



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS
CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO
ARQUITECTÓNICO DE LA IGLESIA DE NUESTRA
SEÑORA DE LA ASUNCIÓN EN MONLEÓN,
SALAMANCA**

AUTOR: PABLO VICENTE MARTÍN

TUTOR: JESÚS MARÍA GARCÍA GAGO

JULIO 2021

A mi madre, Rosaura, por su incansable apoyo.

A mi padre, Antonio, y a Celia.

De aquí a la Luna y vuelta.

A mi tutor, Jesús María García Gago, del que fui alumno ya en la Escuela Politécnica Superior de Zamora y con el que comparto el interés por la Documentación Gráfica del Patrimonio Histórico. Gracias por compartir tu experiencia y conocimientos y por transmitirme tu dedicación, apoyo y ánimos necesarios durante este periodo.

A David Alfaraz López, colega de profesión, piloto de dron y especialista en fotogrametría que desde el momento en que contacté con él me prestó su tiempo y conocimientos desinteresadamente. Sin su colaboración este proyecto no hubiese llegado tan lejos.

A Juan María de Arriba Díaz, en calidad de alcalde y vecino de Monleón, por su disposición, cooperación e interés en el proyecto dedicándome su interés y afecto.

Especial agradecimiento a familia y amigos que hicieron posible esta aventura con su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	11
PALABRAS CLAVE.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 GENERAL.....	13
2.2 ESPECÍFICOS.....	13
3. ESTADO DEL ARTE	13
3.1 CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO	13
3.2 DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO	14
3.3 TÉCNICA DE DOCUMENTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.....	15
3.4 BIM Y HBIM.....	18
4. CASO DE ESTUDIO: IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN EN MONLEÓN, SALAMANCA	21
4.1 ETIMOLOGÍA.....	21
4.2 LOCALIZACIÓN	22
4.3 ENTORNO Y CLIMA.....	23
4.4 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	23
4.5 ESTUDIO TIPOLOGICO.....	25
4.6 DESCRIPCIÓN FORMAL	27
4.7 DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES	34
4.8 ESTUDIO CONSTRUCTIVO	34
4.9 ESTUDIO DE MATERIALES	36
5. METODOLOGÍA	40
5.1 ESQUEMA FLUJO METODOLÓGICO	41
5.2 HARDWARE Y SOFTWARE.....	42
5.3 PRINCIPIOS FOTOGRAMÉTRICOS.....	45
5.5 TRABAJO DE CAMPO.....	50
5.6 TRABAJO DE GABINETE.....	53
5.6.1 <i>Metashape. Procesamiento de las nubes de puntos.....</i>	<i>53</i>
5.6.2 <i>Cloudcompare. Análisis y edición de las nubes de puntos.</i>	<i>62</i>
5.6.3 <i>Recap y Revit. Modelado de la nube de puntos.</i>	<i>64</i>
5.6.4 <i>Características constructivas de los elementos en el modelado HBIM</i>	<i>67</i>
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
7. CONCLUSIONES	80
8. TRABAJOS FUTUROS.....	82
9. REFERENCIAS	84

10. ANEXOS	88
ANEXO I: DOCUMENTACIÓN PLANIMÉTRICA E INFOGRAFÍAS.....	88
ANEXO II: INFORME DE PROCESAMIENTO – AGISOFT METASHAPE	88

LISTA DE IMÁGENES

<i>Imagen 1. 7D BIM Vs. 7D HBIM. Fuente: Merchán et al., 2020.....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 2. Vista aérea de Monleón. Fuente: Wikipedia, 2021.....</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 3. Ubicación de Monleón en España. Fuente: Wikipedia, 2021.....</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 4. Ubicación de Monleón en Salamanca. Fuente: Wikipedia, 2021.....</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 5. Evolución demográfica de Monleón entre 1900 y 2020. Fuente: INE. Elaboración gráfica por Wikipedia.....</i>	<i>23</i>
<i>Imagen 6. Plano más antiguo conservado de la Villa de Monleón. Fuente: Entresieras, 2015.....</i>	<i>24</i>
<i>Imagen 7. Leones. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 8. Arcos de medio punto que separan la nave central de las laterales. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 9. Arco ojival, que separa la nave del ábside. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 10. Fachada Este del ábside. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 11. Vista interior de un ventanal del campanario. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 12. Vista exterior del campanario. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 13. Roza y restos de tejas como consecuencia del retroceso del pórtico. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 14. Esgrafiado a la intemperie. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 15. Plaza Puerta del Sol, trama urbana. Fuente: Vicente Martín, 2017</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 16. Azulejo. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 17. Columnas del pórtico y puerta de acceso frontal. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 18. Acceso lateral a pórtico. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 19. Nombre de la calle "Puerta del Sol". Fuente: Elaboración propia</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 20. Ventana que da luz al ábside. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 21. Fachada norte del ábside y fachada este de nave lateral. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 22. Puerta tapiada de acceso al otrora cementerio. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 23. Acceso a la torre. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 24. Escalera de caracol. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 25. Ventana que da luz al coro. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 26. Pilares de piedra. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 27. Pilares de piedra. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 28. Escalera y estructura del coro. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 29. Pilar de madera con basa de piedra, coro. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 30. Vista frontal del coro. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 31. Suelo de red. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 32. Acceso a la sacristía. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 33. Púlpito de piedra. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>33</i>
<i>Imagen 34. Planta de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción, Monleón. Fuente: Elaboración propia ...</i>	<i>33</i>
<i>Imagen 35. Puerta principal, vista interior. Anterior a 2017. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 36. Puerta principal, vista exterior. Anterior a 2017. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 37. Puerta principal, vista interior. Rehabilitada. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 38. Puerta principal, vista exterior. Rehabilitada. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 39. Torre de granito. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 40. Ripio de cornubianita. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 41. Exceso de mortero de cal. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 42. Esquema flujo metodológico. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 43. Nikon D3000. Fuente: Nikon.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 44. Medidor láser Bosch GLM 80. Fuente: Bosch.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 45. UAV Phantom. Fuente: Phantom.....</i>	<i>43</i>

<i>Imagen 46. Logo Agisoft Metashape. Fuente: Agisoft Metashape</i>	44
<i>Imagen 47. Logo AutoCAD. Fuente: Autodesk</i>	44
<i>Imagen 48. Logo CloudCompare. Fuente: Cloudcompare</i>	44
<i>Imagen 49. Logo Recap Pro. Fuente: Autodesk</i>	44
<i>Imagen 50. Logo Revit. Fuente: Autodesk</i>	45
<i>Imagen 51. Logo Sketchfab. Fuente: Sketchfab</i>	45
<i>Imagen 52. Logo Autodesk Viewer. Fuente: Autodesk</i>	45
<i>Imagen 53. Matriz y Patrón de búsqueda. Fuente: Sánchez Sobrino, 2006</i>	46
<i>Imagen 54. Toma fotográfica en anillo y toma planar. Fuente: García-Gago et al., 2014</i>	47
<i>Imagen 55. Recomendaciones toma exterior planar. Fuente: Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, 2019</i>	47
<i>Imagen 56. Recomendaciones toma interior. Fuente: Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, 2019</i>	47
<i>Imagen 57. Ejes de vuelo con orientación W-E y E-W. Fuente: Pérez Álvarez, 2001</i>	48
<i>Imagen 58. Disposición ideal de fotogramas. Fuente: Pérez Álvarez, 2001</i>	49
<i>Imagen 59. Toma estereoscópica. Fuente: Pérez Arias, 2018</i>	49
<i>Imagen 60. Toma oblicua. Fuente: Pérez Arias, 2018</i>	50
<i>Imagen 61. Toma fotogramétrica exterior. Fuente: Elaboración propia</i>	50
<i>Imagen 62. Nikon D3000 acoplada a trípode con nivel de burbuja. Fuente: Elaboración propia</i>	51
<i>Imagen 63. Montaje del dron. (Alfaraz López, 2020). Fuente: Elaboración propia</i>	51
<i>Imagen 64. Condiciones y patrón de vuelo. Fuente: Alfaraz López, 2020</i>	52
<i>Imagen 65. Waypoint de Phantom 4 sobre mando de control. Fuente: Elaboración propia</i>	52
<i>Imagen 66. Toma fotogramétrica interior. Fuente: Elaboración propia</i>	53
<i>Imagen 67. Preferencias de trabajo en Agisoft Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	54
<i>Imagen 68. Procesado por lotes. Fuente: Elaboración propia</i>	54
<i>Imagen 69. Previsualización de máscaras, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	55
<i>Imagen 70. Previsualización de mapas de profundidad. Fuente: Elaboración propia</i>	55
<i>Imagen 71. Paso para la creación de nube de puntos densa, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	55
<i>Imagen 72. Nube de puntos en calidad media y espacio de trabajo, a partir de fotografías terrestres; Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	56
<i>Imagen 73. Nube de puntos en calidad media y espacio de trabajo, a partir de fotografías terrestres; Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	56
<i>Imagen 74. Nube de puntos en calidad mínima a partir de fotografías terrestre y VANT, calidad mínima. Fuente: Elaboración propia</i>	57
<i>Imagen 75. Nube de puntos del modelo y espacio de trabajo ortogonal, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	57
<i>Imagen 76. Vista cenital del entramado urbano colindante, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	57
<i>Imagen 77. Diferencia de filtrado de profundidad Leve Vs. Agresivo, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	58
<i>Imagen 78. Diferencia de filtrado de profundidad y limpieza manual de la nube. Fuente: Elaboración propia</i>	59
<i>Imagen 79. Nube densa, calidad mínima. Toma terrestre + VANT, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	59
<i>Imagen 80. Detalle del mallado de alambre, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	60
<i>Imagen 81. Malla sombreada, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	60
<i>Imagen 82. Malla con color, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	60
<i>Imagen 83. Malla con textura, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	60
<i>Imagen 84. Textura, formato JPG. Fuente: Elaboración propia</i>	61
<i>Imagen 85. Nube densa, modelo final; Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	61
<i>Imagen 86. Modelo texturizado final, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	61

<i>Imagen 87. Posicionamiento toma fotográfica exterior, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 88. Modelo texturizado del interior del campanario, Metashape. Fuente: Elaboración propia....</i>	<i>62</i>
<i>Imagen 89. Modelo texturizado del interior de la iglesia, Metashape. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>62</i>
<i>Imagen 90. Nube de puntos con los tres bloques fusionados, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>63</i>
<i>Imagen 91. Posibilidad de trabajar con diferentes bloques, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia .</i>	<i>63</i>
<i>Imagen 92. Sección longitudinal de los tres bloques de trabajo, Metashape. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>63</i>
<i>Imagen 93. Zonas parciales de la nube de puntos interior, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia...</i>	<i>64</i>
<i>Imagen 94. Paso previo a eliminar los puntos correspondientes al mobiliario, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>64</i>
<i>Imagen 95. Importar nube de puntos a Recap. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>64</i>
<i>Imagen 96. Interface inicial, Recap. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 97. Sección transversal, Recap. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 98. Sección longitudinal, Recap. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 99. Alineación de la nube de puntos, fachada norte, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 100. Alineación de la nube de puntos, fachada este, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 101. Alineación de la nube de puntos, fachada oeste, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 102. Alineación de la nube de puntos, torre, Revit. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 103. Comprobación en planta de la alineación de la nube, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 104. Muros. Primera aproximación al modelado, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 105. Cubiertas. Primera aproximación al modelado, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 106. Planta. Primera aproximación al modelado, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 107. Escalera de acceso a torre. Component in-place extrusion, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>69</i>
<i>Imagen 108. Puerta de acceso a torre. Nueva familia, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>69</i>
<i>Imagen 109. Peto mediante sweep y remate, Revit. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>69</i>
<i>Imagen 110. Puerta, mediante familia; Revit. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 111. Aproximación a la estructura de cubierta, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 112. Alineación de estructura de madera a la nube de puntos, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 113. Estructura de par e hilera. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 114. Estructura y cubierta a tres aguas, correspondiente al ábside. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 115. Definición de la estructura de madera, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 116. Definición de la estructura de madera, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 117. Vinculación de muros a cubierta, Revit. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 118. Tejaroz de un cuarto de circunferencia. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 119. Diferencia de inclinación entre la estructura de madera y la cubierta. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 120. Imposta, columna y arcos de granito. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>74</i>
<i>Imagen 121. Ventana de edición de familia. Modificación de parámetros. Fuente: Elaboración propia...</i>	<i>74</i>
<i>Imagen 122. Características del granito. Aspecto. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>75</i>
<i>Imagen 123. Características físicas del granito. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>75</i>
<i>Imagen 124. Características térmicas del granito. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>75</i>
<i>Imagen 125. Código Qr. Nube de puntos fusionada filtrada. Sketcfab. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>76</i>
<i>Imagen 126. Modelado 3D. Autodesk Viewer. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>76</i>
<i>Imagen 127. Surface Analysis (I). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>77</i>
<i>Imagen 128. Surface Analysis (II). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>78</i>

<i>Imagen 129. Surface Analysis (III). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente:</i>	
<i>Elaboración propia</i>	<i>78</i>
<i>Imagen 130. Surface Analysis (IV). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente:</i>	
<i>Elaboración propia</i>	<i>79</i>
<i>Imagen 131. Surface Analysis (V). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente:</i>	
<i>Elaboración propia</i>	<i>79</i>
<i>Imagen 132. Surface Analysis (VI). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente:</i>	
<i>Elaboración propia</i>	<i>80</i>
<i>Imagen 133. Mapa de la Sierra de Francia. Fuente: Casa en Aldeatejada, 2021</i>	<i>83</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Superficies. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2. Propiedades de la madera de roble. Fuente: Maderas Medina, 2021.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Características técnicas del granito. Fuente: G. Dolcestone, 2021</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4. Características técnicas de la cuarcita. Fuente: C. Dolcestone, 2021</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5. Características técnicas de la pizarra. Fuente: P Dolcestone, 2021.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6. Especificaciones técnicas de la cámara Nikon D3000. Fuente: Nikon</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7. Especificaciones técnicas cámara Phantom. Fuente: Phantom.....</i>	<i>43</i>

RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster pretende la integración de productos geomáticos en sistemas de modelado 3D para elaborar modelos tridimensionales que posibiliten la documentación gráfica de la Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción en Monleón, Salamanca, como parte del Patrimonio Histórico.

La metodología de trabajo consistirá en el empleo de la técnica fotogramétrica terrestre apoyada en la técnica aérea, a partir de una cámara Nikon D3000 y un vehículo aéreo no tripulado Phantom 4, con el propósito de elaborar una nube de puntos densa del bien a documentar. Posteriormente, la finalidad radica en el empleo y aplicación de diferentes softwares de modelado 3D sobre la nube de puntos para obtener una maqueta 3D virtual de la que se podrán extraer mediciones y análisis con mayor precisión y rapidez.

Se pretende contribuir a la documentación del Patrimonio Histórico y su implícita Conservación, mediante la aplicación de la fotogrametría de bajo coste, dado que es una herramienta económica y eficaz.

Además, se formulará un flujo de trabajo que posibilite la aproximación al modelado HBIM partiendo de los conceptos BIM buscando establecer mecanismos y procedimientos.

ABSTRACT

The purpose of this Master's Thesis is the integration of geomatic products in 3D modelling systems to elaborate three-dimensional models in order to facilitate the graphic documentation of the Church of Nuestra Señora de la Asunción as part of the Historical Heritage.

The work methodology consists of the utilization of the terrestrial photogrammetric technique supported by the aerial technique, using a Nikon D3000 camera and a Phantom 4 unmanned aerial vehicle, as a method to elaborate a dense point cloud of the construction to be documented. Afterward, the purpose lies in the use and application of various 3D modelling software on the said point cloud to obtain a virtual 3D model from which measurements and analysis can be extracted with greater precision and speed.

Additionally, through the application of a low-cost photogrammetry, it is also intended to demonstrate the importance of the documentation of the Historical Heritage and its implicit Conservation.

Furthermore, a workflow will be formulated to enable an approach to HBIM modelling based on BIM concepts, seeking to establish mechanisms and procedures.

PALABRAS CLAVE

Arquitectura religiosa, Documentación, Patrimonio Histórico, Conservación, Restauración, Rehabilitación, Fotogrametría, HBIM.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la Historia, una serie de edificaciones arquitectónicas han sido ejecutadas en cada núcleo poblacional, por pequeño que fuese, con la finalidad de dar cobijo y respuesta a las necesidades del alma (eclesiásticas) y del cuerpo (terrenales). Esta arquitectura podía ir desde capillas, ermitas o iglesias hasta catedrales y basílicas, creciendo y evolucionando en función de la época, las guerras, periodos de hambruna... en definitiva, eran el eje de las circunstancias sociales; formando parte de nuestro patrimonio cultural.

Hoy en día tenemos la inmensa suerte de que la mayoría de esta arquitectura está catalogada y protegida por la Administración Pública o por la propia Iglesia, pero únicamente aquella que tiene cierta entidad o relevancia. Aquí entran en juego los pequeños eslabones arquitectónicos de este determinado tipo de edificaciones ubicados en pequeños pueblos o aldeas y que con el paso del tiempo se encuentran en situación de abandono, incluso en riesgo de desaparición.

Es necesario conocer, preservar y aprender de nuestro Patrimonio Histórico y Cultural para documentar y conservar el sentido de la Historia.

En muchos casos existe un desconocimiento generalizado de esta arquitectura y de todo lo que engloba por gran parte de la población, que en tanto no sea rentable su conservación, o la Administración correspondiente no le encuentre el sentido, no conseguirá perdurar por sí misma junto con los vestigios del pasado y toda su cultura y aprendizaje que le es intrínseca.

Por ello, esta conservación, pasa en parte por reconvertirse en un open source donde la difusión y divulgación retroalimente el interés y la participación de la población.

Para llevar a cabo esta documentación del Patrimonio Arquitectónico (Almagro Gorbea, 2004), resume las pautas del buen hacer “mediante el conjunto de operaciones, medidas y análisis necesarios para comprender y documentar un bien arquitectónico de forma completa, incluyendo el contexto urbano y territorial en sus características dimensionales y métricas, en su complejidad histórica, en sus características estructurales y constructivas, así como en las formales y funcionales”.

En definitiva, la Documentación es un proceso de investigación cuyo fin es la ampliación de información sobre un bien arquitectónico (Valle Melón, 2006). Desde este Trabajo de Fin de Máster, se pretende contribuir a dicha Documentación mediante el uso de la fotogrametría y el modelado 3D paramétrico, así como a posibles intervenciones y divulgación del conocimiento, colaborando a sentar unas bases de apoyo de cara a la Documentación Gráfica en los Proyectos de intervención en el Patrimonio: Conservación, Restauración y Rehabilitación.

A grandes rasgos, la Fotogrametría es un sistema de documentación de alta precisión y bajo coste que trabaja con capturas masivas de información para regenerar modelos virtuales. En la actualidad, los sistemas fotogramétricos son digitales basados en la interacción de la captura fotográfica con el trabajo computacional siendo posible, y de manera automática, el paso de imágenes 2D a nubes de puntos 3D.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

El objetivo general de este trabajo pretende la integración de productos geomáticos en sistemas de modelado 3D, para elaborar modelos tridimensionales que permitan documentar y estudiar un proyecto arquitectónico, mediante los datos obtenidos a partir de un estudio fotogramétrico. En este caso, corresponde a la Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de la Asunción sita en el municipio de Monleón, provincia de Salamanca.

Además, se realizará un acercamiento a la metodología BIM (Building Information Modeling) para la generación de maquetas virtuales.

2.2 ESPECÍFICOS

- Estudiar fotogramétricamente el bien a documentar mediante técnicas terrestres y aéreas.
- Fusionar las nubes de puntos obtenidas.
- Crear una maqueta virtual del bien a documentar mediante un software paramétrico (HBIM) que permita obtener planos de planta, alzados, secciones e infografías.
- Aproximar una posible evolución cronológica del bien a documentar.
- Difundir el contenido a través de visores online especializados.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO

González-Varas (2018), en su libro *“Conservación del patrimonio cultural. Teoría, historia, principios y normas”* resume la evolución conceptual de “monumento histórico-artístico”, “patrimonio histórico o cultural” y “bien cultural”. El patrimonio cultural y, más bien, sus bienes son inherentes a la presencia y actividad humana a lo largo de los siglos.

Inicialmente, el patrimonio se entendía como la memoria de nuestros antecesores y era el nexo vinculante de las generaciones pasadas con las futuras (Benavides López, 2017).

No es hasta el Renacimiento cuando se comienza a poner en valor las antigüedades, sentando las bases de lo que se conocerá en época contemporánea como “monumento histórico-artístico”. Posteriormente, a través de una reflexividad teórica y práctica, lo que se conoce como una maduración crítica, nace el término de “patrimonio cultural”.

La categorización como “patrimonio” puede tener diferentes alicientes, tales como políticos, religiosos, culturales, artísticos o económicos; lo que (Manzini, 2011), define como *“la singular particularidad de los bienes patrimoniales”*. Así, otorgamos un valor único e insustituible para el que *“existe la responsabilidad colectiva de protegerlo y conservarlo”* (González-Varas, 2018).

Diferentes organismos internacionales, entre los que destacan la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), promueven las convenciones, cartas y normas que rigen la conservación del patrimonio a

nivel mundial. Para llegar hasta aquí, en esa búsqueda de la reconversión conceptual de “patrimonio”, han intervenido diferentes Instituciones mediante legislaciones y normas.

Las *“Cartas del Restauo”* italianas, entre las que destaca la *“Carta de la restauración”* (Del Restauo, 1932), y posteriormente, documentos internacionales como *“Carta de Atenas”* (De Atenas, 1931), *“Carta de Venecia”* (De Venecia, 1964), o la *“Carta de Cracovia”* (De Cracovia, 2000), continuaron la expansión. En el ámbito europeo uno de los documentos más importantes fue la *“Convención de Granada”* (Consejo de Europa, 1985).

Según se recoge en el artículo 1 de la vigente Ley de Patrimonio Histórico Español (Gobierno de España, 1985).

“Integran el Patrimonio Histórico Español los inmuebles y objetos muebles de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También, forman parte de este el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques que tengan valor artístico, histórico o antropológico”.

Si bien esta definición técnica es relativamente reciente y actualizada, resulta indispensable apoyarla y completarla desde una visión más integradora curiosamente promulgada una década atrás. La *“Carta europea del Patrimonio Arquitectónico”* expresa que *“el patrimonio arquitectónico europeo está formado no sólo por nuestros monumentos más importantes, sino también por los conjuntos que constituyen nuestras ciudades y nuestros pueblos tradicionales en su entorno natural o construido”.* (de Amsterdam, 1975). Monleón figura en la relación de conjuntos o edificios históricos de interés de las NN SS Provinciales como Conjunto de Interés, y la iglesia, castillo, verraco, murallas y sus puertas de entrada tendrán el nivel de protección integral (Burggraaf & Sánchez de las Matas y Arboix, 1993).

3.2 DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO

Una vez conocida y reconocida la necesidad de conservación del patrimonio, el siguiente paso es dejar constancia de él, de su estudio, de sus análisis y de sus conclusiones para su valorización y divulgación como antesala al registro, inventariado y catalogación ante futuribles intervenciones y restauraciones.

La *“Carta del rilievo architetonico”* afirma que *“el primer nivel de salvaguarda es el conocimiento; conocer quiere decir documentar. La documentación constituye un soporte indispensable para la tutela del patrimonio cultural”.* Y la *“Carta de Venecia”* cita la necesidad de *“elaborar una documentación precisa, en forma de informes, ilustrados con dibujos y fotografías”* que *“será depositada en los archivos de un organismo público y puesta a la disposición de los investigadores, recomendando su publicación”.*

De lo expuesto en estos documentos entendemos que la finalidad de la documentación rigurosamente acometida permitirá *“un uso apropiado en materia de investigación, gestión y conservación”*, además de *“proporcionar un registro permanente de todos los monumentos, conjuntos arquitectónicos y sitios que son susceptibles de ser destruidos como consecuencia de riesgos naturales o derivados de la actividad humana”* y *“facilitar la documentación a las administraciones responsables de la protección y conservación con el fin de favorecer políticas y decisiones adecuadas”* (Benavides López, 2017).

Valle Melón (2006), acuña el término *“Documentación Geométrica del Patrimonio”*, definiéndolo como *“el conjunto de registros y resultados obtenidos de la aplicación de ciencias y técnicas que posibilitan*

la detección, medida y representación de las cualidades geométricas relativas a la forma, dimensiones y disposición espacial de los objetos constitutivos del patrimonio”.

Además, cualquier actuación en el patrimonio implica tomar decisiones y responsabilidades, donde el criterio adoptado debe basarse en el principio de reversibilidad surgido a partir de una investigación profunda del bien a documentar (De Cracovia, 2000).

Así pues, en este Trabajo de Fin de Máster, se acometerá una documentación gráfica del bien mediante métodos no invasivos, a partir de una técnica llamada fotogrametría. La documentación gráfica y, concretamente, la documentación gráfica mediante diseño asistido por ordenador se ha convertido en el motor de registro y control de edificios históricos y patrimoniales.

3.3 TÉCNICA DE DOCUMENTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA

La fotogrametría es una técnica que estudia y define con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando medidas hechas sobre una o varias fotografías (Bonneval, 1972).

Atendiendo a su composición etimológica, fotogrametría (Photos Gramma Metron), deriva de las palabras griegas φωτος (photos), γραμμα (gramma) y μετρον (metrón); que significan *luz, lo que está dibujado o escrito y medir*. Definiéndose en conjunto como un “medir gráficamente a partir de un haz de luz”.

La sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) en su Congreso en 1996 coinciden en el nacimiento de la era digital, contando con algoritmos que permiten alcanzar la precisión subpíxel y algoritmos de compresión de imagen; definiendo la fotogrametría como *“la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones fiables por medio de fotografías para, de esa manera, obtener características métricas y geométricas del objeto fotografiado”* (González Aguilera, 2018).

Una definición más completa y actualizada nos la ofrece la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), tal es su amplitud que abarca las técnicas modernas casi eliminando las diferencias existentes entre Fotogrametría y Teledetección, *“el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”* (Pérez Arias, 2018).

En definitiva, *“su objetivo principal es la mejora de todos los métodos para inspeccionar monumentos y sitios culturales, especialmente por los efectos de sinergia obtenidos por la combinación de métodos bajo especial consideración de la fotogrametría con todos sus aspectos, como una contribución importante al registro y monitoreo perceptual del patrimonio cultural, a la preservación y restauración de cualquier monumento, objeto o sitio arquitectónico u otro objeto cultural valioso, como apoyo a la investigación arquitectónica, arqueológica y de otro tipo de arte histórico”* (CIPA, 1988).

Perspectiva y evolución en el tiempo

En un encuadre histórico la fotogrametría, estrictamente definida, no existirá hasta la invención de la fotografía, pero varios personajes ilustres, cada uno con los métodos asociados a su tiempo, a lo largo de la Historia sentaron las bases de lo que hoy conocemos.

En el año 350 a. C. Aristóteles se refirió al proceso de proyección óptica de las imágenes. Durante el Renacimiento, diversos pintores como Leonardo Da Vinci y Alberto Durero investigan de forma sistemática sobre las leyes de la perspectiva. En 1636 Girard Desargues publicó su primer libro con objeto de racionalizar la geometría proyectiva. En 1759 el matemático alemán Johann Lambert publicó "*Freye Perspective*", texto en el que ya se sugería que los principios de la perspectiva se podrían utilizar para la obtención de mapas y planos (García García, 2015).

Así pues, la Fotogrametría va ligada a los avances en la ciencia; teniendo sus inicios en el descubrimiento de la fotografía durante el año 1839 gracias a Arago, que fue perfeccionada por Niepce y Daguerre. Una vez extendida su utilidad y utilización, Laussedat en el año 1850 decide implantar esta, por entonces, novedosa técnica para realizar planos topográficos, diseñando y haciendo construir el primer fototeodolito, dando lugar a lo que llamó metrofotografía (Sánchez Sobrino, 2006).

Pocos años más tarde, en 1859, el arquitecto alemán Meydenbauer continúa utilizando el método que popularizó Laussedat basado en las intersecciones a partir de fotografías para el levantamiento de edificios, que consistía en conocer la posición desde la que se tomó la fotografía y las direcciones de los ejes ópticos de la cámara de cada estación; es un método muy meticuloso, siguió empleándose hasta la II Guerra Mundial. Finalmente, a este método se le conoce como Fotogrametría.

Entrados ya en el s. XX, durante 1901 Pulfrich inventó el estereocomparador, que ayudaba a resolver la identificación de puntos homólogos mediante el uso de la visión estereoscópica. A partir de ello, Von Orel construye el primer aparato de restitución, permitiendo el trazado de curvas de nivel continuas.

Uno de los mayores progresos de la Fotogrametría surgió a partir del nacimiento de los aviones, tan es así que en 1909 se realizaron las primeras fotografías aéreas desde un avión, (no siendo las primeras tomas desde el aire ya que anteriormente se había realizado desde globos aerostáticos, siguiendo la tradición de reconocimiento del terreno de los pintores militares que se dedicaban a plasmar las ciudades sobre papel para sus operaciones de guerra) su desarrollo completo fue a partir de 1920.

La primera dificultad encontrada desde entonces fue no saber ni la posición ni la orientación de la cámara en el momento del disparo, resultando la fotogrametría aérea más compleja que la terrestre. Pero en 1924 Von Gruber resuelve el problema de las orientaciones de cámara, produciéndose el desarrollo de la fotogrametría analógica.

En 1943 aparece el primer ordenador. Durante las décadas de los cuarenta y de los cincuenta, autores como Church, Smith y Brown, siguiendo los trabajos de Finsterwalder, desarrollan modelos matemáticos para resolver el método fotogramétrico. Se obtienen observaciones sobre mono y estereocomparadores que constituyen el "input" en modo "off-line" para los algoritmos programados en las grandes computadoras. El campo de aplicación es, básicamente, la aerotriangulación (González Aguilera, 2018).

En 1957 el finlandés Helava, diseña el primer restituidor analítico basado en la alimentación "on line" de datos para los algoritmos de manera que se hace factible emular la capacidad operativa de los restituidores analógicos. Los restituidores analíticos empiezan a estar comercialmente disponibles en el mercado fotogramétrico a partir de 1975 y gozan de una gran expansión durante la década de los ochenta, siendo su punto álgido, en la que fuerzan la "extinción" de sus predecesores. La diferencia

entre un restituidor analógico y uno analítico es evidente, en el analógico los procesos de orientación se realizan a partir de métodos ópticos y mecánicos, mientras que en los analíticos se hacen mediante procesos de ordenador (González Aguilera, 2018).

Durante la transición entre los dos modelos de restituidores surgen unos semianalíticos, que no dejaban de ser restituidores analógicos que dotados de sensores captaban las coordenadas de terreno y eran enviadas a un sistema CAD (Diseño Asistido por Ordenador) que permitía almacenar y dibujar estos datos.

Con la tecnología y la informática creciendo a pasos agigantados, en la última década del s. XX, las posibilidades de rapidez de procesado para la orientación en tiempo real de imágenes digitales fue una realidad tangible. La fotogrametría digital necesita discos duros de gran almacenamiento, tarjetas gráficas potentes, y posibilidad de compresión y tratamiento de imágenes, básicamente.

Hoy en día (2021), contamos con métodos de procesamiento de imágenes, no puros; o, al menos híbridos. Gracias al avance de prestaciones tanto en software como en hardware existe la posibilidad de enlazar la fotogrametría terrestre, la aerotransportada, multiespectral y con combinación de sensores de teledetección en la fotogrametría digital; si bien en los últimos años la fotografía desde satélite está permitiendo una documentación cartográfica con hasta 0,6 m por píxel.

Principios generales

La Fotogrametría, basándose en fotografías, busca conseguir un registro automático de las imágenes tomadas que tendrán diferentes perspectivas; entendiéndose por perspectiva al sistema de proyección centrado que es el resultado de la intersección con un plano de proyección o imagen, del haz de direcciones generándose al unir los puntos a representar con el centro de proyección.

El Método General de la Fotogrametría, formulado por Bonneval en 1972, se basa en el haz perspectivo, en su formación y su reconstrucción; articulándose en dos pasos. El primero de ellos es el proceso de toma fotográfica en el que el haz perspectivo queda registrado en la imagen fotográfica. El segundo trata de determinar las coordenadas del punto correspondiente sobre la superficie del objeto a través de una orientación interna, una orientación externa, la identificación de rayos homólogos y la representación del punto objeto.

Actualizando su método, respecto a la identificación de puntos homólogos se puede resolver sin la visión estereoscópica; siendo la identificación singular en cada una de las imágenes lo verdaderamente importante, permitiendo así la posibilidad de involucrar a tantas imágenes como se quiera, ganando la posibilidad de implantar una red de toma más flexible (González Aguilera, 2018).

El software utilizado para este proceso conseguirá un modelo 3D a partir de múltiples imágenes, de las que es fundamental conocer la orientación interna de la cámara (distorsión de las lentes, punto principal, distancia focal) y la orientación externa (posición espacial y angular de la cámara en el momento de la toma).

Modelado 3D del patrimonio

El modelado 3D es una técnica de representación tridimensional mediante un software científico-matemático. Existen diferentes softwares que permiten el levantamiento en tres dimensiones del modelo a analizar. Para llegar hasta aquí han sido diversos autores los que han estudiado esta técnica, generalmente basada en algoritmos de automatización, que confieren rapidez al proceso.

En sus inicios, la fotogrametría contaba con una enorme debilidad como era la dificultad para medir dentro del modelo sin contar con una orientación ni unos puntos de control (Kochi et al., 2012). Esta debilidad se supera, gracias a la *“fiabilidad del sistema fotogramétrico y al hecho de que utiliza la imagen como la fuente de información más valiosa, así como el beneficioso “matrimonio” con la visión computacional”* (García-Gago et al., 2014).

Así, esta hibridación solventa las debilidades anteriormente citadas: *“la automatización en el proceso de orientación y el proceso de reconstrucción en sí, lo que da como resultado modelos 3D densos que, en algunos casos, tienen una resolución superior a los obtenidos mediante escáner láser”* y *“la flexibilidad del proceso de captura de imágenes, ya que, debido al importante desarrollo tecnológico del software fotogramétrico en los últimos años, es posible utilizar cualquier tipo de imagen”* (García-Gago et al., 2014).

Respecto a esta segunda bondad afianzaré su postura dado que los resultados obtenidos en mi TFM parten del enlace de fotografías de una cámara Nikon D3000 y un dron Phantom 4 Pro.

Hasta aquí, el problema radicaba en transcribir un modelo real a un modelo 3D, aportando, además, gracias a la fotogrametría, una textura real al modelo. Partiendo de los datos obtenidos por fotogrametría se puede conseguir la documentación gráfica necesaria para generar planos 2D de cortes y proyecciones realizados a la nube de puntos o mediante el modelado 3D del edificio, de donde se puede extraer la documentación correspondiente.

3.4 BIM Y HBIM

BIM (Building Information Modeling) *“es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de una maqueta digital. Esta maqueta digital conforma una gran base de datos que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo el ciclo de vida de la misma”* (De España, 2021).

Un modelo BIM se caracteriza por la composición de objetos digitales a los que se le pueden asociar parámetros, reglas de funcionamiento y conexión entre ellos y el edificio. El objetivo es la integración digital de características geométricas, físicas y funcionales mediante unos procedimientos de trabajo coordinados y eficientes.

Estas herramientas permiten la colaboración interdisciplinar a medida que aumenta la complejidad de la tarea, donde al ser necesario aportar tanta información a cada componente y que ésta está íntimamente ligada a otra se hace latente colaboración entre diferentes disciplinas como son la arquitectura, historia, arqueología, geografía... Siendo una de sus ventajas la comunicación eficaz entre todos los miembros colaboradores del proyecto.

Dentro del concepto BIM existen diferentes categorías a través de las que se sectoriza cada fase descriptiva del ciclo de vida del edificio, conocidas como *“dimensiones”*. Cada dimensión posterior lleva implícita la anterior, constituyendo un modelo dinámico. Según Lesmes Fabián & González Villamil (2017), las dimensiones del diseño BIM son:

1D. Idea y concepto. Abarca la recopilación de información y normativas y la aproximación gráfica, estructural, de plazos y costes.

2D. Boceto, vectorización. Partiendo de la dimensión plana se establece el flujo de trabajo y los procedimientos.

3D. Modelado. Diseño vectorial en tres dimensiones o representación gráfica nativa de cualquier proyecto BIM. Es la base del trabajo coordinado y colaborativo entre las disciplinas involucradas como el equipo de arquitectura, estructuras, instalaciones y promotor; lo que se conoce como “model checking”.

4D. Planificación. Incorpora el factor “tiempo” a la fase de modelado. Su utilidad es el dinamismo y la capacidad de anticipación de conflictos (clash detection) que pudieran aparecer en la obra solventándolos desde la fase de proyecto; optimizando el tiempo, reduciendo desperdicios.

Dentro del HBIM, en lo que a dimensiones se refiere, la cuarta dimensión almacena la información de la evolución del edificio a lo largo del tiempo, (Merchán et al., 2020).

5D. Coste. Rentabilidad del proyecto generación de presupuestos, estudios de viabilidad económica, inversión...

6D. Sostenibilidad energética o Green BIM. Ecoeficiencia, certificaciones en sostenibilidad, comportamiento energético, propiedades higrotérmicas, etc.

7D. Gestión, mantenimiento. Gestión de instalaciones del edificio en su fase de funcionamiento, incluyendo inspecciones y reparaciones.

nD. Dimensiones adicionales. En publicaciones y trabajos recientes se está valorando la implementación de nuevas dimensiones en función de las necesidades de cada proyecto como pueden ser la trazabilidad de residuos y demolición, proyectos de ampliación, seguridad y salud, learn construction...En el proceso BIM («Guía de usuarios BIM. BIM aplicado al Patrimonio Cultural», 2018), se diferencia entre precisión y detalle:

“La precisión de un modelo tridimensional se refiere a la exactitud métrica, es decir, a la cercanía de la geometría del modelo con las dimensiones reales del objeto. Está relacionado con la captura o adquisición de la información métrica para el modelo. Pero no siempre será necesario conseguir una máxima precisión, pues un nivel de exactitud mayor incrementará el presupuesto y puede que no mejore la eficacia del trabajo”.

“El nivel de detalle de la representación gráfica se refiere al nivel de conocimiento y a la cantidad de información incorporada a dicha documentación, pudiendo entonces incluirse consideraciones sobre su materialidad, sistemas constructivos o lesiones”.

Y, según el AIA («AIA E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit», 2008) concreta los niveles de desarrollo (LOD) específicos:

LOD 100: Modelo conceptual para definir todo el edificio en conjunto incluyendo volúmenes y áreas básicas.

LOD 200: Modelo en desarrollo de diseño, tamaños, formas y ubicación.

LOD 300: Modelo de pre-construcción. El nivel de detalle aumenta para poder llegar a definir costes.

LOD 400: Instalaciones y elementos de construcción precisos, incluyendo la geometría y los datos para subcontratar.

LOD 500: Modelo As Built, detallado y definido para su mantenimiento y conservación preventiva necesaria.

A partir de este punto es necesario diferenciar entre construcciones actuales y construcciones históricas, puesto que en la actualidad se emplean materiales, sistemas y elementos constructivos estandarizados y, en gran medida, prefabricados; mientras que el patrimonio histórico no se concibe como un elemento único diseñado y creado de una misma vez, sino que es el resultado de diferentes transformaciones a lo largo de los años, incluso cuenta con la singularidad de que cada sistema constructivo pudiera ser particular de cada edificio.

Debido a esta naturaleza, y necesidad, evolutiva del patrimonio contamos con acciones constructivas, destructivas y transformadoras. Todo ello implica conocer, estudiar y analizar los materiales y técnicas constructivas para poder entender que la “vejez” en la edificación se muestra en forma de procesos patológicos a las que tenemos que hacer frente mediante actuaciones de prevención, rehabilitación o restauración (García-Valldecabres et al., 2016).

Por ello, en los últimos años, tanto investigadores como estudiosos de la materia se han centrado en la aplicación de las herramientas BIM a las edificaciones históricas, naciendo el novedoso concepto de HBIM, Historic Building Information Modelling. Básicamente, se trata de incluir la información de la edificación histórica al modelo BIM ofreciendo gran cantidad de alternativas y beneficios para el sector de la construcción: actividades de gestión de la explotación de la actividad, el modelado as-built, el registro de la documentación de los bienes patrimoniales de carácter histórico, el mantenimiento, el control de calidad, el monitoreo y la evaluación, la gestión de emergencias, la planificación retrofit... (Ghaffarianhoseini et al., 2016) y (Asjana Robles, 2018).

En la («Guía de usuarios BIM. BIM aplicado al Patrimonio Cultural», 2018), realizan una propuesta revisando los niveles de desarrollo (LOD) en función de las características singulares del patrimonio histórico. Una diferencia radica en que se tiene que “*manejar elementos ya existentes sobre los que se puede (o no) llevar a cabo una intervención*”, por tanto “*se pueden establecer categorías referentes al grado de simplificación geométrica, es decir, la desviación respecto de la geometría real del objeto asumido durante el proceso de modelado*”.

LOD 100: Modelo sin subdivisión alguna (elemento unitario). Generalmente se trata de mallas directamente obtenidas de levantamientos con escáner láser o fotogrametría. Corresponde al mínimo nivel de división, siendo el que posee menos ventajas para la gestión de la información, aunque es el que requiere una menor cantidad de recursos para su creación.

LOD 200: Modelo dividido según sus cuerpos constructivos fundamentales (las principales partes en las que se divide el edificio, por ejemplo, sus bloques, alas, pandas, torres) y su secuencia de transformaciones genérica (fases, etapas, periodos históricos).

LOD 300: Modelo dividido según sus elementos constructivos (por ejemplo, cimentaciones, muros, estribos, vanos, bóvedas, tejados) y su secuencia de transformaciones entre los grados genéricos (fases, etapas, periodos) y los de mayor detalle (actividades y unidades estratigráficas).

LOD 400: Modelo dividido según sus materiales constructivos (por ejemplo, sillares, mampuestos, carpinterías, losas) y su secuencia de transformaciones entre los grados genéricos (fases, etapas, periodos) y los de mayor detalle (actividades y unidades estratégicas).

LOD 500: Modelo dividido según sus materiales constructivos (por ejemplo, sillares, mampuestos, carpinterías, losas) y su secuencia de transformaciones con el grado de mayor detalle (unidades estratégicas). Corresponde al máximo nivel de división, siendo el que ofrece mayores ventajas para la gestión de la información. Sin embargo, es el que requiere una mayor cantidad de recursos para su creación.



Imagen 1. 7D BIM Vs. 7D HBIM. Fuente: Merchán et al., 2020

Las ventajas del uso de BIM radican en la interoperabilidad en tiempo real de todos los usuarios involucrados en el proceso de trabajo consiguiendo la optimización de los flujos de trabajo ya que detectan interferencias y evitan duplicidades con mayor facilidad. Además, confieren una mayor precisión en las mediciones y presupuestos, evitando partidas sin definir o no contempladas. Y potencian la capacidad de visualización y difusión del proyecto gracias a imágenes y renders en entornos de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.

4. CASO DE ESTUDIO: IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN EN MONLEÓN, SALAMANCA

4.1 ETIMOLOGÍA

Según la «Enciclopedia de los pueblos de Salamanca» (1997), el nombre de Monleón se relaciona con el verraco ibérico situado en una de las puertas de entrada, que las gentes de antaño consideraban un león. Otra referencia, alude a la denominación de las elevaciones cercanas, llamadas Monte León. Precisamente, este animal está representado en figuras de piedra adosadas a la fachada de su iglesia (Imagen 7). Otros dicen que al igual que las ciudades de León y Lugo, su etimología proviene del antiguo dios Lug. De Lugones a leones sólo hay un paso.



Imagen 2. Vista aérea de Monleón. Fuente: Wikipedia, 2021

4.2 LOCALIZACIÓN

El municipio de Monleón (Imagen 2) lo encontramos situado en la franja centro-este de la provincia de Salamanca, (Imagen 3 e Imagen 4) formando parte constituyente de la comarca de Entresierres y perteneciente al partido judicial de Béjar. Le separan unos 60 kilómetros hasta la capital salmantina Las coordenadas geográficas del municipio son LAT.: 40° 34' 45'' y LONG.: 5° 31' 0'' (Burggraaf & Sánchez de las Matas y Arboix, 1993).

Se conoce la fecha de su fundación, durante el reinado de Alfonso VI, en la década de los setenta del siglo XI, años antes de la toma de Toledo (1085). Monleón cuenta con una superficie municipal de algo más de 18 kilómetros cuadrados (Llopis Llopis, 1986).

La población residente, a fecha del año 2020, se estima en 93 habitantes (Imagen 5), cuyo gentilicio es el de “monleoneses”.



Imagen 3. Ubicación de Monleón en España. Fuente: Wikipedia, 2021



Imagen 4. Ubicación de Monleón en Salamanca. Fuente: Wikipedia, 2021

Se conserva un perímetro amurallado que guarecía la villa durante la Alta Edad Media, rematado por un Castillo defensivo. Siendo el otro elemento arquitectónico significativo de la localidad, la iglesia parroquial de Monleón, elemento destacado del patrimonio histórico y motivo de este Trabajo Fin de Máster.

Gráfica de evolución demográfica de Monleón entre 1900 y 2020

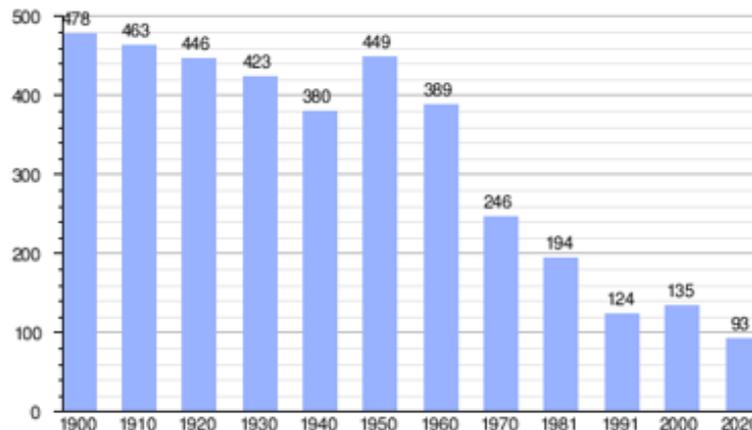


Imagen 5. Evolución demográfica de Monleón entre 1900 y 2020. Fuente: INE. Elaboración gráfica por Wikipedia

4.3 ENTORNO y CLIMA

Se fundó esta villa salmantina sobre un teso aislado en campo abierto, a lo último de las estribaciones de la sierra de Linares. Dominando la confluencia del Río Alagón, con el arroyo Riofrío y el Navalmandiles (Burggraaf & Sánchez de las Matas y Arboix, 1993).

El término municipal, situado en área de presierra, es accidentado con alturas entre los 860 y 930 metros, que presenta la siguiente vegetación: robledales en el sur, encinas en la parte norte, alisos, chopos y fresnos en las vegas de los ríos (Burggraaf & Sánchez de las Matas y Arboix, 1993).

La climatología de Monleón según Burggraaf & Sánchez de las Matas y Arboix (1993), cuenta con *“veranos calurosos y escasos en duración, inviernos fríos y otoños frescos y lluviosos. Participa del microclima de la sierra en su parte norte. Vientos dominantes del suroeste”*. Además *“Goza de una muy saludable y no es propenso a enfermedades”*.

4.4 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Entre los años de 1188 y 1230

“Julio González, en su estudio La Repoblación de la Extremadura Leonesa, atribuye a Alfonso IX entre los años de 1188 y 1230 los poblamientos de Monleón, entre otros. Por este tiempo se empezará a construir el castillo monleonés, cuya arquitectura más primitiva corresponde a comienzos del S. XIII” (Llopis Llopis, 1986).

Con ello expresamos la importancia de la zona que, no siendo nunca territorio árabe, fue en alguna época despoblada por miedo a los ataques moros a la cristiandad.

Y dada la información recabada del Archivo Diocesano de Salamanca y sus Libros de Fábrica y Bautismos, venimos a concluir que nuestra iglesia objeto de estudio no fue erigida con posterioridad, sino a la par que la construcción del castillo y su muralla. Decimos esto, puesto que por aquel entonces no había aldea castellana sin párroco y, por consiguiente, sin parroquia.

Dicha parroquia, suponemos, serviría para congregar las plegarías de los pobladores, teniendo una propia el señor de la Villa en su castillo. Su esqueleto está formado por sillares sobrantes de la construcción del castillo, muralla y torre, la cual se halla en la misma plaza.

Manuscrito de 1604-1629

“Monleón. Es villa de 40 vezinos, toda cercada, tiene una buena iglesia con tres naves y su capilla mayor bien enmaderada y su sacristía tiene buenos ornamentos y los necesarios, una muy buena torre con tres buenas campanas. Esta villa es caveca del Arciprestadgo de Sant Estevan de la Sierra (quarto de Peña de Rey). La fábrica y su renta vale de ordinario diez mil maravedís y gasta las ocho mil, tiene necesidad de amitos, corporales, cingulos, purificadores, quedó orden para hazerse; asse de trastexar la capilla y portal, que lo a menester, quedó orden para ello; el préstamo vale 90 mil maravedís, es de la Cathedral” , (Casaseca et al., 1982). El plano más antiguo que se conserva se puede observar en la Imagen 6.

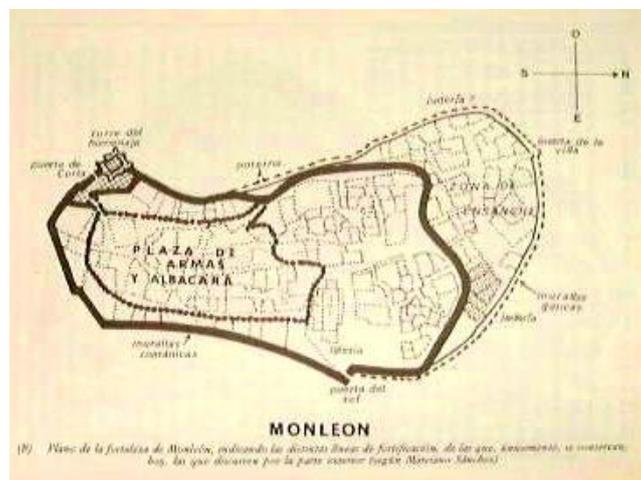


Imagen 6. Plano más antiguo conservado de la Villa de Monleón. Fuente: Entresieras, 2015

Dada la Repoblación, creció la demografía y con ella surgió la ampliación de la parroquia con el fin de albergar más creyentes en su seno. Así se procede a crear una iglesia de tres naves, un coro y un altar, y, además otra puerta, debido al ya citado incremento de población y lo que conlleva en necesidades.

También, se alzó la torre, haciéndola participe albergando el campanario. Pero el cese de crecimiento poblacional obligó a cegar una puerta y a mitigar el ansia expansionista.

Salamanca, 1848-1850

“Monleón: villa con ayuntamiento en la provincia y diócesis de Salamanca (8 ½ leguas), ... teniendo...; iglesia-parroquia, vicaría vacante con los anejos de Casa de San Fabián y San Sebastián a ½ legua, y un cementerio pegado a la muralla que en nada perjudica a la salud pública” (Madoz, 1984).

Del 1903 al 1905

“La iglesia parroquial es de fábrica, véanse incrustadas cuatro figuras de leones, correspondientes a algún sepulcro de los siglos medios” (Gómez-Moreno, 1927). En la Imagen 7 se puede observar uno de los leones.



Imagen 7. Leones. Fuente: Elaboración propia

En la actualidad, se conserva un perímetro amurallado que guarecía la villa durante la Alta Edad Media, rematado por un Castillo defensivo. El otro elemento arquitectónico significativo de la localidad, la iglesia parroquial de Monleón, elemento destacado del patrimonio histórico, es motivo de este Trabajo Fin de Máster.

4.5 ESTUDIO TIPOLÓGICO

La iglesia presenta unidad espacial, salvo la torre a la que no puede accederse desde el interior. Las consultas realizadas en los archivos histórico y diocesano nos llevan a situar una ermita en el núcleo poblacional en torno al s. X; a partir de la cual se configuró el edificio que conocemos hoy día.

Más tarde, allá por los s. XI - XIII se observa una ampliación en la iglesia hacia norte y sur, formando así un conjunto de tres naves. Estas dos naves laterales están separadas de la central gracias a dos arcos de medio punto (Imagen 8).



Imagen 8. Arcos de medio punto que separan la nave central de las laterales. Fuente: Elaboración propia

En torno al s. XIV se opta por la creación de un ábside (Imagen 9 e Imagen 10) en la parte este. Para ello se abre un hueco en esa fachada que a través de un arco ojival nos da paso. Este ábside es rectangular y se le da el uso de altar. Los ábsides poligonales y rectangulares, al igual que los arcos ojivales son propios del arte gótico.



Imagen 9. Arco ojival, que separa la nave del ábside.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 10. Fachada Este del ábside.
Fuente: Elaboración propia

Como describe (Llopis Llopis, 1986), en su libro “Historia de Monleón”, la arquitectura más primitiva del castillo que rige el pueblo es del s. XIII, por lo que podemos suponer que la torre (Imagen 11 e Imagen 12) de nuestra iglesia se alza a la par que éste. Pero, sin embargo, los grandes ventanales en su parte superior así y como el peto de coronación nos sitúan su finalización en la construcción en torno al s. XVII, de donde es característico estos detalles barrocos. A partir de aquí se construye la sacristía y el pórtico en el s. XVIII.



Imagen 11. Vista interior de un ventanal del campanario.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 12. Vista exterior del campanario.
Fuente: Elaboración propia

El pórtico, en sus inicios cubría toda la fachada frontal desde la sacristía hacia el oeste. La necesidad de un acceso habilitado nos lleva a finales del s. XX, donde se produce un retroceso de dicho pórtico (Imagen 13 e Imagen 14) unos metros para la creación de una rampa que culmina en una puerta de metal, siendo el acceso lateral.



Imagen 13. Roza y restos de tejas como consecuencia del retroceso del pórtico. Fuente: Elaboración propia



Imagen 14. Esgrafiado a la intemperie. Fuente: Elaboración propia

También a finales del s. XX, con un derrumbe en gran parte de la cubierta, se opta por reconstruir la estructura. Se mantienen en las naves la estructura de par y nudillo. Recientemente, en el año 2011, se aprueba una subvención para el retejado de la cubierta que contaba con innumerables tejas movidas, rotas y caídas.

Podemos afirmar, que a pesar de ser una única unidad espacial es un edificio que ha ido adaptándose a la necesidad de las circunstancias; creciendo en diferentes épocas arquitectónicas que lo demuestran.

4.6 DESCRIPCIÓN FORMAL

La iglesia se inserta en la trama urbana (Imagen 15) de forma que es el eje principal de la plaza, quedando la puerta de acceso situada en la calle Puerta del Sol.

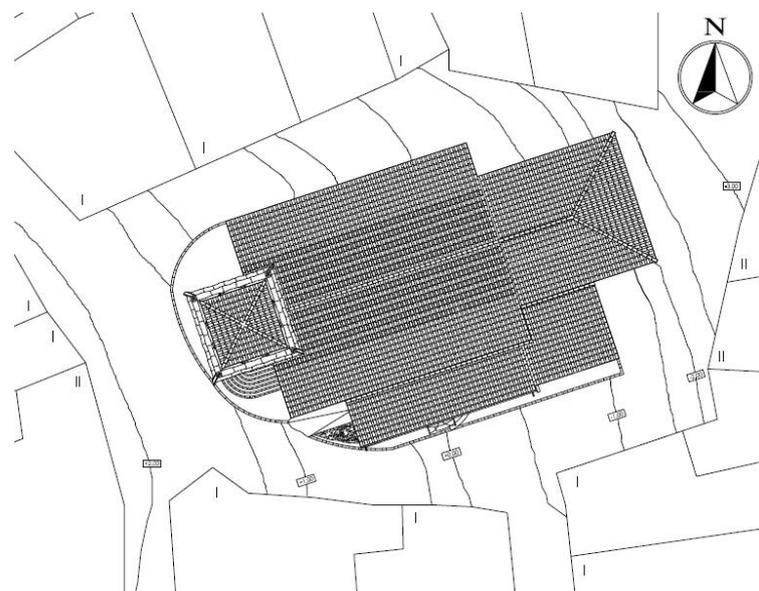


Imagen 15. Plaza Puerta del Sol, trama urbana. Fuente: Vicente Martín, 2017

Al sur se encuentra la fachada principal, donde se sitúa el pórtico que protege la puerta de entrada; a su derecha se sitúa un azulejo (Imagen 16) que da nombre al edificio, "Yglesia Parroquial". Consta de

un acceso perpendicular a la puerta principal a través de una puerta con simbología cristiana; esta puerta se encuentra en mitad de un entramado de escalones, que solventan la diferencia de altura entre el nivel de calle y el del pórtico. A ambos lados de dicha puerta se observan dos columnas (Imagen 17), que apoyadas sobre su correspondiente murete sirven de apoyo a su estructura de cubierta. En todo el perímetro del edificio solamente la zona correspondiente al pórtico es la que tiene canalón.



Imagen 16. Azulejo. Fuente: Elaboración propia



Imagen 17. Columnas del pórtico y puerta de acceso frontal. Fuente: Elaboración propia

También existe otro acceso, situado a la izquierda, mediante una rampa con su correspondiente barandilla (Imagen 18), permitiendo el acceso para personas con movilidad reducida. Durante el acceso por la rampa, observamos parte de un esgrafiado (Imagen 14) que ha perdurado a través del tiempo.



Imagen 18. Acceso lateral a pórtico. Fuente: Elaboración propia

A la derecha del pórtico se encuentra la fachada sur de la sacristía (Imagen 19), donde se aprecia una placa donde reza el nombre de la calle Puerta del Sol y una ventana protegida por una reja.

La cubierta de la sacristía y pórtico tienen la misma pendiente y forman un único entramado. En esta fachada sur se pueden observar esculturas de leones y bichas (Imagen 19), emparentados en la simbología con el mundo templario. A dichas esculturas, se le suponen procedentes de la anterior construcción románica o de los pies de un sepulcro gótico del interior del edificio, desaparecido en alguna reforma.



Imagen 19. Nombre de la calle "Puerta del Sol". Fuente: Elaboración propia

A continuación, observamos una fachada de la cabecera (Imagen 20) remetida respecto de la alineación de la sacristía, en la que contamos con una ventana que da luz al ábside.



Imagen 20. Ventana que da luz al ábside. Fuente: Elaboración propia

Al este, se encuentra la fachada que delimita la cabecera, donde está situada una caja de registro del cableado que se encuentra grapado alrededor del edificio. A su izquierda, la fachada correspondiente a la sacristía y a su derecha la que delimita una de las naves laterales (Imagen 21) sobre la que se sitúa un foco que ilumina la cara este de la torre por las noches.



Imagen 21. Fachada norte del ábside y fachada este de nave lateral. Fuente: Elaboración propia

En la cara norte, se halla el otro flanco de la cabecera y la fachada trasera, que guarda una puerta ciega (Imagen 22) que en su día fue paso hacia el cementerio. Se observa la diferencia de niveles entre la calle y dicha puerta.



Imagen 22. Puerta tapiada de acceso al otrora cementerio. Fuente: Elaboración propia

Y, en su vertiente oeste está situada la torre que hace las veces de campanario. Su entrada es exterior, a través de una puerta situada al sur a la que se accede por una serie de escalones (Imagen 23), por lo que no es necesario entrar en la iglesia para acceder a él. Se sube al campanario, a través de una escalera en forma de caracol (Imagen 24), creada por completo en piedra de granito; en él actualmente sólo queda una campana, hoy en día sigue en uso.



Imagen 23. Acceso a la torre. Fuente: Elaboración propia



Imagen 24. Escalera de caracol. Fuente: Elaboración propia

A ambos lados de la cara oeste de la torre, se encuentran las fachadas que forman la parte trasera de las naves. En ella se aprecia una ampliación que sufrió la iglesia. En la parte derecha una ventana da luz al coro (Imagen 25).



Imagen 25. Ventana que da luz al coro. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la cubierta, la zona de las naves y el altar se sitúan en el mismo plano. Tienen vertiente norte y sur las naves y el altar, además de vertiente este para el altar.

En su interior, nada más entrar, casi de frente aparece un pilar rectangular (Imagen 26), que sustenta un arco a izquierdas y otro a derechas que en sus extremos nacen del muro a partir de su correspondiente imposta, delimitando así el paso de la nave lateral a la central; en el otro extremo, su homólogo (Imagen 27).



Imagen 26. Pilares de piedra. Fuente: Elaboración propia



Imagen 27. Pilares de piedra. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar el altar, frente a un coro de madera, en el cual se encontraba un valioso retablo barroco, que fue destruido a mediados del siglo XX, debido al derrumbe del tejado de la parroquia. Al coro se accede por una escalera de madera en forma de L con su correspondiente barandilla, (Imagen 28). Se encuentra en la parte trasera de la nave central. Sustentado por tres pilares hexagonales), los laterales de piedra y el central de madera sobre una base de piedra (Imagen 29 e Imagen 30).



Imagen 28. Escalera y estructura del coro. Fuente: Elaboración propia



Imagen 29. Pilar de madera con basa de piedra, coro.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 30. Vista frontal del coro.
Fuente: Elaboración propia

El pavimento de las naves es un suelo de red (Imagen 31), hasta llegar a los pies del altar donde tres escalones delimitan su espacio. Allí, bajo la ventana se encuentra un banco de piedra.



Imagen 31. Suelo de red. Fuente: Elaboración propia

La puerta de acceso a la sacristía (Imagen 32), está flanqueada a izquierda por los escalones que acceden al altar y en su derecha por otro banco de piedra que continúa hasta la columna que sustenta un arco ojival en este extremo; en el otro arco, un púlpito en piedra (Imagen 33) emerge de la columna y al que se accede por unos escalones contiguos a la pared.

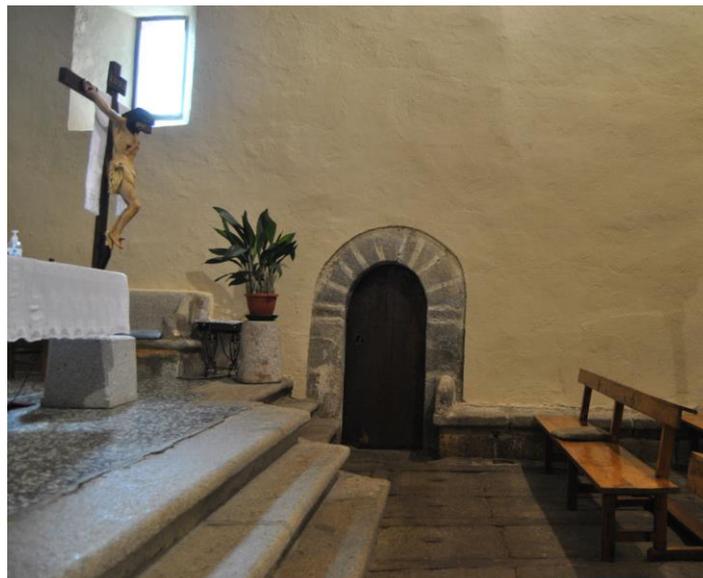


Imagen 32. Acceso a la sacristía. Fuente: Elaboración propia



Imagen 33. Púlpito de piedra. Fuente: Elaboración propia

También encontramos el sepulcro y la hornacina de piedra que guarda el sagrario. Ambos, decorados con bolas isabelinas. Además, quedan las esculturas realizadas en madera policromada, dedicadas a Santa Isabel y San Blas, patronos de la Villa, reubicados en las naves laterales.

La planta de la iglesia se puede observar en la Imagen 34.

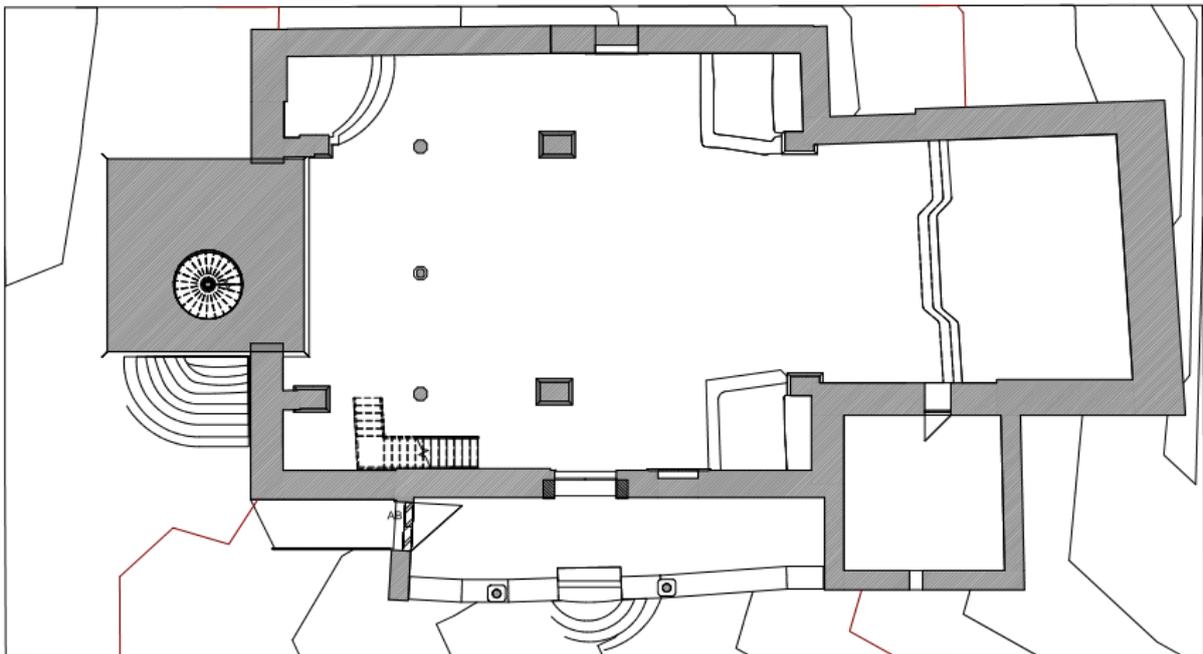


Imagen 34. Planta de la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción, Monleón. Fuente: Elaboración propia

4.7 DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES

En la Tabla 1, se recoge la distribución de superficies de las diferentes estancias de la iglesia.

Tabla 1. Superficies. Fuente: Elaboración propia

DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES DE LA IGLESIA	
ESTANCIA	m ²
Torre	17,15
Coro	27,61
Portal	32,04
Ábside	49,63
Sacristía	23,64
Naves	233,32
Superficie útil construida	383,40
Superficie construida	440,00

4.8 ESTUDIO CONSTRUCTIVO

La iglesia presenta unidad espacial, entendiéndose como un único edificio. Los muros están formados por sillares de granito, en su mayoría situados en puntos clave como son las esquinas, para su refuerzo; mientras que el resto es mampostería a hiladas con ripio de cornubianita y lajas pizarrosas.

"La roca cornubianita no requiere una explotación de canteras en toda regla, pues aflora esparcida por el mismo campo" (Muñoz García, 2003).

Los muros de la torre, formados por sillares uniformes, careados y regulares en tamaño y dimensiones; resaltando la mayor magnitud de los sillares de esquina. Los sillares que culminan la escalera de caracol de la torre hacen a la vez la función de pavimento en su interior.

"El uso de granito es ya prueba directa de la apertura de canteras. Es posible que fueran las hoy abandonadas en el actual Monte el Alcaide, dentro del propio término municipal. Dada la dureza del material, la gradina debió desecharse, por lo que el acabado de la pieza, seguramente se completó con cincel de boca estrecha. Es posible que, con este último instrumento, se realizasen también las marcas de cantero" (Muñoz García, 2003).

El pavimento del altar es de baldosa cerámica, el de la sacristía es de parquet y el situado debajo del coro con losas de piedra de diferentes tamaños.

La escalera que da acceso al coro es de madera de roble, al igual que la barandilla tanto en toda su subida como en el perímetro del coro. El coro se apoya sobre tres pilares hexagonales: el central, de madera de roble con base de piedra de granito y los dos laterales de granito.

En el tramo de las naves se mantiene la estructura par y nudillo, donde los durmientes apoyan en el muro de la iglesia y en sus arcos, para dar continuidad a los pares con objeto de cubrir la luz de las naves laterales. Esta estructura, es sustentada por dos arcos de medio punto en cada nave y un arco

ojival que da paso al altar; todos ellos formados por sillares de granito, al igual que el púlpito y sus correspondientes escalones.

Los escalones y la rampa del pórtico están formados por ladrillo y cemento. Sus dos columnas son de granito; dos vigas de madera de roble, con unión en rayo Júpiter, forman el sustento de los pares, que en su otro extremo apoyan en una viga de madera que a su vez apoya en dos ménsulas de piedra en la parte central y en el muro en sus laterales.

Respecto a la cubierta, debido al derrumbe en años anteriores en la zona del altar y parte de la sacristía y el mal estado del resto.

En cuanto a la carpintería, las tres ventanas son de aluminio color ocre. Las puertas del pórtico son de acero, mientras que la puerta principal de la iglesia (Imagen 35, Imagen 36, Imagen 37 e Imagen 38) es de roble, al igual que la de la sacristía y la de la torre.



Imagen 35. Puerta principal, vista interior. Anterior a 2017. Fuente: Elaboración propia



Imagen 36. Puerta principal, vista exterior. Anterior a 2017. Fuente: Elaboración propia



Imagen 37. Puerta principal, vista interior. Rehabilitada. Fuente: Elaboración propia



Imagen 38. Puerta principal, vista exterior. Rehabilitada. Fuente: Elaboración propia

4.9 ESTUDIO DE MATERIALES

El estudio de la Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de la Asunción de Monleón ha requerido una profundización analítica sobre los materiales de construcción existentes en dicho edificio.

A continuación, se muestran las características de cada uno de los materiales, a partir de las cuales se tendrían en cuenta para optar por una decisión, ante una posible intervención.

Roble

Por lo general, los robles son árboles de tronco grueso y altura superior a los veinte metros. Disponen de ramas de gran tamaño con hojas perennes y frutos de sabor amargo. La principal característica del roble es la dureza de su madera. Las propiedades de la madera de roble se reflejan en la Tabla 2.

El valor de su madera para el sector de la construcción y la belleza de estos árboles hacen que el roble sea una de las especies más apreciadas en este ámbito.

Tabla 2. Propiedades de la madera de roble. Fuente: Maderas Medina, 2021

PROPIEDADES DE LA MADERA DE ROBLE	
Propiedades mecánicas	Estabilidad
Densidad media: 720 kg/m ³	Estabilidad dimensional: Mediana
Resistencia de rotura a la flexión: 950 kg/cm ²	Adaptación a la humedad ambiental: Lenta
Resistencia de rotura a la tracción: 980 kg/cm ²	Retracción radial por 1% de humedad: 0,15%
Resistencia a los choques: 60 kg/cm ²	Retracción tangencial por 1% de humedad: 0,32%
Resistencia de rotura a la compresión: 570 kg/cm ²	Propiedades de secado: Lento y delicado.
Dureza Brinell perpendicular a las fibras: 310 Kg/mm ²	
Dureza Brinell paralela a las fibras: 560 Kg/mm ²	

Granito

El granito es una roca ígnea plutónica, originada por un lento enfriamiento del magma a gran profundidad de la corteza terrestre. Esto permite la formación de cristales de grandes dimensiones, confiriéndole la estructura cristalina que lo caracteriza. En la Tabla 3 se encuentran las características técnicas del granito. Y en la Imagen 39 se observa la torre de la iglesia como se puede observar, de granito.

Esta roca se constituye principalmente de tres minerales: cuarzo, feldespato y micas; además de otros minerales complementarios, como el circón, el apatito, la allanita, la esfena y otros óxidos y anfíboles, que pueden aparecer en pequeños porcentajes.



Imagen 39. Torre de granito. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Características técnicas del granito. Fuente: G. Dolcestone, 2021

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GRANITO	
Composición química	Silicio, mayormente
Densidad	2,60 g/cm ³
Coefficiente de absorción	0,13 %
Resistencia mecánica a la compresión	185 MPa
Resistencia mecánica a la flexión	25 MPa
Resistencia al desgaste	18 mm
Resistencia al impacto	50 cm
Resistencia al anclaje	2875 N
Módulo de ruptura	10,27 – 21,10 MN/m ²
Coefficiente de expansión	0,0000084°C
Formatos disponibles	Normalmente grandes, espesor: variable
Ensayos de alterabilidad	Ensayo de SO ₂ Choque térmico
Aplicaciones	Generalmente en paramentos verticales

Cornubianita o Corneana

La cornubianita es una roca de origen metamórfico, formada principalmente por cuarcitas, además de feldespato y mica. Se origina a partir del metamorfismo por contacto de pizarras y otras rocas sedimentarias afines. Es una roca oscura, de brillo mate y colores opacos (Imagen 40). Las características técnicas de la cuarcita quedan reflejadas en la Tabla 4.



Imagen 40. Ripio de cornubianita. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Características técnicas de la cuarcita. Fuente: C. Dolcestone, 2021

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CUARCITA	
Resistencia a la flexión	13,23 MPa
Resistencia al deslizamiento	SRV en seco: 92 SRV en húmedo: 58
Densidad aparente	2770 kg/m ³
Porosidad abierta	0,3%
Resistencia a la abrasión	32,2 mm
Carga de rotura al anclaje	1986 N
Resistencia a la heladicidad: Disminución de resistencia a flexión	17,58 %
Resistencia al envejecimiento por choque térmico: Valor medio de variación de masa	0,03 %
Absorción de agua a presión atmosférica	0,58 %

Pizarra

La pizarra es una roca metamórfica homogénea que se constituye a partir de la compactación de arcillas a temperaturas elevadas. Sus características técnicas se ven reflejadas en la Tabla 5. Suele ser de un color opaco azulado oscuro y es fácilmente divisible en lajas u hojas planas. Debido a esto, antiguamente se utilizaba como elemento de escritura, y actualmente es muy utilizada en cubiertas.

Tabla 5. Características técnicas de la pizarra. Fuente: P Dolcestone, 2021

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA PIZARRA	
Composición mineralógica	Cuarzo, sericita y clorita
Densidad	2,83 g/cm ³
Coefficiente de absorción de agua	0,87 %
Resistencia mecánica a la flexión	55 / 57 MPa
Resistencia al desgaste	5,6 mm
Resistencia al impacto	65 cm
Módulo de ruptura	88,95 MN/m ²
Coefficiente de expansión	0,0000104°C
Formatos disponibles	Variable, espesor: 4 / 5 mm
Ensayos de alterabilidad	Heladicidad Ensayo de SO ₂ Absorción Ciclo térmico
Aplicaciones	Paramentos verticales y horizontales

Mortero de cal

El mortero de cal se compone de cal aérea, árido y aditivos. La cal le confiere transpiración al muro, sin perder su impermeabilidad.

Tiene una menor retracción, menor fisuración y menor rigidez mecánica respecto a un mortero de cemento. Al hablar más técnicamente, se puede decir que según la normativa CTE HS1 protegen frente a la humedad; según la HS3 dan calidad al aire interior; y según la HR protegen contra el ruido.

Las principales aplicaciones son que está especialmente recomendado para rejuntados de mamposterías antigua, ya que tiene mucha transpirabilidad y que se puede usar tanto para el saneamiento de paredes enteras como solo de las juntas. En la Imagen 41 se aprecia una mala praxis en el uso excesivo del mortero de cal.



Imagen 41. Exceso de mortero de cal. Fuente: Elaboración propia

Mortero de cemento

El mortero de cemento es una pasta de fijación obtenida al mezclar cemento con áridos, generalmente arenas de diferente tamaño. Este mortero es el más polivalente y universal. Dependiendo del tipo de cemento se consiguen propiedades distintas. Si el mortero es pobre en cemento resulta difícil de trabajar; en cambio, si tiene un exceso del mismo, se pueden originar fisuras durante el proceso de secado.

Muro de Mampostería

Los muros de mampostería son aquellos que están formados por piezas o mampuestos de piedra, diferenciándose en el modo de construcción. Por ejemplo, los sillares de la torre están colocados en seco, es decir, sin interposición de otros materiales entre ellos. A la fábrica se le denomina sillería a hueso.

En otros casos, se utiliza un mortero de cemento y arena, al que se añade una determinada cantidad de agua o barro, como argamasa para unir las piezas.

Además, existe la posibilidad de conjugar los grandes sillares con mampuestos más pequeños, para así reforzar zonas susceptibles de sufrir desperfectos como pueden ser las esquinas. Dotando así a la estructura de mayor estabilidad.

Teja cerámica curva

La teja cerámica es una pieza de cubrición que se coloca en cubiertas inclinadas. Puede tener diferentes dimensiones, lo cual facilita diversos grados de solapamiento entre ellas. Se forman por extrusión o prensado de una masa arcillosa, seguido de un proceso de secado y cocción. Además, su cara exterior puede estar recubierta de esmalte.

5. METODOLOGÍA

Primeramente, es necesario conseguir recopilar toda la información disponible sobre el bien a documentar, tanto literatura como documentación fotográfica y 2D, para intentar discernir las diferentes etapas y momentos constructivos por los que pasó. Y, sobre todo, para entender qué motivaciones las propiciaron puesto que la arquitectura no es más que el medio para dar respuesta a las diferentes necesidades históricas.

A continuación, se planteará el modelo tridimensional histórico del que, se necesitará segmentar la nube de puntos para la creación de elementos paramétricos. Finalmente, las dimensiones restantes se pueden aplicar en función de los objetivos buscados; como, por ejemplo, un estudio de los materiales y técnicas constructivas, un análisis patológico y su consiguiente diagnóstico y la valoración de posibles intervenciones para garantizar el mantenimiento o la restauración del propio bien.

5.1 ESQUEMA FLUJO METODOLÓGICO

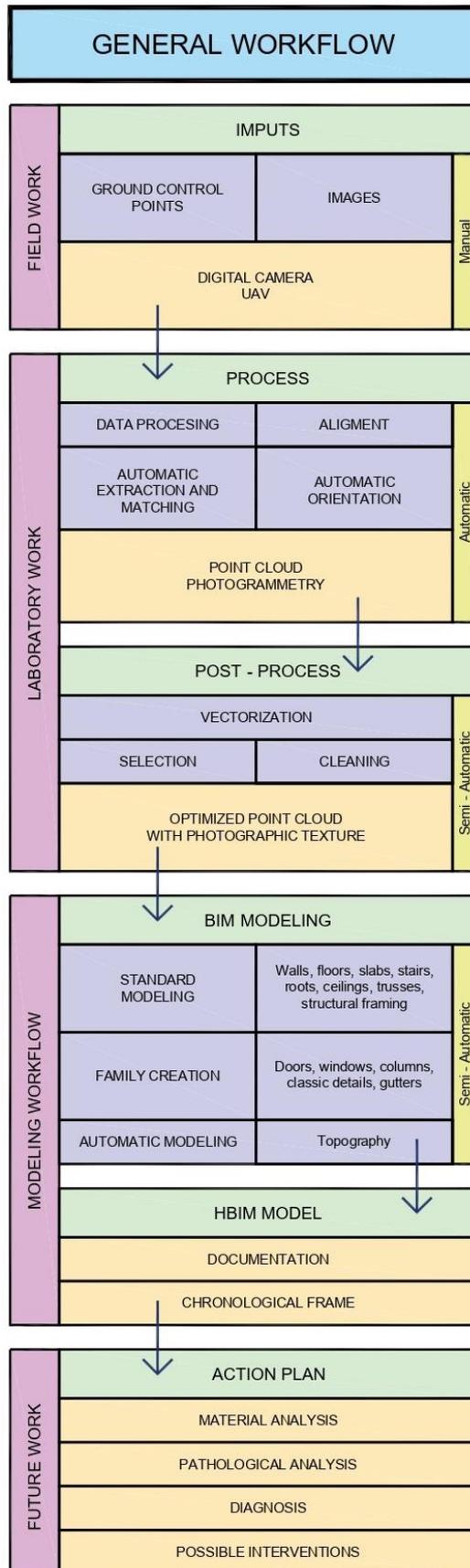


Imagen 42. Esquema flujo metodológico. Fuente: Elaboración propia

5.2 HARDWARE Y SOFTWARE

Cámara Nikon D3000

Para la toma fotogramétrica terrestre realizada en este trabajo se utilizó una cámara de la marca Nikon, modelo D3000 (Imagen 43). Sus especificaciones técnicas aparecen recogidas en la Tabla 6.



Imagen 43. Nikon D3000. Fuente: Nikon

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la cámara Nikon D3000. Fuente: Nikon

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Píxeles efectivos	10,2 millones píxeles
Tamaño de imagen	3.872 x 2.592 [G], 2.896 x 1.944 [M], 1.936 x 1.296 [P]
Tipo y tamaño del sensor	Sensor CCD de 23,6 x 15,8 mm
Formato del sensor de imagen	DX
Medios de almacenamiento	SD, SDHC, SDXC
Velocidad máxima de disparo continuo a máxima resolución	3 fps
Sensibilidad ISO	ISO 100 - 1600
Tamaño de pantalla	3 pulgadas y aprox. 230.000 puntos con ajuste de brillo
Tipo de pantalla	TFT LCD
Batería	Recargable de iones de litio EN-EL9a
Aprox. Dimensiones	126 x 97 x 64 mm
Aprox. Peso	485 g sin batería, tarjeta de memoria ni tapa del cuerpo
Rosca para trípode	1/4 pulgadas (ISO 1222)

Medidor Láser Bosch GLM 80

Medidor láser de distancias de gran funcionalidad (Imagen 44), cuenta con un sensor de inclinación integrado de 360°, y su manejo es preciso, además de fácil, debido a su pantalla giratoria. Diodo láser: 635 nm, < 1 mW. Unidades de medida: m/cm/mm. Clase de láser: 2 (Bosch, 2021).



Imagen 44. Medidor láser Bosch GLM 80. Fuente: Bosch

UAV, Aeronave Phantom 4 Pro

La UAV se utilizó para la toma fotogramétrica aérea. Un Phantom 4 Pro (Imagen 45), cuyas especificaciones técnicas se encuentran recogidas en la Tabla 7.

Plataforma aérea multirrotor de 4 motores en el mismo plano con Controladora de vuelo integrada, electrónica integrada, sistema de control mediante RC a 2,4 GHz y 5,8 GHz.

Respecto a la electrónica. Controladora de vuelo: Integrada. GPS y magnetómetros: Integrado. IMU con S/N: Integrado. Sistema de radio DJI: Integrado.

Respecto a los componentes y equipos. Chasis DJI Phantom 4 Pro. Controladora de vuelo Integrada en la aeronave. GPS-Brújula integrados. IMU. 4 motores DJI. 4 hélices modelo DJI o compatible sistema de radio y transmisión y recepción de imágenes. Soporte de carga de pago: giro-estabilizado de 3 ejes Marca DJI integrado (Phantom, 2021).



Imagen 45. UAV Phantom. Fuente: Phantom

Tabla 7. Especificaciones técnicas cámara Phantom. Fuente: Phantom

CÁMARA INTEGRADA CON SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN	
Sensor	CMOS de 1''; píxeles efectivos: 20 M
Objetivo	FOV (campo de visión) 84°, 8,8 mm (equivalente a formato de 35 mm: 24 mm), f/2.8 - f/11, enfoque automático a 1 m - ∞
Intervalo de ISO	Vídeo: 100 - 3200 (Auto); 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (Auto); 100 - 12800 (Manual)
Obturador mecánico	8 - 1/2000 s
Obturador electrónico	8 - 1/8000 s
Tamaño de imagen	Relación de aspecto 3:2: 5472×3648 Relación de aspecto 4:3: 4864×3648 Relación de aspecto 16:9: 5472×3078
Modos de fotografía	Un disparo Disparo en ráfagas: 3/5/7/10/14 fotogramas Horquilla de exposición automática (AEB): 3/5 fotogramas en horquilla de exposición a 0.7EV Bias Intervalo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Tasa de bits de video máx.	100 Mbps
Sistemas de archivo	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Fotografía	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Vídeo	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Tarjetas SD admitidas	MicroSD, Capacidad máxima: 128 GB. Velocidad de escritura ≥15 MB/s; se necesita clasificación clase 10 o UHS-1
Temperatura	de 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)

Agisoft Metashape Professional v1.5.1.

Agisoft Metashape (Imagen 46) es un software de procesamiento de imágenes digitales que combina técnicas de fotogrametría digital y visión computacional, para generar una reconstrucción 3D. Utilizado como parte fundamental para el levantamiento fotogramétrico (Agisoft Metashape, 2021).



Imagen 46. Logo Agisoft Metashape.
Fuente: Agisoft Metashape

AutoCAD AutoDesk

AutoCAD es un software de diseño, dibujo, modelado, dibujo arquitectónico e ingeniería en 2D y 3D; incluyendo el concepto de espacio papel y espacio modelo (Imagen 47) (Autodesk, 2021).



Imagen 47. Logo AutoCAD. Fuente: Autodesk

CloudCompare

CloudCompare es un software, diseñado por el ingeniero francés Daniel Girardeau-Montaut, de procesamiento de nube de puntos 3D (Imagen 48). Muy utilizado en la digitalización del Patrimonio. A cada punto se le asocia el color del objeto y un valor de clasificación que define el tipo de elemento que representa (vegetación, suelo, edificaciones...). También puede manejar mallas triangulares e imágenes calibradas (Cloudcompare, 2021).

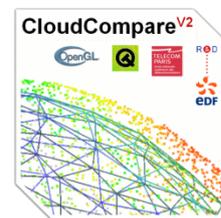


Imagen 48. Logo CloudCompare. Fuente: Cloudcompare

Autodesk Recap Pro

Recap Pro es un software inteligente, dedicado especialmente a la creación y tratamiento de nubes de puntos (Imagen 49). Entre sus funciones destacan la limpieza, organización y visualización de datos masivos de la nube (Autodesk, 2021).



Imagen 49. Logo Recap Pro. Fuente: Autodesk

Revit AutoDesk

Revit Autodesk es un software de diseño inteligente de modelado BIM dirigido a la ingeniería y la arquitectura, que simplifica las tareas de diseño de proyecto (Imagen 50). Se basa en la tecnología BIM, usando el modelado paramétrico de elementos constructivos del edificio (Autodesk, 2021).



Imagen 50. Logo Revit. Fuente: Autodesk

Sketchfab

Es una red social que sirve de repositorio de modelos 3D (Imagen 51). Actúa como visualizador web 3D y sirve para compartir objetos tridimensionales, permitiendo el acercamiento del Patrimonio de modo innovador (Sketchfab, 2021).



Imagen 51. Logo Sketchfab. Fuente: Sketchfab

Autodesk Viewer

Autodesk Viewer (Imagen 52) es un visor gratuito de Autodesk. Facilita el uso compartido de vistas de los diseños y la colaboración remota. Admite la mayoría de los archivos 2D y 3D, incluidos DWG, STEP, DWK, RVT y SolidWorks (Autodesk, 2021).



Imagen 52. Logo Autodesk Viewer. Fuente: Autodesk

5.3 PRINCIPIOS FOTOGRAMÉTRICOS

La toma fotográfica es la base fundamental y crítica para obtener unos buenos resultados fotogramétricos. Analizando el contexto, se debe tener en cuenta las condiciones de iluminación porque incidirán directamente en la exposición, apertura y sensibilidad de la toma. Además, se debe conocer el terreno para facilitar el protocolo de movimiento respecto a la toma, conociendo la presencia de obstáculos, ancho de las calles o plazas y la altura del edificio.

Los detalles base para tener en cuenta consisten en centrar el objetivo para evitar la distorsión que se origina en los extremos de la imagen, poner a resolución máxima la obtención de fotografía para evitar el ruido e incrementar la nitidez y siempre que sea posible se evitarán ángulos ascendentes o descendentes en la toma. Además, es preciso elegir el día y el momento idóneo para que la luminosidad incipiente en el edificio sea lo más uniforme posible; siendo lo más adecuado un día nublado en las primeras horas del amanecer, porque facilitará el tratado posterior de la imagen.

La cámara destinada a tal fin ha sido el modelo Nikon D3000, una cámara semi profesional, que permite la posibilidad de configurar los parámetros básicos para la captura de imágenes; aunque hubieran hecho la misma labor una cámara compacta o los smartphones de últimas generaciones donde la cámara está muy cualificada.

Conocida la cámara, hemos de emplear la ISO más baja posible (ISO 100) y contar con una apertura de diafragma no menor de f/8 para garantizar la profundidad de campo. Además, en días con poca luz y en interiores es necesario el uso de trípode para mantener estable la cámara entre el momento de disparo y captura de la imagen.

Con la ayuda del trípode se permite estabilizar la cámara entre el momento de disparo y la captura de la imagen, evitando su movimiento, en este caso contamos con un nivel de burbuja para nivelar la toma fotográfica. Además de proporcionar firmeza a la cámara, debe permitirle el movimiento en los tres ejes.

Respecto a la escena, es recomendable evitar objetos no texturizados, reflectantes o transparentes, evitar mover objetos dentro del plano a reconstruir o elementos en movimiento como personas o vehículos.

Para escalar el modelo se realizará una croquización con medidas obtenidas a partir de la cinta métrica y medidor láser Bocsh GLM 80. Varias de estas medidas, tomando como base la triangulación, en cada plano servirán para posicionar unos marcadores.

El proceso fotogramétrico persigue una correlación automática de imágenes, más conocido como matching, que identifica puntos homólogos en fotogramas de las imágenes digitales a partir de un patrón aproximado de búsqueda.. El área preseleccionada es la matriz de búsqueda (Imagen 53) sobre la que localizar el patrón.

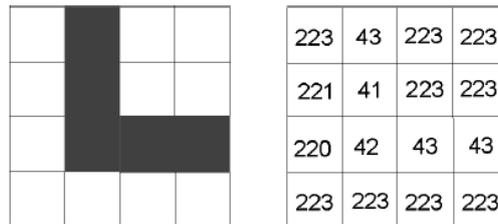


Imagen 53. Matriz y Patrón de búsqueda. Fuente: Sánchez Sobrino, 2006

Toma fotográfica terrestre

La toma de datos fotográficos viene marcada por las cualidades intrínsecas y extrínsecas del edificio, siendo éstas la forma y dimensión y el entorno y la distancia a edificios colindantes, respectivamente. Por ello, aunque existen unas bases teóricas, lo más común es realizar una toma de datos conjunta; aunque siempre siguiendo un orden y criterio.

En este caso la Plaza del Sol cuenta con un entramado urbano donde las edificaciones colindantes se encuentran muy próximas a la iglesia determinando así la distancia máxima a la que poder tomar la fotografía (Imagen 34) y la pendiente hace imposible la restitución de zonas de cubierta desde una posición a pie de calle.

Para solventar el problema de la restitución fotogramétrica se emplea un vehículo aéreo no tripulado, o dron, que cuenta con una cámara fotográfica incorporada.

Con estos datos decido realizar la toma mediante barridos concéntricos o toma en anillo (Imagen 54) en torno al objeto de estudio en tanto que se trata de mantener constante la distancia entre la cámara y el objeto en cada pasada, pero apoyado en una toma planar (Imagen 55 e Imagen 56) que consiste

en realizar fotografías a la misma altura y paralelos a fachada. En ambos casos las fotografías deben garantizar un solape en torno al 80% entre imágenes consecutivas, y mantener una proporción de $\frac{1}{4}$ de distancia entre la separación entre capturas y la distancia al objeto. Además, es conveniente realizar fotografías oblicuas en los cambios de plano para favorecer la correcta orientación de estas.

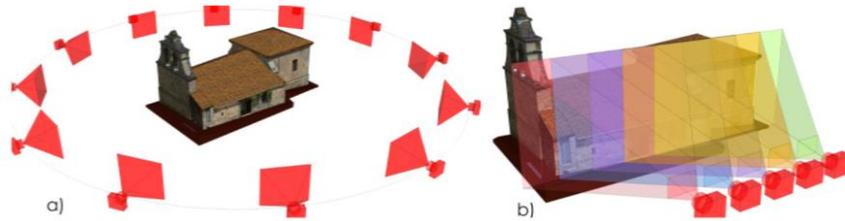


Imagen 54. Toma fotográfica en anillo y toma planar. Fuente: García-Gago et al., 2014.

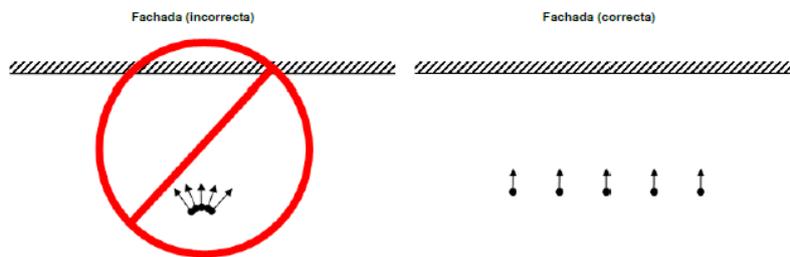


Imagen 55. Recomendaciones toma exterior planar. Fuente: Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, 2019

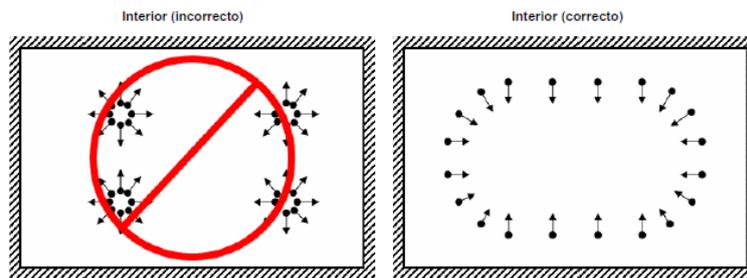


Imagen 56. Recomendaciones toma interior. Fuente: Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, 2019

Toma fotográfica aérea

Mediante el vuelo fotogramétrico se consigue garantizar la cobertura fotográfica de la zona a levantar, pudiendo obtener el modelo completo a partir de fotogrametría. Este método de toma fotográfica cuenta con una serie de parámetros base como son volar a una altitud constante, seguir una ruta predefinida y a velocidad constante, permitiendo realizar disparos a intervalos regulares. Todos estos parámetros necesitan ser previamente estudiados en lo que se conoce como planificación de vuelo. Se ha de tener en cuenta también uno de los principios fundamentales de la fotogrametría terrestre como es el solape entre imágenes entre el 60 y 80% en capturas sucesivas.

El primer paso es confeccionar un plan de vuelo a partir del estudio del bien a documentar y su localización para diseñar una ruta autónoma programada llamada waypoint, unos ejes predefinidos a partir de los que el VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) comienza su recorrido, coincidiendo el punto de partida con el del final de su ruta (siendo éstos parte de los puntos de ruta). El dron está equipado con un sistema GPS / INS (Sistema de Navegación Inercial).

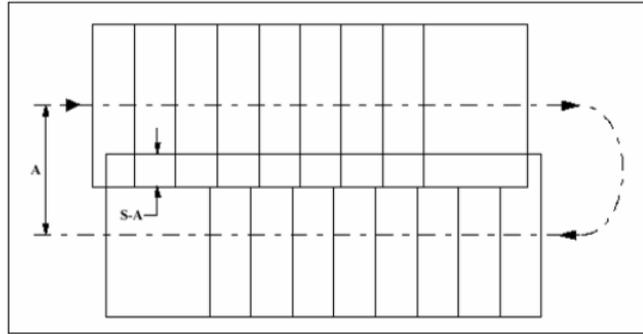


Imagen 57. Ejes de vuelo con orientación W-E y E-W. Fuente: Pérez Álvarez, 2001

Los ejes de vuelo cuentan, normalmente, con una orientación en función de los puntos cardinales (Imagen 57), aunque existe la posibilidad dentro de la documentación arquitectónica de que estos ejes coincidan paralelamente a los de las fachadas del edificio.

Teóricamente, la situación ideal sería que el eje principal fuese estrictamente vertical: terreno llano y horizontal donde el vehículo vuela a altitud constante sin interferencias externas, obteniendo fotos alineadas formando una pasada fotográfica. Pero la realidad es que el vuelo depende de la inclinación del eje vertical de la cámara, de las variaciones en la altura de vuelo y del relieve del terreno o de los obstáculos urbanos en el trazado (Pérez Álvarez, 2001).

Trabajando sobre la realidad teórica existen dos problemas fundamentales a los que dar solución, son la falta de verticalidad y la deriva. La deriva, por definición, es el ángulo de desviación que sufre la trayectoria de un objeto respecto a una definida; en este caso sobre todo influenciada por la acción del viento. La falta de verticalidad del eje óptico se mantiene gracias a un nivel esférico que permite nivelar la cámara, normalmente se considera que el error medio no debe superar 1° . Esto es lo que se conoce como programa de estabilidad donde el VANT se mantiene estable igualando las velocidades de todas sus hélices comunicándose con sus motores.

Para dar respuesta al programa de estabilidad las soluciones vienen desde la tecnología del propio VANT, solventándolo gracias al giroscopio y al acelerómetro. El giroscopio mide la velocidad de rotación en los ejes de balanceo, cabeceo y guiñada, aunque existen giroscopios de 6 ejes, mientras que el acelerómetro mide la orientación detectando la aceleración de la gravedad. Con ello solventaremos los problemas más recurrentes en la captura de imágenes aéreas como son el desplazamiento de la cámara en la dirección de vuelo, las vibraciones transmitidas por el VANT y el balanceo de este. La disposición ideal de fotogramas será la que se recoge en la Imagen 58.

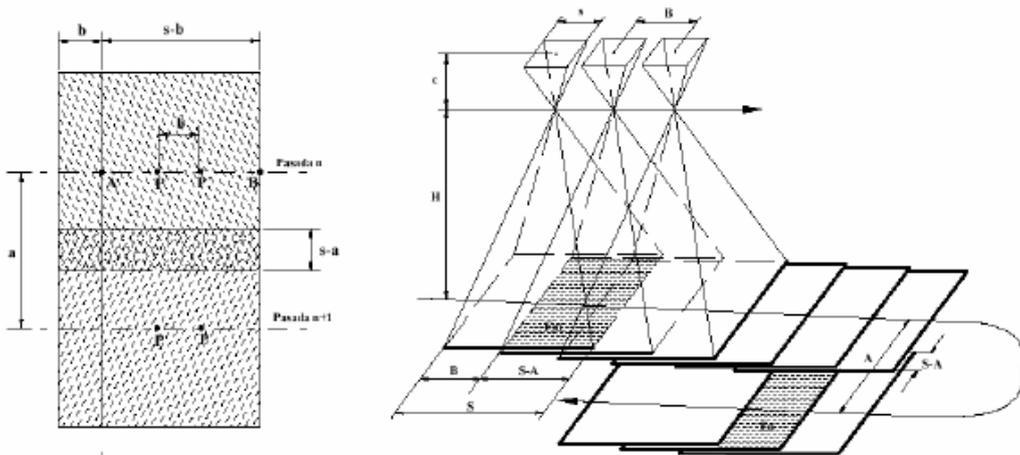


Imagen 58. Disposición ideal de fotogramas. Fuente: Pérez Álvarez, 2001

Hasta aquí la teoría nos marca cómo proceder en un vuelo automatizado, aunque siempre existe la posibilidad (y es recomendable) realizar un vuelo manual de seguridad para poder realizar fotografías hacia paramentos más complejos y sirve de apoyo en la costura del modelo en los cambios de direcciones planares, como son, en arquitectura, los de unión de la cubierta con las fachadas.

En un vuelo manual existe la posibilidad de realizar una toma estereoscópica y oblicua (Pérez Arias, 2018). Teóricamente ambas se diferencian entre sí y son funcionalmente independientes; en la práctica, pueden combinarse.

La toma estereoscópica (Imagen 59) asigna cobertura de un par a cada zona del objeto asegurando un solape de seguridad, salvo si existiese un paramento extendido en el que se trabaja de igual modo con la particularidad de que la toma derecha de un par es coincidente con la toma izquierda del inmediatamente consecutivo.

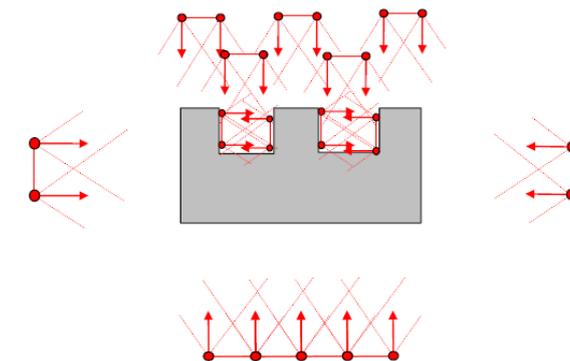


Imagen 59. Toma estereoscópica. Fuente: Pérez Arias, 2018

La regla básica de la toma oblicua (Imagen 60) es que cada zona quede recogida en, al menos, tres imágenes; siendo el mejor modo de captura la toma en anillo (que al igual que en la toma terrestre requiere que las tomas sean a una distancia constante) teniendo en cuenta que el solape entre ellas vendrá definido por tres imágenes (perpendicular al objeto, encuadrando hacia derecha e izquierda) y que en las partes articuladas del objeto, es decir, en los cambios de plano, la toma se realice en diagonal.

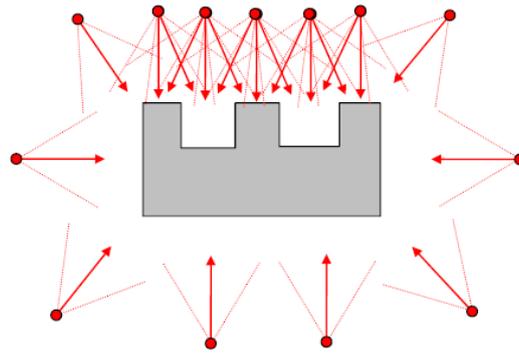


Imagen 60. Toma oblicua. Fuente: Pérez Arias, 2018

5.5 TRABAJO DE CAMPO

Una vez conocidos los fundamentos teóricos es el momento de la toma de datos, en lo que se denomina “trabajo de campo”. El primer paso para el conocimiento del edificio consiste en la croquización del bien a documentar, permitiendo plasmar sobre el papel en unos primeros bocetos la esencia de lo que se está estudiando; además, es necesario acompañarlo de una medición manual por medio de una cinta métrica y, en este caso, de un medidor láser Bosch GLM 80. Estas medidas, más adelante, serán fundamentales para escalar el modelo.

El siguiente paso ha consistido en realizar las fotografías con la cámara Nikon D3000, en la toma de datos fotográfica exterior teniendo en cuenta que el solape entre fotografías tiene que estar en torno al 80%, la focal se ha fijado en $f / 6,3$, la ISO en 100, el tiempo de exposición en $1 / 400s$, sin flash y en dimensiones de 3872×2592 píxeles a partir de barridos concéntricos apoyado en la toma planar y en fotografías oblicuas.



Imagen 61. Toma fotogramétrica exterior. Fuente: Elaboración propia

Después se tomaron las fotografías del interior de la parte alta de la torre / campanario, siguiendo las recomendaciones de tomas fotográficas en interior como se puede observar en la Imagen 61. En este caso existía suficiente luz natural como para no ser necesario el trípode.

Posteriormente, para la toma del interior de la iglesia se intentó mantener la configuración de la cámara, continuando con la ISO en 100, la $f / 6,3$ y la necesidad de conseguir un solape del 80% entre fotografías continuas; pero la poca luz de escena ha hecho que fuese una obligatoriedad el uso del trípode porque aumentaba el tiempo de exposición (Imagen 62). Debido a este último factor la cámara se quedó sin batería durante la realización de la toma interior.



Imagen 62. Nikon D3000 acoplada a trípode con nivel de burbuja. Fuente: Elaboración propia

En total, de esta primera toma se consiguieron 625 fotografías del exterior de la iglesia, 100 del interior de la torre y 114 del interior de la iglesia.

Llegados a este punto y ante la necesidad de volver al bien para documentarlo por completo en su interior, decidimos contactar y pedir ayuda a un compañero de profesión, Arquitecto Técnico, y ex alumno de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (Universidad de Salamanca), David Alfaraz López para realizar tomas fotográficas cenitales. Dentro de nuestro ámbito laboral, David Alfaraz López basa una parte de su trabajo en el estudio y reconstrucción fotogramétrica a partir de vuelos con dron (Imagen 63) y cuenta con la formación de piloto de dron, además de poseer el modelo Phantom 4 con el que hemos trabajado y el seguro y el certificado médico correspondiente.



*Imagen 63. Montaje del dron. (Alfaraz López, 2020).
Fuente: Elaboración propia*

El proceso para la concesión de la licencia de vuelo consistía en solicitarlo ante el Exmo. Ayuntamiento de Monleón y la Patrulla Pegasus de la Guardia Civil de Salamanca. Una vez con ambos permisos por escrito se realizaron varios vuelos el mismo día de, en total, no más de 30 minutos.

Ese mismo día se terminó de documentar fotográficamente el interior de la iglesia (Imagen 66), apoyado en trípode, sacando 292 fotografías. Durante esta toma también se siguieron las principales recomendaciones de la toma en interior (Imagen 56).



Imagen 66. Toma fotogramétrica interior. Fuente: Elaboración propia

5.6 TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete consistirá en todas las tareas y actuaciones realizadas desde la descarga de datos, pasando por el uso de los diferentes softwares conocidos y, finalmente, la obtención de resultados.

El número de fotografías anteriormente citadas son las fotografías ya filtradas, es decir, aquellas que no presentaban distorsiones o defectos ópticos. El filtrado supuso, de media, el 10% del total de fotografías efectuadas.

5.6.1 Metashape. Procesamiento de las nubes de puntos.

El procesamiento implica el registro, limpieza, edición y exportación de las nubes. En primer lugar, se trabajó con Agisoft Metashape. Antes de comenzar con el procesamiento de datos es necesario introducirle al software bajo qué preferencias se actuará (Imagen 67), por ejemplo: el formato de latitud/longitud, las unidades de medida o, en caso de contar con más de un dispositivo GPU, cuál de ellos utilizar. Para este proyecto se ha utilizado el modelo Nvidia Quadro P620.

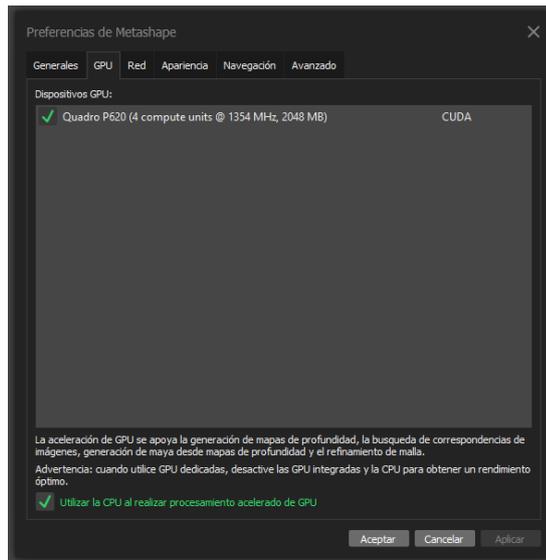


Imagen 67. Preferencias de trabajo en Agisoft Metashape. Fuente: Elaboración propia

Se consideró con especial relevancia la creación de un proceso por lotes (Imagen 68), lo que nos serviría para secuenciar todo el trabajo. En la imagen siguiente podemos ver la secuencia de pasos seguidos en el proceso, además de la validación de un autoguardado del proyecto tras cada proceso para evitar perder información (y con ello tiempo) en caso de que existiera algún problema de suministro eléctrico al ordenador o un problema en el procesado.

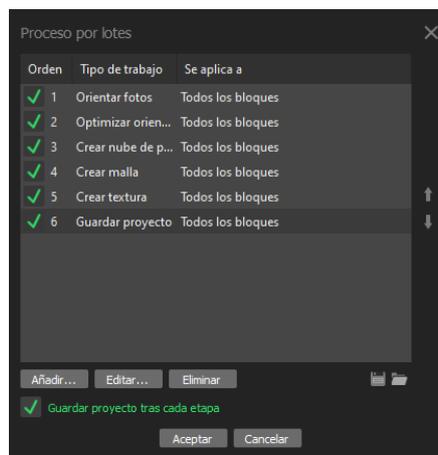


Imagen 68. Procesado por lotes. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se importa la base de datos (fotográfica) filtrada desde el menú “Flujo de trabajo” (workflow) mediante la pestaña “Añadir fotografías” (add potos). Una vez cargadas, será un punto imprescindible y crucial revisar fotografía por fotografía con el objetivo de enmascarar las zonas, elementos o situaciones de las que no se pretenda conseguir información o porque ésta resultará irrelevante; siendo, entre otras, las edificaciones anejas o el cielo (Imagen 69).

Desde el menú podemos elegir la herramienta de enmascarado que más se adapte a cada fotografía: Selección rectangular, tijeras inteligentes, varita mágica o pincel inteligente. Esta parte del trabajo es manual, yendo foto por foto. También, otra de las opciones más interesantes es la visualización de los mapas de profundidad de cada fotografía (Imagen 70).



Imagen 69. Previsualización de máscaras, Metashape.
Fuente: Elaboración propia

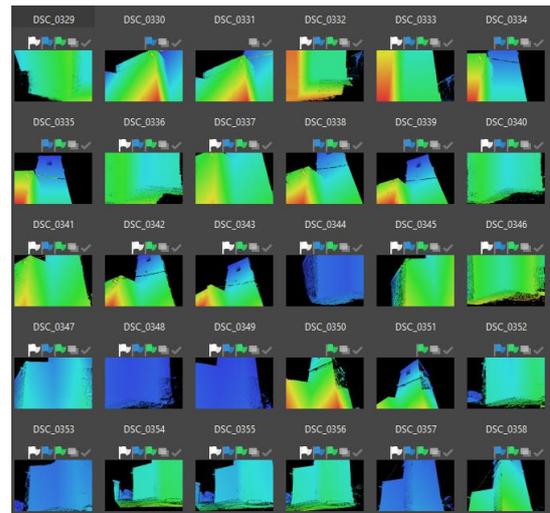


Imagen 70. Previsualización de mapas de profundidad.
Fuente: Elaboración propia

Desde “flujo de trabajo”, nuevamente, alinearemos las fotografías de manera automática desde la pestaña “alinear fotografías” (align photos). Metashape utiliza puntos de objetos que están presentes en imágenes correlativas para crear un mapa desde el que se estima la posición de la cámara en el momento de cada disparo.

El primer paso en el procesamiento es la extracción de puntos característicos en las fotografías y las correspondencias entre estos puntos en las distintas fotografías, lo cual permite resolver la posición angular y espacial de cada fotografía empleada, a la vez que permite conocer los parámetros internos de la cámara. Una vez que se conocen las orientaciones internas y externas de las fotografías, la posición espacial de cada píxel se resuelve por intersección de haces proyectivos.

Ahora, estamos en disposición de crear la nube de puntos (Imagen 71) mediante “crear nube de puntos densa” (build dense cloud). Las características para el automatizado en la construcción de la nube se dividen en dos: Generales y avanzado. En la primera existen cinco niveles de calidad a elegir por el usuario, y en la segunda nos ofrece diferentes modos para gestionar el filtrado de profundidad.

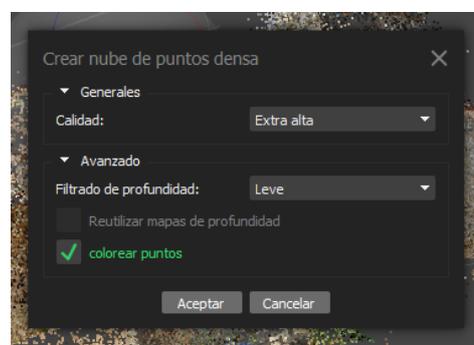


Imagen 71. Paso para la creación de nube de puntos densa, Metashape. Fuente: Elaboración propia

En este caso, en las pruebas iniciales se generó la nube de puntos con el segundo nivel de calidad (baja) para conocer los resultados aproximados en el menor tiempo posible. Realicé diferentes pruebas en función a cada nivel de calidad, desestimando el primer nivel (mínima) por ofrecer

resultados bastantes pobres y el quinto nivel porque mi ordenador no era capaz de ejecutar esta operación. Por lo que de los niveles intermedios (baja, media, alta), con un filtrado de profundidad leve y coloreando los puntos, opté por el cuarto nivel de calidad (alta). Si bien es cierto que en el nivel de calidad media los resultados son perfectamente válidos para, casi, cualquier proyecto; diferenciándose un nivel de otro en la cantidad de puntos generados a partir de datos poligonales que conformarán la malla.

En la Imagen 72 y en la Imagen 73 se puede apreciar la nube de puntos generada con un total de 417.254 puntos resultante únicamente de la toma terrestre, generada en calidad media. Aquí, también se aprecia cómo el espacio de trabajo está girado y rotado. Es en estos momentos cuando debemos orientar el modelo situándolo ortogonalmente respecto a los ejes, al igual que el espacio de trabajo; para que, al seguir realizando operaciones infieran directamente y solo se muestren los resultados de dentro de él. Con ello se consigue optimizar el tiempo efectivo procesado, evitando trabajar con puntos que no nos interesan.

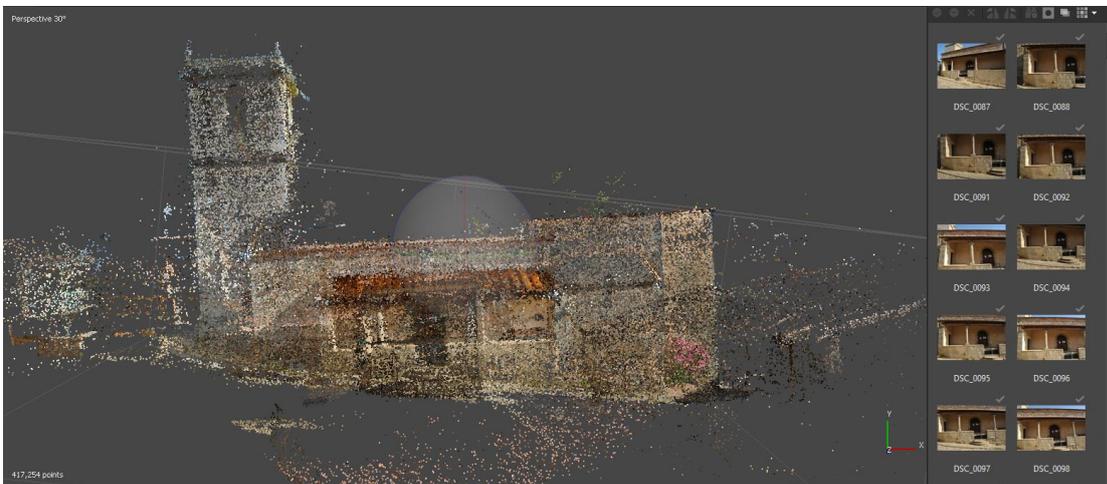


Imagen 72. Nube de puntos en calidad media y espacio de trabajo, a partir de fotografías terrestres; Metashape. Fuente: Elaboración propia

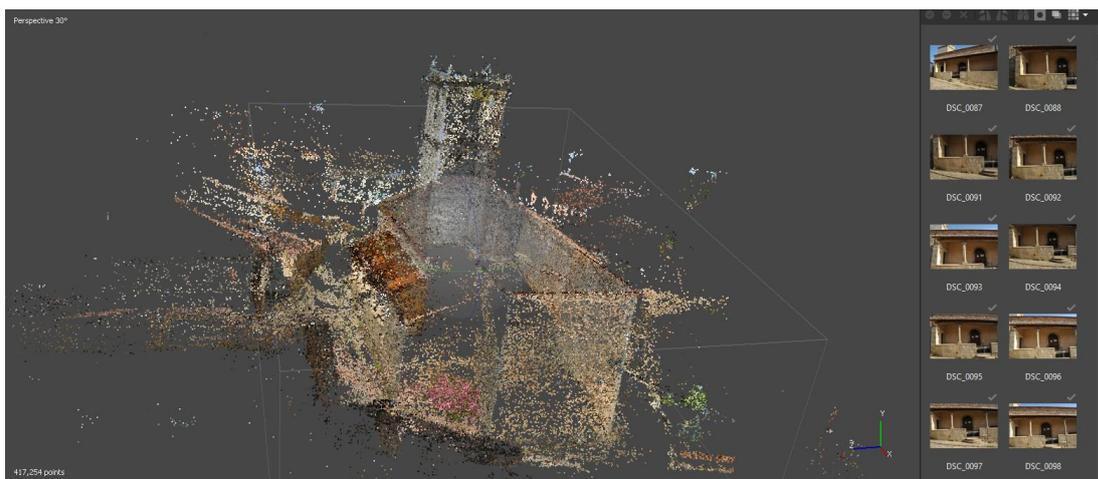


Imagen 73. Nube de puntos en calidad media y espacio de trabajo, a partir de fotografías terrestres; Metashape. Fuente: Elaboración propia

Ante la ya mencionada posibilidad de trabajar con fotografías obtenidas por medio de un VANT, y viendo la escasez reconstructiva a simple vista de los primeros resultados, se optó por enlazar

los datos resultantes de ambas tomas (Imagen 74). Los algoritmos de Metashape reconocían a la perfección la ubicación y situación de cada toma, con el correspondiente solape entre ellas y para con las realizadas desde la toma terrestre. Resultando un total de 549.792 puntos en calidad mínima y 57.184.364 puntos en calidad alta.

A partir de este punto se escaló el modelo para que todos los resultados posteriores estuvieran acorde a una escala conocida. Mediante la creación de “puntos de control” se consigue posicionar el modelo. Una vez creado un punto, con ubicación conocida, en una foto, éste se ubicará automáticamente en el mismo píxel en las fotos en las que aparezca. Para limitar el error de posicionamiento es recomendable “recolocar” manualmente punto por punto y foto por foto.

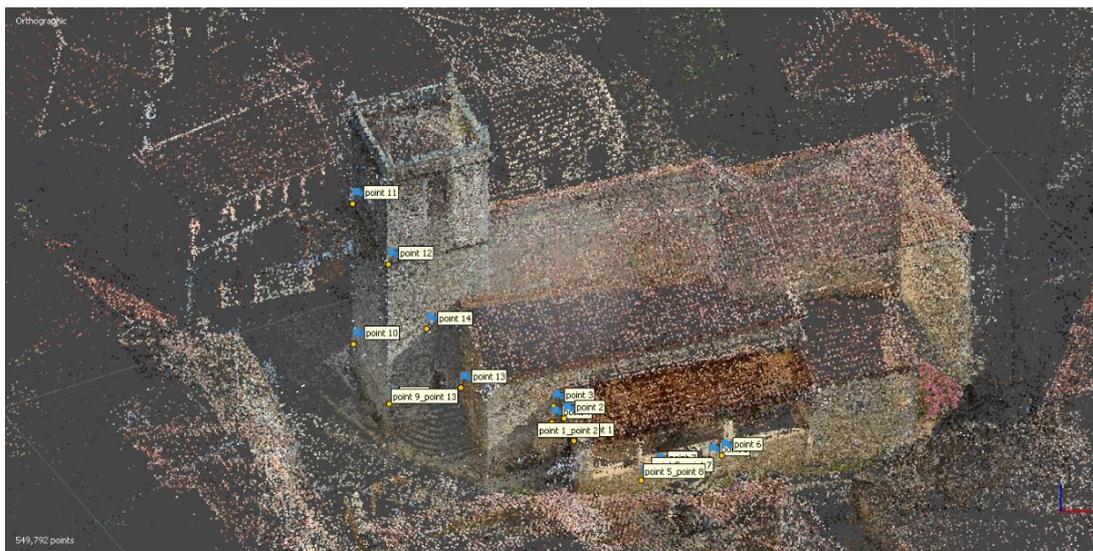


Imagen 74. Nube de puntos en calidad mínima a partir de fotografías terrestre y VANT, calidad mínima. Fuente: Elaboración propia

Para esta parte del trabajo se han colocado puntos de control a lo largo del modelo en los tres ejes, porque posteriormente dándole valor a cada distancia (medida por medios manuales directos) entre dos puntos es como se consigue el verdadero escalado.

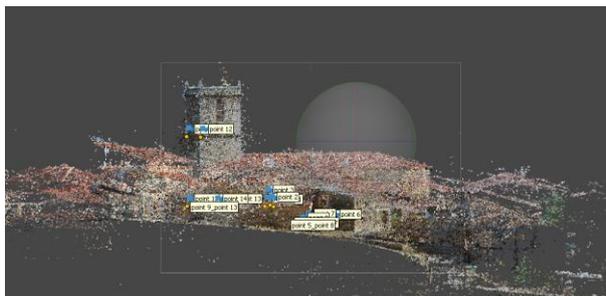


Imagen 75. Nube de puntos del modelo y espacio de trabajo ortogonal, Metashape. Fuente: Elaboración propia

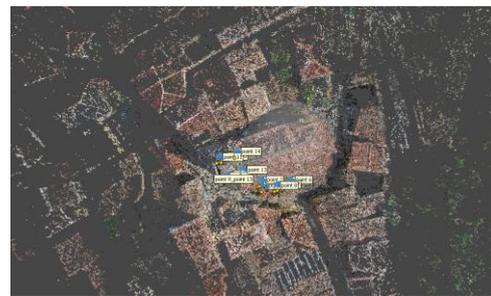


Imagen 76. Vista cenital del entramado urbano colindante, Metashape. Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las imágenes anteriores, contamos con miles de puntos que no necesitamos o que en este momento no nos aportan valor alguno. Son los puntos externos al espacio de trabajo y los puntos interiores al espacio de trabajo que no pertenecen al modelo. Existen varias

formas para limpiar la nube de puntos en función del momento del procesado en el que nos encontremos.

La acción de enmascarado no hace sino evitar desde el inicio que de las zonas indeseadas aparezcan sus puntos, podríamos considerarlo como una limpieza de la nube preventiva. Esta preventividad se ajusta más al definir el modelo de trabajo y orientarlo, dejando fuera del siguiente paso a los puntos exteriores a él.

El filtrado de profundidad corresponde a la cantidad de puntos que Metashape estima redundantes o coincidentes. Es un paso implícito en la creación de nubes de puntos, es un paso automatizado. En la imagen que se muestra en la Imagen 77 se puede apreciar cómo de este paso, partiendo del mismo modelo inicial, se reduce la cantidad de puntos totales en algo más de 5.000.000 puntos. Realizando así un gran aporte a la limpieza de la nube.

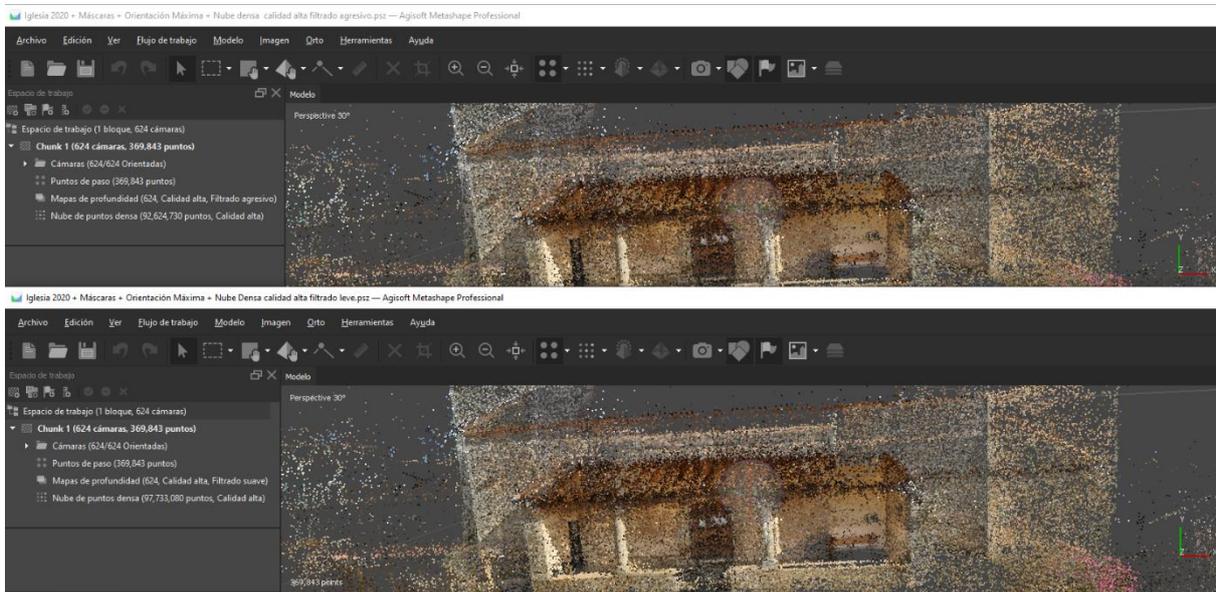


Imagen 77. Diferencia de filtrado de profundidad Leve Vs. Agresivo, Metashape. Fuente: Elaboración propia

Una vez conseguida la nube densa, en la que ya podemos apreciar e intuir el modelo, se realiza la limpieza manual de la nube de puntos, eliminando aquellos que no sean de nuestro interés (Imagen 78). Se consigue evitar que, al realizar el mallado, Metashape triangule estos puntos junto con los propios del modelo.

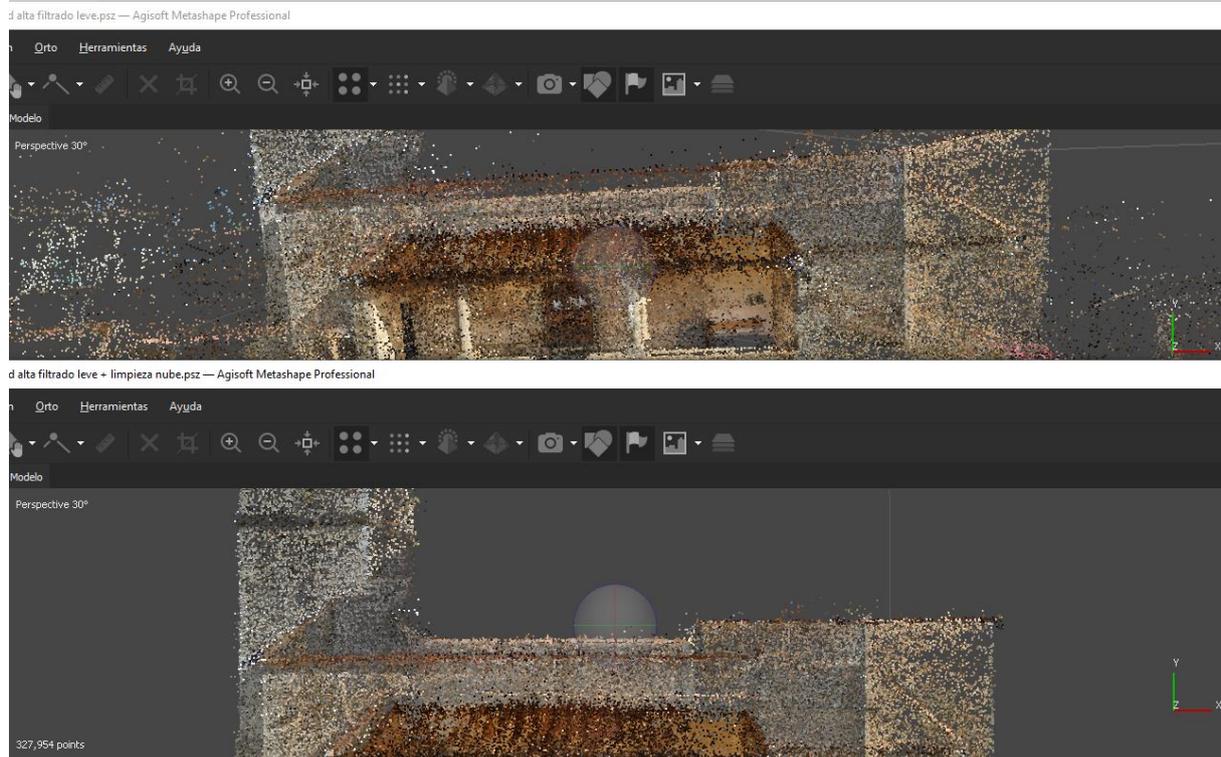


Imagen 78. Diferencia de filtrado de profundidad y limpieza manual de la nube. Fuente: Elaboración propia

La imagen posterior (Imagen 79) muestra la creación de la nube de puntos en calidad mínima respecto a la totalidad de las fotografías incluidas en el procesado, junto con los tiempos de procesamiento. Podemos apreciar que es una nube mucho más densa que utilizando únicamente las fotografías de la toma terrestre con la nube densa en calidad alta, por lo tanto, más completa, y más pesada.

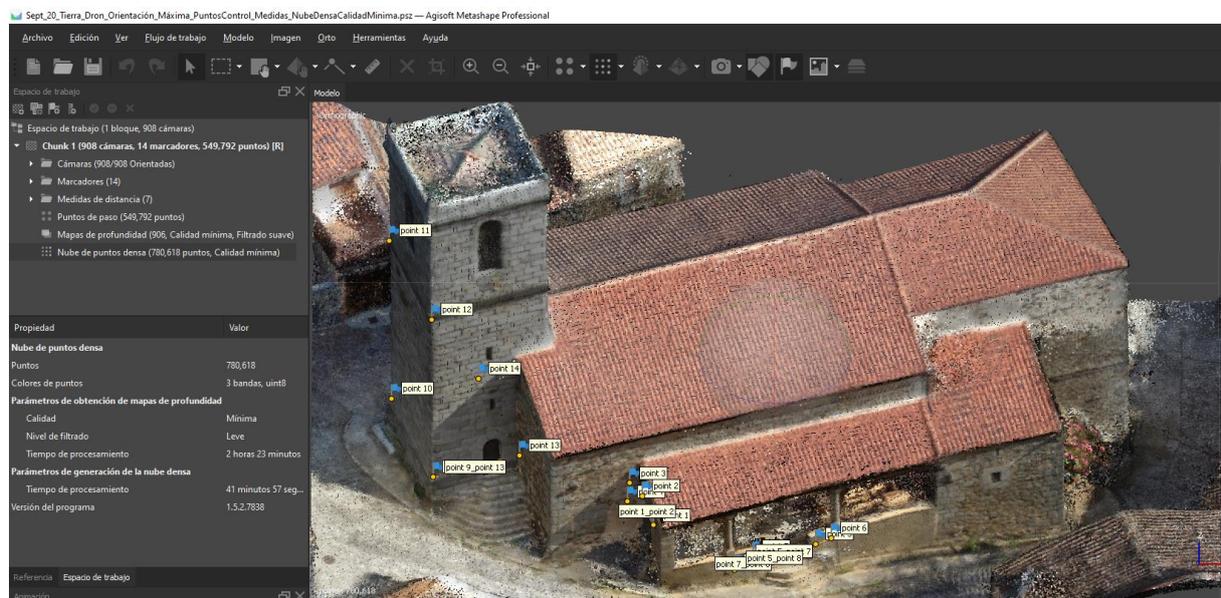
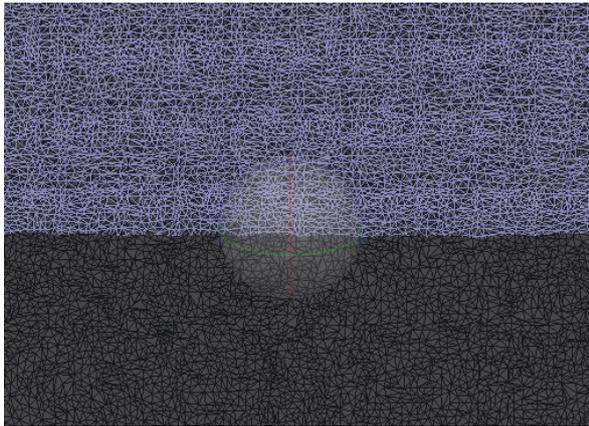


Imagen 79. Nube densa, calidad mínima. Toma terrestre + VANT, Metashape. Fuente: Elaboración propia

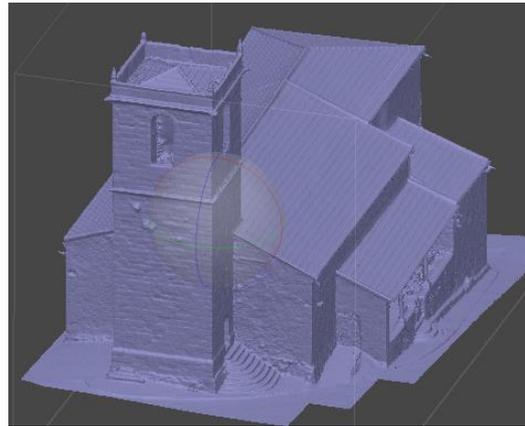
Una vez conseguida la nube densa completa y filtrada, el siguiente paso es la creación de la malla: a partir de la pestaña “flujo de trabajo” y “crear malla” (build mesh). Los resultados que arroja este

proceso son valorables en el visor en diferentes modos como malla en color, malla sombreada, malla de alambre y malla con textura.

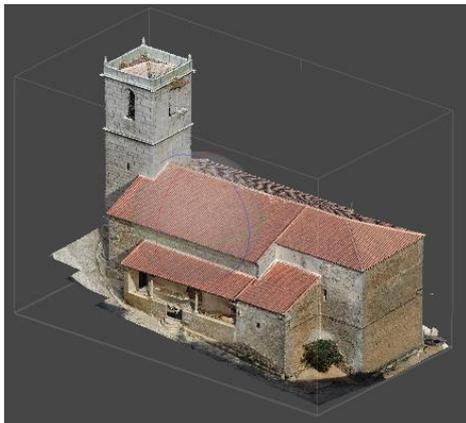
La malla de alambre (Imagen 80) ofrece los resultados del mallado a partir de la triangulación de los puntos de la nube. La malla sombreada (Imagen 81) confiere una uniformidad a la malla a partir de la creación de “caras”; son superficies planas que ocupan el área de cada triángulo. La malla con color (Imagen 82) proporciona la cromatografía extraída de la creación de la nube de puntos. Y la malla con textura (Imagen 83) se consigue a partir del último paso, “crear textura”.



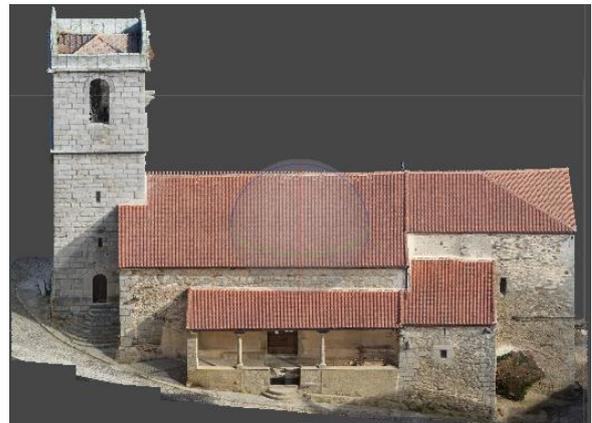
*Imagen 80. Detalle del mallado de alambre, Metashape.
Fuente: Elaboración propia*



*Imagen 81. Malla sombreada, Metashape.
Fuente: Elaboración propia*



*Imagen 82. Malla con color, Metashape.
Fuente: Elaboración propia*



*Imagen 83. Malla con textura, Metashape.
Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, para dar por terminado el trabajo de modelado bastaría con añadirle la textura al modelo. Para ello, desde “flujo de trabajo” seleccionamos la opción de “crear textura” (build texture). Metashape creará una imagen asociada (Imagen 84), que se guardará por defecto en la misma carpeta en la que estemos trabajando. Aparentemente, por sí sola, parece no tener ningún significado, pero enlazada al modelo cobra sentido.

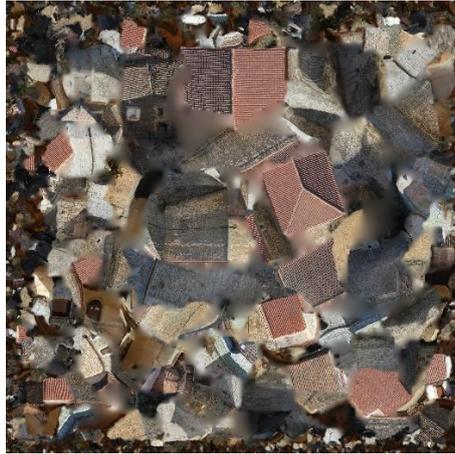


Imagen 84. Textura, formato JPG. Fuente: Elaboración propia

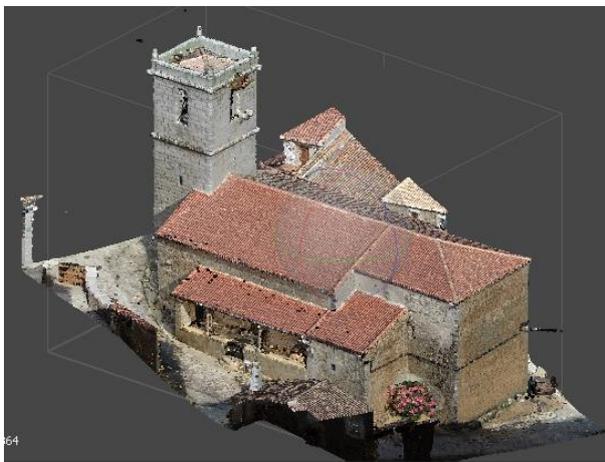


Imagen 85. Nube densa, modelo final; Metashape.
Fuente: Elaboración propia

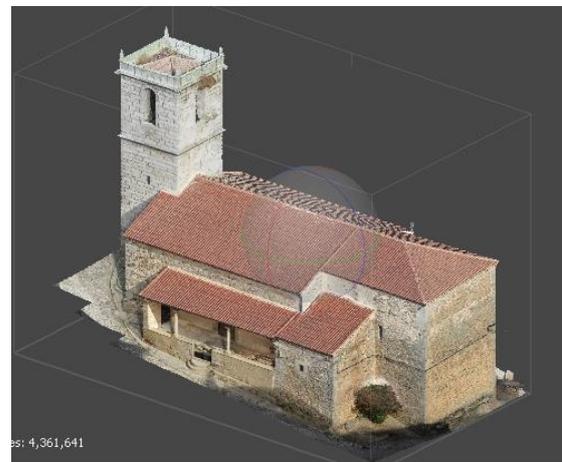


Imagen 86. Modelo texturizado final, Metashape.
Fuente: Elaboración propia

La Imagen 86 , muestra el modelo texturizado rodeado por las tomas fotográficas: en la parte baja existe un círculo concéntrico en relación con el volumen edificado guiado por la estrechez de la calle y su pendiente, una toma aérea manual que sirve de costura entre la cubierta y los paramentos verticales y una toma aérea programada que se intuye en un espaciado regular horizontal de fotos.

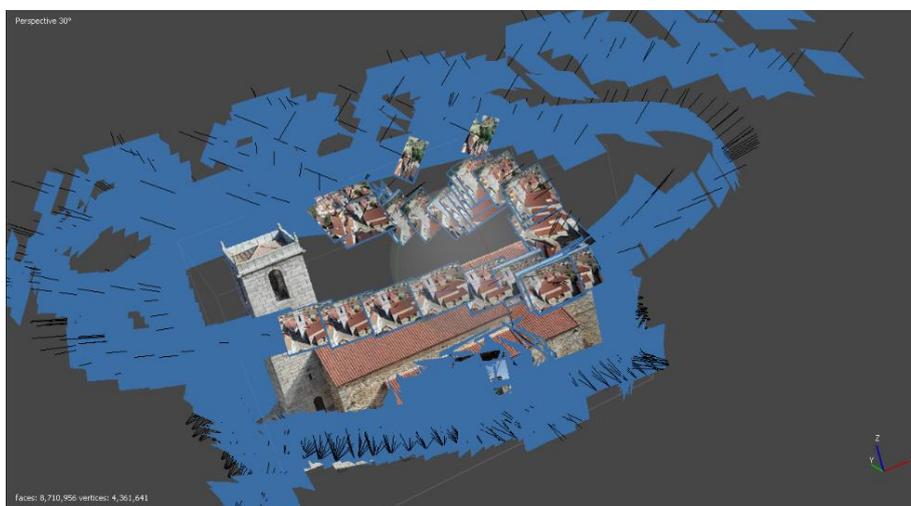


Imagen 87. Posicionamiento toma fotográfica exterior, Metashape. Fuente: Elaboración propia

Hasta aquí, se podrían definir estas pautas como metodología a seguir para la consecución óptima de resultados. Este modelo fotogramétrico exterior se complementa con el modelo fotogramétrico obtenido de la toma interior de la torre en su campanario (Imagen 88) y con la toma interior de la iglesia (Imagen 89), a excepción de la sacristía.



Imagen 88. Modelo texturizado del interior del campanario, Metashape. Fuente: Elaboración propia



Imagen 89. Modelo texturizado del interior de la iglesia, Metashape. Fuente: Elaboración propia

Se decidió trabajar con los tres archivos diferentes hasta llegar al modelo texturizado de todos ellos. Una vez conseguido, se generó un archivo con los tres modelos fusionados. El siguiente paso consistió en otorgarle su ubicación real en el espacio.

Para situarlos, se decidió utilizar un sistema de coordenadas locales o propio. Es decir, un sistema de coordenadas relativas en el que dándole valores reales a la posición en las tres coordenadas de cada punto se consiguió una conjunción perfecta entre los tres modelos.

Para poder seguir trabajando con estos resultados debemos exportarlos en otros formatos. Si queremos trabajar con el modelo mallado y texturizado, tenemos la opción de exportar en formato .obj (compatible con Blender) o en formato .kmz (compatible con Google Earth), entre otros. Si se pretende seguir trabajando sobre la nube de puntos, podremos exportar en formato .laz (compatible con Cloudcompare). En ambos casos, tanto exportando modelo como nube de puntos, existe la posibilidad de exportar en formato .dxf (compatible con AutoCAD).

5.6.2 Cloudcompare. Análisis y edición de las nubes de puntos.

Este software de tratamiento de nubes de puntos resulta de gran utilidad para seccionar y compartimentar las nubes en base a nuestros propios requerimientos. En las dos siguientes imágenes se aprecia cómo podemos interactuar con los 3 diferentes bloques (Imagen 90 e Imagen 91) importados desde Metashape desde el árbol de trabajo.



Imagen 90. Nube de puntos con los tres bloques fusionados, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia



Imagen 91. Posibilidad de trabajar con diferentes bloques, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia

Además, permite realizar todas las secciones necesarias por cualquier plano y en cualquier dirección, (Imagen 92).

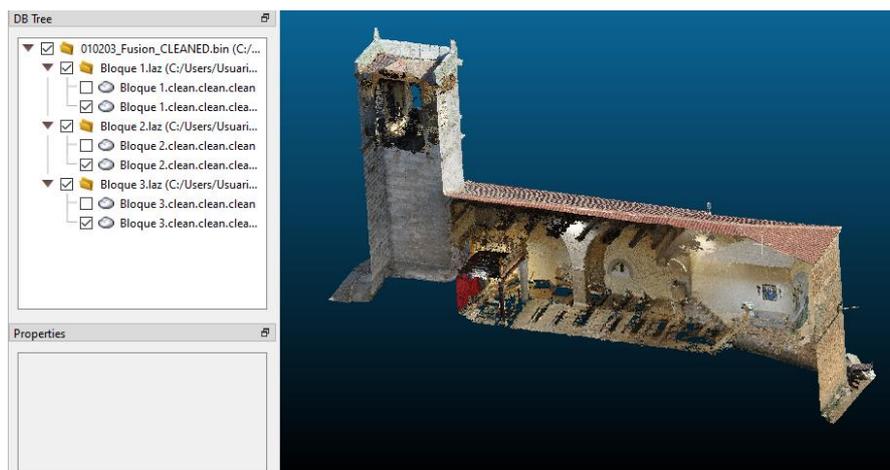


Imagen 92. Sección longitudinal de los tres bloques de trabajo, Metashape. Fuente: Elaboración propia

Cloudcompare es una herramienta potente que permitirá, entre otros, realizar una limpieza de la nube de puntos interna al modelo gracias a las posibilidades de compartimentación (Imagen 93). Con ello

somos capaces, por ejemplo, de eliminar el mobiliario (Imagen 94) sin suprimir los puntos próximos, de detrás o de delante de la zona a eliminar; consiguiendo una nube interior lo más limpia posible.

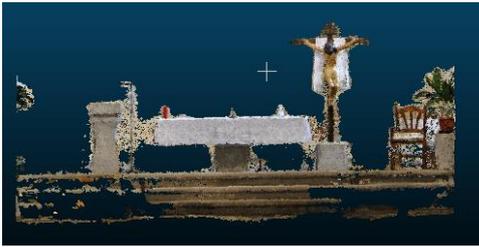


Imagen 93. Zonas parciales de la nube de puntos interior, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia

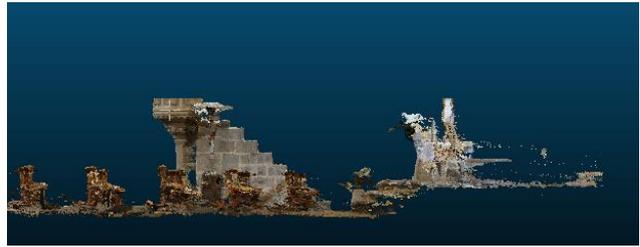


Imagen 94. Paso previo a eliminar los puntos correspondientes al mobiliario, Cloudcompare. Fuente: Elaboración propia

Incluso, entre sus múltiples funciones, existe la posibilidad de realizar una limpieza automática de puntos en la nube; reduciendo la densidad de esta. Y, en consecuencia, haciéndola más liviana de cara a los siguientes pasos.

Por último, se exportan las tres nubes de puntos en un mismo archivo; ya sin diferenciarlas entre ellas, formando una misma nube. El formato elegido es e.57, es una extensión de archivo utilizada para almacenar e intercambiar datos entre diferentes softwares.

De este modo concluye la edición de la nube de puntos. Si bien es cierto que existen diferentes softwares para ello, utilizar Cloudcompare es sencillo, intuitivo y es un recurso open source.

5.6.3 Recap y Revit. Modelado de la nube de puntos.

Para realizar el modelado en 3D, utilizando la metodología BIM, el software elegido es Revit. Partiendo de la nube de puntos obtenida anteriormente se comenzará el modelado mediante las pautas referentes a los HeritageBIM, detalladas anteriormente.

Revit utiliza un formato propio de extensión de archivos, .rvt. Aunque Revit permite insertar nubes de puntos, éstas primeramente deben estar en un formato legible para él: .rcp o .rcs.

Para importar la nube obtenida de Cloudcompare realizamos un paso intermedio que consiste en importar la nube en Recap (Imagen 95) en formato e.57 y acto seguido se exporta en uno de los formatos legibles por Revit.

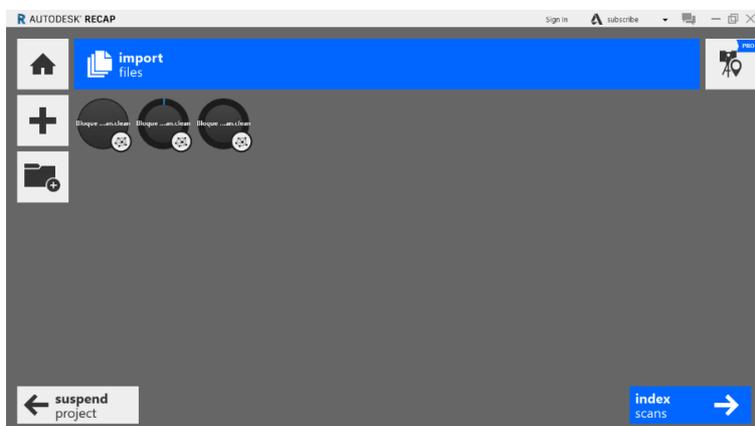


Imagen 95. Importar nube de puntos a Recap. Fuente: Elaboración propia

Recap es un software de tratamiento y edición de nubes de puntos, aunque en este caso únicamente se utilice como software puente. Con Recap, entre otros, también hubiese sido factible realizar la limpieza interior de la nube de puntos, así como filtrados y secciones (Imagen 97 e Imagen 98).

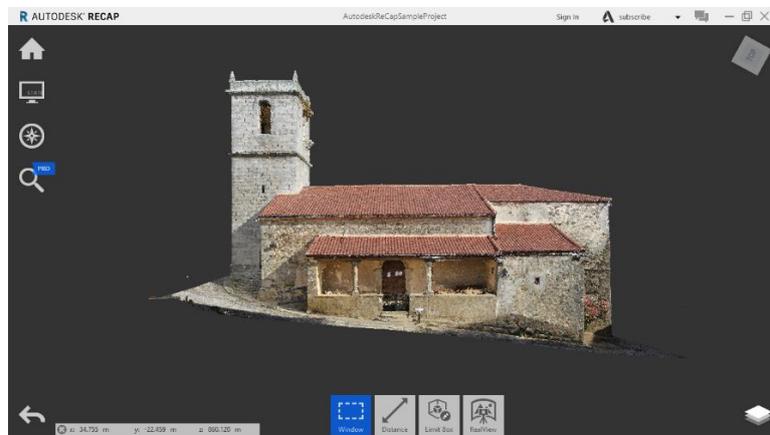


Imagen 96. Interface inicial, Recap. Fuente: Elaboración propia



Imagen 97. Sección transversal, Recap. Fuente: Elaboración propia



Imagen 98. Sección longitudinal, Recap. Fuente: Elaboración propia

Una vez que tenemos la nube de puntos en el formato deseado, se importará en Revit. Antes de comenzar el modelado, se comprobará la verticalidad de la nube de puntos en todas sus fachadas. La manera más sencilla de confirmarlo consistirá en alinear los planos de las fachadas de la nube a planos verticales creados en Revit (Imagen 99, Imagen 100, Imagen 101 e Imagen 102).

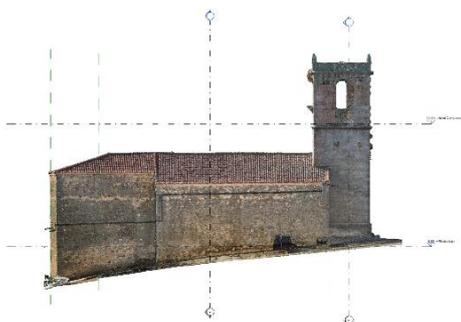


Imagen 99. Alineación de la nube de puntos, fachada norte, Revit. Fuente: Elaboración propia

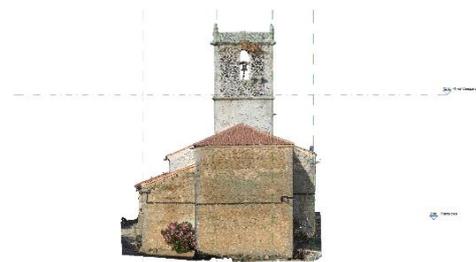


Imagen 100. Alineación de la nube de puntos, fachada este, Revit. Fuente: Elaboración propia

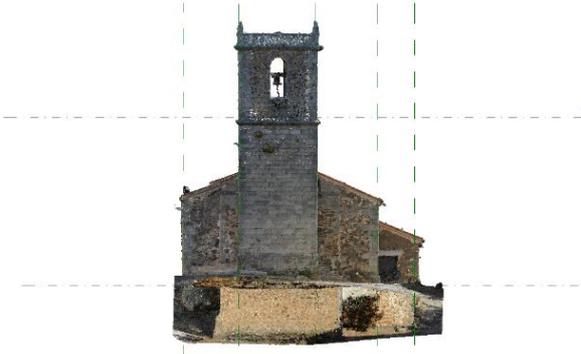


Imagen 101. Alineación de la nube de puntos, fachada oeste, Revit. Fuente: Elaboración propia

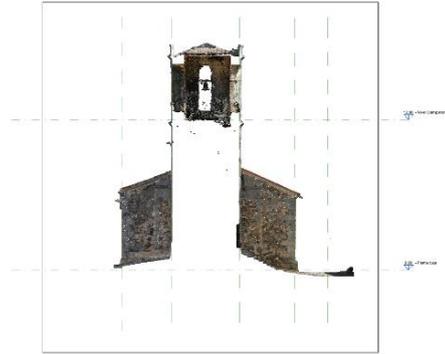


Imagen 102. Alineación de la nube de puntos, torre, Revit. Fuente: Elaboración propia

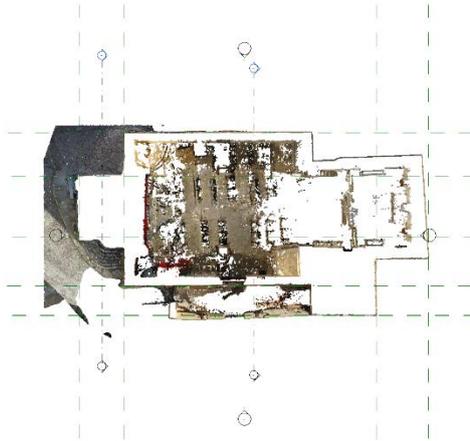


Imagen 103. Comprobación en planta de la alineación de la nube, Revit. Fuente: Elaboración propia

Para realizar estas maniobras se han creado previamente unos niveles básicos para tomarlos como referencia, así como se montó una rejilla para definir los ejes.

Como se mencionó anteriormente, los edificios históricos tienen una geometría diferente a los patrones constructivos de la actualidad. En el caso del modelado hay que tener en cuenta que Revit cuenta con una base de datos de elementos de familias predeterminadas, por lo que para los del modelado más común serán éstas las elegidas y en caso de que pretendamos asemejarla lo más posible a la realidad se podrán tomar como base para modificarlas.

Esta modificación será un modelado “in situ”, a partir de la pestaña Component Model in-Place, donde se seleccionan los componentes genéricos y a continuación la herramienta con la que llevarla a cabo:

Extrusión. Crea una forma sólida en 3D a partir de un modelo 2D.

Blend. Es muy común confundirla con la herramienta anterior. Crea un elemento sólido partiendo de dos perfiles, permitirá unirlos de manera no rígida; es decir, en esta unión el sólido puede cambiar de forma. Por ejemplo, en la creación de muros de fábrica de mampostería a partir de la nube de puntos el espesor varía a lo largo y alto del muro, y mediante este sistema podemos modelarlo fielmente.

Revolve. Permite un barrido teniendo como referencia un eje. Es necesario especificar la cantidad de grados que abarque el barrido.

Sweep. Técnicamente, resulta un barrido; similar al anterior, aunque definiendo por completo el camino recorrido.

Sweep Blend. Conjunción de dos de las herramientas anteriores. Definiendo el perfil de base y de finalización del objeto se creará un elemento sólido, permitiendo definir el camino recorrido entre ambos extremos.

Void Forms. Crea elementos volumétricos vacíos, concretamente no sólidos. Es ideal para eliminar las zonas no deseadas.

A partir de aquí el proceso de trabajo ha consistido en realizar pequeñas aproximaciones a la nube de puntos con el fin de acercarme al mejor método para modelar los diferentes componentes arquitectónicos.

5.6.4. Características constructivas de los elementos en el modelado HBIM

Se comenzó dándole una forma genérica a los muros y a la cubierta, (Imagen 104, Imagen 105). Para el modelado de los muros, se ha elegido el tipo de muro genérico de las familias de Revit y se ha duplicado modificando su espesor y sus propiedades en función del tipo de muro construido.

Los muros perimetrales de la iglesia están formados por sillares de granito en las zonas constructivas clave, generalmente ocupando posiciones estratégicas, como son las esquinas. El resto de los muros está compuesto por mampostería.

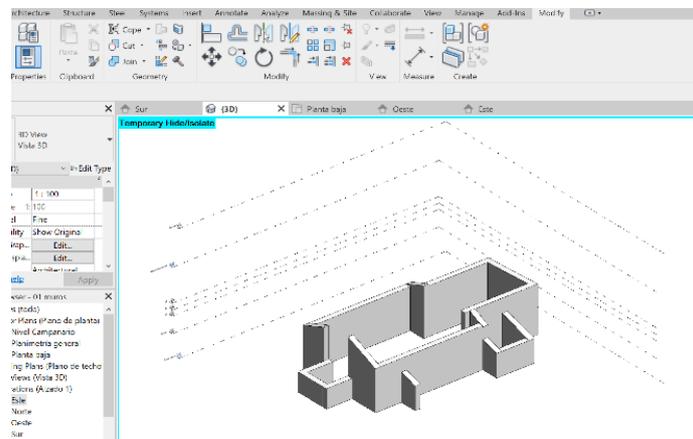


Imagen 104. Muros. Primera aproximación al modelado, Revit. Fuente: Elaboración propia

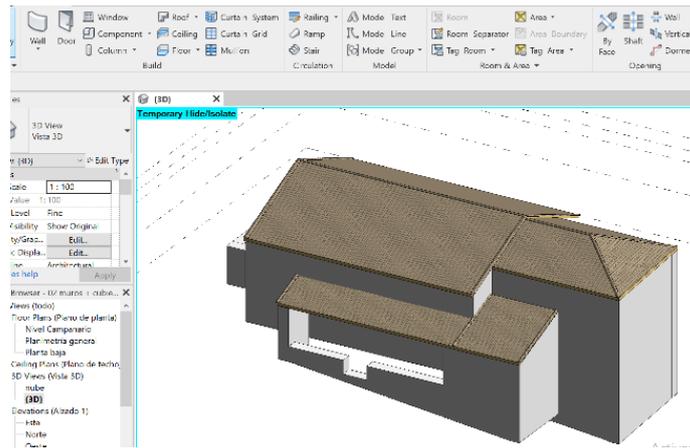


Imagen 105. Cubiertas. Primera aproximación al modelado, Revit. Fuente: Elaboración propia



Imagen 106. Planta. Primera aproximación al modelado, Revit. Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso consistió en modelar la torre, de la que las medidas interiores referentes a su cuerpo y a la escalera fueron tomadas por métodos directos, compaginándolas con la nube de puntos exterior y la del interior del campanario. Los muros de la torre están formados por sillares de granito. En su interior guarda una escalera de caracol con el peldañoado, al igual que los muros, de sillares de granito. La zona entre la escalera y los muros se ha modelado como masa. La escalera de acceso a la torre (Imagen 107) ha sido creada como component in-place extrusión y su puerta (Imagen 108) a partir de una nueva familia. Los huecos de las ventanas han sido creados mediante la herramienta voids y la ornamentación a partir de del barrido sweep.

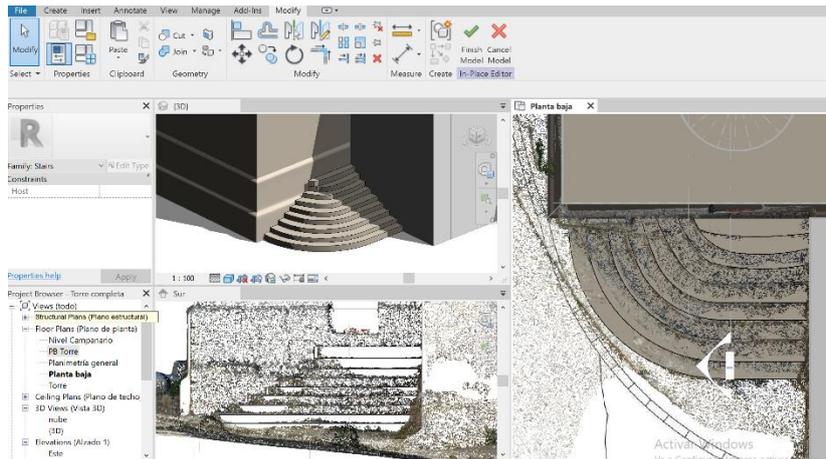


Imagen 107. Escalera de acceso a torre. Component in-place extrusion, Revit. Fuente: Elaboración propia

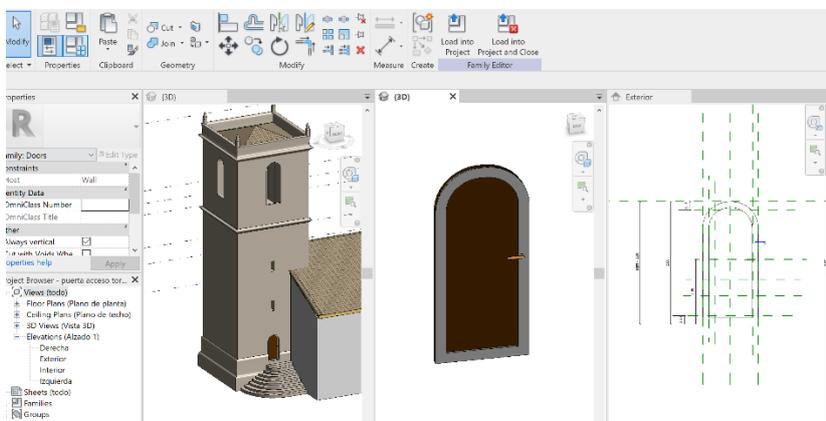


Imagen 108. Puerta de acceso a torre. Nueva familia, Revit. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se modeló el pórtico. El peto se creó como sweep y remate y la puerta de acceso lateral como familia (Imagen 109 e Imagen 110). Se han creado familias paramétricas para cada tipo de puerta. La estructura del pórtico cuenta con la particularidad de que el estribo sobre el que descansan las vigas se encuentra empotrado en sus laterales y cuenta con dos apoyos intermedios sobre dos ménsulas de madera que a su vez descansan en sendas columnas de granito.

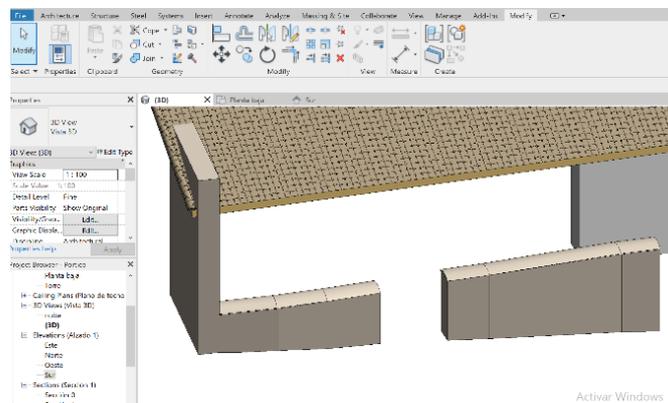


Imagen 109. Peto mediante sweep y remate, Revit. Fuente: Elaboración propia

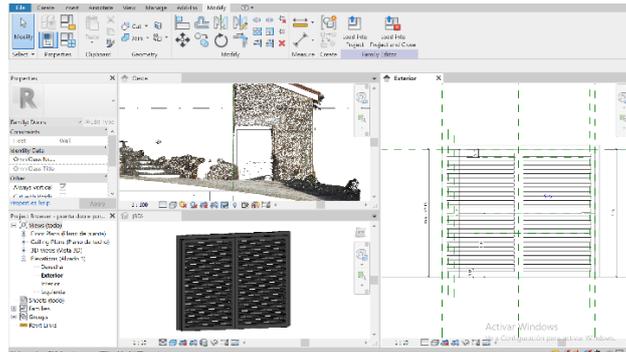


Imagen 110. Puerta, mediante familia; Revit. Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al entramado de madera de la cubierta, para modelar las vigas se procedió a alinearlas en función de la nube de puntos interior (Imagen 112).

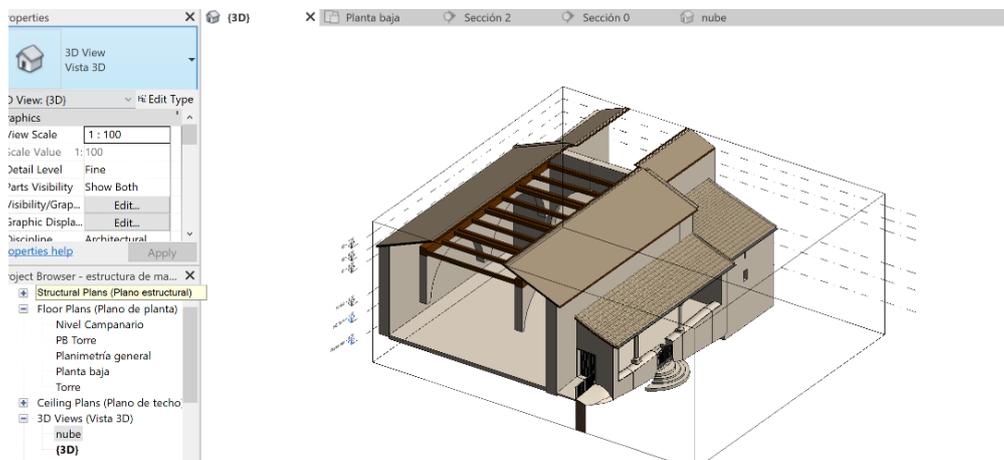


Imagen 111. Aproximación a la estructura de cubierta, Revit. Fuente: Elaboración propia



Imagen 112. Alineación de estructura de madera a la nube de puntos, Revit. Fuente: Elaboración propia

La estructura de la nave principal es una estructura de madera de par e hilera (Imagen 113). En nuestro caso existen tirantes dobles intercalados sistemáticamente con tirantes simples, para

sujetar los estribos sobre los que descansan los pares. Así, se evita la transmisión de esfuerzos horizontales a los muros. Los estribos apoyan sobre un durmiente. Para reducir la luz entre los muros y aumentar la superficie de apoyo del estribo, cada estribo apoya sobre un arcallón permitiendo la transmisión de cargas, de forma más centrada. Finalmente se coloca el arrocabe para ocultar el detalle constructivo sobre el muro y a su vez servir de elemento decorativo.

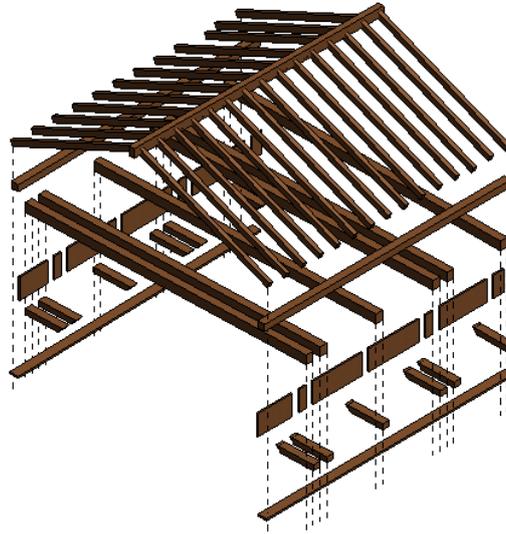


Imagen 113. Estructura de par e hilera. Fuente: Elaboración propia

La estructura del ábside es una prolongación de la de la cubierta de la nave central a dos aguas; completándola con un tercer agua en la cara Este (Imagen 114).

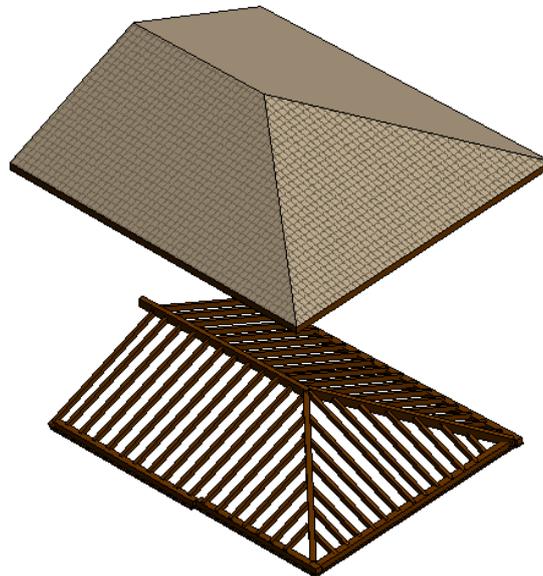


Imagen 114. Estructura y cubierta a tres aguas, correspondiente al ábside. Fuente: Elaboración propia

La estructura de las naves laterales también es una estructura de madera, que se entiende como prolongación de la estructura de la nave central y continúa con la misma pendiente. Está formada por una sucesión de vigas de madera que descansan sobre un estribo y durmiente. Esta solución también se aplica en la estructura del pórtico (Imagen 115 e Imagen 116).

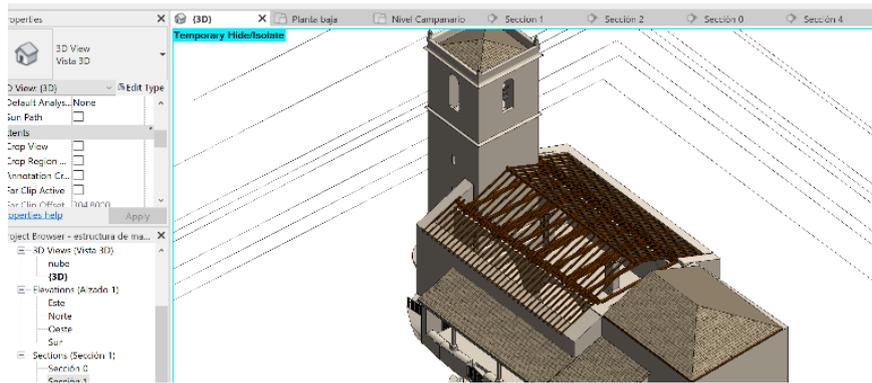


Imagen 115. Definición de la estructura de madera, Revit. Fuente: Elaboración propia

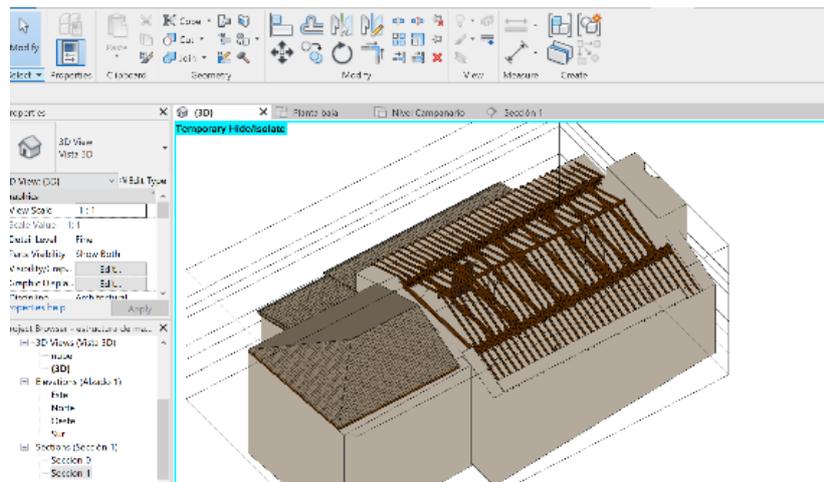


Imagen 116. Definición de la estructura de madera, Revit. Fuente: Elaboración propia

Las cubiertas, se han resuelto mediante teja cerámica curva apoyada sobre rastreles, estos sobre tablero apoyado en los pares y vigas de la estructura. La cubierta a dos aguas correspondiente a las naves y la cubierta tres aguas que corresponde al ábside presenta una cornisa de tejeroz. Las cubiertas del pórtico y la sacristía cuentan en su desembocadura con un canalón metálico. Las cubiertas se han modelado unas por extrusión y otras por perímetro. Además, se vincularon los muros a las cubiertas (Imagen 117).

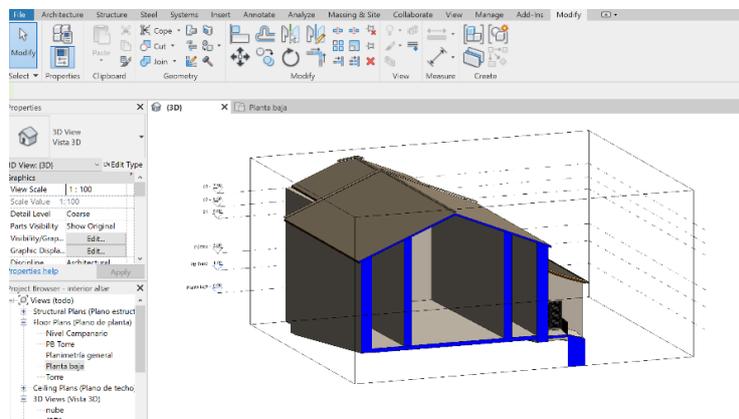


Imagen 117. Vinculación de muros a cubierta, Revit. Fuente: Elaboración propia

A fin de facilitar el modelado, se simplifica la cornisa de tejeroz (Imagen 118) por un barrido en la parte superior del muro, tomando como perfil un cuarto de circunferencia. La teja descansa

sobre el borde de dicha cornisa a escuadra. Para solucionarlo en el modelado el alero de la cubierta se ha resuelto en chaflán.

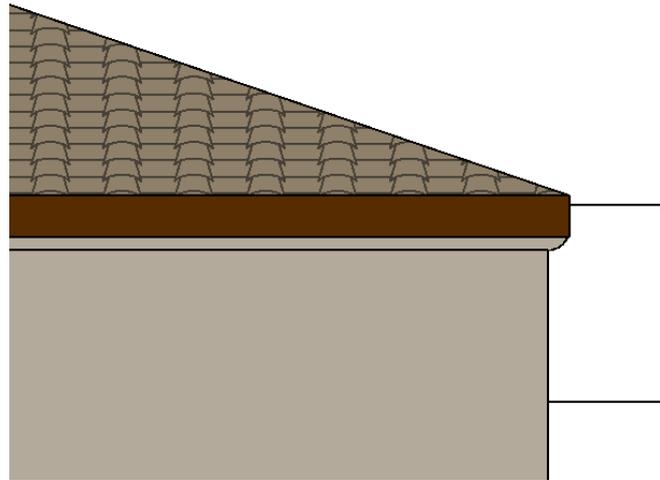


Imagen 118. Tejaroz de un cuarto de circunferencia. Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las secciones transversales la nube de puntos nos marca una inclinación de los pares y las vigas que no se corresponde con la inclinación de las cubiertas. (Imagen 119). Es de suponer que en reformas posteriores a la construcción de la cubierta general se optó por recrecer la coronación de los muros y buscar una nueva pendiente. La otra hipótesis llevaría a pensar en la existencia de un refreno que suavizase la pendiente de la cubierta y que se haya perdido en dichas reformas; manteniendo así la cota de cumbre y la cota del extremo del alero pero sin el quiebro en la pendiente.



Imagen 119. Diferencia de inclinación entre la estructura de madera y la cubierta. Fuente: Elaboración propia

En el interior de las naves, la solución adoptada para modelar los arcos (Imagen 120) se resuelve desde su línea de imposta hacia abajo como familia columna y hacia arriba como muro.

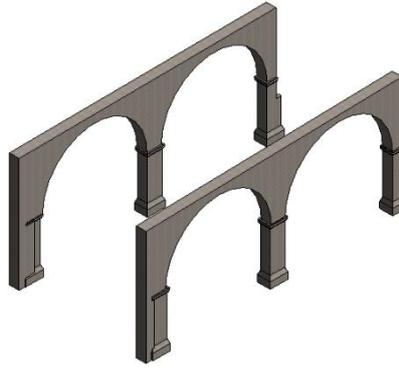


Imagen 120. Imposta, columna y arcos de granito. Fuente: Elaboración propia

A los componentes construidos en granito se le ha otorgado la información relativa al material, como la textura y los aspectos físicos y técnicos (Imagen 121, Imagen 122, Imagen 123, Imagen 124).

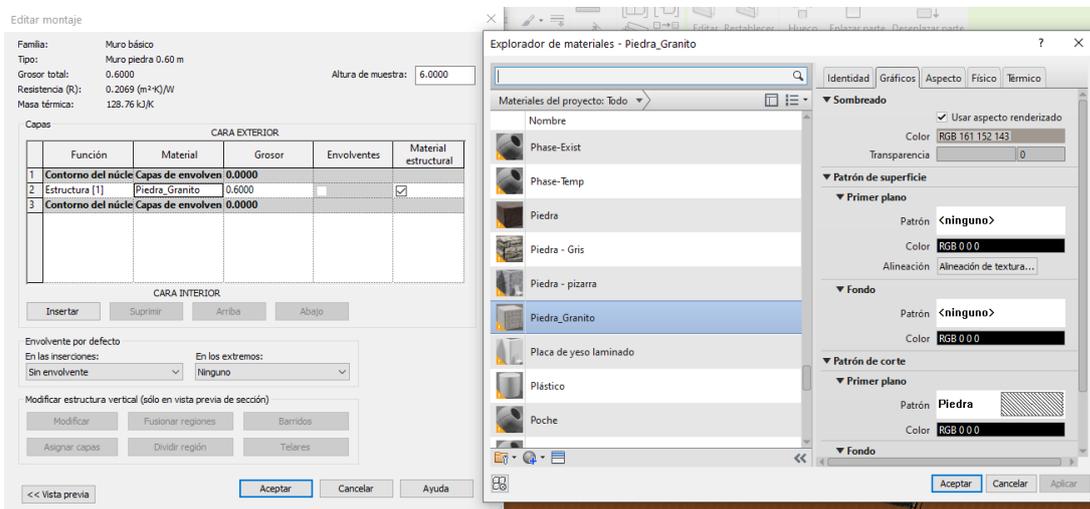


Imagen 121. Ventana de edición de familia. Modificación de parámetros. Fuente: Elaboración propia

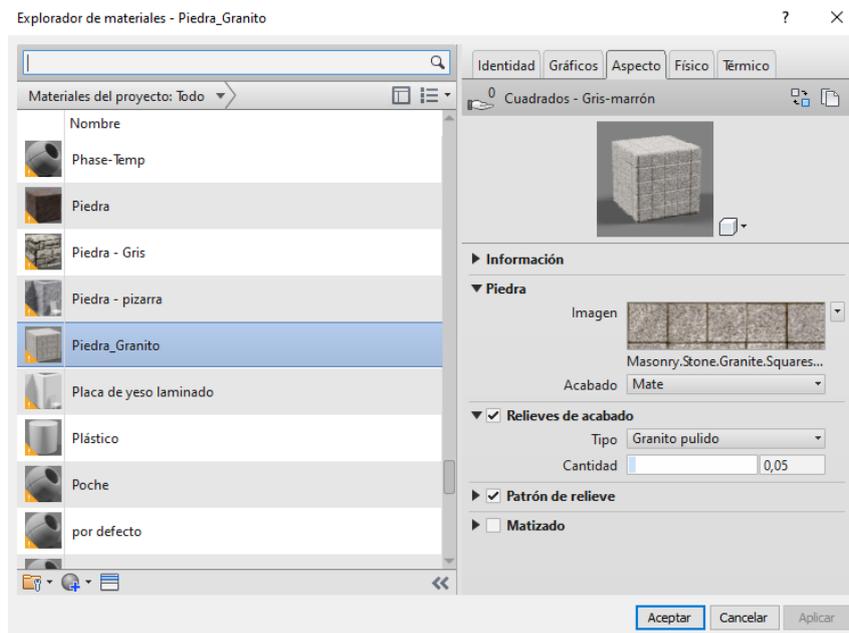


Imagen 122. Características del granito. Aspecto. Fuente: Elaboración propia

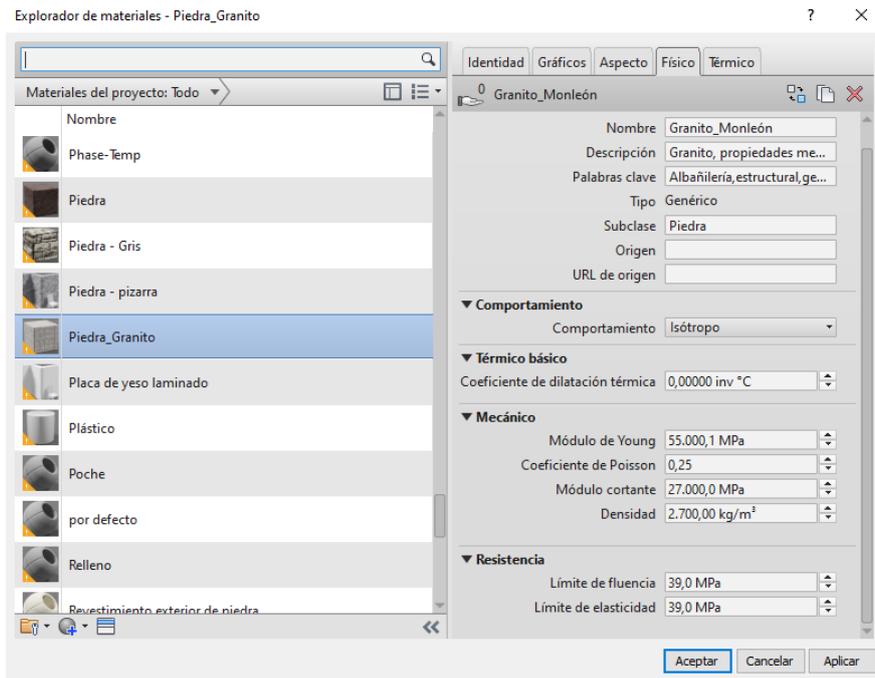


Imagen 123. Características físicas del granito. Fuente: Elaboración propia

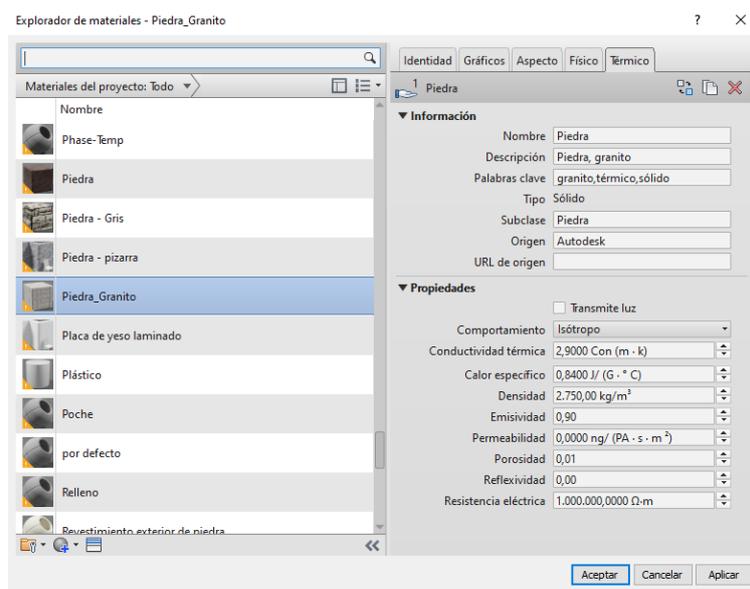


Imagen 124. Características térmicas del granito. Fuente: Elaboración propia

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presentación de resultados se realiza a través de varias plataformas web que permiten alojar las nubes de puntos y la maqueta virtual y modelos 3D; Sketchfab y Autodesk Viewer, respectivamente. Además, en el Anexo 1 se recogen los planos relativos a la maqueta virtual.

Sketchfab, en su versión gratuita, limita el tamaño máximo de archivos a alojar y, además, lo restringe a un archivo por mes. Por ello, se ha reducido la nube de puntos y, en consecuencia, su tamaño de 11.481.307 puntos con los que contaba la nube densa original a los 1.963.676

puntos de la nube de puntos filtrada con límite de 50MB. Sketchfab permite orbitar en torno a la nube de puntos a criterio del usuario. Una vez alojado en la web, el archivo permanecerá en ella salvo que el propio autor decida lo contrario.

Nube de puntos fusionada, filtrada: <https://skfb.ly/ooozx>



Imagen 125. Código Qr. Nube de puntos fusionada filtrada. Sketchfab. Fuente: Elaboración propia

Autodesk Viewer es más permisivo en tanto que no limita el número de subidas, aunque sí las restringe únicamente a usuarios del propio software. Existe una caducidad de 30 días en las que el modelo puede permanecer online, aunque el autor puede prolongarla durante los sucesivos 30 días de manera indefinida. En este visor se han alojado los modelos fotogramétricos texturizados y la maqueta virtual.

La ventaja de Autodesk Viewer, para las maquetas virtuales generadas en Revit, es que permite, además de orbitar, la posibilidad de realizar mediciones, descomposiciones explotadas de elementos y cajas de sección, entre otras, a criterio del usuario; permitiendo enfocar su objetivo donde radique su interés.

Modelado 3D: <https://autode.sk/2TJ1STW>



Imagen 126. Modelado 3D. Autodesk Viewer. Fuente: Elaboración propia

Modelo exterior texturizado: <https://autode.sk/2TQiFno>

Modelo interior campanario texturizado: <https://autode.sk/36d99xM>

Modelo interior iglesia texturizado: <https://autode.sk/3hCOZ5s>

Para valorar el comportamiento de la maqueta virtual en relación con la nube de puntos, se realiza una comparación entre el modelo 3D generado en Revit y la nube. Para ello, se calcula la desviación entre las caras positivas de las superficies del modelo realizados en Revit y su nube de puntos correspondiente, obteniendo como resultado, en una escala de colores, el valor promedio, que es la distancia promediada entre los puntos de la nube y la superficie. Ver Imagen 127, Imagen 128, Imagen 129, Imagen 130, Imagen 131 e Imagen 132.

Se puede apreciar que la mayor parte de la superficie está coloreada en verde, lo que indica desviaciones entre +5 y -5 cm, por lo que se puede considerar válido para el fin que estamos tratando.

En el exterior, las áreas coloreadas en rojo y azul corresponden, casi en su totalidad, a la desviación del modelado respecto a las deformaciones propias de las cubiertas.

En el interior, los sectores con mayor desviación se identifican con mobiliario y elementos decorativos no modelados, por no considerarse necesarios para los objetivos de este proyecto y con partes de la nube de puntos con presencia de ruido o vacíos por sombras.

Es destacable la presencia de una región coloreada en rojo, coincidente con la anexión de la cara este de la torre a la iglesia. Esta ala de la torre ha sido modelada continuando la verticalidad de la nube de puntos desde su parte superior hacia la inferior, dado que en la zona del coro existe una cortina, también de color rojo, que oculta dicha anexión. Por lo que esta amplia zona de desviación no responde a una diferencia constructiva del modelado respecto a la nube.



Imagen 127. Surface Analysis (I). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

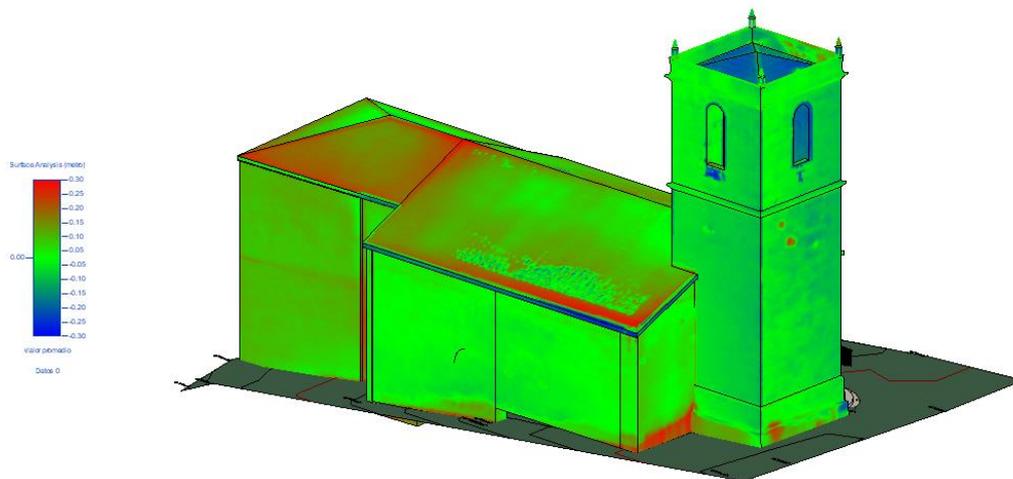


Imagen 128. Surface Analysis (II). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

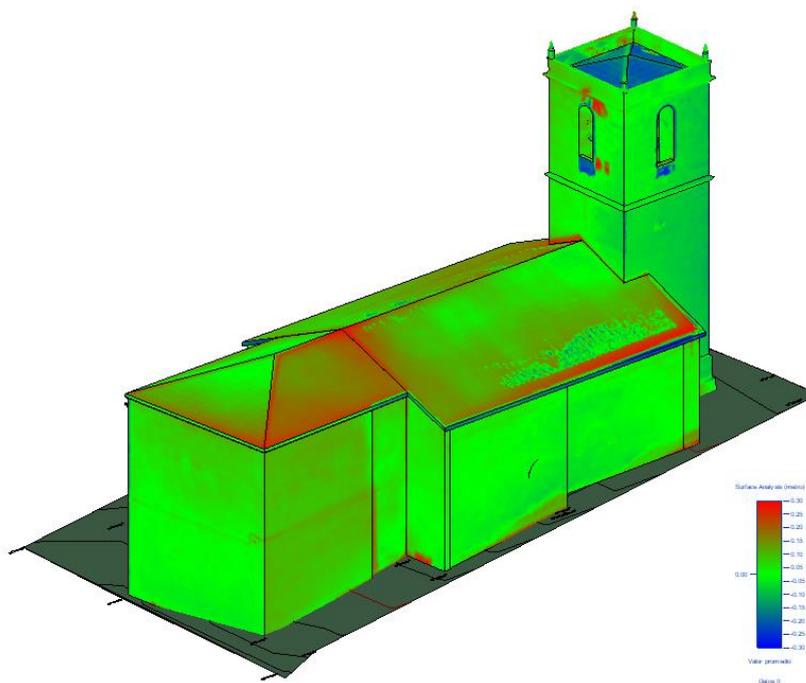


Imagen 129. Surface Analysis (III). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

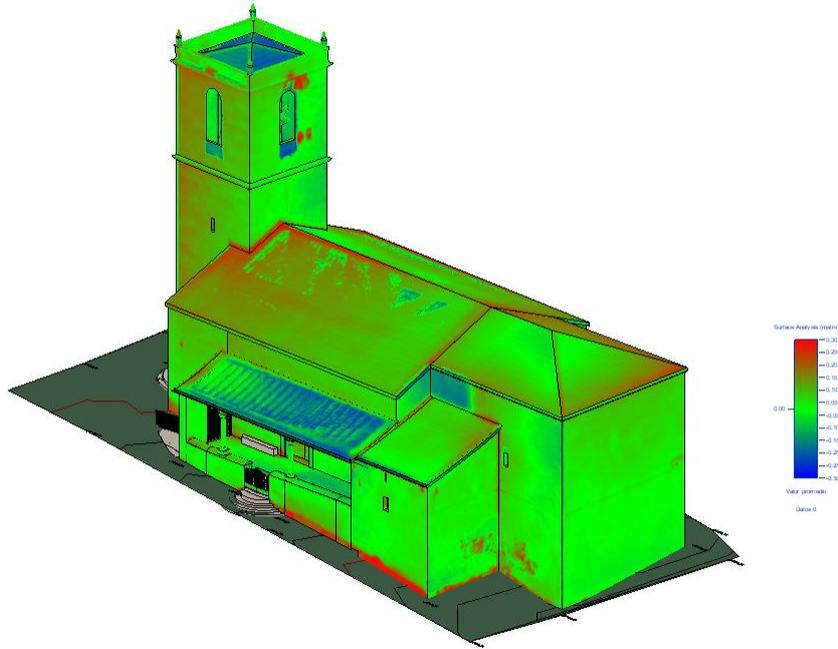


Imagen 130. Surface Analysis (IV). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

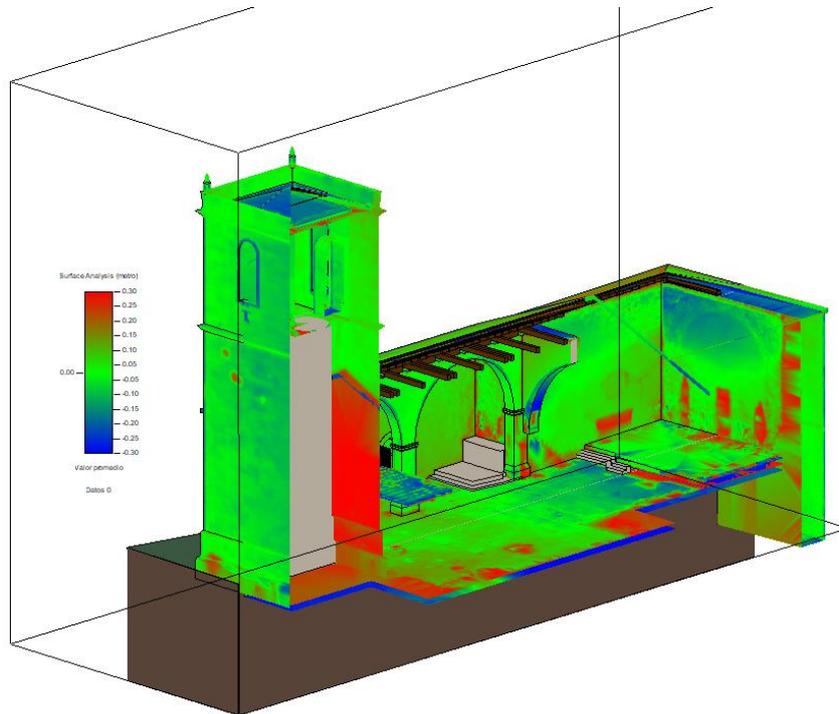


Imagen 131. Surface Analysis (V). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

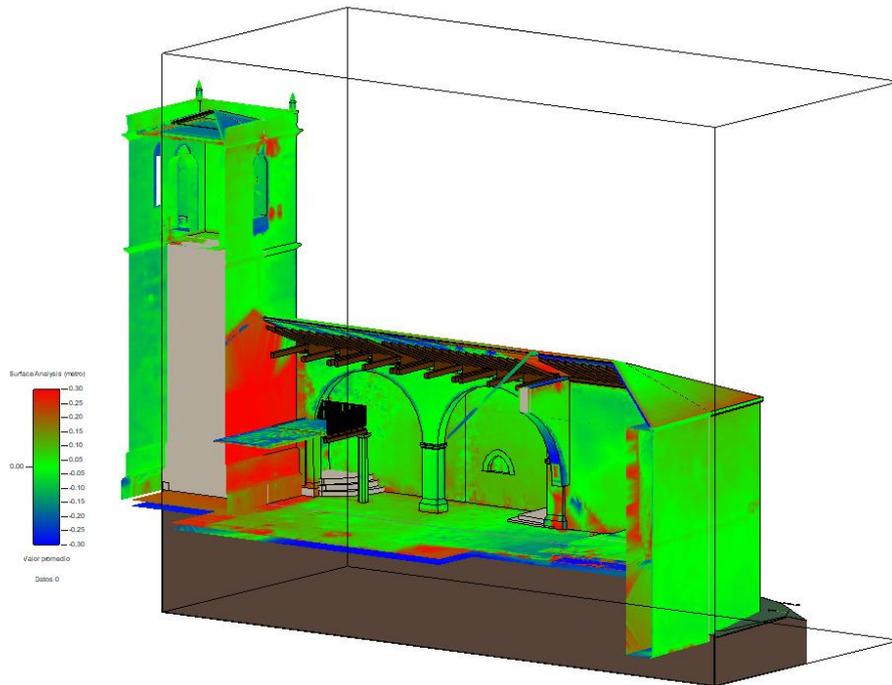


Imagen 132. Surface Analysis (VI). Relación entre la maqueta virtual y la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia

7. CONCLUSIONES

La realización del Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Agricultura me ha ayudado a adquirir una serie de capacidades; como son el conocimiento, manejo y aplicación de diferentes herramientas y técnicas de representación y visión computacional, con el fin de aplicarlas al ámbito de la Ingeniería y Arquitectura.

El presente Trabajo de Fin de Máster se concibió con un claro objetivo principal: integrar productos geomáticos en sistemas de modelado 3D, con el fin de elaborar modelos tridimensionales que permitan documentar y estudiar un proyecto arquitectónico, a través de los datos obtenidos mediante un estudio fotogramétrico. Concretamente, aplicado al estudio de la Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de la Asunción sita en Monleón, un pequeño municipio de la provincia de Salamanca.

Es un primer paso para abordar situaciones tan importantes como la documentación, catalogación, prevención, conservación e intervención en el Patrimonio edificado, con la finalidad de preservar el conocimiento.

Respecto a los objetivos específicos:

- Se ha conseguido documentar fotogramétricamente el bien objeto de estudio mediante técnicas terrestres y aéreas.

En el desarrollo del trabajo de campo se aplicó la fotogrametría de corto alcance como una técnica de recopilación de información geométrica, posición, tamaño y forma,. En este caso, sin el apoyo de un vehículo aéreo no tripulado con una cámara fotográfica integrada, no hubiese

resultado posible la obtención de unos resultados completos, dada la complejidad de la trama urbana en la que se encuentra la Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción. Se considera innegable la necesidad de complementación y compenetración de la fotogrametría aérea junto a la terrestre para este tipo de casos.

- Con respecto a la obtención de nubes de puntos correspondientes a los estudios fotogramétricos, los resultados obtenidos han logrado nubes de puntos completas, densas y compactas del exterior e interior de la iglesia y del interior del campanario de la torre.
- Ha sido posible el filtrado de las nubes de puntos, eliminando puntos redundantes, sombras y ruido. Además, se ha alcanzado la fusión de las tres nubes de puntos en el mismo sistema de referencia.
- Se ha conseguido generar diferentes modelos 3D mallados y texturizados a partir de las diferentes nubes de puntos, como son los modelos exterior e interior de la iglesia y el modelo del interior del campanario de la torre.
- Asimismo, a partir de las nubes de puntos se ha modelado una maqueta virtual mediante un software paramétrico (HBIM) que posibilita obtener planos de planta, alzados, secciones e infografías. Incluso se ha dotado de la “I” de BIM a algunos de los componentes de la maqueta.

El esquema del flujo de trabajo desarrollado demuestra ser válido para conseguir una aproximación a la metodología BIM aplicada a edificios históricos.

El modelado HBIM ha resultado ser la parte más ardua del proyecto. Trabajar con BIM supone apoyarse en objetos paramétricos simples, hablando de proyectos de nueva creación, para conseguir el 3D; mientras que trabajar con HBIM implica generar un modelo 3D mediante elementos genéricos a partir del que se segmentará la información necesaria para concluir creando elementos paramétricos específicos y concretos. Es decir, en situaciones HBIM se lleva a cabo un proceso up-down, mientras que en BIM el proceso resulta down-up (Saygi & Remondino, 2013).

Una de las conclusiones más evidentes a la hora de trabajar con HBIM es la necesidad de partir de una nube de puntos bien documentada. Además, que la nube de puntos cuente con la información cromática correspondiente, facilitaría la distinción de los elementos constructivos a la hora de crear los elementos paramétricos.

Desde mi punto de vista, debería existir una biblioteca de recursos tan infinita como cada solución constructiva diseñada por y para cada situación concreta a lo largo de la evolución de las técnicas constructivas, dado que proporcionaría mayor rapidez al proceso de modelado.

Tanto es así que, para los estilos y soluciones constructivas particulares, propias y no documentadas conseguir la creación de elementos paramétricos es un trabajo que supone un gran reto.

- Se ha elaborado, a raíz de los apartados 4.4 Antecedentes Históricos, 4.5 Estudio tipológico, 4.6 Descripción formal y 4.8 Estudio constructivo, recogidos en este TFM, una aproximación en relación a una posible evolución histórica del edificio.

Se aborda la 4D, factor tiempo, en lo que a HBIM se refiere, generando una simulación de fases de proyecto.

A partir de la documentación recogida y las costuras de la propia iglesia se pueden determinar diferentes fases constructivas. Las más significativas son la anexión de la torre por parte de la nave central, la ampliación de la misma materializada en su ábside y el arco ojival y la ampliación de las naves, como se aprecia en las costuras verticales desde el alzado oeste. Posteriormente, se construye la sacristía, sobre la que se apoya un pórtico que cubre la cara exterior de la nave lateral sur. En actuaciones recientes, este pórtico retrocede para facilitar un acceso en rampa, dejando ver restos de esgrafiados y la cicatriz que dejó en forma de roza.

El modo de acometer la evolución cronológica del bien se trabajó diferenciando los muros, como muros independientes, aunque estuviesen en el mismo plano o formando parte de la misma solución constructiva. Por falta de tiempo no se pudo completar este apartado mediante "el filtro de fases constructivas" que proporciona Revit, con el cual se pueden catalogar los filtros como nuevo, existente o temporal para establecer un proceso constructivo por fases.

- Por último, se ha logrado la difusión de los resultados a través de los visores online Sketchfab y Autodesk Viewer.

Tras alcanzar los objetivos específicos se puede afirmar que se ha logrado la materialización del objetivo principal. Además, la validación de los resultados confiere fiabilidad a los métodos y técnicas empleadas.

8. TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros en los que la morfología interior del bien a documentar, tanto en planta como en sección, sea más compleja, se puede valorar la posibilidad de utilización de un Sistema de Mapeado Móvil (MMS) que cuente con sensores de posicionamiento y Lidar, como un Backpack Wearable Mobile Mapping (BWMN).

Se podrá evaluar si el coste económico de esta técnica se compensaría con la rapidez de escaneado, así como con la obtención de una nube de puntos más precisa que la que se obtiene con la fotogrametría "low cost". Esta solución pasará por contar con un equipo integrado en una mochila que cuenta con la tecnología óptima en captura automatizada y masiva de datos, escaneando y mapeando la zona junto al movimiento del portador de la mochila. Así mismo, se podría cuantificar la ventaja de utilizar una tablet o dispositivo móvil que sea capaz de visualizar en tiempo real la generación de la nube de puntos.

En el ámbito del modelado HBIM, algunas líneas de investigación podrían tratar sobre la segmentación automática de las nubes de puntos y la consecución de una biblioteca, adaptada a cada estilo arquitectónico de los edificios históricos, con el objeto de que se pueda aplicar en dicha segmentación.

En la Imagen 133 se puede apreciar un plano de ubicación de diferentes localidades de la Sierra de Francia y su posición con respecto a Monleón. En este afán por la Conservación del

Patrimonio, se propone para trabajos futuros aplicados a casos prácticos, la Documentación Gráfica de la arquitectura eclesiástica de la Sierra de Francia.

Con este análisis a mayor escala, se pretende conseguir comprender la evolución de la sociedad en esta comarca, sus medios, formas de vida y la conexión entre ellos, desde la *Repoblación de la Extremadura Leonesa* en adelante.

La finalidad de un proyecto de tal envergadura podría concluir con la creación de una ruta turístico-histórica y, además, supondría un aliciente turístico de cara a combatir el éxodo rural, que asola el sur de la provincia de Salamanca; siempre de la mano de las Administraciones implicadas, así como contando con la colaboración de sus gentes.

Se pretendería acercar, desde una visión y un enfoque diferente, edificios de varios siglos de vida a los habitantes de la comarca de la Sierra de Francia y al grueso de la población.

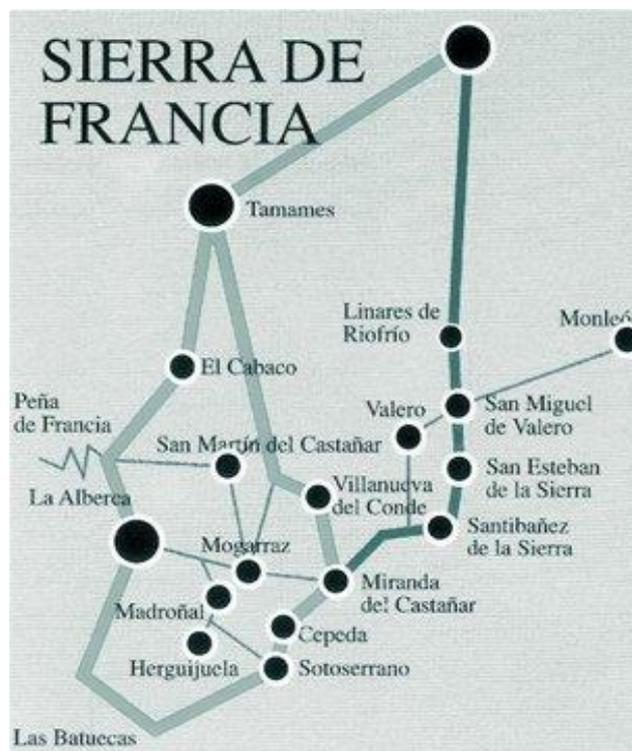


Imagen 133. Mapa de la Sierra de Francia. Fuente: Casa en Aldeatejada, 2021

Hemos de ser conscientes de la necesidad e importancia que tiene cuidar nuestra Historia.

9. REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agisoft Metashape. (2021). <https://www.agisoft.com/>
- Agisoft Metashape User Manual—Professional Edition. (2019). 145.
- AIA E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit. (2008). AIA (*Instituto Americano de Arquitectos*).
- Alfaraz López, D. (2020). *Condiciones y patrón de vuelo*.
- Almagro Gorbea, A. (2004). *Levantamiento arquitectónico*. Universidad de Granada.
- Asjana Robles, J. F. (2018). *Desarrollo de un protocolo para el modelado de estructuras con Historic Building Information Modelling (HBIM)*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Autodesk. (2021). *Autodesk empowers innovators everywhere to make the new possible*. <https://www.autodesk.com/>
- Benavides López, J. A. (2017). *Nuevas tecnologías aplicadas a la documentación gráfica del patrimonio*. Universidad de Granada.
- Bonneval, H. (1972). *Photogrammétrie générale: Enregistrement photographique des gerbes perspectives* (Vol. 1). Eyrolles.
- Bosch. (2021). *GLM 80 Medidor láser de distancias* [Bosch Professional]. <https://www.bosch-professional.com/es/es/products/glm-80-0601072300>
- Burggraaf, C., & Sánchez de las Matas y Arboix, I. (1993). *Proyecto de delimitación de suelo urbano de: Monleón*. Diputación de Salamanca. <http://www.jcyl.es/plaupdf//37/37197/277911/sa259txt.PDF>
- Casa en Aldeatejada. (2021). <http://www.casadealdeatejada.com/rutas>
- Casaseca, A. C., Ramón, J., & González, N. (1982). *Libro de los lugares y aldeas del Obispado de Salamanca (manuscrito 1604-1629)*. Universidad de Salamanca.
- CIPA. (1988). *Fotogrametría y representación de la arquitectura*. De Comité Nacional Español del ICOMOS. Comité Internacional de fotogrametría arquitectónica CIPA. X Symposium Internacional. <https://www.iberlibro.com/Fotogrametr%C3%ADa-representaci%C3%B3n-arquitectura-Comit%C3%A9-Nacional-Espa%C3%B1ol/15211044232/bd>
- Cloudcompare. (2021). *CloudCompare—Open Source project*. <https://www.danielgm.net/cc/>
- Consejo de Europa. (1985). *Convención para la salvaguardia del patrimonio arquitectónico de Europa*. Convención de Granada. <https://ipce.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:73f8d55e-17db-4676-9d80-962fb58eb3b7/1985-convencion-granada.pdf>
- de Amsterdam, C. (1975). *Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico (26 de septiembre de 1975)*. ipce.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:3105dc7a-8c2e-409d-94b5-b731fc21a8e2/1975-declaracion-amsterdam.pdf
- De Atenas, C. (1931). *Conservación de monumentos de Arte e Historia*. Conferencia Internacional de Atenas, Grecia. <https://ipce.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:40dcc432-525e-43a7-ac7a-f86791e2f5e6/1931-carta-atenas.pdf>
- De Cracovia, C. (2000). *Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido*. In Preámbulo. La Carta de Cracovia fue elaborada por los participantes de la conferencia

- internacional. Cracovia. <https://ipce.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:b3b6503d-cf75-4cb0-adaf-226740ebd654/2000-carta-cracovia.pdf>
- De España, G. (2021). *Portada | Comisión Interministerial BIM*. <https://cbim.mitma.es/>
- De Venecia, C. (1964). *Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios*. Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de monumentos históricos. https://www.icomos.org/charters/venice_sp.pdf
- Del Restauo, C. (1932). *1932-carta-restauo-roma.pdf*. <https://ipce.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:f44dc6ee-8eef-4bae-9f08-de93c5be36e8/1932-carta-restauo-roma.pdf>
- Dolcestone, C. (2021). *CUARCITA*. <http://www.dolcestone.com/cuarcita/>
- Dolcestone, G. (2021). *Granito*. <http://www.dolcestone.com/productos/>
- Dolcestone, P. (2021). *PIZARRA*. <http://www.dolcestone.com/pizarra/>
- Enciclopedia de los pueblos de Salamanca. (1997). En *Sierra de Francia* (Vol. 1).
- Entresieras, R. D. (2015). Entresieras. Revista Digital. *Entresieras Revista Digital (Cuaderno de Entresieras)*. <http://www.salamancaentresieras.com/2011/11/las-murallas-de-monleon-y-la-cabra-de.html>
- García García, B. (2015). *Nuevas tecnologías en la documentación gráfica del patrimonio religioso*. Escuela Politécnica Superior de Zamora. USAL.
- García-Gago, J., González-Aguilera, D., Gómez-Lahoz, J., & San José-Alonso, J. (2014). A Photogrammetric and Computer Vision-Based Approach for Automated 3D Architectural Modeling and Its Typological Analysis. *Remote Sensing*, 6(6), 5671-5691. <https://doi.org/10.3390/rs6065671>
- García-Valldecabres, J., Pellicer, E., & Jordan Palomar, I. (2016). *BIM Scientific Literature Review for Existing Buildings and a Theoretical Method: Proposal for Heritage Data Management Using HBIM*. Conference: Construction Research Congress. <https://doi.org/10.1061/9780784479827.222>
- Ghaffarianhoseini, A., Demasiado, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2016). *Adopción del modelado de información de construcción (BIM): Beneficios claros, comprensión de su implementación, riesgos y desafíos*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308413>
- Gobierno de España. (1985). *Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español*. <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16>
- Gómez-Moreno, M. (1927). *Catálogo monumental. Provincia de Salamanca.: Vol. II* (Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes).
- González Aguilera, D. (2018). *Procesamiento avanzado de imágenes*. Máster Universitario en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura por la U. de Salamanca. <https://www.usal.es/master-geotecnologias-cartograficas-en-ingenieria-y-arquitectura>
- González-Varas, I. (2018). *Conservación del patrimonio cultural. Teoría, historia, principios y normas*. Arte Cátedra.
- Guía de usuarios BIM. BIM aplicado al Patrimonio Cultural. (2018). *Building SMART Spain Chapter, Documento 14*. <https://www.researchgate.net/publication/330183791>
- Kochi, N., Kitamura, K., Sasaki, T., & Kaneko, S. (2012). 3D Modelling of architecture by edge matching and integrating the points clouds of laser scanner and those of digital camera. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*

- Information Sciences*, XXXIX-B5, 279-284. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-279-2012>
- Lesmes Fabián, C., & González Villamil, W. (2017). *Siete dimensiones de un proyecto de construcción con la metodología Building Information Modeling*. *Revista L'Esprit Ingenieur* 8 (1) 2017. 8, 2017.
- Llopis Llopis, S. (1986). *Historia de Monleón* (Diputación Provincial de Salamanca).
- Maderas Medina. (2021). Maderas Medina. <https://maderasmedina.com/productos-de-madera/>
- Madoz, P. (1984). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de Castilla-León: Salamanca* (Vol. 5). Ámbito.
- Manzini, L. (2011). El significado cultural del patrimonio. *Estudios del patrimonio cultural*, Nº 6. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ElSignificadoCulturalDelPatrimonio-3737646.pdf>
- Merchán, P., Salamanca, S., Merchán, M. J., Pérez, E., & Moreno, M. D. (2020). Pasado, presente y futuro de los HBIM (Heritage/historic building information models). *Actas de las XXXIX Jornadas de Automática, Badajoz, 5-7 de septiembre de 2018*, 1077-1084. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.1077>
- Muñoz García, M. Á. (2003). Arquitecturas en la Villa de Monleón: Análisis de los Procesos de Repoblación a partir de la Estratigrafía Muraria. *Arqueología de la Arquitectura*, 2, 219. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2003.50>
- Nikon. (2021). *D3000*. <https://www.nikon.com.mx/nikon-products/product-archive/dslr-cameras/d3000.html>
- Pérez Álvarez, J. A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III*. Universidad de Extremadura. <http://redgeomatica.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf>
- Pérez Arias, B. (2018). *Cámaras. Calidad y rendimiento en fotogrametría*. Máster Universitario en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura por la U. de Salamanca. <https://www.usal.es/master-geotecnologias-cartograficas-en-ingenieria-y-arquitectura>
- Phantom. (2021). *Phantom—Drones con cámara semiprofesionales—DJI*. DJI Official. <https://www.dji.com/es/products/phantom>
- Sánchez Sobrino, J. A. (2006). Introducción a la fotogrametría. *ETSI Caminos, Canales y Puertos*, 58.
- Saygi, G., & Remondino, F. (2013). Gestión de la información del patrimonio arquitectónico en BIM y GIS: Estado del arte y perspectivas futuras. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(4), 695-713. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.2.4.695>
- Sketchfab. (2021). *Sketchfab—The best 3D viewer on the web*. Sketchfab. <https://sketchfab.com>
- Valle Melón, J. M. (2006). *Documentación geométrica del patrimonio*. Universidad de La Rioja.
- Vicente Martín, P. (2017). *TFG. Planimetría, estudio constructivo y de patologías de la Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (Monleón, Salamanca)*. Escuela Politécnica Superior de Zamora.
- Wikipedia. (2021). Monleón. En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Monle%C3%B3n&oldid=132347184>

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Archivo Diocesano de Salamanca.

<https://archivoscastillayleon.jcyl.es/web/jcyl/ArchivosCastillaYLeon/es/Piantilla100Detalle/1253861401355/Institucion/1263825552430/DirectorioPadre>

Archivo Histórico Provincial de Salamanca.

<https://archivoscastillayleon.jcyl.es/web/jcyl/ArchivosCastillaYLeon/es/Piantilla100Detalle/1253861401355/Institucion/1255644173382/DirectorioPadre>

Archivo Municipal de Salamanca. (2020)

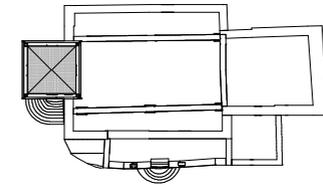
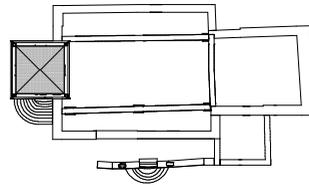
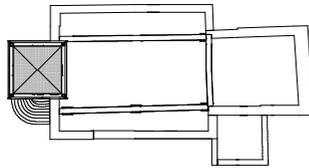
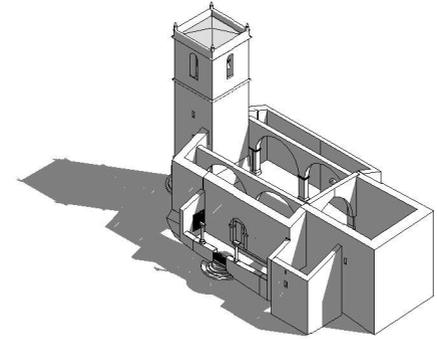
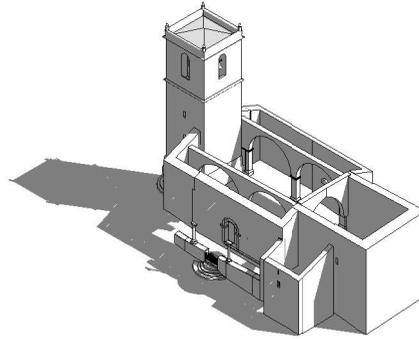
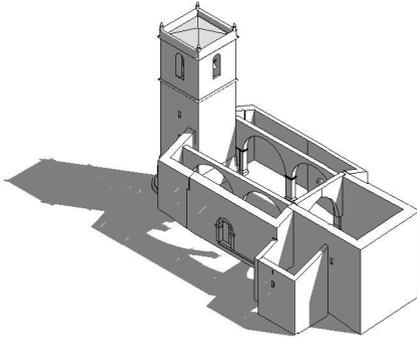
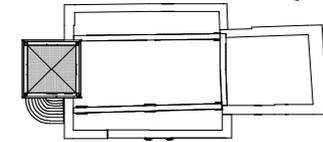
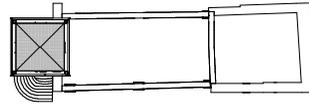
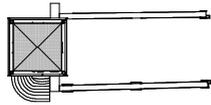
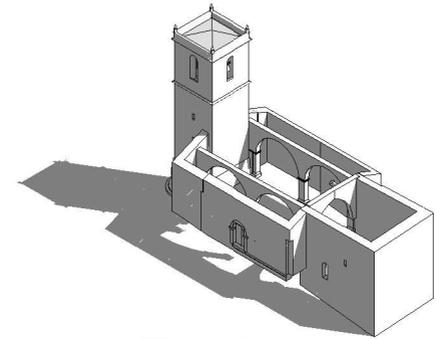
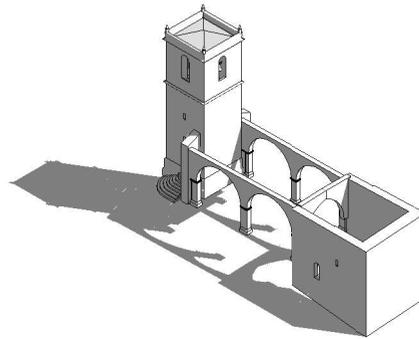
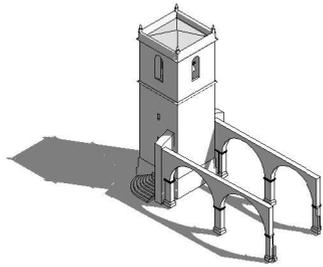
http://www.aytosalamanca.es/es/tuayuntamiento/directorio/edificio_0010

10. ANEXOS

ANEXO I: Documentación planimétrica e infografías

- 00_Cronología
- 01_Planta
- 02_Planta - Estructura
- 03_Alzado Sur
- 04_Alzado Sur - Nube
- 05_Alzado Este - Nube
- 06_Alzado Norte
- 07_Alzado Norte - Nube
- 08_Alzado Oeste - Nube
- 09_Sección A
- 10_Sección A - Nube
- 11_Sección A - Mix
- 12_Sección B - Nube
- 13_Sección B - Mix
- 14_Sección C
- 15_Sección c - Nube
- 16_Sección C - Mix
- 17_Sección D - Nube
- 18_Sección D - Mix
- 19_Infografías 3D (1/2)
- 20_Infografías 3D (2/2)
- 21_Infografías Secciones
- 22_Infografía Descomposición de Elementos
- 23_Detalle Estructura
- 24_Detalle Estructura Par y Nudillo (1/3)
- 25_Detalle Estructura Par y Nudillo (2/3)
- 26_Detalle Estructura Par y Nudillo (3/3)
- 27_Detalle Coro (1/2)
- 28_Detalle Coro (2/2)

ANEXO II: Informe de procesamiento – Agisoft Metashape



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

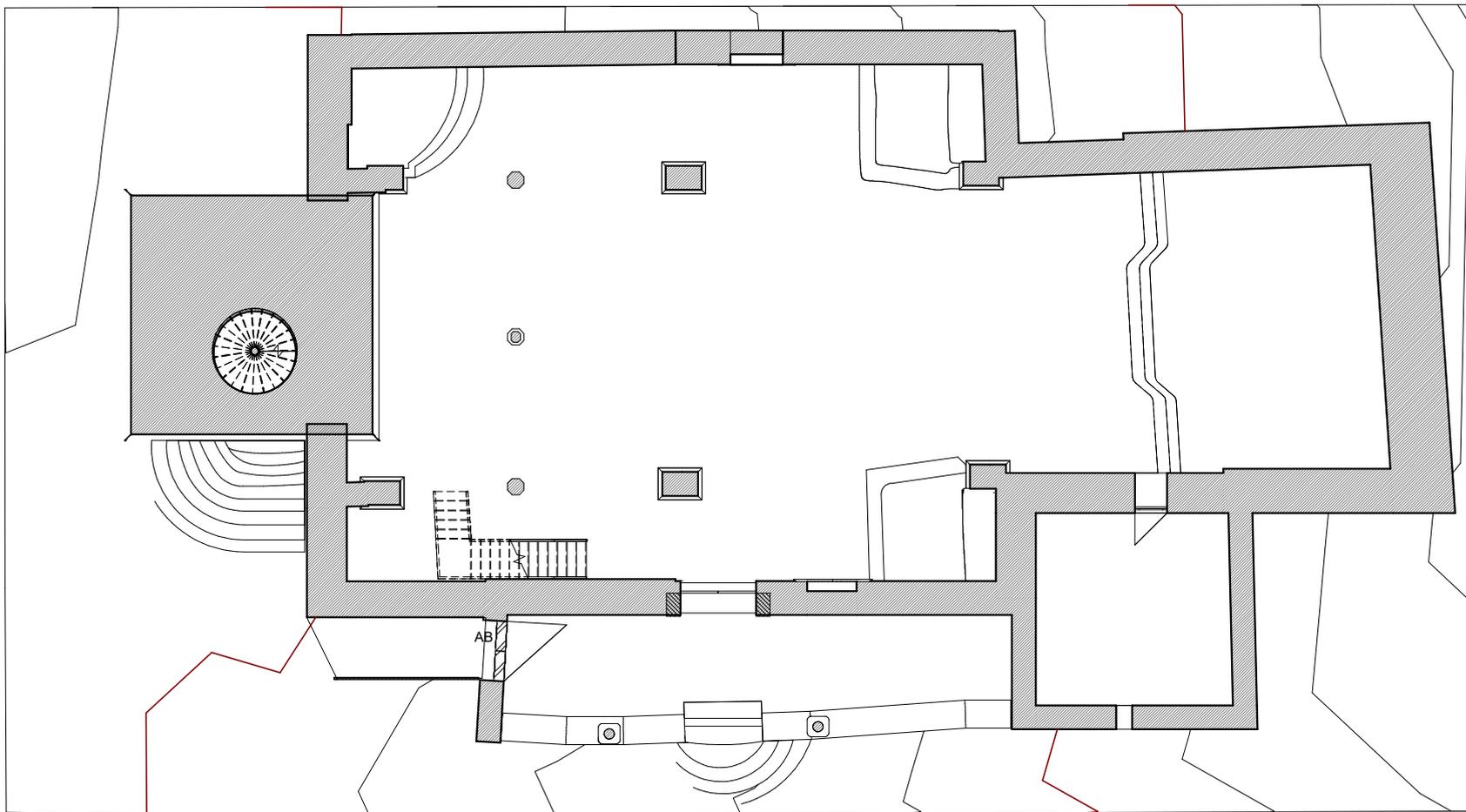


Cronología

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 00

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

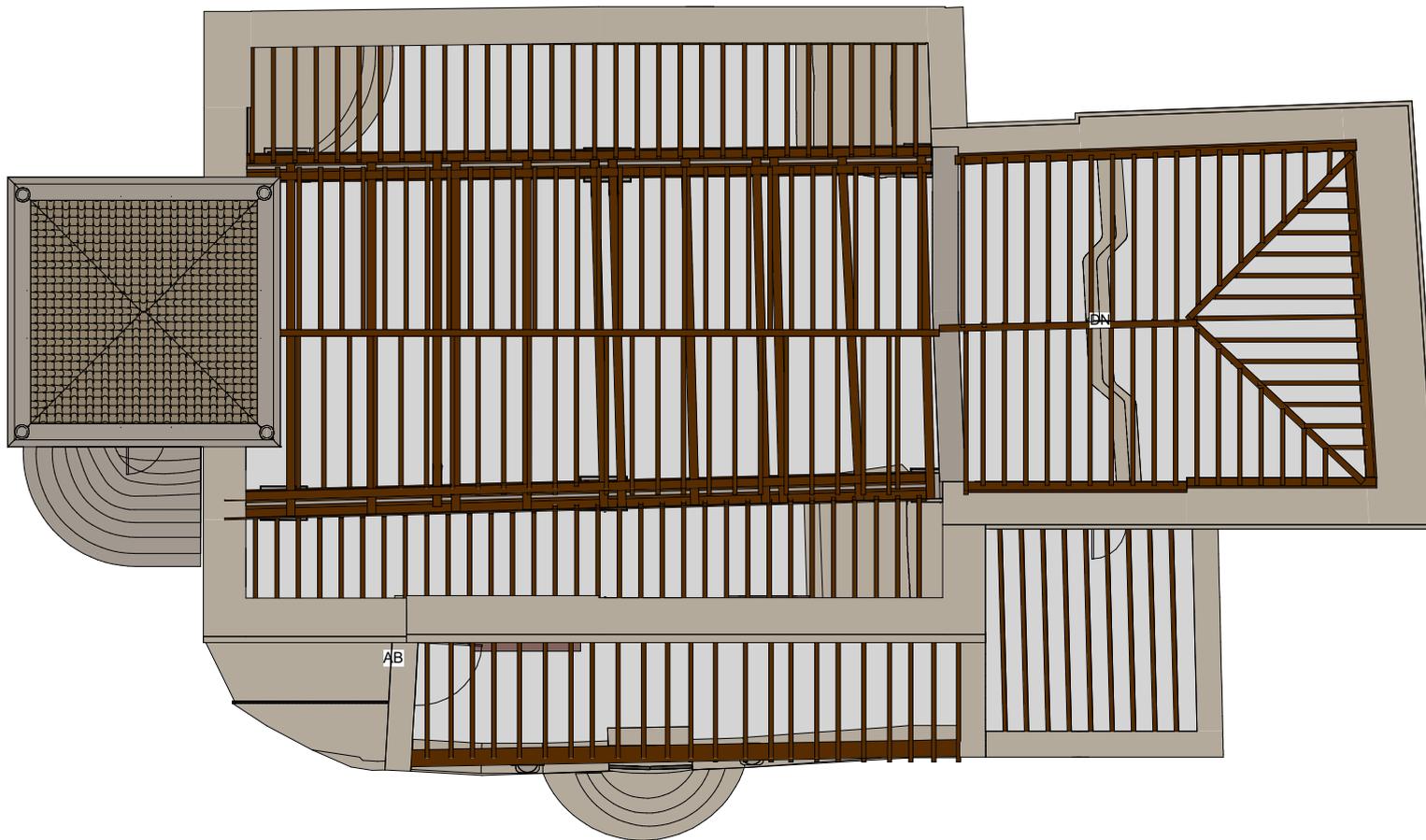


Planta

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 01

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Planta Estructura

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 02

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Alzado Sur

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 03

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

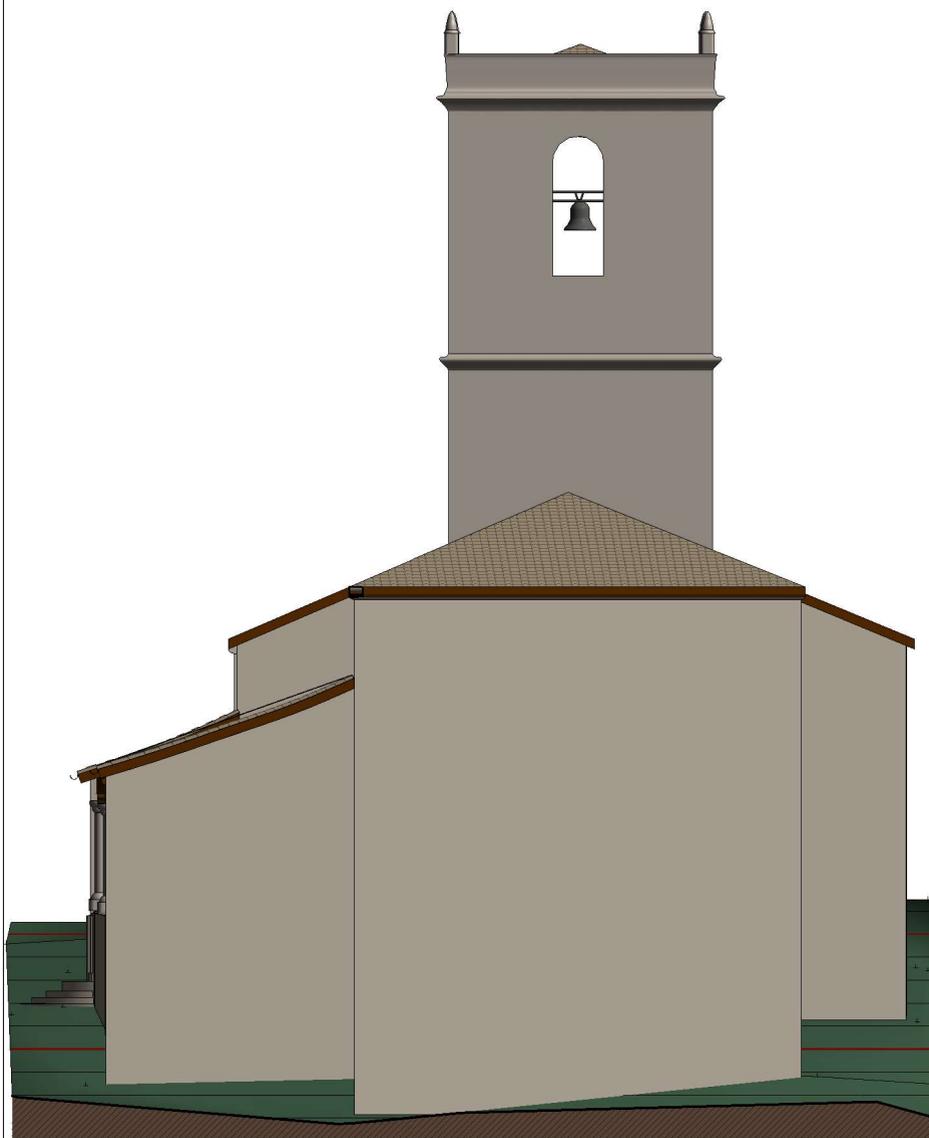


Alzado Sur Nube

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 04

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

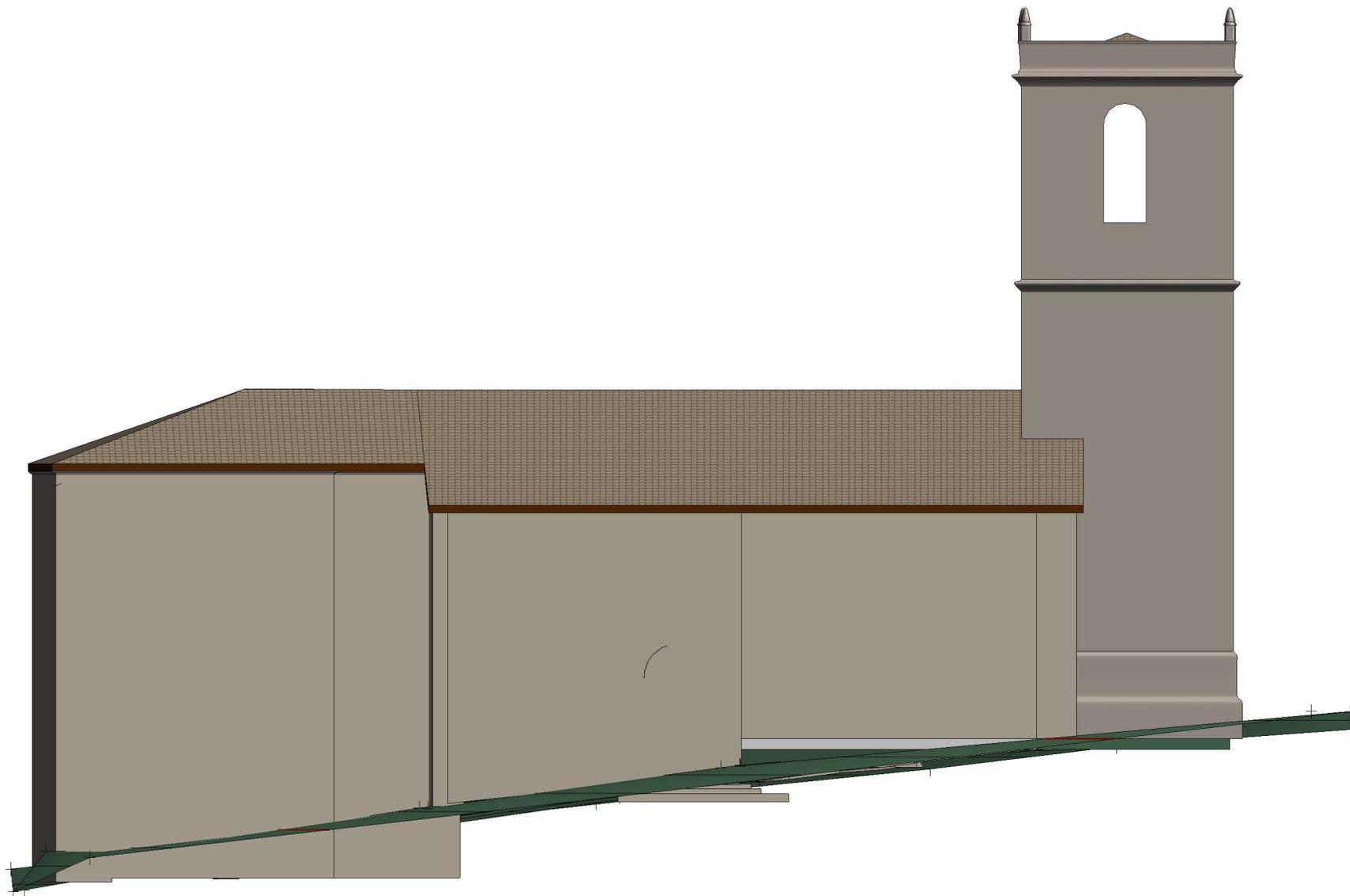


Alzado Este + Nube

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 05

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Alzado Norte

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 06

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

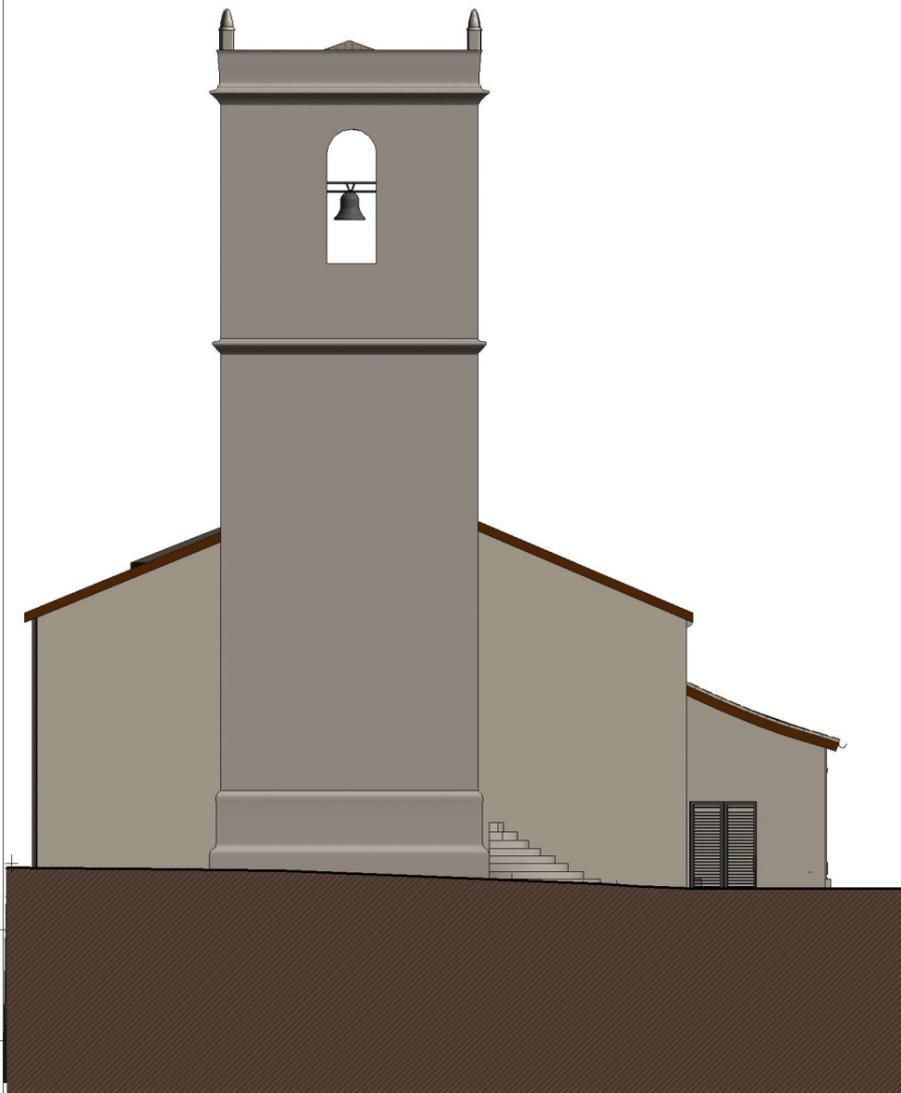


Alzado Norte Nube

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 07

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

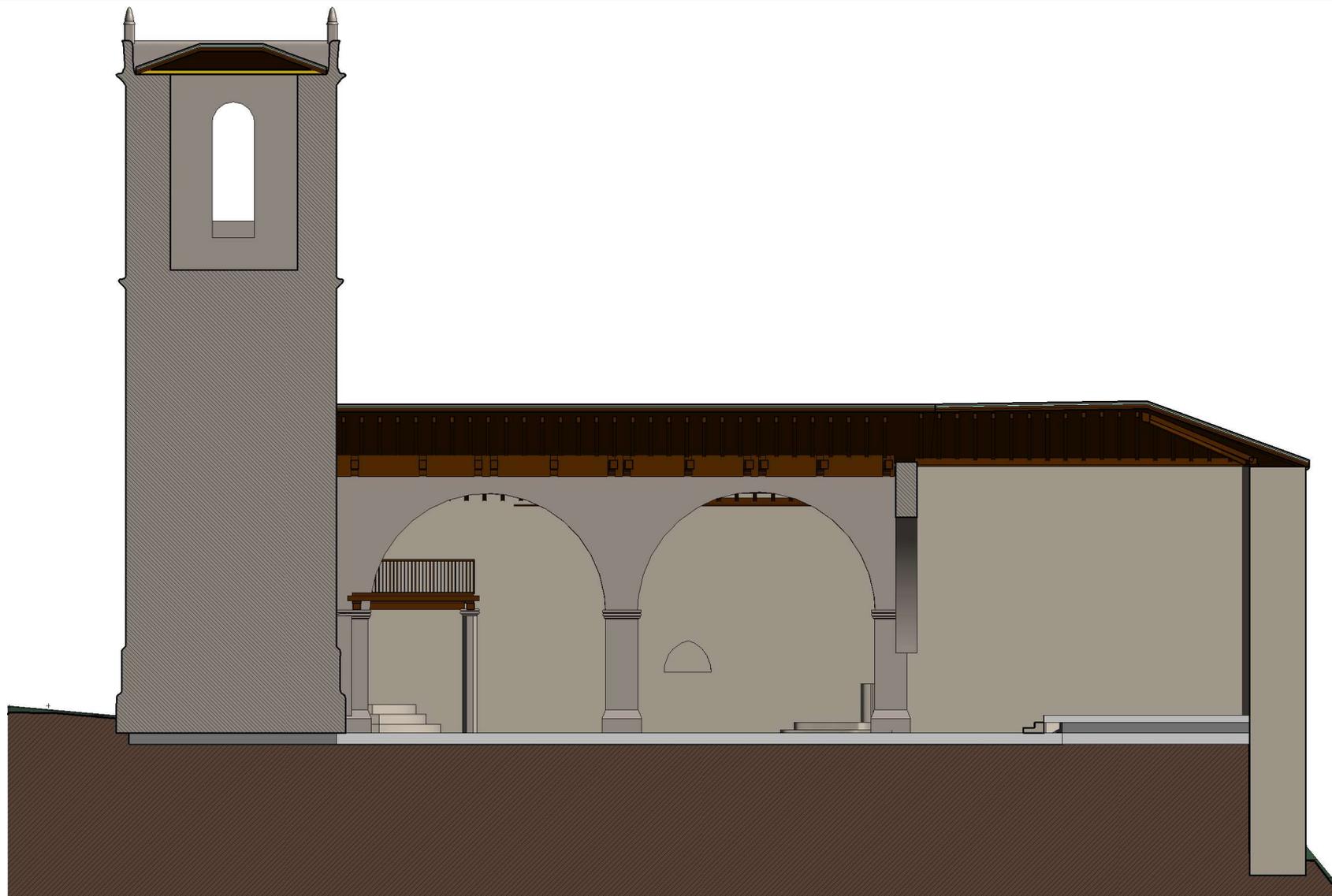


Alzado Oeste + Nube

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 08

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Sección A

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 09

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Sección A Nube

Autor: Pablo Vicente Martín
Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
Tutor: Jesús M. García Gago
Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 10

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

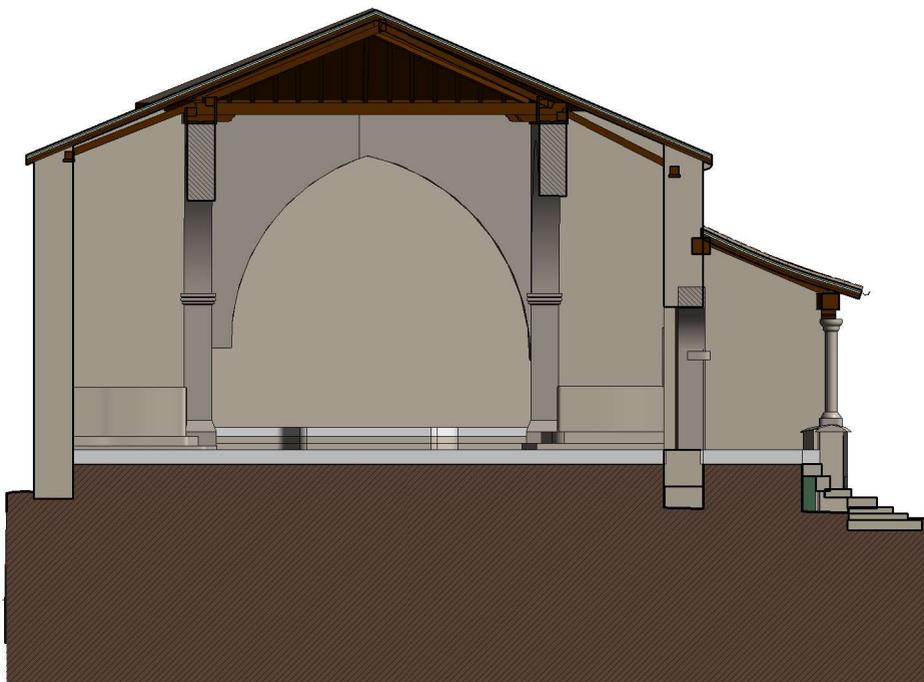


Sección A Mix

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 11

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Sección B + Nube

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 12

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

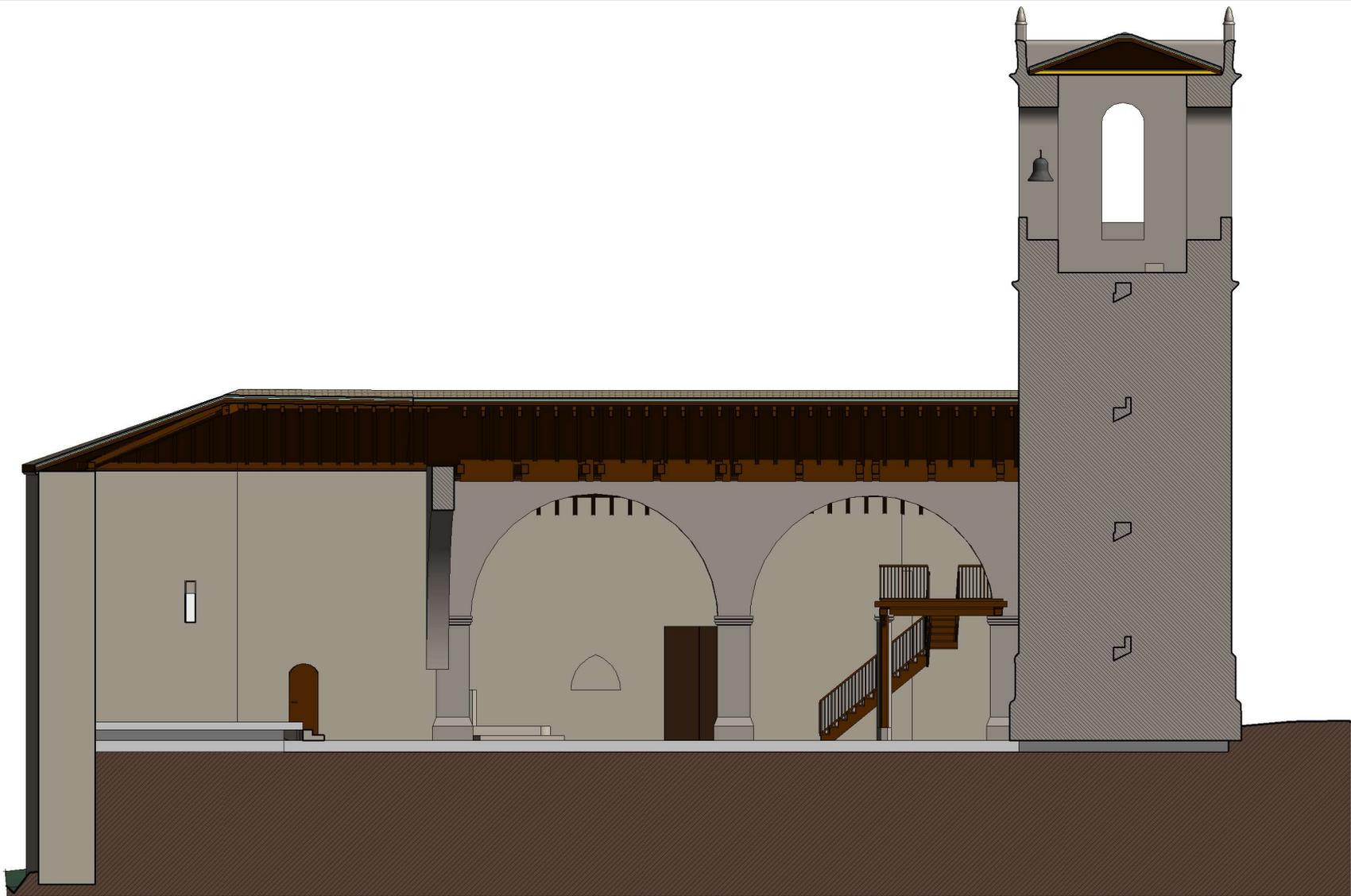


Sección B Mix

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 13

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Sección C

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 14

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

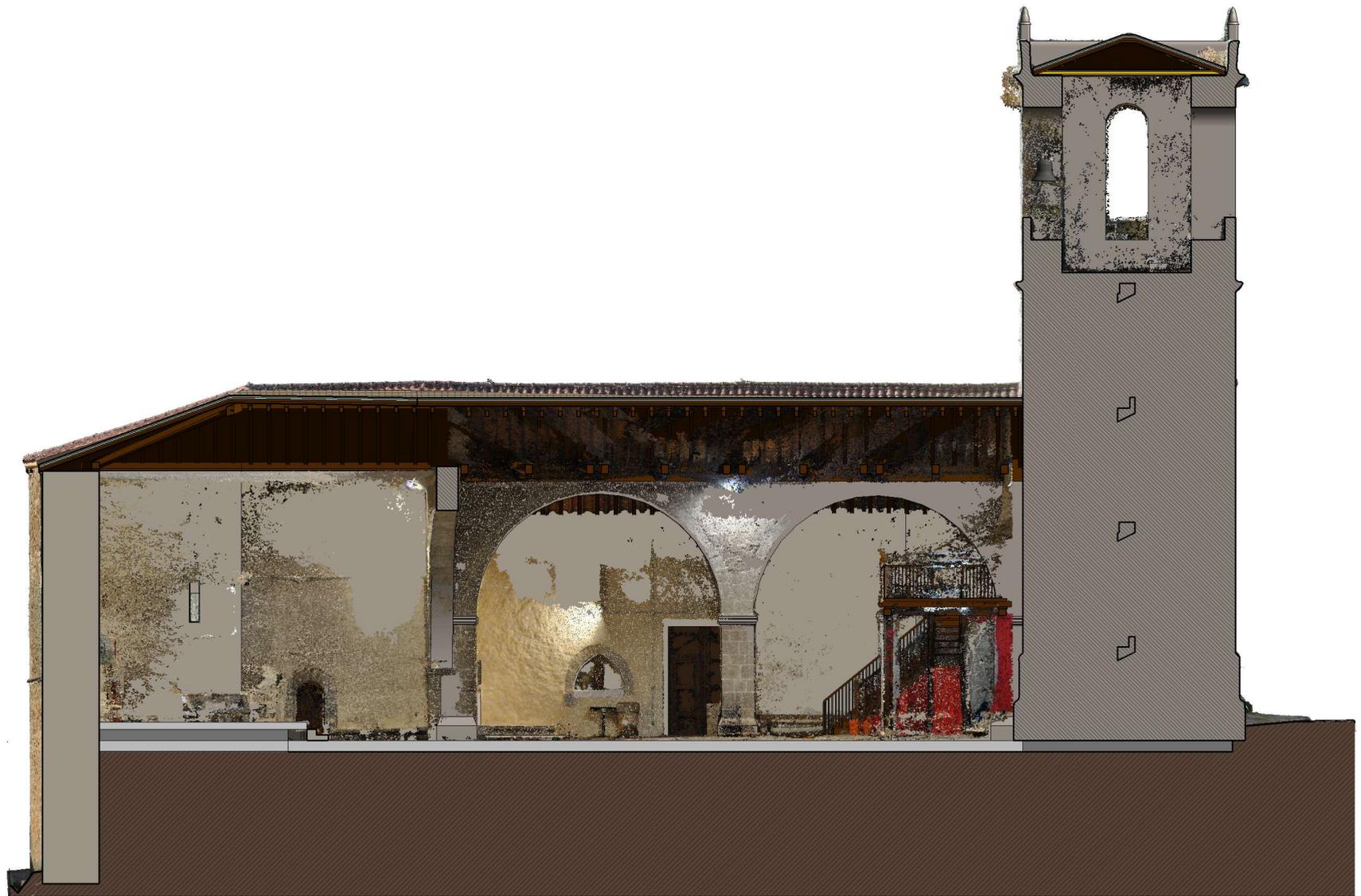


Sección C Nube

Autor: Pablo Vicente Martín
Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
Tutor: Jesús M. García Gago
Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 15

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Sección C Mix

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 16

Escala: 1 : 100



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
Campus de Ávila
CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Sección D + Nube

Autor: Pablo Vicente Martín
Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
Tutor: Jesús M. García Gago
Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 17

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

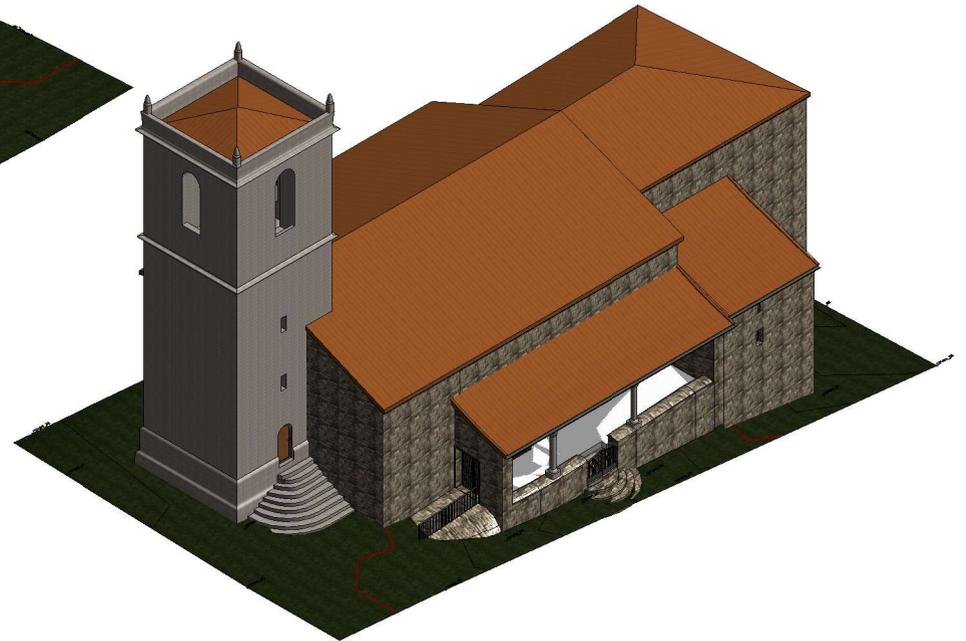
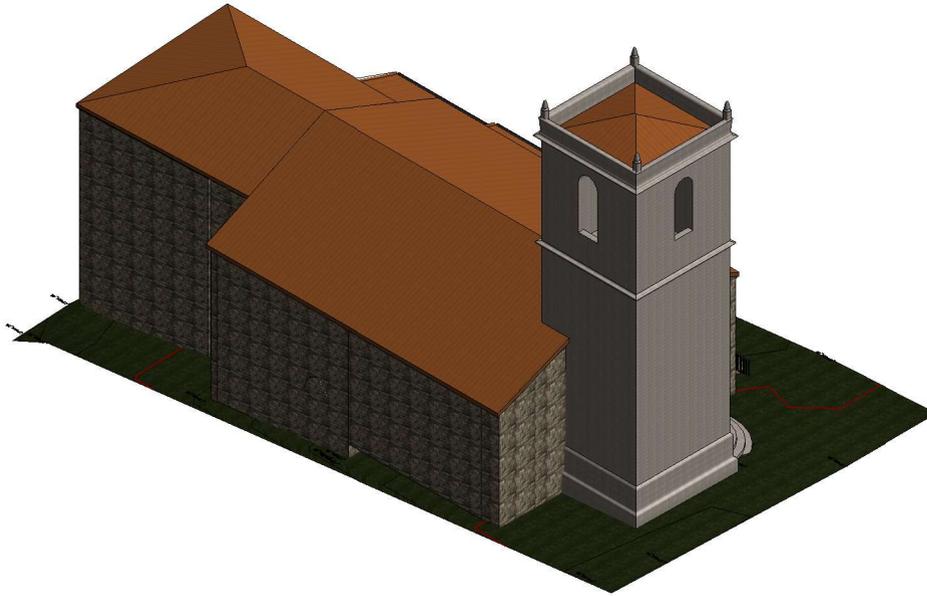


Sección D Mix

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 18

Escala: 1 : 100



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
MONLEÓN, SALAMANCA.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

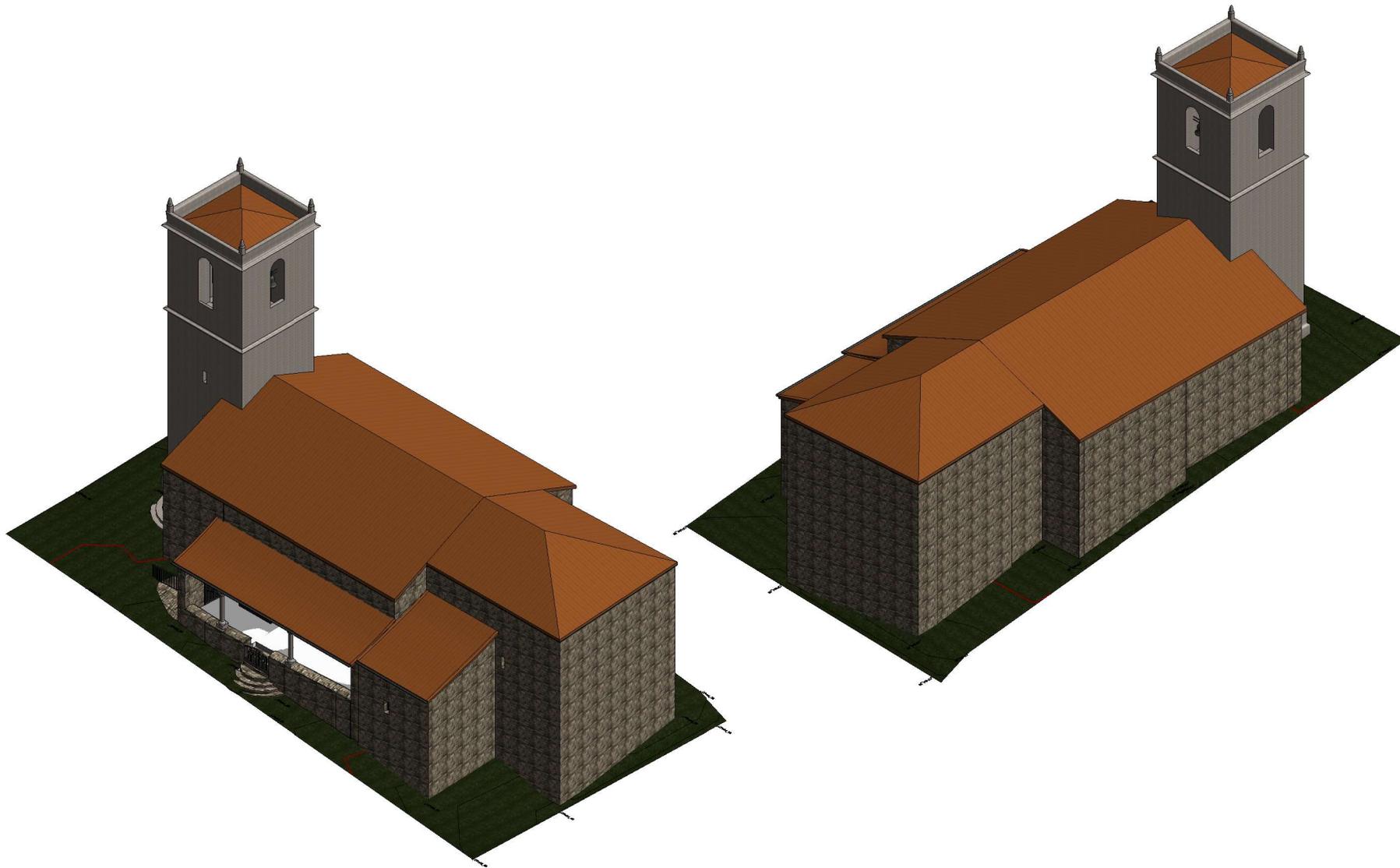


Infografías 3D (1/2)

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 19

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

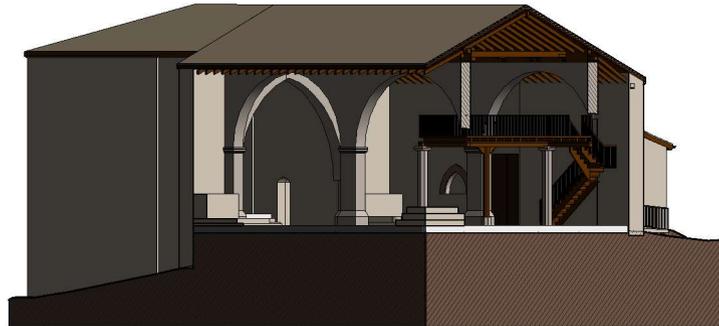


Infografías 3D (2/2)

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 20

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

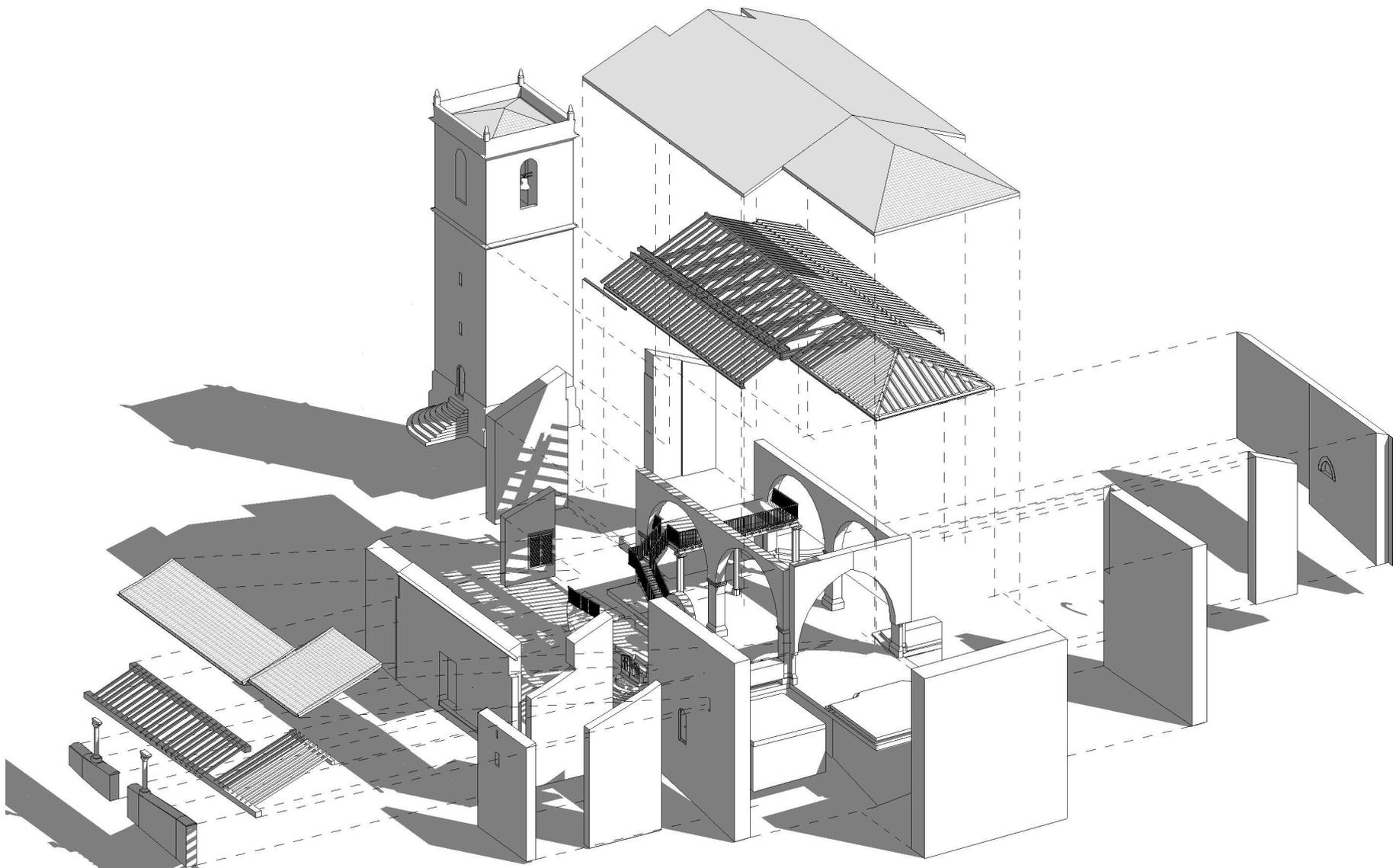


Infografías Secciones

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 21

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

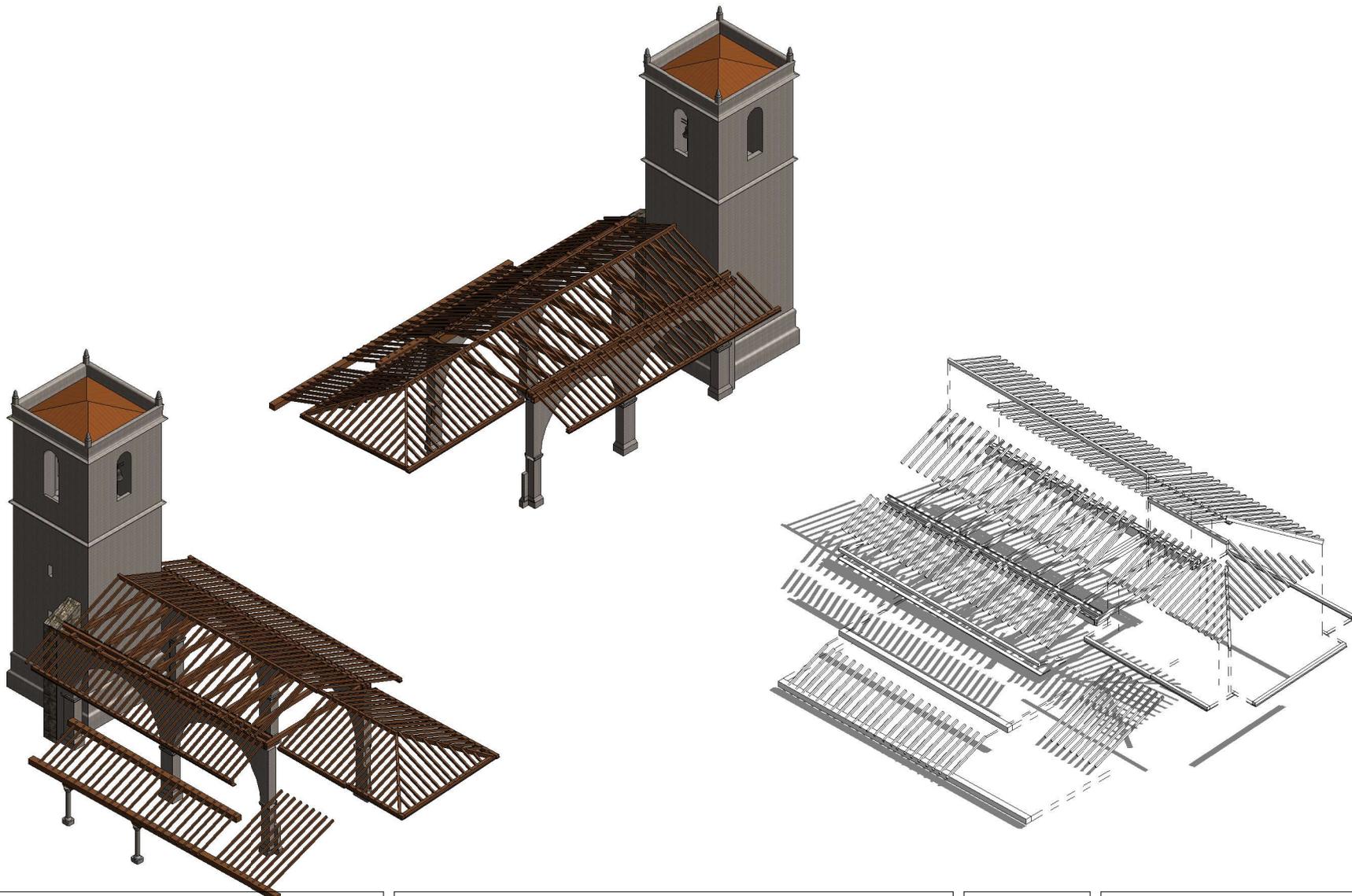


Infografía Desc. Elementos

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 22

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Detalle Estructura

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 23

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

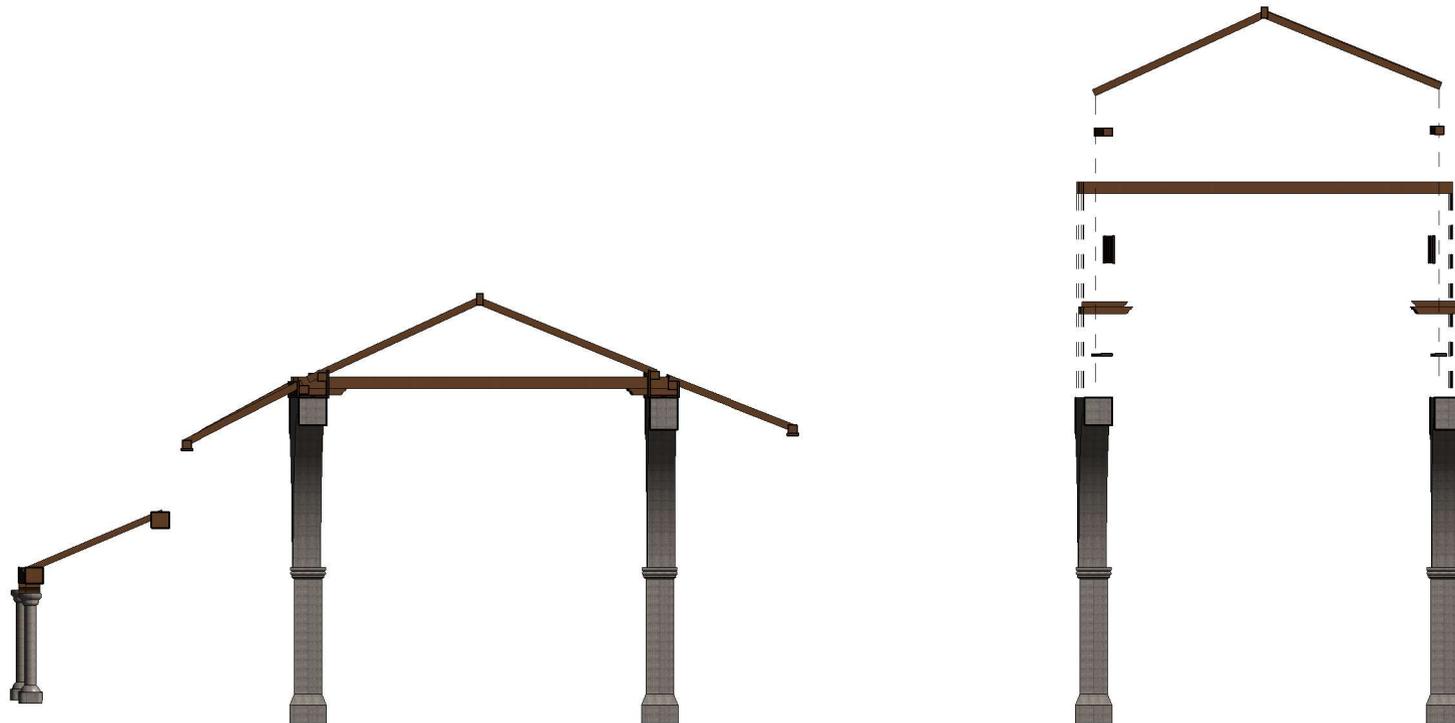


Detalle Estructura Par Nudillo (1/3)

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 24

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

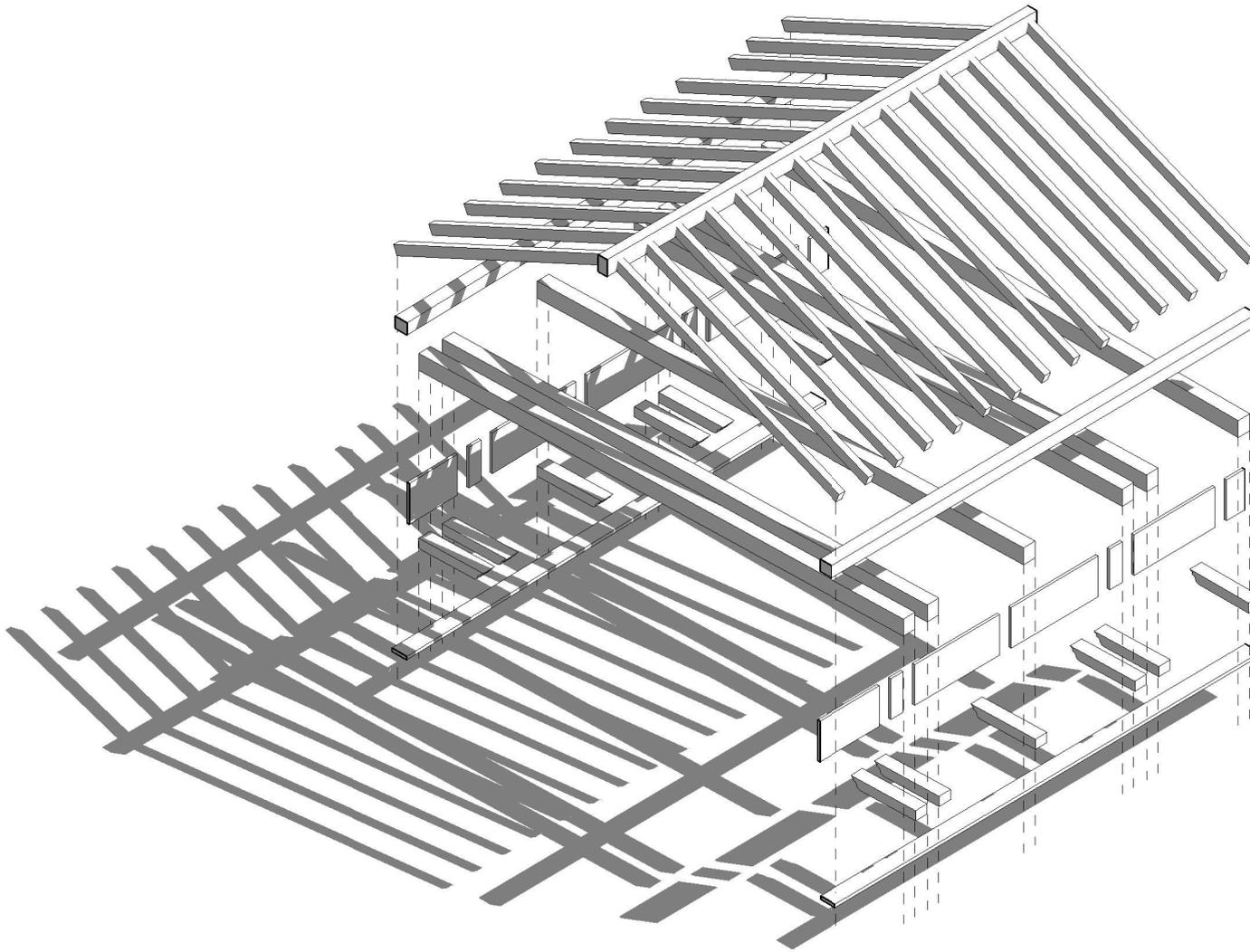


Detalle Estructura Par Nudillo (2/3)

Autor: Pablo Vicente Martín
 Asignatura: Trabajo de Fin de Máster
 Tutor: Jesús M. García Gago
 Universidad: E. P. S. Ávila

Nº 25

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

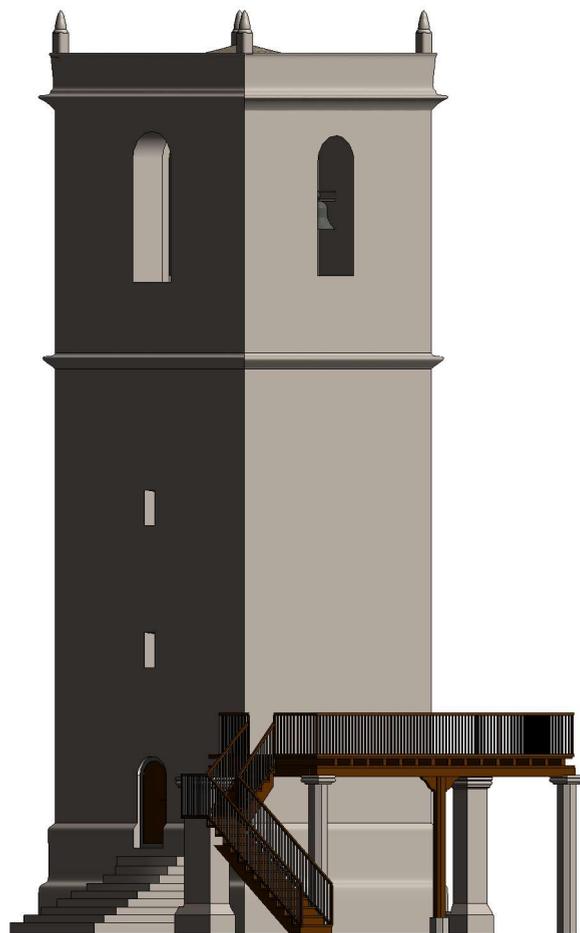


Detalle Estructura Par Nudillo (3/3)

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 26

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS

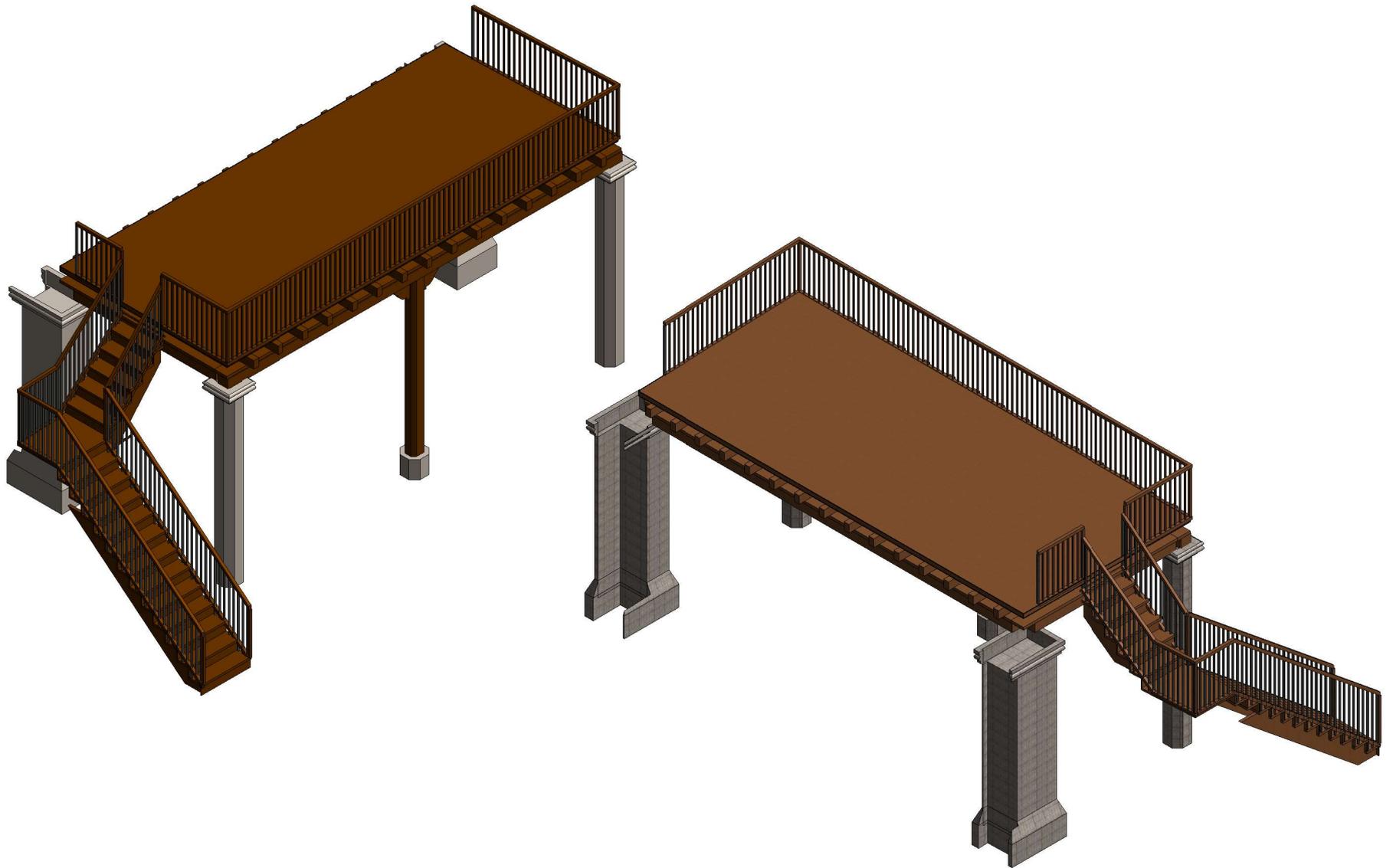


Detalle Coro (1/2)

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 27

Escala:



DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 IGLESIA DE NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN
 MONLEÓN, SALAMANCA.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS



Detalle Coro (2/2)

Autor:	Pablo Vicente Martín
Asignatura:	Trabajo de Fin de Máster
Tutor:	Jesús M. García Gago
Universidad:	E. P. S. Ávila

Nº 28

Escala:

Informe de procesamiento

Agisoft Metashape

**Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción
Monleón, Salamanca**

20 June 2021



Datos del levantamiento

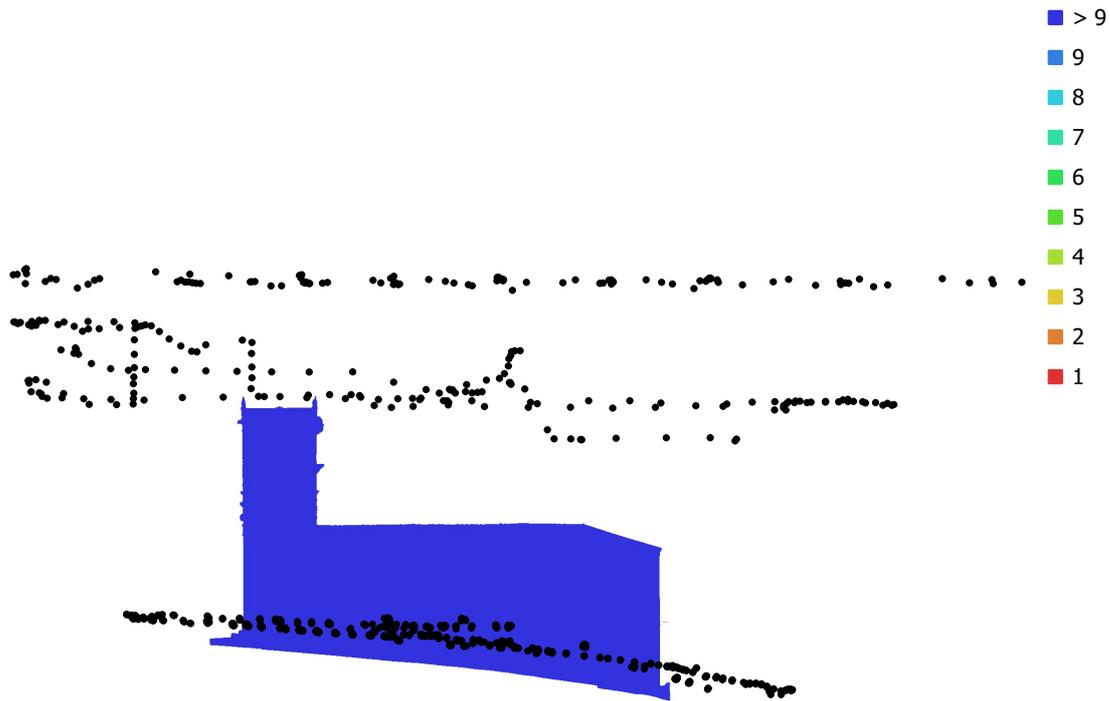


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 908

Panorámicas multicámara: 908

Puntos de paso: 549,792

Proyecciones: 3,084,503

Error de reproyección: 0.599 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
NIKON D3000 (18mm)	3872 x 2592	18 mm	6.19 x 6.19 micras	No
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

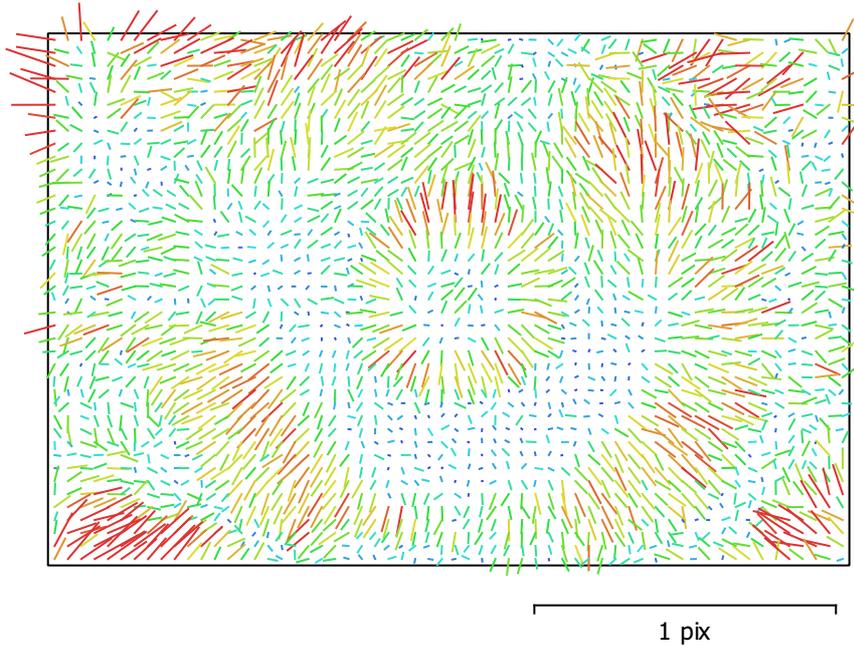


Fig. 2. Gráfico de residuos para NIKON D3000 (18mm).

NIKON D3000 (18mm)

624 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
3872 x 2592

Distancia focal
18 mm

Tamaño de píxel
6.19 x 6.19 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3018.13	0.013	1.00	-0.06	-0.21	-0.71	0.09	-0.43	0.40	-0.36	0.34	-0.01	0.06	-0.01	0.01
Cx	33.7275	0.021		1.00	0.06	0.03	0.27	0.01	-0.00	0.00	-0.00	0.65	0.07	-0.16	0.19
Cy	-22.9335	0.016			1.00	0.30	0.00	-0.01	0.00	-0.00	0.01	0.06	0.59	-0.05	0.05
B1	-1.99002	0.012				1.00	-0.12	-0.02	0.01	-0.00	-0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.01
B2	-0.131781	0.005					1.00	0.01	-0.01	0.01	-0.00	0.14	0.02	-0.01	0.02
K1	-0.101954	4.1e-005						1.00	-0.97	0.92	-0.87	0.02	-0.03	-0.00	-0.00
K2	0.0431975	0.00026							1.00	-0.99	0.96	-0.00	0.01	-0.01	0.01
K3	0.00419767	0.00063								1.00	-0.99	-0.01	-0.01	0.02	-0.03
K4	-0.00235564	0.00052									1.00	0.02	0.01	-0.04	0.04
P1	0.000537845	2.8e-006										1.00	0.25	-0.78	0.74
P2	8.09483e-005	1.2e-006											1.00	-0.28	0.26
P3	-0.0891093	0.018												1.00	-0.98
P4	-0.27573	0.026													1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Calibración de cámara

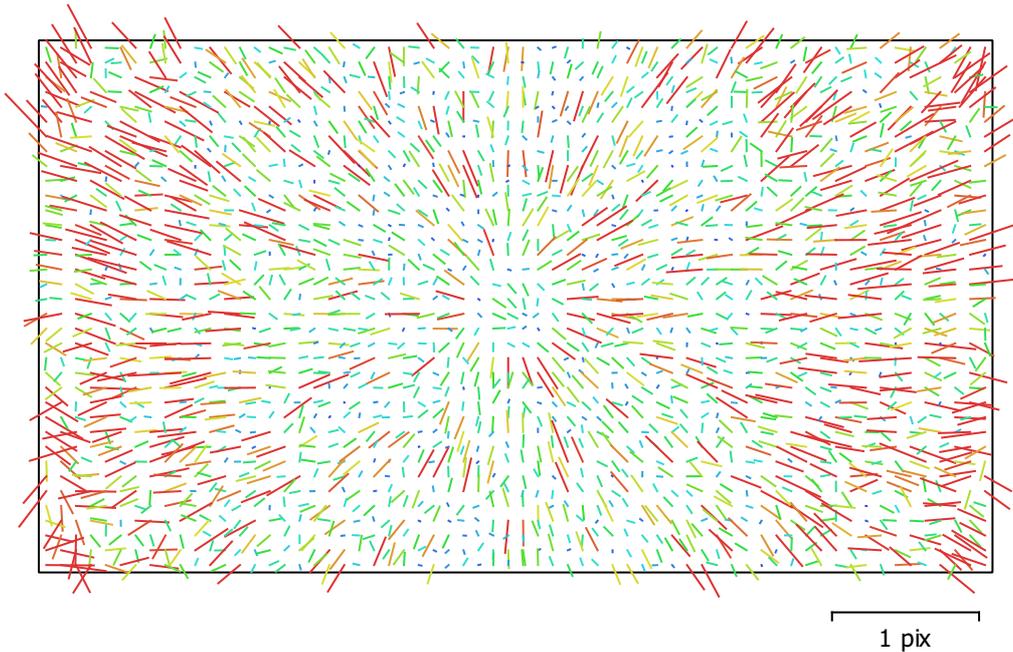


Fig. 3. Gráfico de residuos para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

284 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
5472 x 3078

Distancia focal
8.8 mm

Tamaño de píxel
2.53 x 2.53 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3669.66	0.018	1.00	-0.00	-0.01	-0.54	-0.02	-0.35	0.33	-0.29	0.26	0.03	-0.17	-0.05	0.04
Cx	24.9716	0.027		1.00	-0.02	0.05	-0.17	0.01	-0.00	-0.00	0.00	0.81	0.03	-0.12	0.11
Cy	5.63575	0.028			1.00	-0.45	-0.06	-0.03	0.02	-0.01	0.01	0.02	0.71	-0.04	0.03
B1	-7.77096	0.013				1.00	0.08	0.02	-0.02	0.01	-0.00	0.02	0.03	0.01	-0.00
B2	-0.160715	0.0055					1.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.22	-0.04	0.07	-0.06
K1	0.0122637	3.5e-005						1.00	-0.97	0.92	-0.86	-0.03	-0.07	0.06	-0.05
K2	-0.0708805	0.0002							1.00	-0.98	0.95	0.04	0.06	-0.07	0.06
K3	0.134806	0.00044								1.00	-0.99	-0.04	-0.05	0.07	-0.07
K4	-0.0848731	0.00033									1.00	0.05	0.04	-0.08	0.08
P1	0.00245467	3.3e-006										1.00	0.21	-0.62	0.55
P2	0.000706304	1.8e-006											1.00	-0.29	0.26
P3	-0.0317765	0.0033												1.00	-0.97
P4	0.0561506	0.0041													1.00

Tabla 3. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Modelo digital de elevaciones

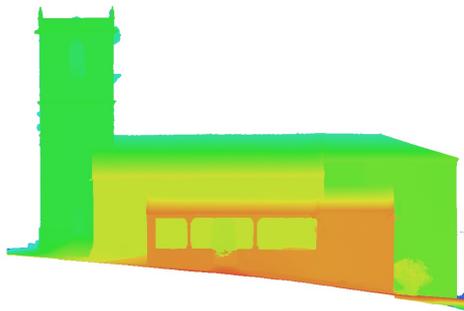


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	908
Cámaras orientadas	908
Marcadores	14
Medidas de distancia	7
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	549,792 de 658,241
RMS error de reproyección	0.177059 (0.599251 pix)
Error de reproyección máximo	1.98222 (16.8234 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.22223 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	6.8001

Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Filtrar puntos por máscaras	No
Enmascarar puntos de paso	No
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	35 minutos 11 segundos
Tiempo de orientación	10 minutos 17 segundos

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	15 segundos
Versión del programa	1.5.2.7838

Mapas de profundidad

Número	906
--------	-----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	1 día 20 horas

Nube de puntos densa

Puntos	57,184,364
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	1 día 20 horas

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	4 días 2 horas
Versión del programa	1.5.2.7838

Modelo

Caras	8,710,956
Vértices	4,361,641
Colores de vértices	3 bandas, uint8

Generales

Textura 4,096 x 4,096, 4 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad Alta

Nivel de filtrado Leve

Tiempo de procesamiento 1 día 20 horas

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie Arbitrario

Datos fuente Nube de puntos densa

Interpolación Habilitada

Máscaras volumétricas estrictas No

Tiempo de procesamiento 2 horas 3 minutos

Parámetros de texturizado

Modo de mezcla Promedio

Tamaño de textura 4,096

Habilitar el cierre de agujeros Sí

Habilitar el filtro de efecto fantasma Sí

Tiempo de mapeado en UV 3 minutos 56 segundos

Tiempo de mezcla 10 minutos 30 segundos

Versión del programa 1.5.2.7838

Ortomosaico

Tamaño 9,516 x 6,377

Sistema de coordenadas WGS 84 (EPSG::4978)

Colores 3 bandas, uint8

Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla Mosaico

Superficie Malla

Permitir el cierre de agujeros Sí

Tiempo de procesamiento 20 minutos 17 segundos

Versión del programa 1.5.2.7838

Software

Versión 1.5.2 build 7838

Plataforma Windows 64