



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ARQUITECTURA**

Aplicación de la fotogrametría como método para la conservación digital del patrimonio arquitectónico, caso estudio iglesia la Merced, Riobamba, Ecuador.

Trabajo de Titulación para optar al título de Arquitecto

Autor:

Veloz Suárez Gabriel Fernando

Tutor

Arq. Fredy Marcelo Ruiz Ortiz

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Gabriel Fernando Veloz Suárez**, con cédula de ciudadanía **0604400820**, autor del trabajo de investigación titulado: **Aplicación de la fotogrametría como método para la conservación digital del patrimonio arquitectónico, caso estudio Iglesia la Merced, Riobamba, Ecuador**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Así mismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 4 de Diciembre del 2024.



Gabriel Fernando Veloz Suárez
C.I: 0604400820



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.11
VERSIÓN 01: 06-09-2021

ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 4 días del mes de Octubre del 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Gabriel Fernando Veloz Suárez** con CC: **0604400820**, de la carrera de **ARQUITECTURA** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado "APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA COMO MÉTODO PARA LA CONSERVACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO, CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED, RIOBAMBA, ECUADOR", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Firmado electrónicamente por
FREDY MARCELO RUIZ
ORTIZ

Arq. Fredy Marcelo Ruiz Ortiz.

C.I: 0601972656

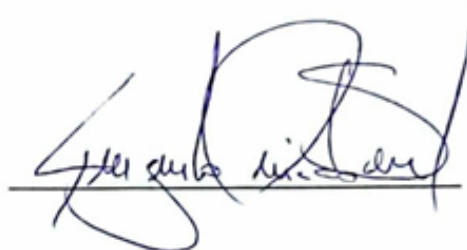
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL

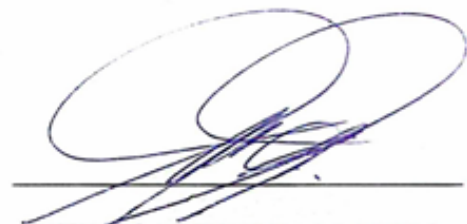
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA COMO MÉTODO PARA LA CONSERVACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO, CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED, RIOBAMBA, ECUADOR, presentado por Gabriel Fernando Veloz Suárez, con cédula de identidad 0604400820, bajo la tutoría de Arq. Fredy Marcelo Ruiz Ortiz; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 3 de Diciembre del 2024.

Arq. Gonzalo Oviedo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gonzalo Oviedo', written over a horizontal line.

Arq. César García
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'César García', written over a horizontal line.

PhD. Pedro Carretero
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. Carretero', written over a horizontal line.



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **VELOZ SUÁREZ GABRIEL FERNANDO** con CC: **0604400820**, estudiante de la Carrera de **ARQUITECTURA**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA COMO MÉTODO PARA LA CONSERVACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO, CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED, RIOBAMBA, ECUADOR"** cumple con el **8 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 26 de noviembre de 2024



Firmado electrónicamente por:
**FREDY MARCELO RUIZ
ORTIZ**

Arq. FREDY RUIZ
TUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a todas las personas que poseen un interés en las edificaciones patrimoniales, y desean inmortalizarlas a través de modelos 3D, así también se la dedica a la parroquia La Merced y a su párroco Orlando Garcés, por facilitarnos el ingreso a la entidad religiosa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, a mis maestros y amigos que me ayudaron a llegar hasta aquí, ya que sin ellos no podría haber culminado mis años de estudio, y un especial agradecimiento a mi amigo Luis Paredes por ayudarme en la toma de fotografías.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

ACTA FAVORABLE- INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTI-PLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ABSTRACT

CAPÍTULO I	20
1. INTRODUCCIÓN	20
1.1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2. JUSTIFICACIÓN	23
1.3. OBJETIVOS	24
1.3.1. GENERAL	24
1.3.2. ESPECÍFICOS	24
CAPÍTULO II	25
2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. CONSERVACIÓN	25
2.2. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO.....	26
2.3. TIPOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO	26
2.4. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL	27
2.5. LINEAMIENTOS PARA EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL	27
2.7. CONCLUSIONES	30
MARCO TEÓRICO PARTE 2	32
2.8. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	32
2.9. TIPOS DE LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	32
2.9. LINEAMIENTOS PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO:.....	33
PLANIFICACIÓN DE LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS.....	33

PROGRAMACIÓN DEL TRABAJO	33
EQUIPOS USADOS EN EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	33
NUBE DE PUNTOS.....	34
PROCESO DE RESTITUCIÓN	34
2.10. PROGRAMAS PARA PROCESAR DATOS DE LA FOTOGRAMETRÍA	35
2.11. PROCESOS PARA REALIZAR UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO.	35
2.11.1. CASO DE ESTUDIO POR JOSÉ L. CARO: FUENTE DE CALLE LOS CRISTOS (MÁLAGA)	35
2.11.2. PROCESO DE TRABAJO POR JAIME SANTA CRUZ ASTORQUI	37
2.11.3. PROCESO DE TRABAJO POR ANAS WAJJARI.....	38
2.13. CONSERVACIÓN DIGITAL	38
EL MODELO DIGITAL	38
2.14. RECREACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO.....	39
2.15. CARTA SOBRE LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO DIGITAL (2003)....	40
2.16. CARTA DE LONDRES PARA LA VISUALIZACIÓN COMPUTARIZADA DEL PATRIMONIO CULTURAL (2009)	41
2.17. LOS PRINCIPIOS DE SEVILLA. PRINCIPIOS INTERNACIONALES DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL (2011)	42
2.18. PROCESO DE TRABAJO POR DAVID SENOVILLA RAMOS:.....	44
2.19. PROCESO DE TRABAJO POR CARMEN SANTOS MAESTRE:.....	46
2.20. COMPARACIÓN DE LINEAMIENTOS	50
CAPÍTULO III.....	52
3. METODOLOGÍA.....	52
3.1. EQUIPOS A UTILIZAR	53
3.2. PROGRAMAS A UTILIZAR	54
CAPÍTULO IV	62
4. PROPUESTA	62
4.1. PLANEACIÓN DE TRABAJO.....	62
• ESTABLECER OBJETIVOS	62
• DEFINIR EL PROYECTO.....	62
• EQUIPOS A UTILIZAR	62
4.1.1. APLICACIÓN EN LA FOTOGRAMETRÍA: CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED.....	62

• ESTABLECER OBJETIVOS.....	62
• DEFINIR EL PROYECTO.....	63
• EQUIPOS A UTILIZAR	63
4.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	64
• LEVAMIENTO DE INFORMACIÓN IN SITU.....	64
• TOMA DE FOTOGRAFÍAS O VIDEOS	67
4.2.1. APLICACIÓN EN LA FOTOGRAMETRÍA: CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED.....	68
• LEVAMIENTO DE INFORMACIÓN IN SITU.....	68
• TOMA DE FOTOGRAFÍAS O VIDEOS	70
4.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	71
• ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN.....	71
• ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO	72
• LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS.....	72
4.3.1. APLICACIÓN EN LA FOTOGRAMETRÍA: CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED.....	73
• ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN.....	73
LÍNEA DE TIEMPO: HISTORIA IGLESIA LA MERCED	74
• ANÁLISIS DEL ENTORNO	75
• ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO	75
4.4. TRABAJO DE OFICINA	80
• 4.4.1 ORDENAR Y CLASIFICAR DATOS.....	80
• 4.4.2. ELABORACIÓN DE PLANOS.....	82
• 4.4.3. CREACIÓN DEL MODELO 3D	84
• 4.5. PRESENTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.....	91
4.5.1. DETALLES	95
4.5.2. ELABORACIÓN DE DIBUJO LINEAL A PARTIR DE ORTOFOTOS.....	98
RECOPIACIÓN DE DATOS OBTENIDOS	100
4.5.3. COMPARACIÓN DE MODELOS OBTENIDOS.....	101
4.6. CREACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL	102
• EXPORTAR MODELO	102
4.6.1. OPTIMIZACIÓN Y LIMPIEZA DEL MODELO	104
4.6.2. RECORRIDO VIRTUAL.....	105

CAPÍTULO V	107
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
5.1. CONCLUSIONES	107
5.2. RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS:	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Problemática.....	22
Figura 2: Lineamientos	31
Figura 3: Objeto a levantar	36
Figura 4: Nube de puntos.....	36
Figura 5: Malla creada después del procesado de fotografías	37
Figura 6: Cuadro Resumen	44
Figura 7: Ubicación de la Ermita y cuevas	44
Figura 8: Estado actual de las cuevas	44
Figura 9: Modelos obtenidos por el autor	45
Figura 10: Cuadro resumen de los procesos usados por el autor para los modelos 3D obtenidos.....	46
Figura 11: Flujo de trabajo, metodología usada por la autora	47
Figura 12: Antes y después de la mejora de imágenes	47
Figura 13: Vista de máscaras utilizadas por el programa para la restitución.....	48
Figura 14: Diferentes modelos de acuerdo a la cantidad de puntos en la nube de puntos.....	48
Figura 15: Ortofotos de las 4 fachadas del edificio	49
Figura 16: Redibujo por encima de ortofotos en programa AutoCad.....	49
Figura 17: Visualización y medición con software Opensource Meshlab.....	50
Figura 18: Cuadro comparativo de lineamientos	51
Figura 19: Dron Dji mini 3 pro	53
Figura 20: Cámara Canon 700D	54
Figura 21: Imagen general captada por el dron	55
Figura 22: Imagen del cielo raso captada con el dron	55
Figura 23: Imagen Vertical captada con el dron.....	56

Figura 24:Imagen de frescos en los bordes del cielo raso captada con el dron	56
Figura 25: Imagen del altar de madera captada con el dron	57
Figura 26: Imagen del techo captada con el dron	57
Figura 27: Imagen en perspectiva captada con el dron.....	58
Figura 28: Imagen vertical captada con el dron.....	58
Figura 29: Imagen de la fachada y contexto captada con el dron.....	59
Figura 30: Imagen del contexto captada con el dron	59
Figura 31: Imágenes orientadas en el programa	60
Figura 32: Muestra de la nube de puntos del modelo 3D	60
Figura 33: Metodología de trabajo a realizar	61
Figura 34: Dron Dji mini 3 pro	63
Figura 35: Cámara Canon 700D	63
Figura 36: Levantamiento Interno de la Iglesia	64
Figura 37: Levantamiento de Medidas	64
Figura 38: Diagrama toma de fotografías	67
Figura 39: Diagrama toma de fotografías	67
Figura 40: Fotografías Exteriores	70
Figura 41: Diagrama de toma de Fotografías	71
Figura 42: Fotografías Interiores	71
Figura 43: Ubicación-Fotografía captada con dron	73
Figura 44: Iglesia la Merced, vista desde la fuente.....	74
Figura 45: Construcción del Edificio del Colegio, 1921	74
Figura 46: Exteriores de la Iglesia	75
Figura 47: Vista de basamento.....	76
Figura 48: Vista de torres.....	76

Figura 49: Columnas de la fachada.....	77
Figura 50: Vista de Rosetón y arcos de medio punto	77
Figura 51: Columnas de la Fachada.....	78
Figura 52: Análisis Arquitectónico	78
Figura 53: Planta Arquitectónica	78
Figura 54: Corte Longitudinal	78
Figura 55: Patología Física	79
Figura 56: Patología Mecánica	80
Figura 57: Ordenar Fotografías.....	80
Figura 58: Edición de Fotografías para usarlas en el programa.....	81
Figura 59: Foto después de la Edición.....	81
Figura 60: Foto antes de Edición	81
Figura 61: Planta Arquitectónica	82
Figura 62: Corte Longitudinal	82
Figura 63: Fachada Lateral planos antiguos	82
Figura 64: Fachad lateral con nube de puntos	83
Figura 65: Fachada principal, comparación de programas	83
Figura 66: Modelo a base de nube de puntos.....	83
Figura 67: Carga de Fotografías al programa	84
Figura 68: Fotografías Cargadas	84
Figura 69: Comienzo del Proceso	85
Figura 70: Procesamiento de Fotografías	85
Figura 71: Nube de puntos.....	86
Figura 72: Reconstrucción de Región.....	86
Figura 73: Creación de malla.....	87

Figura 74: Modelo sin texturas	87
Figura 75: Detalle del Modelo	88
Figura 76: Simplificar vértices.....	88
Figura 77: Valores a simplificar	89
Figura 78: Verificar Topología	89
Figura 79: Modelo Texturizado	90
Figura 80: Exportar modelo	90
Figura 81: Modelo Texturizado exterior.....	91
Figura 82: Modelo Texturizado Interior	91
Figura 83: Fachada lateral renderizada	92
Figura 84: Malla Modelada.....	92
Figura 85: Nube de puntos.....	92
Figura 86: Nube de puntos en Archicad	92
Figura 87: Malla texturizada.....	92
Figura 88: Fachada lateral interna.....	93
Figura 89: Fachada Principal Texturizada	93
Figura 90: Interior nube de puntos.....	94
Figura 91: Interior Malla.....	94
Figura 92: Interior Texturizado.....	94
Figura 93: Columna Interior: (nube de puntos, malla y texturizado)	94
Figura 94: Detalle de rosetón y entrepiso de Fachada	95
Figura 95: Detalle de columna de Torre	95
Figura 96: Nube de puntos en Archicad	96
Figura 97: Planta a base de nube de puntos	96
Figura 98: Molduras internas (Nube de puntos, Malla, Texturizado).....	97

Figura 99: Altar menor (Nube de puntos, Malla y Texturizado)	97
Figura 100: Código QR de modelos 3D	97
Figura 101: Vista frontal del modelo para ortofoto	98
Figura 102: Vista lateral del modelo para ortofoto	98
Figura 103: Ortofoto para editar	99
Figura 104: Ortofoto editada para convertir a CAD	99
Figura 105: Comparación entre Ortofoto y Dibujo lineal.....	100
Figura 106: Comparación en fachada principal	101
Figura 107: Comparación fachada lateral	102
Figura 108: Revisión de modelos	102
Figura 109: Formato de salida	103
Figura 110: Detalle de exportación.....	103
Figura 111: Errores de topología	104
Figura 112: Visualizar texturas en Blender	104
Figura 113: Modelo limpiado y con vanos en ventanas	105
Figura 114: Creación de recorrido virtual en Unreal Engine.....	106
Figura 115: Código QR Modelo 3D	106
Figura 116: Código QR Recorrido Virtual	106
Figura 117: Código QR Carpeta Compartida	106
Figura 118: Interior Nube de puntos	114
Figura 119: Interior Malla.....	114
Figura 120: Interior Texturizado.....	115
Figura 121: Pinturas Internas - Nube de puntos.....	115
Figura 122: Pinturas Internas - Malla	116
Figura 123: Pinturas Internas - Texturizado	116

Figura 124: Altar menor. Nube de Puntos, Malla y Texturizado.....	117
Figura 125: Modelo Completo. Nube de puntos, Malla y Texturizado	117
Figura 126: Ortofoto Fachada Contexto	118
Figura 127: Render Contexto.....	118
Figura 128: Código QR de repositorio de planos	119
Figura 129: Código QR de repositorio de Fotos.....	119
Figura 130: Dibujos Cad a partir de convertir formatos desde ortofotos	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ficha modelo basada en la del INPC, para alzar información.....	65
Tabla 2: Ficha modelo basada en la del INPC, para alzar información de Patologías encontradas	66
Tabla 3: Ficha basada en la del INPC llena	68
Tabla 4: Ficha para patologías basada en la del INPC llena.....	69
Tabla 5: Resultados de los modelos obtenidos	100
Tabla 6: Resultados de la elaboración de planos	100

RESUMEN

El levantamiento arquitectónico, en su concepción más general y actual, se puede entender como una operación destinada a recoger la información gráfica y métrica aparente que proporciona cualquier obra arquitectónica construida, o parte de ella, y como consecuencia de esto puede materializar tal información en una serie de dibujos que permitan representarla y comprenderla en toda su integridad. (Salamanca , 2012). Con este enfoque, al revisar varios referentes de los cuáles, por condiciones externas, muchas de ellas patrimoniales, se encuentran con partes faltantes, o destruidas generando edificios de una fragilidad aún mayor, cualquier trabajo que se deba realizar en el mismo supone un riesgo para toda la edificación; así bien, es preciso encontrar una forma de levantar sus partes sin comprometer su integridad física, buscando levantar su información sin la necesidad de un contacto constante y en base a lineamientos previamente estructurados. Muchas estructuras arquitectónicas están en riesgo de deterioro o destrucción debido a factores como desastres naturales, falta de mantenimiento o cambios en el entorno urbano. La fotogrametría puede ser utilizada para capturar modelos 3D precisos de estas estructuras en peligro, permitiendo su preservación digital incluso si se dañan o desaparecen en el futuro. Estos modelos pueden servir como registros históricos y facilitar la reconstrucción o la reproducción virtual de las estructuras. Esto facilita la documentación exhaustiva y detallada de cada elemento arquitectónico, incluyendo detalles ornamentales, texturas y dimensiones precisas. Todo esto aplicado a un levantamiento in situ del objeto de estudio, con ayuda de cámaras fotográficas y un dron para facilitar la toma de datos, los cuáles nos van a ayudar a la construcción del modelo 3d de la iglesia: Nuestra Señora de la Merced. esta investigación tiene como fin, aumentar la importancia de la conservación de los bienes patrimoniales en la ciudad de Riobamba, así como de sus documentos, imágenes, planos y vistas en las cuáles se logre apreciar el patrimonio arquitectónico, y tener como respaldo en caso de algún imprevisto en dicha construcción.

Palabras Clave: diseño arquitectónico, patrimonio arquitectónico, estructuras arquitectónicas, fotogrametría, bienes patrimoniales.

ABSTRACT

In its most general and current conception, the architectural survey aims to collect the apparent graphic and metric information provided by any built architectural work or part of it. Consequently, it can materialize such information in a series of drawings that represent and understand it in all its integrity (Salamanca, 2012). With this approach, when reviewing several references of which, due to external conditions, many of them patrimonial, are found with missing parts or destroyed generating buildings of an even greater fragility, any work to be done on it involves a risk to the entire building; thus, it is necessary to find a way to raise its parts without compromising its physical integrity, seeking to raise its information without the need for constant contact and based on previously structured guidelines. Many architectural structures risk deterioration or destruction due to natural disasters, lack of maintenance, or changes in the urban environment. Photogrammetry can be used to capture accurate 3D models of these endangered structures, allowing their digital preservation even if they are damaged or disappear in the future. These models can serve as historical records and facilitate the reconstruction or virtual reproduction of the structures. It facilitates comprehensive and detailed documentation of each architectural element, including ornamental details, textures, and precise dimensions. All this was applied to an in situ survey of the object of study, with the help of cameras and a drone to facilitate data collection, which will help us to build the 3D model of the Church: Nuestra Señora de la Merced. The purpose of this research is to increase the importance of the conservation of the patrimonial goods in the city of Riobamba, as well as its documents, images, plans, and views in which the architectural heritage can be appreciated and to have as a backup in case of any unforeseen event in such construction.

Keywords: architectural design, architectural heritage, architectural structures, photogrammetry, heritage properties.



JENNY ALEXANDRA
FREIRE RIVERA

Reviewed by:
Lic. Jenny Alexandra Freire Rivera
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0604235036

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La conservación del patrimonio arquitectónico ha sido un tema muy importante a través de la historia, por lo cual es de suma importancia poseer los registros del mismo, como pueden ser planos arquitectónicos, fotografías, dibujos de sus fachadas, fichas de sus patologías, etc., todo esto para mantener y resaltar todo aquello que se debe conservar.

Todo esto ligado a la preservación en caso que exista algún accidente en la construcción, como es el caso de la Catedral de Notre Dame, que, en 2019, a causa de un incendio, se perdió más de la mitad de su estructura, su techo, y su aguja, así como parte de las paredes interiores, dando paso a recurrir a los documentos físicos existentes, en dónde faltaba información relevante para una reconstrucción de sus elementos originales.

Dando paso a recurrir a datos digitales como lo hecho por el profesor Tallon en su proyecto “Mapping Gothic France” en dónde realizó un escáner por láser, de toda la estructura de la catedral; en el archivo resultante se guarda la posición exacta de las paredes, elementos ornamentales, el techo y todas las partes que se perdieron en el incendio. (Michelle Lou, 2019)

Otro caso similar pero con una resolución muy diferente es de La cúpula del Reichstag, que data de finales del siglo XIX, que fue construida por Paúl Wallot, su segunda intervención por Paul Baumgarten, esta edificación se incendió en 1933, lo cual provocó que en 1954, gracias también a la segunda guerra mundial se demoliera su cúpula de metal y cristal, generando que después de la caída del muro de Berlín, en 1993 se llamara a una convocatoria para su reconstrucción, ya que se iba a convertir en sede del parlamento de Alemania.

El cuál ganó Norman Foster, y gracias a la opinión pública se llegó a la conclusión que se debía reconstruir dicha cúpula, en la cual se usaron materiales nuevos, entre ellos acero y vidrio. (Torre, 2023)

Con estos dos ejemplos, se evidencia la importancia de la conservación, no solo del bien patrimonial, sino también de sus registros históricos, planos arquitectónicos y todo lo relacionado al ente arquitectónico, que pueda servir como registro o un manual para la reconstrucción de partes dañadas o ausentes.

Con esto también surge otros problemas, relacionados con las construcciones que ya se encuentran en estado de vulnerabilidad, haciendo que el acceso a ellas se dificulte, así también la forma de tomar datos sea muy complicada al no poder hacerlo con los instrumentos básicos de medición.

En los últimos años, el incremento en la utilidad y aplicabilidad de las técnicas avanzadas en el ámbito tridimensional se ha producido debido a situaciones de destrucción relacionadas con conflictos armados y desastres. Estas circunstancias han encontrado en los modelos digitales en 3D y su capacidad de representación una herramienta valiosa para preservar y transmitir obras de arte a las futuras generaciones. (R Good, 2017)

También surge una problemática con respecto al manejo del patrimonio como Gómez, F. explica: Debido a la especial naturaleza de los objetos o elementos que se inscriben dentro del patrimonio cultural (fragilidad, alto grado de deterioro, alta sensibilidad a agentes extraños, etc.), a la hora de realizar el proceso de digitalización sólo se pueden utilizar tecnologías no invasivas ni destructivas, que aseguren su integridad e inalterabilidad.

Entre ellos podemos encontrar levantamientos con ayuda de cámaras fotográficas (fotogrametría) o con escáner láser (más precisión en las medidas), haciendo el levantamiento lo menos invasivo posible, y sin un contacto de sus partes.

Según Almagro (1985) esta técnica tiene su auge para la conservación patrimonial e inventariado, en los años setenta, y fue mayormente usado en Austria y Francia, también en estos años se hace más énfasis en el desarrollo de equipos para dicha técnica.

Esto podemos ver reflejado actualmente en muchas páginas web, el ejemplo más notable del uso de este sistema, es la página web GOOGLE EARTH, en el cuál existe la opción de ver los mapas en tres dimensiones, generando un recorrido aún más entendible de la topografía del lugar, pero también existe una ausencia de esta opción en ciudades pequeñas, las cuáles únicamente cuenta con imágenes satelitales.

Lamentablemente, algunos edificios históricos en Riobamba han experimentado un deterioro significativo debido a la falta de mantenimiento adecuado a lo largo del tiempo y la falta de interés por parte de propietarios particulares. Esta situación ha llevado a la ausencia de registros fotográficos, escritos o digitales al no obtener información precisa acerca de los bienes patrimoniales.

Por lo tanto, resulta crucial buscar métodos para recopilar información completa, tanto visual como escrita, sobre estas construcciones.

Además, la información recopilada sobre los bienes patrimoniales se suele limitar a datos escritos, sin proporcionar suficiente información gráfica que permita comprender de manera más visual y detallada las características y patologías de los bienes.

Un ejemplo de esto es la Iglesia de la Merced, donde la información disponible se limita a tablas y fichas sin ofrecer un registro visual más completo.

En el año 1871, en la administración de Gabriel García Moreno, se dio inicio a la edificación de este templo, el cual se destaca por su estilo neoclásico particular. En su interior alberga bellas pinturas que representan un valioso aporte cultural. En su historia, fue utilizado por las religiosas de los Sagrados Corazones, luego por las hermanas de la caridad. Más tarde, pasó a

manos de los Salesianos de Don Bosco, quienes también utilizaron el espacio para albergar talleres. (Granizo, 2016)

Con esto se presenta un cuadro resumen:

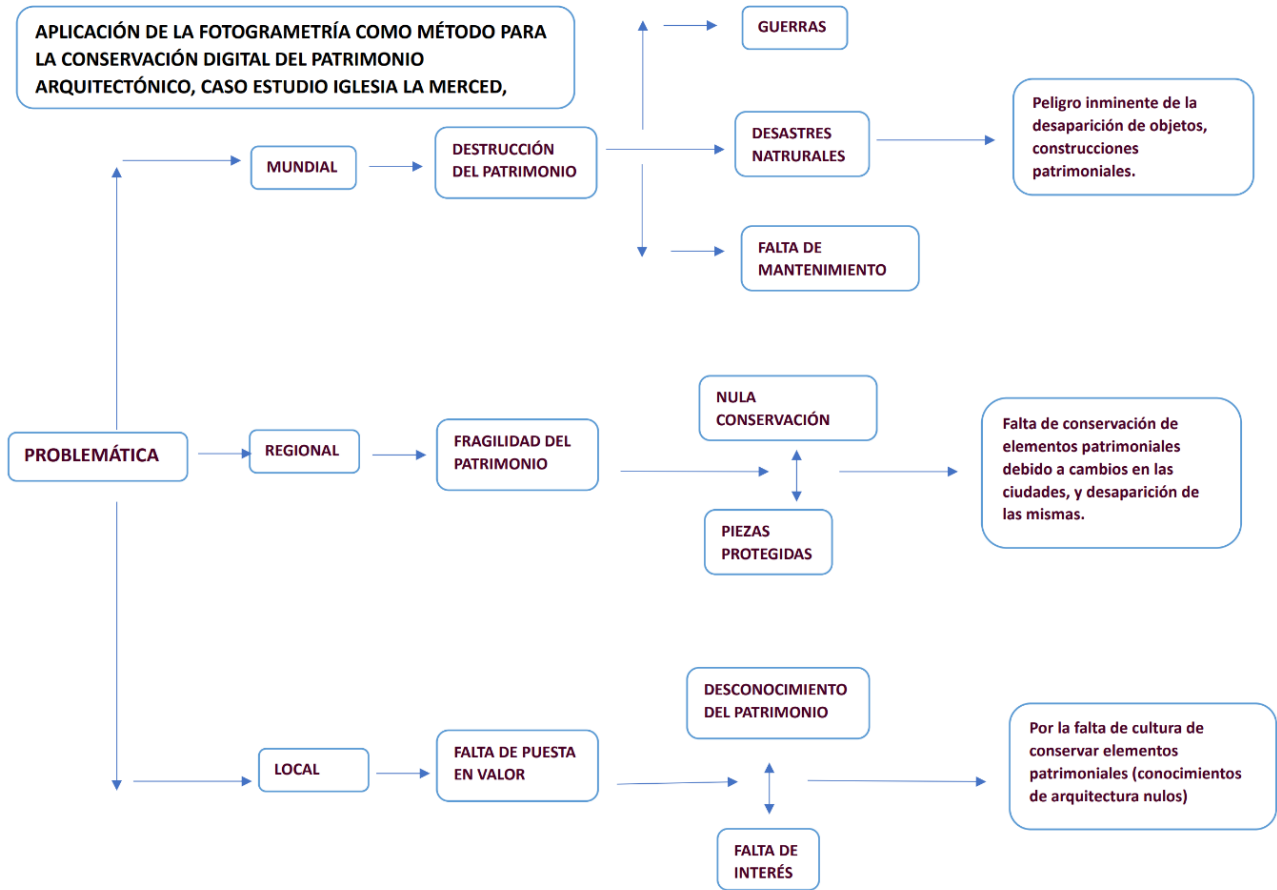


Figura 1: Problemática

Fuente: Elaboración Propia

1.2. JUSTIFICACIÓN

La exploración de innovadoras metodologías para documentar bienes patrimoniales sin comprometer su integridad física se vuelve cada vez más crucial para garantizar una conservación adecuada. Este enfoque busca preservar estas piezas en óptimas condiciones, al mismo tiempo que se crea un respaldo digital para prevenir pérdidas en caso de daños o destrucción.

Este avance, cuando se aplica a la arquitectura, representa un significativo paso hacia la accesibilidad remota a diversas construcciones, promoviendo así un mayor entendimiento. Es importante resaltar que un conocimiento más profundo sobre las edificaciones patrimoniales no solo enriquece culturalmente, sino que también puede impulsar el turismo, especialmente en ciudades con un destacado legado colonial.

La preservación digital y la accesibilidad remota no solo conservan estructuras físicas, sino que también capturan historias y tradiciones asociadas. Esto enriquece la narrativa cultural de la ciudad, ofreciendo a visitantes y locales una comprensión más profunda de su herencia.

Dada la rápida evolución tecnológica, la aplicación de herramientas como la fotogrametría, escaneo láser y realidad virtual puede revolucionar la forma en que registramos y preservamos nuestro patrimonio. Estas tecnologías ofrecen métodos no intrusivos para capturar detalles precisos sin afectar físicamente los objetos o edificaciones.

La preservación digital no solo actúa como un seguro contra la pérdida física, sino que también permite un monitoreo continuo. Se pueden realizar comparaciones a lo largo del tiempo para evaluar cambios o deterioro, facilitando intervenciones proactivas para mantener el patrimonio en condiciones óptimas.

La posibilidad de visitar virtualmente construcciones patrimoniales amplía el acceso a personas de todo el mundo, eliminando barreras geográficas y económicas. Esto no solo fomenta la difusión cultural, sino que también puede despertar un interés renovado en la historia y la arquitectura.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

- Aplicar la fotogrametría como método para la conservación digital de la Iglesia Nuestra Señora de la Merced en la ciudad de Riobamba, Ecuador.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Investigar la bibliografía pertinente sobre las pautas o lineamientos del levantamiento arquitectónico patrimonial, sus métodos y cuáles son usados en construcciones en estado de fragilidad.
- Analizar los procesos necesarios en el levantamiento fotogramétrico y su uso en la construcción de modelos 3D, para la conservación digital de los bienes patrimoniales en base a la información bibliográfica consultada.
- Comparar los lineamientos para el levantamiento fotogramétrico enfocado en la preservación del patrimonio arquitectónico, en base a las metodologías consultadas.
- Realizar el modelo 3D de la Iglesia Nuestra Señora de la Merced, así como sus planos, con la ayuda del levantamiento fotogramétrico para su conservación digital.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONSERVACIÓN

La conservación de bienes patrimoniales arquitectónicos siempre ha sido tema de debate, ya que a lo largo de la historia muchos autores han propuesto diferentes ideas acerca de lo que se debe conservar o no, así también si es necesario restaurar el bien o solo mantenerlos; entre otras muchas ideologías.

Las siguientes ideologías se basan en lo presentado por Fiorentin(2019) en su maestría acerca de la Teoría e Historia de la Restauración.

Entre ellas se cita a Camilo Boito, con su postura, en la cual no otorga prioridad a la restauración, indicando que los edificios deben ser “antes consolidados que restaurados”. Replantea la necesidad de la reutilización de los monumentos con nuevos usos y considera que los edificios son “documentos a conservar”.

Se opone a la repriminación y defiende, por lo tanto, la conservación de los añadidos. En caso de que la obra precise alguna intervención, enuncia que:

“se realizarán sobre datos seguros, con caracteres y materiales distintos y distinguibles, llevando un signo de identificación o la fecha de restauración. Todos los añadidos de cualquier época deben respetarse y las adiciones modernas no deberán interferir la unidad de la imagen”.

Así también es de lo pioneros en hablar acerca de una documentación del bien, para así mantener un registro que permita resaltar todo aquello que se debe conservar, proponiendo documentar en planos e imágenes todo el proceso desde el inicio de la intervención, durante y después del mismo.

Según Giovannoni. Considera que el arquitecto debe fusionar en una única labor las funciones del arquitecto, el urbanista y el restaurador, encarando así los desafíos en todos los niveles. De esta manera, expresa un compromiso con la preservación de la ciudad histórica y defiende que un monumento no puede ser analizado independientemente de su entorno.

Asimismo, sostiene que cada área antigua debe formar parte de un plan global de organización urbana y que los conjuntos con valor patrimonial deben ser abordados de manera integral, algunas de estas ideas son las siguientes:

- La importancia de conservar la perspectiva de un edificio.
- En cuanto a los conjuntos urbanos: la importancia de restaurar en forma integral y no limitarse sólo a la fachada.

- Propone cinco posibles tipos de intervención: Consolidación, recomposición (anastilosis), liberación (si bien la desestima), completamiento e innovación.

Giovannoni abogaba por un enfoque integral en la conservación del patrimonio, considerando tanto los aspectos arquitectónicos como urbanísticos, y proponía distintos tipos de intervenciones para preservar la identidad histórica de los conjuntos patrimoniales.

En contraste con la perspectiva de Camilo Boito, quien priorizaba la atención y conservación de las partes individuales de una construcción, sin considerar su integración o relación con el entorno circundante. Según Martínez María(s.f.): Se argumenta que la concepción del patrimonio tiene dos enfoques: uno se relaciona con el elemento que tiene un valor patrimonial y otro se vincula con el concepto mismo de patrimonio.

El elemento cultural se convierte en patrimonio cuando la comunidad lo incorpora, lo identifica como propio y siente una conexión de pertenencia hacia él. Este reconocimiento lleva a un compromiso de preservación y cuidado, estableciéndolo como parte fundamental de su identidad. Esta valoración se fundamenta en una estructura cultural y se desarrolla dentro de contextos históricos particulares.

2.2. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

El levantamiento arquitectónico se define como el proceso mediante el cual se recopila de manera exhaustiva la información gráfica y métrica de una obra arquitectónica, ya sea en su totalidad o en partes específicas. Esta información se utiliza posteriormente para crear una serie de dibujos detallados que permiten una representación integral y comprensión precisa de la estructura analizada. Salamanca (2012)

Es fundamental llevar a cabo un registro minucioso de las edificaciones, al igual que se hace con los libros de historia, con el objetivo de preservar su forma actual para futuros estudios o referencias.

La preservación del patrimonio arquitectónico es una tarea que requiere extrema precaución y atención, por tal motivo siempre aparecen nuevas formas para levantar la información requerida para edificios patrimoniales.

2.3. TIPOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

Se puede citar los tipos de levantamiento que expresa Tassara, (2004): Cabe aclarar que el término “relevamiento” hace alusión a todo el proceso de toma de medidas, fotografías y creación de planos, con la información proporcionada.

RELEVAMIENTO DIRECTO

Este método lo realiza un operador con el auxilio de simples instrumentos de medición como el metro, escuadras, cintas métricas, etc. Se emplea en la mayor parte de los relevamientos

arquitectónicos y se revela indispensable en los relevamientos de plantas y secciones de edificios.

RELEVAMIENTO INSTRUMENTAL

Es aquel método realizado con el auxilio de instrumentos topográficos como, por ejemplo: niveles, distanciómetros, teodolitos, etc.

RELEVAMIENTO FOTOGRAMETRICO

Por último, este método es aquel efectuado con el auxilio de máquinas de toma como fotocámaras y bicámaras métricas, con instrumentos de restitución analógicos, analíticos y digitales que permiten trazar directamente.

La técnica de la fotogrametría permite obtener una réplica digital a partir de la toma de fotografías.

2.4. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL

Según Claudia Cancino (Guillaud, 2003, p. 201-220), se pueden utilizar distintos modos de registro de la información.

La ventaja de planear la metodología de intervención con base en un criterio sustentado en un sistema de valores y significados es mucho más aceptable para la comunidad científica. De este modo, el procedimiento de recolección de documentos tiene como objetivo inicial analizar y evaluar el significado de un sitio. Este proceso involucra la identificación y descripción del lugar, su análisis, su evaluación y la consecuente respuesta. Se destaca igualmente la importancia de registrar la información relativa al contexto natural y social.

Niveles de registro y documentación: existen tres tipos de registro:

- (i) la documentación preliminar –para identificar el problema y prever posibles investigaciones.
- (ii) la documentación sistemática y comprehensiva –para posibilitar una visión general, además de detalles específicos sobre el asunto.
- (iii) la documentación suplementaria –siempre que haya intervenciones monitoreadas a largo plazo–. En este ámbito se han identificado diferentes tipos de documentación: los inventarios, los relatos de estructuras históricas y los relatos estructurales, el análisis y la evaluación de las condiciones locales, entre otros posibles métodos de documentación.

2.5. LINEAMIENTOS PARA EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL

Como primer punto a considerar son los lineamientos presentados en los Congresos Internacionales, celebrados en diferentes años y sitios en donde se van poniendo las bases para la preservación de patrimonio arquitectónico.

CARTA DE VENECIA (1964)

Por su rigor y claridad, la Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos continúa siendo universalmente aceptada. Uno de sus principios orientadores es el deber de la humanidad de “transmitir (las obras monumentales) en su completa autenticidad”, lo que según (González-Varas, 1999, p. 469) continúa en la línea de la restauración científica.

En el artículo 1 sobresale que la carta defiende por igual el significado de las obras monumentales y de las obras modestas, desde que éstas “con el tiempo hayan adquirido un significado cultural”. Debe destacarse por igual, el artículo 3, el cual considera importante “salvaguardar tanto la obra de arte, como el documento histórico”. conforme con lo observado en el artículo 9.

También hay que destacar en la Carta de Venecia el artículo 14, que plantea que los ambientes y sitios monumentales deben ser “objeto de especial atención, con el fin de salvaguardar su integridad y asegurar su saneamiento, su utilización y su valoración”.

CARTA DE QUITO (1967)

Dedicada a la conservación y utilización de monumentos y sitios de valor histórico y artístico, y compuesta por las recomendaciones de especialistas de quince países, que resultan de gran importancia para el futuro del patrimonio cultural latinoamericano.

Se destaca, sin duda, la referencia al doble valor del patrimonio cultural, como “valor económico e instrumento de progreso” (González-Varas, 1999, pág. 501), teniendo en cuenta el proceso de desarrollo económico y social en progreso. De esta manera, el artículo 3.4 hace referencia a “los peligros del «desarrollo acelerado» que puede alterar y deformar el paisaje de importancia monumental”, relacionándose con el artículo 5.6, en el cual se hace referencia al interés de “proteger el patrimonio monumental como medio indirecto de favorecer el desarrollo económico del país”.

El artículo 7, dedicado a la relación de los monumentos con el turismo, acaba por adquirir mayor importancia, pues se destaca en el literal (a): que “la afluencia turística determinada por la revalorización de un monumento asegura una rápida recuperación del capital invertido”.

CARTA DE BURRA (1979)

También conocida como la Carta Australiana del Icomos, fue elaborada en 1979 y posteriormente revisada en 1981, 1988 y 1999. Este documento, de importancia internacional, permitió por ejemplo valorar y expresar conceptos como el de ‘significado cultural’ de un lugar.

La Carta defiende que el referido significado debe ser conocido en su totalidad y que debe formularse y justificarse un plan de conservación detallado antes de cualquier intervención.

En consecuencia, la Carta de Burra hace referencia a la conservación de lugares con significado cultural, lo que abarca tanto el ámbito del paisaje cultural como del patrimonio edificado, en general.

CARTA DE CRACOVIA (2000)

Considera la manutención y restauración como partes fundamentales del proceso de conservación del patrimonio, siendo éstas organizadas mediante la investigación sistemática, la inspección, el análisis, etc. Por eso se hace necesario investigar y prever el posible deterioro del patrimonio; para tal efecto, se deben tomar las medidas preventivas adecuadas. El documento resalta igualmente la importancia de desarrollar planes de formación y educación en temas de patrimonio cultural.

2.6. PENSAMIENTO DE AUTORES

Ahora bien, cada autor posee diferentes criterios para el levantamiento arquitectónico, entre ellos podemos citar a Almagro, (2004) el cuál comenta que la programación y realización del levantamiento arquitectónico hay que tener en cuenta los siguientes criterios:

- Prever el alcance general, lo que a menudo puede requerir un proyecto, una dirección de los trabajos y una evaluación final, según el nivel de dificultad del edificio.
- Considerar de forma contextualizada tanto la investigación métrica y técnica, como la bibliográfica, archivística e iconográfica.
- Es necesario referir la ubicación del organismo arquitectónico respecto al Sistema Cartográfico Nacional y al de referencia local adoptado para el levantamiento a escala 1:500, si existe, del centro histórico al que pertenezca.
- La información obtenida en los levantamientos puede ser considerada como componente parcial de una base de datos territorial más amplia, por lo que los levantamientos deben realizarse en soporte informático.
- Los sistemas y métodos de medida, así como su tolerancia, serán adecuados a la escala de representación y a los contenidos previstos; cada elaboración gráfica deberá resultar homogénea bajo aspectos métricos y cualitativos.
- El contenido de la representación debe guardar relación con la escala prevista o adoptada para la restitución y con la finalidad de la investigación.
- Deben establecerse, del modo más claro posible, procedimientos congruentes para la realización del levantamiento directo, del topográfico y el fotogramétrico. El uso de métodos y técnicas de diversos tipos deberá estar referido al proyecto general de la investigación.

Ahora bien, citando a Lazo, (2022) podemos señalar que, al llevar a cabo la documentación de edificaciones con valor patrimonial, es común acceder a registros técnicos previos del objeto en cuestión. Esta información, proveniente mayormente de períodos anteriores, puede necesitar ser actualizada para reflejar los cambios, ajustes y evoluciones que la estructura ha experimentado a lo largo del tiempo.

En la labor de conservación del patrimonio, es frecuente encontrarse con dificultades para obtener esta documentación técnica, siendo en ocasiones prácticamente inexistente. La realización de un adecuado trabajo de levantamiento arquitectónico y documentación de una edificación de interés patrimonial desde un enfoque de trabajo organizado y científico permitirá:

- el conocimiento, el análisis y la identificación del estado de los elementos constructivos componentes de una edificación cuyo estudio se realice;
- determinar las posibles causas del deterioro que presentan las estructuras arquitectónicas, así como evaluar las posibles soluciones a proponer, seleccionando aquellas que resulten las más viables técnica y económicamente, teniendo el conocimiento previo de los principales problemas que presenta la construcción;
- definir los criterios necesarios para establecer criterios económicos y valores aproximados de los costos y tiempo de ejecución de una intervención de conservación en el edificio;
- identificar la estratificación histórica, los cambios, transformaciones y modificaciones sufridas por una edificación durante su vida útil, con el propósito de determinar etapas constructivas, cronologías, técnicas y materiales empleados;
- determinar cuáles son los elementos que poseen mayor importancia o valores arquitectónicos, históricos, estéticos, decorativos, etc., que puedan encontrarse evidentes u ocultos en las estructuras construidas, los que deben ser conservados para poder comprender e interpretar el bien patrimonial;
- ofrecer la información necesaria para la confección de la documentación técnica preliminar requerida para la ejecución de los proyectos de restauración arquitectónica el caso de lograr obtenerla por lo general suele resultar escasa, incompleta y desactualizada.

Feilden, (2003) declara la importancia de la correcta intervención ética en la conservación. En el patrimonio en tierra es importante considerar también, particularmente:

- El estado del edificio, que deberá ser documentado, antes del inicio de cualquier intervención.
- Los materiales y métodos de intervención utilizados para la conservación de las estructuras deben ser documentados, siempre que sea posible.
- Los vestigios históricos no deben ser removidos, destruidos ni falsificados.
- Sin importar cuál sea la intervención en la estructura, ésta deberá ser mínima, reversible o, por lo menos, no perjudicar posibles futuras intervenciones.

2.7. CONCLUSIONES

Después de citar a los anteriores autores, se presenta un cuadro resumen de todos los lineamientos a considerar para un levantamiento arquitectónico, que vaya enfocado en la conservación del patrimonio.

LINEAMIENTOS PARA UN LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL	
CONSIDERAR:	La importancia histórica, cultural del bien a analizar.
	Trabajos a realizar, así como sus herramientas (que no perjudiquen el estado físico de la construcción)
	La documentación física, digital de planos, dibujos, fotografías y registros de trabajos.
CRITERIOS	Referir la ubicación de la construcción.
	Todos los datos obtenidos deben ser respaldados.
	Los sistemas de medida serán adecuados a su representación.
	La representación de la información debe ser visible y clara para futuras investigaciones.
	Se deben presentar procedimientos coherentes para su levantamiento.
	Se presentaran todas las posibles patologías encontradas al hacer el levantamiento.
	Se presentaran posibles soluciones a las patologías.
	Determinar cuáles son los elementos de mayor importancia para su conservación.
	Los elementos a conservar no pueden ser sustituidos o dañados, o en tal caso falsificados.

Figura 2: Lineamientos

Fuente: Elaboración Propia

MARCO TEÓRICO PARTE 2

2.8. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

La técnica de la fotogrametría permite obtener una réplica digital a partir de la toma de una serie de fotografías tomadas desde diversos puntos de vista con un recubrimiento común. Las nuevas herramientas fotogramétricas identifican de forma automática puntos homólogos en distintas imágenes lo cual posibilita la orientación relativa de las mismas, es decir, permite determinar su posición espacial en el momento de la toma fotográfica.

A partir de la nube de puntos generada a partir de estas fotos orientadas, se crea una superficie mediante triangulación, que posteriormente se texturiza. Esta automatización en el proceso la convierte en una técnica atractiva en diversos campos de aplicación, como arqueología, patrimonio, arquitectura, planificación urbana, el estudio o simulación de desastres naturales o morfogénesis.

Además, una vez obtenido el modelo tridimensional, éste se puede ortoproyectar sobre un plano, lo cual permite obtener una ortoimagen sobre la cual se pueden digitalizar aquellos elementos de interés mediante cualquier herramienta de CAD. La necesidad de dotar a esta técnica de mayor competitividad en el mercado actual hace necesaria una revisión de las herramientas de software de bajo coste a nuestro alcance. (Souto-Vidal, Ortiz-Sanz, & Gil-Docampo, 2015)

2.9. TIPOS DE LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

FOTOGRAMETRÍA MONOSCÓPICA

Como punto de partida, consideraremos pues, una técnica monoscópica específicamente geométrica, basada en la aplicación de los principios de la perspectiva cónica a fotografías oblicuas obtenidas con cámaras convencionales. Se trata de un método gráfico a partir del cual se obtiene información métrica de uno de los planos que aparezcan en la fotografía, mediante la transformación de la perspectiva cónica en una proyección ortogonal. Almagro (2004), este método fue usado mayormente para medir paralelas y cambios de detalles en las fachadas, cuando no era posible el acceso para el relevamiento directo del bien, así también varios autores describen este método como una opción muy costosa, ya que en la época en la cual se empezó a usar, no existía un acercamiento a las cámaras fotográficas, así como también a encuadres dentro de ellas, que faciliten el proceso.

FOTOGRAMETRÍA ESTEREOSCÓPICA

La restitución estereoscópica se basa con la introducción de dos fotos (de dirección paralela) del mismo objeto con un aparato restituidor que permite visualizar estereoscópicamente dicho objeto en relieve, y que dispone de unos mecanismos para situar un índice sobre cualquier punto del objeto virtual, calculándose automáticamente su posición en el espacio.

Este sistema se utiliza fundamentalmente para realizar planos de curvas de nivel sobre fotografías aéreas Astorqui (2003), así como comenta el autor este método es usado más en la toma de fotos aéreas para perfiles topográficos, actualmente con ayuda de drones tripulados, haciendo que la toma de datos sea más eficiente y rápida, pero también se la puede utilizar para generar una nube de puntos, para calcular los cambios en las hendiduras de las fachadas, o detalles que se quiera virtualizar, todo esto para tener un registro aún más preciso del edificio solicitado.

2.9. LINEAMIENTOS PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO:

PLANIFICACIÓN DE LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS

Por un lado, y sin necesidad de planificar el recorrido, se trata de tomar el mayor número de fotografías posible del mismo. La idea es que así nos aseguraremos de poder seleccionar a posterior aquellas fotografías realmente necesarias para la restitución del edificio, y para que, en fases posteriores del trabajo poder estudiar partes del edificio con más detalle, incorporando fotografías no utilizadas. Astorqui (2003)

El otro método se basa en una planificación rigurosa de cada fotografía. Para ello se recomienda obtener el plano catastral de la zona y algunas fotografías previas. Con este material realizaremos un croquis en planta donde anotaremos los posibles obstáculos para fotografiar todas las fachadas, y así planificar la posición de cada una de las fotografías.

PROGRAMACIÓN DEL TRABAJO

En la mayor parte de los casos, se hace necesaria una subdivisión del trabajo de restitución de la geometría del edificio, bien debido al tamaño de éste, que obliga a partirlo en "trozos" que posteriormente se unirán

Para ello debemos seleccionar y agrupar las fotografías que se utilizarán en cada grupo de trabajo, y mediante croquis definir cada parcela de dibujo de tal forma que no se restituya dos veces lo mismo, a la vez que debemos asegurar la restitución de al menos 3 puntos comunes y no colineales entre grupos, para, posteriormente, poder unificar todos los trabajos parciales en un único modelo 3D y sistema de coordenadas. Astorqui (2003)

Esto se lo hace con la intención de tener un flujo de trabajo aún más cómodo, y que las personas encargadas de las fotografías, pueden encargarse de proveer de los datos necesarios, ya que ellas son las que estuvieron en el sitio, y saben las diferencias que pueden provocar la falta de detalles en las fotografías, o que alguna medida no esté muy cercana a la realidad.

EQUIPOS USADOS EN EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

Una amplia gama de equipos se puede emplear en esta técnica, ya que se pueden utilizar cámaras fotográficas de diversos modelos, marcas y con tecnologías muy distintas entre sí. Además, la posibilidad de emplear también las cámaras integradas en teléfonos móviles expande aún más las opciones de equipos disponibles para llevar a cabo este método., "...

para una reconstrucción basada en LIDAR necesitaríamos el equipamiento laser. En cambio, usando técnicas fotogramétricas solo son necesarias las fotos de una cámara digital y, en su caso, algún sistema de georreferenciación” Caro (2012), también es necesario mencionar que el resultado de esta técnica depende mucho de la capacidad para procesar la información, así como también la creación de una buena nube de puntos.

NUBE DE PUNTOS

En su definición más simple no son otra cosa que conjuntos de puntos en un sistema de coordenadas tridimensional. Otros enunciados entran más en detalle especificando que las nubes de puntos están compuestas por “miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x, y, z), que en sí mismas componen un modelo tridimensional de los objetos registrados, aunque como tal conjunto de puntos sin procesado posterior, son un modelo muy simplificado que opera sólo visualmente, pues se compone únicamente de entidades singulares de tipo punto” (Mañana-Borrazás, Paz, & Blanco-Rotea, 2008, p. 16)

PROCESO DE RESTITUCIÓN

Una vez realizado el trabajo de campo (toma de fotografías, croquis y mediciones necesarias), podemos comenzar el proceso de restitución en la oficina. siendo para ello necesaria una planificación previa, sobre todo si el trabajo se va a realizar en equipo. El proceso (independientemente del sistema elegido) es siempre el mismo: primero procederemos a "orientar" las fotografías, y, en consecuencia, definir el modelo matemático de transformación de coordenadas-fotografía a coordenadas X, Y, Z del modelo 3D, lo que se realiza de forma casi automática. Astorqui (2003)

Posteriormente, podemos restituir la geometría (puntos y líneas) del edificio y obtener los planos del mismo.

En resumen, las ventajas que se derivan de las nuevas tecnologías aplicadas a la técnica de la restitución fotogramétrica son:

- Toma de datos sencilla y rápida (no necesita de apoyo topográfico).
- Exactitud de todo lo registrado (a mayor número de fotos, mayor precisión).
- No es necesario volver al lugar para toma de datos complementaria.
- Trabajo de restitución sencillo y rápido.
- Proceso de restitución en tantas fases como se quiera (las fotografías digitalizadas no se deforman ni pierden calidad).
- Posibilidad de restituir el objeto con varias personas trabajando simultáneamente en el mismo objeto.
- Catalogación perfecta del objeto sin necesidad de restituirlo.

- Programas de restitución asequibles tanto económicamente como en su dificultad de utilización.

En el ámbito de la rehabilitación, es importante destacar la notable precisión de los planos obtenidos, los cuales permiten identificar fácilmente deformaciones en el edificio que de otra manera serían difíciles de detectar.

2.10. PROGRAMAS PARA PROCESAR DATOS DE LA FOTOGRAMETRÍA

Entre las opciones más populares (evitando aquellos orientados a la fotogrametría aérea) encontramos VisualSFM9, iWitness10, Esri CityEngine 201211, Autodesk's 123DCatch12, Photomodeller13, Photoscan14, MetaShape, etc.

Entrando al más popular de todos que es Photoscan de Agisoft que ofrece una solución integral de todo el flujo de trabajo para generar el modelo: edición fotos: desde la que se puede seleccionar las zonas inservibles para que no las tenga en cuenta el algoritmo.

- detección de puntos de control: a partir de las fotos se localizan los pares y puntos comunes.
- generación de nube de puntos: a partir de puntos de control entre los pares de fotos se genera una nube de puntos 3D donde encajar las fotos.
- generación de malla: que nos proporciona una red de triángulos que modela el objeto/espacio.
- edición de malla: para eliminar las imperfecciones del modelo.
- generación de textura: que proporciona un gran realismo al modelo a partir de las tomas fotográficas.
- exportación a formatos estándar: en este apartado nos interesa especialmente el formato U3D ya que nos va a permitir incrustar el modelo en un documento PDF.

2.11. PROCESOS PARA REALIZAR UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO.

2.11.1. CASO DE ESTUDIO POR JOSÉ L. CARO: FUENTE DE CALLE LOS CRISTOS (MÁLAGA)

La fuente de la calle de Los Cristos corresponde al entramado del Acueducto de San Telmo (Davo-Díaz, 1986). Obra promovida por el obispo Molina Lario y desarrollada por el arquitecto– director Martín de Aldehuela desde el año 1.782.

Fase 1: Toma fotográfica. La toma fotográfica se ha realizado con una Canon G12. Se ha realizado un total de 81 fotografías (figura 3) que, a pesar de no disponer de todas las perspectivas17, ofrecen un resultado con suficiente volumen.

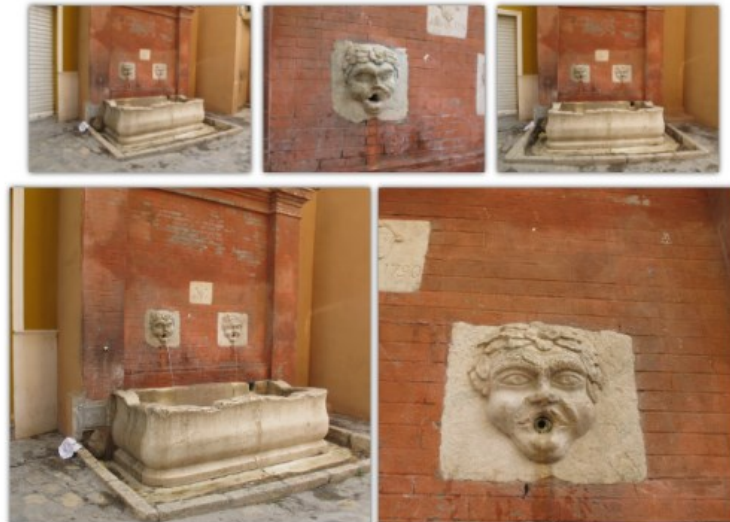


Figura 3: Objeto a levantar

Fuente: José L. Caro

Fase 2: Cálculo de cámaras y generación de nube de puntos. En esta fase, se ha realizado una edición previa de las fotografías. Se ha indicado en el sistema, mediante una máscara, qué zonas son las que se usarán para ejecutar el algoritmo de reconocimiento de patrones. Este algoritmo de localización de patrones, realiza una búsqueda de puntos singulares que sean reconocibles en al menos 2 fotografías.

Como resultado se genera una nube de cámaras (una por fotografía) obteniéndose una tasa aceptación también del 100 %. Esta nube de cámaras refleja la posición relativa de las cámaras en el espacio tal como se observa en la figura # y son proyección inversa de las intersecciones de los puntos que se han detectado por pares.

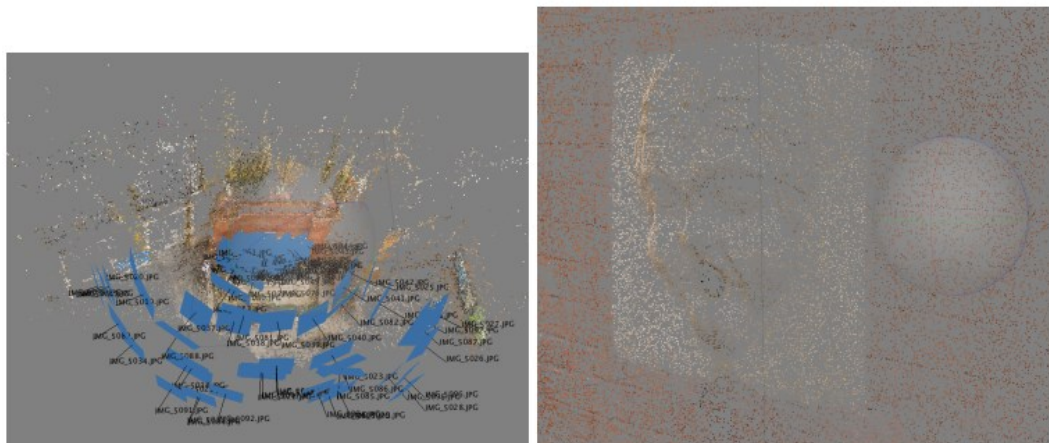


Figura 4: Nube de puntos

Fuente: José L. Caro

Fase 3. Generación de malla. A partir de la posición de las cámaras y la nube de puntos se generan las correspondientes mallas. Las mallas poseen proporciones relativas a los elementos a modelar tal y como se refleja en la figura 5. Las mallas generadas se dispusieron con un total de 200.000 polígonos. Para la fuente completa se generaron finalmente 97.346 vértices y para el detalle un total de 100.441 vértices. Hemos de destacar en esta fase que el

modelo de malla de la fuente completa tuvo que ser editado para eliminar elementos que desproporcionaban el modelo y su malla cerrada para una mejor generación de la textura; de ahí las variaciones en lo referente a número de vértices.



Figura 5: Malla creada después del procesado de fotografías
Fuente: José L. Caro

Fase 4. Generación de la textura. Esta fase genera, a partir de las tomas fotográficas, las correspondientes texturas adaptadas a la malla 3D (4096x4096 puntos). Con esta última fase obtenemos el modelo final que puede ser exportado a diferentes sistemas estándar para su tratamiento.

2.11.2. PROCESO DE TRABAJO POR JAIME SANTA CRUZ ASTORQUI

EL autor da a conocer algunas normas básicas para la toma de fotografías, enfocado en la restitución por fotogrametría.

- TODOS los puntos que se desee restituir deberán estar en -al menos- dos fotografías consecutivas, para (como ya se explicó) que sea posible su restitución.
- El ángulo formado entre dos fotografías consecutivas deberá aproximarse lo máximo posible a 90 o para obtener la mejor precisión de intersección.
- Hay que poner especial cuidado en evitar los obstáculos que interfieran la fotografía, como son árboles, coches, farolas, etc.
- También es decisiva la calidad de la fotografía, es decir, el contraste, nitidez y definición de la imagen obtenida, para permitir identificar y marcar con suficiente precisión los puntos que se van a restituir.

Después de tomar las fotografías viene la siguiente acción que constituye el procesamiento de datos y la interposición de las fotografías (esta acción se la hace de forma automática ya en los programas citados anteriormente) y se generan unos puntos por las intersecciones del modelo.

Si se trabaja en equipo, el autor pone mucho énfasis en la planificación de los trabajos que cada integrante va a realizar, eso incluye si se usa el modelado 3D directamente del programa de restitución para generar los planos, fachadas cortes, o se lo toma como referencia de medidas para el dibujo desde cero de los datos obtenido. (cabe destacar que esta metodología

se la ha expuesto en el año 2003, y dado los años 2024, algunas partes han quedado rezagadas)

2.11.3. PROCESO DE TRABAJO POR ANAS WAJJARI

El primer paso q propone el autor es la planificación del proyecto, el cual divide en 3 partes:

- Definición del proyecto
- Planificación de la toma de datos
- Selección de cámara (Canon EOS 2000D)

El segundo paso es la adquisición de datos (levantamiento de información) el cuál divide en:

- Calibración de cámara
- Adquisición de imágenes
- Adquisición de apoyo geométrico

Por último, el trabajo de oficina, que puede ser llamado también procesamiento de datos, y lo divide en:

- Procesado de imágenes
- Orientación de imágenes
- Reconstrucción 3D
- Obtención productos finales

Cabe destacar que el autor no solamente usa cámaras fotográficas en su levantamiento de información, además emplea el uso de escáner láser para una mayor precisión. Wajjari (2023)

2.12. CONCLUSIONES

Como conclusión a este apartado, podemos ver que la metodología usada por los 3 autores, es muy similar, algunos aumentando un paso más que otro, pero en general mantienen una misma línea de actuación.

Cabe aclarar que los equipos usados por cada uno, son diferentes, así como también, el programa en dónde procesan las imágenes para obtener el modelado digital.

2.13. CONSERVACIÓN DIGITAL

EL MODELO DIGITAL

En el área de la biología, los investigadores, recurren constantemente a la construcción de modelos experimentales, a fin de poder estudiar los sistemas naturales y de este modo simular su comportamiento. De acuerdo con su definición, “un modelo es una representación de un sistema complejo que se ha simplificado de diferentes maneras”. Dartnell (2012)

En general, mediante su construcción permite analizar, describir y/o simular fenómenos o procesos que se están investigando. Con los avances de la ciencia, cada vez son más los métodos, las técnicas y las teorías que han favorecido el acercamiento a los distintos tipos de modelos. La incorporación de la informática durante el siglo XX, ha permitido que estos pudieran ser complejizados, incluso bajo un enfoque multidisciplinario.

Extrapolando estos conceptos hacia el campo de la conservación del patrimonio arquitectónico, y haciendo uso de la tecnología digital, es posible entonces la construcción de modelos digitales de sitios y lugares donde a través de la destrucción, se han perdido los límites que antes definían el espacio, “Quedando solo los materiales, importantes para la investigación arqueológica y por su relación con el pasado, pero incapaces de transmitir el espacio arquitectónico original” Fernandez (2002)

El modelado digital suple estas falencias, a partir de una reconstrucción espacial en un ámbito diferente del real, de un modo rápido y controlable, lo transforma en un medio flexible, con una gran capacidad de interpretación, permitiendo desarrollar y testear hipótesis, las cuales, podrán ser reelaboradas en todo momento, a partir de datos surgidos de investigaciones posteriores.

Si bien los sitios patrimoniales son los que nos ligamos con el pasado, serán los modelos digitales los encargados de ayudarnos “... a comprender las cualidades arquitectónicas y urbanísticas del edificio que existió, pudiendo comparar el lugar, los restos y la representación virtual en un solo proceso” Fernandez (2002)

2.14. RECREACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Lo esencial en la construcción de cualquier modelo digital radica en el modo más eficiente de simplificar el problema planteado, extrayendo las características esenciales del sistema, dejando de lado aquellos elementos que pudieran confundir el análisis.

Para que esto suceda, antes será necesario indicarle a la máquina lo que debe hacer, “no hay magia en la informática”. Según Brady Peters lo importante en un modelo es “...entender cuáles son los parámetros de un proyecto... y descomponerlos en las reglas definidas” Freiburger (2007)

Para que un modelo tenga éxito, este deberá tener una estructura lo suficientemente flexible, que permita ser aplicado, pudiendo modificarse en todo momento a fin de adaptarse a todas las escalas posibles del proyecto. Será necesario en esta tarea, definir las reglas, ese “conjunto de pasos fijados de antemano... con el fin de alcanzar conocimientos válidos mediante instrumentos confiables”.

De acuerdo con lo anterior, se sugiere como lineamientos generales necesarios a seguir, para la construcción científica, de un modelo virtual de un espacio arquitectónico patrimonial, las siguientes etapas:

a.- Investigación histórica. La construcción comienza con una exhaustiva investigación de los antecedentes planimétrico bibliográficos del sitio, consultando archivos y bibliotecas, a fin de poder obtener una documentación cartográfica/formal lo más desarrollada posible, a partir de la cual sea viable elaborar el modelo digital.

b.- Relevamiento del sitio. Paralelamente a la etapa anterior, se realizará en el área un levantamiento científico de datos (tanto fotográfico como dimensional), utilizando diversos instrumentos (convencionales, ópticos y/o georreferenciales).

c.- Clasificación y análisis. Dado el volumen y la diversidad de los datos que se obtendrán en las etapas anteriores, es fundamental el procesamiento y clasificación de estos. Para ello será prioritario establecer un preciso criterio de codificación de la información.

d.- Modelado tridimensional. Con la información obtenida, se procede a la elaboración de un modelo en tres dimensiones que puedan ser visualizados, manipulados, y modificados en todo momento, pudiéndose elaborar diferentes versiones del mismo.

e.- Variables cualitativas. Será primordial entender, que “no modelamos ruinas sino clones relativos a épocas históricas” Fernandez (2002), razón por la cual, se buscará introducir en el modelo, una serie de variables cualitativas, que posibiliten la reconstrucción del “imaginario urbano”, a partir de la elaboración de un escenario temporal científicamente conocido: “...constituyen(do) el último eslabón abordable en el proceso histórico de acercamiento a la representación de la realidad” Fernandez (2002)

2.15. CARTA SOBRE LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO DIGITAL (2003)

El constante crecimiento de la Tecnología y la forma de guardar de la misma va cambiando a pasos agigantados, desde el uso de Casets, a Discos, luego a USB y en la actualidad a Nubes Digitales, hace que la conservación de información también llegue a estar obsoleta por la capacidad de almacenamiento y puede llegar a perderse por esta problemática ya durante la 32ª reunión de la Conferencia General de la UNESCO, celebrada en París, entre el 29 de septiembre y 17 de octubre de 2003, se habló de esta problemática que vincula a otros principios posteriores.

De esta reunión derivará la redacción de la Carta de la Preservación del Patrimonio Digital, como uno más de los apartados de las más 200 páginas de las Actas (UNESCO, 2003, p. 79) De ella, derivarán una serie de líneas de actuación enfocadas a paliar la pérdida de este tipo de formatos digitales y que fueron recogidas en los artículos 6 al 9:

- Elaborar estrategias y políticas que permitan preservar este tipo de patrimonio.
- La necesidad de seleccionar los elementos digitales que verdaderamente deben conservarse. En este punto, queda patente que no se establece un corpus de actuación que homogenice y universalice los principios que regirán esta selección.
Tal y como se indica en el documento, estos podrán variar dependiendo de cada país, aunque habrán de primarse factores como su significado y valor duraderos en

términos culturales. A día de hoy, este sigue siendo uno de los principales problemas a los que se enfrenta la gestión del patrimonio digital.

- Obviamente, dada la importancia del patrimonio digital, se hace necesario protegerlo y preservarlo. Para ello se usarán los mecanismos de tipo jurídico e institucional que sean necesarios. Como ocurre en los demás documentos que hemos estado viendo hasta ahora, durante la redacción de estas recomendaciones se hará especial ahínco en que todo este patrimonio tenga una utilidad social. Es decir, que revierta en beneficio de la propia sociedad.

2.16. CARTA DE LONDRES PARA LA VISUALIZACIÓN COMPUTARIZADA DEL PATRIMONIO CULTURAL (2009)

La primera versión de la Carta de Londres fue inicialmente concebida tras la organización del Simposio Making 3D Visual Research Outcomes Transparent (23-24 febrero de 2006). Finalizado el simposio, un amplio grupo de especialistas en el ámbito de la Arqueología Virtual, procedentes de diversas Universidades, redactaron una carta en la que se detallaban algunos principios que ordenen el empleo de estas nuevas herramientas informáticas.

Años más tarde, en 2009, en un intento de actualización de la misma, se redacta una nueva versión de la misma. Con esto en mente, se exploran los principios presentados en esta carta.

- **PRINCIPIO DE INTERDISCIPLINARIEDAD**

A pesar de ser una realidad cada vez más asentada en la disciplina arqueológica en general, la Carta de Londres insiste en la necesidad de configurar equipos de trabajo e investigación multidisciplinares.

Grupos de trabajo que intercambien ideas y que puedan abordar así, de forma mucho más rigurosa, trabajos ligados al patrimonio digital.

- **PRINCIPIO DE FINALIDAD**

Es primordial generar resultados que estén adaptados a finalidades específicas. Cada hipótesis de trabajo debe ajustarse lo máximo posible a la realidad. No es lo mismo producir material digital que sirva de apoyo a un arqueólogo para interpretar la realidad arqueológica, que elaborar modelos de visualización destinados a fines divulgativos.

En efecto, la rigurosidad histórica deberá ser una constante, pero los resultados deberán de ser más comprensibles y atractivos en el caso de estar destinados a un público no especializado.

- **PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD**

Estas nuevas herramientas y procedimientos informáticos se conciben como elementos complementarios y nunca sustitutivos de aquellos instrumentos de gestión patrimonial más tradicionales.

La visualización computarizada resulta útil para optimizar intervenciones de conservación y protección del patrimonio, pero aún no está lo suficientemente asentada como para sustituir las metodologías clásicas.

- **PRINCIPIO DE AUTENTICIDAD**

Los expertos en Arqueología Virtual, debe ser conscientes de que su disciplina no es una ciencia exacta e indiscutible, sino profundamente relativa. Una visualización computarizada, no es una representación exacta del pasado de un elemento patrimonial, sino una reconstrucción hipotética de este.

- **PRINCIPIO DE RIGUROSIDAD HISTÓRICA**

Relacionado con el principio anterior, se deriva el hecho de que cualquier producto de la visualización computarizada que trate de reconstruir virtualmente el pasado, debe sustentarse en una sólida documentación arqueológica. Solo de esta forma, conseguimos no perjudicar la credibilidad del sitio o el objeto arqueológico reconstruido.

Para ello, es de capital importancia además recrear todas las fases que se han registrado durante la intervención arqueológica, humanizar la reconstrucción y reintegrar de forma precisa no sólo el yacimiento sino el paisaje que lo envuelve

- **PRINCIPIO DE EFICIENCIA**

Cualquier proyecto que utilice este tipo de medios de visualización, debe ser consciente de que, en ocasiones, estos implican un mantenimiento económico y tecnológico que deberá ser previsto en aras de evitar su obsolescencia. De esta forma, la incorporación de este tipo y mecanismo digitales debe ser siempre sostenible.

- **PRINCIPIO DE TRANSPARENCIA CIENTÍFICA**

Se hace imprescindible que los trabajos de esta índole aporten una información rigurosa y totalmente transparente sobre la metodología empleada, de forma que los resultados puedan ser comprendidos en su totalidad. Esto es lo que se denomina como “paradatos”.

2.17. LOS PRINCIPIOS DE SEVILLA. PRINCIPIOS INTERNACIONALES DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL (2011)

Estos principios nacen en la Sociedad Española de la Arqueología Virtual (SEAV) y del Forum Internacional de Arqueología Virtual (FIAV) pero con una presunción de internacionalidad clara.

Estos principios se complementan a la Carta de Londres de 2009, en donde se añaden definiciones precisas de algunos términos ligados al campo de la arqueología Virtual. Tal como lo plantea Ruiz (2020):

- **Arqueología Virtual:** “es la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico”
- **Patrimonio arqueológico:** “es el conjunto de elementos materiales, tanto muebles como inmuebles, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en la tierra o en el agua, que, junto con su contexto, que será considerado también como formante del patrimonio arqueológico, sirven como fuente histórica para el conocimiento del pasado de la humanidad.
Estos elementos, que fueron o han sido abandonados por las culturas que los fabricaron, tienen como sello distintivo el poder ser estudiados, recuperados o localizados usando la metodología arqueológica como método principal de investigación, cuyas técnicas principales son la excavación y la prospección, sin menoscabo de la posibilidad de usar otros métodos complementarios para su conocimiento”.
- **Gestión integral:** “comprende las labores de inventario, prospección, excavación, documentación, investigación, mantenimiento, conservación, preservación, restitución, interpretación, presentación, acceso y uso público de los restos materiales del pasado”.
- **Restauración virtual:** “comprende la reordenación, a partir de un modelo virtual, de los restos materiales existentes con objeto de recuperar visualmente lo que existió en algún momento anterior al presente. La restauración virtual comprende por tanto la anástilosis virtual”.
- **Anástilosis virtual:** “recomposición de las partes existentes pero desmembradas en un modelo virtual”.
- **Reconstrucción virtual:** “comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica”.
- **Recreación virtual:** “comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, del pasado en un momento determinado de un sitio arqueológico, incluyendo cultura material (patrimonio mueble e inmueble), entorno, paisaje, usos, y en general significación cultural”.

Esta parte acerca de los principios de la conservación digital explicados anteriormente funciona como introducción para el trabajo a realizar en esta tesis, y todo lo que se va a abordar en el trabajo práctico para llegar a un producto que respete al patrimonio y se convierte en un registro digital para el mismo.

Ahora bien, se expondrá un cuadro resumen acerca de las consideraciones y el proceso usado por los 3 autores mencionados anteriormente.

AUTORES	JOSÉ L. CARO	JAIME CRUZ ASTORQUI	ANAS WAJJARI
CONSIDERACIONES	Debe existir al menos dos tomas de diferentes ángulos de un mismo punto.	El ángulo formado entre dos fotografías consecutivas deberá aproximarse lo máximo posible a 90°	Se debe planificar la toma de fotografías, para llegar a un resultado aún más preciso.
	Editar las fotografías, para menorar el procesamiento de las imágenes.	Evitar obstáculos que interfieran con las fotografías	Depurar los puntos excedentes de la nube de puntos para facilitar los siguientes procesos.
PROCESO	Fase 1. Toma de fotografías	1. Toma de fotografías	1. Planificación del Proyecto
	Fase 2. Cálculo de cámaras y creación de nube de puntos.	2. Procesamiento de datos y la interposición de las fotografías	2. Levantamiento de información (toma de fotografías)
	Fase 3. Generación de Malla.	3. Orientación de las fotografías	3. Trabajo de Oficina (Procesamiento de imágenes)
	Fase 4. Generación de textura.	4. Restitución de la Geometría	
EQUIPO	Cámara Fotográfica: Canon G12	Cámara Fotográfica	Cámara Fotográfica: EOS 2000D
			GPS

Figura 6: Cuadro Resumen

Fuente: Elaboración Propia

2.18. PROCESO DE TRABAJO POR DAVID SENOVILLA RAMOS:

Para el primer proceso efectuado por David, el propone la localización del objeto a levantar, en este caso “Trigueros del Valle”, ubicado en la provincia de Valladolid, la segunda, es su contexto histórico, en dónde hace énfasis en la construcción y tipología de las cuevas encontradas, en tercer lugar, hace un análisis rápido del estado actual de la zona.

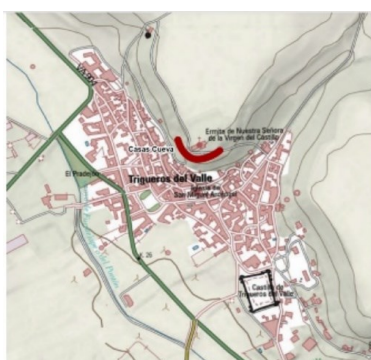


Figura 8: Ubicación de la Ermita y cuevas
Fuente: David Senovilla Ramos



Figura 7: Estado actual de las cuevas
Fuente: David Senovilla Ramos

Ahora ya empezamos con la toma de datos, en este caso el autor lo realiza en 3 fechas distintas:

31 enero: Escaneado del entorno, así como el interior de las cuevas y la ermita con escáneres laser estáticos (equipo de medición láser Trimble X7) y que en total se realizaron 58 escaneos, que posteriormente fueron alineados en siguientes fases en oficina.

25 abril: el vuelo del dron (DJI Matrice 300 RTK) para levantamiento fotogramétrico de la ortofoto del entorno, y el vuelo del dron (DJI Phantom 4 Pro) para levantamiento fotogramétrico del exterior de la Ermita, dónde se realizó 3 vuelos alrededor del objeto a diferentes alturas, y fotografías de detalles, para una mejor recolección de datos.

21 mayo: un día idóneo, con un cielo nublado en dónde se tomaron fotografías de todas las fachadas de las cuevas con un smartphone (Xiaomi Mi5s), así como de su entorno inmediato con una cámara (Panasonic Lumix TZ10) para recrear el entorno del pueblo.

Cabe aclarar que el autor usa una combinación de técnicas, no solo la fotogrametría para la creación de los modelos 3D, más específicamente del interior de las cuevas. El programa utilizado por el autor para la creación de nubes de puntos, mallas y texturizado de las fotografías realizadas es Metashape de Agisoft, como se muestra a continuación en las siguientes imágenes.

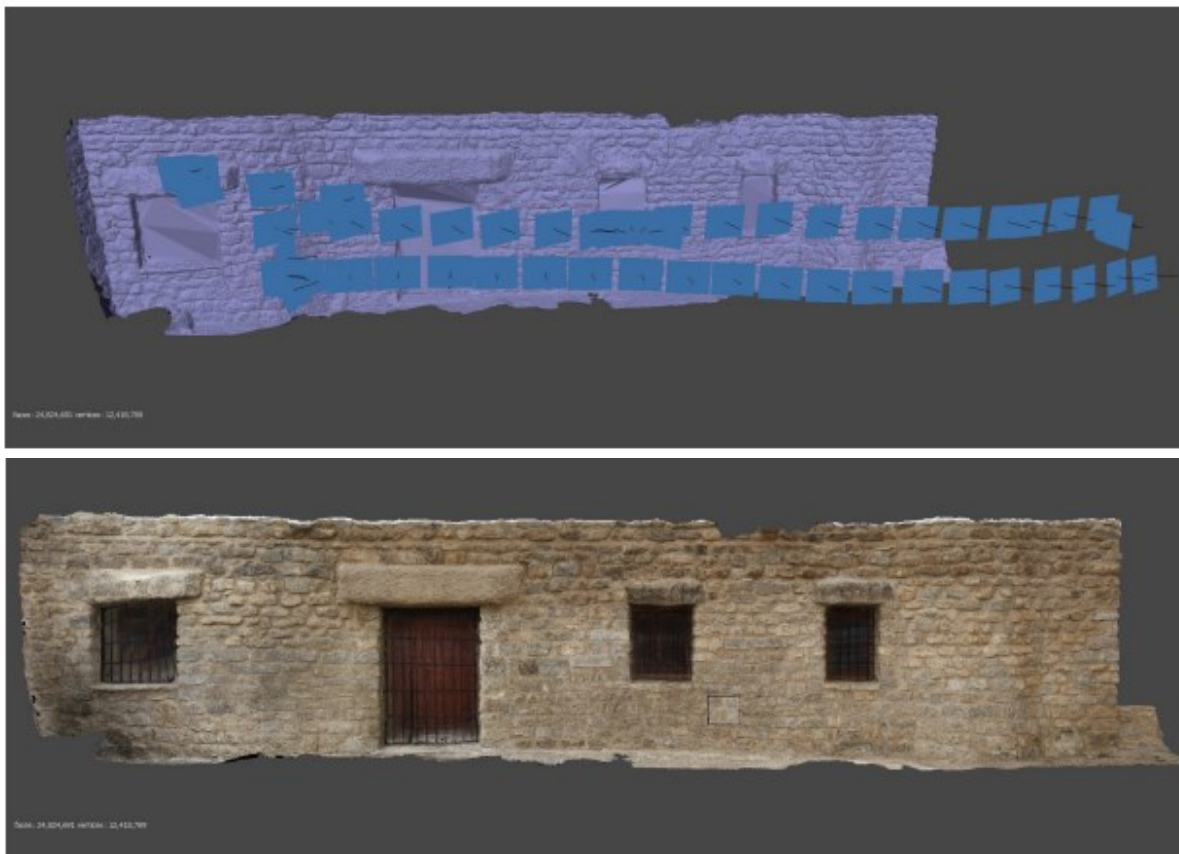


Figura 9: Modelos obtenidos por el autor

Fuente: David Senovilla Ramos

A partir de este punto, ya solo son consideraciones a tomar en cuenta en el trabajo de oficina, con el programa anteriormente mencionado para la creación de varias fachadas de las cuevas.

En otro apartado el autor menciona dos puntos importantes a tomar en cuenta para exportar los modelos hacia un nuevo programa, y generar el recorrido virtual que propone, y ellos son:

RETOPOLOGÍA: es menorar la cantidad de polígonos del modelo obtenido gracias a la fotogrametría, para optimizar su utilización en otros programas, en otras palabras, pasar de un objeto HighPoly a uno LowPoly, sin perder la calidad de las texturas, pero con su malla mucho más trabajada y desprovista de elementos innecesarios.

NANITE: hace referencia a una nueva función que posee Unreal Engine 5 en adelante, con la cuál es posible trabajar con modelos de más de 1 millón de polígonos sin el peligro de quedarse sin recursos en la computadora, y así optimizar el trabajo en el mismo. Para ello es necesario exportar en formato. FBX con texturas UDIMS, para no perder calidad en los modelos, lo que puede provocar problemas a la hora de exportar los modelos realizados con la fotogrametría. Senovilla (2022)

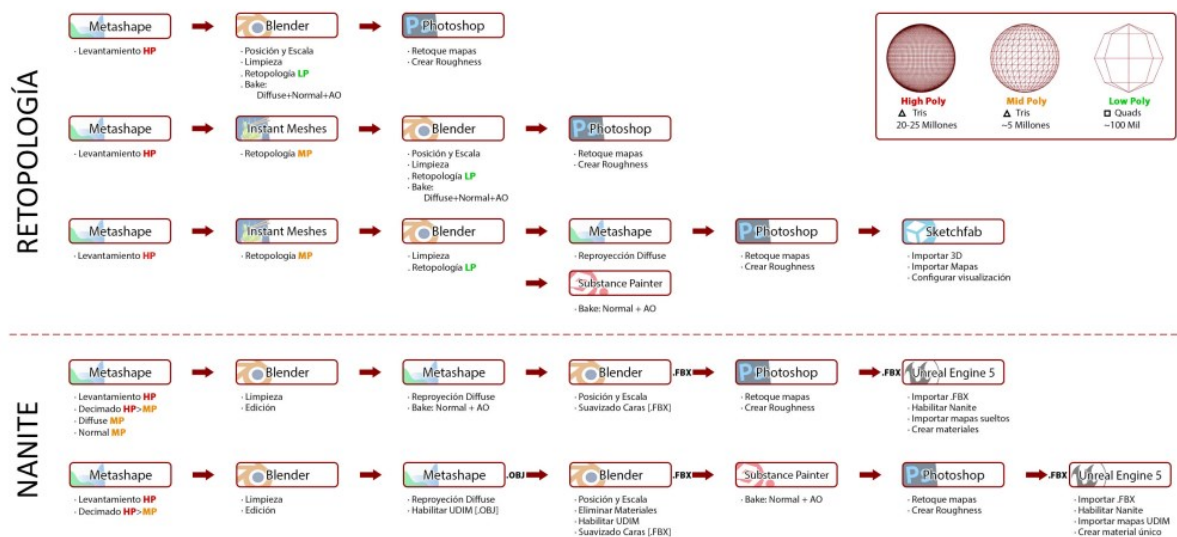


Figura 10: Cuadro resumen de los procesos usados por el autor para los modelos 3D obtenidos
Fuente: David Senovilla Ramos

2.19. PROCESO DE TRABAJO POR CARMEN SANTOS MAESTRE:

En este caso la autora proporciona un cuadro resumen de su proceso, del cual se dará un pequeño resumen de cada paso.

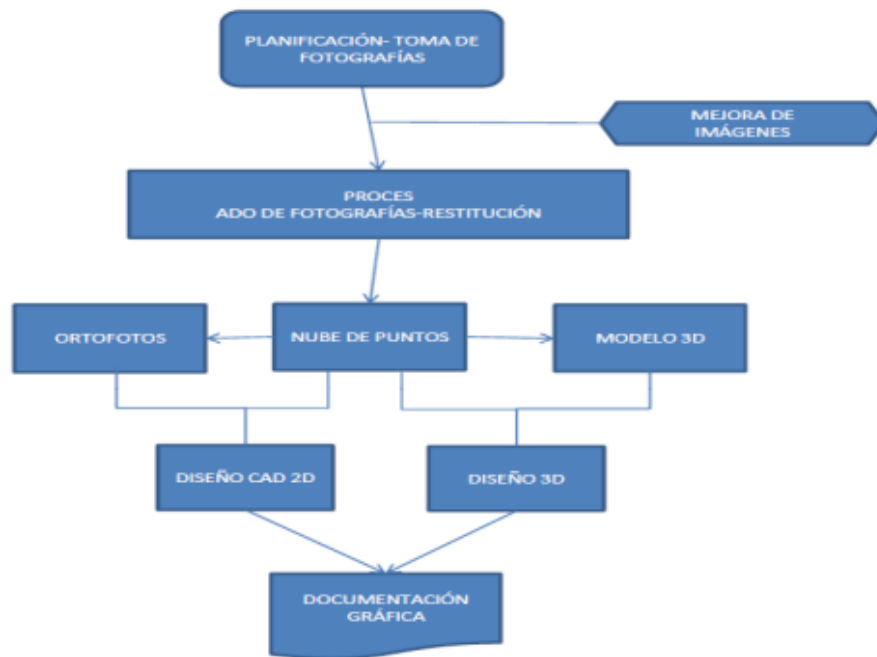


Figura 11: Flujo de trabajo, metodología usada por la autora

Fuente: Carmen Santos Maestre

Planificación, toma de datos: “la toma de fotografías se ha realizado sobre trípode, con una exposición de f11, ISO 100 y una distancia focal de 14 mm. Todas las fotografías se toman en modo manual y enfoque fijo”. Santos (2015)

Mejora de Imágenes: como lo dice el mismo paso, se debe optimizar las fotografías tomadas para aumentar su nitidez, menorar sombras problemáticas y ajustar el color, todos estos cambios a la totalidad de las imágenes obtenidas. (también se descartan las fotos que tengan un desenfoque o nitidez demasiado bajo)

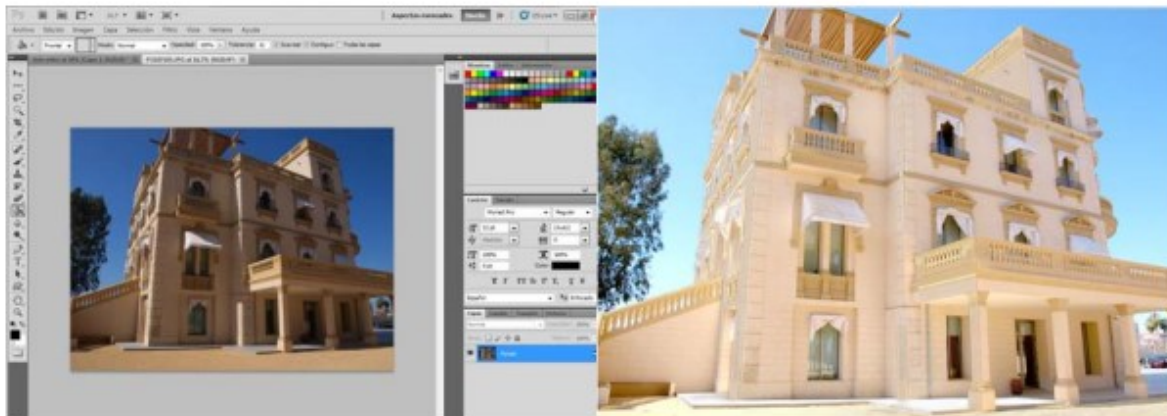


Figura 12: Antes y después de la mejora de imágenes

Fuente: Carmen Santos Maestre

Procesado de fotografías, restitución: este paso viene muy ligado con el anterior, ya que pueden complementarse el uno del otro, ya que es necesario el proceso anterior para la correcta restitución de las fotos en el programa utilizado, en este caso Metashape de Agisoft, para que el proceso de alineación de imágenes sea mucho más preciso.

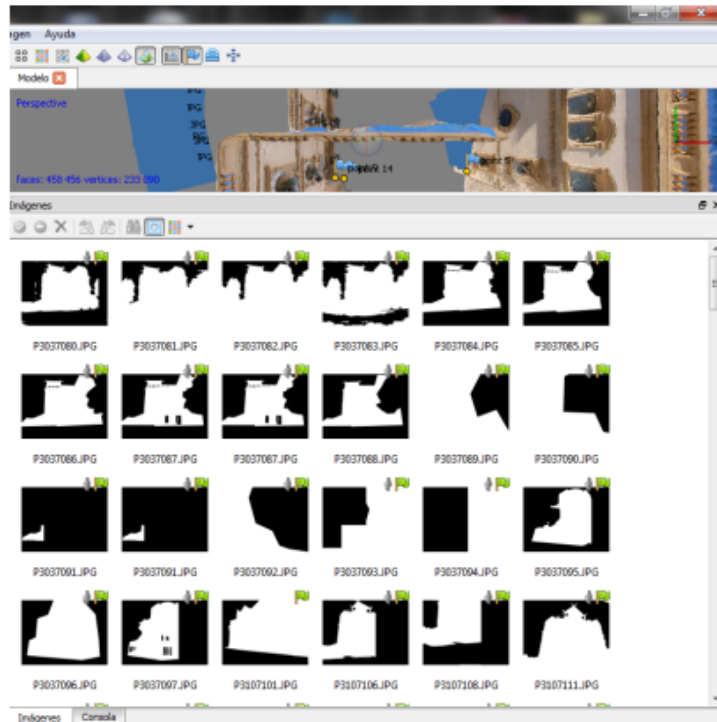


Figura 13: Vista de máscaras utilizadas por el programa para la restitución

Fuente: Carmen Santos Maestre

Nube de puntos: Es un conjunto de datos tridimensionales que representa la superficie de un objeto o de un espacio mediante una colección de puntos en el espacio, en algunos programas se diferencian en dos, nube de puntos dispersa y nube de puntos densa, como se muestra a continuación:

Nº FOTOGRAFÍAS	11	24	24
NUBE DE PUNTOS DISPERSA			
PRECISION ORIENTACIÓN	MEDIA	MEDIA	ALTA
PUNTOS NUBE DISPERSA	≈2.000 puntos	≈7.000 puntos	≈20.000 puntos
NUBE DE PUNTOS DENSA			
CALIDAD RECONSTRUCCIÓN	MEDIA	MEDIA	MEDIA
PUNTOS NUBE DENSA	≈600.000 puntos	≈1.200.000 puntos	≈1.240.000 puntos

Figura 14: Diferentes modelos de acuerdo a la cantidad de puntos en la nube de puntos

Fuente: Carmen Santos Maestre

En este paso es dónde hay dos rutas distintas, tanto para la creación de dibujos 2D, como de modelos 3D, que son importantes para la documentación final del proyecto, así que empezaremos con los datos en 2D.

Ortofoto: Imagen rectificada para ofrecer una proyección ortogonal, sin errores de perspectiva, proporción real y libre de errores, deformaciones.

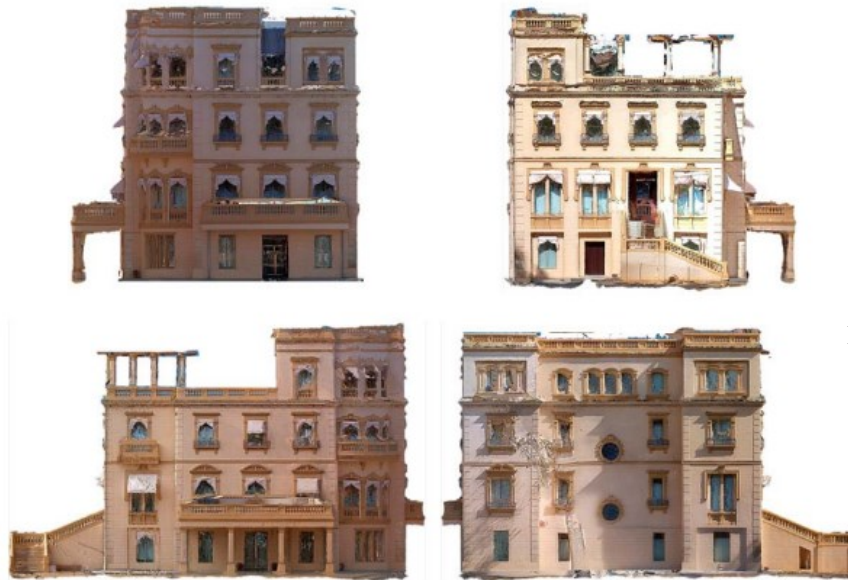


Figura 15: Ortofotos de las 4 fachadas del edificio

Fuente: Carmen Santos Maestre

Diseño Cad 2D: según la autora Santos Maestre C. (2015), “procedemos a insertar las ortofotos en el programa y lo que vamos a hacer es ir delineando siguiendo las aristas en verdadera magnitud proporcionadas por las ortofotos.”

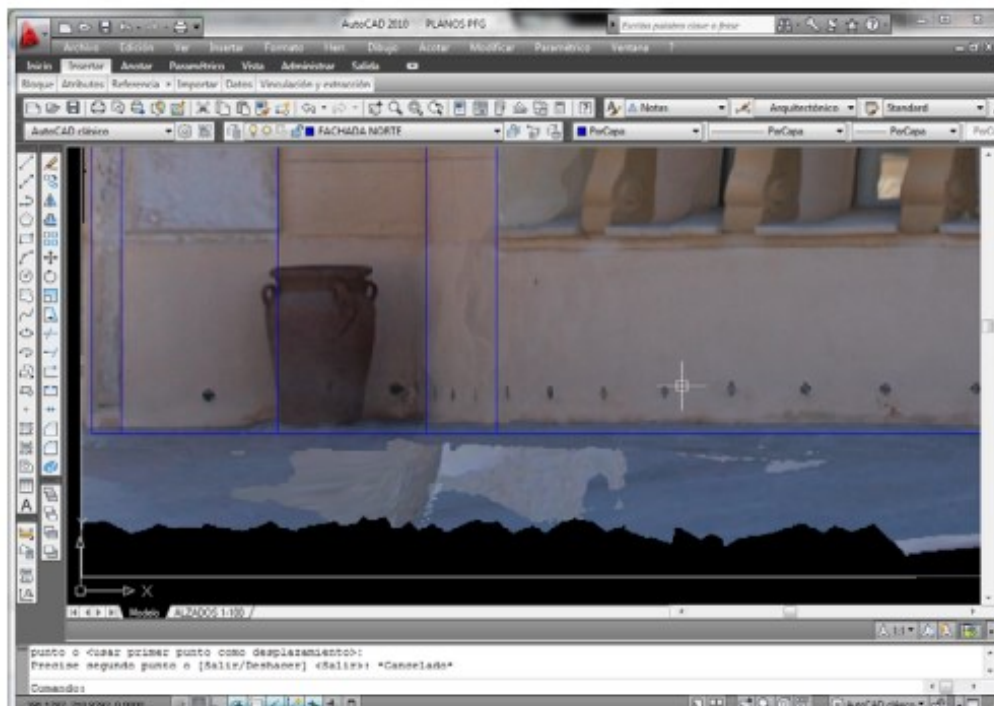


Figura 16: Redibujo por encima de ortofotos en programa AutoCad

Fuente: Carmen Santos Maestre

Ahora se mostrarán los pasos para la creación del modelo 3D y su representación.

Modelo 3D (Diseño 3D): este paso puede ser automático, ya que, con la creación de la nube de puntos, solo se selecciona en el programa la opción de texturizar, para crear una malla texturizada, que puede ser exportada en diferentes formatos, lo que hay que tener en cuenta, es si las texturas se exportar de manera correcta o no.

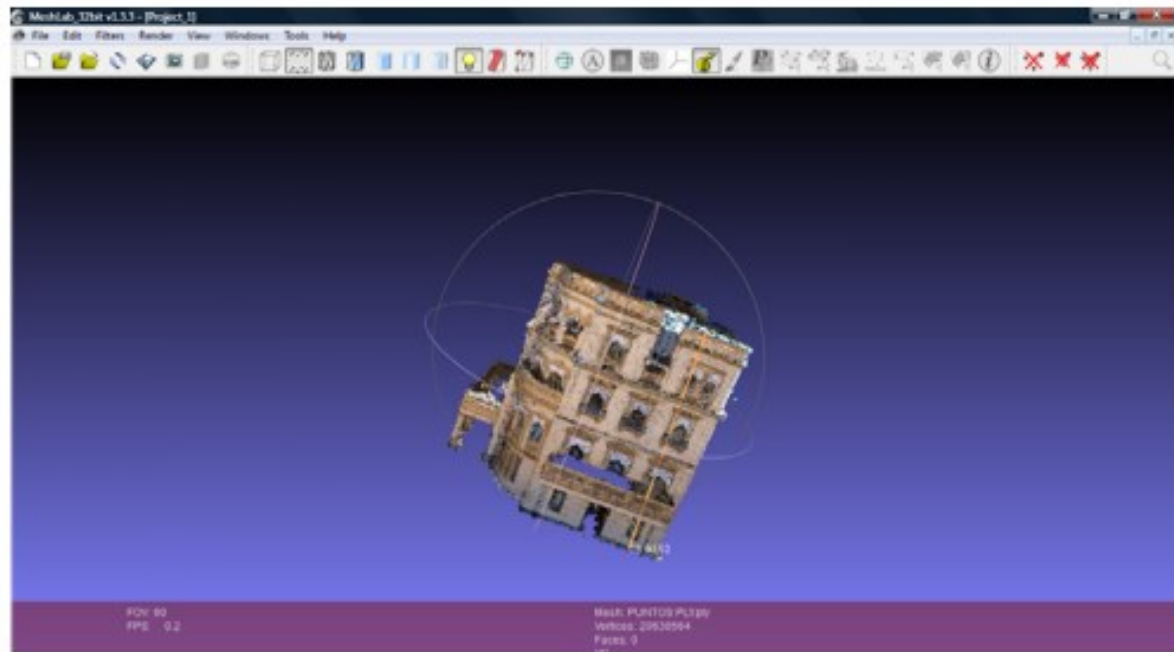


Figura 17: Visualización y medición con software Opensource Meshlab

Fuente: Carmen Santos Maestre

Documentación gráfica: como paso final se recopilan todas las ortofotos, planos creados y renders obtenidos en un solo lugar para proporcionar toda la información necesaria del edificio levantado en un solo documento ya sea digital o físico. Santos (2015)

2.20. COMPARACIÓN DE LINEAMIENTOS

Como punto final se mostrará un cuadro comparativo de lineamientos para la preservación del patrimonio, en base a las conclusiones que han llegado los diferentes autores en base de utilizar la fotogrametría.

AUTORES	DAVID SENOVILLA RAMOS	CARMEN SANTOS MAESTRE	JOSÉ L. CARO	JAIME SANTA CRUZ ASTORQUI
LINEAMIENTOS PARA LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO	Los datos obtenidos pueden ser usados para la reconstrucción de zonas destruidas.	Las fotografías pueden ser archivadas para su uso futuro y se pueden utilizar para la supervisión o para la generación de datos.	La inclusión de documentos accesibles a través de la web e incluso adaptables a sistemas de realidad aumentada
	Es idóneo realizar la toma de datos en un día completamente nublado y con claridad para evitar sombras arrojadas.	Es una técnica no intrusiva, solo se necesitan fotos para tomar medidas	Reducción drástica del tiempo destinado a la toma de datos in situ
	Hay la posibilidad de interacción con los elementos del entorno, en una visita virtual.	Se puede alcanzar un alto nivel de precisión	Esta técnica adicionalmente genera texturas muy reales a partir de fotografías, lo que ayuda a la documentación del patrimonio	En el campo de la rehabilitación y la conservación arquitectónicas este sistema es especialmente adecuado ya que es muy preciso (errores<112000)
	Menorar el costo de levantamiento gracias a las alternativas gratuitas y equipos propios	El uso de datos digital garantiza una total flexibilidad para futuros cambios o intervenciones	Se puede elaborar folletos electrónicos en formatos que todas las personas pueden visualizar	La ventaja principal reside en su sencillez y en la práctica, la ausencia de errores de interpretación

Figura 18: Cuadro comparativo de lineamientos

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

La investigación tendrá un enfoque metodológico mixto, ya que se van a analizar datos a partir de fotografías tomadas al caso de estudio, con ello construir o dibujar los planos pertinentes y el modelo 3D del objeto analizado, todo esto en base a datos bibliográficos, y de campo. Con esto en mente se proponen diferentes instrumentos y métodos en base a cada uno de los objetivos planteados, los cuáles se detallan a continuación:

El primer objetivo es: “Investigar la bibliografía pertinente sobre las pautas o lineamientos del levantamiento arquitectónico patrimonial, sus métodos y cuáles son usados en construcciones en estado de fragilidad.”.

- Instrumento: Acceso a base de datos académicas, como son Google Scholar, EBSCO, SAGE, SCIELO, DIALNET, SIDALC, entre otros.
- Técnica: Revisión bibliográfica en las bases de datos e investigación documental, en sitios de videos web.
- Método: Búsqueda de palabras claves específicas, para expresar conceptos relacionados al tema de estudio.

El segundo objetivo es: “Analizar los procesos necesarios en el levantamiento fotogramétrico y su uso en la construcción de modelos 3D, para la conservación digital de los bienes patrimoniales en base a la información bibliográfica consultada”.

- Instrumento: Acceso a base de datos académicas, como son Google Scholar, EBSCO, SAGE, SCIELO, DIALNET, SIDALC, entre otros.
- Técnica: Revisión bibliográfica en las bases de datos e investigación documental, en sitios de videos web.
- Método: Búsqueda de procesos, metodologías usadas por otros autores relacionadas a la fotogrametría.

El tercer objetivo es: “Comparar los lineamientos para el levantamiento fotogramétrico enfocado en la preservación del patrimonio arquitectónico, en base a las metodologías consultadas.”.

- Instrumento: Acceso a base de datos académicas, como son Google Scholar, EBSCO, SAGE, SCIELO, DIALNET, SIDALC, entre otros.
- Técnica: Revisión bibliográfica de los lineamientos propuestos por sus autores y comparación propia entre los mismos para crear un resultado propio.
- Método: Búsqueda de lineamientos(pautas), relacionadas a la fotogrametría, para la elaboración de un cuadro comparativo, y la realización de lineamientos propios.

El cuarto objetivo es: “Realizar el modelo 3D de la Iglesia Nuestra Señora de la Merced, así como sus planos, con la ayuda del levantamiento fotogramétrico para su conservación digital.”.

- Instrumento: en este caso a ser un levantamiento fotogramétrico es necesario la utilización de varios instrumentos como son la Cámara fotográfica, Dron, cinta métrica.
- Técnica: levantamiento de información gracias a los instrumentos dichos anteriormente, cabe resaltar que este levantamiento estará detallado más adelante.
- Método: Levantar la información necesaria para la construcción del modelo 3D gracias a los puntos generados por la fotogrametría y el procesamiento de los mismos, así también la elaboración de los planos arquitectónicos de la Iglesia.

3.1. EQUIPOS A UTILIZAR

En este apartado al ser un levantamiento fotogramétrico, y que la investigación se basa en usar solamente este método para la creación de información, se ha optado por utilizar los siguientes equipos:

Dron: Dji mini 3 pro

- Megapíxeles: 48
- Baterías: 3 de 30 minutos
- Tamaño de imagen máxima: 8064×6048
- Distancia máxima de vuelo: 18 km
- Altura máxima: 500 m



Figura 19: Dron Dji mini 3 pro

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

Cámara Fotográfica: Canon 700D

- Megapíxeles: 18
- Tamaño de imagen máxima: 5184×3456
- Rango de sensibilidad: de 100-12 800 ISO



Figura 20: Cámara Canon 700D

Fuente: Canon.

Cabe aclarar que los equipos utilizados son aquellos que se pudo conseguir para este trabajo, ya que pueden ser usados desde Teléfonos Celulares con cámaras de al menos 20 megapíxeles, como cámaras fotográficas más potentes y actuales.

También el uso de escáner láser para aumentar la precisión del levantamiento.

3.2. PROGRAMAS A UTILIZAR

Al ser un levantamiento fotogramétrico, se deben usar programas para codificar los datos de las fotografías, entre ellas existen muchas para rectificar solo las fotografías y que el resultado sea una ortofoto de la edificación, lo cual es solo una parte de lo que necesitamos por ello se han tomado los siguientes programas:

- Reality Capture: Es un programa gratuito de la compañía de Epic Games, que nos ayuda a base de fotografías generar un modelo 3D de cualquier objeto, cuenta con una aplicación móvil, pero nosotros usaremos la versión de PC. Para su descarga se encuentra el siguiente link: <https://www.capturingreality.com/>
- Agisoft Metashape: “es un producto de software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para ser utilizados en aplicaciones SIG, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas”. Agisoft (s.f.) como lo dice la presentación en su página web es usado también para generar modelos 3D, pero el programa para trabajo remunerado necesita de una licencia pagada de un solo pago, aunque se puede usar una versión de prueba de 30 días. Para su descarga se encuentra el siguiente link: <https://www.agisoft.com/downloads/installer/>

Ahora para limpiar los modelos y arreglarlos si es necesario, se necesita un programa de modelado 3D, y el usado en este proyecto es el siguiente:

- Blender: es un programa de modelado 3D y renderizador de código abierto, que permite su uso de forma gratuita, así como también la posibilidad de cambiar o modificar su código para añadir funciones extras. La página para su descarga es la siguiente: <https://www.blender.org/>

Por último, se necesita un programa dedicado a renderizar, porque hacerlo desde Blender, es muy pesado y se necesita de un conocimiento del programa a nivel medio para lograr los mismos resultados que en otros programas mucho más fáciles de manejar. El programa seleccionado es el siguiente:

- Unreal Engine: Este programa no solo nos permite renderizar escenas, videos o imágenes sino también es usado como un motor de juegos para crear programas, aplicaciones móviles, videojuegos, y efectos especiales de películas. El link para su descarga es el siguiente: <https://www.unrealengine.com/en-US>

A continuación, se explicará la metodología realizada para el levantamiento fotogramétrico de la Iglesia la Merced.

El primer paso a realizar es establecer las posibles fotografías a realizar para generar el modelo 3D, por lo cual es necesario, tomar de diferentes ángulos a todos los detalles a levantar, tomando como base a las pinturas realizadas en el cielo raso de la construcción algunas de ellas son las siguientes:

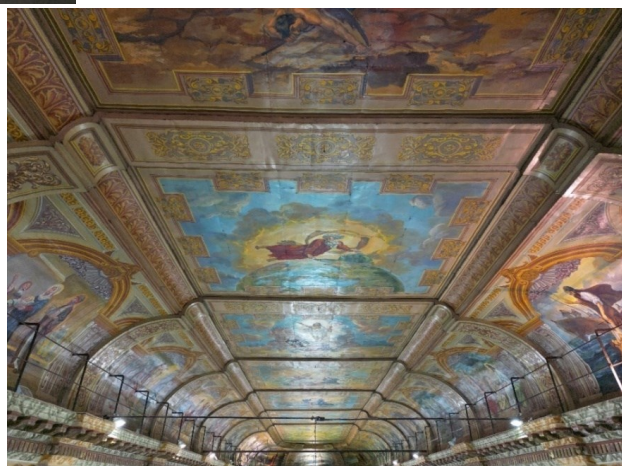


Figura 21: Imagen general captada por el dron

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22: Imagen del cielo raso captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia



También es necesario tomar la mayor cantidad de fotos, desde diferentes ángulos para no perder ningún detalle relevante, así mismo, se hace mucho énfasis en fotografiar las pinturas, para luego agregarlas al modelo 3D. algunas de esas fotografías son las siguientes:



Figura 23: Imagen Vertical captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia



Figura 24: Imagen de frescos en los bordes del cielo raso captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia

Cabe aclarar, que, al ser un levantamiento fotogramétrico, e intentando replicar la situación actual de la iglesia, es necesario fotografiar y modelar todos los elementos que no podemos encontrar tanto adentro como afuera de la iglesia, por eso es necesario tener todos los registros fotográficos, de cada elemento por separado. Un ejemplo de esto podemos ver a continuación:



Figura 25: Imagen del altar de madera captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo es necesario captar las imágenes suficientes de la parte exterior de la iglesia para generar su modelo 3D, se recalca que siempre se debe tener una medida conocida para posteriormente igualar las medidas del modelo, en este caso la puerta de 2,5 m, algunas de las fotografías tomadas son las siguientes:



Figura 26: Imagen del techo captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia

Figura 27: Imagen en perspectiva captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia

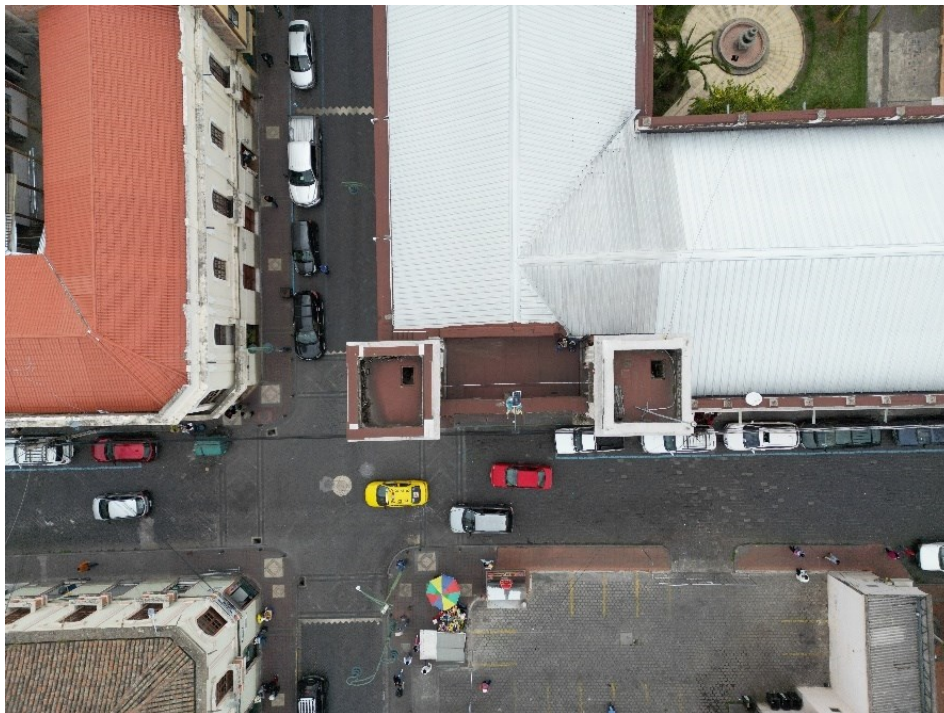


Figura 28: Imagen vertical captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia

Es necesario hablar acerca de la posición de las fotografías, ya que de éstas depende que el modelo, se genere lo más fiel posible a la realidad, así como también, el procesado de imágenes, no sea tan largo y requiera una edición posterior.

Figura 29: Imagen de la fachada y contexto captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia



Figura 30: Imagen del contexto captada con el dron

Fuente: Elaboración Propia

Con todas las imágenes ya listas y ordenadas según el levantamiento a realizar, se procede a ingresar y subir las mismas al programa de procesamiento de fotogrametría, en este caso empezaremos de la parte exterior, así como de su contexto.

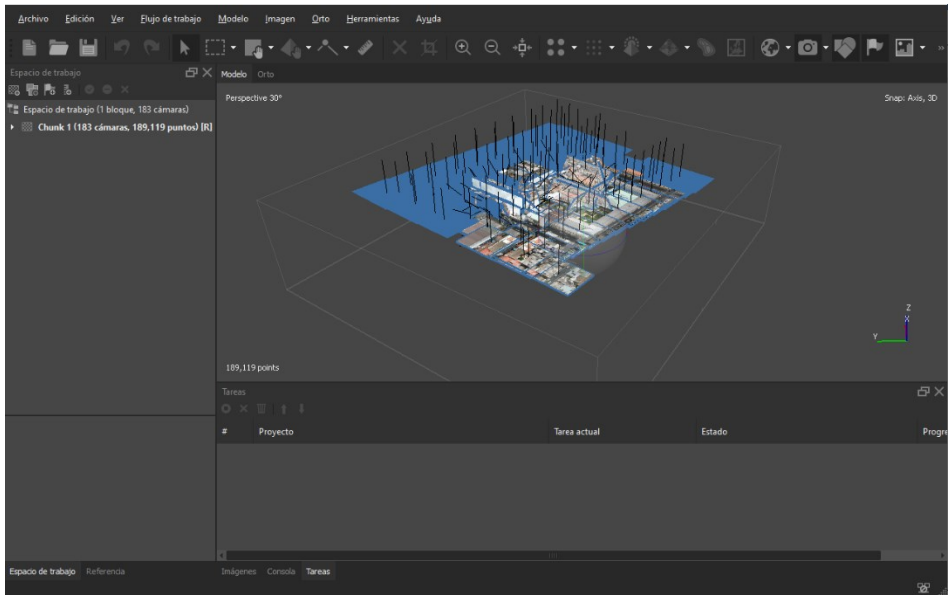


Figura 31: Imágenes orientadas en el programa

Fuente: Elaboración Propia

En este paso, una vez que las fotografías han sido cargadas, se procede a ordenarlas, tal como se muestra en la imagen anterior. A continuación, se genera lo que se denomina una nube de puntos, que consiste en un modelo a base de puntos en el espacio, donde se disponen todos los elementos que el programa pueda reconocer.

Es de suma importancia en este paso que se eliminen los puntos no requeridos, como los puntos de automóviles o postes de luz. También es importante que la nube de puntos no posea más puntos de los necesarios, lo que se denomina como ruido. Estos puntos deben ser eliminados para que, al crear la malla, no se distorsione el modelo.

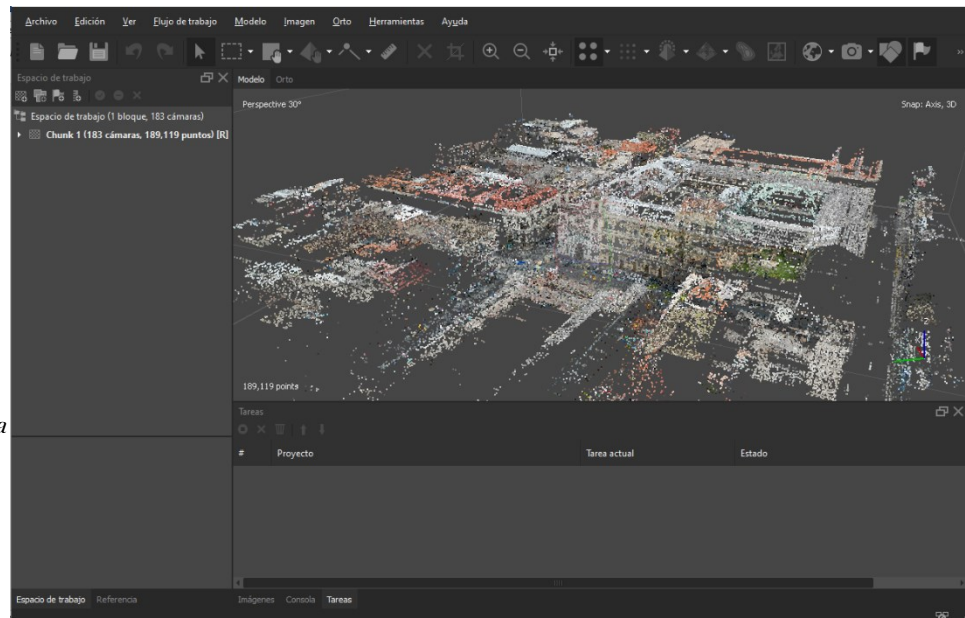


Figura 32: Muestra de la nube de puntos del modelo 3D

Fuente: Elaboración Propia

Después de analizar el marco teórico y revisar el proceso de varios autores en relación con la fotogrametría, se presenta una propuesta de metodología para el levantamiento fotogramétrico enfocado en la conservación del patrimonio de manera digital.

METODOLOGÍA PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO				
1. PLANEACIÓN DEL TRABAJO	ESTABLECER OBJETIVOS	MACRO	Un estudio completo con propuesta de intervención.	
		MICRO	Un estudio parcial para puesta en valor.	
	DEFINIR EL TIPO DE PROYECTO	CONSERVACIÓN	Para puesta en valor.	
		INTERVENCIÓN	Para darle un nuevo uso o recuperarlo.	
		OBRA NUEVA	Para añadir nuevos elementos.	
	EQUIPOS A UTILIZAR	EQUIPOS DE MEDICIÓN	Estación Total	
			Cinta métrica	
EQUIPOS DE FOTOGRAFÍA		Escáner Láser		
	Cámaras Fotográficas			
2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	LEVANTAR INFORMACIÓN IN SITU	FICHAS	De Información General	
			De Patologías	
		CON EQUIPOS DE MEDICIÓN	Cinta métrica	
	TOMA DE FOTOGRAFÍAS O VIDEOS	EXTERIOR	Estación Total (Opcional)	Las fotografías hay que tomarlas en forma de órbita con respecto al proyecto.
			Escáner Láser (Opcional)	Tomar fotografías de al menos 3 ángulos diferentes.
		INTERIOR		En las fotografías o videos se deben de observar tanto el techo como el piso.
				Las fotografías deben ser tomadas de una pared hacia la otra.
3. ANÁLISIS DE DATOS	ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN	HISTORIA	Línea de tiempo de eventos relacionados al proyecto.	
		CULTURA	Importancia del proyecto.	
		CONSTRUCCIÓN	Fechas de trabajos realizados.	
	ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO	MATERIALES	Los diferentes materiales utilizados.	
		ELEMENTOS	Relacionado al estilo de la construcción.	
		PROPORCIONES	Relacionado con el sistema constructivo.	
		DETALLES	Sistema constructivo y elementos estéticos.	
	LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS	LESIONES FÍSICAS	Causados por agua, polvo o agentes externos.	
		LESIONES MECÁNICAS	Causados por factores mecánicos relacionados al movimiento de la estructura.	
LESIONES QUÍMICAS		Causados por el contacto con sales, ácidos o álcalis que al reaccionar provocan descomposiciones.		
4. TRABAJO DE OFICINA	ORDENAR Y CLASIFICAR DATOS	CLASIFICAR FOTOGRAFÍAS Y VIDEOS	Este paso es muy importante ya que de esto depende el tiempo y la calidad del modelo 3D.	
		EDICIÓN DE FOTOS	Se lo hace cuando las fotos tienen diferentes exposiciones, o salen muy oscuras.	
		SUBIDA DE DATOS DE EQUIPOS	En este apartado se digitalizan los datos sobre la medición.	
	ELABORACIÓN DE PLANOS	PLANTAS	Se presentan las plantas necesarias para explicar el proyecto.	
		FACHADAS	En este apartado se debe ser muy minucioso, ya que es de suma importancia mostrar todos los elementos existentes.	
		CORTES	Para establecer los espacios y como intervenirlos.	
		DETALLES CONSTRUCTIVOS	Para intervenir en el sistema constructivo, y poder crear un apeo apropiado.	
	CREACIÓN DEL MODELO 3D	DESDE CERO	Se modelan todos los elementos desde cero.	
		CON FOTOGRAMETRÍA	Con ayuda de la nube de puntos se crea el modelo 3D.	
	PRESENTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS	PRESENTACIÓN FÍSICA	Ya con el modelo 3D, se pueden generar imágenes que puedan ser impresas.	
		PRESENTACIÓN VIRTUAL	Se puede generar videos, recorridos virtuales o modelos en línea.	
		ALMACENAMIENTO EN DISPOSITIVOS FÍSICOS	Hace énfasis en guardar las fichas, planos y todo lo relacionado al proyecto de manera física, como también en memorias externas	
ALMACENAMIENTO EN LA NUBE		Generar la información para que pueda ser visualizada en línea.		

Figura 33: Metodología de trabajo a realizar

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA

4.1. PLANEACIÓN DE TRABAJO

- **ESTABLECER OBJETIVOS**

Para establecer objetivos claros, es necesario definir el alcance del proyecto y los procesos necesarios para alcanzarlos. En este caso, se plantean dos objetivos a considerar: uno de forma macro, que tiene como objetivo realizar una propuesta de intervención y prevención de patologías, y otro de forma micro, que se enfoca en el estudio de la construcción para su puesta en valor.

- **DEFINIR EL PROYECTO**

En este apartado se presentan tres tipos de proyectos: Conservación, Intervención y Obra Nueva. En el proyecto de Conservación, el objetivo es prevenir patologías sin intervenir en ningún elemento. En el proyecto de Intervención, se interviene en los materiales y elementos que tienen mayor riesgo o están destruidos para recuperar o definir un nuevo uso para la construcción. Por último, el proyecto de Obra Nueva recoge todo lo anterior y propone nuevos elementos añadidos a los ya existentes, se debe visualizar el cambio de material.

- **EQUIPOS A UTILIZAR**

Lo equipos a utilizar, son aquellos usados para cualquier tipo de levantamiento, como lo son: estación total, GPS, dron, escáner láser, entre otros, en este caso, se aumenta la utilización de cámaras fotográficas, para la generación de una nube de puntos que permita la creación de un modelo 3D, a partir de las fotografías tomadas y así, conservar el estado actual de la construcción.

4.1.1. APLICACIÓN EN LA FOTOGRAMETRÍA: CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED

- **ESTABLECER OBJETIVOS**

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología para la creación de modelos 3D, usando la fotogrametría como método para la conservación digital del patrimonio. Por este motivo el alcance del mismo no es presentar una propuesta, sino mostrar todos los pasos necesarios para la creación de modelos, y su forma de preservar su información.

- **DEFINIR EL PROYECTO**

El proyecto que se va a realizar se enfoca en la conservación, ya que no se va a proponer ningún cambio ni propuesta. El objetivo es que la información mostrada sea puesta en valor y que todas las personas puedan acceder a ella.

- **EQUIPOS A UTILIZAR**

En este apartado al ser un levantamiento fotogramétrico, y que la investigación se basa en usar solamente este método para la creación de información, se ha optado por utilizar los siguientes equipos:

Dron: Dji mini 3 pro

- Megapíxeles: 48
- Baterías: 3 de 30 minutos
- Tamaño de imagen máxima: 8064×6048
- Distancia máxima de vuelo: 18 km
- Altura máxima: 500 m



Figura 34: Dron Dji mini 3 pro

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

Cámara Fotográfica: Canon 700D

- Megapíxeles: 18
- Tamaño de imagen máxima: 5184×3456
- Rango de sensibilidad: de 100-12 800 ISO



Figura 35: Cámara Canon 700D

Fuente: Canon.

Tabla 1: Ficha modelo basada en la del INPC, para alzar información

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FICHA BI - 1 REGISTRO EMERGENTE		REGISTRO N°: 1
CARRERA DE ARQUITECTURA		INVENTARIO DE BIENES INMUEBLES		ARCHIVO N°: 4
				CLAVE CATASTRAL 998970787
ENTIDAD INVESTIGADORA: Investigación Propia		REGISTRADO POR: GABRIEL FERNANDO VELOZ SUÁREZ	CÓDIGO DE BIENES INMUEBLES:	
DENOMINACIÓN DEL BIEN INMUEBLE: Iglesia		LOCALIZACIÓN		
USO ORIGINAL Iglesia	USO ACTUAL: Iglesia	PROVINCIA: Chimborazo	CANTÓN: Riobamba	CIUDAD: Riobamba
		PARROQUIA: Lizarzaburu	CALLE: Guayaquil	N°:
		MZ: 1	SITIO GEOGRÁFICO:..	ZONA:
RÉGIMEN DE PROPIEDAD:		TIPOLOGÍA	UBICACIÓN	
NOMBRE DEL PROPIETARIO:				
TIPO DE TENENCIA:				
ÉPOCA DE CONSTRUCCIÓN:				
FECHA DE CONSTRUCCIÓN:				
TIPOLOGÍA				
NRO RETIROS	NRO PISOS INTERIOR	NRO FRENTES:	NRO FAMILIAS:	
.....				
VALORACIÓN:				
CON ENTORNO NATURAL DE ÁREAS VERDES	INFLUENCIA ESTILÍSTICA EN FACHADA			
NO	Ecléptico			
A) DESCRIPCIÓN DE LA FACHADA		IMÁGENES - FOTOGRAFÍAS		
.....-(OCHAVE)				
NIVELES O PISOS: 2				
VANOS ABIERTOS N° PA: (PLANTA ALTA)...21 PB:...21				
ZÓCALO: PIEDRA				
PORTAL O SOPORTAL:				
REMATE DE FACHADA:				
PORTADA:				
BALCONES: Volado N°:.....1				
BALCONES: Incluido N°:.....2				
MOLDURAS Y ORNAMENTOS: modillones, pilastras, acanable, comisillas, enmarcamiento vanos, arcos, rebajados, cornisa corrida				
COLOR: Gris				
TEXTURA: Liso				
B) ESTRUCTURA				
CIMIENTO: Piedra				
PAREDES: Piedra-Adobe				
CUBIERTA: Estructura de madera - Aluminio				
C) CARACTERÍSTICAS RELEVANTES				
INTERIOR: se encuentran pinturas registradas en el inpc en el techo del bien patrimonial				
EXTERIOR: composición física y estética de los elementos decorativos en la fachada				
D) ESTADO DECONSERVACIÓN				
CUBIERTA: Buena				
ESTRUCTURA: Buena				
ELEMENTOS: Regular				
MANTENIMIENTO: Regular		CÓDIGO DE NEGATIVO:	FOTOGRAMA N°:	FECHA DE REGISTRO:

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2: Ficha modelo basada en la del INPC, para alzar información de Patologías encontradas

DIAGNÓSTICO DE ESTADO, LESIONES EN ELEMENTOS DEL INMUEBLE PATRIMONIAL UBICADO EN LAS CALLES EUGENIO ESPEJO Y GUAYAQUIL, PARROQUIA YARUQUIES, RIOBAMBA				
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO		Levantamiento Fotogramétrico-Iglesia la Merced		
CÓDIGO	DIRECCIÓN	ÁREA	ELEMENTOS	N° DE FICHA
	Calles Eugenio Espejo y Guayaquil	xxx		1
LOCALIZACIÓN EN FACHADA		FOTOGRAFÍA		
TIPO DE LESIÓN		DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO		
Física	Química	Mecánica	Biológica	
Proyecto	Ejecución	Material	Mantenimiento	
DESCRIPCIÓN DE LAS LESIONES		CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS		
		Directa		
		Indirecta		
IDENTIFICACIÓN DEL FACTOR DE DETERIORO		GRADO DE LESIÓN		
Material		Leve		
Fabricación		Mediano		
Factor Físico Ambiental		Severo		
Factor Químico Ambiental		Grave		
Factor Biológico				
MATERIAL		COLOR Y TEXTURA		
RECOMENDACIONES O INTERVENCIONES				

Fuente: Elaboración Propia

- **TOMA DE FOTOGRAFÍAS O VIDEOS**

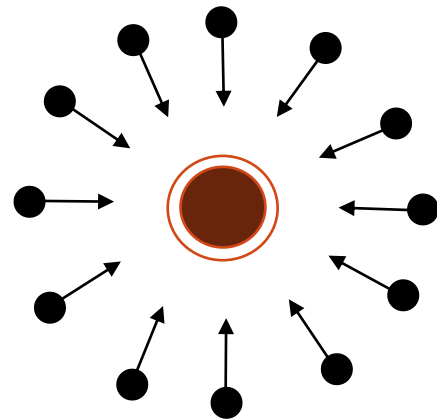
Este paso es esencial para el correcto procesamiento de imágenes para la construcción del modelo 3D, por lo tanto, se dará una breve descripción acerca de la correcta toma de fotografías tanto para la parte Interna como Externa de la edificación.

PARTE EXTERNA: para este levantamiento es de suma importancia contar con acceso a todas las vistas de la edificación, desde al menos 3 ángulos diferentes, esto se facilita con la utilización de un Dron que puede tomar fotografías desde la parte superior de la misma. Ahora bien, se debe centrar el proyecto y tomar las imágenes a partir de una órbita alrededor del mismo, tal como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 38: Diagrama toma de fotografías

Fuente: Kanyanta Mubanga



Fuente: Elaboración Propia

PARTE INTERNA: Este proceso es el más complicado de realizar, ya que se puede confundir con el proceso para la parte externa de la edificación, si bien el proceso es parecido, ya que también se debe crear una órbita, esta debe ser solo para la posición de las fotos, así mismo, en las fotografías se debe visualizar la mayor cantidad de información posible, tanto el piso, como el techo de la edificación, ya que si las imágenes solo muestran una pequeña parte de detalle, no se crea la nube de puntos, cabe aclarar que también es posible hacerlo con imágenes en 3D, con aplicaciones tales como Matterport.

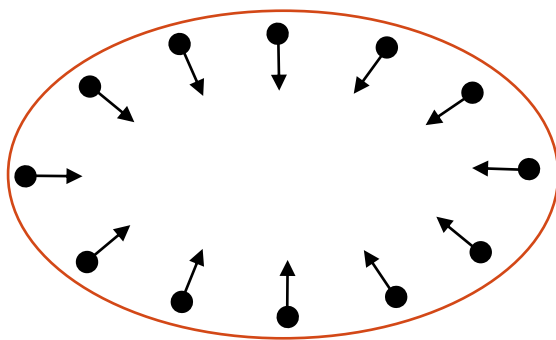
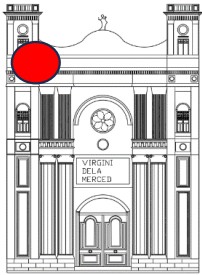



Figura 39: Diagrama toma de fotografías

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: Ficha para patologías basada en la del INPC llena

DIAGNÓSTICO DE ESTADO, LESIONES EN ELEMENTOS DEL INMUEBLE PATRIMONIAL UBICADO EN LAS CALLES EUGENIO ESPEJO Y GUAYAQUIL, PARROQUIA YARUQUIES, RIOBAMBA					
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO		Levantamiento Fotogramétrico-Iglesia la Merced			
CÓDIGO	DIRECCIÓN	ÁREA	ELEMENTOS	N° DE FICHA	
	Calles Eugenio Espejo y Guayaquil	xxx	Cornisa de Fachada	1	
LOCALIZACIÓN EN FACHADA		FOTOGRAFÍA			
					
TIPO DE LESIÓN				DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	
Física	Química	Mecánica	Biológica	Decoración/entablamiento	
Proyecto	Ejecución	Material	Mantenimiento		
DESCRIPCIÓN DE LAS LESIONES				CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS	
Suciedad por depósito, humedad, falta de mantenimiento				Directa	x
				Indirecta	
IDENTIFICACIÓN DEL FACTOR DE DETERIORO				GRADO DE LESIÓN	
Material				Leve	x
Fabricación				Mediano	
Factor Físico Ambiental			x	Severo	
Factor Químico Ambiental				Grave	
Factor Biológico					
MATERIAL			COLOR Y TEXTURA		
Pintura de revestimiento, Adobe			Crema/ Liso		
RECOMENDACIONES O INTERVENCIONES					
Se recomienda el mantenimiento y limpieza de la fachada, para combatir la suciedad que se encuentra en la misma					

Fuente: Elaboración Propia

- **TOMA DE FOTOGRAFÍAS O VIDEOS**

FOTOGRAFÍAS PARTE EXTERIOR: se las tomó con el dron, siguiendo el proceso de órbita alrededor de la construcción. Pero añadiendo también fotografías verticales de los alrededores, esto para facilitar el tratamiento de las imágenes. Cabe aclarar que las fotografías deben ser tomadas de al menos 3 posiciones diferentes, y que lo que se muestra a continuación solo es una pequeña muestra de eso. Son necesarias entre 70 a 120 fotografías como mínimo para que el programa pueda reconocer los puntos en común. Pero si se puede trabajar con más fotos, la calidad es mucho mejor.

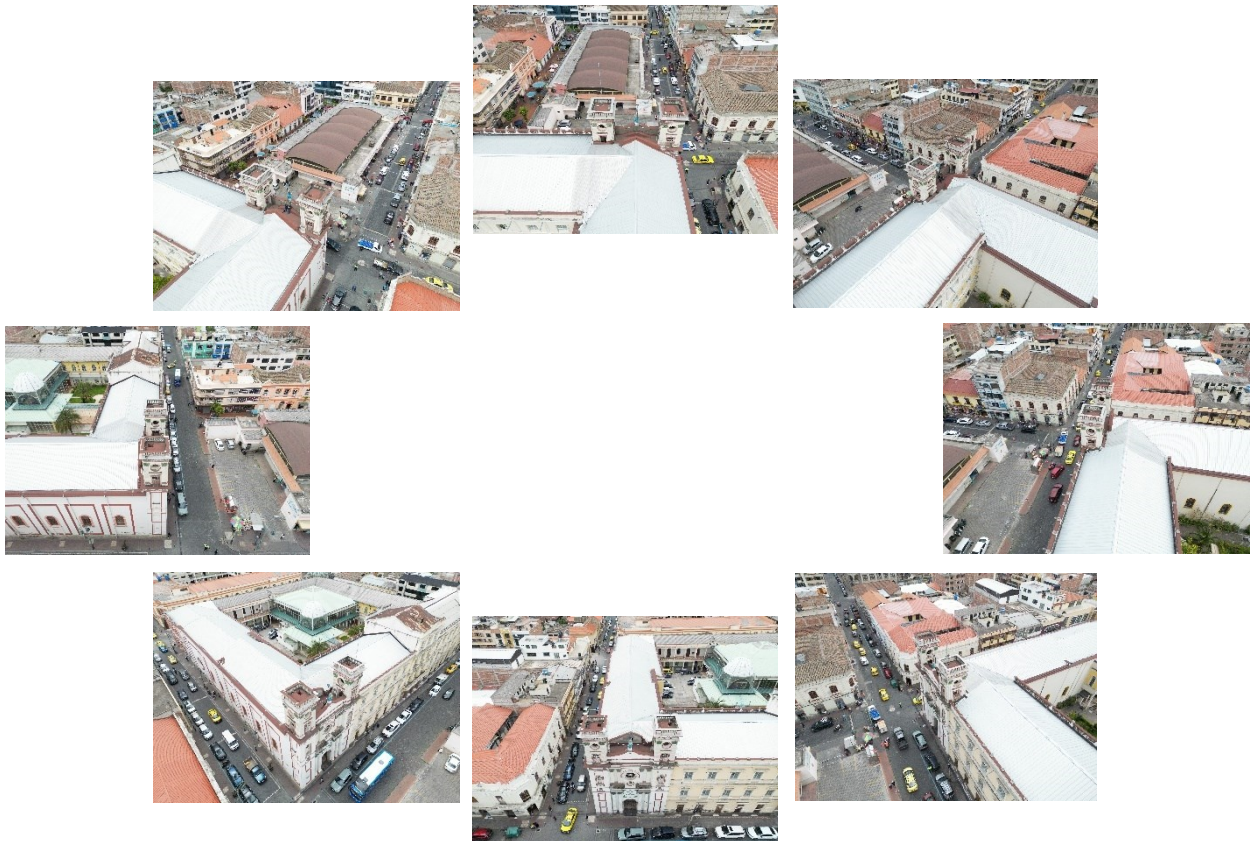


Figura 40: Fotografías Exteriores

Fuente: Elaboración Propia

FOTOGRAFÍAS INTERIORES: como se explica más arriba, se debe generar un recorrido de toma en forma de órbita, adentro de la edificación como se muestra en la ilustración 41. En las tomas deben visualizarse, el techo y el piso de la construcción, para que el programa pueda reconocer los puntos en común. Es necesario mencionar que se deben tomar entre 70 a 120 fotografías como mínimo, para generar un buen modelo de nubes de puntos, cuantas más fotografías mejor, pero el tiempo de procesado aumenta y requiere aún más recursos de su computadora.

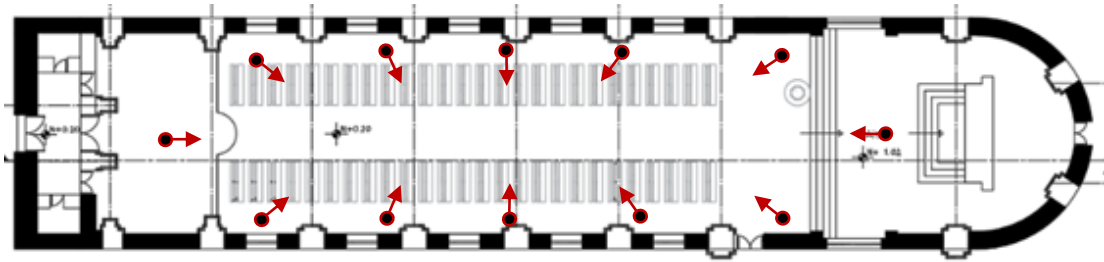


Figura 41: Diagrama de toma de Fotografías

Fuente: Elaboración Propia



Figura 42: Fotografías Interiores

Fuente: Elaboración Propia:

4.3. ANÁLISIS DE DATOS

- ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN

En este apartado se debe exponer la historia del bien patrimonial, así como también, a la cultura que hay alrededor de ella, todo esto para entender la importancia que tuvo esta construcción en la ciudad, pueblo, o asentamiento y así generar la idea de un patrimonio a

conservar, por todo el peso que ha generado a lo largo de los años, cabe destacar, que para que una construcción sea puesta en valor, debe tener al menos 100 años de existencia.

También es importante detallar las fases o eventos alrededor de su construcción, y generar una línea de tiempo, para una mejor interpretación de los sucesos que han llevado a la puesta en valor de este bien patrimonial. Por eso es necesario un registro ya sea físico o virtual de la información de cualquier construcción, para que un futuro, sea mucho más fácil su puesta en valor.

- **ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO**

Este apartado nace de la importancia de clasificar todos los elementos ya sean estéticos o constructivos que posee una construcción, para una futura intervención o conservación de los mismos, esto debido a que existen muchas construcciones, que poseen diferentes estilos en sus fachadas o elementos constructivos y puede generar un debate entre las correctas formas de actuación que pueden existir para un determinado estilo arquitectónico, como también acelerar el proceso de buscar la correcta forma de actuar en un determinado elemento o material, según la época que sea.

En pocas palabras se intenta que en este apartado se muestre todo lo relacionado a la estética arquitectónica que posee la construcción a analizar.

- **LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS**

En este paso, se hace un breve vistazo a todas las patologías existentes, y se las clasifica de acuerdo a su tipo de lesión, que pueden ser físicas, químicas y mecánicas, para ello es necesario el conocimiento de las causas que forman las patologías, e indagar en la raíz del problema, para que, con ello, se pueda proponer el tratamiento más óptimo, esto para el siguiente paso que se detallará a continuación, en caso de que se haya establecido un objetivo micro, el análisis de datos puede terminar en este paso, ya que solo se exponen las patologías y su clasificación.

- **PROPUESTA DE INTERVENCIÓN (OBJETIVO MACRO)**

Si en el objetivo se establece que el proyecto a realizarse tiene un objetivo macro, este paso es sumamente importante, ya que la mayoría de proyectos de intervención patrimonial en obra cuentan con una propuesta tanto arquitectónica, como patológica.

Cabe recalcar que se habla de dos propuestas, pero la propuesta arquitectónica viene ligado un paso más allá que la propuesta de tratamiento patológico, esto debido a que, si se establece el tipo de proyecto a Conservación, el enfoque arquitectónico queda muy relegado a simples soluciones, en elementos muy concretos, ya que no se puede intervenir más allá, por el hecho de ser patrimonial. También si el tipo de proyecto es Intervención, en muchos casos, el uso tiende a cambiar de la edificación, y para ello es necesario el repensar los espacios interiores, por tal motivo, se toman decisiones muy importantes de acuerdo a uno o varios elementos en

la edificación, así mismo, si el tipo de proyecto es Obra Nueva, ahora sí es necesario la creación de nueva arquitectura, que esté ligado a la ya existente.

Ahora bien, aunque se hable de propuestas en este paso, en realidad al ser un trabajo enfocado en la metodología y los pasos a seguir con respecto a la creación de un modelo 3D, con ayuda de la fotogrametría, no se expondrá ninguna propuesta de intervención ya que los planos, detalles constructivos, se lo presentan en los siguientes pasos como parte de la metodología propuesta.

4.3.1. APLICACIÓN EN LA FOTOGRAMETRÍA: CASO ESTUDIO IGLESIA LA MERCED

- **ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN**

Entrando en el objeto de estudio, vamos a hablar acerca de la Iglesia La Merced, ubicada en la ciudad de Riobamba, en las calles Eugenio Espejo y Guayaquil, tal como se muestra en la imagen.



Figura 43: Ubicación-Fotografía captada con dron
Fuente: Elaboración Propia

Ahora hablando acerca de su construcción se puede citar lo siguiente: En 1871 inicia la construcción de esta iglesia y del edificio para colegio en época del presidente Dr. Gabriel García Moreno; se hicieron cargo de todo este espacio las religiosas de los Sagrados Corazones. En 1879, se cierra el colegio debido a la penuria económica y el 7 de noviembre de 1891 asumen la responsabilidad pastoral y educativa los padres salesianos, siendo su fundador el sacerdote salesiano Antonio Fusarini.

El 7 de mayo de 1896, por escritura pública, la autoridad eclesiástica cede el colegio y la antigua iglesia a la Congregación Salesiana. El 21 de octubre de 1896 los salesianos son expulsados del país, excepto el P. Antonio Fusarini. Vuelven los religiosos el 28 de octubre de 1897.

A mediados del año 1900, el padre Fusarini emprende el gran proyecto de reconstruir la Iglesia de la Merced y encomienda la dirección de la obra al P. Adolfo García. Los devotos de la Virgen de las Mercedes contribuyeron con donativos, materiales diversos y limosnas; en 1906 el templo fue concluido.

LÍNEA DE TIEMPO: HISTORIA IGLESIA LA MERCED

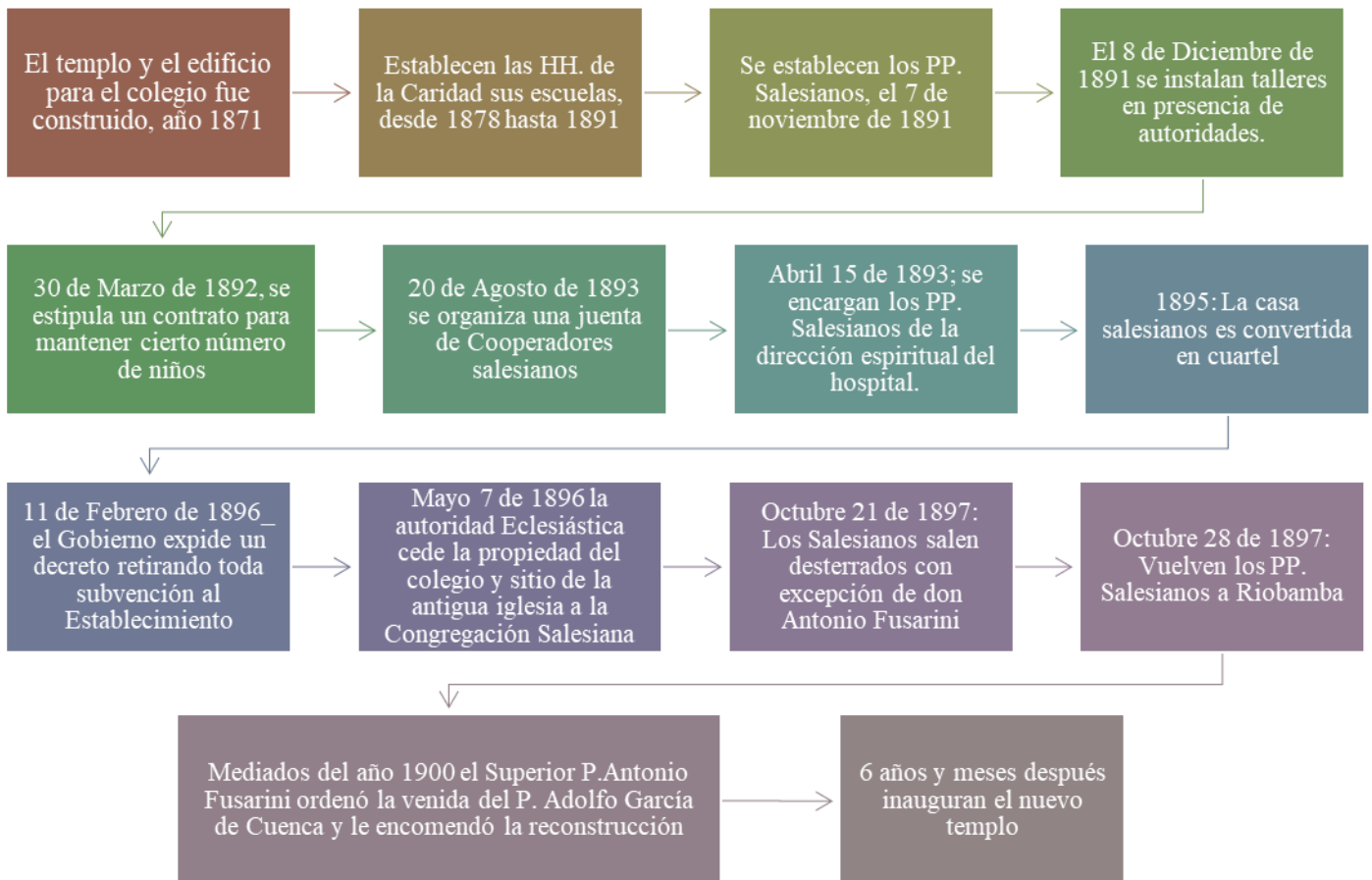


Figura 45: Construcción del Edificio del Colegio, 1921
Fuente: Archivo del Colegio Santo Tomás Apóstol



Figura 44: Iglesia la Merced, vista desde la fuente
Fuente: Franklin Cepeda Astudillo

- **ANÁLISIS DEL ENTORNO**

Actualmente se encuentra ubicado en el Centro Histórico de la ciudad de Riobamba, justo al frente del Mercado La Merced, al lado del Colegio María Auxiliadora, y el actual edificio del municipio, como se muestra a continuación.



Figura 46: Exteriores de la Iglesia

Elaboración Propia

Así mismo se puede apreciar un estilo colonial en las edificaciones alrededor, posee calles amplias, y al no contar con una edificación al frente de la fachada principal, ésta queda expuesta, para ser apreciada al caminar por la zona.

En la noche, la zona queda desprovista de gente pasada las 20h00, ya que todos los locales circundantes cierran en esas horas.

- **ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO**

La iglesia cuenta con un estilo neoclásico por sus elementos referentes a este estilo, pero con detalles eclécticos en su fachada, lo que quiere decir, es que aparte de elementos clásicos, podemos encontrar otros elementos de otros estilos, combinando así, dos o más estilos en una sola construcción. Los cuáles serán expuestos en las siguientes imágenes, ayudado con la nube de puntos.

En la parte inferior se encuentra un basamento con zócalos de piedra, como se muestra en las siguientes imágenes.

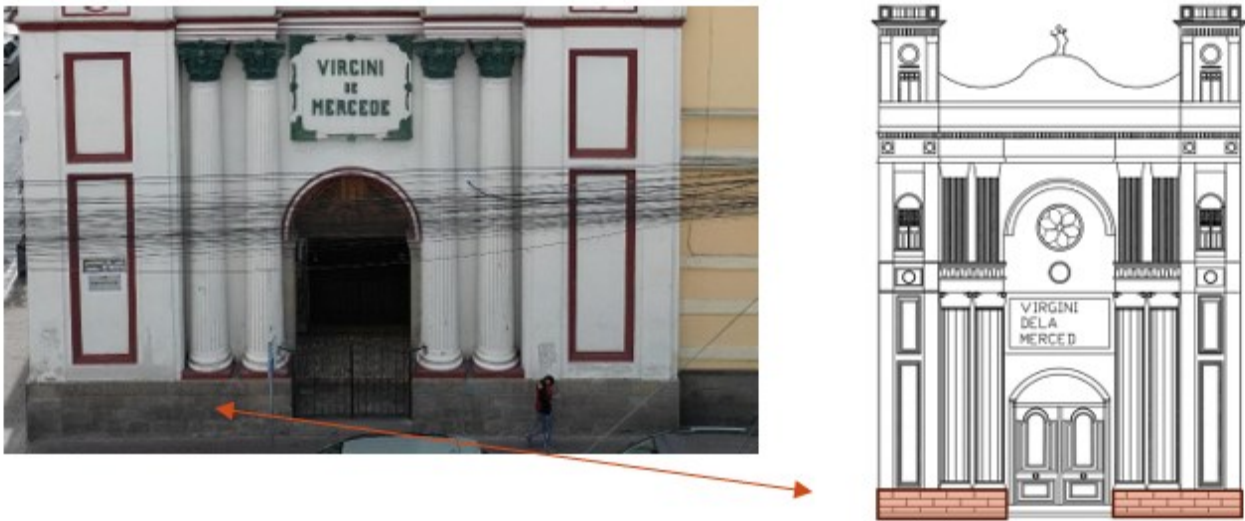


Figura 47: Vista de basamento

Fuente: Elaboración Propia

Dos torres campanarios en los extremos, resguardando la entrada al templo.

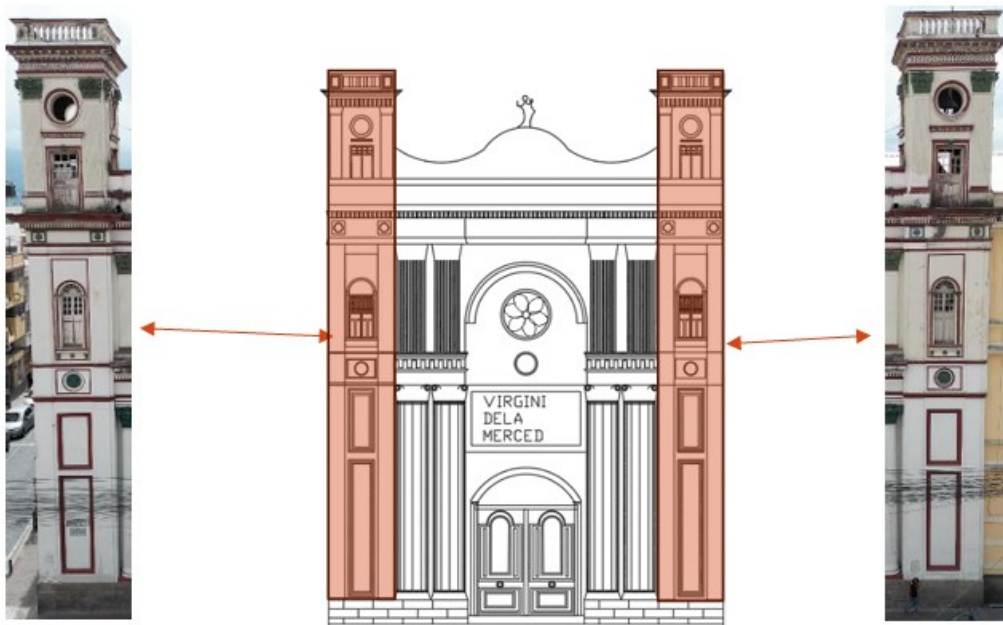


Figura 48: Vista de torres

Fuente: Elaboración Propia

Columnas que sostienen el entablamiento del segundo piso, así como también al frontón en donde descansa la figura de la Virgen María, en su punto más alto.

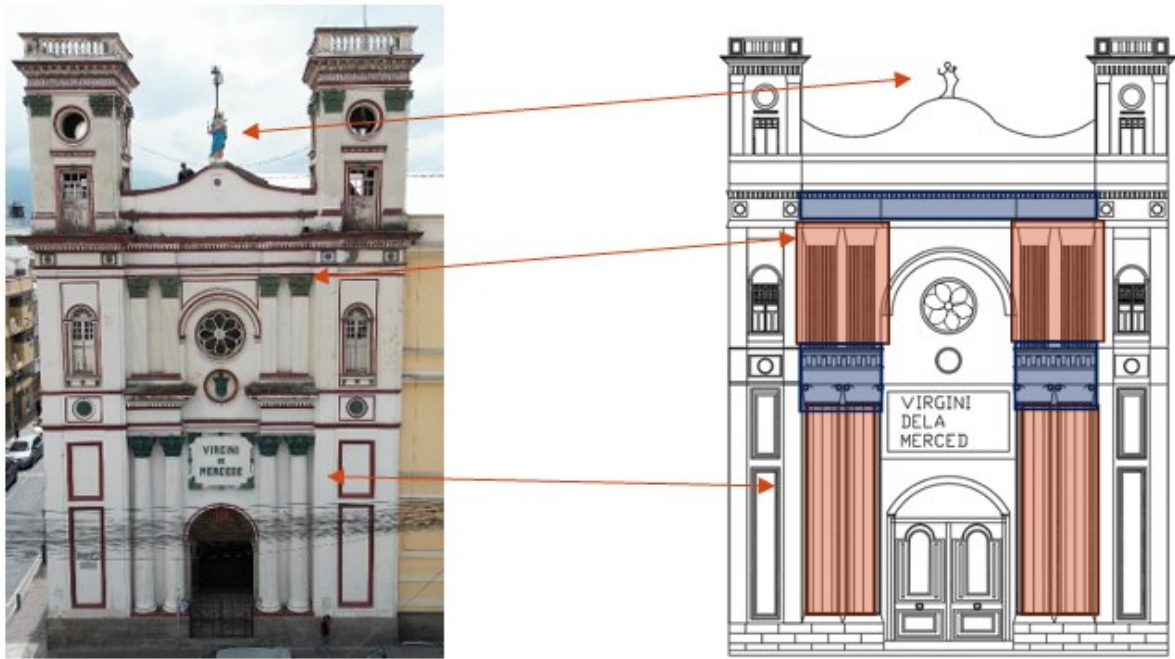


Figura 49: Columnas de la fachada

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un rosetón en el segundo piso, arriba, arriba del sello de los Sagrados Corazones, así también se puede apreciar arcos de medio punto, en la puerta principal y como decorativo a las ventanas de las torres, y el rosetón.



Figura 50: Vista de Rosetón y arcos de medio punto

Fuente: Elaboración Propia

También se puede encontrar que las columnas interiores poseen un ornamento de tipo vegetal, y que su altura, llega hasta el techo de la iglesia, todo esto muy diferente a la fachada, ya que también cuenta con un ornamento que se asemeja más a interiores del estilo barroco, que neoclásico, esto se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 52: Análisis Arquitectónico

Fuente: Elaboración Propia

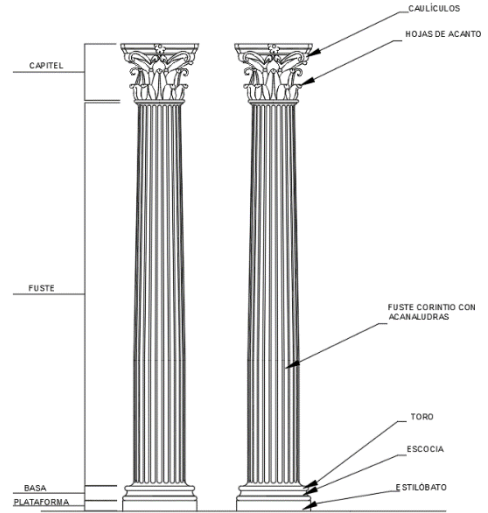


Figura 51: Columnas de la Fachada

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se mostrarán la planta arquitectónica, así como el corte correspondiente

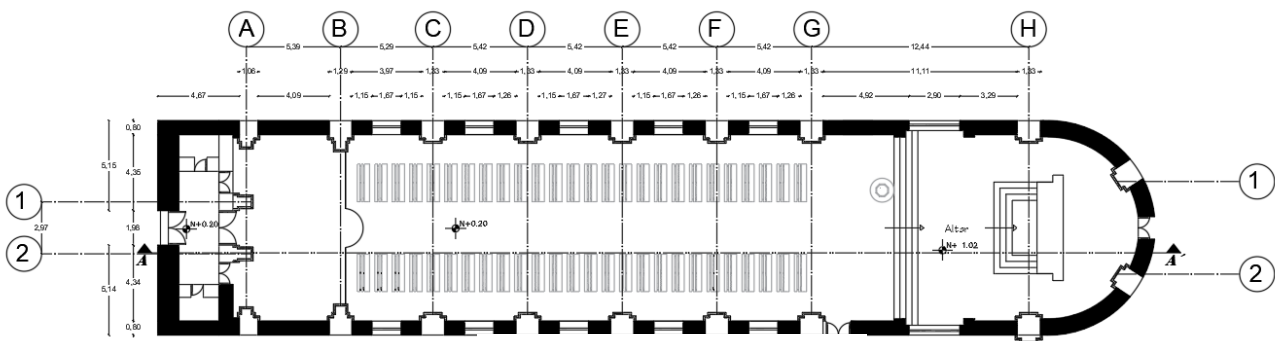


Figura 53: Planta Arquitectónica

Fuente: Elaboración Propia

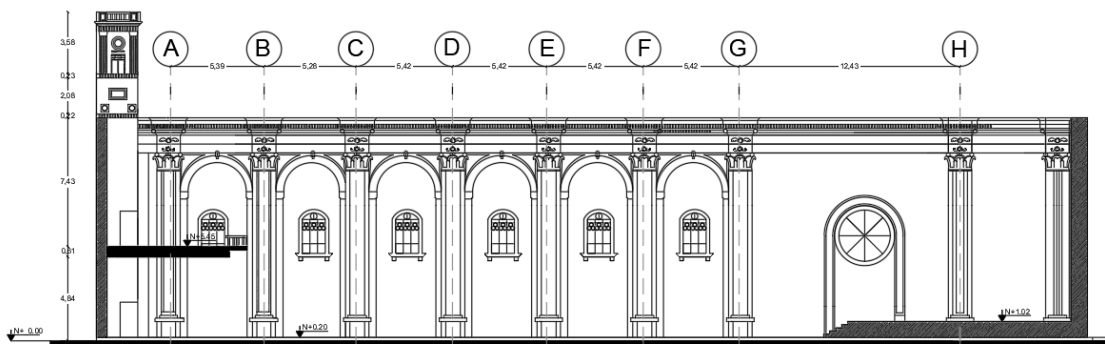


Figura 54: Corte Longitudinal

Fuente: Elaboración Propia

- **LEVANTAMIENTO DE PATOLOGÍAS**

Las patologías encontradas son en su mayoría causadas por causas físicas de humedad en las paredes, lo que causa la aparición de hongos y esto lleva al desprendimiento de la pintura en la fachada y elementos internos de la torre. También se puede considerar una patología de suciedad, ensuciamiento por depósito tal como se lo muestra en las siguientes imágenes. Se recomienda el mantenimiento por limpieza en las zonas causadas por suciedad, y un tratamiento anti humedad en las torres.

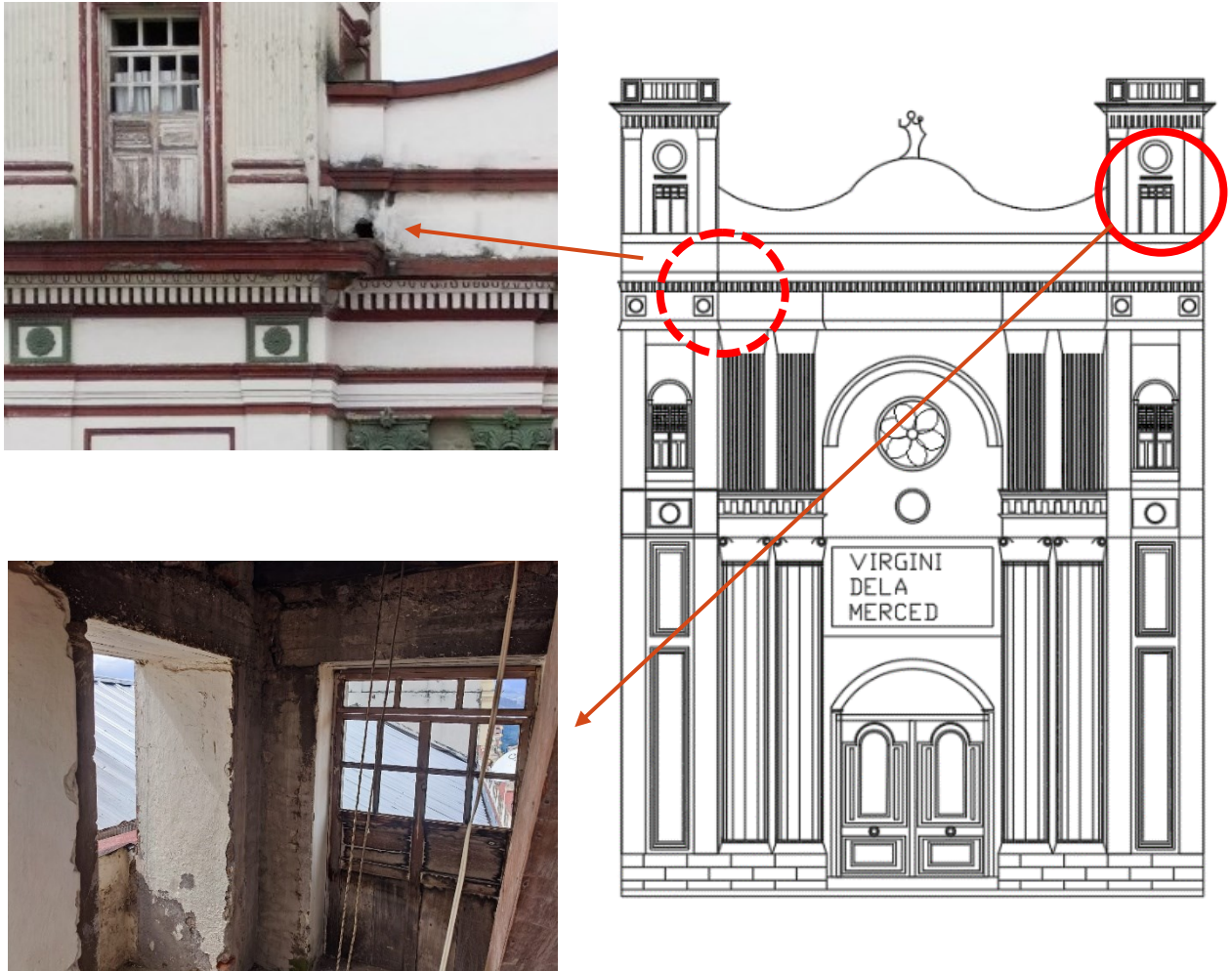


Figura 55: Patología Física

Fuente: Elaboración Propia

También logramos apreciar una lesión mecánica ocasionan un par de grietas en las torres, posiblemente causado por la antigüedad del bien patrimonial, y el constante movimiento por ligeros temblores en la zona. Se recomienda un vistazo a la estructura para descartar cualquier daño en la misma, y simplemente actuar en la grieta visible.

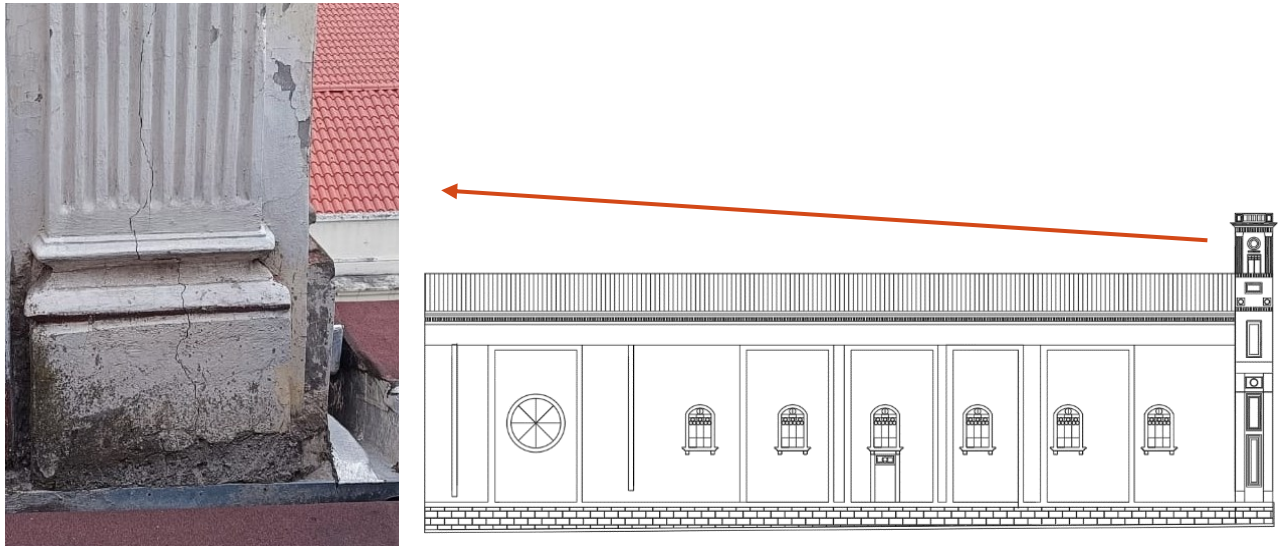


Figura 56: Patología Mecánica

Fuente: Elaboración Propia

4.4. TRABAJO DE OFICINA

- 4.4.1 ORDENAR Y CLASIFICAR DATOS

En este apartado ya con el trabajo de campo realizado, se procede a ordenar las fotografías de acuerdo a lo necesitado y en relación a los procesos a realizar, un ejemplo de ello, es clasificar las fotografías por ubicación, en otras palabras, tener una carpeta para fotografías del interior y otra para el exterior, esto para facilitar al subirlas al programa de procesado de imágenes.

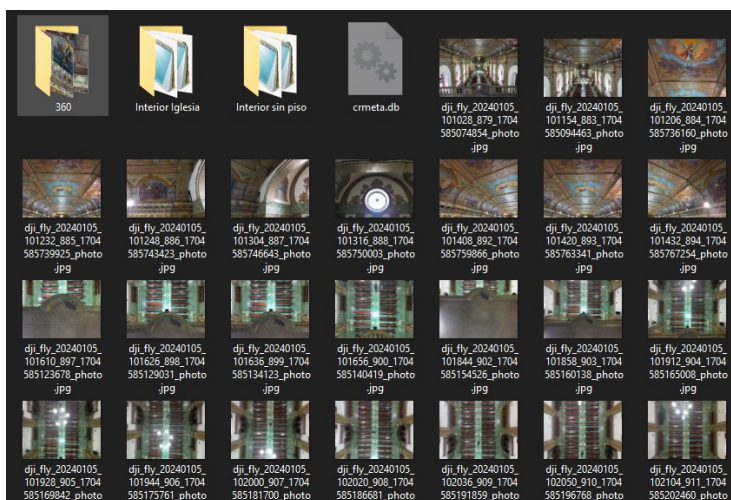


Figura 57: Ordenar Fotografías

Fuente: Elaboración Propia

También en este paso si es posible se recomienda editar las imágenes a usar, ya que el resultado final tendrá una mejor calidad. y la malla generada tendrá un mejor aspecto. Los valores a editar son en general la iluminación y sombras, con el fin de que las fotos resultantes no tengan mucha exposición, ni reflejos de luz y los detalles no se pierdan.

También se pueden editar otros valores como la saturación, intensidad, etc, solo tome en cuenta que las fotos resultantes pueden parecer apagadas y sin vida, esto para que el programa las pueda reconocer de mejor manera.

Es muy importante que se separen las imágenes que tengan alguna alteración, como son desenfoque, ruido, y su calidad no sea la mejor.

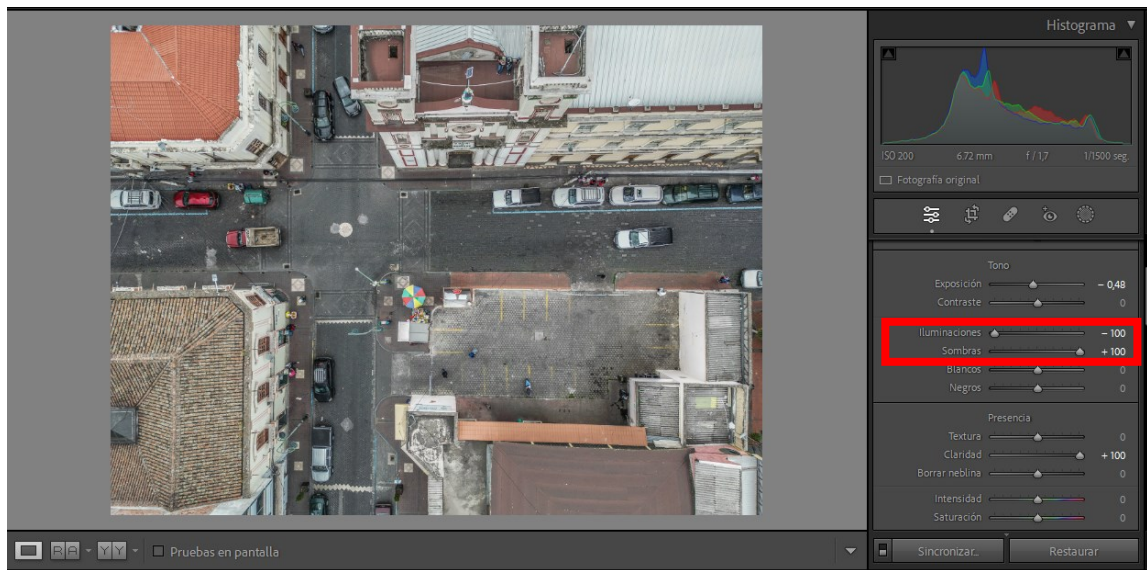


Figura 58: Edición de Fotografías para usarlas en el programa

Fuente: Elaboración Propia



Figura 60: Foto antes de Edición

Fuente: Elaboración Propia



Figura 59: Foto después de la Edición

Fuente: Elaboración Propia

• 4.4.2. ELABORACIÓN DE PLANOS

En este apartado con los datos recopilados se empieza con la reconstrucción de los planos arquitectónicos, para el correcto estudio de la edificación patrimonial, tomando en cuenta que el trabajo de la fotogrametría es llegar a estos mismos, por tal motivo este paso lo retomaremos más adelante. A continuación, se presentan los planos obtenidos de este caso en particular que han sido redibujados anteriormente, cabe aclarar que los planos mostrados son solo como referencia, también se adelanta un poco de la representación conocida como “nube de puntos”, que se obtiene después del trabajo aquí presentado, aquellos a escala y con medidas se lo encuentra en anexos.

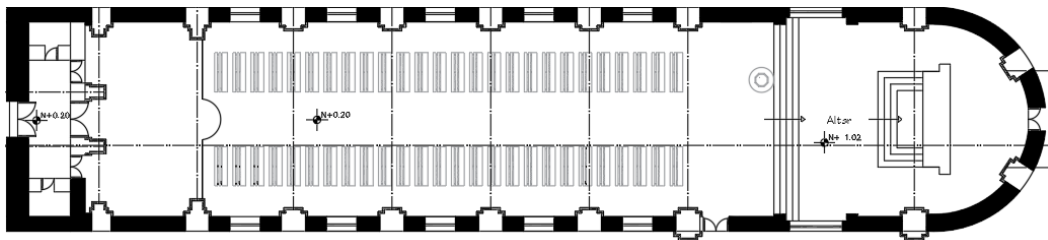


Figura 61: Planta Arquitectónica

Fuente: Elaboración Propia

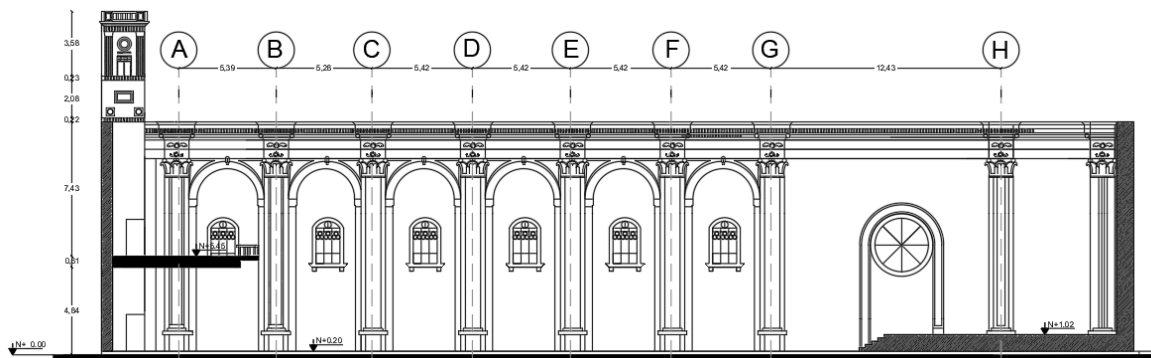


Figura 62: Corte Longitudinal

Fuente: Elaboración Propia

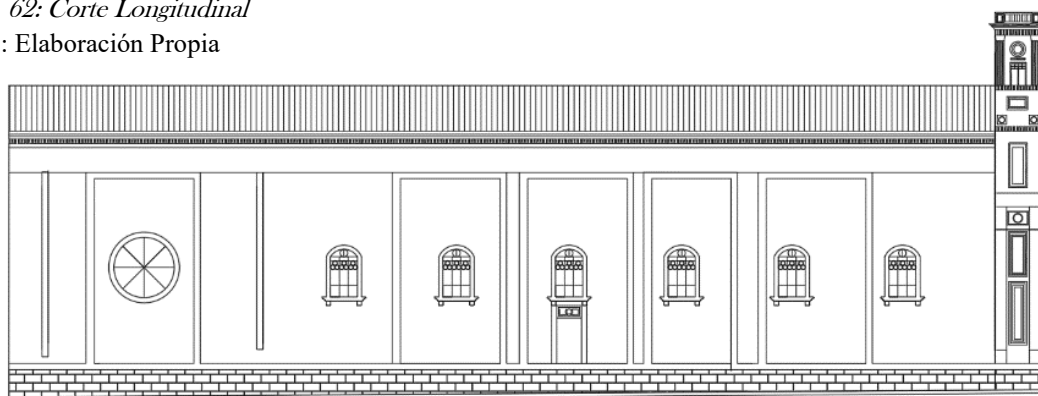


Figura 63: Fachada Lateral planos antiguos

Fuente: Elaboración Propia

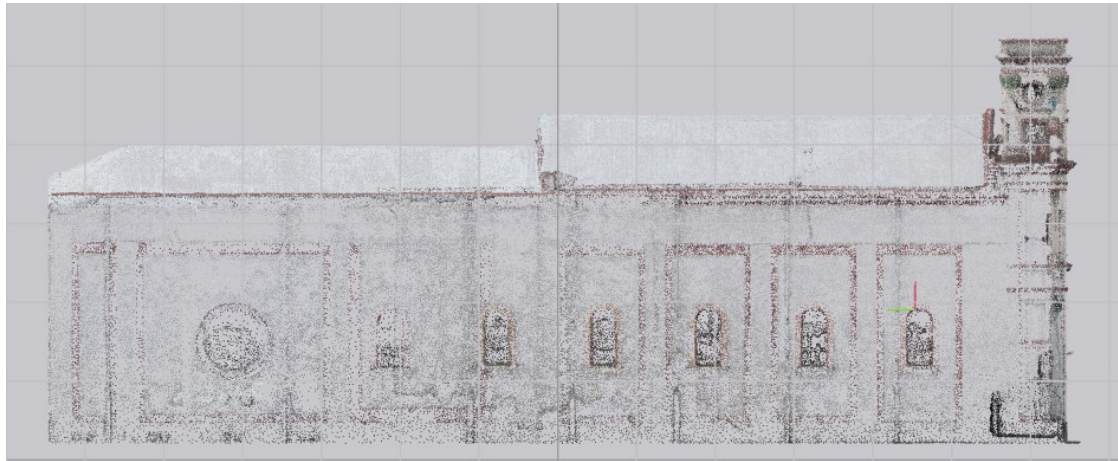
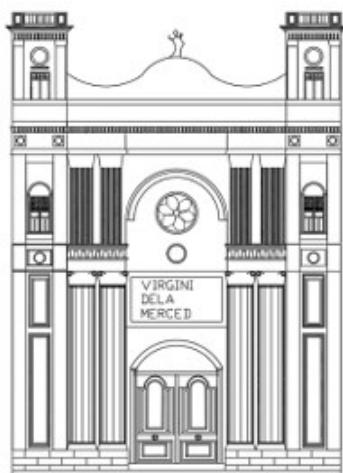


Figura 64: Fachad lateral con nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia



Programa Autocad:
Dibujo previamente obtenido



Programa Reality Capture
Nube de puntos previsualización



Programa Archicad:
Nube de puntos exportada

Figura 65: Fachada principal, comparación de programas

Fuente: Elaboración Propia

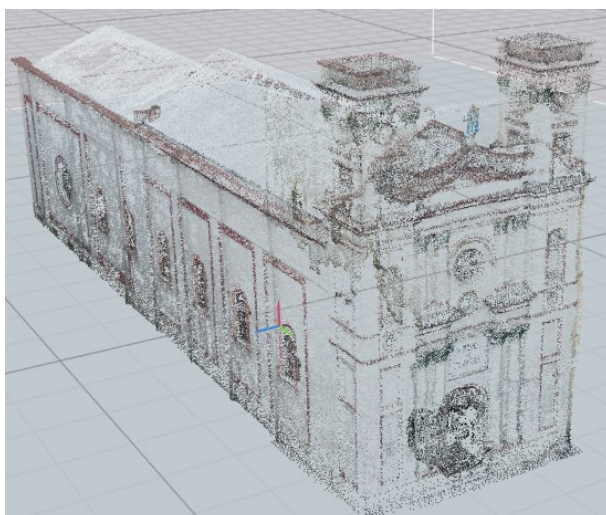


Figura 66: Modelo a base de nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

• 4.4.3. CREACIÓN DEL MODELO 3D

Se intentará mostrar los pasos realizados para la obtención de un modelo 3D a base de fotogrametría usando el programa Reality Capture, de Epic Games, el cuál es una alternativa gratuita para este tipo de trabajos, es necesario aclarar que no es 100% gratis, que llegado a cierta cantidad de ganancias se debe pagar.

- En primer lugar, después de abrir el programa se procede a incluir las imágenes de la Iglesia la Merced, se debe tener en cuenta, que las imágenes ya deben estar ordenadas anteriormente, en una carpeta separada del resto. Cabe aclarar que este programa también cuenta con una opción para sacar las imágenes a partir de videos. Pero por el momento solo utilizaremos fotos para el proceso.

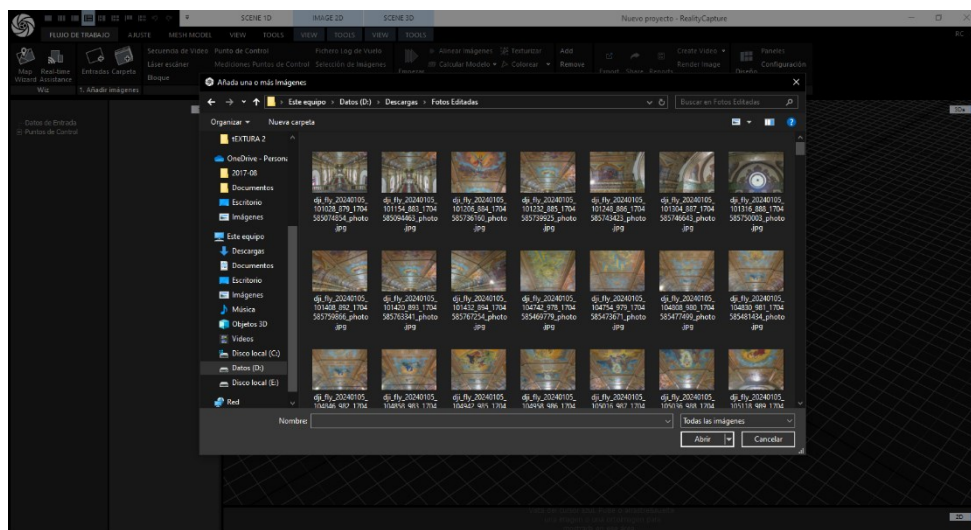


Figura 67: Carga de Fotografías al programa

Fuente: Elaboración Propia

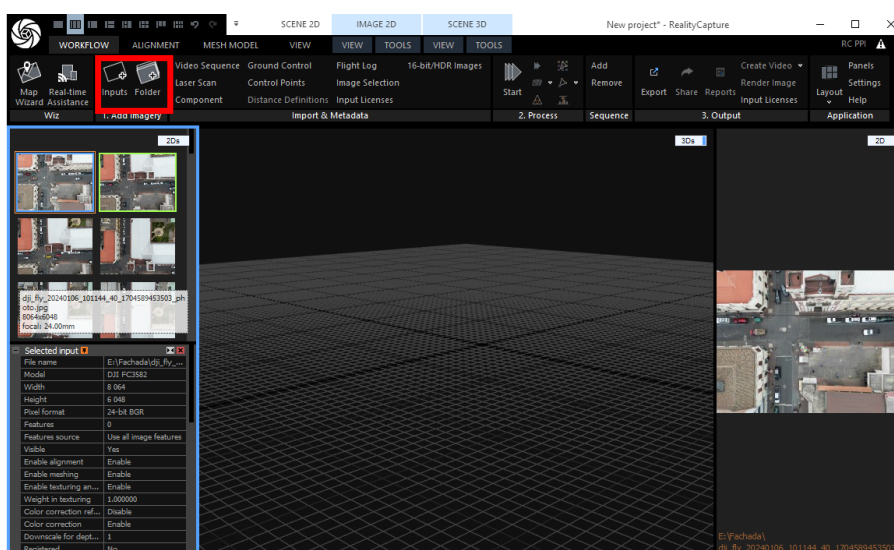


Figura 68: Fotografías Cargadas

Fuente: Elaboración Propia

- Al tener las fotografías cargadas en el programa ya se puede empezar el procesamiento de las imágenes para la creación de la primera nube de puntos. En este apartado hay dos opciones, la primera es empezar el proceso completo solo presionando comenzar(start), lo que genera la alineación de imágenes, creación de mallas y texturas de una sola vez, pero el tiempo requerido aumenta, la segunda opción es ir paso a paso.

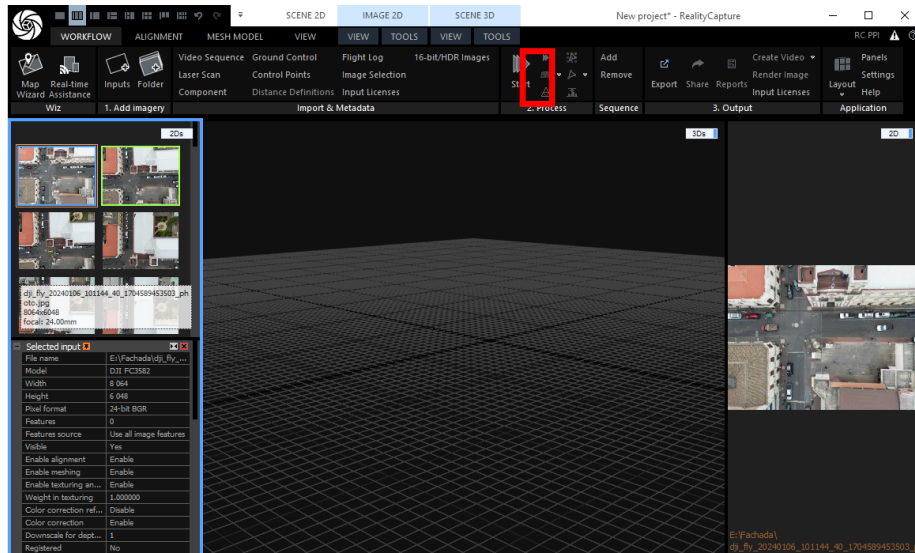


Figura 69: Comienzo del Proceso

Fuente: Elaboración Propia

- Este proceso necesitó de al menos 4 horas para completarlo, puede variar el tiempo requerido por varios aspectos, como puede ser la cantidad de fotografías a procesar, o los componentes de la computadora con la cual se está trabajando.

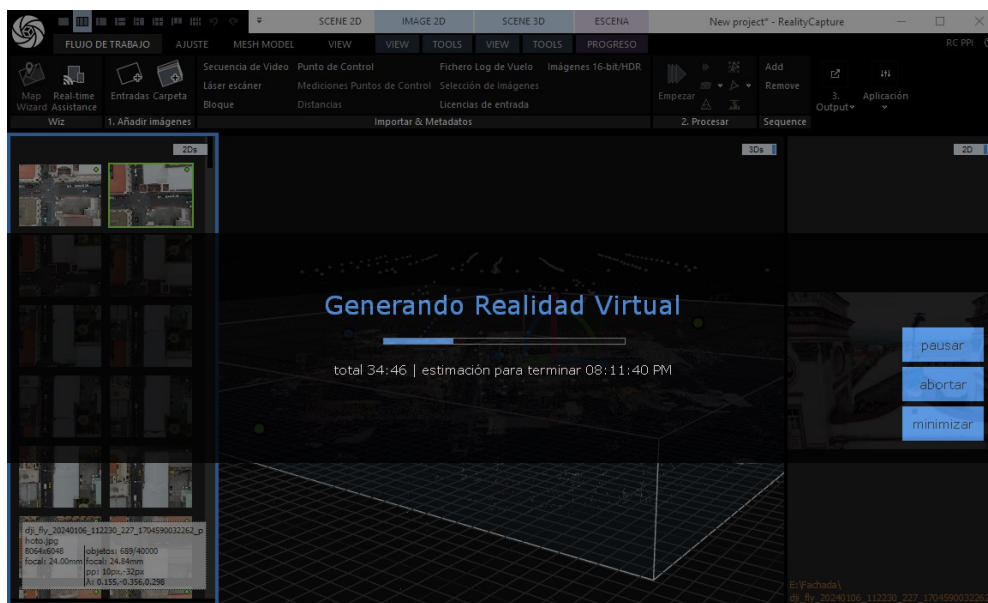


Figura 70: Procesamiento de Fotografías

Fuente: Elaboración Propia

- Ya terminado el proceso y con la nube de puntos se procede a eliminar aquellos vértices innecesarios que aparecen en la previsualización del modelo, esto con el objetivo de pulir y menorar el peso del archivo, así también es necesario este paso para que el modelo pueda tener una mejor calidad al final. Se tiene que dirigir a TOOLS en SCENE 3D.

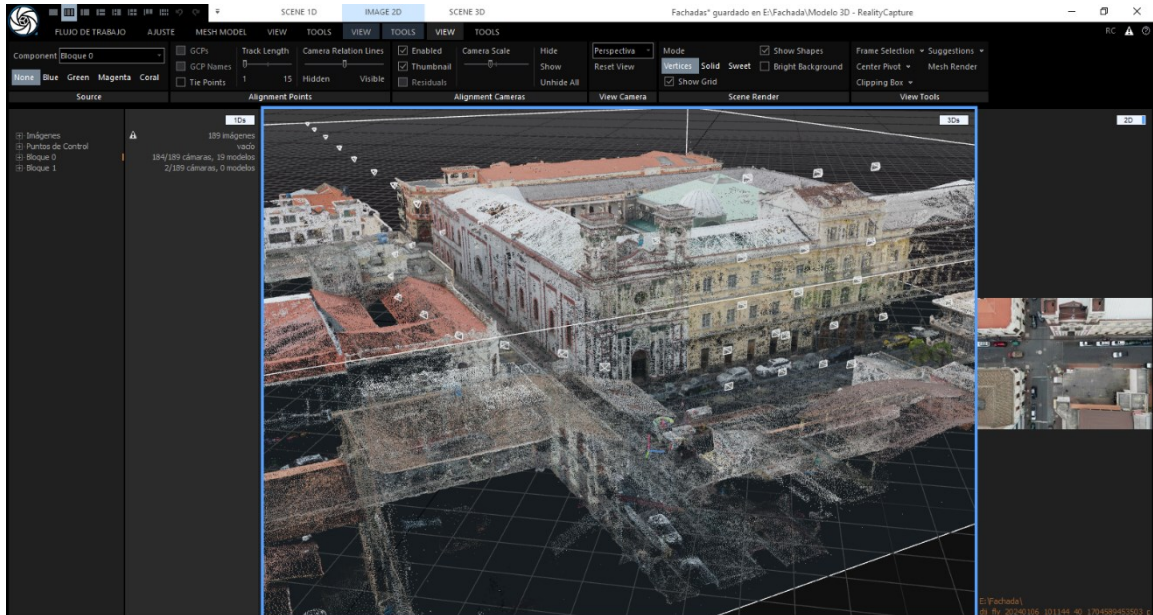


Figura 71: Nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

- Se tiene que dirigir a TOOLS en SCENE 3D, presionar el botón marcado y con la ayuda de la selección tipo cubo que se genera en la escena, reducir a los límites requeridos, para poder eliminar las zonas que no sean necesarias, esto con la finalidad de bajar los vértices totales al modelo.

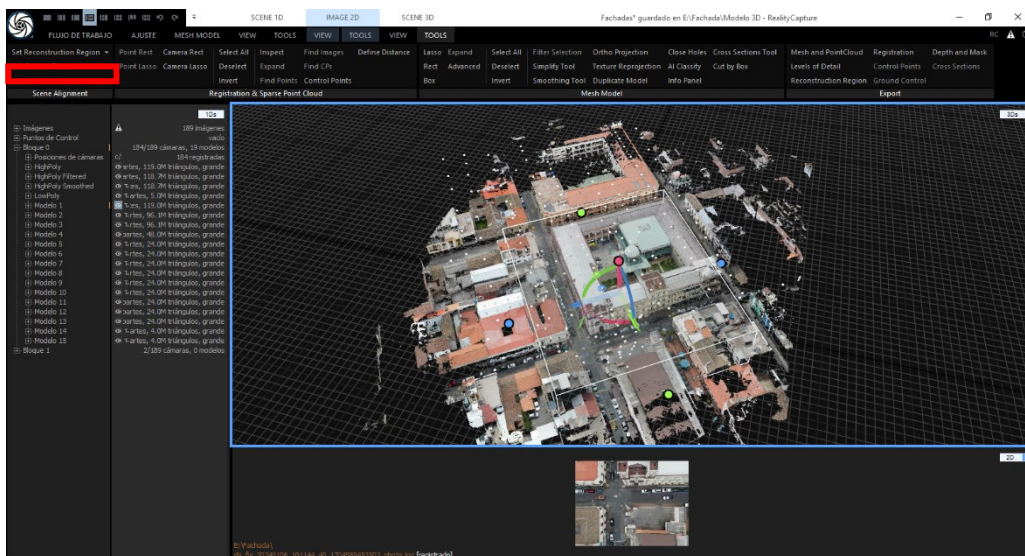


Figura 72: Reconstrucción de Región

Fuente: Elaboración Propia

- Ahora definido los límites, se procede a crear la malla, (modelo 3D sin texturas), en la opción de MESH MODEL, y el botón de NORMAL DETAILS. También se puede generar la malla con aún más calidad, pero esto dependerá de la cantidad de fotos tomadas y su calidad, cabe aclarar que, en la mayoría de los casos con la opción normal, es más que suficiente, para ahorrar tiempo de procesado, ya que este paso se demoró 3 horas para completar.

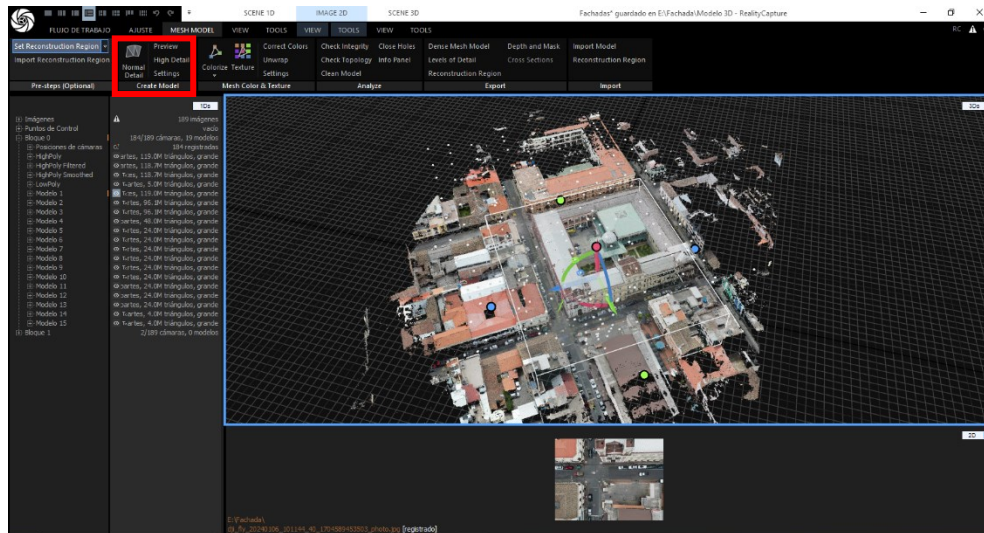


Figura 73: Creación de malla

Fuente: Elaboración Propia

- Ya con la malla creada, se puede apreciar si las fotografías fueron las suficientes, ya que aquí se puede visualizar las fallas en el modelo 3D, y si existe algún fallo en la estructura del modelo. Cabe mencionar que cuánto más grande sea el objeto a escanear, más fotografías son necesarias, y con una mayor resolución para llegar a un resultado más profesional, y éstas deben ser tomadas con las condiciones óptimas de luz. Nota: para poder visualizar la malla, es necesario que los vértices creados, no superen los 40 millones de punto. (las imágenes mostradas a continuación, son la visualización después de completar el siguiente paso)

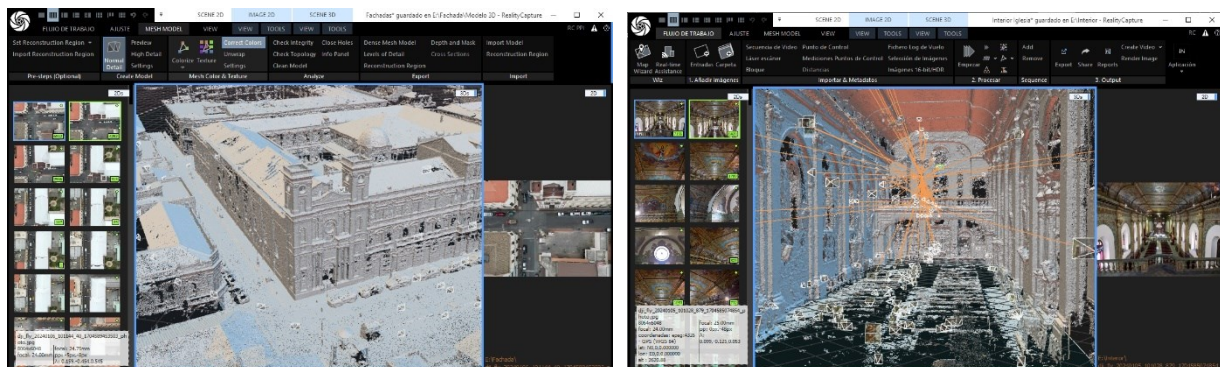


Figura 74: Modelo sin texturas

Fuente: Elaboración Propia

- En este paso en concreto, se explica la manera de visualizar lo dicho en el paso anterior, ya que al generar un escaneo, por lo general la cantidad de vértices creados, pueden llegar a pasar los millones de puntos, con lo cual se debe menorar esta cantidad, primero para visualizar los resultados (40 millones es el máximo que permite el programa visualizar) en la escena, pero para poder utilizar el modelo en otros programas de renderizado o modelado 3D, se debe acortar al menos hasta los 4 millones de puntos. Ahora bien, el menorar estos vértices también puede distorsionar el modelo, para ello este paso se lo debe hacer con precaución.

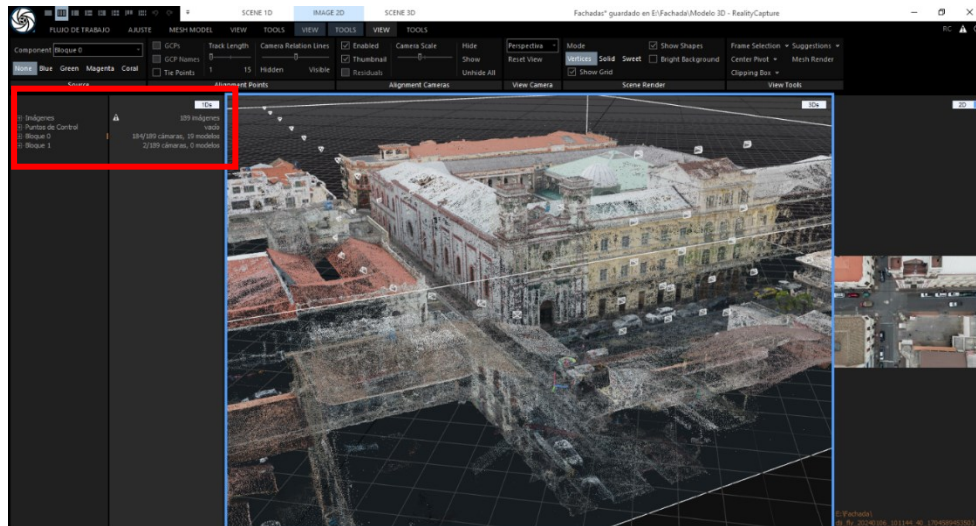


Figura 75: Detalle del Modelo

Fuente: Elaboración Propia

- Siguiendo con lo dicho anteriormente, primero se debe comprobar cuantos vértices posee el modelo, esto mostrado en la imagen anterior, más específicamente en Bloque 0, y visualizamos en dónde dice Modelo 1, al lado derecho podemos ver los 119.0 M triángulos, ahora para reducir los vértices, nos dirigimos a TOOLS en SCENE 3D, y elegimos la opción simplificar, lo cual abrirá el cuadro de la izquierda.

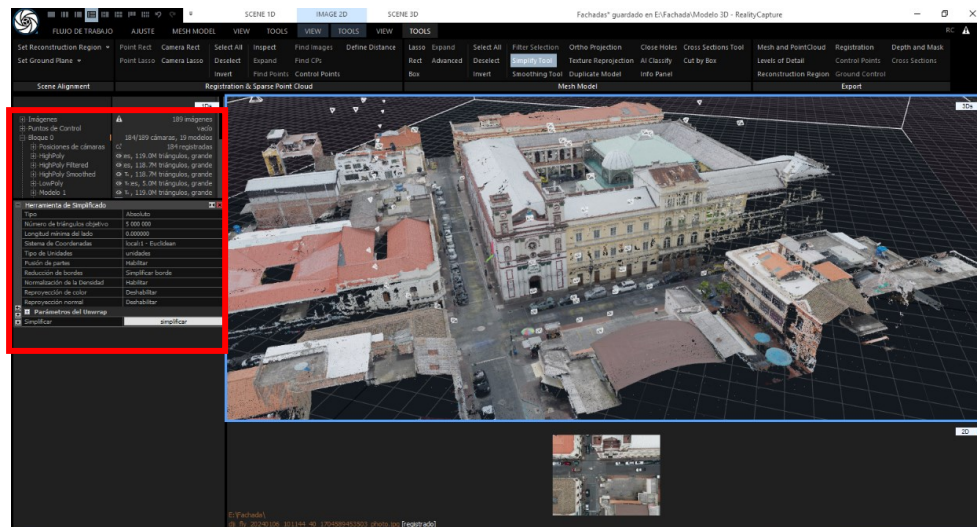


Figura 76: Simplificar vértices

Fuente: Elaboración Propia

- Ahora con la malla lista, se procede a texturizar el modelo, para ello se puede dirigir hacia MESH MODEL y el botón Texturizar, o presionar el botón F6 en el teclado. Se recomienda verificar que la generación de textura está en la máxima posible, esto debido a que la textura solo es una imagen superpuesta al modelo, por ello cuanto más detalle tenga la textura, mejor se va a ver el resultado final. (la textura también puede mejorar el aspecto general del modelo 3D)

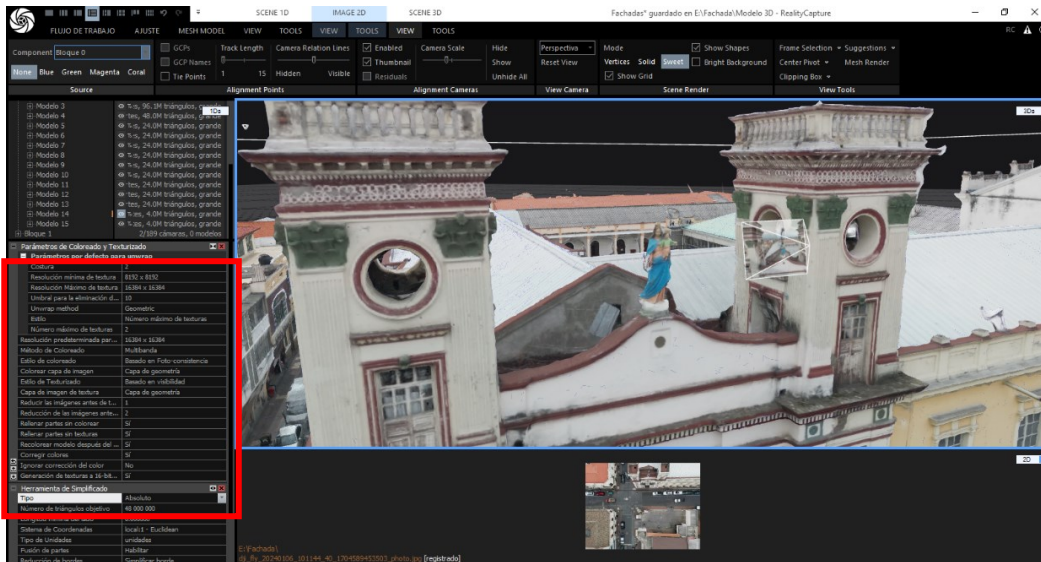


Figura 79: Modelo Texturizado

Fuente: Elaboración Propia

- Finalmente, se puede exportar el resultado final como OBJ, para utilizarlo en algún otro programa de modelado 3D, crear renders o videos desde el mismo programa desde la opción de exportación en la opción de flujo de trabajo, la misma pestaña dónde se inició todo el proceso.

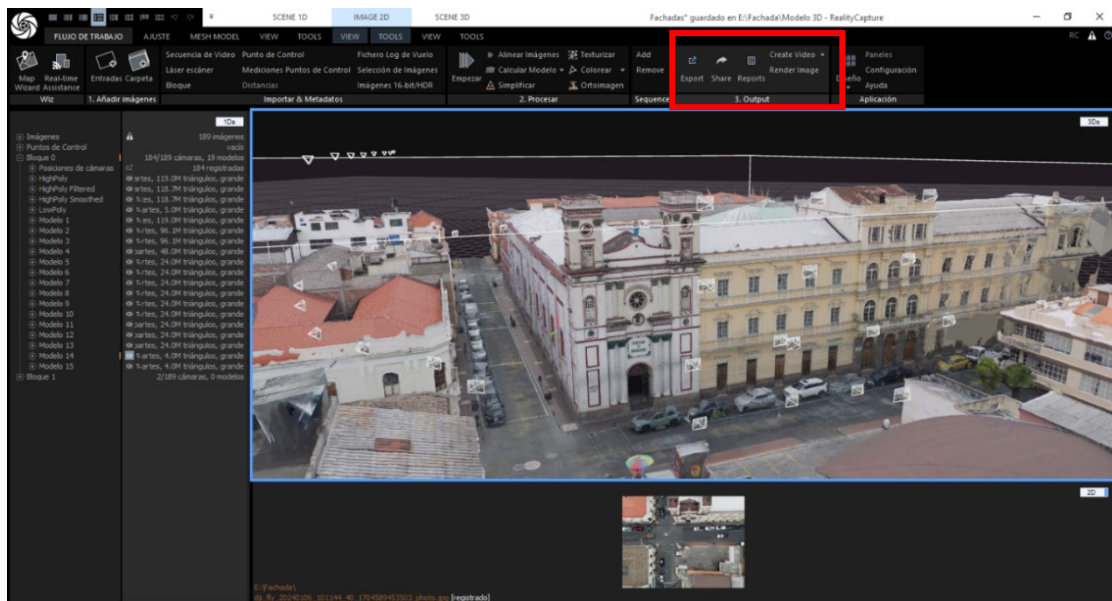


Figura 80: Exportar modelo

Fuente: Elaboración Propia

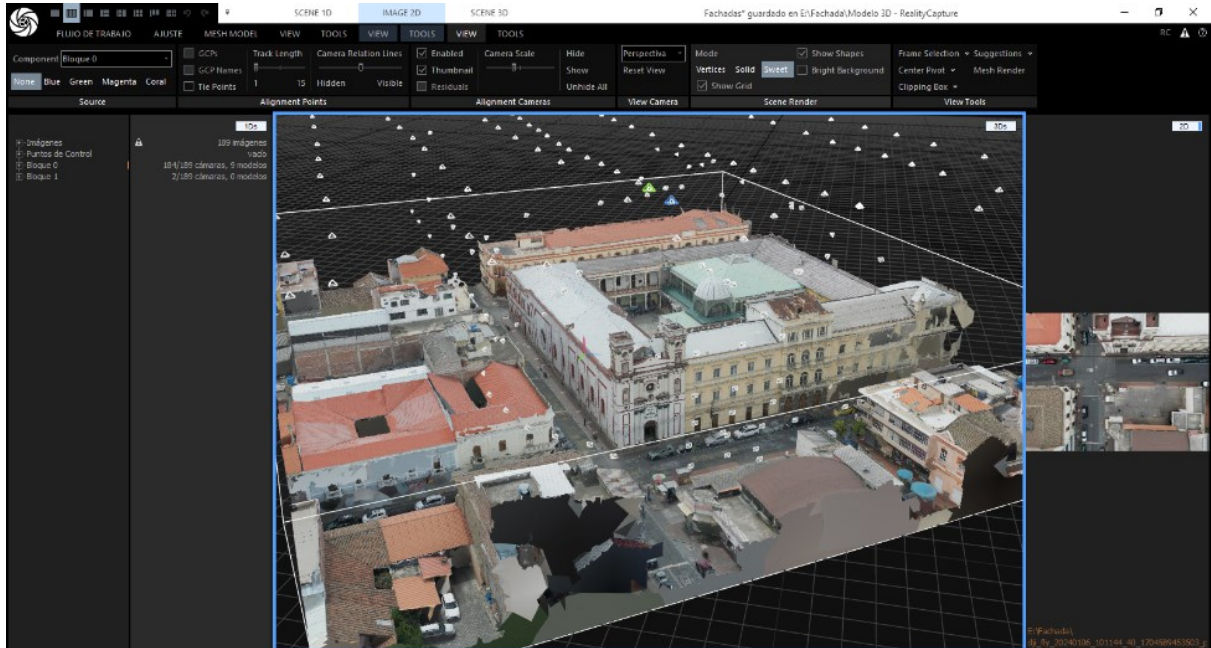


Figura 81: Modelo Texturizado exterior

Fuente: Elaboración Propia

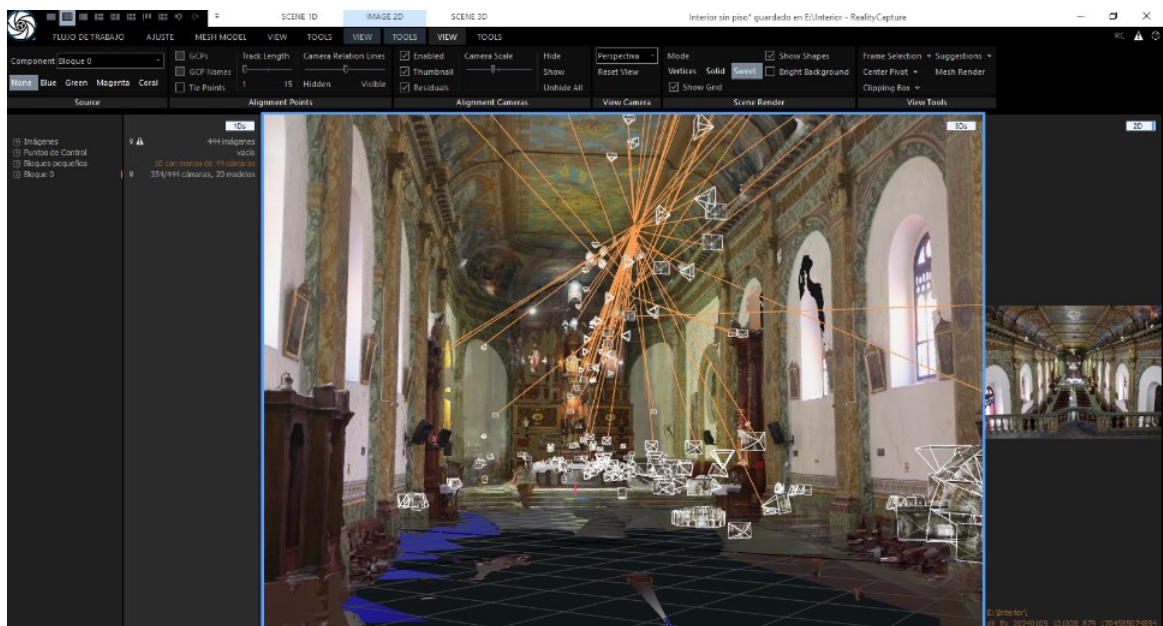


Figura 82: Modelo Texturizado Interior

Fuente: Elaboración Propi

- **4.5. PRESENTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS**

Y como paso final, nos encontramos con el almacenamiento y presentación de los datos, que en resumen es mostrar el resultado final de todos los pasos seguidos anteriormente para obtener una fuente de información acerca del edificio analizado, y a la vez pueda ser usado por otras personas en sus investigaciones, que no puedan ir al sitio para estudiarlo.

Por ello, el resultado debe ser lo más fiel posible con la realidad, y contener la mayor cantidad de información posible. A continuación, se mostrarán algunas imágenes referentes al resultado obtenido del exterior de la iglesia.



Figura 83: Fachada lateral renderizada

Fuente: Elaboración Propia

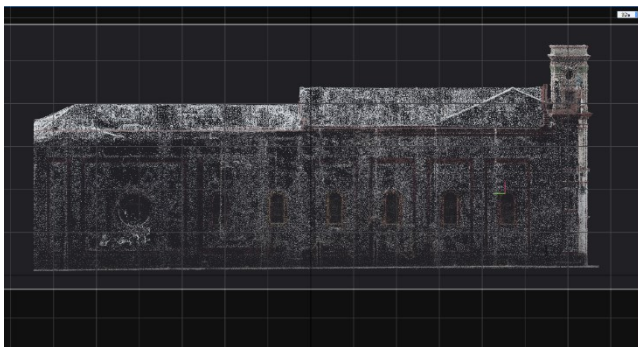


Figura 85: Nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

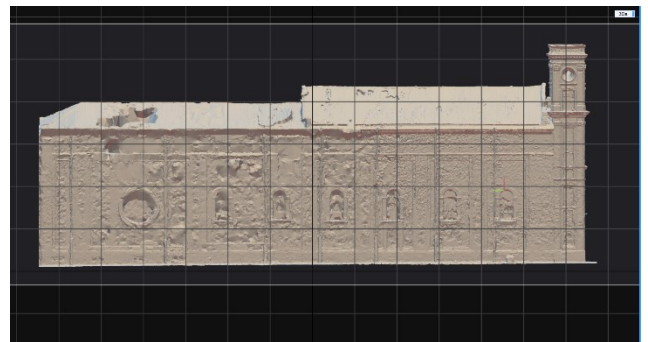


Figura 84: Malla Modelada

Fuente: Elaboración Propia

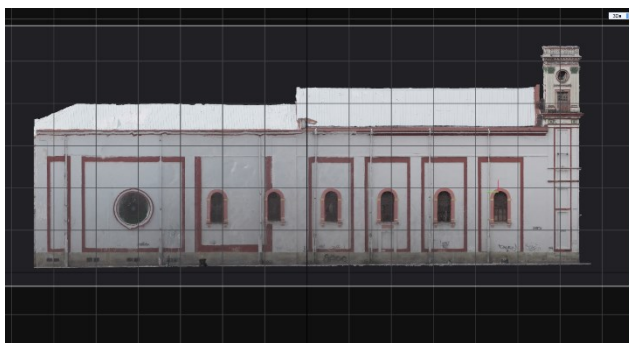


Figura 87: Malla texturizada

Fuente: Elaboración Propia



Figura 86: Nube de puntos en Archicad

Fuente: Elaboración Propia



Figura 88: Fachada lateral interna

Fuente: Elaboración Propia



Figura 89: Fachada Principal Texturizada

Fuente: Elaboración Propia

Gracias al resultado de la fotogrametría, cabe aclarar, que no se crea un modelo completo al instante, en otras palabras, para presentar la parte exterior de la iglesia se realizó los pasos anteriormente explicados, pero para la parte interna de la misma, se debe volver a realizar todo el proceso, y en la edición se unen las dos partes para lograr visualizar todos los datos de la iglesia estudiada.

Es posible exportar estos dos modelos como OBJ (extensión de archivo) para usarlo sin ningún cambio en algún otro motor gráfico o renderizador (como unreal engine, unity, etc..) que permita la creación de escenas, videos, renders o aplicaciones, también a programas para modelado 3D, para pulir al máximo las pequeñas fallas que se puedan haber generado, como huecos en la malla, o aumentar algún elemento a la escena.

A continuación, se mostrarán tanto la nube de puntos, malla, y objeto texturizado, para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos.

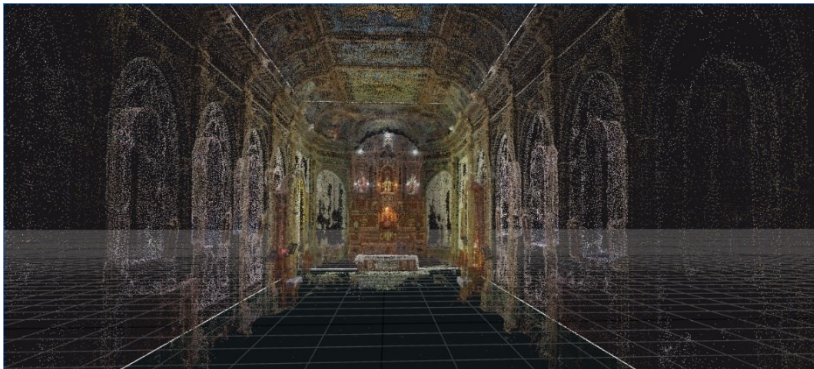


Figura 90: Interior nube de puntos
Fuente: Elaboración Propia

Figura 91: Interior Malla
Fuente: Elaboración Propia



Figura 92: Interior Texturizado
Fuente: Elaboración Propia

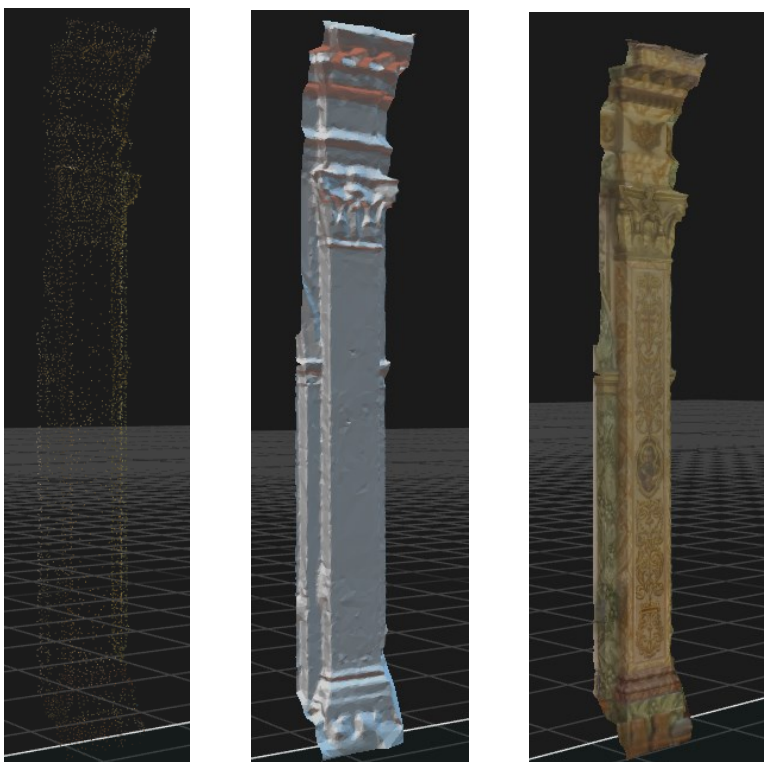


Figura 93: Columna Interior: (nube de puntos, malla y texturizado)

Fuente: Elaboración Propia

4.5.1. DETALLES

También es posible con esta técnica rescatar medidas de detalles poco accesibles o de difícil acceso para una correcta toma de datos, por ello a continuación se mostrará algunos de estos detalles que se han podido rescatar, se debe mencionar que para exportar la nube de puntos a programas como Archicad o Revit es necesario hacerlo en extensión (.xyz), esto con el objetivo de rescatar las medidas reales del objeto levantado, gracias a la fotogrametría.

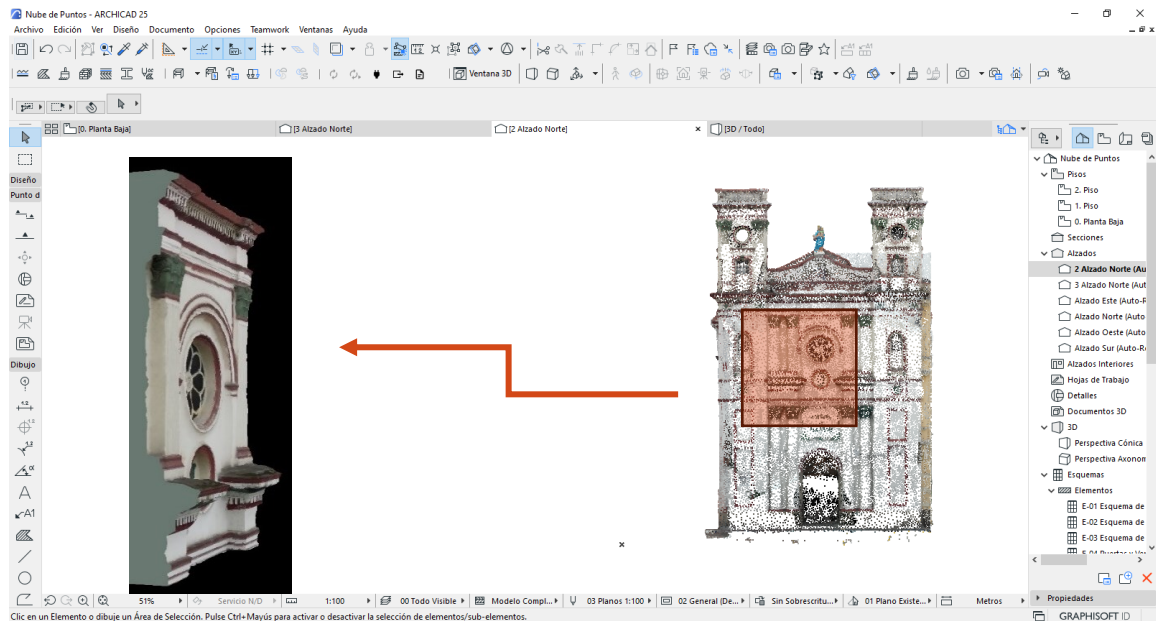


Figura 94: Detalle de rosetón y entepiso de Fachada

Fuente: Elaboración Propia

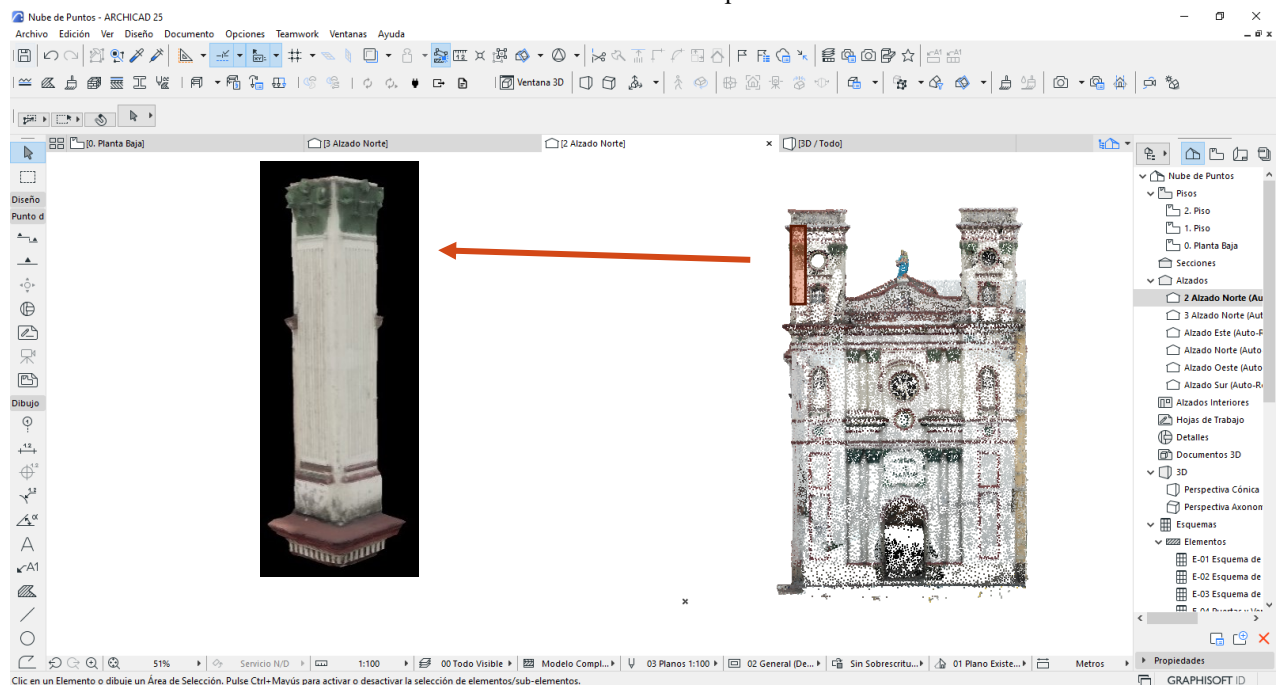


Figura 95: Detalle de columna de Torre

Fuente: Elaboración Propia

También es posible recortar del modelo general solo pequeñas partes o detalles importantes del modelo, para analizarlos de forma independiente, o usarlos en algún otro proyecto; se debe mencionar que, para usarlos directamente, es necesario exportarlos en formato obj, para poder trabajar en un programa de modelado 3D, como Blender o Maya.

Pero si lo que busca es usarlo en programas Bim como Archicad o Revit, debe tener en cuenta que solo puede exportar la nube de puntos, la cual se abre como un objeto 3D en estos programas y para obtener los planos es necesario un redibujo encima de todas las referencias que se pueden previsualizar.

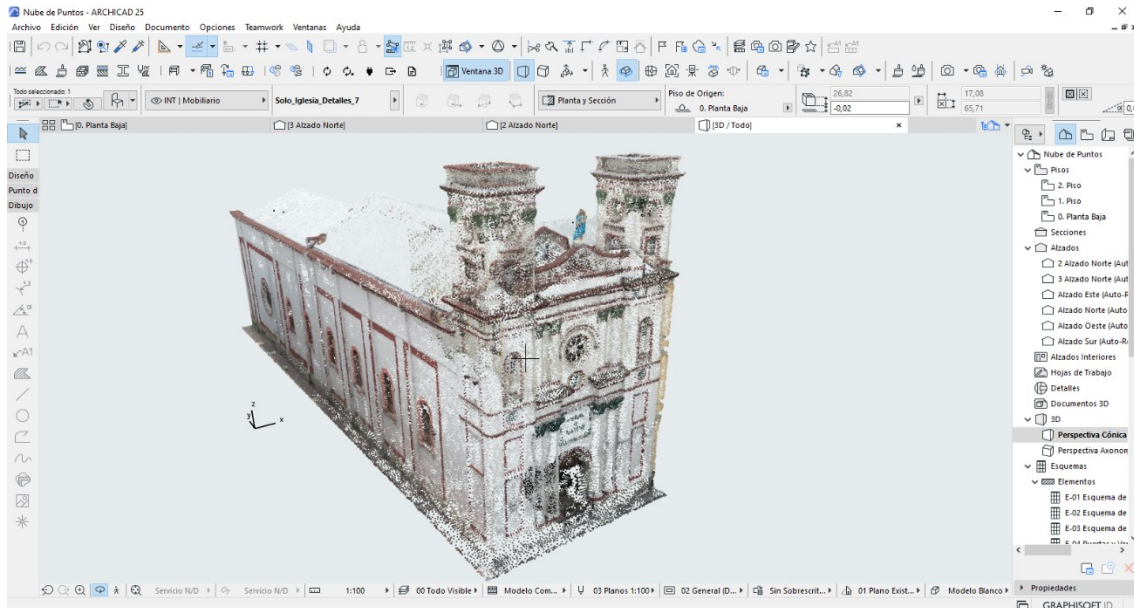


Figura 96: Nube de puntos en Archicad

Fuente: Elaboración Propia

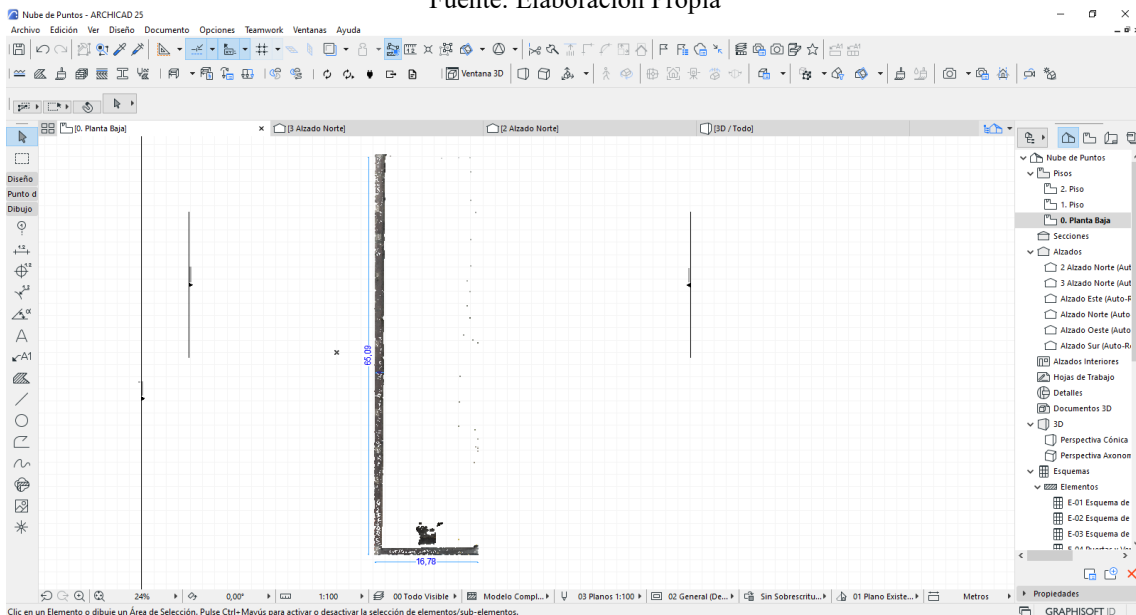


Figura 97: Planta a base de nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se mostrarán algunas imágenes de los detalles que se han podido recuperar de la parte interna de la Iglesia la Merced, en dónde se visualizan tanto la nube de puntos, la malla y el objeto ya texturizado.

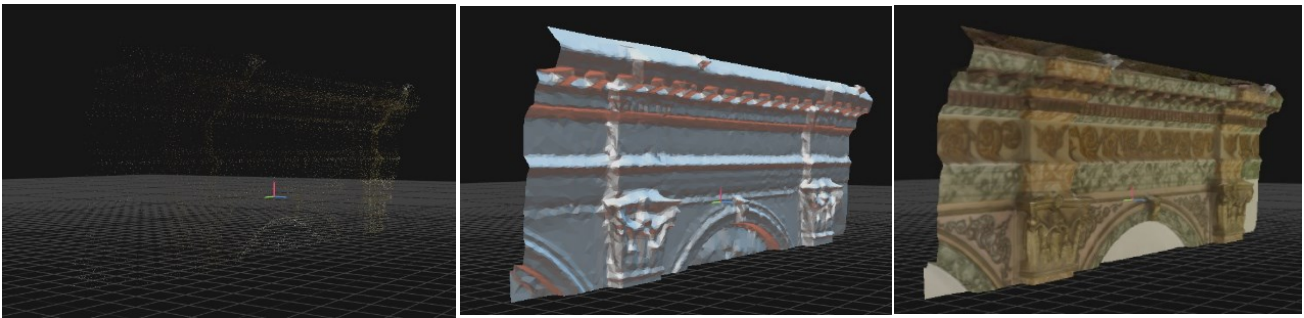


Figura 98: Molduras internas (Nube de puntos, Malla, Texturizado)

Fuente: Elaboración Propia

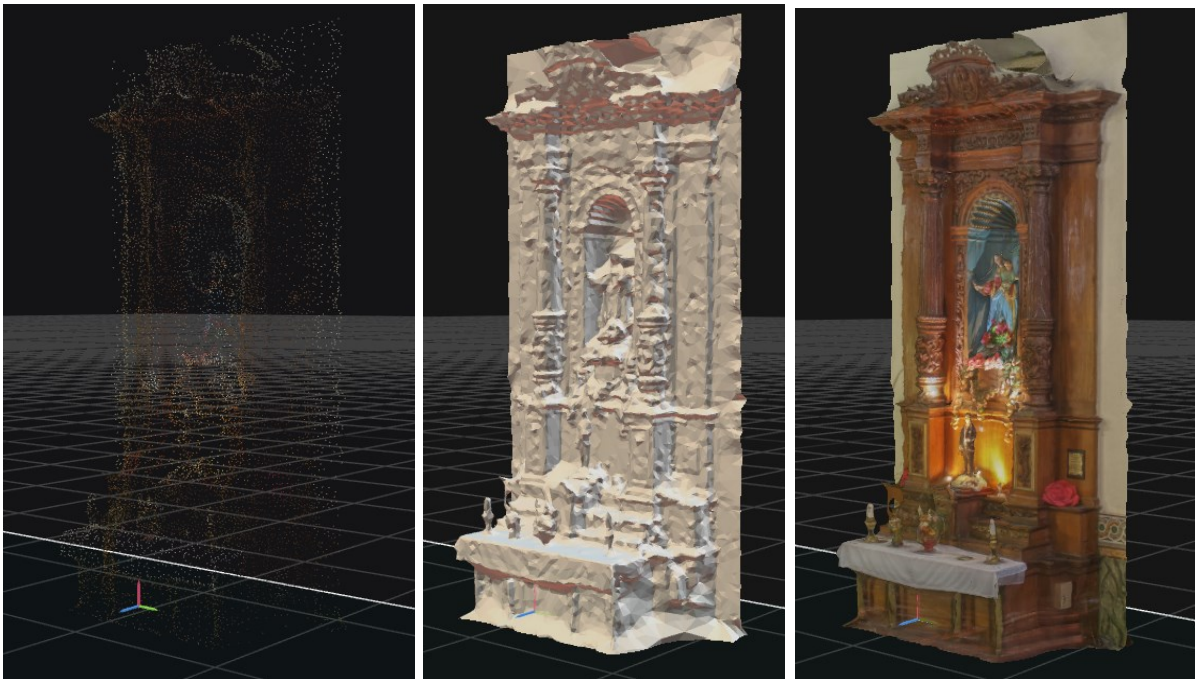


Figura 99: Altar menor (Nube de puntos, Malla y Texturizado)

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se dejará un código QR, en dónde se podrá encontrar los modelos optimizados en formato FBX, de la Iglesia la Merced, así como también sus nubes de puntos y las imágenes obtenidas en su mayor calidad.



Figura 100: Código QR de modelos 3D

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. ELABORACIÓN DE DIBUJO LINEAL A PARTIR DE ORTOFOTOS

Con todos los modelos ya creados hay la posibilidad de exportar sus fachadas, cortes y plantas como ortofotos, esto para la creación de dibujos lineales (en formato CAD) que nos puedan servir para el redibujo de sus planos, fachadas, cortes, etc, con el objetivo de no perder medidas, y facilitar la representación arquitectónica del edificio levantado, gracias a la fotogrametría.

El primer paso para lograr este objetivo, es obtener sus ortofotos, desde el propio programa de Reality Capture, esto con la intención de obtener la mayor resolución posible, que, al transformar en dibujo lineal, no se pierdan demasiados detalles, y su redibujo sea mucho más sencillo, también es necesario tomar en cuenta la posición de la ortofoto, para que el resultado final no sea distorsionado con líneas fuera de 90°.

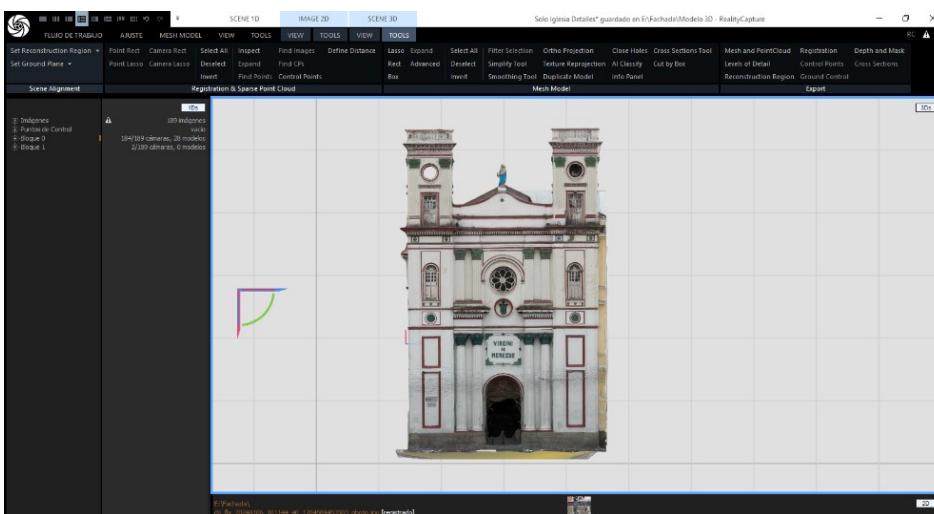


Figura 101: Vista frontal del modelo para ortofoto

Fuente: Elaboración Propia

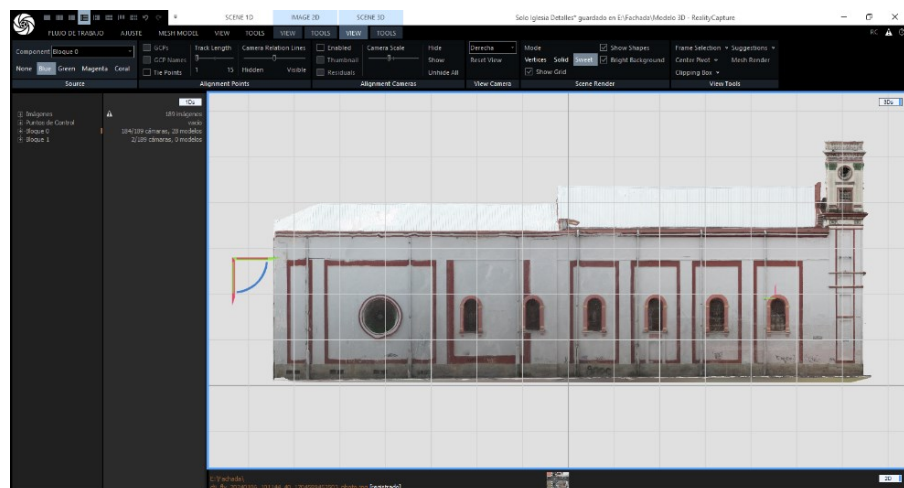


Figura 102: Vista lateral del modelo para ortofoto

Fuente: Elaboración Propia

Ya con las ortofotos conseguidas, se procede a subirlos a un convertidor de formatos, en dónde se le cambiará su extensión por .dxf, para obtener el dibujo lineal de la ortofoto subida y tener el dibujo en formato CAD para obtener las medidas reales del edificio y hacer las posteriores modificaciones pertinentes.

A las ortofotos obtenidas se las puede editar en Photoshop para obtener un tipo de dibujo a mano, y así obtener planos mucho más detallados y que necesiten menos tiempo para su optimización.

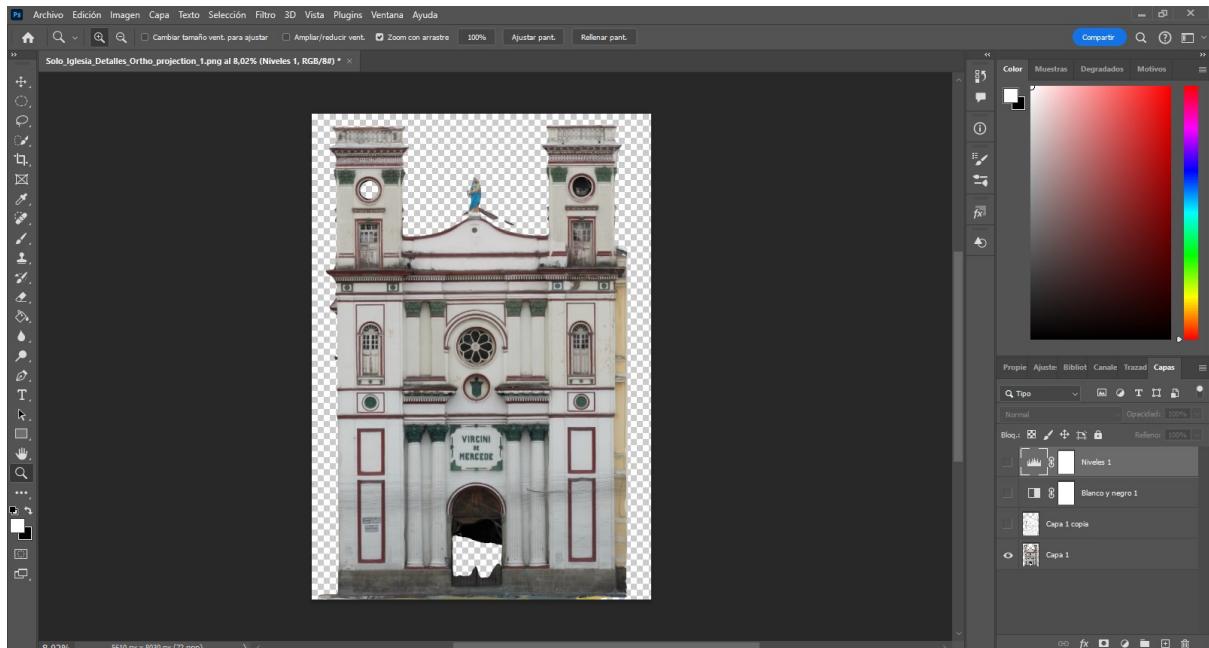


Figura 103: Ortofoto para editar

Fuente: Elaboración Propia

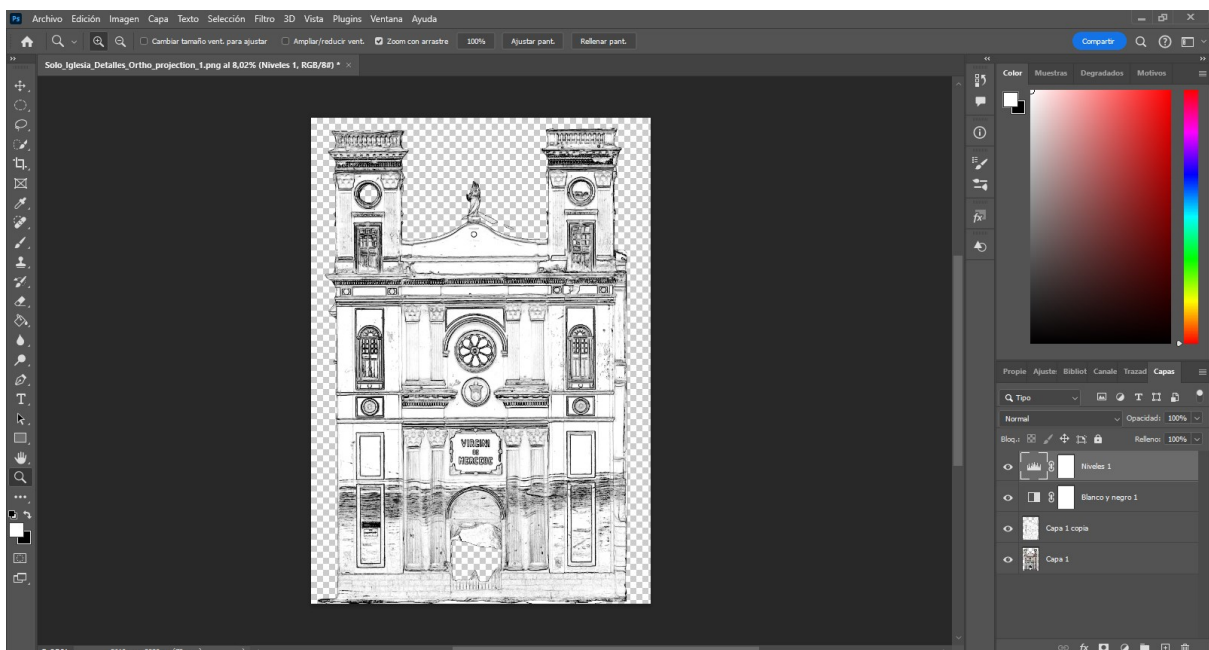


Figura 104: Ortofoto editada para convertir a CAD

Fuente: Elaboración Propia



Figura 105: Comparación entre Ortofoto y Dibujo lineal

Fuente: Elaboración Propia

RECOPIACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Finalizado todo el trabajo de creación del modelo 3D, se procede a mostrar los resultados tanto de tiempo, tamaño y total de vértices obtenidos en ambos modelos

Tabla 5: Resultados de los modelos obtenidos

MODELO	INSTRUMENTO UTILIZADO	TIEMPO DE PROCESADO	N. DE FOTOS	POLÍGONOS	PESO DE ARCHIVO	TEXTURA
Exterior-Fachadas	Dron	4-5 horas	183	300 000	27.3 GB	1 x 8k
Interior	Cámara Fotográfica- Dron	5-7 horas	378	900 000	29.7 GB	2 x 8k

Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla se muestra el tiempo requerido para la creación de los planos redibujados a partir de las ortofotos obtenidas. Cabe aclarar que los planos son dibujados encima de las fotos.

Tabla 6: Resultados de la elaboración de planos

ORTOFOTO	TIEMPO DE EDICIÓN (horas)	TIEMPO DE CONVERSIÓN DE FORMATOS (horas)	PESO DE ARCHIVO (megabytes)	TIEMPO: OPTIMIZACIÓN DE PLANOS (horas)	TIEMPO TOTAL (horas)
Fachada principal	0,05	0,25	83,5 mb	6,00	6,30
Fachada Lateral	0,05	0,25	96,8 mb	4	4,30
Corte Longitudinal	0,05	0,5		4	4,55
				TOTAL	15,15

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3. COMPARACIÓN DE MODELOS OBTENIDOS

En este apartado se mostrarán las diferencias entre las diferentes representaciones alcanzadas por la fotogrametría realizada.

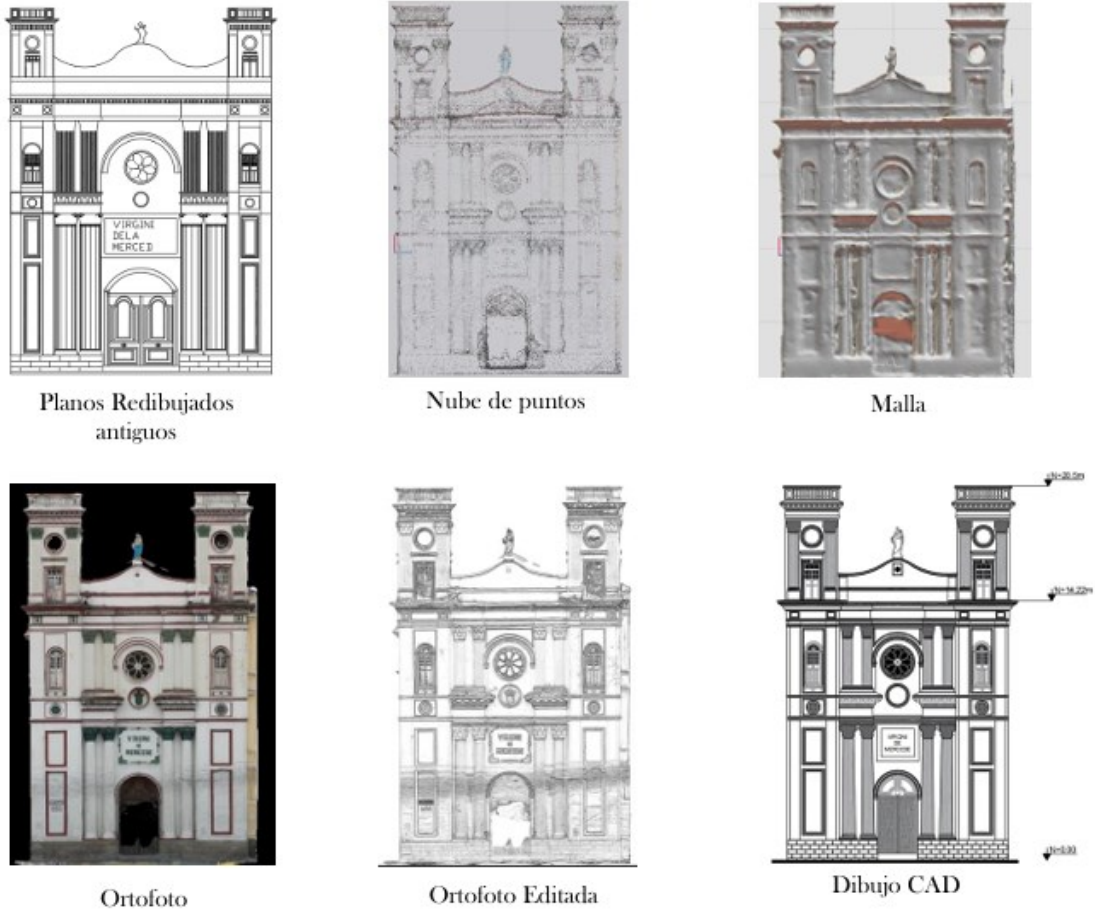
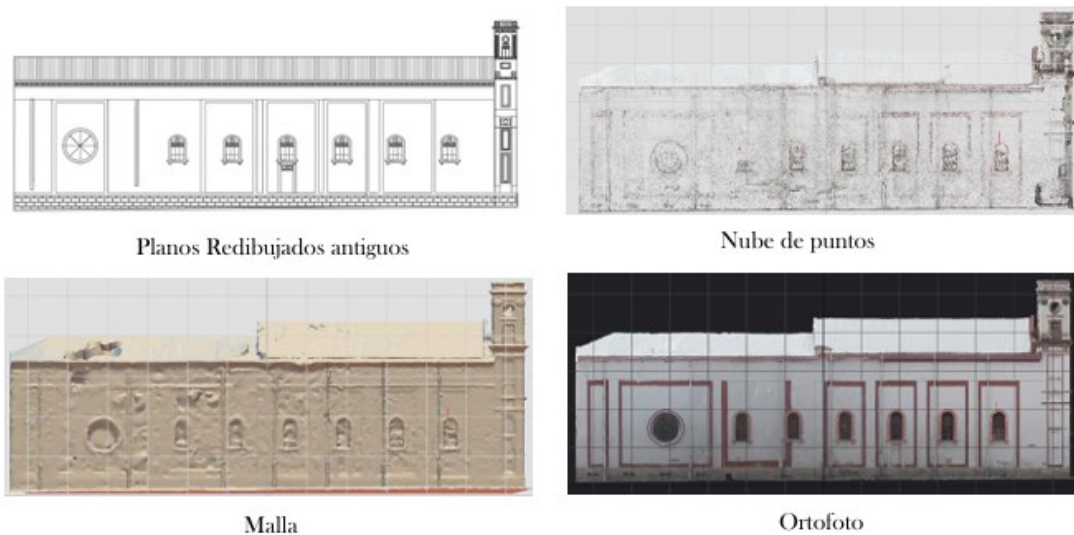


Figura 106: Comparación en fachada principal

Fuente: Elaboración Propia



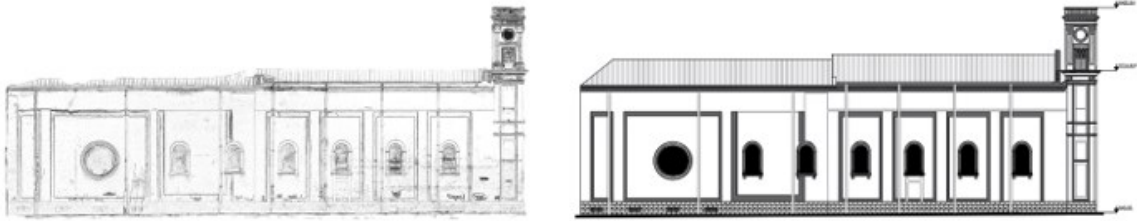


Figura 107: Comparación fachada lateral
Fuente: Elaboración Propia

4.6. CREACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL

• EXPORTAR MODELO

Para poder usar los modelos obtenidos en un motor de renderizado es necesario optimizar los modelos, tanto en sus vértices como en sus texturas, para que no terminen siendo muy pesados y se pueda trabajar de manera más óptima, sin cierres inesperados.

Como se especificó anteriormente en la construcción del modelo 3D, gracias al programa Reality Capture, ya es posible reducir el número de vértices desde la misma interfaz, sin recurrir a programas externos. Por ello se recomienda que al modelo final se le reduzca sus vértices a menos de 5 millones, ya que motores como Unreal Engine, puede manejar esos polígonos, gracias a su herramienta llamada Nanite, que mejora el rendimiento para estos modelos.

Antes de exportar los modelos cabe aclarar, que se debe revisar si el modelo cuenta con las texturas, en caso contrario se debe volver a texturizar, se recomienda cambiar las configuraciones de texturizado en el programa para aumentar la calidad de las mismas, y que el modelo exportado tenga la mayor calidad posible.

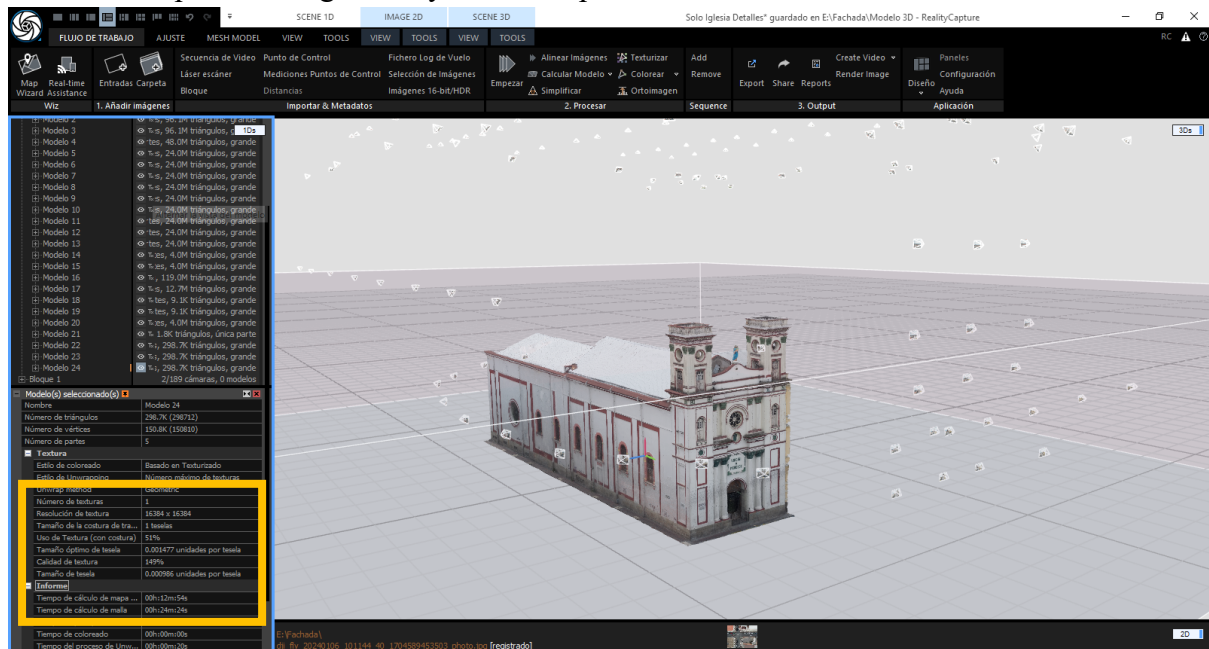


Figura 108: Revisión de modelos

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se mostrarán algunas consideraciones para exportar el modelo y poder usarlo con la mayor calidad posible en programas como Blender (modelado 3D) y Unreal Engine (motor de renderizado). La primera de ellas es exportar el modelo en formato FBX, para poder usar texturas UDIMS (hace referencia a la creación de varias celdas para cada parte del objeto, esto para mejorar la calidad de las texturas).

Exportar Su Creación

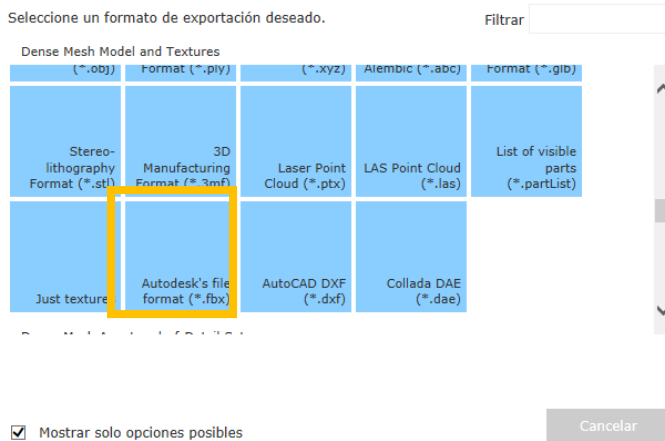


Figura 109: Formato de salida

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen se muestran las opciones que hay que tomar en cuenta para que el archivo exportado se pueda usar en su mejor calidad posible, entre ellas tenemos la malla por partes, que debe estar en NO, ya que solo queremos un solo archivo para editar, tener en cuenta en “tipo de tile” esté en UDIM, el “formato de archivo de textura” en JPG, el “formato de pixel de textura” en 24-bit BGR y la “transformación definida” en la opción donde aparezca Unity, Unreal, etc, para que no se gire el modelo.

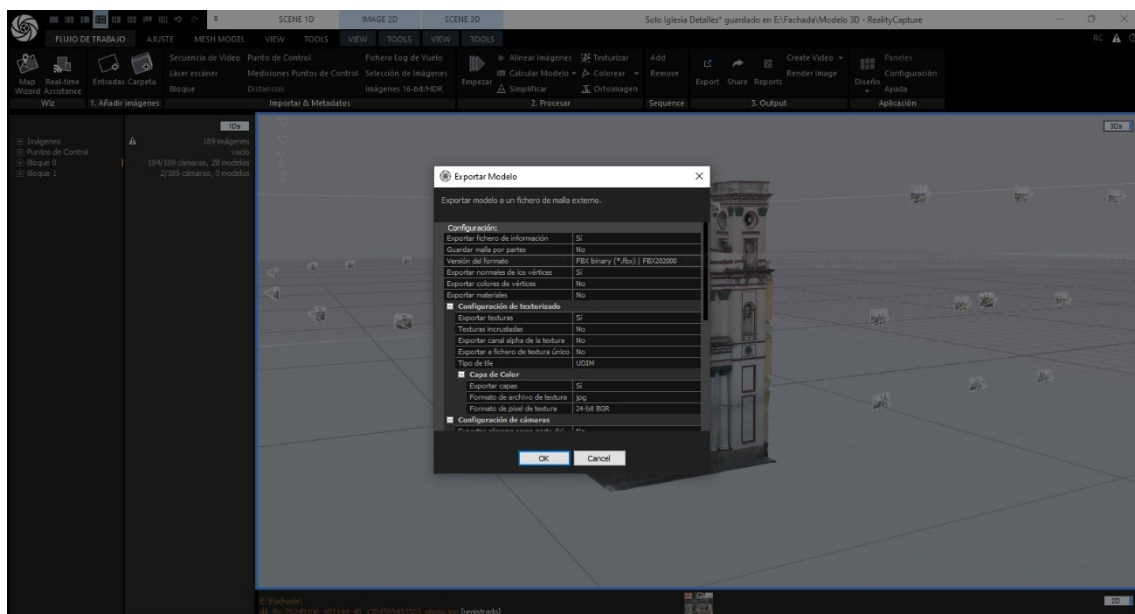


Figura 110: Detalle de exportación

Fuente: Elaboración Propia

4.6.1. OPTIMIZACIÓN Y LIMPIEZA DEL MODELO

Ya con el archivo FBX, con sus respectivas texturas, procedemos a limpiar el modelo de todos los errores que aún puedan quedar en el modelo 3D, entre estos errores podemos encontrar planos rugosos, espacios sin entradas de luz (por lo general ventanas, o puertas), o algún elemento que no se vea del todo bien, se procede a borrar o mejorar dichas partes.

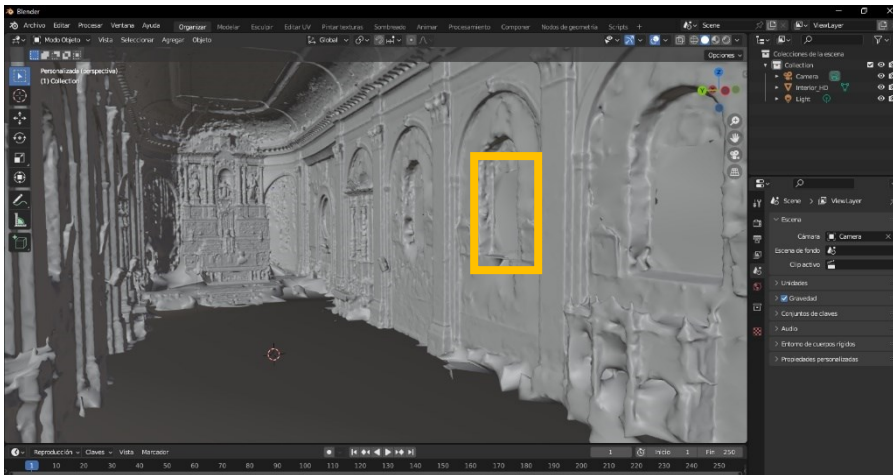


Figura 111: Errores de topología

Fuente: Elaboración Propia

En este caso se ha utilizado el programa llamado Blender, pero se lo puede realizar en cualquier programa de modelado 3D que soporte extensiones OBJ, FBX, etc. Lo primero es asegurarse que el modelo posee sus respectivas texturas, para ello nos dirigimos a “sombreado”, agregamos un nuevo material, y presionando “Control+Mayus+T” se nos abrirá un selector de archivos, en dónde buscaremos nuestras texturas. En este punto se puede jugar con algunas opciones para que la visualización sea más nítida.

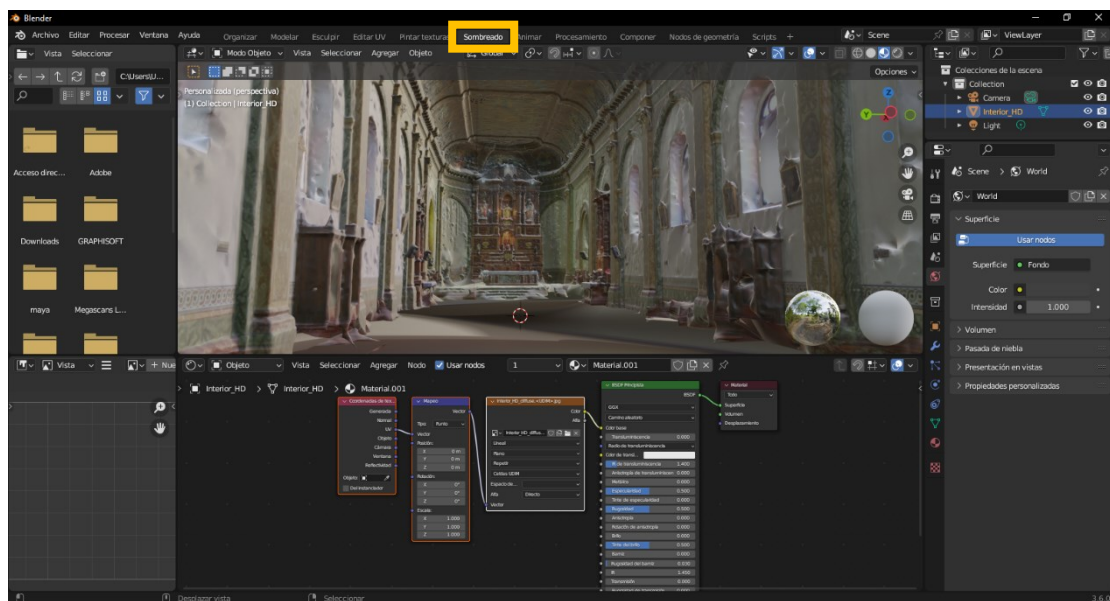


Figura 112: Visualizar texturas en Blender

Fuente: Elaboración Propia

Ahora con las texturas puestas procedemos a suavizar las paredes del modelo, y crear vanos en las ventanas, para que pueda entrar la luz al interior. Este proceso requiere paciencia, ya que toma mucho tiempo terminarlo.

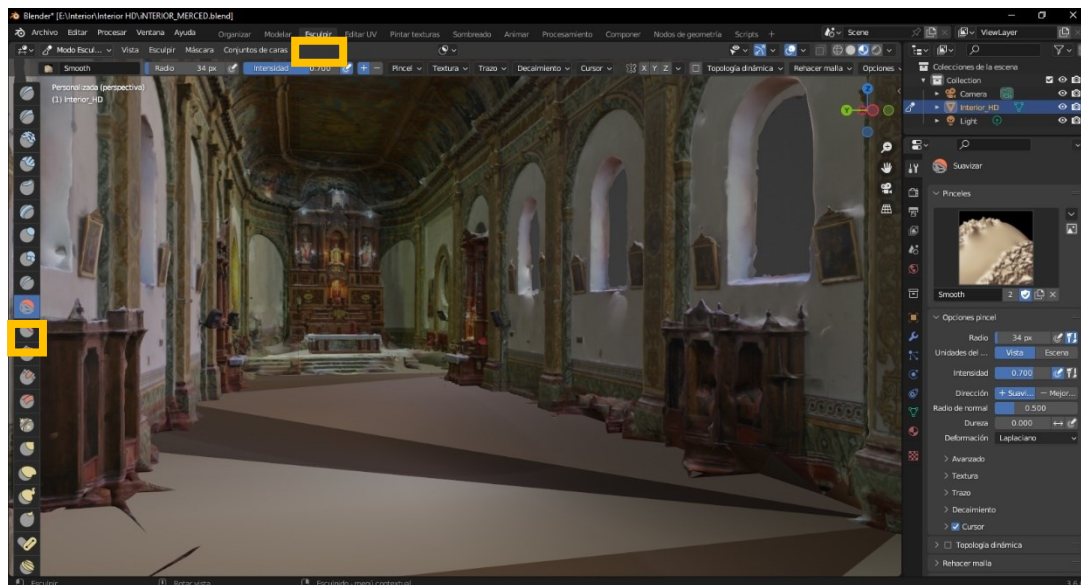


Figura 113: Modelo limpiado y con vanos en ventanas

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se vuelve a exportar el modelo terminado en formato FBX, tenga cuidado que las texturas usadas anteriormente se vuelven a usar con el nuevo modelo optimizado y limpiado, puede editar las texturas con Photoshop, para un resultado mucho más preciso, pero conllevaría tener conocimientos previos de iluminación, blancos/luces y negros/sombras, etc.

4.6.2. RECORRIDO VIRTUAL

Ya con el nuevo modelo resultante, nos dirigimos a Unreal Engine para la creación del recorrido virtual, aquí es donde el haber exportado en formato FBX nos va a servir mucho ya que podemos activar la opción de Nanite al modelo de la iglesia, y así trabajar de manera más cómoda, el flujo de trabajo no es tan difícil pero se necesita una guía, un canal de YouTube el cuál fue de mucha ayuda, se llama @WilliamFaucher, que posee tutoriales acerca del manejo y creación de videos sobre fotogrametría en Unreal Engine.

Ya en el programa lo que tenemos que hacer es ambientar la escena con bancas que podemos buscar en la tienda por defecto, o una tienda externa, es necesario aclarar que la mayoría de objetos de tiendas externas, son pagados, pero al buscar se pueden encontrar buenos objetos de forma gratuita. Lo más importante a tener en cuenta, es el manejo de las luces y niebla, porque con ellas se logra el máximo realismo para crear un ambiente que se sienta como estar allí en la iglesia.



Figura 114: Creación de recorrido virtual en Unreal Engine

Fuente: Elaboración Propia

Ya terminado el recorrido virtual se lo exporta como un video, se puede editar dicho video para incluir música de fondo, y el nombre del autor, con ello se lo sube a la carpeta en línea para poder observarlo a través del siguiente código QR.



Figura 117: Código QR
Carpeta Compartida

Fuente: Elaboración Propia

Figura 116: Código QR
Recorrido Virtual

Fuente: Elaboración Propia

Figura 115: Código QR
Modelo 3D

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Toda investigación supone el aprendizaje de conceptos nuevos, programas y softwares que no se han trabajado hasta la realización de esta tesis, por tal motivo ha supuesto un largo camino hasta encontrar todos los procesos más óptimos y que requieran menos tiempo para su realización. Por todo ello en este apartado se expondrá varias conclusiones, además de las expuestas en los objetivos y que pretenden dar a conocer el por qué ha sido importante esta investigación.

- **LINEAMIENTOS**

Una de las partes más importantes para cualquier levantamiento y en especial para edificios patrimoniales viene dado por el objetivo del mismo, en otras palabras, ¿qué se quiere lograr con dicho levantamiento?, ¿poner en valor el bien?, ¿para un trabajo de restauración o conservación?, o ¿para conservar su historia?

Todas estas preguntas deben surgir, para que con ello encontrar todos los lineamientos necesarios para no causar un daño al objeto arquitectónico que se está analizando, uno de los que ha surgido con esta investigación es aquella que hace énfasis en la conservación de los datos obtenidos, desde su levantamiento hasta la documentación final, ya que puede servir como respaldo de su existencia, y a la vez como documentación que puede ser revisitada para futuros trabajos.

- **LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO**

En cuanto al proceso necesario para un levantamiento fotogramétrico, éste ha ido cambiando y simplificándose con el pasar del tiempo, ya que hace unos 30 años, las cámaras fotográficas no tenían la misma tecnología que tienen ahora, así como una buena definición, para simplificar los pasos necesarios para un buen resultado.

Esto resulta en un trabajo menos pesado para todo aquel que lo quiera realizar, también en una reducción de costos y la posibilidad de hacerlo uno mismo, con cámaras de un teléfono móvil, y llegar a un mismo nivel profesional. Aparte de ello con el acceso a Internet, más específicamente a videos en YouTube, se puede aprender e ir paso a paso en estos procesos para el levantamiento fotogramétrico.

- **PRESERVACIÓN PATRIMONIAL**

Hablando acerca de la preservación patrimonial, hasta el año 2000 su documentación solamente se la guardaba de manera física en hojas de papel, libros, entre otros, pero con la llegada de las computadoras y la creación del almacenamiento digital, se empezó a manejar

otras formas de guardar información, así como también la recreación de los edificios u objetos de forma virtual para llegar a lo que se denomina como recorrido virtual.

Todo esto para exponer dichos edificios a personas que no los puedan visitar de forma física, como también para preservar un estado específico del patrimonio, ya sea porque de alguna u otra forma pueda ser destruida, dañada o robada.

Esto ha llevado a varios autores a proponer diferentes maneras de recrear el patrimonio de manera digital, entre ellas también diferentes formas de usar la fotogrametría para ese propósito, desde usarlo para crear imágenes ortogonales de sus fachadas, para definir medidas reales, hasta la creación de un modelo 3D a base de fotos.

5.2. RECOMENDACIONES

El número de fotografías para mejorar aún más el resultado final, debe superar las 500 como mínimo, esto para no perder información de patologías que puedan llegar a encontrarse dentro de pocos centímetros.

Se debería seguir experimentando con este método para el levantamiento de información de los entes patrimoniales, para llegar a menorar el margen de error lo máximo posible, o hasta que no exista un margen de error e los datos y éstos sean parte de futuras intervenciones. Así también mejorar el resultado del recorrido virtual final y que sea usado como una fuente de interés para el turismo extranjero o local.

Se debe poseer un equipo con una tarjeta gráfica de al menos 4gb de ram, y componentes que vayan de acuerdo con dicha tarjeta gráfica, esto para poder realizar todos los procesos necesarios para llegar a los resultados mostrados y no salten errores o el tiempo se dispare para terminar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almagro, A. (1985). La fotogrametría, un valioso auxiliar para el estudio de la Arquitectura Islámica.
- Almagro, A. (2004). *Levantamiento arquitectónico*. Universidad de Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/19802>
- Astorqui, J. S. (2003). La fotogrametría digital en el levantamiento de planos de edificios. *Informes De La Construcción*, 45(488). doi:<https://doi.org/10.3989/ic.2003.v55.i488.539>
- Caro, J. L. (2012). Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. *IX Congreso Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. TURITEC.
- Dartnell, L. (2012). *Matrix: Simulating the world Part II: cellular autómeta.*+ Plus Magazine. Obtenido de Matrix: Simulating the world Part II: cellular autómeta.+ Plus Magazine.
- Feilden, B. (2003). *Conservation of Historic Buildings*. London: Routledge. doi:<https://doi.org/10.4324/9780080502915>
- Fernandez Ruiz, J. A. (2002). *Criterios y método para la modelación digital del Patrimonio Arquitectónico*. EGA: Revista de expresión gráfica arquitectónica 7.
- Fiorentin, R. M. (2019). *Posturas críticas y teorías de la restauración. Reconocimiento y sistematización de sus principales exponentes. [Maestría en Gestión e Intervención en el Patrimonio Arquitectónico y Urbano]*. Buenos Aires.
- Freiberger, M. (2007). *Perfect buildings: the maths of modern architecture*.
- González-Varas, I. (1999). *Conservación de bienes culturales: teoría, historia, principios y normas*.
- Granizo, A. M. (2016). *IMÁGENES BARROCAS EN LAS IGLESIAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA COMO MOTIVO RECURRENTE EN EL DISEÑO GRÁFICO EN EL PERIODO ACTUAL [Tesis de Licenciatura, UNACH]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2382>
- Guillaud, H. A. (2003). *Research in Earthen Architecture Conservation: A Literature Review*. Terra.

- Lazo, N. M. (2022). *El levantamiento arquitectónico del patrimonio construido. Un instrumento preciso de la realidad* (Vol. 2). Mimesis, Journal of Science of Architectural.
- Mañana-Borrazás, P., Paz, A. R., & Blanco-Rotea, R. (30 de Diciembre de 2008). Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela). *Arqueología De La Arquitectura*(5), 15-32. doi:10.3989/arqarqt
- Michelle Lou, B. G. (17 de Abril de 2019). CNN. Obtenido de <https://cnnespanol.cnn.com/2019/04/17/hace-cuatro-anos-un-historiador-uso-laser-para-hacer-mapas-digitales-de-notre-dame>
- R Good, R. C. (2017). *Anuario AC/E 2017 de Cultura Digital: Cultura inteligente: Análisis de tendencias digitales. Focus: el uso de tecnologías digitales en la conservación, análisis y difusión del patrimonio cultural*. Dosdoce.
- Ruiz, A. M. (2020). *La aplicación de la fotogrametría (SFM) y las nuevas tecnologías para la mejora de la documentación, difusión y divulgación del patrimonio arqueológico [Doctoral dissertation]*. Universidad de Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/62261>
- Salamanca , G. F. (2012). *El levantamiento arquitectónico: una aproximación metodológica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes.
- Santos Maestre, C. (2015). *Aplicación arquitectónica de la fotogrametría digital para levantamiento gráfico y fotogramétrico de fachadas en Palacete Prytz*. Universidad de Alicante. Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía, España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/49506>
- Senovilla Ramos, D. (2022). *Fotogrametría para la representación interactiva de la arquitectura. Casas cueva en Trigueros del Valle [Grado en Fundamentos de la Arquitectura]* . Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, España. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/57033>
- Souto-Vidal, M., Ortiz-Sanz, J., & Gil-Docampo, M. (2015). *Implementación del levantamiento eficiente de fachadas mediante fotogrametría digital automatizada y el uso de software gratuito* (Vol. 67). CSIC. doi:10.3989/ic
- Tassara, E. (2004). Fotogrametría: relevamiento y detección de patologías. *Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica* (pág. 10). Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica.
- Torre, M. I. (2023). Notre Dame enciende la llama de la discordia. *Gremium*, 81-94.

Wajjari, A. (2023). *Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano* [Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València]. Universitat Politècnica de València, Valencia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/197932>

ANEXOS:

TERMINOLOGÍA UTILIZADA

- INTERVENCIÓN:

Son acciones y procesos destinados a conservar, restaurar, o rehabilitar bienes culturales y patrimoniales, tales como edificios históricos, monumentos, sitios arqueológicos, y otros elementos de valor histórico o cultural. Este proceso puede incluir una variedad de actividades, tales como: Conservación, Restauración, Rehabilitación, etc.

- PATOLOGÍAS:

Se refiere al estudio y análisis de las enfermedades, daños, y deterioros que afectan a los edificios y estructuras históricas. Se enfoca en identificar las causas y mecanismos de estos problemas para poder abordarlos de manera adecuada.

- NUBE DE PUNTOS:

Es un conjunto de datos tridimensionales que representa la superficie de un objeto o de un espacio mediante una colección de puntos en el espacio. Cada punto en la nube tiene coordenadas en un sistema de referencia (usualmente en las tres dimensiones: X, Y y Z) y puede llevar información adicional como color, intensidad, o propiedades de superficie.

- MALLA:

Es una estructura tridimensional formada por una red de polígonos (generalmente triángulos) que modela la superficie de un objeto o de un entorno. La malla se genera a partir de una nube de puntos obtenida mediante escaneo 3D, fotogrametría, o técnicas similares, y sirve como una representación detallada de la geometría del objeto o paisaje.

- EXTENSIÓN DE ARCHIVOS:

Es una secuencia de caracteres, generalmente de tres o cuatro letras, que sigue al punto final en el nombre de un archivo y que indica el tipo de contenido o formato del archivo. Las extensiones de archivo permiten al sistema operativo y a los programas de software identificar y asociar archivos con las aplicaciones adecuadas para abrir o procesar esos archivos por ejemplo: (.txt, .jpg, .pdf)

- ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN:

Se refieren a toda la información y el contexto histórico, técnico y administrativo relacionado con un proyecto de construcción o con una estructura existente. Estos antecedentes son cruciales para comprender la historia y el estado actual del proyecto o edificio, así como para la planificación y ejecución de futuras intervenciones.

- **DIBUJO LINEAL:**

Es una técnica de representación gráfica que utiliza líneas para describir la forma y las características de un objeto o un diseño. Este tipo de dibujo se centra en los contornos y las estructuras fundamentales sin emplear sombreados, colores o texturas detalladas.

- **ORTOFOTO**

Imagen rectificadas para ofrecer una proyección ortogonal. Frecuentemente vinculada con la fotografía aérea utilizada en la elaboración de mapas, esta imagen no solo muestra la textura, sino que también incluye información adicional como el geoposicionamiento y la altimetría.

- **MODELO TEXTURIZADO:**

Se refiere a un modelo tridimensional (3D) que ha sido recubierto con texturas para darle un aspecto más realista o detallado. En el contexto de gráficos por computadora y diseño 3D, una textura es una imagen o un patrón que se aplica a la superficie de un modelo 3D para simular materiales, colores y otros detalles visuales.

- **UDIMS:**

(U-Dimension Multi-Tile) es un sistema utilizado en la texturización de modelos 3D para gestionar y organizar texturas de alta resolución de manera más eficiente. Este sistema permite dividir las texturas de un modelo en múltiples tiles (o mosaicos) UV, cada uno asignado a diferentes partes del modelo, en lugar de utilizar una sola textura grande. Esto es especialmente útil para modelos complejos y detallados que requieren texturas de alta resolución sin comprometer el rendimiento.

- **NANITE:**

Es una tecnología innovadora para la virtualización de geometría introducida en la versión 5 del Unreal Engine. El algoritmo de este sistema opera de manera muy eficiente, permitiendo trabajar con geometrías de tamaños que superan el millón de vértices.

Cuando se activa la función Nanite en una malla 3D, esta se descompone en triángulos que se organizan jerárquicamente en grupos y clusters de diferentes tamaños. Al renderizar, UE5 selecciona automáticamente los clusters según el ángulo de vista, ajustando el nivel de detalle sin necesidad de crear manualmente los LOD.

- **LOD**

Siglas de Level Of Detail (nivel de detalle) implica disminuir la complejidad de una representación de un modelo 3D a medida que se aleja del espectador o de acuerdo a otras métricas, como la importancia del objeto, el punto de vista relativo, velocidad o posición.

FOTOGRAFÍAS Y RENDERS

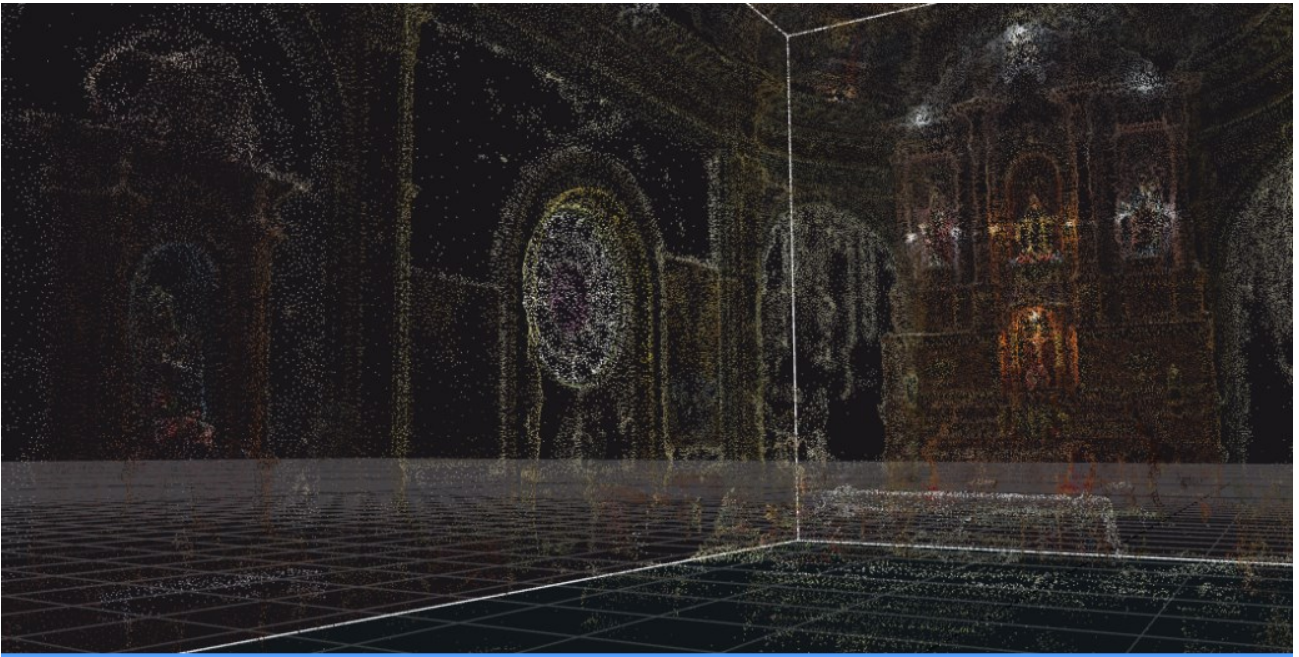


Figura 118: Interior Nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

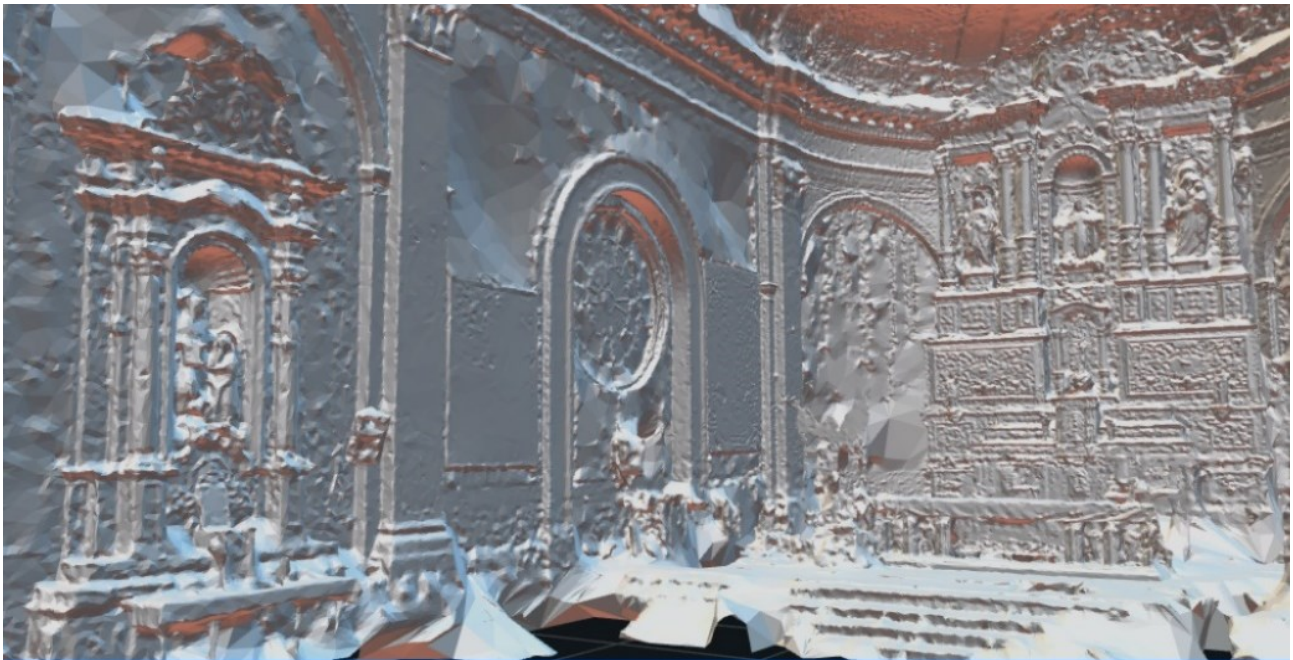


Figura 119: Interior Malla

Fuente: Elaboración Propia



Figura 120: Interior Texturizado

Fuente: Elaboración Propia

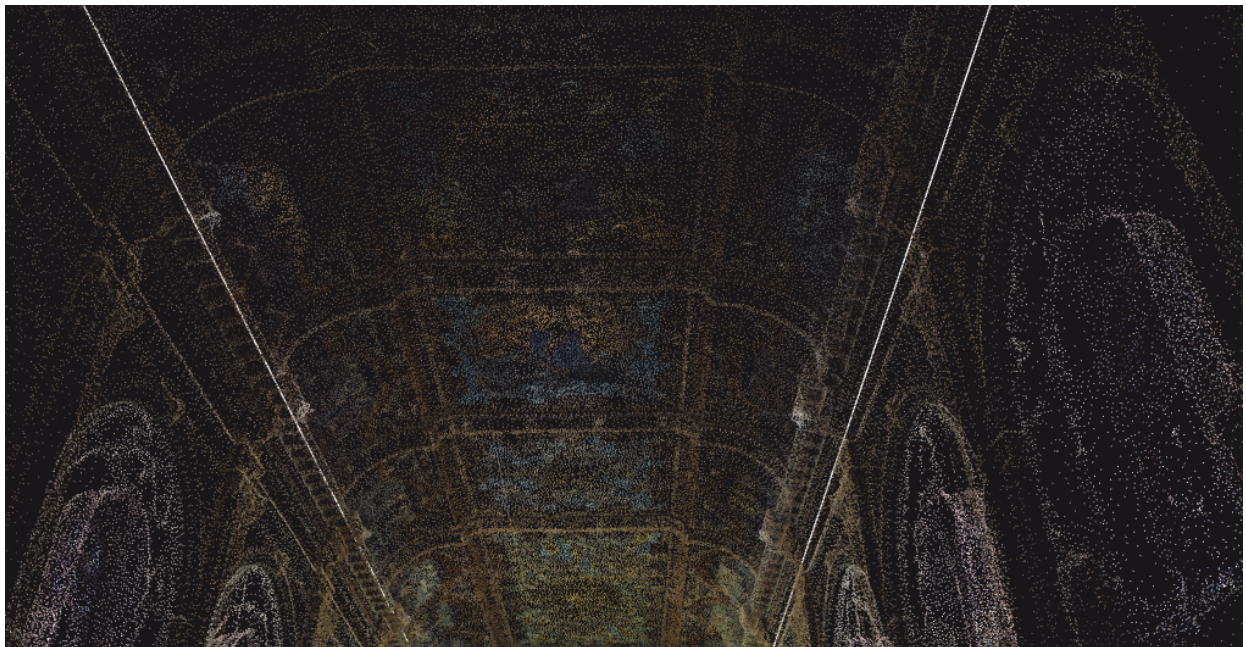


Figura 121: Pinturas Internas - Nube de puntos

Fuente: Elaboración Propia

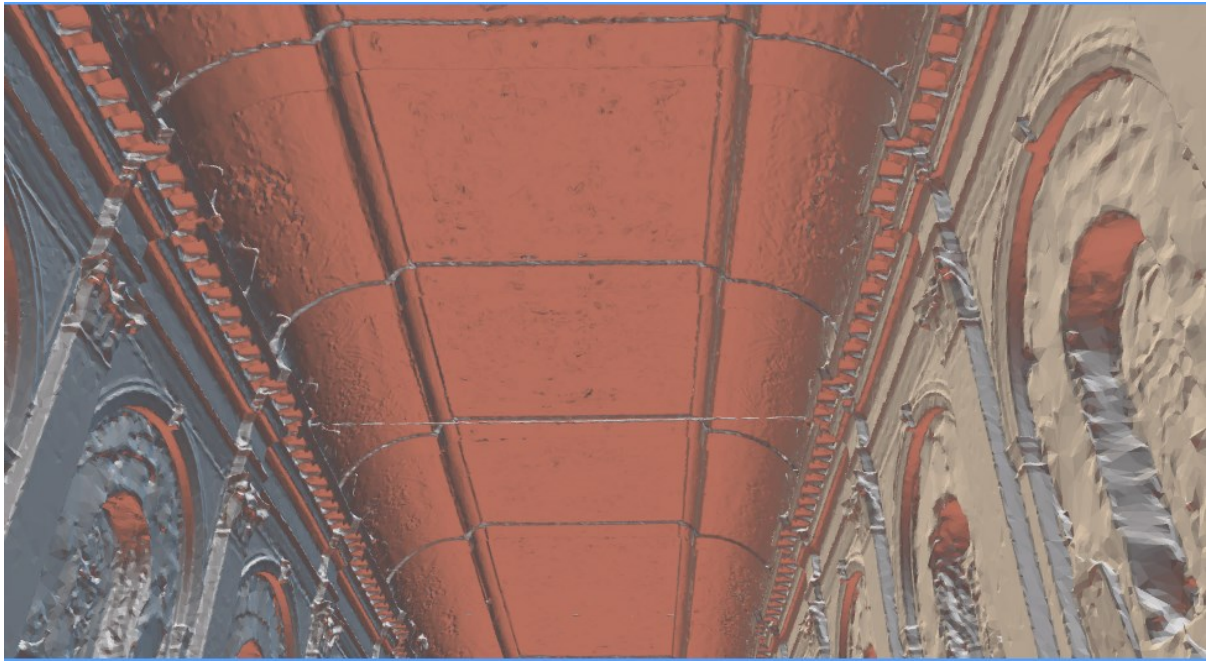


Figura 122: Pinturas Internas - Malla

Fuente: Elaboración Propia



Figura 123: Pinturas Internas - Texturizado

Fuente: Elaboración Propia

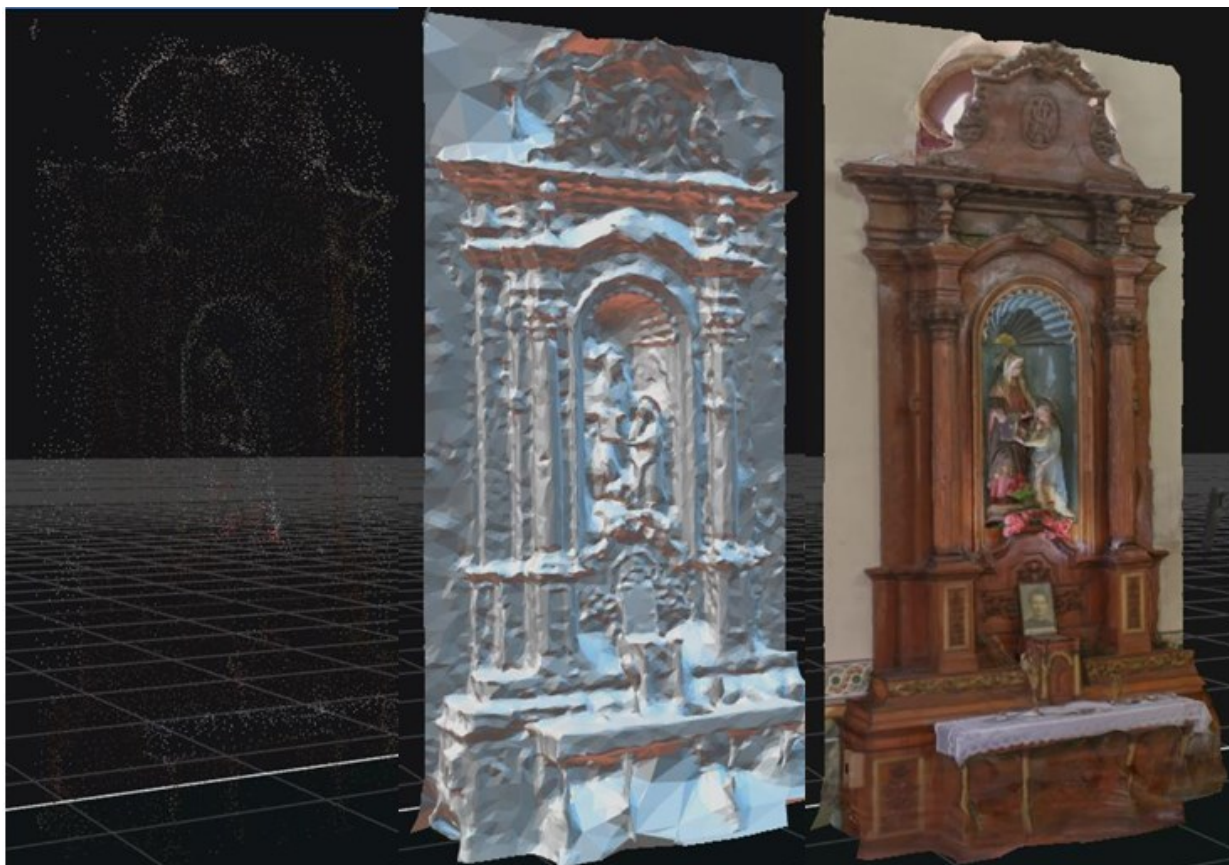


Figura 124: Altar menor. Nube de Puntos, Malla y Texturizado
Fuente: Elaboración Propia



Figura 125: Modelo Completo. Nube de puntos, Malla y Texturizado
Fuente: Elaboración Propia



Figura 126: Ortofoto Fachada Contexto

Fuente: Elaboración Propia

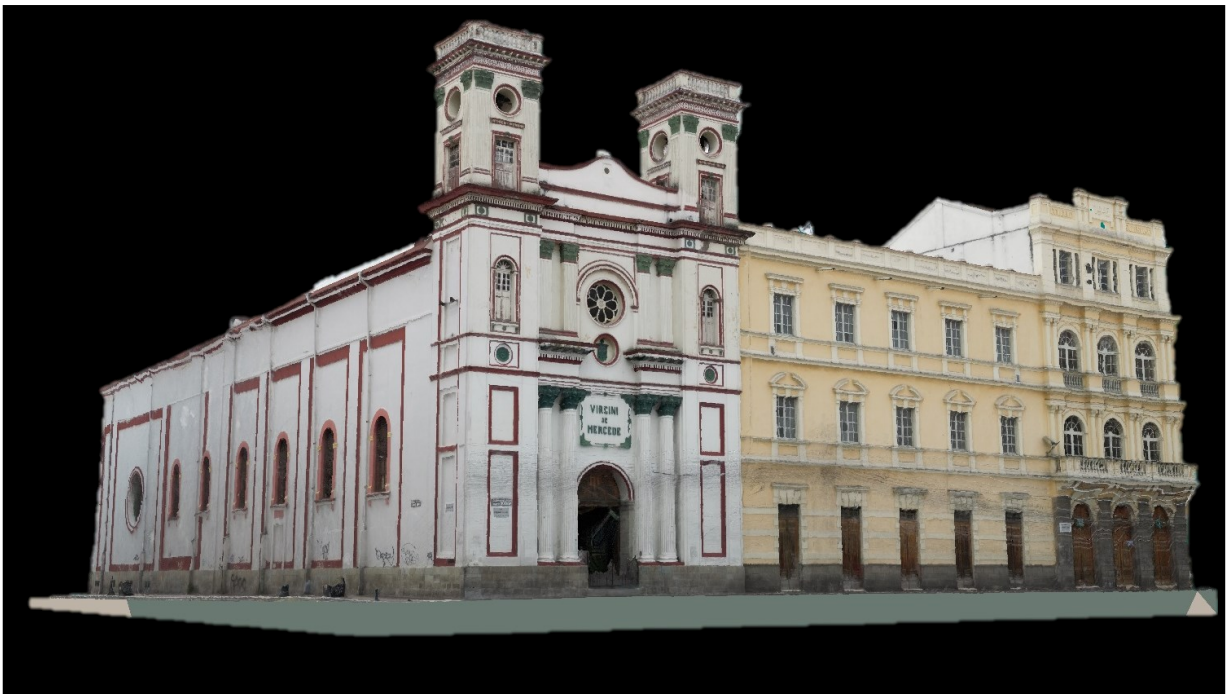


Figura 127: Render Contexto

Fuente: Elaboración Propia

El siguiente código QR lleva al lugar en dónde están alojadas todas las fotografías tomadas a las Iglesia la Merced, como parte de este trabajo de investigación, también se encuentra el código QR que lleva al repositorio de los planos, en formato CAD y PDF, para futuras intervenciones.



Figura 129: Código QR de repositorio de Fotos

Fuente: Elaboración Propia



Figura 128: Código QR de repositorio de planos

Fuente: Elaboración Propia

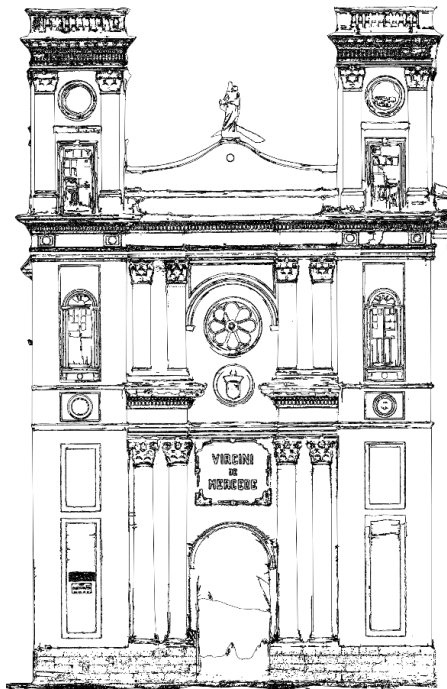
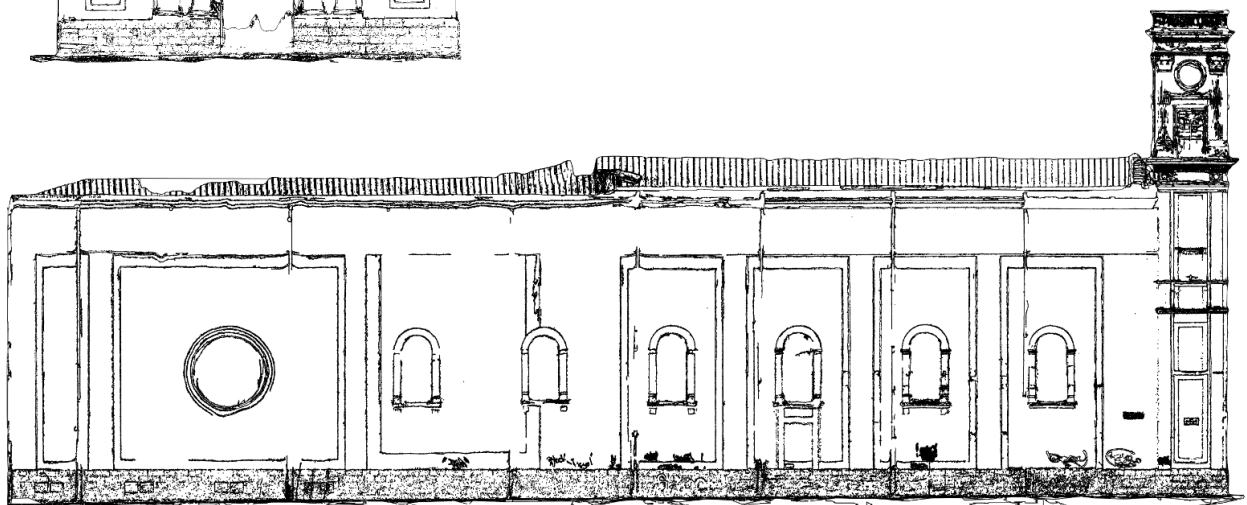
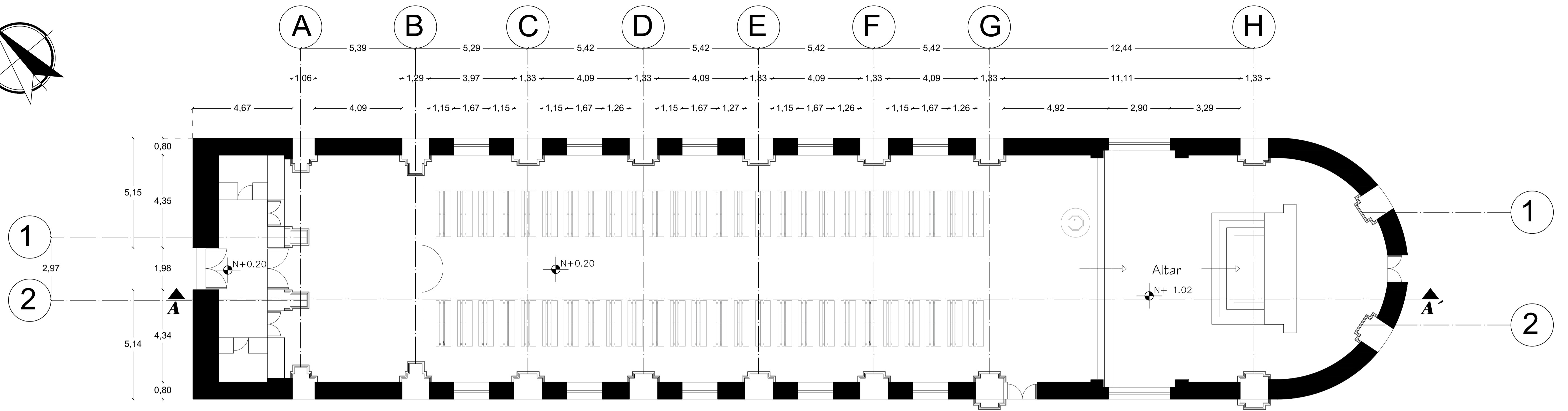
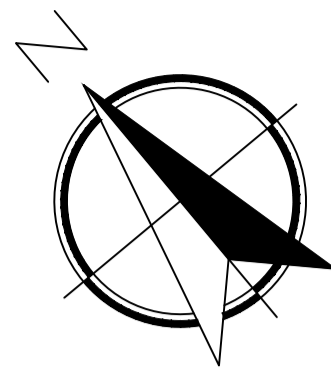


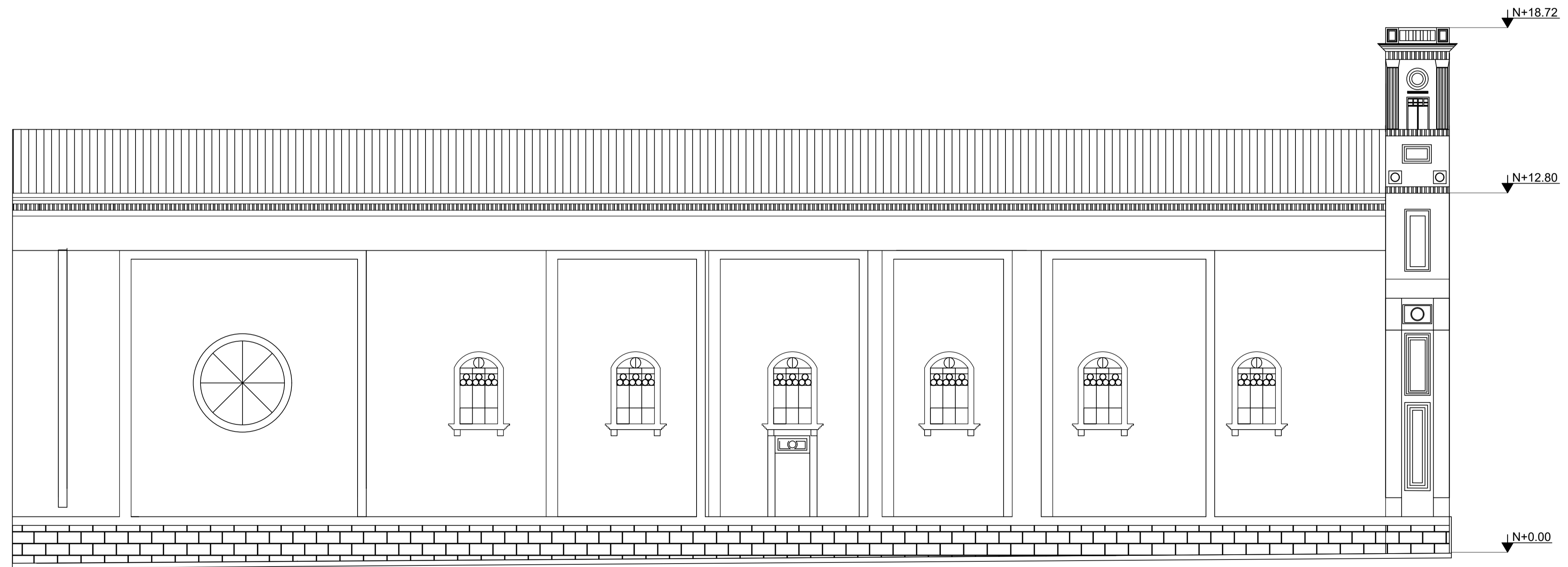
Figura 130: Dibujos Cad a partir de convertir formatos desde ortofotos

Fuente: Elaboración Propia



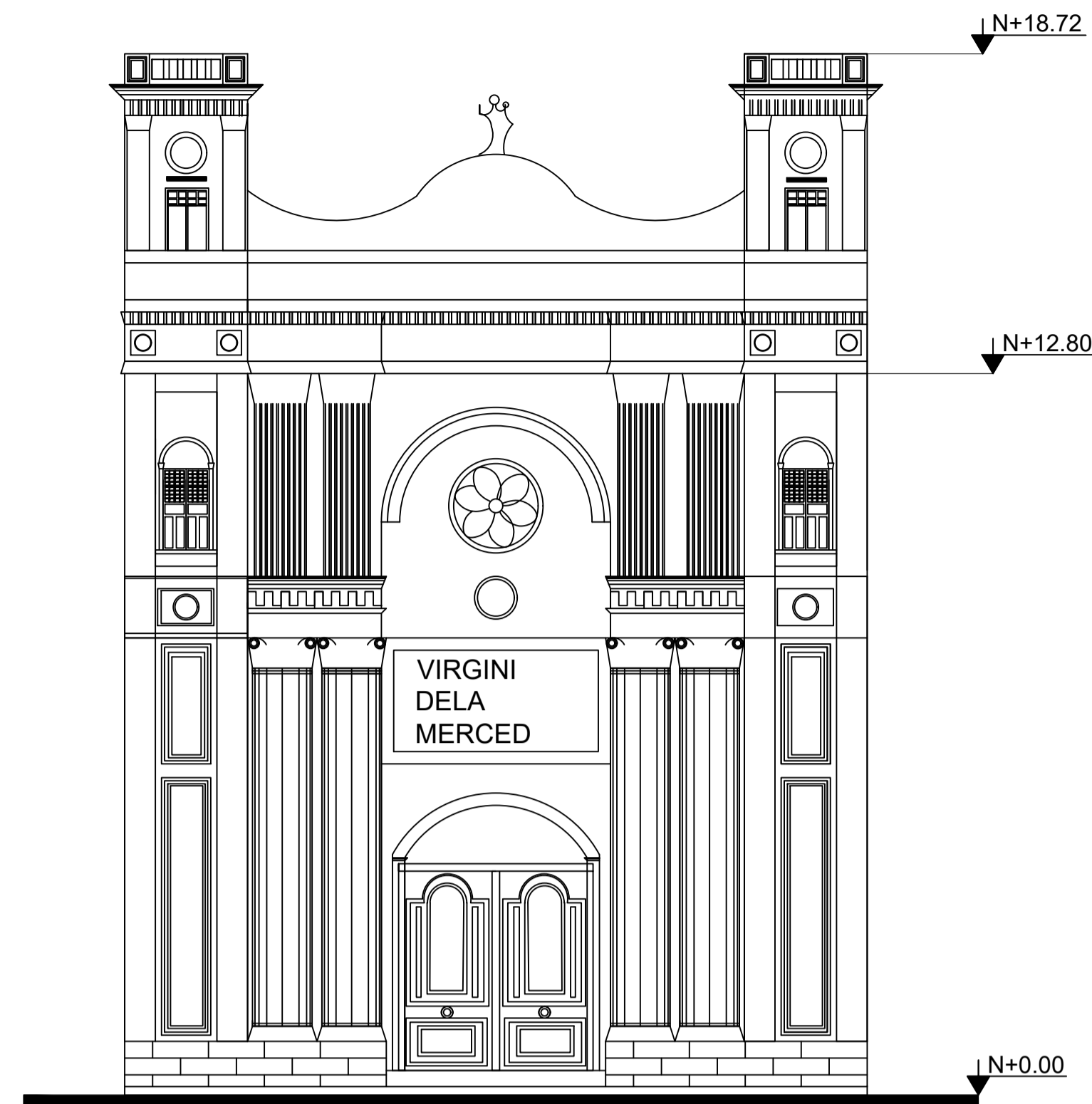


PLANTA ARQUITECTÓNICA
 IGLESIA DE LA MERCED
 ESC _____ 1 : 150

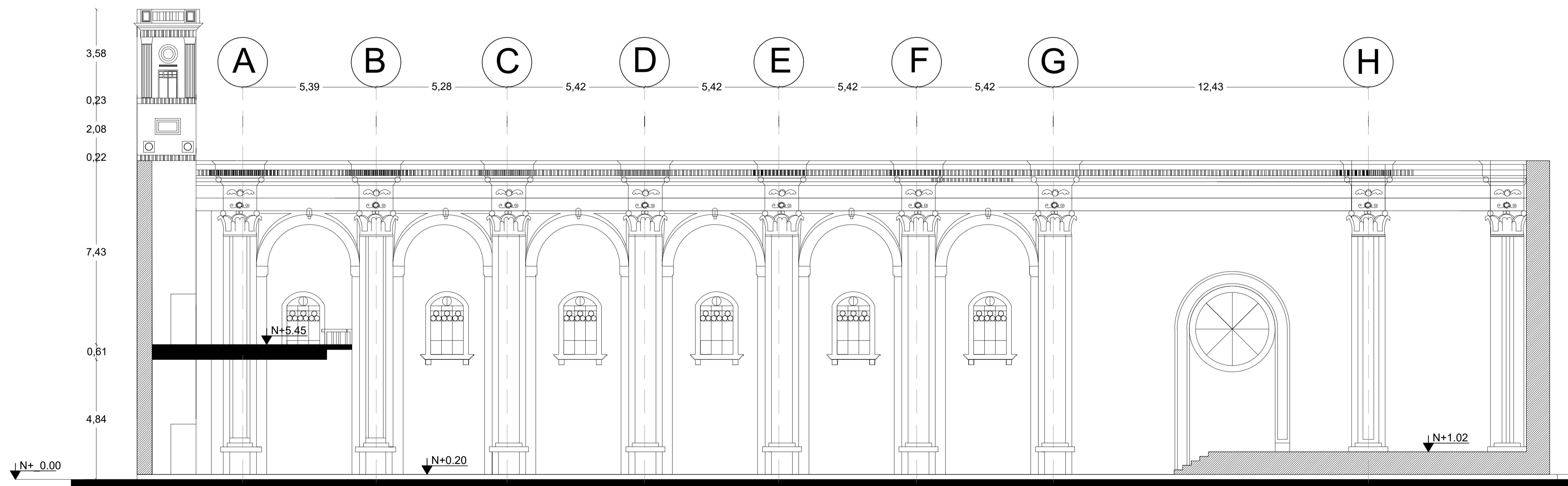


FACHADA CALLE GUAYAQUIL
 ESC _____ 1 : 150



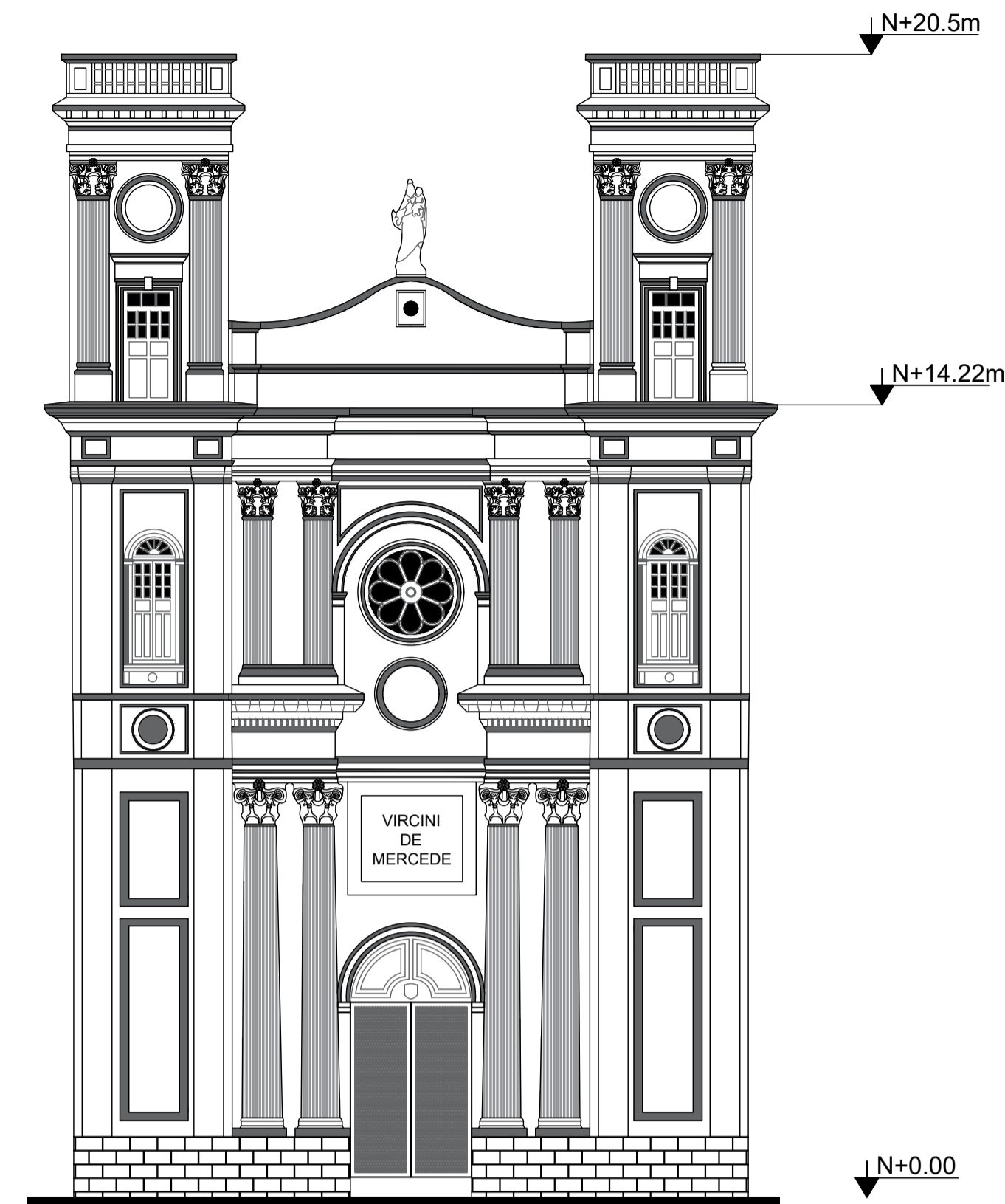


FACHADA CALLE ESPEJO
 ESC _____ 1 : 150

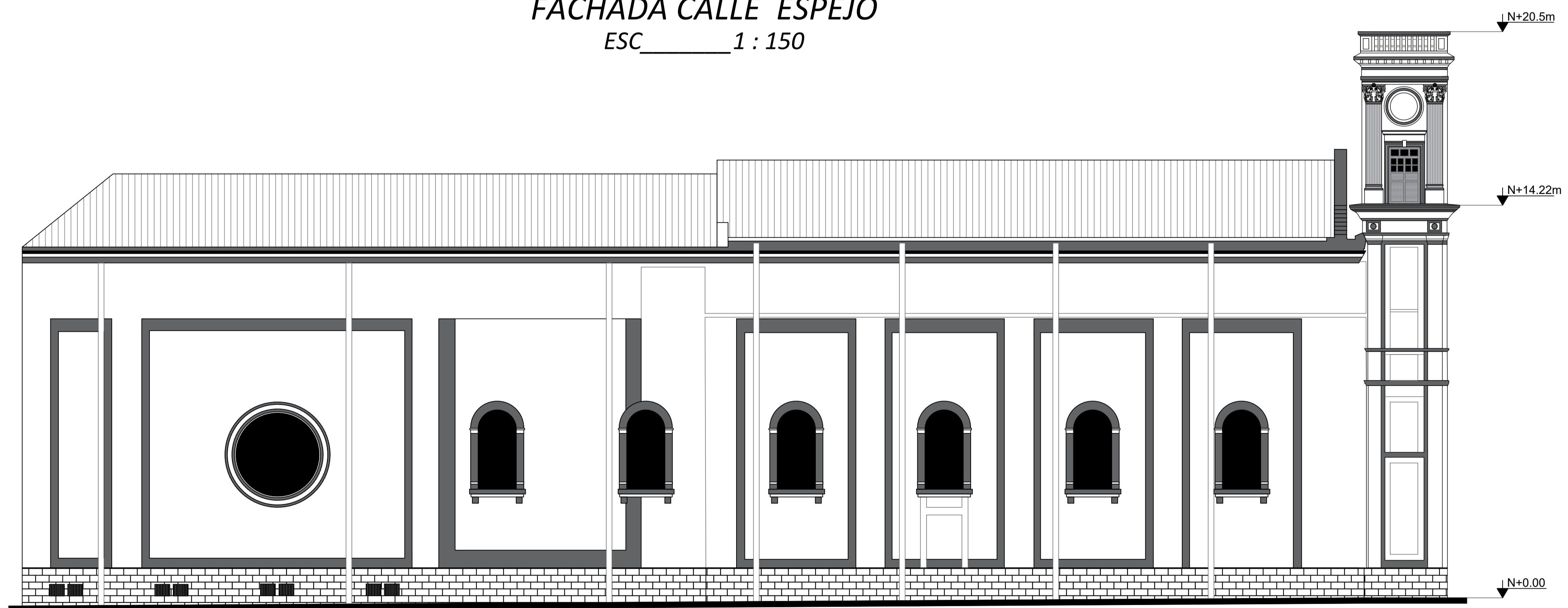


CORTE A-A'
 ESC _____ 1 : 150





FACHADA CALLE ESPEJO
 ESC _____ 1 : 150



FACHADA CALLE GUAYAQUIL
 ESC _____ 1 : 150

