_for_Recording_of_Cultural_Heritage_Buildings)

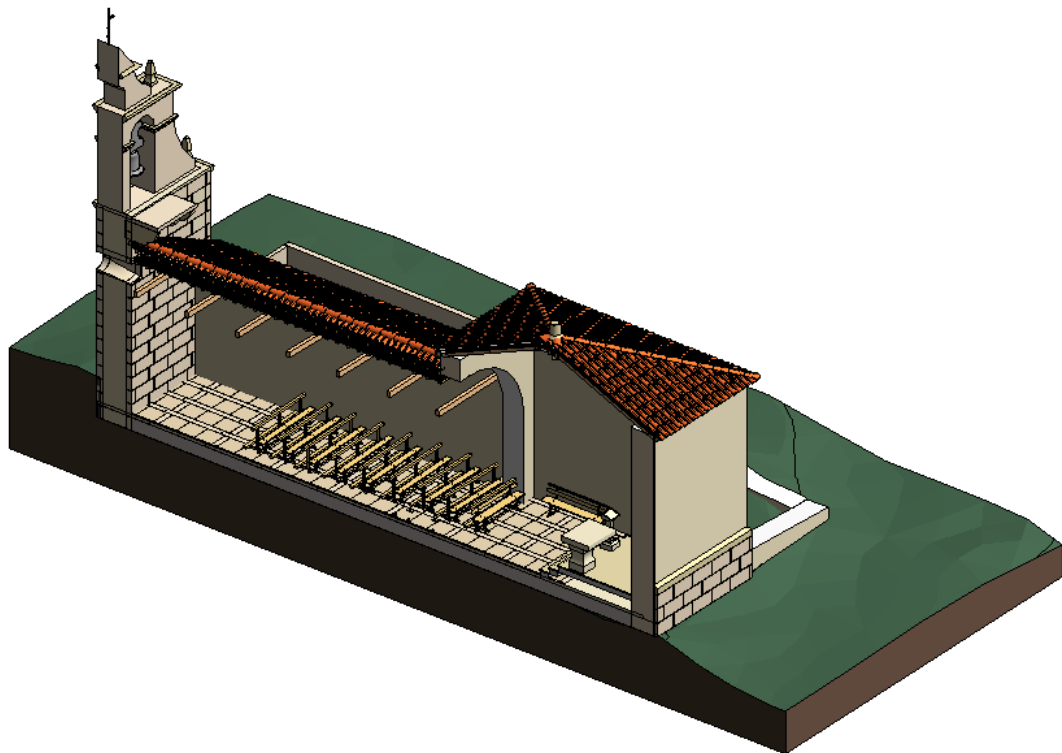
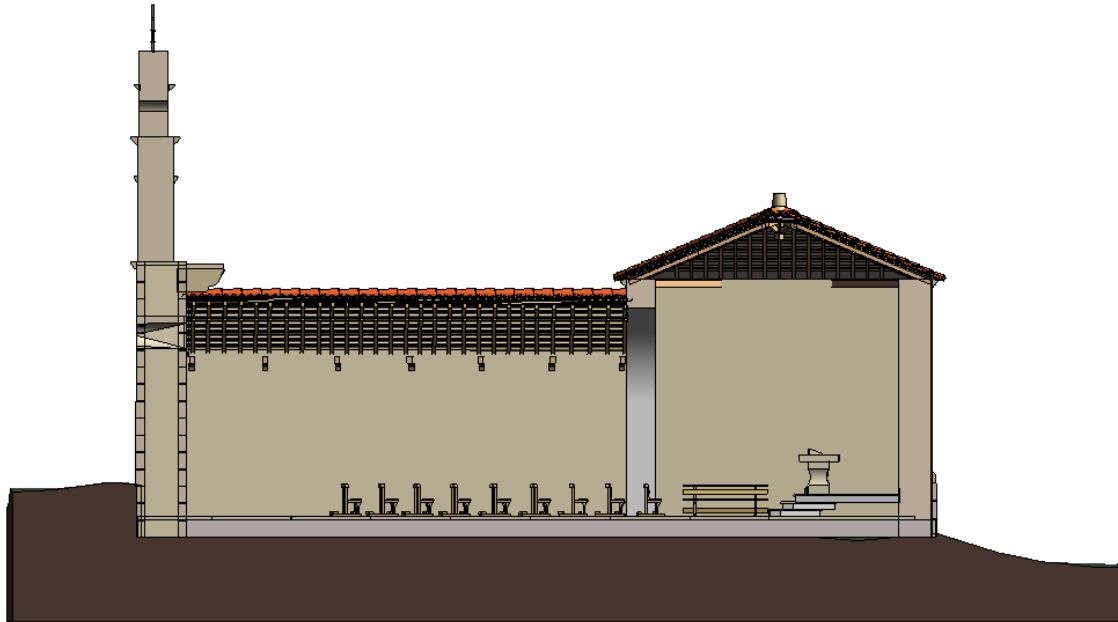
[12] García-Gago, J.; González-Aguilera, D.; Gómez-Lahoz, J.; San José-Alonso, J.I. A Photogrammetric and Computer Vision-Based Approach for Automated 3D Architectural Modeling and Its Typological Analysis. *Remote Sens.* **2014**, *6*, 5671-5691.  
<https://doi.org/10.3390/rs6065671>

## 10. Anexos

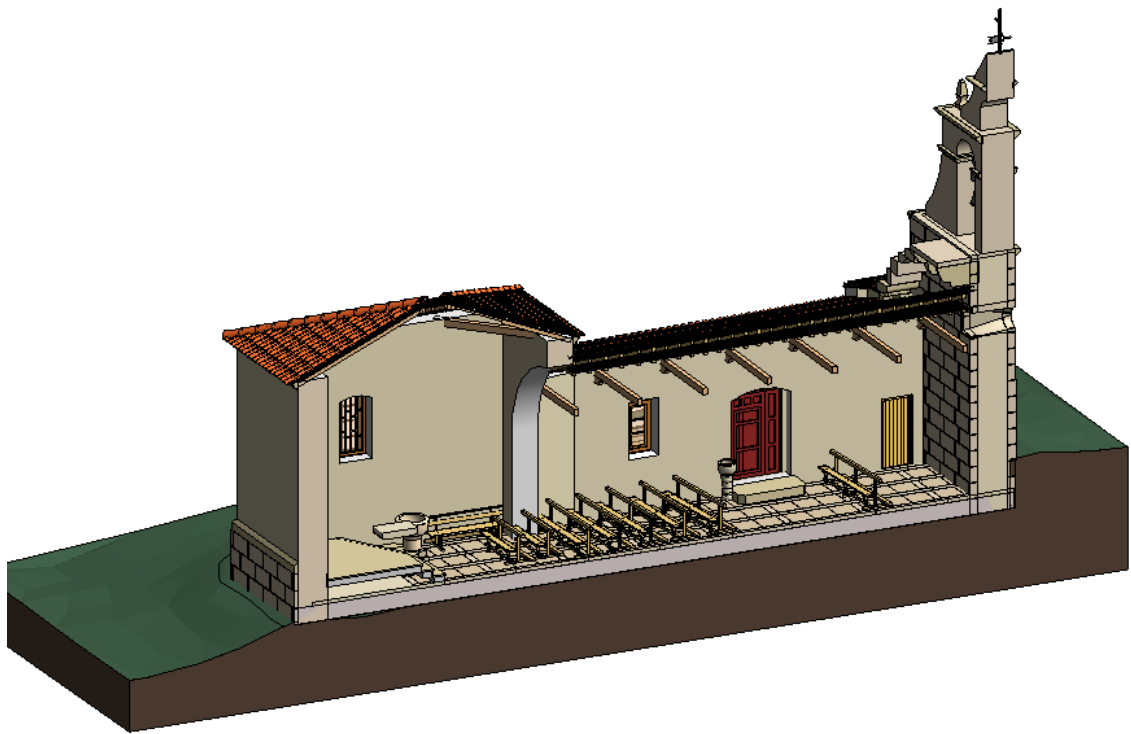
### Muebles de la iglesia Ceadea

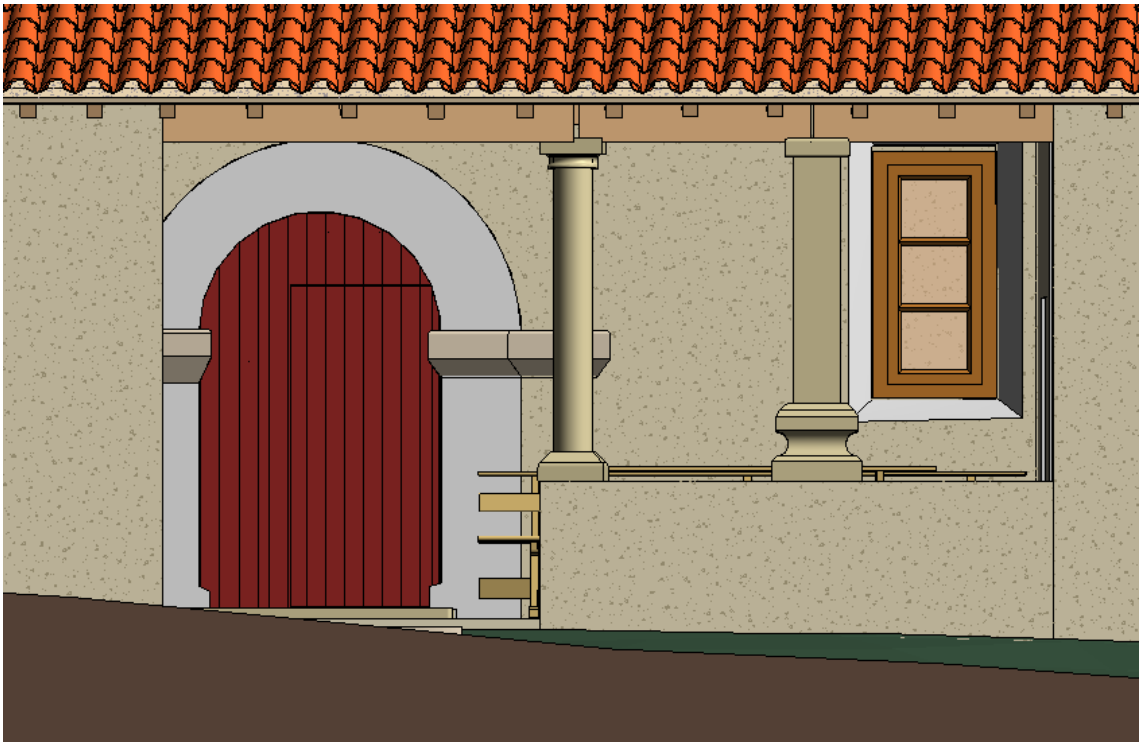


## Secciones longitudinales de la iglesia Ceadea

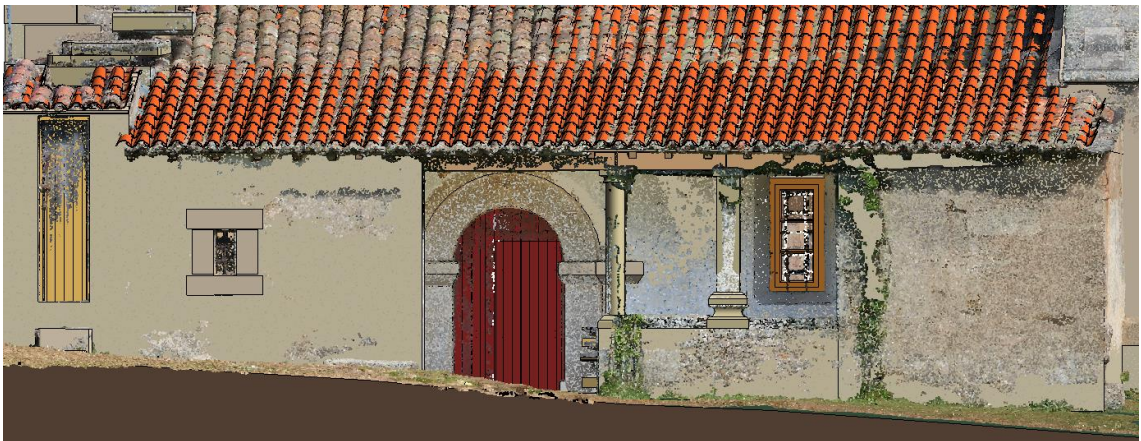


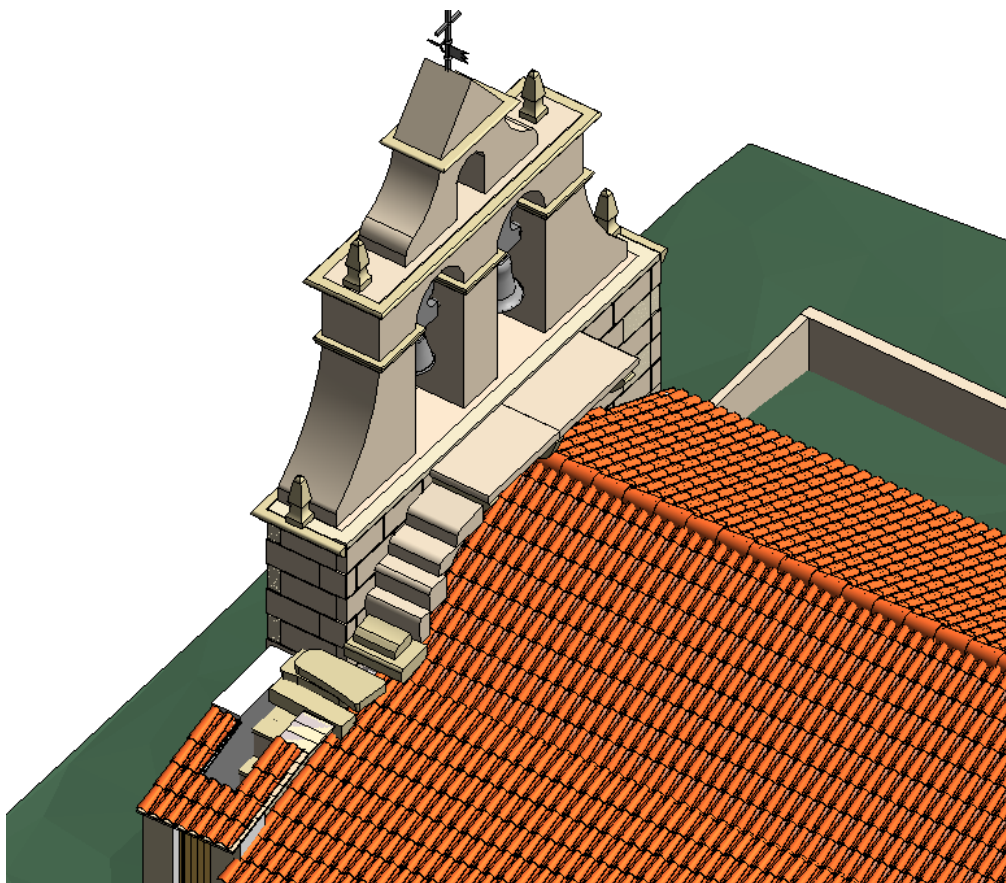






Portico y entrada de la iglesia Ceadea

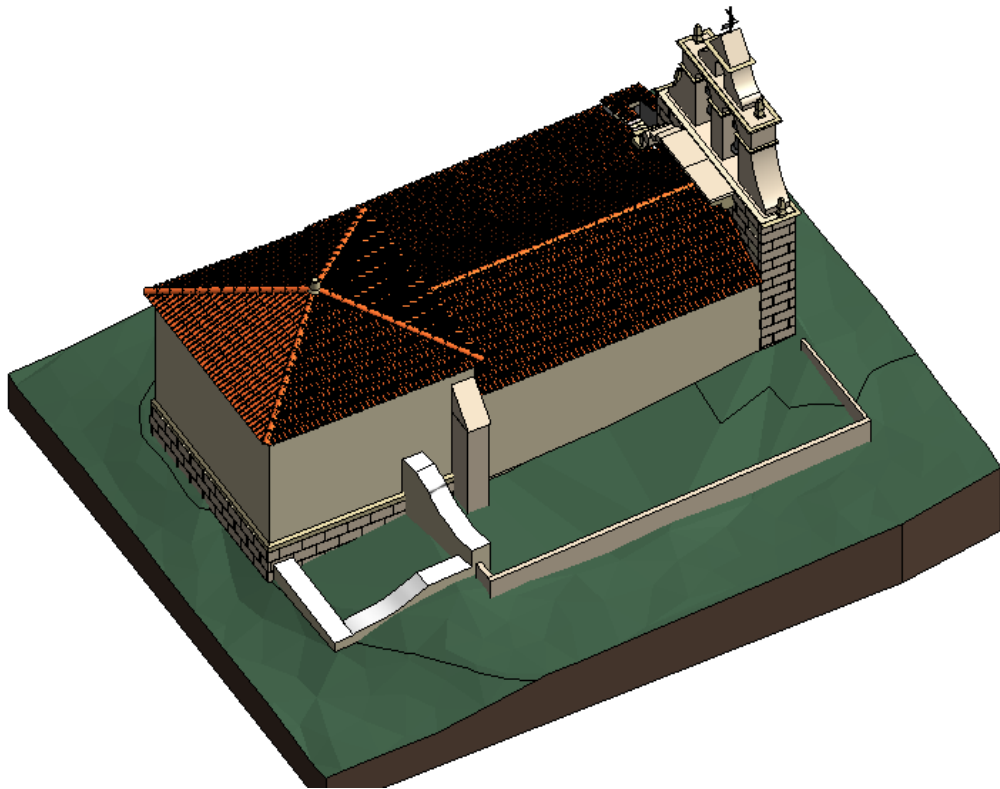
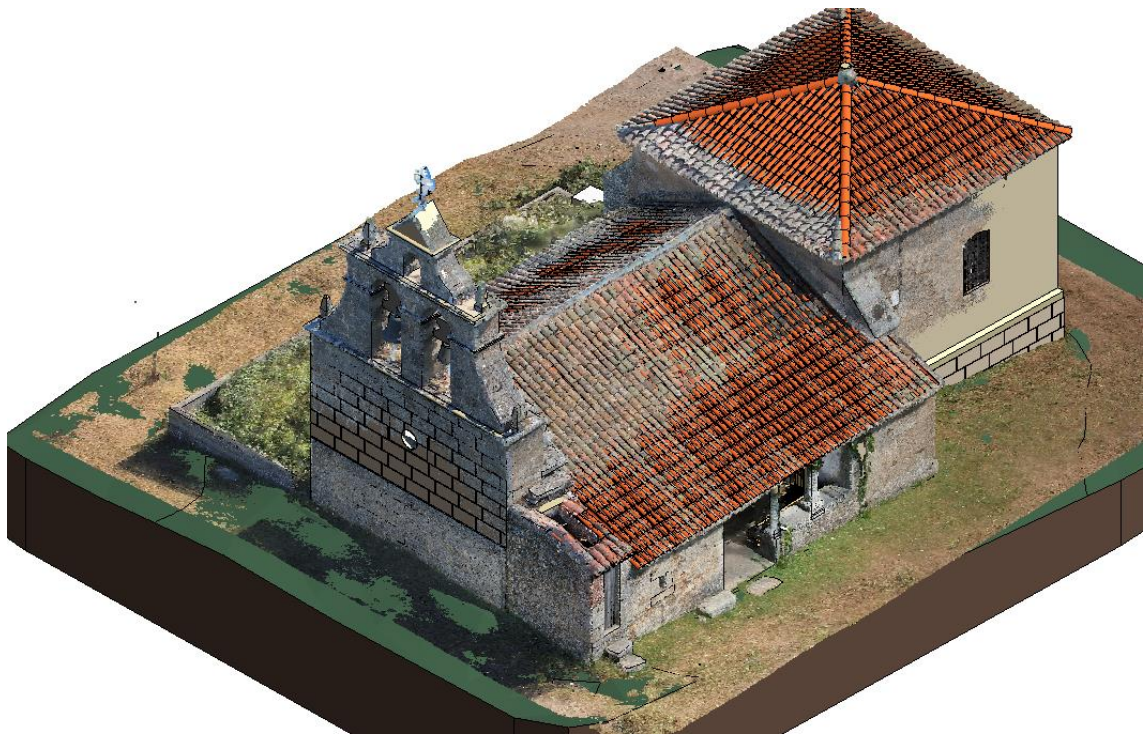




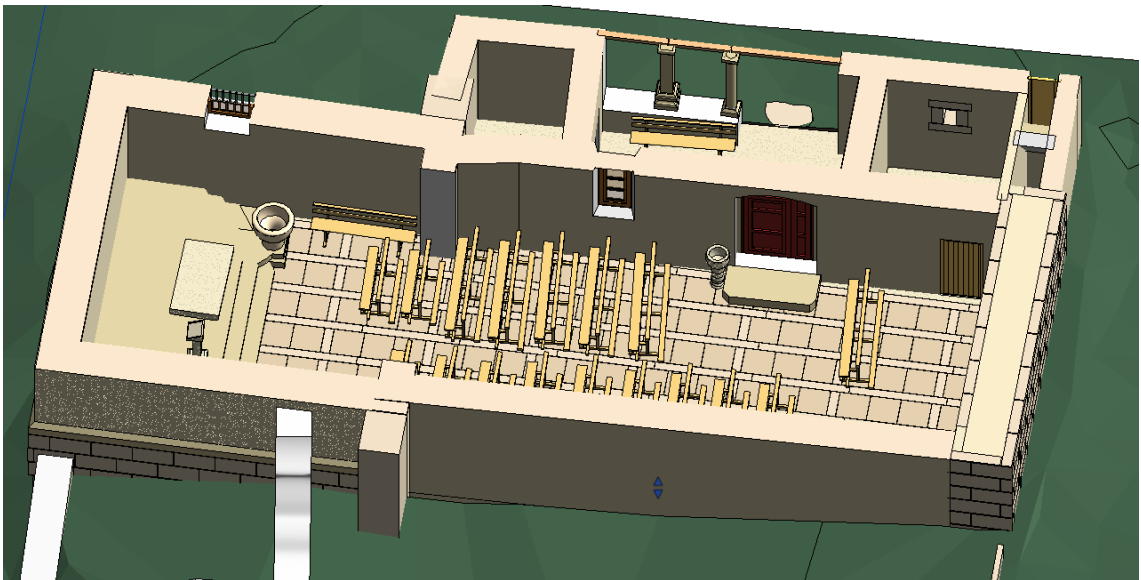
Acceso a al campanario de la iglesia Ceadea



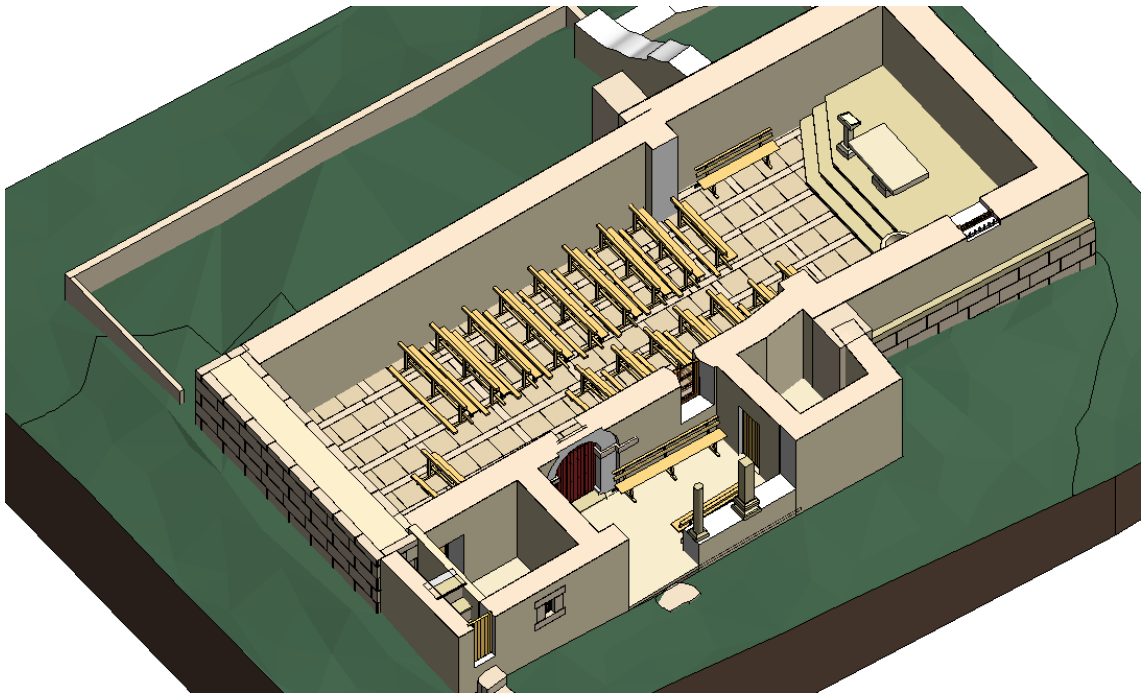
Fachada sureste de la iglesia Ceadea



Fachada noroeste de la iglesia Ceadea



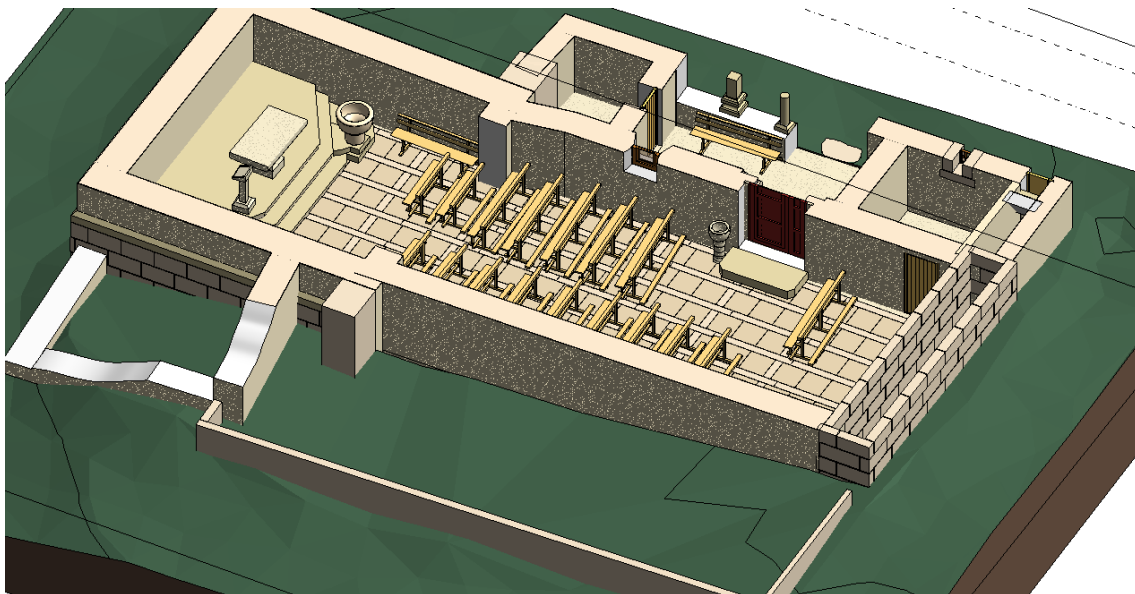
Vista por planta interior



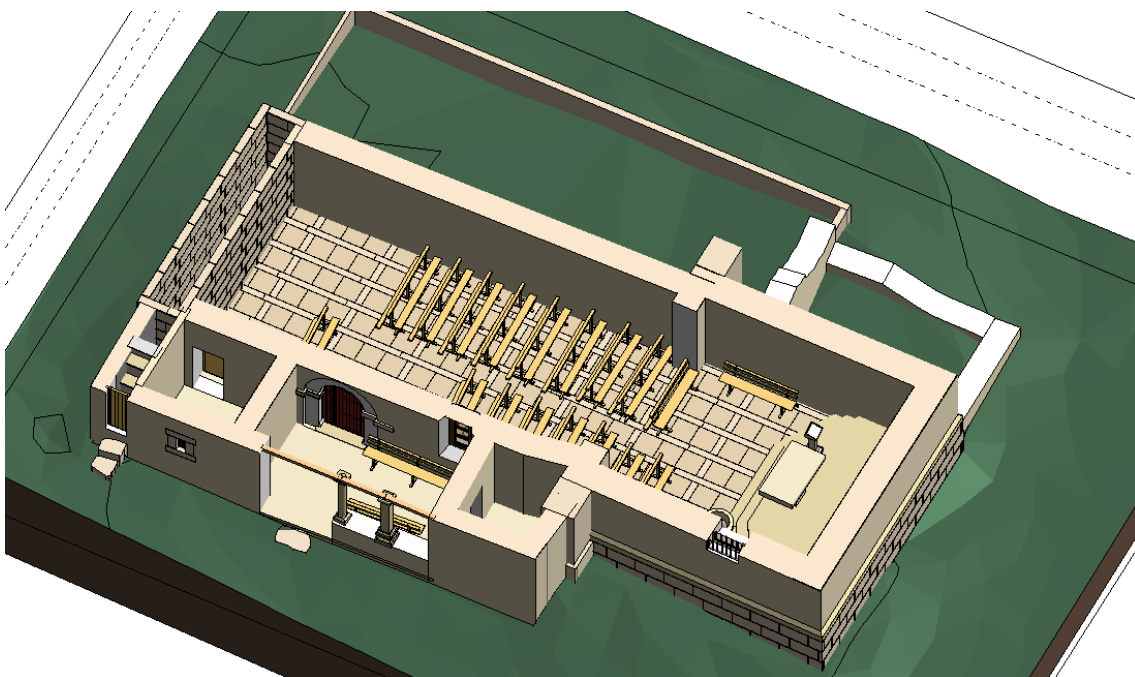
Vista por planta interior



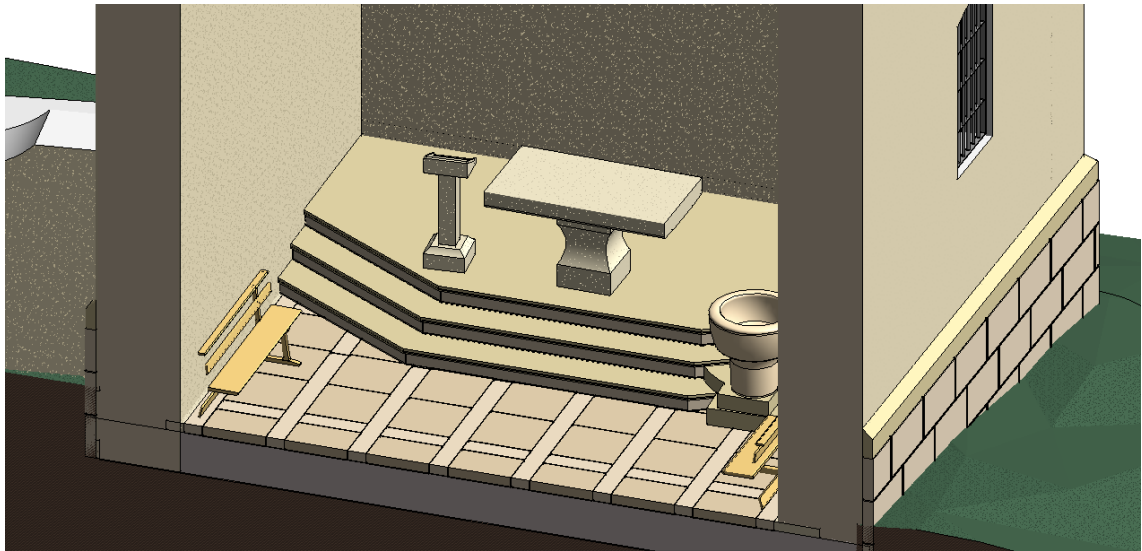
Vista por planta interior



Vista por planta interior



Vista por planta interior



Escalones de la capilla