

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ARQUITECTURA

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Arquitecto

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

**“APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA
DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL,
CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO”**

AUTOR(ES):

EDISON FABRICIO ESPINOSA FIGUEROA

BYRON GEOVANNY GUEVARA BONIFAZ

TUTOR

Mgs. Ing. Luis Alejandro Velastegui Cáceres

Riobamba-Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Mgs. Ing. Luis Alejandro Velastegui Cáceres, en calidad de Tutor de Proyecto de Investigación, cuyo tema es: "APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO", CERTIFICO: que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los señores **Edison Fabricio Espinosa Figueroa, Byron Geovanny Guevara Bonifaz**, para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo, para que se lleve a cabo la sustentación de su proyecto de investigación.

Atentamente,



.....
Mgs. Ing. Luis Alejandro Velastegui Cáceres

TUTOR DE TESIS

DERECHOS DE AUTORÍA

La responsabilidad del contenido de este proyecto de investigación corresponde exclusivamente a: Edison Fabricio Espinosa Figueroa, Byron Geovanny Guevara Bonifaz, Autores; Mgs. Ing. Luis Alejandro Velastegui Cáceres, director del trabajo de Graduación y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....
Edison Fabricio Espinosa Figueroa

C.I. 050278937-3



.....
Byron Geovanny Guevara Bonifaz

C.I. 060489574-8

MIEMBROS DE TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: "APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO", presentado por: **Edison Fabricio Espinosa Figueroa, Byron Geovanny Guevara Bonifaz** y dirigida por: Mgs. Ing. Luis Alejandro Velastegui Cáceres.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación, con fines de graduación escrito, en el cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente, para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto, firman:



Mgs. Ing. Angel Edmundo Paredes Garcia

Presidente del Tribunal

Firma



Mgs. Ing. Luis Alejandro Velastegui Cáceres

Tutor del Proyecto

Firma

Mgs. Arq. Nelson Ismael Muy Cabrera

Miembro de Tribunal

Firma



Mgs. Arq. Carlos Andrés Macas Peñaranda

Miembro de Tribunal

Firma



AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por haberme acompañado en todo momento, mientras cumplía una meta más en mi vida, por guiarme y ser mi fortaleza para no rendirme.

A mi querido padre Segundo Espinosa, por haber forjado al ser humano en el que me he convertido, impartíendome sus valores de responsabilidad, sacrificio y respeto.

A mi dulce madre Cisne Figueroa, por ser mi apoyo incondicional, mi pilar y soporte, creyendo siempre en mí, ayudándome en cada momento de mi carrera, con su amor.

A mi querida hermana Melany Espinosa, de la cual nunca faltó el aliento, amor y ayuda que solo una amorosa hermana puede dar.

A los familiares que estuvieron durante todo mi proceso académico brindándome apoyo y ánimos.

Finalmente quiero agradecer a mi padrino de grado, Oswaldo Figueroa quien desinteresadamente me impartió conocimientos que me han servido durante mi formación académica, y los conocimientos que día a día aporta para mi buen desenvolvimiento profesional.

A todos los docentes de la Carrera de Arquitectura, en especial al Ing. Alejandro Velastegui, tutor de tesis, porque sus conocimientos y enseñanzas brindados se ven reflejados en el presente trabajo de investigación.

Edison Fabricio Espinosa Figueroa

AGRADECIMIENTO

A Dios por cada alegría que me ha brindado.
A los docentes de la carrera de Arquitectura, por compartir sus conocimientos y permitir la utilización de sus equipos tecnológicos; especialmente, al Ing. Alejandro Velasteguí, quien contribuyó directamente con esta investigación, siendo uno de los ejes principales para lograr los resultados que habíamos proyectado.

Al párroco de la Iglesia de Balbanera, Ing. Marcos Tapia, quien, nos colaboró abiertamente con la mejor actitud, apoyándonos no sólo con su tiempo, sino también con sus conocimientos.

A mis familiares y amigos, quienes, con su afecto y apoyo, han sido un pilar fundamental para no claudicar en mi camino y llegar a la consecución de este objetivo.

Byron Geovanny Guevara Bonifaz

DEDICATORIA

Durante mi proceso académico y el desarrollo de mi vida, aprendí que siempre tendré mejores resultados en todo lo que haga, si lo hago con la ayuda y compañía ideal, es por ello que dedico esta tesis a mi esposa Daniela, quien fue la persona que estuvo en todo momento a mi lado, siendo mi apoyo en cada decisión y mi fuerza para no rendirme, ya que con su paciencia y entrega me ayuda día a día a ser mejor persona.

A mi hijo, Emiliano, que significa todo para mí, y es la razón por la cual yo me esfuerzo día a día, para ser mejor persona y padre, siendo mi principal motivación para todos mis logros.

A toda mi familia porque sin ustedes no hubiera logrado todo esto, y a Dios por darme la salud y vida para permitirme cumplir mi sueño.

Edison Fabricio Espinosa Figueroa

DEDICATORIA

A mi madre, Patricia Bonifaz, gracias a su amor, trabajo y sacrificio, me ha permitido cumplir una meta más, enseñándome el valor del esfuerzo y la disciplina, este triunfo es más suyo que mío mamita, por todo el sacrificio que significó haber realizado tanto trabajo para que yo pudiese llegar a conseguir cada uno de mis objetivos.

A mi Rosita Emilia, mi sabia abuelita, por haber estado oportunamente para apoyarme con sus gratos consejos, junto a mi querido abuelo Rafael, quien fue mi guía y no lo he olvidado a pesar del tiempo que ha pasado, cada recuerdo junto a él se mantiene aún conmigo y espero que desde el lugar donde esté se sienta orgulloso de mí.

Por último, a mi querido Manito, mi peludito que siempre estuvo a mi lado acompañándome en cada noche de desvelo.

Byron Geovanny Guevara Bonifaz

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	IX
RESUMEN	XV
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	5
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
CAPITULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 PATRIMONIO CULTURAL	7
2.1.1 Patrimonio Tangible	8
2.1.2 Patrimonio Tangible Mueble	8
2.1.3 Patrimonio Tangible Inmueble	9
2.1.4 Patrimonio Intangible	9
2.2 PATRIMONIO CULTURAL EN ECUADOR	10
2.2.1 Evolución Constitucional	10
2.2.2 Instituto de Patrimonio Cultural INPC	10
2.3 TECNOLOGÍA BIM EN ARQUITECTURA	11
2.3.1 Origen del Software	12
2.3.2 Características del BIM	12
2.4 LEVANTAMIENTO GRÁFICO EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO 13	
2.4.1 Modelo de Información Patrimonial	13
2.5 TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO EN EL SISTEMA BIM	14
2.5.1 Escáner 3D en Arquitectura Patrimonial	15
2.5.2 Análisis Estructural y Tipología	17

2.5.3 Análisis Estático Lineal.....	18
2.5.4 Análisis No Lineal.....	19
2.6 DIANA FEA.....	20
2.6.1 Análisis Pushover	20
2.7 MARCO HISTÓRICO	22
2.7.1 Situación geográfica del Ecuador	22
2.7.2 Fallas geológicas en el Ecuador	23
2.7.3 Falla de Pallatanga	23
2.7.4 Zona macro-sísmica de 1797	24
2.7.5 La Villa de San Pedro de Riobamba.....	25
2.7.6 Terremoto en la villa de San Pedro de Riobamba.....	26
2.7.8 Antecedentes históricos del Cantón Colta	27
2.7.9 Colta en la Colonia	28
2.7.10 Colta en la República	28
2.7.11 Cantón Colta.....	28
2.8 EXPRESIONES ARQUITECTÓNICAS ABORÍGENES	29
2.8.1 Iglesia Balbanera	29
CAPITULO III	32
3. METODOLOGÍA	32
3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	34
3.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	35
Representación y publicación de resultados	35
CAPÍTULO IV.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1 PROCESO DE LEVANTAMIENTO Y MEDICIÓN CON ESCÁNER LÁSER 3D	36
4.2 ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN.....	36

4.2.1 Determinación de Objetivos	37
4.2.2 Análisis del área a levantar	37
4.2.3 Determinación de técnicas de medición y equipo necesario	38
4.3 TRABAJO DE CAMPO	38
4.3.1 Trabajo de Gabinete previo a salida in situ	38
4.3.2 Ubicación del Equipo	39
4.3.3 Determinación de las posiciones óptimas para el equipo de escaneo.....	39
4.3.4 Consideraciones para unificar proyectos con diferente cronología	41
4.4 PREPARACIÓN Y TOMA DE DATOS.....	41
4.4.1 Ajustes del escáner láser 3D	41
4.4.2 Determinación de la superficie	41
4.4.3 Resolución	42
4.4.4 Configuración avanzada	42
4.4.5 Parámetros de perfil.....	43
4.4.6 Medición de Exposición	43
4.5 REGISTRO Y GEOREFERENCIACIÓN	44
4.5.1 Técnica de Registro Indirecta	44
4.5.2 Registro Objeto a Objeto.....	44
4.5.3 Registro Nube a Nube	45
4.6 PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS	46
4.6.1 Depuración.....	46
4.6.2 Muestreo.....	47
4.6.3 Mallado.....	47
4.6.4 Exportación de datos.....	48
4.7 GENERACIÓN DEL MODELO BIM.....	49
4.7.1 Evaluación de materiales en campo.....	49
4.7.2 Configuración Inicial	50
4.7.3 Importación de la nube de puntos.....	50
4.7.4 Modelado.....	51

4.7.5 Esquematización y Cuantificación.....	51
4.7.6 Documentación Arquitectónica.....	52
4.8 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	52
4.8.1 Exportación ArchiCAD-Diana FEA.....	52
4.8.2 Evaluación estructural.....	53
4.8.3 Análisis de Geometrías y Caracterización del modelo.....	53
4.8.4 Parámetros de Análisis	53
4.8.4.1 Configuración de las fuerzas.....	53
4.8.4.2 Configuración de Análisis.....	54
4.8.4.3Evaluación de Resultados	54
CAPITULO V	57
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1 CONCLUSIONES.....	57
5.2 RECOMENDACIONES.....	60
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
7.1 ANEXO FOTOGRÁFICO	63
7.2 ENSAYO DE MATERIALES (ESCLERÓMETRO).....	67
7.3 ESQUEMA DE LEVANTAMIENTO IN SITU	68
7.4 INFORME DE TRASLAPES ESCÁNER LÁSER 3D	70
IGLESIA BALBANERA	70
VIRGEN DE BALBANERA	74
7.5 IGLESÍA SEGÚN FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH AÑO 1915	78
7.6 LÁMINAS DE DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA.....	80
7.7 MANUAL DE USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación del Patrimonio Cultural.....	10
Figura 2 Características principales de la metodología BIM.	12
Figura 3 Orientación del Escáner Láser en el Patrimonio Cultural.....	15
Figura 4 Aplicación del Láser 3D en Bienes Patrimoniales.....	17
Figura 5 Leyes constitutivas de la albañilería de adobe a tracción y comprensión en DIANA. 20	
Figura 6 Métodos de iteración: Regular de Newton-Raphson, Newton Raphson modificado, Secante o cuasi-newton, de rigidez lineal.	21
Figura 7 Diagrama y gráfico del análisis pushover.....	21
Figura 8 Anillo de fuego del Pacífico-placas tectónicas.	23
Figura 9 Falla de Pallatanga.....	24
Figura 10 Mapa de zonificación sísmica para diseño.	24
Figura 11 Plano de la Villa de Riobamba.	26
Figura 12 Epicentro del terremoto de 1797.....	27
Figura 13 Línea de tiempo de la Iglesia Balbanera.	29
Figura 14 Esquema de flujo de trabajo con relación a la metodología de investigación.	32
Figura 15 Esquema de flujo de trabajo con escáner 3D para documentación y evaluación.	36
Figura 16 Metodología de planificación para el uso del escáner láser 3D.....	37
Figura 17 Croquis planteado previo al levantamiento de información.	39
Figura 18 Croquis planteado in situ para el Levantamiento de Información.	40
Figura 19 Levantamiento de posiciones de Objetos de Referencia.....	40
Figura 20 Apertura angular del levantamiento.....	41
Figura 21 Ajustes de resolución.....	42
Figura 22 Configuración de filtros y rango de distancia.	42
Figura 23 Parámetros de perfil activados.....	43
Figura 24 Parámetros de Medición ponderada.....	43
Figura 25 Importación de archivos FLS en Trimble RealWorks 10.4.	44
Figura 26 Programación y registro por planos.	45
Figura 27 Informe de traslape y porcentaje de error residual.....	45
Figura 28 Obtención de nube de puntos unificada bajo registro por planos.	46
Figura 29 Nube de puntos depurada bajo un proceso de segmentación.....	47
Figura 30 Nube de puntos por intensidad.	47
Figura 31 Nube de puntos a detalle después de segmentación.	48
Figura 32 Mallado por triangulación del elemento escultórico.....	48
Figura 33 Nube de puntos limpia, en formato e57 con aristas e intersecciones marcadas.....	50
Figura 34 Modelado 3D con características de materialidad y superficies.....	51

Figura 35 Esquema de vanos y cuantificación de obra.	51
Figura 36 Contenido de vistas del modelo realizado.	52
Figura 37 Modelo limpio y exportado con formato .IFC para posterior evaluación estructural.	52
Figura 38 Caracterización del modelo en DIANA FEA.	53
Figura 39 Configuración de fuerzas que actúan sobre la estructura.	54
Figura 40 Análisis de fuerzas en estructura.	54
Figura 41 Análisis Pushover en el Eje X.	55
Figura 42 Análisis de fuerzas por acción del peso.	55
Figura 43 Deformaciones en vanos y muros por la altura.	56
Figura 44 Análisis de esfuerzos en la estructura.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Técnicas de Levantamiento en el Sistema BIM.	15
Tabla 2 Listado de herramientas y equipos para medición con escáner láser 3D.	38
Tabla 3 Ensayo de compresión con el esclerómetro.	50

RESUMEN

El patrimonio cultural tangible e intangible es la manera más representativa para dar a conocer la identidad de una ciudad, es por ello su importancia en la Arquitectura, ya que representa su historia y cultura. En la actualidad el patrimonio tangible es el que más se ha visto expuesto y se encuentra en riesgo de deterioro, destrucción o pérdida, debido a múltiples causas o condiciones de origen natural o por intervenciones humanas. Debido a esta problemática se establece la necesidad de contar con herramientas tecnológicas actuales para el debido mantenimiento del patrimonio tangible, mismas que permitan registrar de manera digital cada elemento arquitectónico y documentarlo, para así tener información fehaciente de dicho objeto.

En la actualidad la aplicación de tecnología y herramientas informáticas permiten una optimización en procesos de medición y levantamiento, obteniendo resultados indispensables en un estudio específico como lo es la documentación arquitectónica, posibilitando a los usuarios a realizar ensayos, simulaciones, cuantificaciones y evaluaciones de los objetos analizados.

La finalidad del presente trabajo de investigación es realizar el levantamiento y evaluación estructural de la Iglesia Balbanera, un bien patrimonial importante para el país, usando equipos tecnológicos como el escáner 3D, para el levantamiento preciso de la Iglesia aplicando una metodología basada en un modelo de información BIM (Building Information Model), para su documentación arquitectónica y evaluación estructural, dando como resultado un manual de uso de tecnologías de medición 3D para posteriores intervenciones en edificios patrimoniales, no solo a nivel profesional, sino ayudando a la actualización de conocimientos académicos y aportando a la investigación, análisis e interpretación de datos de edificaciones patrimoniales.

Palabras clave:

Patrimonio tangible, herramientas tecnológicas de medición, modelo de información BIM, análisis estructural.

ABSTRACT

The tangible and intangible cultural heritage is the most representative way to publicize the identity of a city, which is why its importance in architecture since it represents its history and culture. Currently, tangible heritage is the one that has been most exposed and is at risk of deterioration, destruction or loss, due to multiple causes or conditions of natural origin or human intervention. That is why, due to this problem, there is a need to have current technological tools for the due maintenance of tangible heritage, that allow each architectural element to be digitally recorded and documented to have reliable information on said object.

The apps and informatics tools allow an optimization of the process of measuring and gathering information obtaining essential results in a specific study such as architectural documentation, enabling users to carry out tests, simulations, quantifications and evaluations of the objects analyzed.

The purpose of this research work is to carry out the survey and structural evaluation of the Balbanera Church, an important heritage asset for the country using technological equipment such as the 3D scanner for the precise survey of the Church, applying a methodology based on a BIM information model (Building Information Model) for its architectural documentation and structural evaluation resulting in a manual for the use of 3D measurement technologies for subsequent interventions in heritage buildings not only at a professional level but also helps to update academic knowledge and contributes to research, analysis and interpretation of data from heritage buildings.

Keywords:

Tangible heritage, technological measurement tools, BIM information model, structural analysis.

1. INTRODUCCIÓN

El Patrimonio Arquitectónico de una ciudad, son bienes que han sido testigo de la historia de un lugar, cuyas costumbres, estilo de vida y tradiciones se convierten en identidad para propios y extraños. Mediante el acuerdo N035 del Ministerio de Cultura se declaran 435 inmuebles inventariados como bienes pertenecientes al Patrimonio Cultural del Ecuador, los cuales deben ser cuidados y preservados por cada Gobierno Descentralizado (Mejía, 2017).

En el Ecuador la conservación de estos bienes inmuebles por parte de los Gobiernos Descentralizados se ha descuidado, debido al costoso estudio que se debe realizar en cada bien inmueble para su mantenimiento, lo que ha obligado a la segmentación de bienes inmuebles dependiendo de su importancia y ubicación (Caiza Poma I. , 2015).

El Cantón Colta se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo, es uno de los cantones más importantes dentro de la historia del Ecuador, no solo por su valor histórico-cultural, sino por el valor arquitectónico que el cantón posee. *“Colta cuna de la Nacionalidad Ecuatoriana ‘Capital de la Gran Nación Puruhá’ Corazón de la civilización Andina y Patrimonio Cultural de los ecuatorianos”* (Tayupanta, 2011).

En la actualidad Colta se ha visto afectada en cuanto a la conservación de sus bienes patrimoniales debido a la falta de recursos para su mantenimiento y documentación requerida, en respuesta a una valoración sobre su importancia histórico cultural.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito brindar una herramienta de documentación gráfica para bienes patrimoniales que ayude a preservar su valor arquitectónico e histórico, disminuyendo el costo de inversión en la documentación de un bien patrimonial, ayudando a los Gobiernos Descentralizados a conservar de mejor manera sus edificios patrimoniales invirtiendo en nuevas herramientas tecnológicas.

El estudio se realizó en la Iglesia Balbanera ubicada en el Cantón Colta debido a su importancia arquitectónica a nivel nacional, el objetivo del presente trabajo es realizar la documentación arquitectónica completa de la Iglesia, con la ayuda de herramientas tecnológicas de escaneo como el escáner láser 3d para obtener datos reales y detallados.

La visita in situ a la iglesia permitió la generación de un esquema de levantamiento mismo que se aplicaría para el proceso de escaneo de la iglesia. Una vez escaneado el bien patrimonial se procedió a la generación y purgado de la nube de puntos en el software Trimble Real Works. A partir de la nube de puntos se generó un modelo de información BIM realizado en el software ArchiCad que permitió la documentación arquitectónica a detalle del bien patrimonial. Finalmente se realizó una evaluación estructural por método de elementos finitos con la ayuda del software DIANA FEA, con el fin de simular ambientes y eventos naturales para evaluar y prevenir daños en la estructura actual de la Iglesia cuya información sea el punto de partida en futuras intervenciones y mantenimientos que la Iglesia requiera.

El presente estudio brindará una guía de uso de las herramientas tecnológicas modernas mencionadas anteriormente, cuya finalidad sea la conservación y mantenimiento de bienes patrimoniales tanto a nivel estético como estructural, conformando un flujo de trabajo con mayor eficacia según el tipo de intervención para cada bien patrimonial.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se habla de conservación patrimonial se puede referir a múltiples perspectivas; en este caso la presente investigación se enfocará en la durabilidad del patrimonio edificado, estudiando sus intervenciones, su materialidad y su vulnerabilidad estructural para su posterior mantenimiento, con el fin de ayudar a la conservación de dichas edificaciones.

“La primera acción a tomar para el mantenimiento y cuidado de un edificio patrimonial es su conservación” (Carta de Venecia, 1964), pero éste término ha sido tomado con muy poca importancia, debido a que, en la actualidad la causa principal del deterioro de edificios patrimoniales se debe a los pocos estudios realizados en cada objeto arquitectónico para su posterior mantenimiento, evidenciando que la mayoría de ellos han sido olvidados debido al grado de importancia que dichas edificaciones tienen en cada sector (Conti, 2002).

La puesta en valor de edificios patrimoniales se vuelve aún más estricta, si los mismos van a ser habilitados para el uso público, lo que conlleva a la realización de más estudios en cuanto a ingeniería, como es el estar ubicados en zonas sísmicas, en donde se debe tomar en cuenta la durabilidad de su estructura y el mantenimiento que esta requiere, estos estudios se ven más complejos y por ello muchas edificaciones se han visto vulnerables y abandonadas por las autoridades (Maldonado, y otros, 2016).

Las edificaciones patrimoniales requieren estudios meticulosos debido a que se encuentran en deterioro por el transcurso del tiempo que ha pasado desde que fueron construidas y porque han sobrellevado distintos fenómenos naturales durante años, por lo que su resistencia se vuelve frágil y necesitan de mantenimiento para su vida útil (Espinoza Larrea, 2017), es por ello que la facilidad y acceso a nuevas herramientas tecnológicas es de suma importancia en la actualidad para mejorar y aminorar los costos de mantenimiento del patrimonio construido.

En el Ecuador existe un sin número de recursos naturales y culturales, pero estos se han visto afectados a través del tiempo, por el mal manejo de los mismos, sin pensar que la historia que lo representa puede extinguirse, es por ello que es necesario buscar nuevos métodos y tecnologías que ayuden a la conservación y mantenimiento de los bienes patrimoniales del país.

En la actualidad el cantón Colta, perteneciente a la provincia de Chimborazo posee bienes patrimoniales que son de gran valor, tanto histórico como arquitectónico, no solo a nivel de la provincia sino a nivel nacional. Sin embargo, existe una deficiente gestión de los bienes patrimoniales en cuanto a la conservación, mantenimiento y valoración de los mismos por parte del Gobierno Descentralizado, debido a la falta de recursos que estos estudios requieren, ya que son varios bienes patrimoniales, lo que ha provocado el desinterés de la misma población, por la lucha de su historia (Pilco Paguay, 2019).

Así que, la problemática de la investigación surge en base al descuido de los bienes patrimoniales en el país y a la poca utilización de herramientas tecnológicas para la documentación de dichas edificaciones, debido al alto costo de los equipos y a la escasez de personal calificado en el uso de dichas herramientas, sin pensar en que la adquisición de estos equipos, serían una sola inversión que serviría a lo largo del futuro para el estudio del patrimonio construido, con el fin de ayudar a la conservación y al correcto mantenimiento de los bienes patrimoniales.

En la actualidad, la documentación patrimonial se realiza en base a levantamientos manuales en situ, los cuales presentan errores de exactitud considerables y en la mayoría de ellos no se estudia correctamente el comportamiento interno del edificio (estructura), por lo que se aspira generar un nivel de confiabilidad en el uso de herramientas tecnológicas como son el láser 3d, para obtener un nivel de detalle mayor, con exactitud en levantamientos, para la correcta documentación, conservación y mantenimiento del patrimonio construido.

Si bien históricamente el dibujo manual ha sido la principal técnica de representación gráfica, los avances tecnológicos han desarrollado herramientas y procesos para la mejora de toma y manejo de datos, reduciendo significativamente los márgenes de error de cada trabajo. Por ende, la problemática principal se refleja en torno a la base conceptual de cómo se actúa en cuanto a la documentación de un bien patrimonial y las falencias en procesos actuales, siendo así necesario el desarrollo de nuevos procesos de intervención con mejores tecnologías que nos permitan una mayor exactitud, no solo en restauraciones físicas (estéticas), sino también en evaluaciones estructurales para garantizar la vida útil del bien patrimonial.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El correcto manejo de los bienes patrimoniales de una ciudad ayudará a la concientización de sus habitantes, evitando la pérdida de su identidad cultural. El cantón Colta es rico en historia y posee muchos bienes patrimoniales arquitectónicos que evidencian una serie de manifestaciones de tipo cultural e histórico, que es indispensable que sean preservadas a través del tiempo (Caiza Poma I. , 2015).

La conservación de bienes patrimoniales es un deber del estado y de la población en general, es por ello que cada Gobierno Descentralizado debe encargarse de buscar nuevas formas de documentación patrimonial, con nuevas herramientas tecnológicas que faciliten y disminuyan el costo de estudio de las mismas (Salazar & Jinin, 2015).

La presente investigación tiene como objetivo brindar un estudio con nuevas herramientas tecnológicas de documentación 3D, descritas en un manual con la toma de datos de la Iglesia Balbanera para su documentación y posterior evaluación estructural.

En la actualidad el cantón Colta cuenta con pocas investigaciones sobre sus bienes patrimoniales, en cuanto a sus características arquitectónicas y estructurales, la calidad de sus materiales y del entorno donde ésta se encuentra emplazada, por lo que sus posibles intervenciones no han sido llevadas bajo estudios estrictos sobre patrimonio, lo cual lo vuelve una problemática evidente en el cantón (Sampredro, 2016).

Considerando que Chimborazo se encuentra en una zona altamente sísmica, se vuelve indispensable estudiar las características de la estructura de cada bien patrimonial y de su estado físico, ya que nos encontramos cercanos a un período de posibles eventos sísmicos por lo que es necesario realizar evaluaciones estructurales a los bienes patrimoniales para sus posibles intervenciones (Sampredro, 2016).

Es por esta razón que la presente investigación pretende proponer a las autoridades el uso de nuevas herramientas tecnológicas, que ayuden a conservación de bienes patrimoniales, y una guía de uso para futuras intervenciones en otros bienes inmuebles que se han visto deteriorados, con el fin de aportar con una herramienta que aminore el costo de los estudios y ayude a la conservación del patrimonio arquitectónico de la provincia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Documentar la Iglesia Balbanera con sus componentes estructurales y constructivos, mediante la implementación de tecnologías de medición 3D (escáner láser).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un proceso de levantamiento que integre la tecnología de medición con escáner láser para la documentación de la Iglesia Balbanera.
- Generar un modelo BIM en base a los datos obtenidos del levantamiento, con las características estructurales y constructivas a detalle de la Iglesia Balbanera, para su posterior documentación arquitectónica.
- Analizar el comportamiento estructural de la Iglesia Balbanera, con la ayuda de un software de evaluación de elementos finitos (análisis estructural).
- Elaborar un manual de uso de las tecnologías de medición empleadas en la presente investigación para su posterior aplicación en futuras intervenciones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PATRIMONIO CULTURAL

El Patrimonio Cultural es un bienpreciado de una sociedad determinada, que se materializa en forma tangible (bienes), que son fácilmente vistos y en forma intangible (cultura y tradiciones) que da a conocer a un lugar o sitio, siendo la base fundamental de su historia (Calle & García, 1998).

Al hablar de patrimonio cultural nos referimos a bienes materiales e inmateriales, que son portadores de la cultura e historia de una ciudad o país, los cuales guardan un valor significativo al paso del tiempo, por lo que se vuelve de suma importancia su cuidado y protección (Harrison, 1994).

“El patrimonio cultural de un pueblo comprende las obras de sus artistas, arquitectos, músicos, escritores y sabios, así como las creaciones anónimas, surgidas del alma popular, y el conjunto de valores que dan un sentido a la vida. Es decir, las obras materiales y no materiales que expresan la creatividad de ese pueblo: la lengua, los ritos, las creencias, los lugares y monumentos históricos, la literatura, las obras de arte y los archivos y bibliotecas” (UNESCO, 2016).

De mono que, el Patrimonio Cultural es el resultado de la historia, cultura de un pueblo al paso del tiempo, que se vuelve su identidad, ya que es la herencia que los antepasados han dejado de legado a las futuras generaciones, éstas pueden estar representadas por monumentos físicos o por costumbres y tradiciones, que los distinguen de las demás ciudades.

El concepto de Patrimonio Cultural va más allá de ser un legado cultural, es el motor del desarrollo económico de las ciudades en cuanto al turismo, es por ello que es de suma importancia la conservación y puesta en valor tanto de sus bienes materiales como de su historia (Calle & García, 1998).

2.1.1 Patrimonio Tangible

Como elemento más visible del Patrimonio Cultural, es el Patrimonio Tangible o Material, ya que se compone de elementos o bienes que se pueden ver y tocar, pero lo que los diferencia de los demás son la historia que cuentan, dando vida a un sitio o lugar.

El Patrimonio tangible es una expresión de culturas por medio de realizaciones materiales, que dan a conocer una historia, siendo parte de la memoria e identidad de una sociedad, este se divide en dos categorías que son: el mueble que puede ser trasladado de un lugar a otro sin ningún problema como: objetos arqueológicos, etnográficos, artísticos, científicos, monumentos, etc., el inmueble que pertenece al sitio o lugar como sectores urbanos, construcciones patrimoniales, obras civiles que representan a una comunidad (IDPC, 2004).

Según la (UNESCO, 2016), es obligación neta de todos los estados conservar, proteger, rehabilitar, identificar y transmitir a las nuevas generaciones el patrimonio cultural de cada sitio, creando políticas que integren planes de protección y conservación.

No obstante, en la actualidad el patrimonio tangible o material enfrenta diversos problemas en cuanto al deterioro de los bienes, que obliga a las autoridades competentes a mantener de manera continua procesos de conservación y restauración, lo que significa una permanente inversión económica, de tal manera que varios gobiernos han segmentado dichos bienes en cuanto a su importancia y el lugar en donde éstos se encuentran, ocasionando el deterioro de muchos bienes patrimoniales y el desconocimiento de la historia y cultura de sus habitantes (Chaparro, 2018).

“Para esto la gestión del patrimonio tangible debe fortalecer sus actividades a partir de la integración de nuevas tecnologías de información y medios de comunicación que garanticen la accesibilidad a contenidos conocimiento y transferencia de valores.” (...) (Chaparro, 2018).

2.1.2 Patrimonio Tangible Mueble

El Patrimonio Tangible Mueble es aquel cuyo valor patrimonial y cultural se encuentra en los objetos o elementos que representan la historia de un lugar, que pueden ser conservados o restaurados con algún tipo de intervención.

Estos objetos pueden ser arqueológicos, históricos, artísticos, etnográficos, religiosos, artesanales, culturales que son de gran importancia para la historia y cultura del país, estos bienes pueden ser trasladados de su lugar de origen ya que son piezas que no pierden su valor (Caiza Poma I. R., 2015).

2.1.3 Patrimonio Tangible Inmueble

El Patrimonio Tangible Inmueble son aquellas obras o bienes inamovibles, es decir, que no pueden ser trasladados de su lugar de origen, estos objetos pueden ser de valor arquitectónico, artístico, arqueológico que son esenciales en la cultura e historia de un lugar (Cuasapás Ponce, 2013).

2.1.4 Patrimonio Intangible

El Patrimonio Intangible es aquel que está representado por la cultura de un sitio o lugar, que no tiene forma física ni tangible, sino que se transmite de generación a generación mediante la historia y tradiciones que los representa. Estas manifestaciones se transmiten a través de conocimientos adquiridos en la vida cotidiana, celebraciones, fechas especiales, festividades; formas de expresión como la literatura, música, etc.; y espacios en donde se tiene prácticas culturales (ILAM, 2000).

El Patrimonio Intangible es conocido también como Patrimonio Inmaterial, y posee dos características peculiares, es una manifestación viviente entre personas que puede ser transmitida de forma oral, visual, y a la vez se va transformando al transcurso de los años, con el contexto que lo rodeo, el Patrimonio Intangible depende mucho de las personas ya que dichas tradiciones no se pueden perder al paso de los años, deben ser transmitidas de generación a generación para no afectar la historia y cultura de un lugar (Rocabado, 2004).

Es por ello que la preservación y conservación de este patrimonio depende única y exclusivamente de la práctica habitual, la herencia y práctica de sus generaciones.



Figura 1 Clasificación del Patrimonio Cultural.
Fuente: ILAM "Instituto Latinoamericano de Museos", 2000.

2.2 PATRIMONIO CULTURAL EN ECUADOR

2.2.1 Evolución Constitucional

Ecuador ha experimentado varios cambios en el ámbito cultural en la constitución, desde la primera Constitución de Riobamba en 1830 se garantizó la libertad de expresión y opinión en el Ecuador, en el año de 1946 Ecuador colaboró con otros países que poseían los mismos lazos de origen y cultura, para salvaguardar su patrimonio. La Constitución de 1967 fue la primera ley que ayudo a consagrar el derecho a la cultura sin limitaciones, ordenando que los bienes tangibles e intangibles, sin importar sus dueños, constituyan patrimonio cultural de la nación, y estos estén bajo el control del Estado.

En 1968 se reconoció a Ecuador como un Estado diverso en cultura y se decretó al patrimonio cultural como un eje primordial, obligando al estado a velar por su conservación, además de promover y establecer políticas permanentes para: su restauración, protección, mantenimiento y difusión tanto del patrimonio tangible como del intangible (Mejía Salazar, 2014).

2.2.2 Instituto de Patrimonio Cultural INPC

En el año de 1978 se creó el INSTITUTO DE PATRIMONIO CULTURAL con personería jurídica propia, en donde para el siguiente año ayudaría a emitir la Ley de

Patrimonio Cultural, eliminando la desactualizada Ley de Patrimonio Artístico de 1945. Esta ley ayudó a la declaratoria de bienes patrimoniales como bienes del Estado para la movilización, conservación y restauración de estos. En 1979 la Ley de Patrimonio Cultural también dispuso la protección de todas las culturas y grupos étnicos del país, con el fin de salvaguardar sus tradiciones y culturas (Mejía Salazar, 2014).

En la actualidad en INPC es una entidad perteneciente al Estado que se encarga de controlar todos los procesos de bienes tangibles e intangibles del Ecuador, ayudando a la preservación, conservación, mantenimiento y difusión de estos, a través de leyes y políticas que ayuden al correcto manejo de los bienes del país. El manejo de bienes patrimoniales se lo hace a través de un registro, inventario y catalogación, en cuanto a su localización e importancia histórica (Salazar & Jinin, 2015).

2.3 TECNOLOGÍA BIM EN ARQUITECTURA

BIM o Building Information Modeling (modelado de la información de un edificio), es el conjunto de herramientas tecnológicas que se caracterizan por la precisión de su información referente a un edificio que puede estar en la etapa de DISEÑO, CONSTRUCCIÓN u OPERACIÓN a través de un tipo de software (Coloma Picó, 2008).

En la actualidad en el campo del patrimonio arquitectónico y cultural, las nuevas tecnologías se están volviendo más eficaces en cuanto a precisión, facilitando los trabajos de documentación que las mismas requieren, por su gran valor patrimonial. Dichas herramientas presentaban dificultad al ser utilizadas y el elevado costo de las mismas, las volvían inasequibles; pero el manejo de estas herramientas se ha vuelto cada vez más sencillo y con un menor costo, debido a su uso y versatilidad en muchos trabajos (vida útil) (Amaro, Aguilar, & Barrera, 2012).

El modelo de información BIM ayuda a que el flujo de trabajo sea más eficiente y preciso con la ayuda de herramientas que puedan ser fácilmente adquiridas y manejadas por técnicos, estas herramientas permiten obtener documentación gráfica y datos exactos del edificio a levantar, no solo obteniendo un modelado, sino también; un análisis y diagnóstico general que ayudará a la correcta conservación, mantenimiento o restauración del edificio patrimonial, desde sus fachadas hasta su interior(estructura) (Nieto, Moyano, & Fernandez, 2014).

2.3.1 Origen del Software

El origen del término BIM, se viene considerando desde el año 70, con el redactor de varios libros y artículos Charles M. Eastman en donde el utilizaba modelos paramétricos para obtener ventajas en la programación y adquisición de materiales, pero fue Jerry Laiserin quien fue conocido como el padre del BIM (Oya, 2015).

Posteriormente Autodesk en los años 80 fue quien lanzó el software más usado conocido como AUTOCAD, que ayudó a la forma de trabajo a los distintos profesionales del sector de la construcción en ese entonces; pasando del papel y lápiz a la nueva era de las herramientas tecnológicas.

La empresa Graphisoft fue la primera en aplicar el concepto BIM en un software llamado ARCHICAD, que fue el primer programa capaz de crear elementos en 2 y 3 dimensiones, en la actualidad encontramos una diversidad de programas o softwares que han invertido en el concepto BIM y que compiten por brindar al profesional el mejor programa que cumpla con sus necesidades (Oya, 2015).

2.3.2 Características del BIM

Las características principales que tiene el BIM son:

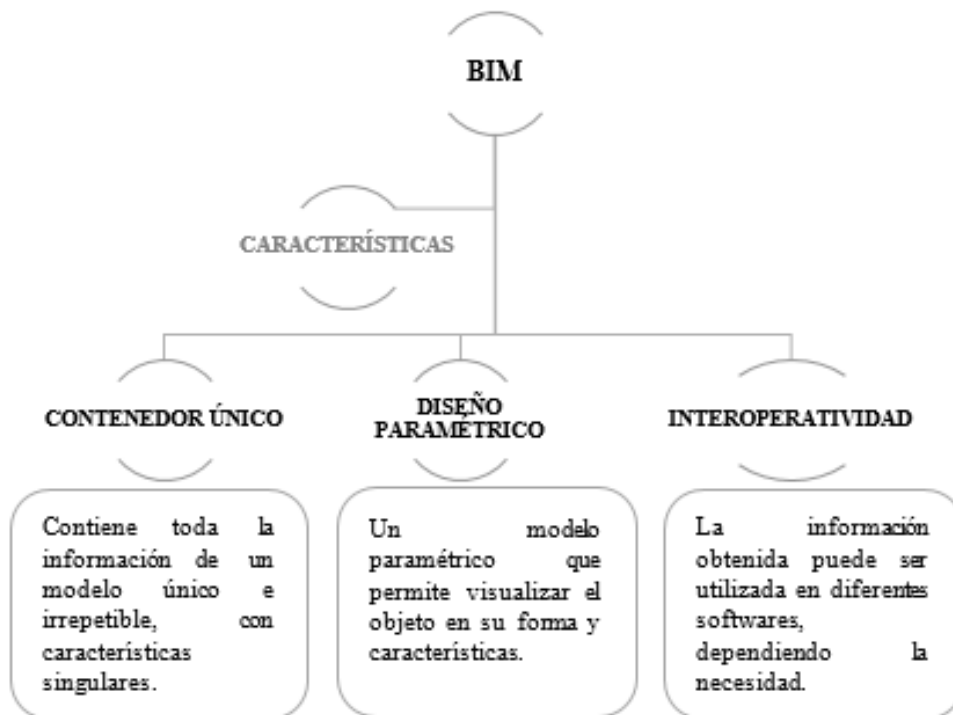


Figura 2 Características principales de la metodología BIM.

Fuente: Oya Tania, 2015.

2.4 LEVANTAMIENTO GRÁFICO EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Cuando se habla del levantamiento de edificios de gran valor patrimonial, se refiere a la gran importancia del detalle en los elementos preexistentes del edificio, ya que son de gran valor arquitectónico y arqueológico, y es por ello que los mismo requieren de varios estudios y de documentación detallada para su conservación.

En la actualidad la importancia de la obtención de dichos datos se ha visto menos compleja con la ayuda de diferentes hardware y software, que han permitido que el almacenamiento de datos y la precisión de estos sean de mejor calidad. Es por ello, que en el campo de la ingeniería y la arquitectura los modelos o sistemas BIM han cobrado importancia, ya que permite integrar un único modelo de información tanto geográfica, geométrica y alfanumérica para el estudio y análisis de un edificio patrimonial (Nieto, Moyano, & Fernandez, 2014).

2.4.1 Modelo de Información Patrimonial

La arquitectura patrimonial contiene diversas características únicas que deben ser catalogadas y documentadas cuidadosamente, por su gran valor arquitectónico, mismas que hacen de cada bien una arquitectura única y singular.

Es por ello que para llegar a tan alto detalle y precisión deben usarse herramientas de gran avance tecnológico y de diseño que podemos encontrar en software como el CAD o el BIM, ya que dichas herramientas permitirán al técnico obtener información gráfica real para posterior reconstrucción e incluso para ser valorada y estudiada para su futura conservación.

El uso de un modelo BIM en una edificación patrimonial permite obtener toda la información de un edificio en todas su fases; es decir, desde sus cimientos hasta la colocación de detalles exteriores, es por ello que para un bien patrimonial esta información es sumamente importante, ya que permite además realizar un análisis exhaustivo del edificio y encontrar problemas como deformaciones, vestigios e incluso analizar su estructura para que el bien patrimonial pueda ser intervenido y conservado al paso del tiempo (Nieto, Moyano, & Fernandez, 2014).

En la actualidad estos estudios han ayudado a la preservación del patrimonio cultural construido, pero el poco conocimiento de las autoridades ha impedido que los mismos

puedan acceder a estas nuevas herramientas tecnológicas, sin saber que el costo de vida útil es menor al costo de estudios en campo y al tiempo que toma dichas documentaciones.

Mucha de las veces un bien patrimonial no puede ser analizado a simple vista, es por ello que se necesita de un análisis minucioso que permita una observación real de cada detalle del edificio, y es ahí donde las nuevas herramientas tecnológicas toman un papel importante en el levantamiento de información del patrimonio arquitectónico, ya que el mismo sistema arroja un modelo representativo que es lo más cercano a la realidad, arrojando toda la información en una base de datos, para posterior estudios y análisis (Nieto, Moyano, & Fernandez, 2014).

2.5 TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO EN EL SISTEMA BIM

La palabra levantamiento ha sido utilizado hace años en el ámbito topográfico, y se define como la forma de obtención de datos de un objeto para su representación gráfica, en sus tres dimensiones o con la ayuda de un sistema de proyección (Buill, Nuñez, & Rodriguez, 2007).

“Según las interpretaciones más avanzadas se debe entender por levantamiento la forma primigenia de conocimiento y por lo tanto el conjunto de operaciones de medidas y de análisis necesarios para comprender y documentar el bien cultural en su configuración completa, referida a sus características dimensionales y métricas, a su complejidad histórica, a sus características materiales, así como formales y funcionales” (Merlo & Aliperta, 2015).

	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA	RESTITUCIÓN	RESULTADO	UTILIZO
LEVANTAMIENTO A VISTA (CROQUIS)	Herramientas de dibujo a mano alzada	Dibujo a mano alzada	Geometrías de elementos Proporciones entre elementos	Representación de plantas, secciones y alzados	Edidotipos (dibujos para poner medidas y acotaciones)
LEVANTAMIENTO DIRECTO	Distanciómetro Láser	Trilateración Abscisas y ordenadas (medidas de longitud)	Dibujos de arcos de circunferencias y líneas	Puntos destacados que pertenecen a un mismo plano	Elementos 2D + Maquetas 3D simplificadas
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	Estación Total	Medidas de distancias y de ángulos	Por medio de un software (trigonometría)	Puntos destacados que pertenecen a	Elementos 2D +

				un mismo ámbito 3D (nube de puntos ligera)	Maquetas 3D simplificadas
LEVANTAMIENTO LASER SCANNER	Escáner láser 3D	Medidas de distancias y de ángulos	Por medio de un software (ecuaciones de colinealidad)	Puntos indefinidos que pertenecen a un mismo ámbito 3D (nube de puntos densa)	Maquetas 3D high poly + elementos 2D
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	Cámara fotográfica digital Dron	Toma de imágenes		Puntos indefinidos que pertenecen a un mismo ámbito 3D (nube de puntos densa + textura)	Maquetas 3D high poly mapeadas + elementos 2D

Tabla 1 Técnicas de Levantamiento en el Sistema BIM.

Fuente: Merlo & Aliperta, 2015.

2.5.1 Escáner 3D en Arquitectura Patrimonial

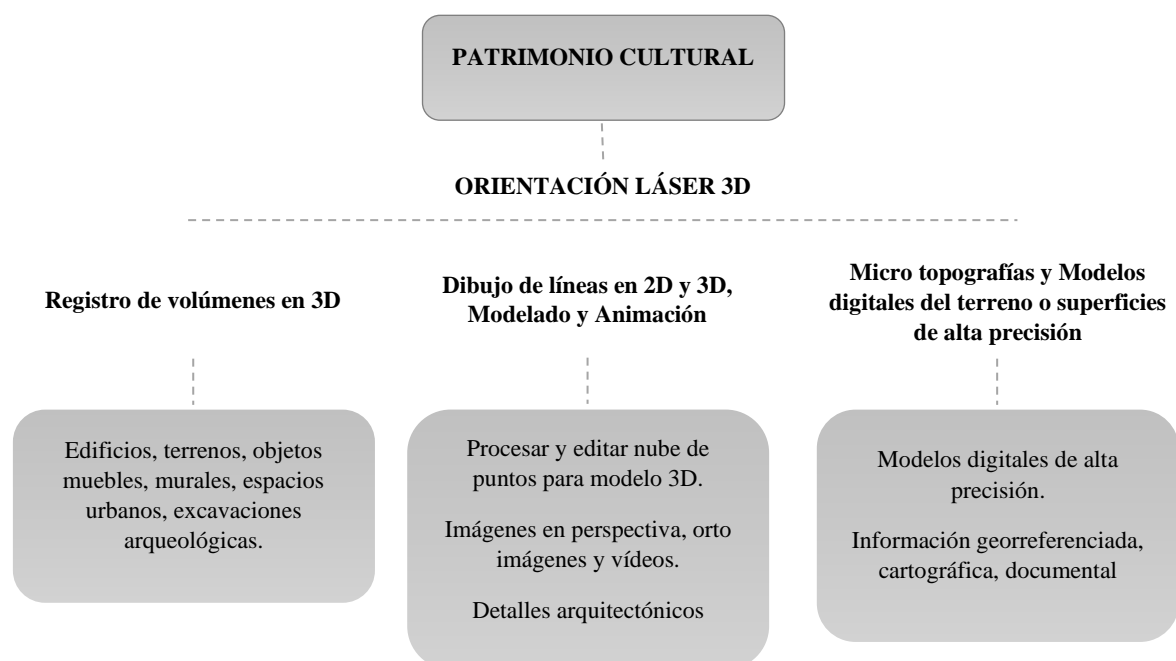


Figura 3 Orientación del Escáner Láser en el Patrimonio Cultural.

Fuente: Mañana, Rodríguez & Blanco, 2008.

El escáner láser es otra forma de levantamiento arquitectónico que se realiza de forma más directa, pero su alto costo de adquisición a limitado su uso, sin pensar en que puede ser usado en varios edificios y su uso de vida útil se volvería económico, sobre todo para gobiernos descentralizados que buscan la conservación de su patrimonio arquitectónico.

Esta herramienta tecnológica es usada in situ, posicionada en varios lugares para que la misma vaya registrando la información correspondiente del bien patrimonial, manipulándola según las necesidades del técnico (Amaro, Aguilar, & Barrera, 2012).

El escáner láser realiza un barrido de un bien patrimonial captando miles de puntos por segundo con un haz de láser, obteniendo así una nube de puntos en 3D que está compuesta por cientos de miles de mediciones que se realizaron individualmente en una superficie, las mismas que contienen un sistema de coordenadas (x, y, z), que ayuda a la composición de un modelo tridimensional de cada detalle del edificio (Mañana, Rodríguez, & Blanco, 2008).

Es un instrumento comúnmente usado en proyectos de ingeniería, y abarca varios campos desde la construcción hasta diseño de infraestructuras, pero ha facilitado el campo del levantamiento patrimonial siendo una herramienta exitosa para la conservación de edificios patrimoniales, pese a su alto coste de adquisición, en la actualidad su uso es cada vez más común.

Su capacidad de obtención de datos e información ha hecho de esta herramienta muy versátil tanto en el área del Patrimonio Cultural como en el levantamiento del Patrimonio Construido, en la actualidad los escáneres más utilizados en levantamientos arquitectónicos son los de medio alcance que presentan un rango de uso entre 0,1m y 150 m con un error posicional de +/- 2mm, y los de largo alcance que miden un rango de 0,1 m hasta 2km pero presentan un erro posicional de +/- 6mm (Sánchez, Gil, Municio, & Fernández, 2016).

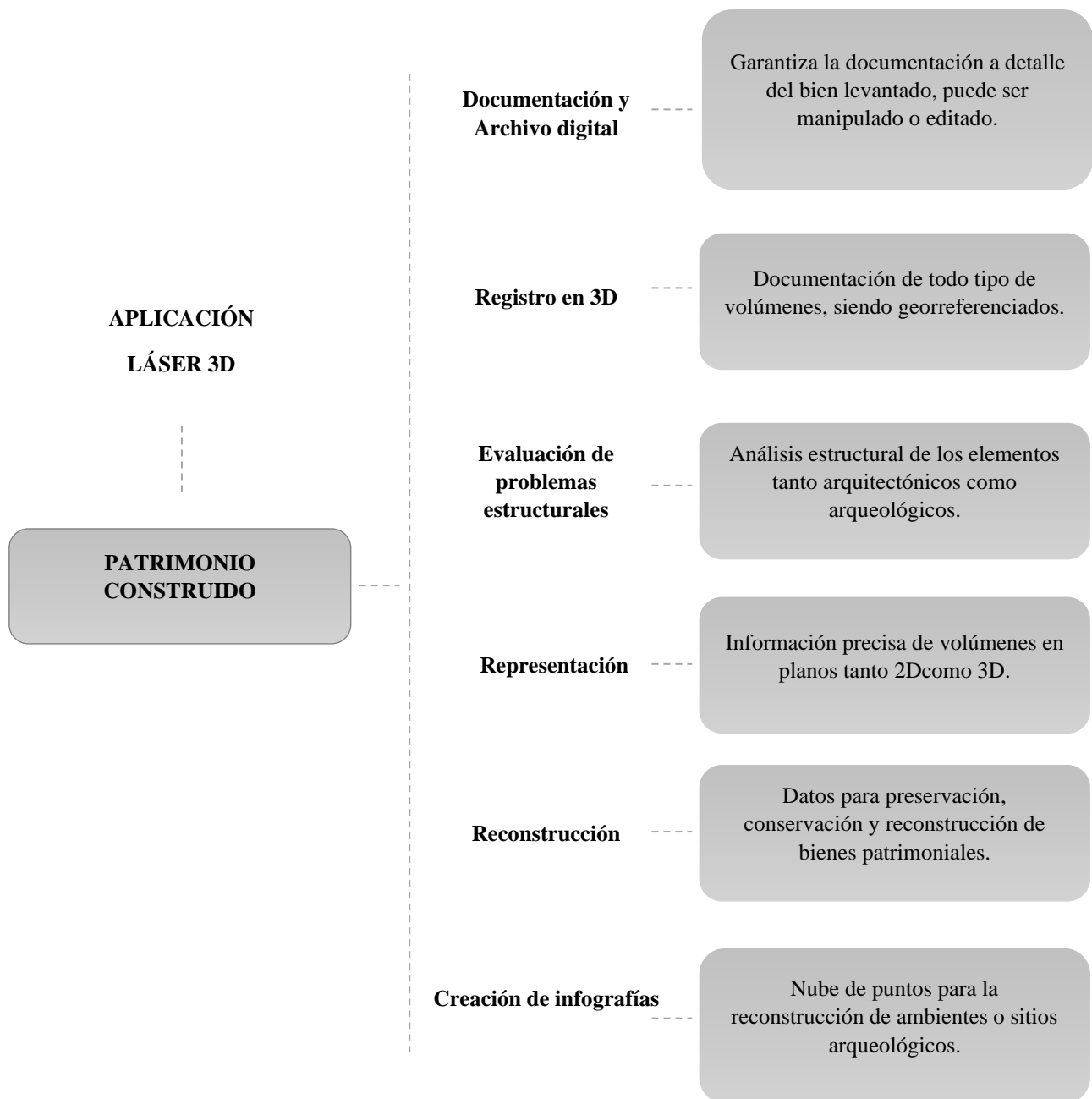


Figura 4 Aplicación del Láser 3D en Bienes Patrimoniales.

Fuente: Mañana, Rodríguez & Blanco, 2008.

2.5.2 Análisis Estructural y Tipología

Al análisis estructural se lo entiende como una comprobación de los efectos que generan las cargas aplicadas sobre las estructuras junto con sus componentes, para esto se basa en conocimientos correspondientes a la mecánica aplicada en conjunto con las matemáticas

y las ciencias de los materiales para definir la respuesta estructural al sometimiento de cargas, analizando sus deformaciones, fuerzas internas y reacciones.

A través de los métodos computarizados, ahora es posible generar análisis de estructuras con gran nivel de precisión, usando nuevos métodos numéricos de cálculo que han permitido el desarrollo de nuevas capacidades de análisis, las cuales, hasta cierto punto, han sido llevadas hasta la práctica de la ingeniería estructural, con el objetivo de describir los potenciales y las limitaciones de las estructuras, así como las comparaciones de los diferentes métodos de análisis. (Lourenco & Pereira, 2020).

2.5.3 Análisis Estático Lineal

Según la teoría establecida en la Ley de Hooke se definió que las estructuras y los materiales al ser expuestos a una carga sufren deformaciones, por tanto, el análisis lineal estático indica que el material obedece a la ley de Hooke, definiendo así a la rigidez como la relación entre esfuerzos y deformaciones, donde en este tipo de análisis se asume que los desplazamientos y las deformaciones pueden ser ignoradas debido a su pequeño tamaño en la obtención de valores.

Este tipo de análisis es usualmente aplicado a las estructuras de ingeniería civil que presentan niveles de esfuerzo bajos, como los que generalmente experimentan bajo las condiciones de carga diarias; debido a que los materiales podrían presentar una resistencia mayor al estar expuestos a una carga de forma específica, se considera que para el análisis lineal elástico se aplicaría la ley de Hooke para determinar la respuesta de la estructura, independientemente del nivel de esfuerzo alcanzado.

Estas características de elasticidad lineal, presentan una problemática considerable en estructuras de mampostería que se encuentren actuando bajo el efecto de la tensión, debido a que el material se agrieta con niveles de esfuerzo muy bajos. Al usar este tipo de enfoque en estructuras de mampostería se puede definir un esfuerzo máximo permitido, a través del cual se puede identificar en el modelo las áreas donde se presenten una concentración de esfuerzos que pudiesen llegar a producir agrietamientos, donde posteriormente este método colabore en la identificación del daño producido por las grietas en la estructura.

De este modo, este análisis permite generar una evaluación donde se pueda reducir la rigidez, tomando en cuenta el daño sobre el área seleccionada, o evaluando con una

rigidez igual a cero que supondría que el área no transmite esfuerzos, simulando así una grieta completamente desarrollada; por lo que se puede considerar como una ventaja el corto tiempo que se necesitaría para producir este tipo de evaluación, no obstante, aplicado en estructuras de mampostería y tierra, sería inadecuado, debido a que las estructuras de este tipo presentan una baja resistencia a la tracción, por lo que resulta complicado definir todas las zonas donde la estructura presente esfuerzos de tracción, llevando a que no se pueda determinar un esfuerzo máximo a tracción debido a que si el tamaño de la grieta fuera muy grande, el resultante del esfuerzo sería un comportamiento estructural termina siendo algo quebradizo. (Lourenco & Pereira, 2020).

2.5.4 Análisis No Lineal

Corresponde a una relación donde la fuerza y el desplazamiento no se presenta de forma lineal, haciendo que los desplazamientos actuales tomen dependencia de los desplazamientos de etapas previas. Este análisis tiene como objetivo equilibrar las fuerzas internas y externas por medio de un vector de desplazamiento; logrando así que el sistema se establezca discreto en el espacio como elementos finitos, siendo así también en el tiempo por medio de incrementos. Para lograr generar un equilibrio final en cada incremento, es necesario determinar un algoritmo que proponga una solución interactiva incremental, debido a que en este tipo de análisis el vector de fuerza interna suele depender no linealmente a los desplazamientos, además, esta dependencia no lineal los desplazamientos también puede ocurrir con el vector de fuerza externa, dado que en ambos casos la magnitud y la dirección de la carga dependerán del desplazamiento, determinando así que los desplazamientos y las deformaciones tengan características ilimitadas en este tipo de análisis, consiguiendo así una mayor presión para determinar la capacidad de soporte real de la estructura. En este análisis el material se describe por medio de relaciones entre el esfuerzo y su deformación, y es usado cuando las deformaciones se elevan hasta el punto de sobrepasar el límite elástico del material.

Existen diferentes métodos que permitan realizar una evaluación de características no lineales, los factores determinantes se evalúan a través de la rigidez y las fuerzas de desequilibrio, usándolas para determinar los incrementos producidos en el vector desplazamiento, definiendo así las interacciones de la estructura. Este tipo de comportamiento no lineal se define bajo las ecuaciones de un sólido o una estructura según sus características de equilibrio, cinemática y constitutiva; el análisis numérico

obtenido de este estudio de comportamiento no lineal a través de un software de computadora será definido como mecánica computacional no lineal.

Este análisis estático no lineal se aplica bajo un estudio para identificar los patrones de agrietamiento, movimiento y fluctuación de la constitución de los muros de albañilería y la estructura en general de una edificación; valores que puedan ser resultantes de acciones sísmicas propensas en nuestra ubicación geográfica propias de la región. De este modo con la aplicación de este análisis se consigue una utilidad en la evaluación del rendimiento de este tipo de edificaciones, por medio de evaluaciones de desplazamientos para identificar las zonas críticas de falla dentro de la estructura, pudiendo así llegar a verificar el estado final del edificio y poder generar medidas de reforzamiento ante la presencia de un sismo.

2.6 DIANA FEA

El comportamiento estructural de la albañilería considerado por el programa DIANA se maneja bajo la estabilidad del control de fisuración de los materiales, constituyendo así parabólicos y exponenciales que reflejen las leyes de tracción y compresión, brindando resultados referentes al comportamiento de la estructura en corte y la energía de fractura a tracción y compresión. (Briceño Meléndez, 2016).

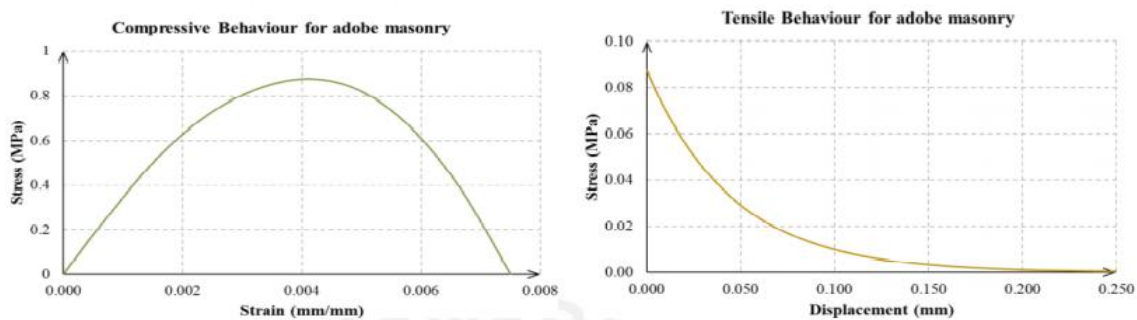


Figura 5 Leyes constitutivas de la albañilería de adobe a tracción y compresión en DIANA.

Fuente: Briceño Meléndez, 2016.

2.6.1 Análisis Pushover

Es un método de análisis no lineal para realizar una evaluación sísmica aplicada a una estructura que se sujeta a la carga de gravedad y a un patrón de carga monotónica que refleja las fuerzas inerciales relacionadas con la masa de la estructura, mismas que se incrementan por medio del comportamiento elástico e inelástico, hasta alcanzar una

condición máxima, donde el patrón de análisis de carga lateral genera el rango de cortante en la base que se ocasiona bajo la acción del sismo.

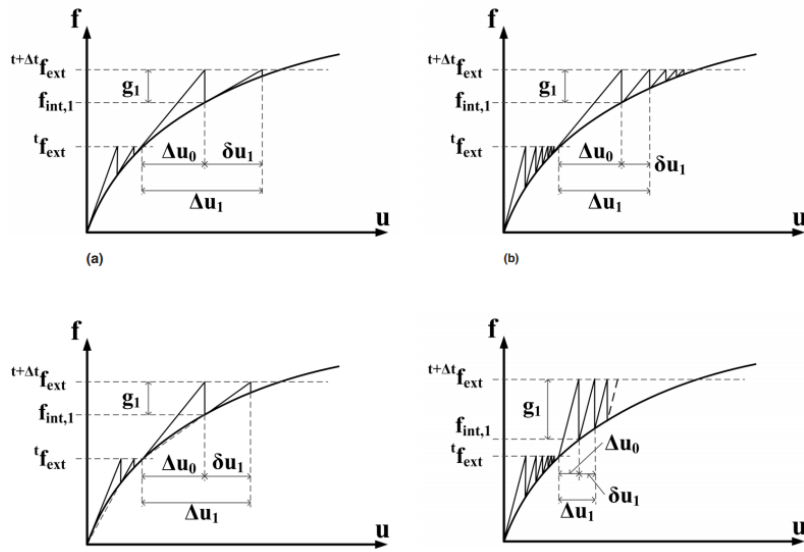


Figura 6 Métodos de iteración: Regular de Newton-Raphson, Newton Raphson modificado, Secante o cuasi-newton, de rigidez lineal.

Fuente: TNO DIANA, 2009.

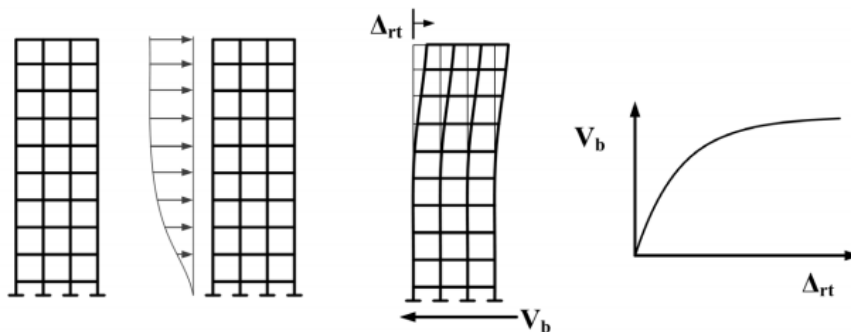


Figura 7 Diagrama y gráfico del análisis pushover.

Fuente: TNO DIANA, 2009.

El resultado de este análisis muestra una curva estática-pushover, graficando un parámetro que se basa en la resistencia versus la deformación en un punto representativo, generalmente ubicado en el nivel del techo o en el nivel de mayor desplazamiento, estos resultados generan información acerca de la capacidad dúctil del sistema estructural e indican el mecanismo, el nivel de carga y la deformación, en los elementos donde se produce la falla. Los resultados generan información de una curva estática-pushover donde se grafica un parámetro basado en la resistencia versus la deformación,

proporcionando información del nivel de carga y la deformación en los lugares donde se produce la falla.

Al evaluar la seguridad sísmica, el usuario debe definir un patrón de carga que se aproxime a la distribución de las fuerzas inerciales, existen diversas posibilidades a la hora de elegir el patrón de carga que actúa en la estructura, siendo las distribuciones usadas más frecuentemente son las proporcionales a la masa de la estructura y las proporcionales a la primera forma modal. Aunque son usados con frecuencia, estos tipos de análisis pushover tienen algunas limitaciones, como la incapacidad para detectar cambios en las características dinámicas no lineales debido a la evolución del daño en la estructura. (Lourenco & Pereira, 2020)

El patrón de distribución lateral de la carga sísmica equivalente tiene influencia en los resultados, demostrando que cuando esta distribución de la carga es proporcional a la masa genera mayor daño de fractura, mientras que cuando la vibración es proporcional a la distribución de la masa ocasiona mayor daño en las zonas superiores de la estructura. De este modo, al tener una comparativa entre datos del análisis no lineal pushover con los datos del análisis dinámico no lineal, se puede determinar que las distribuciones proporcionales de la masa pueden reflejar una resistencia a corte aproximada entre ambos análisis por lo que se puede estimar que en términos de capacidad de desplazamiento, el análisis pushover, evalúa la capacidad de desplazamiento de la estructura, independientemente del patrón de distribución de carga que presente, brindando un enfoque más adecuado y práctico para la evaluación sísmica. Tomando a consideración las estructuras de mampostería, se demostraría que el análisis pushover, sería el método más adecuado para su evaluación estructural, debido a su análisis de esquemas de distribución de carga proporcional a la masa. (Lourenco & Pereira, 2020)

2.7 MARCO HISTÓRICO

2.7.1 Situación geográfica del Ecuador

El Ecuador está atravesado por el cinturón de Fuego del Pacífico, que se caracteriza por mantener las zonas de subducción más importantes del mundo, provocando la intensa actividad sísmica y volcánica.

La actividad en el anillo de fuego provoca anualmente varios sismos y erupciones volcánicas, el Ecuador está atravesado por la cordillera de los Andes, con un total de 26

volcanes con actividad de mínima a intensa; según la BBC Mundo “*En el cinturón de Fuego del Pacífico tienen lugar el 90% de los terremotos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes*” (Taveras H, 2014).



Figura 8 Anillo de fuego del Pacífico-placas tectónicas.
Fuente: Wikimedia Commons.

2.7.2 Fallas geológicas en el Ecuador

Según el Instituto Geofísico del Ecuador se denomina falla geológica a la fractura de las rocas, sometidas a fuerzas se mueven que provocan los sismos, en el Ecuador se interrelacionan las placas de Nazca y Sudamericana, las cuales producen fuerzas en sus bordes, lo que provoca la presencia de fracturas a nivel de suelo. Estas fallas pueden ser caracterizadas por su geometría, extensión y tipo de movimiento, siendo necesario un estudio de las mismas para la identificación de amenazas a nivel sísmico presentes en el país. (Rivadeneira, y otros, 2007)

Debido a esto, para esta investigación, se prevé realizar un análisis de la falla de Pallatanga, la cual se encuentra afectando a la zona de emplazamiento de la Iglesia de Balbanera, y es considerada como una de las fallas activas del país.

2.7.3 Falla de Pallatanga

Está localizada a partir del golfo de Guayaquil, pasando por la isla Puná, continua por la zona de la Troncal, atraviesa la cordillera de Bucay, continua por Pallatanga, y es parte

del sistema sísmico más activo del Ecuador, en el norte se conecta con la falla de Chingual, que inicia con el volcán Cayambe.

Es la principal falla activa en el Ecuador, al estar localizada a una distancia aproximada de 25 km de la actual ciudad de Riobamba, se cree que el sismo de 1797 se produjo en el sistema de uno de estos ramales.

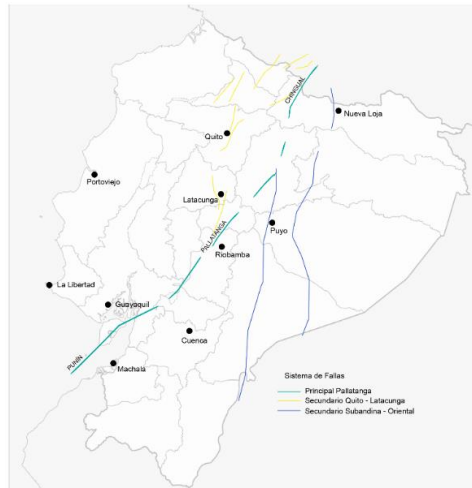


Figura 9 Falla de Pallatanga.
Fuente: Elaboración propia.

2.7.4 Zona macro-sísmica de 1797

“La urbe más importante de la zona macro-sísmica era Riobamba, que años antes (1623) había alcanzado la categoría de Villa”, se encuentra localizada en la falla de Pallatanga, una de las zonas de alta amenaza sísmica en el país, como se muestra en el siguiente mapa de aceleraciones de la gravedad en el Ecuador. (Egred, 2000)

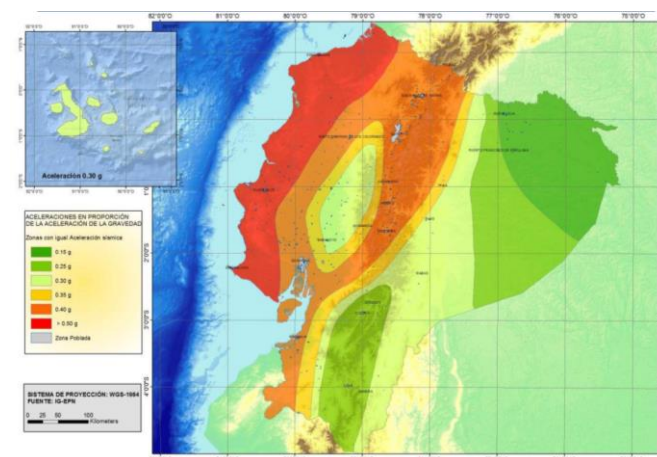


Figura 10 Mapa de zonificación sísmica para diseño.
Fuente: NEC, 2011.

2.7.5 La Villa de San Pedro de Riobamba

Según el libro “El terremoto de Riobamba” de José Egred. La villa de San Pedro de Riobamba “ Antiguo Riobamba” localizada a las orillas de la Laguna de Colta, rodeado por montañas y con 21 parroquias principales, junto con la Real Audiencia de Quito y Santiago de Guayaquil, instauradas a partir de la conquista española; fue un territorio de paso, que conectaba con el norte, sur y occidente con las 3 ciudades más importantes de la época respectivamente, por su apogeo económico y gran población entre nobles, terratenientes, eclesiásticos en el siglo XVIII se le consideró como una de las más importantes.

La ubicación geográfica de la entonces Riobamba estaba atravesada por el río Sicalpa desde noreste a sureste, a partir de una acequia donde nacía el río, y cruzaba la villa de oeste a este que rotaba luego al sur. La villa en 1797 se dividió por llanuras donde se asentaban los nobles junto a los templos, mansiones e iglesias, y para el monte se ubicaba las chozas de los indígenas. Su organización urbana era similar a la española, con calles anchas y empedradas tipo damero, trazadas con cordel, dentro de la ciudad existían 5 plazas y templos monumentales con pilastras.

La arquitectura de la villa en esa época evocaba similitud con las construcciones de Quito su prosperidad se reflejaba en las características constructivas, sus edificaciones eran ornamentadas con piedra labrada, el tipo horizontal español fue remplazado por la verticalidad, especialmente en templos y casas de alcurnia, la mezcla de tiempos entre lo antiguo, moderno y un toque bizarro.

Las casas de los nobles, tenían una distribución rectangular con el patio interno, adaptaron posteriormente el diseño con similitud a templos religiosos usando detalles como columnas curvadas, semejante a las del estilo salomónico y algunas variantes de estilo barroco, los detalles se veían reflejados en la decoración, sobresaliendo con objetos extranjeros que le daba la elegancia y sobriedad a las edificaciones permitiéndose destacar del resto, con caídas a dos aguas que daban al frente de las calles principales, la materialidad usada fue principalmente de ladrillo, o adobe de barro con paja picada en los enlucidos, con grandes espesores, el uso de la piedra labrada era destinada para casas señoriales, edificios públicos, templos, las cubiertas eran de madera, con un tejido entrelazados de vigas y viguetas, para el recubrimiento usaban teja, el material que se

usaba en las uniones era una mezcla entre cal, arena y agua. Para los zócalos en fachadas, o pórticos usaban piedra labrada y vista.

En cuanto a la arquitectura popular, las casas eran modestas para sus paredes usaban materiales como adobe, paja, los techos con madera y recubiertos de tejidos de carrizo con un enlucido de adobe con paja picada, las uniones se las realizaba con una mezcla de tierra y agua, su distribución interna era rectangular, a veces sin mampostería interna, dejando en evidencia la diferencia de clases sociales en esa época. (Egred, 2000).

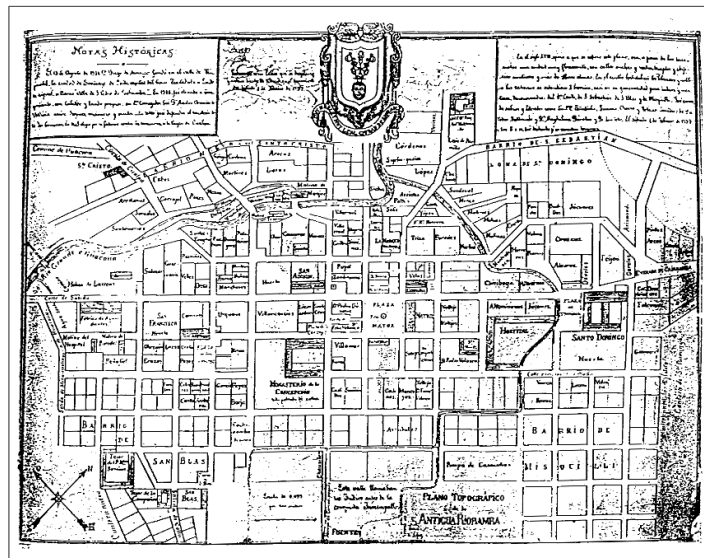


Figura 11 Plano de la Villa de Riobamba.
Fuente: Egred, 2000.

2.7.6 Terremoto en la villa de San Pedro de Riobamba

En 1797, ocurrió uno de los sismos más devastadores de la historia del Ecuador, la zona central conformada por las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua, fueron afectados por un movimiento telúrico de magnitud 7.6 en la escala de Richter, dejando a la villa de Riobamba irreconocible, debido a que la ciudad quedó enterrada totalmente.

Según los escritos de la época, existieron levantamientos, inmersiones y deslizamientos del suelo, se desbordaron ríos, se perdieron pueblos por el hundimiento de montañas, y hubo un volcanismo por parte del Tungurahua, El Altar, Cotopaxi, Iguanlata, que describen “descenso de torrentes de lava” ... “entre los 6 y 9 días luego del terremoto” (Egred, 2000).

Si bien la villa de Riobamba no fue el epicentro, fue la primera en destruirse, con una duración de 3 a 4 minutos, las casas y personas fueron sepultadas por el cerro Cullca si bien no hay un número exacto de víctimas mortales se dice que solo una octava parte de la población vivió y se vio en la obligación de ser reubicada junto con la ciudad completa.

La pérdida económica, social, afecto incluso días hasta meses después, en el acto no se pudo rescatar a las víctimas, el hospital quedó destruido y algunos médicos fallecieron, no pudieron abastecer de atención médica adecuada, la salubridad por la putrefacción de los cadáveres afectaron a los sobrevivientes, provocando epidemias y enfermedades respiratorias, la crisis ahondo al no existir producción agrícola una de las bases de la villa, la muerte del ganado y la destrucción de fábricas, provoco una perdida tanto a los colonos como los colonizadores quedando en la pobreza.

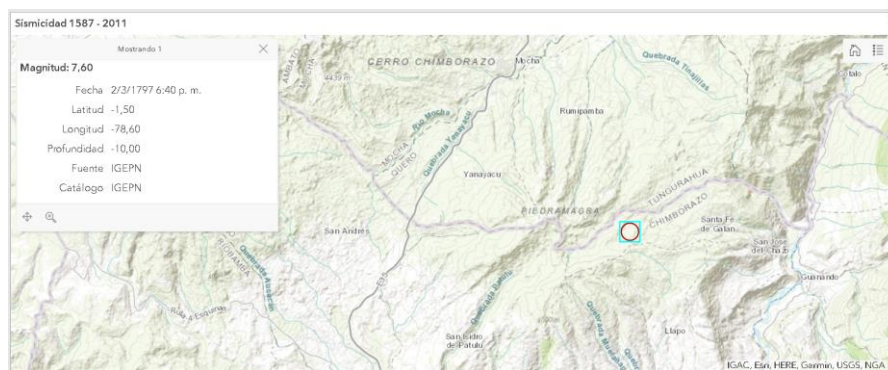


Figura 12 Epicentro del terremoto de 1797.

Fuente: Catálogo homogenizado Instituto Geofísico, 1587-2011.

2.7.8 Antecedentes históricos del Cantón Colta

El cantón Colta es un pueblo de gran riqueza histórico-cultural, no solo para la provincia de Chimborazo sino para el país, ya que allí suscitaron hechos de gran importancia para la historia de nuestros antepasados; fue creado hace 500 años mucho antes del asentamiento conocido como Liribamba, el cual fue el centro estratégico del Imperio Puruhá, que luego paso a ser la Ricpamba Incásica en donde era el lugar de encuentro e intercambio de sociedad costeras, andinas y amazónicas (Salgado & Quintanilla, 1998).

Colta es conocido como la cuna de guerreros indomables como: Cacha, Eplicachima, Duchicela, Calicuchima, el Inca Huayna-Palcón, reina Pacha, Pedro Vicente Maldonado, Juan de Velasco, José de Orozco y Magdalena Dávalos, personajes de gran historia para la ciudad y de hechos sobresalientes para el país (Salazar & Jinin, 2015).

2.7.9 Colta en la Colonia

En 15 de agosto de 1534 se funda la primera ciudad española llamada Santiago de Quito, en el territorio de Reino de Quito, muy cerca a la conocida Laguna de Colta en Balvanera, este acto es un hecho de gran importancia para la trascendencia del país, debido a esto posteriormente se fundarían más territorios conquistados que tendrían el nombre de ciudades (Caiza Poma I. R., 2015).

En esta época sucedieron eventos que marcaron la historia del cantón como el terremoto del 4 de febrero de 1767 registrado como el evento sísmico más fuerte hasta ese día. El conocido monte Cullca arrasó con la mayor parte de la ciudad en especial el barrio la Merced, en donde toneladas de tierra terminaron con mucha parte de los cultivos, casas, animales y cobró la vida de muchas personas. No conforme con el gran evento sísmico, sucedieron erupciones de los volcanes Altar, Tungurahua y el Quilotoa, que generaron tragedias en otras ciudades (Sánchez R. , 1898).

2.7.10 Colta en la República

El cantón Colta representa a los descendientes de los pueblos Puruháes que habitaron allí, es por ello que actualmente se conservan aún casas con diferentes estilos arquitectónicos de su época. Colta cuenta con muchos vestigios patrimoniales, así como arquitectónicos como son sus Iglesias, sus plazas que son de gran relevancia debido a la historia que los envuelve (Caiza Poma I. R., 2015).

2.7.11 Cantón Colta

En el año de 1884 se suscitaron dos eventos muy importantes; el 27 de febrero fue la creación del cantón mediante decreto, y el 2 de agosto fue construido el cantón sobre los escombros de la antigua Riobamba, las parroquias urbanas del cantón Colta son: Cajabamba y Sicalpa y sus parroquias rurales: Cañi, Columbe, Juan de Velasco y Santiago de Quito.

Colta posee una superficie de 840 km² y es el 13.14 % del total de la provincia de Chimborazo, conocida como la cuna de la actual Riobamba, está ubicada en los pies del cerro Cushca (Guamán, 2019).

2.8 EXPRESIONES ARQUITECTÓNICAS ABORÍGENES

2.8.1 Iglesia Balbanera

Línea de tiempo de las modificaciones arquitectónicas de la Iglesia Balbanera desde su fundación hasta la actualidad:

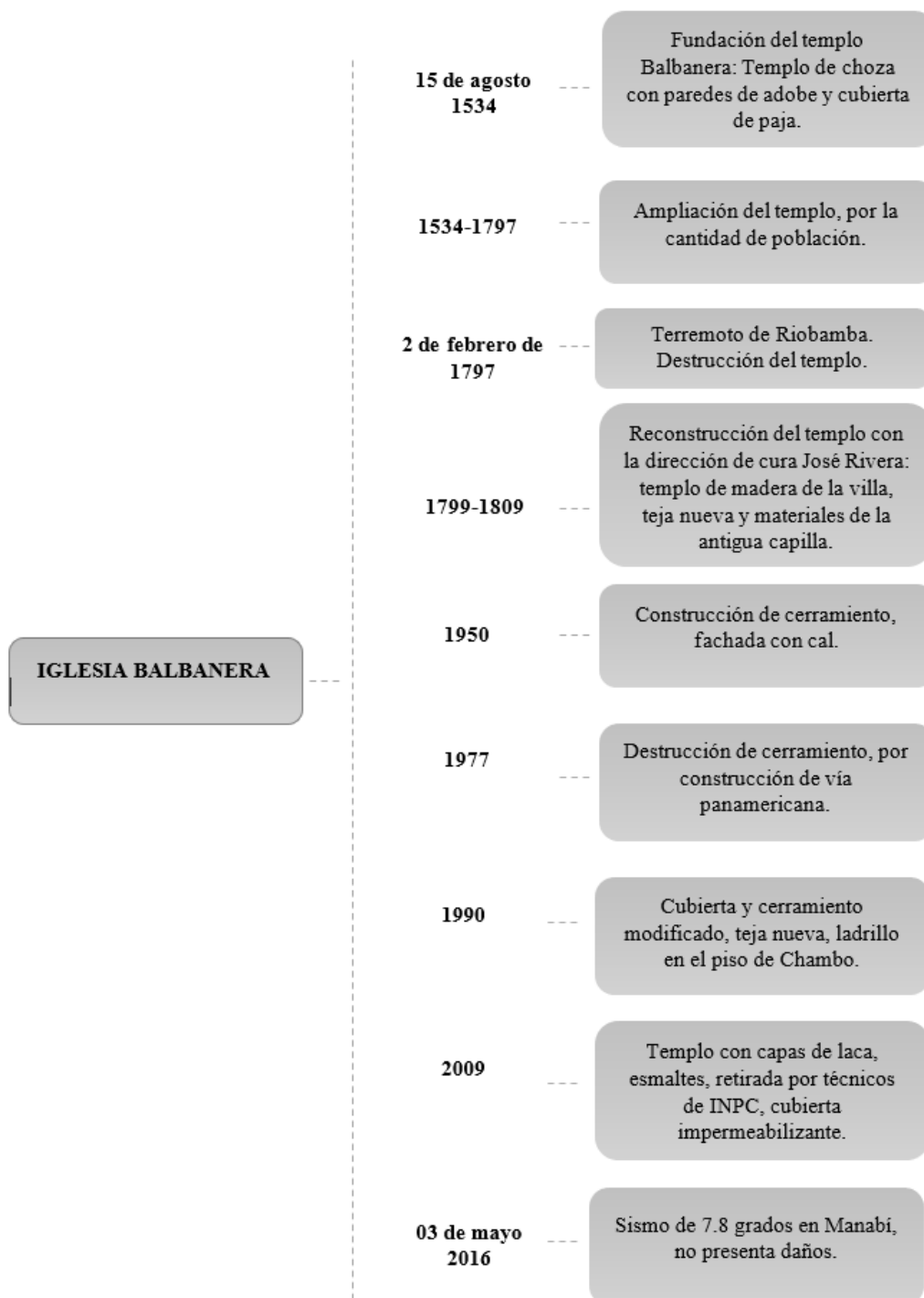


Figura 13 Línea de tiempo de la Iglesia Balbanera.

Fuente: Sampedro, 2016.

Con la llegada de los españoles a la llanura de Ricpamba los nativos del sitio se sintieron amenazados, lo que provocó que los mismos los sorprendieran en la noche y generaran una batalla entre ellos, lo cual solo fue detenida por una mochila llena de pólvora que sorprendió a los nativos del lugar y huyeron, pensando que fue una advertencia de los dioses por ser un lugar sagrado (Sampredro, 2016).

Los españoles al mirar que fueron salvados del ataque de los nativos atribuyeron que el suceso fue un milagro al salvar sus vidas, y lo atribuyeron a la Virgen de Balbanera (España) y es por ello que en agradecimiento a ello edificaron un templo que se convertiría en la primera Iglesia Católica del territorio de Quito con el nombre de Balbanera (Escobar, 2001).

Sebastián de Benalcázar el líder español señala la ubicación del primer templo católico, mismo que fue inaugurado el 15 de agosto de 1534, fue una construcción humilde a comparación del actual templo que se puede encontrar en el cantón, que fue destruida por el terremoto de 1767 (Caiza Poma I. R., 2015).

El material en su fachada es de piedra calcárea blanca que tiene tallados simples que representan símbolos españoles e indígenas, en su frontispicio existe piedras labradas con motivos religiosos que representan a la iglesia como ángeles y las llaves de San Pedro, sus campanas fueron construidas con regazos de piedras coloniales. *“En la construcción de la Iglesia Balbanera participaron indígenas y españoles, la fusión de estas dos culturas permite que la iglesia refleje un estilo barroco-mestizo”*. (Gavilanes, 2019).

Llevado a consideración de quienes hacemos esta investigación, respetamos la caracterización formal de la Iglesia dentro del estilo Barroco que realiza el autor, pero se establece como idea propia que, debido a las características de arquitectura fragmentaria y sus diferentes intervenciones como efecto de daños por desastres naturales, es necesario establecer un análisis de temporalidades en cuanto a procesos constructivos, junto con las influencias europeas aplicadas en el desarrollo morfológico del templo, con el objetivo de estudiar a profundidad sus características formales y poder establecer un estilo arquitectónico al cual se asemeje.

La Iglesia Balbanera, antes de la llegada de los españoles era un sitio ceremonial para la cultura Puruhá, luego se convirtió en una iglesia en honor a la Virgen Balbanera, conocida

en la Rioja España, actualmente la iglesia utiliza materiales reutilizados del anterior templo que fue destruido en el terremoto de 1797 (Caiza Poma I. , 2015).

La Iglesia posee una sola nave, su tumbado es de carrizo recubierto con madera, en el atrio se encuentra una imagen de la Virgen María Natividad de Balbanera, y en sus paredes se encuentran placas de agradecimiento de devotos que presentaron un milagro en sus vidas. Es por ello la importancia de esta Iglesia a nivel nacional, ya que representa la historia y la cultura de diferentes países plasmados en una devoción católica (Caiza Poma I. R., 2015).

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque mixto, ya que para llegar a los objetivos planteados se desarrolló una investigación tanto cualitativa como cuantitativa, mismas que permitieron la obtención de toda la información y datos requeridos.

La investigación mixta combina la recolección completa, el análisis e interpretación de datos de manera cualitativa y cuantitativa, ayudando a obtener un estudio completo de la investigación (Otero Ortega, 2018). Esta investigación es subjetiva y objetiva a la vez resolviendo la problemática por el cual se realizó el proyecto de investigación de manera crítica, sistemática y empírica.

Para poder plantear el nivel de investigación se plantea un esquema de flujo de trabajo mismo que está relacionado con la metodología de investigación y los objetivos planteados, es decir desde el trabajo de campo, la documentación arquitectónica completa de la Iglesia Balbanera, el uso de software BIM hasta la evaluación estructural de la Iglesia para futuras intervenciones.

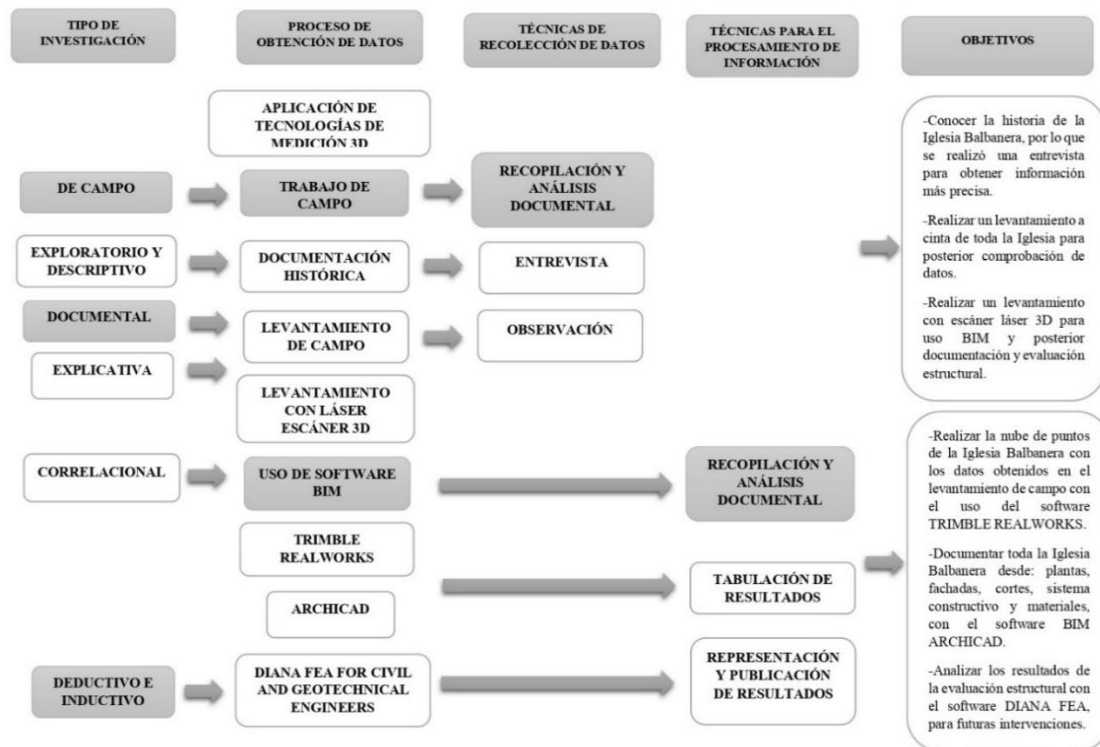


Figura 14 Esquema de flujo de trabajo con relación a la metodología de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Por su nivel de profundidad

Exploratorio

La investigación es de tipo exploratorio, ya que primero se realizó un acercamiento al cantón Colta, en donde se encuentra ubicada la Iglesia Balbanera con el fin de conocer sus antecedentes históricos- culturales, y las intervenciones arquitectónicas que se han realizado en la misma, además de realizar un levantamiento a cinta de la Iglesia para comparar medidas en los siguientes procesos.

Descriptiva

Es descriptiva porque se llegó a conocer todas las cualidades y características de la Iglesia Balbanera con la ayuda de una entrevista al Padre de la Iglesia, además de conocer la historia de la antigua Sicalpa.

Explicativa

Es explicativa debido a que se encontraran los fenómenos, causas y patologías que ha presentado la Iglesia Balbanera a través del tiempo para que haya tenido que ser intervenida varias veces, ayudando a realizar el correcto mantenimiento de la misma con un estudio garantizado y de calidad.

Correlacional

Es correlacional porque la intención de la investigación es plantear nuevas herramientas tecnológicas de medición 3D actuales, para facilitar el trabajo de campo de los profesionales y mejorar las intervenciones arquitectónicas y patrimoniales, con datos más exactos.

Por los medios para obtener datos

De campo

Es de campo ya que se tuvo una interacción directa con el objeto de estudio, en este caso la Iglesia Balbanera y su entorno, en donde se pudo observar, tomar fotografías para el levantamiento arquitectónico de la misma, tanto exterior como interiormente.

Documental

Se recopiló información de la historia y antecedentes arquitectónicos de la Iglesia para conocerla de mejor manera, con el fin de obtener datos precisos que ayuden a la investigación.

Según el tipo de inferencia

Deductivo e Inductivo

Esta investigación es de tipo deductivo e inductivo porque se plantea una solución a la problemática existente conociendo la situación actual de la iglesia nivel estructural, dando soluciones para intervenciones, y a la vez se propone el uso de nuevas herramientas a profesionales para mejorar la documentación arquitectónica de un edificio patrimonial.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el correcto proceso de documentación arquitectónica de la Iglesia Balbanera y su evaluación estructural, se ocuparon varias técnicas de recolección de datos como:

Recopilación y análisis documental

La recopilación y análisis documental permitió que la investigación sea más precisa y verídica, ayudando a tener más datos claros desde la historia de la Iglesia hasta las intervenciones que ha tenido en todo este tiempo, además de valorar el patrimonio arquitectónico e histórico que posee la Iglesia.

Observación

Conocer la situación actual de la Iglesia Balbanera fue una de las técnicas más importantes, ya que se conoció a detalle el exterior e interior de la iglesia, dando una mirada técnica de los materiales usados actualmente, el sistema constructivo y posibles patologías. Esta técnica se respalda por medio de fotografías y material arquitectónico.

Entrevista

Esta técnica permitió conocer más a fondo la historia de la Iglesia, se lo hizo a través de una reunión con el Padre actual de la Iglesia mismo que nos permitió conocer muchos más lugares importantes de Colta y la importancia que tiene la Iglesia en el país.

3.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Recopilación y análisis documental

Esta técnica permitió obtener la nube de puntos de la Iglesia Balbanera con la ayuda de un levantamiento con el láser escáner 3D, luego del levantamiento a cinta este permitirá obtener datos más precisos para poder desarrollar no solo la documentación arquitectónica en un software BIM sino también permitir la evaluación estructural de la Iglesia.

Tabulación de resultados

Para poder llegar a la evaluación estructural de la iglesia con datos representativos se tuvo que evaluar el sistema constructivo actual de la Iglesia, en donde se analizó cada material ante una respuesta sísmica, ayudando así a intervenciones seguras.

Representación y publicación de resultados

Esta técnica permite recopilar toda la información recolectada desde el levantamiento histórico, arquitectónico hasta los resultados arrojados por el Software de la evaluación estructural de la Iglesia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROCESO DE LEVANTAMIENTO Y MEDICIÓN CON ESCÁNER LÁSER 3D

Al generar el proceso de escaneo, se determinó una secuencia de pasos que vayan definiendo las tareas a realizar entre el trabajo de gabinete y el trabajo realizado en campo. De este modo se definió la secuencia de obtención y procesamiento de datos bajo el siguiente diagrama:

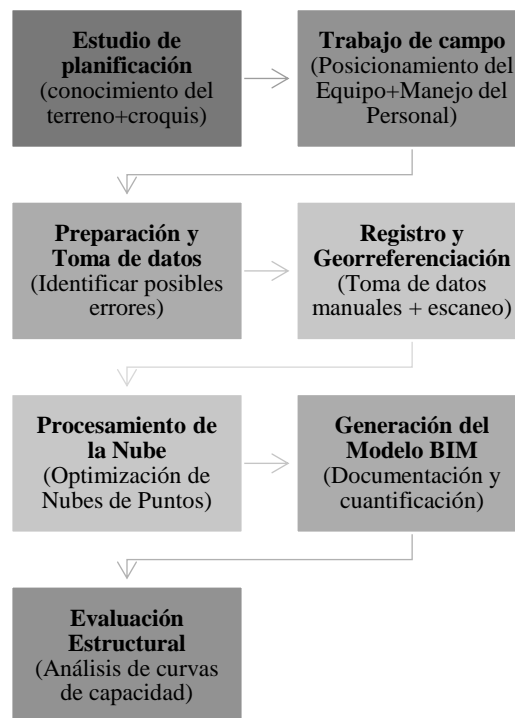


Figura 15 Esquema de flujo de trabajo con escáner 3D para documentación y evaluación.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN

El primer paso que se debe realizar para proyectar un escaneo de alta calidad es una adecuada planificación. La cual deberá analizar información sobre los entregables en conjunto con la evaluación del área a levantar y las mejores opciones para la obtención y procesamiento de datos.

Por tanto, al definir un proceso de planificación se puede implementar el siguiente esquema:

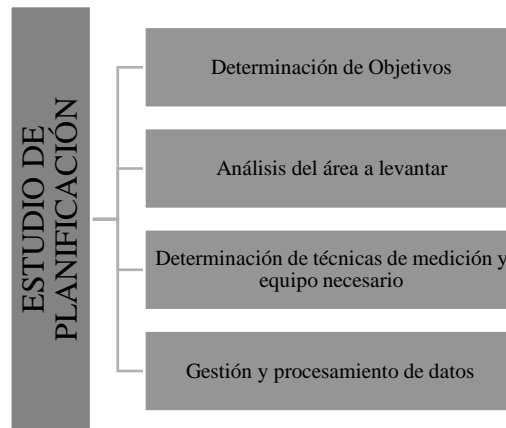


Figura 16 Metodología de planificación para el uso del escáner láser 3D.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Determinación de Objetivos

Para la elaboración de este levantamiento, se realizó un análisis donde consideramos las necesidades por las cuales se está proponiendo el escaneo, junto con los entregables que nos permitirían alcanzar los objetivos, de este modo, se establecieron los siguientes objetivos y entregables.

- Obtener una nube de puntos depurada de la Iglesia de Balbanera que permita la obtención de un modelado de alta precisión para realizar un proceso de documentación.
- Generar un modelado con características BIM a partir de datos obtenidos en escaneos interiores y exteriores de la Iglesia de Balbanera.
- Generar una nube de puntos con alta resolución, para generar un mallado de la Virgen María Natividad de Balbanera.
- Identificar tipos de Materiales de Construcción para definir escaneos donde la superficie requiera una configuración con mayor calidad y resolución.
- Establecer rutas controladas para la circulación de Peatones debido al tráfico recurrente de devotos.

4.2.2 Análisis del área a levantar

Debido a las condicionantes del clima, el tránsito de visitantes, la disponibilidad del espacio, junto con la duración de las baterías del equipo (4h c/u) se estableció que los escaneos se llevarían a cabo durante dos días, en el primero se levantaría el perfil interior

junto con la Virgen, mientras que, el segundo completaría las escenas exteriores necesarias para la obtención de información completa de la Iglesia.

4.2.3 Determinación de técnicas de medición y equipo necesario

Para el proceso de escaneo de la Iglesia de Balbanera, se estableció realizar un escaneo programando puntos de referencia, además, como criterio de seguridad, se dispuso las escenas con el fin de que entre cada par de estaciones se garantice un solape de al menos el 30% como mínimo.

Debido a esta elección, se necesitó transportar el equipo completo de escaneo junto con algunas herramientas necesarias para el levantamiento, representadas a continuación:

LISTADO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS			
ÍTEM	EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Escáner Láser Faro Focus 3D	U	1
2	Trípode para Escáner	U	1
3	Esferas Grandes	U	2
4	Bases Nivelantes	U	2
5	Trípode de Anclaje	U	2
6	Esferas Pequeñas	U	5
7	Puntas	U	5
8	Bastones	U	20
9	Trípode de Anclaje Pequeño	U	5
10	Escalera	U	1
11	Cinta (50m)	U	1
12	Flexómetro	U	1

Tabla 2 Listado de herramientas y equipos para medición con escáner láser 3D.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 TRABAJO DE CAMPO

4.3.1 Trabajo de Gabinete previo a salida in situ

Para un proceso optimizado en tiempos y número de escenas, y una vez identificados los equipos y herramientas, se procedió a la programación de la salida a campo; para lo cual, se generó un bosquejo donde se realizó un primer croquis de levantamiento con una tentativa de posicionamientos de escaneos y puntos de referencia.

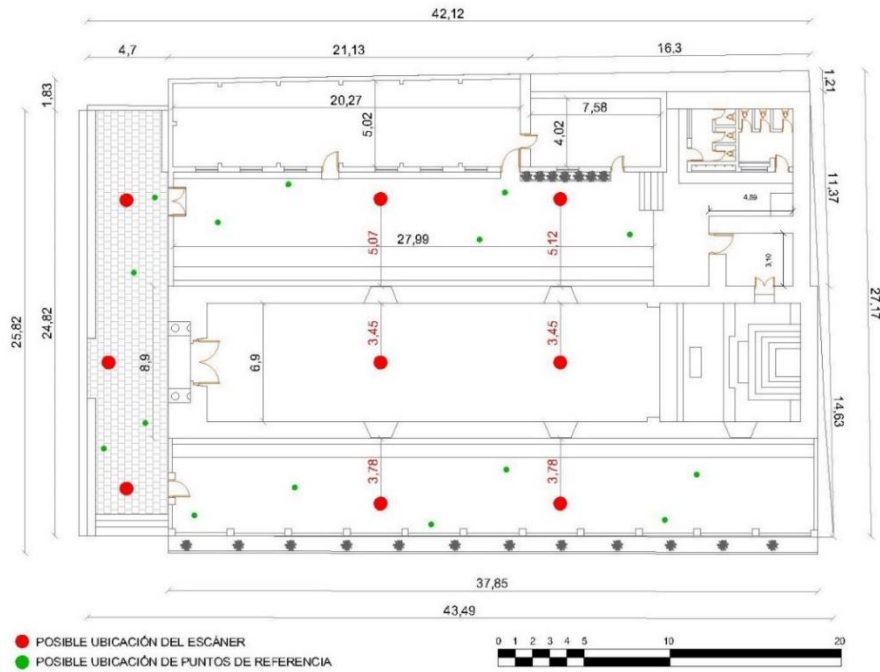


Figura 17 Croquis planteado previo al levantamiento de información.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Ubicación del Equipo

Una vez en campo, el análisis de posibles escaneos requirió algunos cambios e incrementos en el número de escenas debido a la longitud de los muros laterales en correspondencia con la calidad requerida. Por lo que se estableció la necesidad de un nuevo esquema de levantamiento según las consideraciones tomadas in situ.

4.3.3 Determinación de las posiciones óptimas para el equipo de escaneo

Debido a que los vanos presentar una forma peculiar en toda su composición, se determinó que sería necesario un escaneo en línea de los mismos para tomar la mayor información posible de la morfología del vano.

Para la ubicación de puntos de referencia sobre el retiro colindante con la vía panamericana, se estableció que, por las condicionantes del terreno y la fuerte ventisca, lo óptimo sería plantarlas al piso a modo de estacas usando puntas y bastones.

Se proyectó que los escaneos se establezcan dentro de rangos de distancia normal, exceptuando los escaneos exteriores, frontales con la fachada, y los interiores correspondientes al atrio, los cuales se configuraron como rango cercano, para reducir el error por distancia del objetivo.

En la nota de campo se deberá nombrar las esferas en base a cada escena, estas serán referenciadas en pares de escaneos para identificarlas en la unificación de escenas.

Se garantizó un mínimo de tres puntos de referencia entre pares de escenas, con el objetivo de disminuir posibles errores.

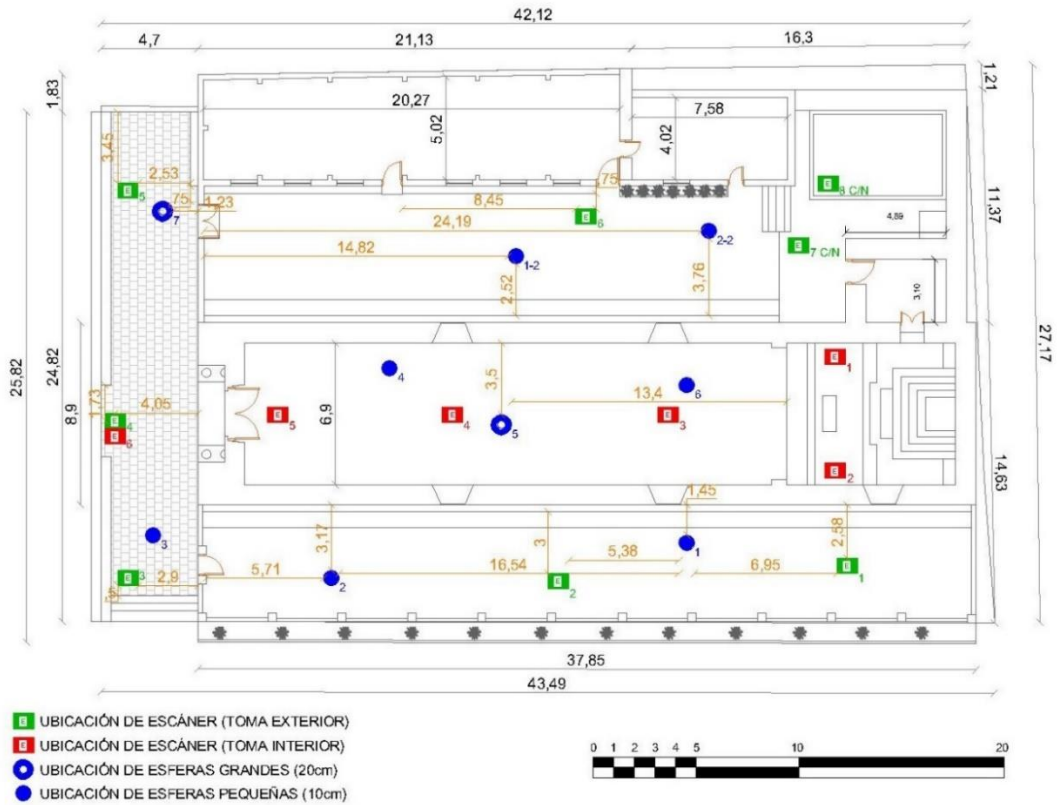


Figura 18 Croquis planteado in situ para el Levantamiento de Información.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 19 Levantamiento de posiciones de Objetos de Referencia.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Consideraciones para unificar proyectos con diferente cronología

Debido a que el proceso de levantamiento se vio interrumpido, se establecieron algunas acciones para poder unificar las nubes de ambos días, los criterios aplicados fueron:

- Se colocó distintivos en las patas de los trípodes y en sus posiciones en el piso, para mantener la ubicación y altura de los puntos de referencia al día siguiente.
- Se gestionó un escaneo inicial secuencial al escaneo final del día anterior, para obtener datos de solape de al menos 80%.
- Se garantizó al menos tres puntos de referencia entre pares de escaneo para evitar la necesidad de traslape de puntos.

4.4 PREPARACIÓN Y TOMA DE DATOS

4.4.1 Ajustes del escáner láser 3D

Iniciado el proceso de toma de datos, se configuró el equipo en base a dos tipos de perfiles, interior y exterior, por lo que se crearon dos proyectos de nube de puntos con dichas características.

4.4.2 Determinación de la superficie

Considerando la necesidad de obtener escaneos de alta calidad en la zona de la fachada de la iglesia, se configuró los ángulos haciendo un cambio sobre la configuración por defecto, sólo en los escaneos de fachada, donde el ángulo horizontal que normalmente brinda un rango de 0° a 360°, se modificó a un rango de 0° a 180° por la configuración de calidad para reducir así el tiempo de escaneo.



Figura 20 Apertura angular del levantamiento.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Resolución

En cuanto a la configuración de resolución, se la realizó en base a los criterios de uniformidad de superficies. Por lo que, se estableció tres tipos de escaneos, con distancias entre puntos de 3.068mm, 6.136mm y 7.67mm; configurados en respuesta al nivel de detalle necesario para superficies irregulares o uniformes.



Figura 21 Ajustes de resolución.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.4 Configuración avanzada

En cuanto al manejo de filtros, para el escaneo de la Iglesia de Balbanera se mantuvo activados el cielo y contorno nítido, además, el rango de distancia predominante que se configuró fue normal, con la excepción de los escaneos interiores uno y dos, los cuales se configuraron como rango cercano.

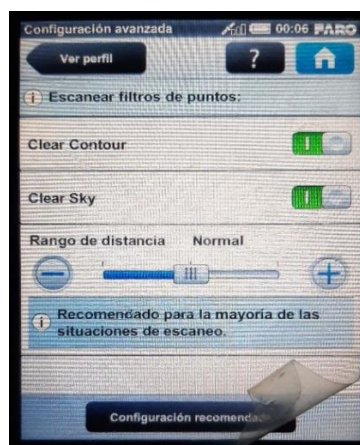


Figura 22 Configuración de filtros y rango de distancia.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.5 Parámetros de perfil

Al analizar los sensores, se los conservó encendidos durante todo el proceso de escaneo debido a que los catorce escaneos mantuvieron condicionantes similares.

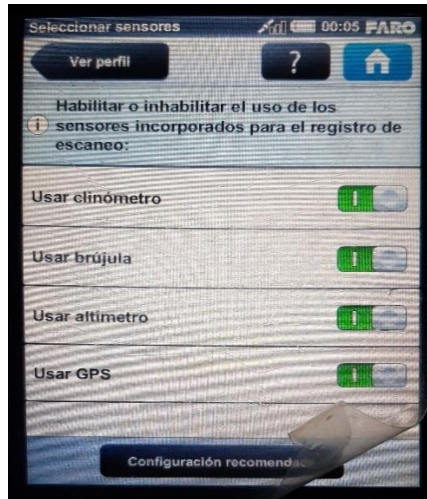


Figura 23 Parámetros de perfil activados.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.6 Medición de Exposición

Los parámetros de exposición se establecieron en base a los perfiles de levantamiento creados, por lo que se configuró una Medición Ponderada al Ángulo Cenital para los escaneos de tomas interiores y una Medición Ponderada al Horizonte para tomas en exteriores, debido a que el horario de los trabajos de escaneo exteriores se produjo en el lapso de 11:00am a 14:00pm.



Figura 24 Parámetros de Medición ponderada.
Fuente: Elaboración propia.

4.5 REGISTRO Y GEOREFERENCIACIÓN

Debido a la escala del proyecto fue necesaria la realización de varias escenas para obtener la información completa en nubes de puntos que permita documentar la Iglesia de Balbanera.

De este modo, se procedió a la unificación de las nubes de puntos dentro del programa Trimble RealWorks 10.4, dónde se procedió a importar un total de catorce carpetas de escaneo, correspondientes a 8 escaneos de tomas en exteriores y 6 escaneos de tomas interiores, con objeto de obtener una nube de puntos para documentar la Iglesia; además, en otro archivo se procesaron nueve escaneos aplicados a la Virgen María Natividad de Balbanera, con objeto de realizar un mallado de la figura.

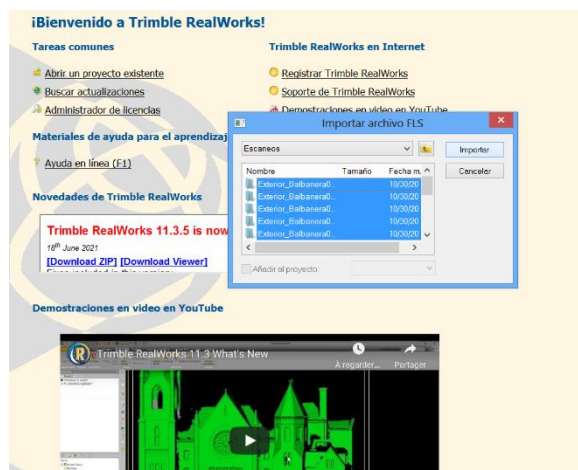


Figura 25 Importación de archivos FLS en Trimble RealWorks 10.4.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1 Técnica de Registro Indirecta

Para el tratamiento de datos de este proceso de documentación, se programó la realización de dos clases de registro indirecto directo (objeto a objeto y nube a nube), como objeto de comprobación y garantía de la calidad del proceso.

4.5.2 Registro Objeto a Objeto

Dentro del software Trimble RealWorks 10.4 se partió por configurar las dimensiones necesarias para el reconocimiento de objetivos, en este caso esferas (grandes y pequeñas), configurando el reconocimiento bajo un diámetro de 0.20m, debido a que el diámetro mayor normaliza las otras esferas más pequeñas (0.10m). Una vez configurados los

puntos de referencia, se generó una vista previa de la nube de puntos, donde se pudo identificar un error de coincidencia entre escaneos.

Se procedió a descartar este proceso de registro debido a que la nube de puntos obtenida presento un error de desplazamiento entre el escaneo N°6 del primer día de levantamiento correspondiente a perfil interior, y el escaneo N° 4 del segundo día de levantamiento correspondiente a perfil exterior.

4.5.3 Registro Nube a Nube

Debido a que, dentro de la planificación de escaneos y en el levantamiento en campo se consideró garantizar un solape mínimo de 30-40% entre pares de escaneo, se tomó como técnica de registro principal al auto registro por planos.

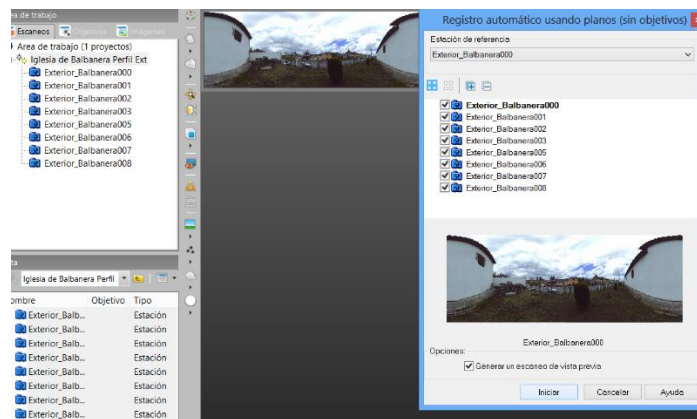


Figura 26 Programación y registro por planos.

Fuente: Elaboración propia.

Se configuró una vista previa donde se visualizó la ubicación de los pares de escaneos y se verificó la calidad de traslape entre nubes, por tanto, se continuó con el proceso para generar un informe de registro.

Nombre	Error nube a nube	Puntos en común (%)	Confianza (%)
Iglesia de Balb...			
Exterior_Balb...	0.00 m	78%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	42%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	10%	47%
Exterior_Balb...	0.00 m	11%	64%
Exterior_Balb...	0.01 m	0%	100%
Exterior_Balb...	0.06 m	1%	3%
Exterior_Balb...	0.05 m	0%	2%
Exterior_Balb...	0.00 m	78%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	51%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	13%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	15%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	0%	100%
Exterior_Balb...	0.02 m	1%	100%
Exterior_Balb...	0.02 m	1%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	42%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	51%	100%
Exterior_Balb...	0.00 m	60%	100%

Error residual global (nube a nube): 0.00 m

Figura 27 Informe de traslape y porcentaje de error residual.

Fuente: Elaboración propia.

Esta técnica de registro se configuró dentro del programa Trimble RealWorks, por medio de un análisis de escaneos, donde se realizó una inspección del error, y el porcentaje de confiabilidad existente entre pares de escaneos. Dado que se consiguió obtener un solape mínimo del 47% y máximo del 100% entre **pares** de escaneos, aportando con un error global de la nube de 0.00m, se tomó como técnica óptima para la generación de la nube de puntos unificada (nube cruda).

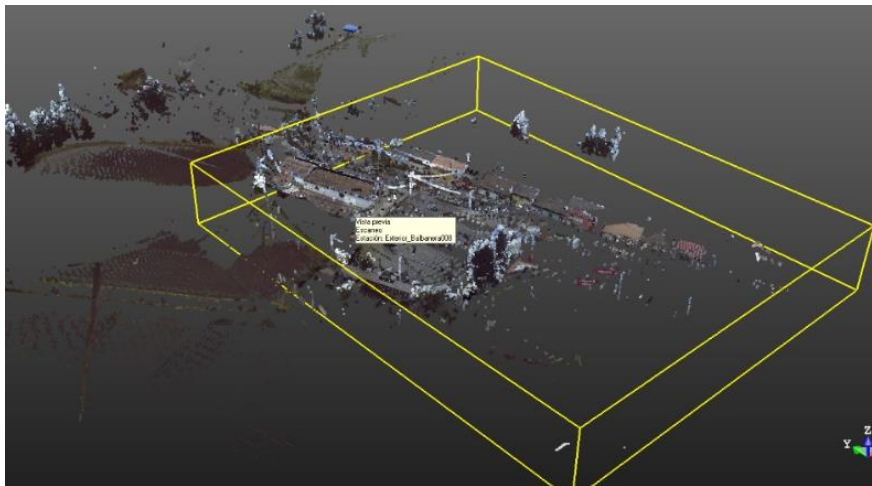


Figura 28 Obtención de nube de puntos unificada bajo registro por planos.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS

Para el procesamiento de la nube de puntos se determinó que era necesaria realizar dos procesos, uno de depuración, y uno de muestreo, logrando una nube optimizada aislando únicamente los puntos correspondientes a la Iglesia de Balbanera. Del mismo modo, se realizó una depuración para la escultura de la Virgen, teniendo como objetivo un mallado del objeto.

4.6.1 Depuración

Para la depuración de ambas nubes, se desarrolló un proceso de segmentación, mediante el cual, se eliminó los objetos escaneados que no se consideraron necesarios para la documentación del edificio. De este modo, se aplicó una segmentación por selección, usando las diferentes vistas del programa para conseguir borrar los elementos sobrantes en el escaneo original.



Figura 29 Nube de puntos depurada bajo un proceso de segmentación.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Muestreo

En base a un análisis de intensidad de la nube de puntos por medio de la representación de la nube en colores por densidad de escaneo, se escogió un muestreo por intensidad para la eliminación de puntos coincidentes entre escaneos que hacían a la nube de puntos muy densa y pesada para el consumo de recursos informáticos. Obteniendo una nube simplificada con menor número de puntos.



Figura 30 Nube de puntos por intensidad.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Mallado

Debido a que, dentro del proceso para determinar los objetivos de escaneo, se estableció la necesidad de obtener un escaneo a detalle de la Virgen María Natividad de Balbanera, el cual se llevó a un proceso de mallado, con el fin de obtener una figura exacta de la escultura.



Figura 31 Nube de puntos a detalle después de segmentación.
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que fue necesario obtener un mallado de un objeto escultórico, eligió un mallado **sin proyección**, como método para la proyección de la malla debido a que permitió generar una triangulación de elementos en torno al eje de la escultura.

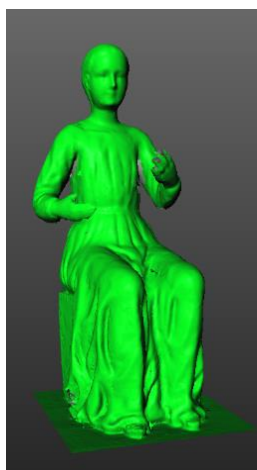


Figura 32 Mallado por triangulación del elemento escultórico.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Exportación de datos

Con el objetivo de generar un modelo de información completo, se decidió converger los documentos resultantes de nubes de puntos con un software BIM; para lo cual se seleccionó ArchiCAD 24, que permitió la interoperabilidad de datos, sin pérdidas de calidad ni detalle. Por tanto, el formato seleccionado para la exportación del documento fue .e57.

4.7 GENERACIÓN DEL MODELO BIM

4.7.1 Evaluación de materiales en campo

Uno de los puntos importantes a considerar para el proceso de documentación es la identificación y caracterización de materiales, puesto que por medio de estos se creará la base de información para la generación de componentes dentro del modelado BIM, de este modo, se aplicó un análisis de materiales en sitio, mismo que brindó información de diversas características físico-constructivas de cada elemento que conforma el inmueble.

Por medio de una evaluación de materiales con un martillo de rebote se pudo tomar información de la capacidad a compresión que presentaba cada uno de estos, dato que sirvió para realizar una comparativa con las características de materiales de la norma NEC, para obtener así datos de la mecánica de los elementos existentes.

Dentro de todo este proceso, se evaluaron los diversos elementos constructivos que presenta la Iglesia de Balbanera, entre estos, resaltaron dos elementos debido a sus condiciones de deterioro, los cuales fueron, un muro que presentó un desmoronamiento en una sección correspondiente a la muralla de cerramiento oeste, junto con el muro posterior de la Iglesia, mediante el cual se pudo identificar características de la cimentación al encontrarse con una porción expuesta.

Gracias a esto, pudimos definir que la tipología de muro que presenta la iglesia es la de un muro embutido, respondiendo a las características de un tapial de la época colonial, el cual presentaba como composición un apisonado de tierra, piedra y canchagua, además de algunos elementos como trozos de ladrillo o teja. También, observamos que la cimentación se proyecta a lo largo de los muros de tierra a modo de zócalo, por encima del suelo natural según su topografía y se estima una profundidad de excavación entre 1.00m-1.20m.

En cuanto a la estructura de cubierta, en comparativa al material mencionado en entrevistas, datos de evaluaciones en microscopio anteriores, junto a la prueba de resistencia realizada en sitio, se identificó que es una madera de capulí, considerada de tipología A en las zonas altas de Ecuador. Se suma a esto un dato importante en el recubrimiento de cubierta, mismo que, presenta una doble superficie al tener un recubrimiento con placas onduladas de fibrocemento y por encima el recubrimiento

original de teja española restaurada, datos de gran importancia al caracterizar las resistencias de los materiales y sus cargas sobre la estructura.

ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EL ESCLERÓMETRO			
MATERIAL ANALIZADO	VALOR DE REBOTE PROMEDIO	ÁNGULO DE IMPACTO	RESISTENCIA PROMEDIO Kg/cm ²
Muro de Tapial Derecho	25.73	0°	154.40
Muro de Tapial Izquierdo	24.87	0°	142.67
Muro de Piedra Interior	42.47	0°	392.67
Muro de Piedra Exterior	43.87	0°	453.00
Vigas Principales de Madera	26.53	0°	162.60
Vigas Secundarias de Madera	25.73	0°	156.53
Piso de Ladrillo Acostado	25.73	0°	154.40
Piso de Ladrillo de Canto	31.53	0°	272.00
Zocalo de cimentación	37.47	0°	315.67
Trabe de Muros	42.27	0°	388.33

Tabla 3 Ensayo de compresión con el esclerómetro.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Configuración Inicial

Por defecto ArchiCad tiene preestablecidos parámetros y características basadas en sistemas de medición americano, unidades de medida y volumen no serán útiles con la configuración por defecto para lo cual se creó un perfil de trabajo que sea útil en nuestro caso de estudio.

4.7.3 Importación de la nube de puntos

Existen 2 formatos que importación de nube de puntos que permiten la interoperabilidad entre softwares que son .xyz y .e57. Se empleo el formato.e57 debido a las bondades que permiten como la detección de aristas e intersecciones que son de gran utilidad al momento del modelamiento con las herramientas de diseño.



Figura 33 Nube de puntos limpia, en formato e57 con aristas e intersecciones marcadas.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.4 Modelado

El modelamiento requiere un conocimiento básico previo, y para el redibujo la nube de puntos actuará a manera de dibujo de referencia con la ventaja que esta nube se la podrá visualizar y referenciar tanto en planta, como en alzados cortes e isometrías.

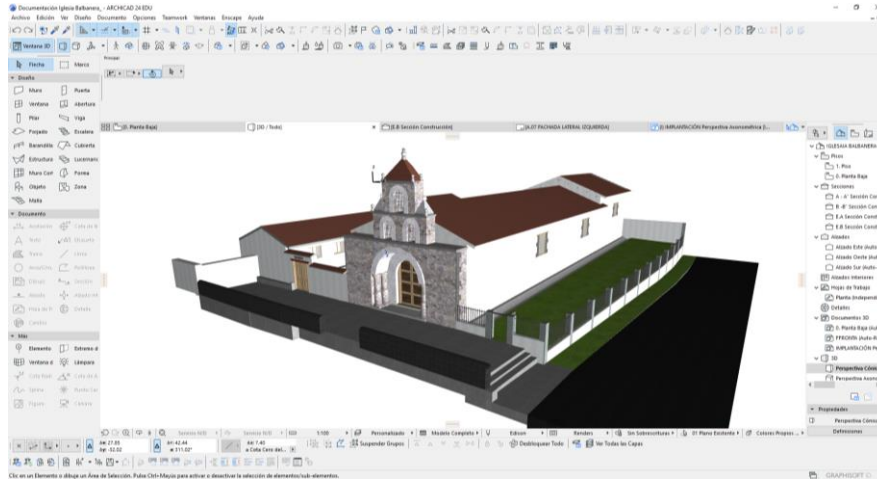


Figura 34 Modelado 3D con características de materialidad y superficies.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.5 Esquematización y Cuantificación

ArchiCad al ser un software BIM permite la cuantificación de materiales, superficies y componentes de construcción. Para la obtención de estos esquemas de cuantificación será necesaria la caracterización de los elementos para que dichos esquemas se generen en base a las cualidades que tendrá cada elemento, como resultado de la caracterización se obtiene varias tablas de componentes con distintas unidades de medida dependiendo del elemento cuantificado.

ESQUEMA DE MUROS					
Material de Constr...	Cantidad	Espesor final del muro	Longitud del Muro	Área	Volumen
Ladrillo	4	0.20	25.62	38.57	7.80
	4		25.62 m	38.57 m ²	7.80 m ³
Piedra	1	1.10	9.05	25.35	27.89
Piedra	2	0.25	1.38	3.07	0.76
Piedra	2	0.85	6.93	9.84	8.36
	5		17.36 m	38.26 m ²	37.01 m ³
Tapial	4	0.80	11.10	59.23	47.37
Tapial	5	1.10	78.86	342.93	382.08
	9		89.96 m	402.16 m ²	429.45 m ³
	18		132.94 m	478.99 m ²	474.26 m ³

Figura 35 Esquema de vanos y cuantificación de obra.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.6 Documentación Arquitectónica

La correcta documentación arquitectónica dependerá de la calidad del modelo generado, los detalles, secciones, elevaciones, y documentos 3d tendrán la misma calidad y detalle que el modelo tridimensional. La diagramación de láminas será un proceso sencillo en el cual se añade cada vista en el formato de impresión establecido por el usuario.

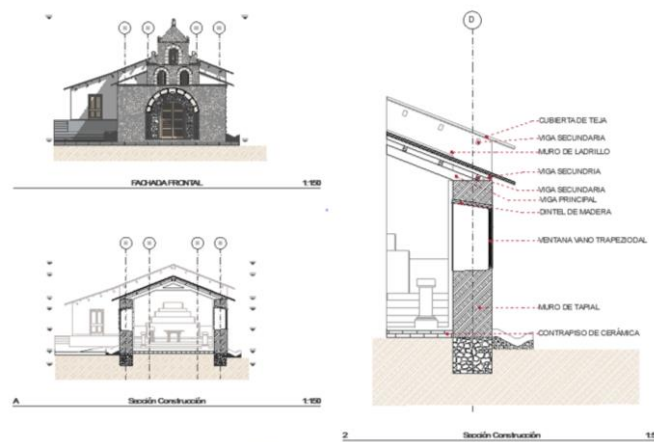


Figura 36 Contenido de vistas del modelo realizado.

Fuente: Elaboración propia.

4.8 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

4.8.1 Exportación ArchiCAD-Diana FEA

El software DIANA FEA evalúa los elementos estructurales del modelado como: vigas, muros y columnas, para la exportación a dicho software será necesario purgar el modelo con la finalidad de suprimir elementos que no influyan en una evaluación estructural, mobiliario, y elementos decorativos serán eliminados previamente para la exportación que mantiene una interoperabilidad con los formatos .IFC.

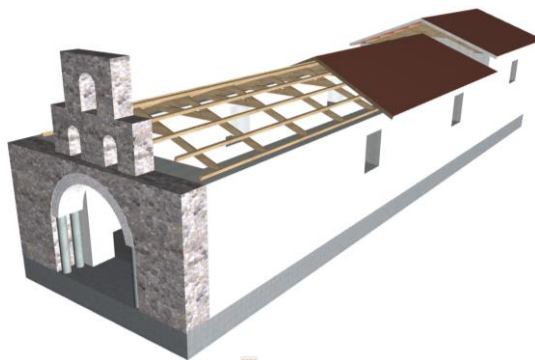


Figura 37 Modelo limpio y exportado con formato .IFC para posterior evaluación estructural.

Fuente: Elaboración estructural.

4.8.2 Evaluación estructural

Al orientar el trabajo de documentación hacia un análisis de la estructura, se debe tomar una cronología de configuraciones que permitan realizar una evaluación de los elementos no lineales, con el objetivo de determinar los puntos donde la estructura posiblemente llegaría a fallar ante un eventual sismo.

4.8.3 Análisis de Geometrías y Caracterización del modelo

Una vez importado el archivo BIM, se debe realizar un chequeo de las geometrías para eliminar posibles errores o aristas existentes que puedan provocar errores durante el análisis estructural, estas se corregirán a través de un redibujo en el programa Diana.

Este modelo deberá contener información precisa de la materialidad de cada elemento de la estructura junto con sus condiciones de contorno, interacción y resistencias, terminando con una configuración de mallado que nos permita llevar al elemento a un proceso de análisis a través de las configuraciones de cargas actuantes que consideremos necesarias.

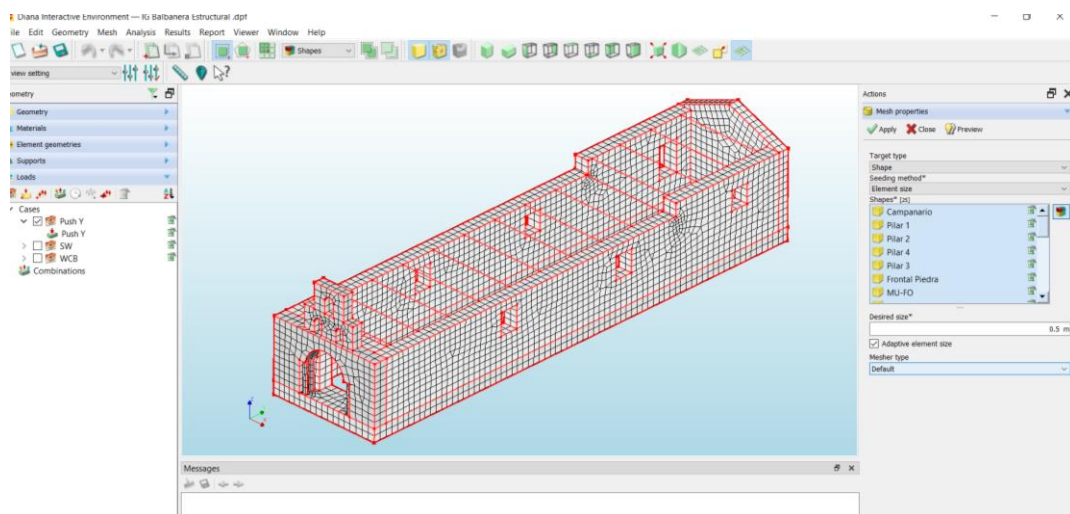


Figura 38 Caracterización del modelo en DIANA FEA.

Fuente: Elaboración propia.

4.8.4 Parámetros de Análisis

4.8.4.1 Configuración de las fuerzas

Para la configuración se debe considerar tres tipos de fuerzas que actúen sobre la estructura, dos casos Pushover, correspondientes a una aceleración equivalente en función de la gravedad en el eje X y el eje Y respectivamente, junto con la carga gravitacional del peso propio de la estructura sumado al peso de la cubierta.

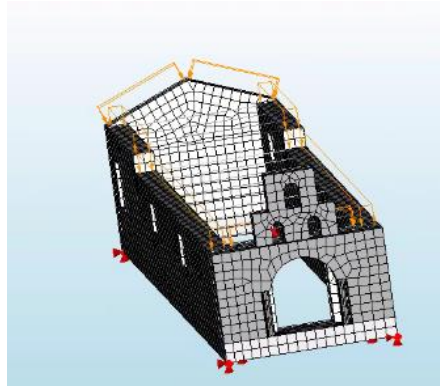


Figura 39 Configuración de fuerzas que actúan sobre la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

4.8.4.2 Configuración de Análisis

Considerando la acción del sismo correspondiente a dos ejes en el plano, se determinará la configuración de dos análisis por separado, que brinden resultados en base al plano de aplicación de la carga. Se inicia con la configuración del análisis del peso propio de la estructura, debido a que es el primer estado de carga, sumado a este, deberá considerarse la inclusión de la carga de la cubierta. Posteriormente el análisis Pushover, se configura en torno a una aceleración, correspondiente a 0.005 de la gravedad, donde, dentro de la configuración de equilibrio, se genera una convergencia entre energía y desplazamiento, añadido a un efecto físico no lineal de materiales.

4.8.4.3 Evaluación de Resultados

a. Análisis Pushover en el Eje X

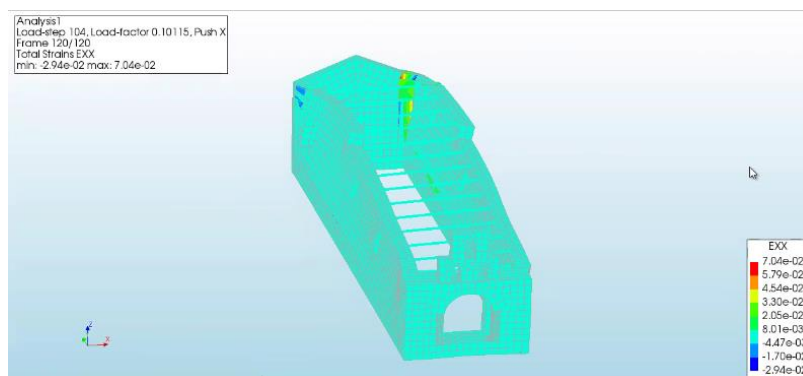


Figura 40 Análisis de fuerzas en estructura.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la acción de la fuerza cortante se transmite hacia los elementos más rígidos de la estructura, a través de este análisis se pudo constatar que los muros laterales de la

iglesia presentan los mayores esfuerzos y desplazamientos, provocando afectaciones en el caso de que la estructura se vea expuesta a una acción sísmica en el eje x, reflejando agrietamientos y desprendimiento en las zonas de apoyos con los muros contiguos, siendo la interacción con el muro del fondo la que se vea más comprometida, debido a que, por su característica de rigidez, presenta una mayor concentración de esfuerzos.

En cuanto a la acción vertical por peso de la cubierta, se puede identificar que no presenta muchas restricciones, pero es el vano correspondiente al enlace entre la iglesia con la capilla, donde se inicia la falla de fractura del muro. Observando así algunas deformaciones producidas alrededor de la geometría de los vanos y en la convergencia con el muro posterior debido a la discontinuidad que se produce entre muros.

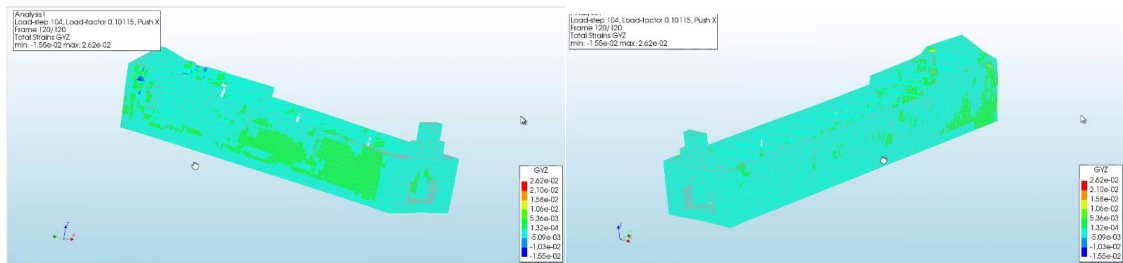


Figura 41 Análisis Pushover en el Eje X.

Fuente: Elaboración propia.

b. Análisis Pushover en el Eje Y

En este eje el control inicia con un achatamiento de la estructura por acción del peso propio, provocando desplazamientos en los elementos que conforman los muros, concentrando la mayor cantidad de esfuerzos en el muro frontal, debido a que este presenta un mayor debilitamiento a causa de la presencia del vano de ingreso a la iglesia.

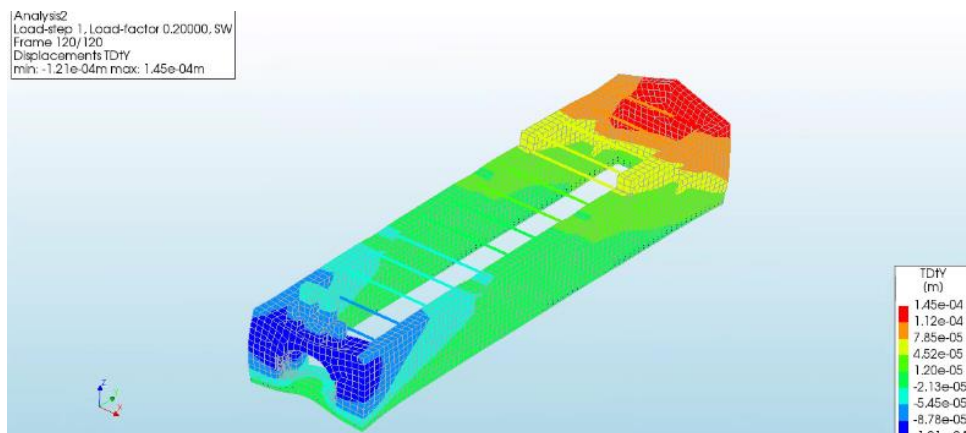


Figura 42 Análisis de fuerzas por acción del peso.

Fuente: Elaboración propia.

En torno a las cortantes, los muros que se ven más afectados son los del frente y fondo de la iglesia, concentrando deformaciones y agrietamientos determinados en los alrededores de las geometrías de los vanos y en el muro posterior debido a su altura.

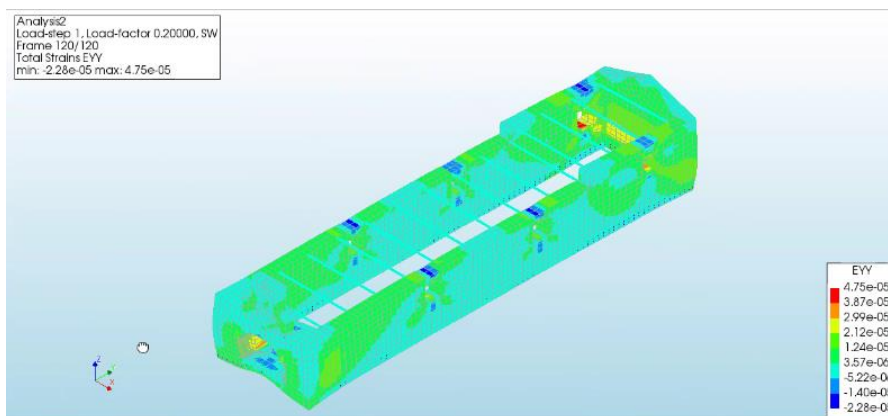


Figura 43 Deformaciones en vanos y muros por la altura.

Fuente: Elaboración propia.

Dado un análisis de esfuerzos, se pueden identificar desprendimientos entre muros contiguos y en elementos del muro frontal, debido a que genera los máximos desplazamientos de la estructura en las caras de los muros donde se asienta la cubierta, junto con los elementos del campanario, ubicándose en este una mayor concentración de esfuerzos que provocarían un efecto de desprendimiento del elemento.

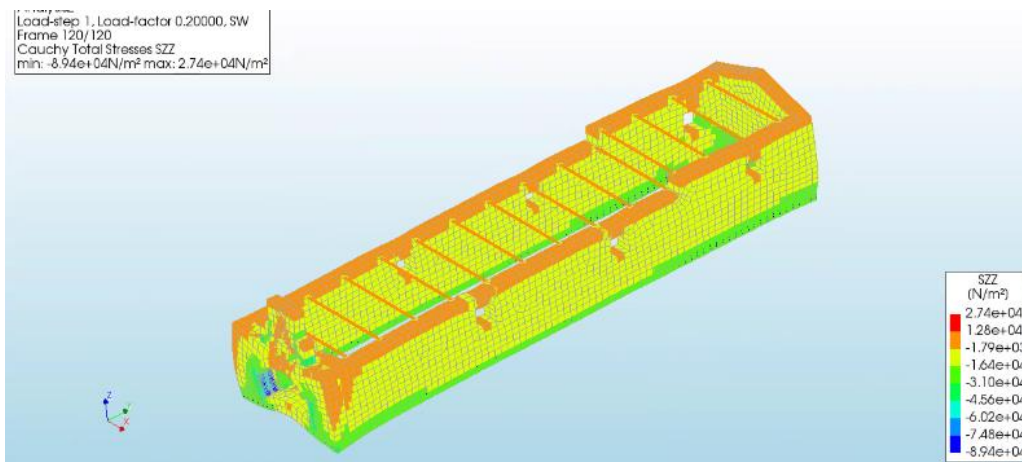


Figura 44 Análisis de esfuerzos en la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La información obtenida a través del escáner láser 3D y su emparejamiento con software que permitan un proceso de interoperabilidad BIM, permitió obtener un registro de alta precisión y detalle de la Iglesia de Balbanera, haciéndola parte de un sistema de documentación donde se consiguió generar un archivo que permite la preservación digital de todas las características técnico-constructivas del inmueble. La obtención de este documento digital resultó útil al tener información de sitios sensibles a posibles deformaciones o alteraciones, detalles morfológicos completos de todos sus elementos, tanto ornamentales como estructurales, adjunto con una identificación de fallas suscitadas durante el proceso constructivo del inmueble, evidenciadas en errores de elementos que no se encontraban aplomados. Lograr esta información completamente a detalle fue posible, gracias a que se alcanzó un rango de precisión media entre puntos de 5.369mm, sumado a esto, la proyección de traslapes obtenida entre pares de escaneo, se estableció con un mínimo de 47%, y permitió conseguir un error nominal de levantamiento de 3mm en la nube de puntos registrada. Por tanto, gracias a las bondades de las tecnologías de escaneo láser, obtuvimos una nube de puntos precisa y confiable, misma que sirvió como base para el redibujo y modelado BIM de la Iglesia de Balbanera.
- Al desarrollar un registro por objetivos, se identificó que un error suscitado en el reconocimiento y traslape de elementos de referencia, puede provocar un error global en la unificación de la nube de puntos; en nuestro caso, debido a que existió una falla en el reconocimiento de los puntos de referencia planteados, provocó un desplazamiento en un plano de escaneo, por lo que se tuvo que descartar completamente esta técnica de registro.
- Se dedujo que el proceso de modelamiento determinó el empleo de un periodo de tiempo más extenso, debido a la falta de disponibilidad de extensiones (plugin) dentro del software RealWorks, mismas que habrían permitido una creación rápida de sólidos de referencia, estas al tener un costo adicional al de la licencia

adquirida por la Universidad, y al no estar disponibles en la plataforma de ArchiCAD, restaron productividad y aplazaron los tiempos del cronograma de trabajo establecido.

- Bajo la condición que esta investigación propone, sobre generar un proceso que incorpore la aplicación de tecnologías de documentación 3D y su emparejamiento con softwares de modelamiento informativo BIM, se desarrolló una secuencia de pasos que podríamos considerar como metodología de uso y procesamiento de datos con estas herramientas tecnológicas en futuros proyectos patrimoniales. Consiguiendo así un esquema de desarrollo referencial para abordar posibles intervenciones adoptadas a otros bienes inmuebles.
- Identificamos, que la composición material de los muros de la Iglesia de Balbanera, responden al proceso constructivo de un muro embutido de Tapial, compuesto por piedra andesita balsámica, canchagua, y otros elementos en menor proporción como ladrillo y teja, correspondiendo así a una técnica propia de las características constructivas de edificaciones elaboradas en el periodo de la colonia.
- La utilización de un software BIM para la ejecución del presente trabajo de investigación permitió generar mayor alcance respecto al desarrollo de un modelo tridimensional que procesa e identifica cada elemento constructivo empleado en la construcción. El tiempo y recursos optimizados al emplear esta herramienta informática, determina el punto decisivo en la elección de un software BIM sobre un CAD.
- Al realizar un modelo BIM de la iglesia de Balbanera, el resultado obtenido será un producto verídico en la cuantificación de materiales de obra, brindando así a los profesionales información veraz y confiable que se podrá emplear para posibles intervenciones futuras; la bondad de esta metodología es que toda la información podrá ser encontrada, evaluada y modificada en un solo documento que se actualizará a nivel global al realizar un cambio de componente o característica constructiva.

- Dadas las condiciones de fractura observadas en la evaluación estructural, podemos determinar que se presentan dos fallas considerables que pueden comprometer la integridad de la edificación, ubicadas en las zonas donde convergen los muros entre planos (esquinas) y en la zona del campanario, apreciando daños de agrietamientos y desprendimientos respectivamente.
- Desde el punto de vista constructivo, definimos que, para mantener una mejor calidad de soporte en la estructura, se necesitará un reforzamiento en los encuentros entre muros, zonas de vanos, y una intervención en cubierta considerando aligerar su peso debido a que al incrementarlo estaríamos provocando un mayor efecto ante un evento sísmico.
- Durante la investigación, se concluyó que la elaboración del manual de usuario resulta indispensable para garantizar la eficiencia en los procesos, tanto de levantamiento como de procesamiento de información. Al generar una secuencia de procedimientos para realizar una documentación completa de la Iglesia Balbanera, posibilitó la conformación de una metodología para el uso de los equipos de escaneo, que se podría considerar como estándar para este tipo de intervenciones, debido a que, gracias a la calidad explicativa del documento, se podrá entender claramente las fases del proceso de levantamiento, el procesamiento de datos informáticos y la obtención del modelo final.
- Con la finalidad de optimizar el modelado del edificio para implementar su análisis estructural, se estableció la necesidad de eliminar de los elementos escultóricos ubicados en fachadas, debido a su composición geométrica, la cual demandaría un alto consumo de recursos informáticos, provocando resultados irreales en los datos de evaluación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario llevar una libreta de campo donde se adjunte cada una de las configuraciones de escaneo por escena, datos que servirán como comparativa con el informe de registro de nube de puntos y como respaldo de la calidad y precisión del levantamiento.
- Una vez obtenidos los datos del escaneo se procederá a la importación de archivos en el ordenador, al realizar este proceso, se deberá tomar en cuenta, respaldar los documentos puros obtenidos del escaneo, debido a que una vez ingresados al procesamiento de datos se podría suscitar una pérdida de datos originales, y en el peor de los casos, obligaría a la realización de un levantamiento nuevo en campo.
- Durante el procesamiento de la nube de puntos se deberá eliminar cualquier levantamiento erróneo que existiese, de no realizarlo, podría terminar adjuntando el error a la nube de puntos unificada, perdiendo el proceso de registro y debiendo retomarlo desde cero.
- Si uno de los objetivos de entregables corresponde a la generación de ortofotografías producidas en base al escaneo, deberá considerar la utilización de un GPS estacionario, debido a que este le permitirá la opción de georreferenciar su modelo con el sistema de coordenadas requerido de forma exacta.
- Debido a que la relación del sismo es proporcional al peso, se recomienda que al intervenir en cubierta se evite la colocación de un doble recubrimiento de material, puesto que las fallas obtenidas en el análisis indican que tiene varias complicaciones en las posiciones donde se asienta la cubierta, por lo que la mejor opción, sería presentar una propuesta que permita un aligeramiento de las cargas que se encuentran actualmente.
- Es recomendable elaborar un análisis complementario a esta investigación profundizando en la cronología de edificación de la Iglesia, haciendo énfasis en el desarrollo de los estilos arquitectónicos adoptados temporalmente según la influencia europea, con el objetivo de identificar el estilo con el que comparta mayores rasgos formales en común.
- El presente documento de investigación cumple con el objetivo de documentar y evaluar la iglesia de Balbanera, sería ideal continuar con la investigación de tal manera que se consolide una propuesta de intervención evitando así la propagación de las patologías identificadas y evitar fallas estructurales en la edificación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaro, J., Aguilar, M., & Barrera, J. (2012). Nuevas Tecnologías y Métodos tradicionales en el levantamiento de Patrimonio Arquitectónico. 1.
- Briceño Meléndez, C. P. (2016). *DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL Y ANÁLISIS SÍSMICO DE LA IGLESIA SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS*. San Miguel: PUCP.
- Buill, F., Nuñez, A., & Rodriguez, J. (2007). *Fotogrametría arquitectónica*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- Caiza Poma, I. (2015). Plan estratégico turístico de los valores Patrimoniales del Cantón Colta en la provincia de Chimborazo. 8.
- Caiza Poma, I. (2015). Plan estratégico Turístico de los valores Patrimoniales del Cantón Colta en la Provincia de Chimborazo. 8.
- Caiza Poma, I. R. (2015). Plan estratégico Turístico de los valores Patrimoniales del Cantón Colta en la Provincia de Chimborazo. 8.
- Calle, M., & García, M. (1998). Ciudades históricas: patrimonio cultural y recurso turístico.
- Carta de Venecia. (1964). *Carta Internacional para la conservación y restauración de monumentos y sitios*.
- Chaparro, M. (2018). Patrimonio Cultural Tangible. 4.
- Coloma Picó, E. (2008). Introducción a la Tecnología BIM. 10.
- Conti, A. (2002). Aspectos teóricos de la intervención en edificios patrimoniales.
- Cuasapás Ponce, A. (2013). Estudio del valor Turístico del Patrimonio Tangible e Intangible del Cantón Montufar. 6.
- Egred, J. (2000). *El Terremoto de Riobamba*. Riobamba: ABYA YALA.
- Escobar, C. (2001). Historia de dos ciudades hermanas: Antigua Riobamba y Nueva Riobamba.
- Espinoza Larrea, L. S. (2017). Evaluación estructural de la edificación Patrimonial Estupiñan Orejuela de la ciudad de Quito. 3.
- Gavilanes, M. (16 de Julio de 2019). *Análisis de los elementos iconográficos de la fachada del santuario de la santísima virgen María Natividad de Balbanera desde la perspectiva del sincretismo religioso*. Obtenido de Repositorio Académico UNACH: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5972>
- Guamán, W. (2019). Análisis de la festividad religiosa de la virgen de balbanera de la parroquia Santiago de Quito del Cantón Colta y su aporte al patrimonio Intangible Cultural de Chimborazo. 6.
- Harrison, R. (1994). Manuel of Heritage Management.
- IDPC. (2004). Instituto Distrital de Patrimonio Cultural.
- ILAM. (2000). Clasificación del Patrimonio. 2.
- Lourenco, P., & Pereira, J. (2020). *Proyecto de Estabilización Sismorresistente*. Portugal.

- Maldonado, N., Martín, P., Maldonado, I., Calderón, F., Domizio, M., & Gonzales, G. (2016). Valor de edificio patrimonial con pinturas murales en zonas sísmicas. 2.
- Mañana, P., Rodríguez, A., & Blanco, R. (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). 2.
- Mejía Salazar, Á. (2014). El patrimonio cultural como derecho: el caso ecuatoriano. 14.
- Mejía, D. (2017). Visor Geográfico para la consulta pública de los bienes inmuebles pertenecientes al Patrimonio Cultural de la Ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo. 3.
- Merlo, A., & Aliperta, A. (2015). Levantamiento Digital y Modelación 3D. 16.
- Nieto, J., Moyano, J., & Fernandez, P. (2014). Implementación de las nuevas Técnicas de Levantamiento en el Sistema BIM (Bulding Information Modeling). *APEGA*, 3.
- Otero Ortega, A. (2018). Enfoques de investigación. 15.
- Oya, T. (2015). Impacto del Bim en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: un Proyecto con Revit. 28.
- Pilco Paguay, M. (2019). Gestión patrimonial y la diversificación de la oferta turística del cantón Colta, provincia de Chimborazo. 2.
- Rivadeneira, Segovia, Alvarado, Egred, Troncoso, Vaca, & Yepes. (2007). *Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Rocabado, C. (2004). Patrimonio Intangible. Valoración y política cultural: el ejemplo boliviano. 4.
- Salazar, E., & Jinin, S. (2015). El nivel socio-cultural de los habitantes de la villa la unión, durante los 5 años próximos pasados, en la difusión de sus bienes patrimoniales de Sicalpa, durante el año lectivo 2013-2014. 9.
- Salgado, B., & Quintanilla, E. (1998). Cantón Colta. *Revista del Ilustre municipio del cantón Colta, Riobamba*, 5-32.
- Sampredro, J. (2016). Análisis de las características estructurales y técnica constructiva de la Arquitectura Colonial del templo de Balbanera, calton Colta, Provincia de Chimborazo. 4.
- Sánchez, M., Gil, E., Municio, C., & Fernández, N. (2016). Aplicaciones del escaneado láser en Patrimonio Histórico-Artístico. 4.
- Sánchez, R. (1898). Ecuador nación soberana. Quito: Pedro Freire.
- Taveras H. (26 de Agosto de 2014). ¿Por qué el 90% de los terremotos suceden en el Cinturón del Pacífico? (B. NEws, Entrevistador)
- Tayupanta, H. (2011). Plan de desarrollo turístico del municipio del Cantón Colta. 8.
- UNESCO. (2016). Declaración de México sobre las Políticas Culturales.

ANEXOS

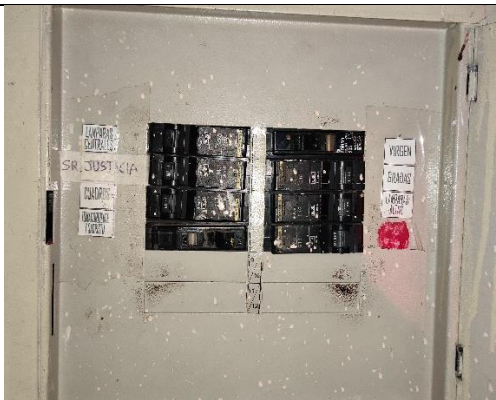
7.1 ANEXO FOTOGRÁFICO

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA	
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN SITIO	
	
CARACTERIZACIÓN Y ANALISIS DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.	
	
DETECCIÓN DE PATOLOGÍAS EXISTENTES.	
	

EVALUACIÓN DE ESTADO DE MATERIALES



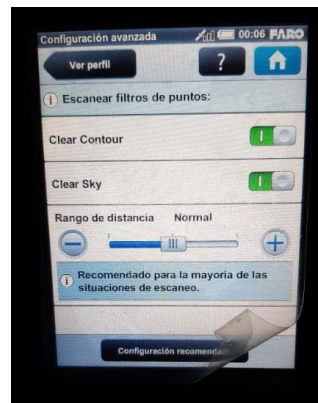
LEVANTAMIENTO DE INGENIERÍAS



LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS DE REHABILITACIONES RECIENTES



LOCALIZACIÓN DE ESCANER



IDENTIFICACIÓN DE MÓDULO DE APISONADO



IDENTIFICACIÓN DE MORTERO EN CIMENTACIÓN.



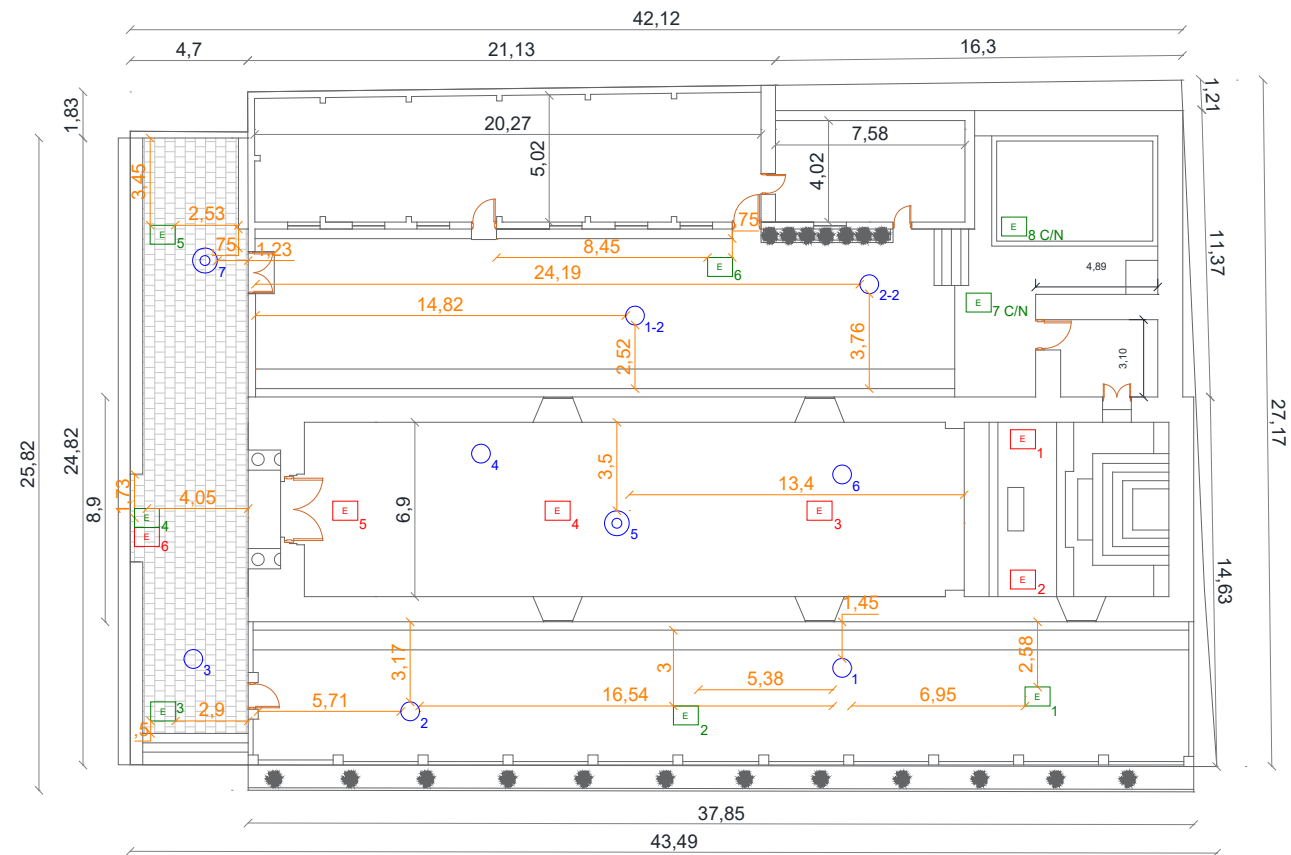
IDENTIFICACIÓN DE MORTERO EN MUROS.



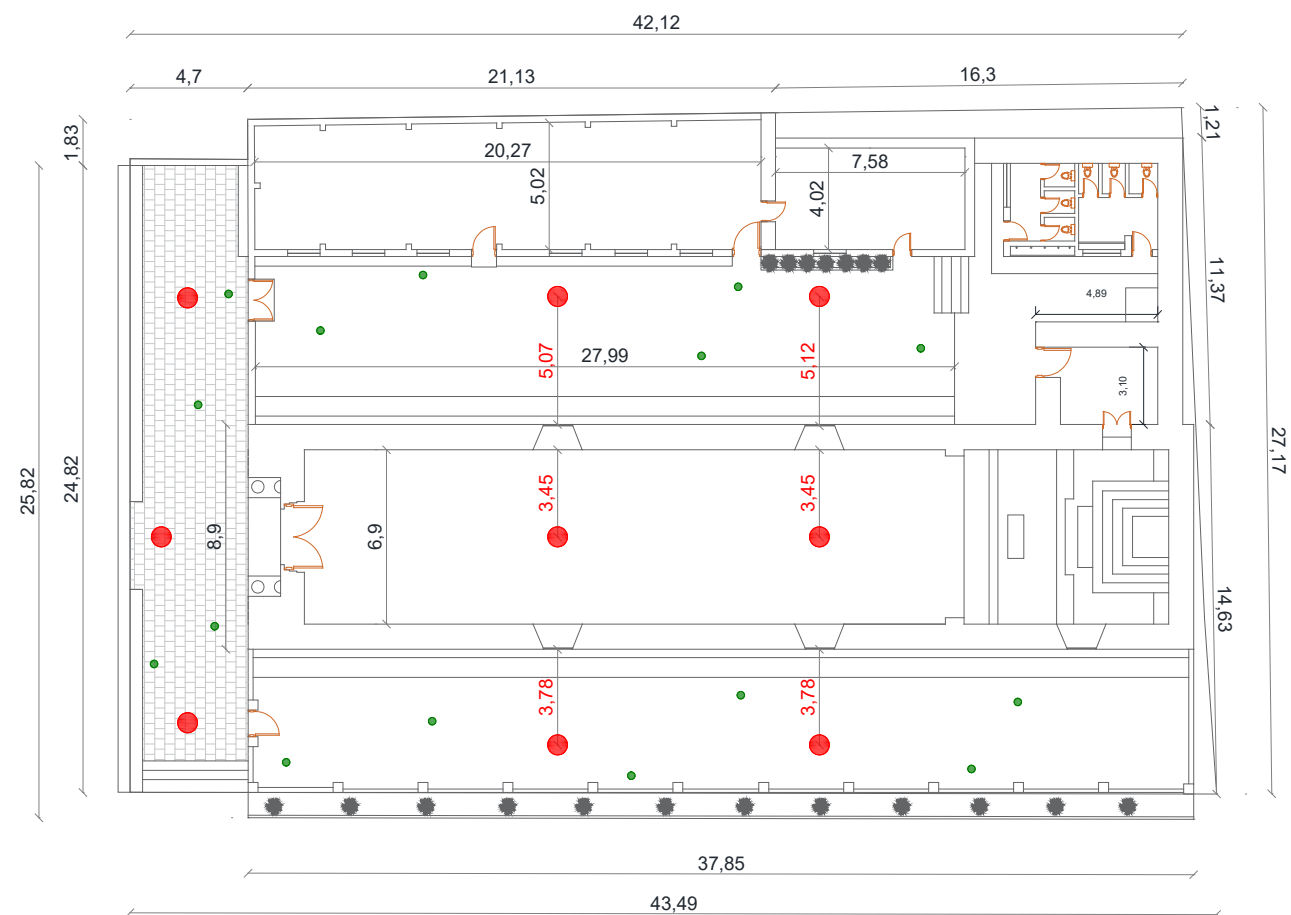
7.2 ENSAYO DE MATERIALES (ESCLERÓMETRO)

ENSAYO DE COMPRESIÓN CON EL ESCLERÓMETRO			
MATERIAL ANALIZADO	VALOR DE REBOTE PROMEDIO	ÁNGULO DE IMPACTO	RESISTENCIA PROMEDIO Kg/cm ²
Muro de Tapial Derecho	25,73	0°	154,40
Muro de Tapial Izquierdo	24,87	0°	142,67
Muro de Piedra Interior	42,47	0°	392,67
Muro de Piedra Exterior	43,87	0°	453,00
Vigas Principales de Madera	26,53	0°	162,60
Vigas Secundarias de Madera	25,73	0°	156,53
Piso de Ladrillo Acostado	25,73	0°	154,40
Piso de Ladrillo de Canto	31,53	0°	272,00
Zocalo de cimentación	37,47	0°	315,67
Trabe de Muros	42,27	0°	388,33

7.3 ESQUEMA DE LEVANTAMIENTO IN SITU



- UBICACIÓN DE ESCÁNER (TOMA EXTERIOR)
- UBICACIÓN DE ESCÁNER (TOMA INTERIOR)
- UBICACIÓN DE ESFERAS GRANDES (20cm)
- UBICACIÓN DE ESFERAS PEQUEÑAS (10cm)



- POSIBLE UBICACIÓN DEL ESCÁNER
- POSIBLE UBICACIÓN DE PUNTOS DE REFERENCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

GRÁFICA

FECHA

JULIO - 2021



7.4 INFORME DE TRASLAPES ESCÁNER LÁSER 3D

IGLESIA BALBANERA

Reporte de registro (basado en escaneos TZF)

Nombre de usuario: Usuario

Fecha: Wed Jun 23 03:29:14 2021

Nombre proyecto: Iglesia de Balbanera Perfil Ext

Unidades de medida lineales: Metros

Sistema de coordenadas: X, Y, Z

Error residual global (nube a nube): 0.00 m

Exterior_Balbanera000 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera001	0.00 m	78%
100%		
Exterior_Balbanera002	0.00 m	42%
100%		
Exterior_Balbanera003	0.00 m	10%
47%		
Exterior_Balbanera005	0.00 m	11%
64%		
Exterior_Balbanera006	0.01 m	0%
100%		
Exterior_Balbanera007	0.06 m	1%
3%		
Exterior_Balbanera008	0.05 m	0%
2%		

Exterior_Balbanera001 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera000	0.00 m	78%
100%		
Exterior_Balbanera002	0.00 m	51%
100%		
Exterior_Balbanera003	0.00 m	13%

100%	Exterior_Balbanera005	0.00 m	15%
100%	Exterior_Balbanera006	0.00 m	0%
100%	Exterior_Balbanera007	0.02 m	1%
100%	Exterior_Balbanera008	0.02 m	1%
100%			

Exterior_Balbanera002 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera000	0.00 m	42%
100%		
Exterior_Balbanera001	0.00 m	51%
100%		
Exterior_Balbanera003	0.00 m	60%
100%		
Exterior_Balbanera005	0.00 m	42%
100%		
Exterior_Balbanera006	0.00 m	2%
25%		
Exterior_Balbanera007	0.01 m	3%
100%		
Exterior_Balbanera008	0.00 m	5%
34%		

Exterior_Balbanera003 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera000	0.00 m	10%
47%		
Exterior_Balbanera001	0.00 m	13%
100%		
Exterior_Balbanera002	0.00 m	60%
100%		
Exterior_Balbanera005	0.00 m	40%
100%		
Exterior_Balbanera006	0.00 m	18%
64%		
Exterior_Balbanera007	0.00 m	20%
84%		
Exterior_Balbanera008	0.00 m	18%
100%		

Exterior_Balbanera005 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera000	0.00 m	11%
64%		
Exterior_Balbanera001	0.00 m	15%
100%		
Exterior_Balbanera002	0.00 m	42%
100%		
Exterior_Balbanera003	0.00 m	40%
100%		
Exterior_Balbanera006	0.01 m	3%
100%		
Exterior_Balbanera007	0.04 m	4%
19%		
Exterior_Balbanera008	0.06 m	2%
6%		

Exterior_Balbanera006 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera000	0.01 m	0%
100%		
Exterior_Balbanera001	0.00 m	0%
100%		
Exterior_Balbanera002	0.00 m	2%
25%		
Exterior_Balbanera003	0.00 m	18%
64%		
Exterior_Balbanera005	0.01 m	3%
100%		
Exterior_Balbanera007	0.00 m	78%
100%		
Exterior_Balbanera008	0.00 m	48%
100%		

Exterior_Balbanera007 - 7 Estación(es) con puntos en común

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)
Exterior_Balbanera000	0.06 m	1%
3%		
Exterior_Balbanera001	0.02 m	1%
100%		
Exterior_Balbanera002	0.01 m	3%

100%	Exterior_Balbanera003	0.00 m	20%
84%	Exterior_Balbanera005	0.04 m	4%
19%	Exterior_Balbanera006	0.00 m	78%
100%	Exterior_Balbanera008	0.00 m	51%
100%			

Exterior_Balbanera008 - 7 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)	Confianza (%)
Exterior_Balbanera000	0.05 m	0%	2%
Exterior_Balbanera001	0.02 m	1%	100%
Exterior_Balbanera002	0.00 m	5%	34%
Exterior_Balbanera003	0.00 m	18%	100%
Exterior_Balbanera005	0.06 m	2%	6%
Exterior_Balbanera006	0.00 m	48%	100%
Exterior_Balbanera007	0.00 m	51%	100%

VIRGEN DE BALBANERA

Reporte de registro (basado en escaneos TZF)

Nombre de usuario: Usuario

Fecha: Wed Jun 23 00:36:24 2021

Nombre proyecto: Virgen de Balbanera

Unidades de medida lineales: Metros

Sistema de coordenadas: X, Y, Z

Error residual global (nube a nube): 0.00 m

VirBalb000 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)	Confianza (%)
-------------------	-------------------	---------------------	---------------

VirBalb001	0.00 m		61%
100%			
VirBalb002	0.00 m		48%
100%			
VirBalb003	0.00 m		29%
100%			
VirBalb004	0.00 m		42%
100%			
VirBalb005	0.00 m		47%
100%			
VirBalb006	0.00 m		51%
100%			
VirBalb007	0.00 m		82%
100%			
VirBalb008	0.00 m		64%
100%			

VirBalb001 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto	Error nube a nube	Puntos en común (%)	Confianza (%)
-------------------	-------------------	---------------------	---------------

VirBalb000	0.00 m		61%
100%			
VirBalb002	0.00 m		83%
100%			
VirBalb003	0.00 m		57%

100%	VirBalb004	0.00 m	38%
100%	VirBalb005	0.00 m	33%
100%	VirBalb006	0.00 m	34%
100%	VirBalb007	0.00 m	61%
100%	VirBalb008	0.00 m	87%
100%			

VirBalb002 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

	VirBalb000	0.00 m	48%
100%	VirBalb001	0.00 m	83%
100%	VirBalb003	0.00 m	69%
100%	VirBalb004	0.00 m	37%
100%	VirBalb005	0.00 m	33%
100%	VirBalb006	0.00 m	34%
100%	VirBalb007	0.00 m	56%
100%	VirBalb008	0.00 m	77%
100%			

VirBalb003 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

	VirBalb000	0.00 m	29%
100%	VirBalb001	0.00 m	57%
100%	VirBalb002	0.00 m	69%
100%	VirBalb004	0.00 m	61%
100%	VirBalb005	0.00 m	53%
100%	VirBalb006	0.00 m	51%
100%	VirBalb007	0.00 m	45%
100%	VirBalb008	0.00 m	53%
100%			

VirBalb004 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

	VirBalb000	0.00 m	42%
100%	VirBalb001	0.00 m	38%
100%	VirBalb002	0.00 m	37%
100%	VirBalb003	0.00 m	61%
100%	VirBalb005	0.00 m	88%
100%	VirBalb006	0.00 m	81%
100%	VirBalb007	0.00 m	45%
100%	VirBalb008	0.00 m	36%

VirBalb005 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

	VirBalb000	0.00 m	47%
100%	VirBalb001	0.00 m	33%
100%	VirBalb002	0.00 m	33%
100%	VirBalb003	0.00 m	53%
100%	VirBalb004	0.00 m	88%
100%	VirBalb006	0.00 m	90%
100%	VirBalb007	0.00 m	47%
100%	VirBalb008	0.00 m	30%

VirBalb006 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

	VirBalb000	0.00 m	51%
100%	VirBalb001	0.00 m	34%

100%	VirBalb002	0.00 m	34%
100%	VirBalb003	0.00 m	51%
100%	VirBalb004	0.00 m	81%
100%	VirBalb005	0.00 m	90%
100%	VirBalb007	0.00 m	53%
100%	VirBalb008	0.00 m	32%

VirBalb007 - 8 Estación(es) con puntos en común -

Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

100%	VirBalb000	0.00 m	82%
100%	VirBalb001	0.00 m	61%
100%	VirBalb002	0.00 m	56%
100%	VirBalb003	0.00 m	45%
100%	VirBalb004	0.00 m	45%
100%	VirBalb005	0.00 m	47%
100%	VirBalb006	0.00 m	53%
100%	VirBalb008	0.00 m	71%

VirBalb008 - 8 Estación(es) con puntos en común -

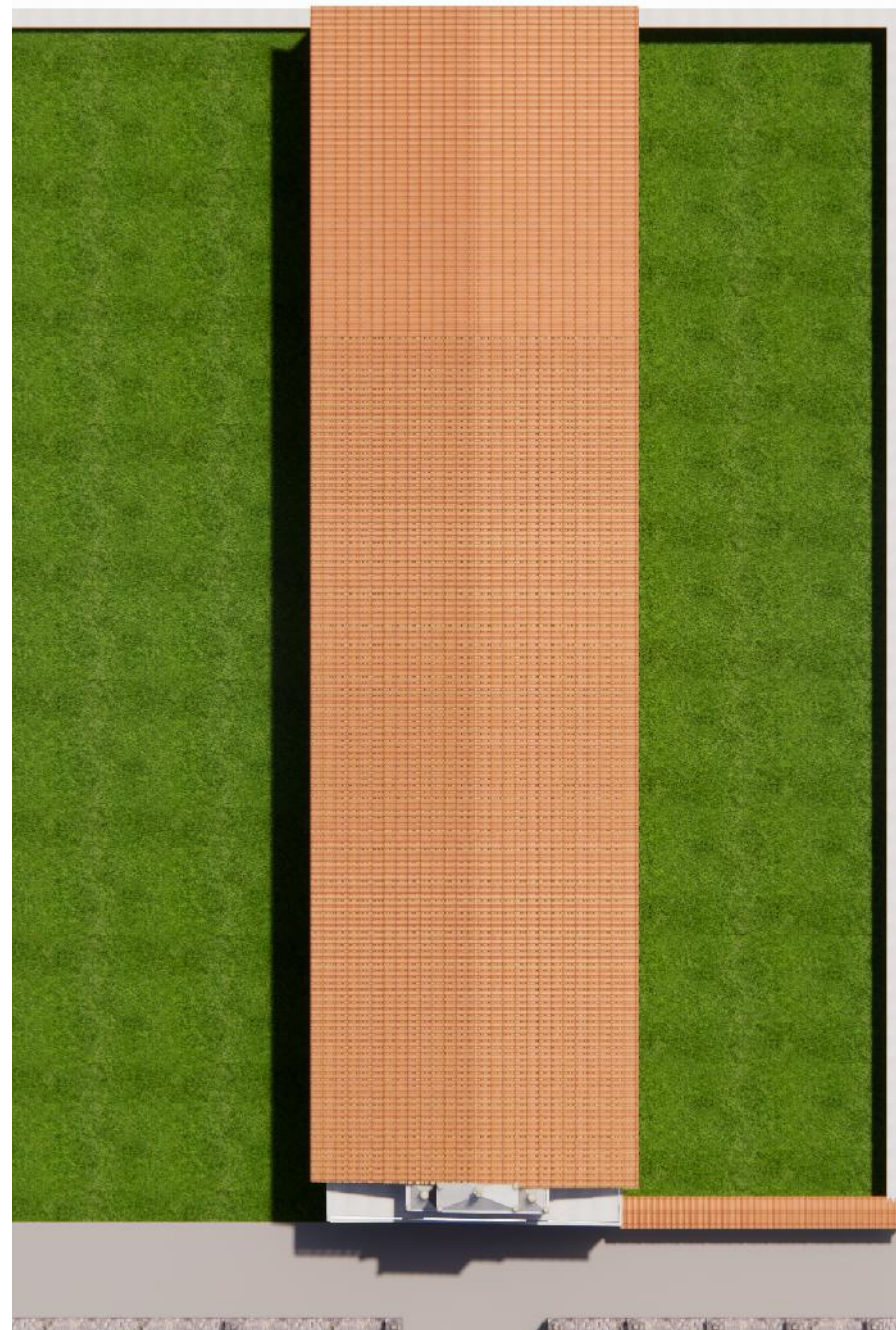
Nombre del objeto Error nube a nube Puntos en común (%) Confianza (%)

100%	VirBalb000	0.00 m	64%
100%	VirBalb001	0.00 m	87%
100%	VirBalb002	0.00 m	77%
100%	VirBalb003	0.00 m	53%
100%	VirBalb004	0.00 m	36%
100%	VirBalb005	0.00 m	30%
100%	VirBalb006	0.00 m	32%
100%	VirBalb007	0.00 m	71%

7.5 IGLESIA SEGÚN FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH AÑO 1915



FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH AÑO 1915



IGLESIA SEGÚN FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH

ESCALA S / E



IGLESIA SEGÚN FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH

ESCALA S / E



IGLESIA SEGÚN FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH

ESCALA S / E



IGLESIA SEGÚN FOTOGRAFÍA DE ISABEL DE WUTH

ESCALA S / E



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL: IGLESIA BALBANERA
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

S / E

FECHA

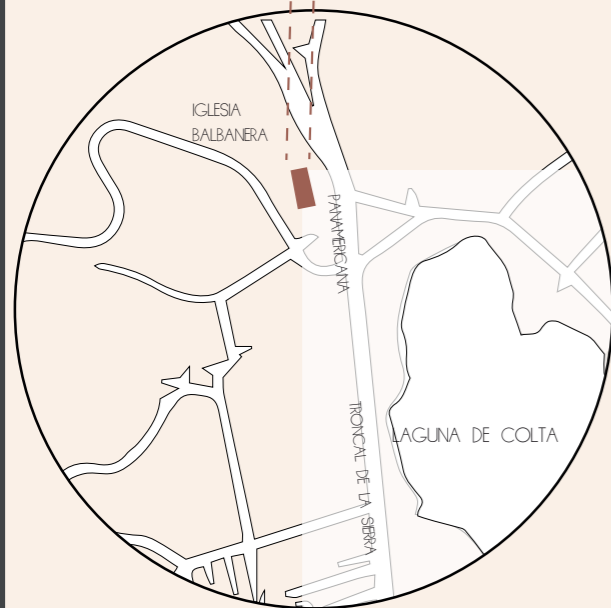
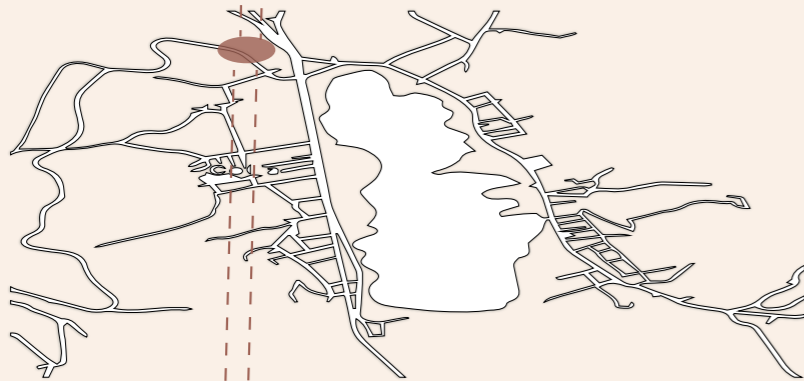
JULIO - 2021 .



7.6 LÁMINAS DE DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA

UBICACIÓN

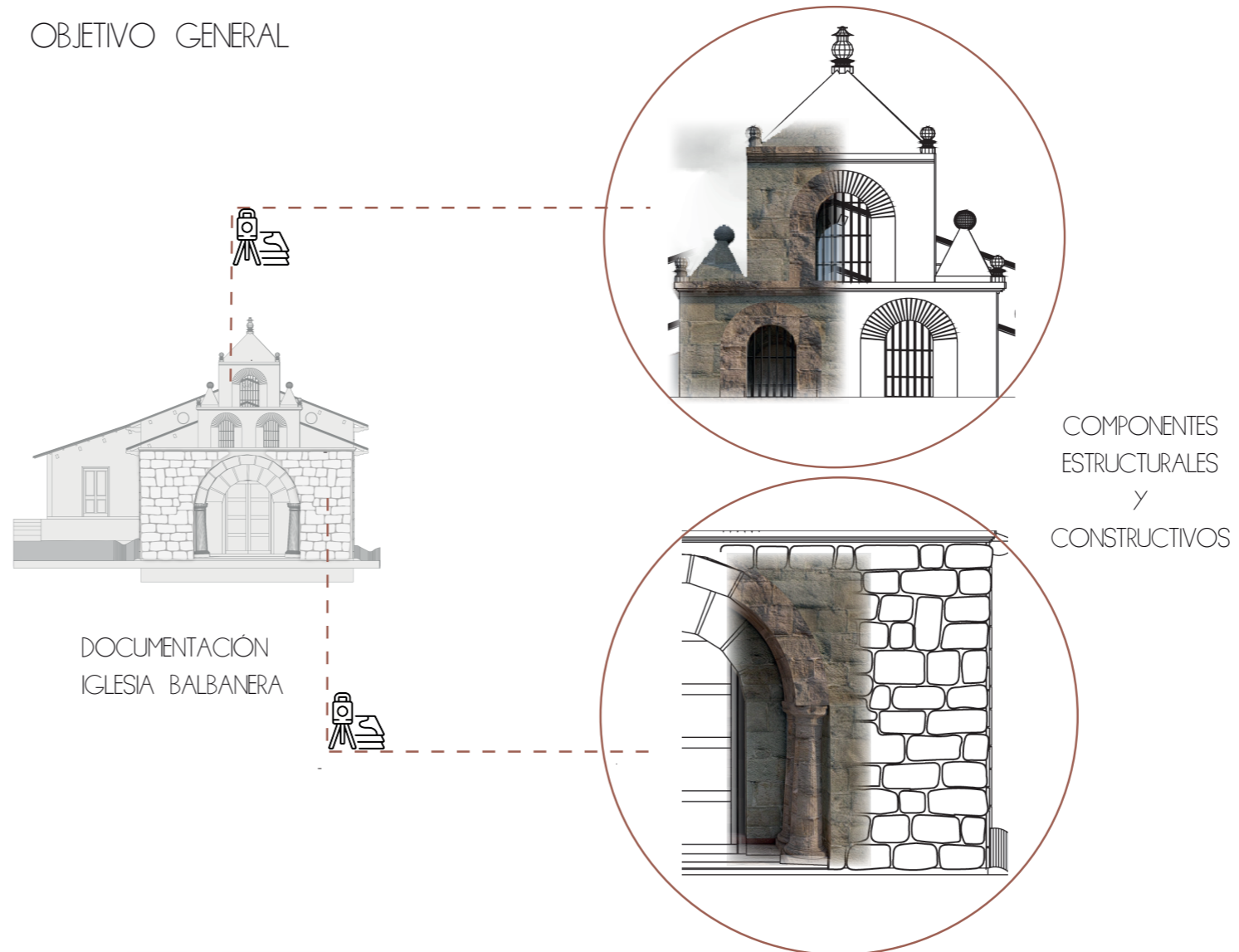
ECUADOR



DESCRIPCIÓN

Ubicada a unos cuantos metros de la laguna de Colta, su estilo considerado colonial fue construida en el año 1534, su fachada de piedra andesita con tallados simples. Su distribución espacial es semejante a una sola nave sobria amplia, fundada por los españoles para venerar a la santísima Virgen de Balbanera, en agradecimiento por el logro de conquistar esas tierras, la virgen es muy similar a la que se venera en España. Mandada a esculpir en el país mencionado la Virgen Natividad de Balbanera se colocó en la primera iglesia para la veneración de la clase alta en territorio ecuatoriano protegida por el Volcán Chimborazo que se observa a sus espaldas

OBJETIVO GENERAL



PAISAJE Y ENTORNO

Esquema del entorno
s/e



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

BYRON G. GUEVARA B.

EDISON F. ESPINOSA F.

ESCALA

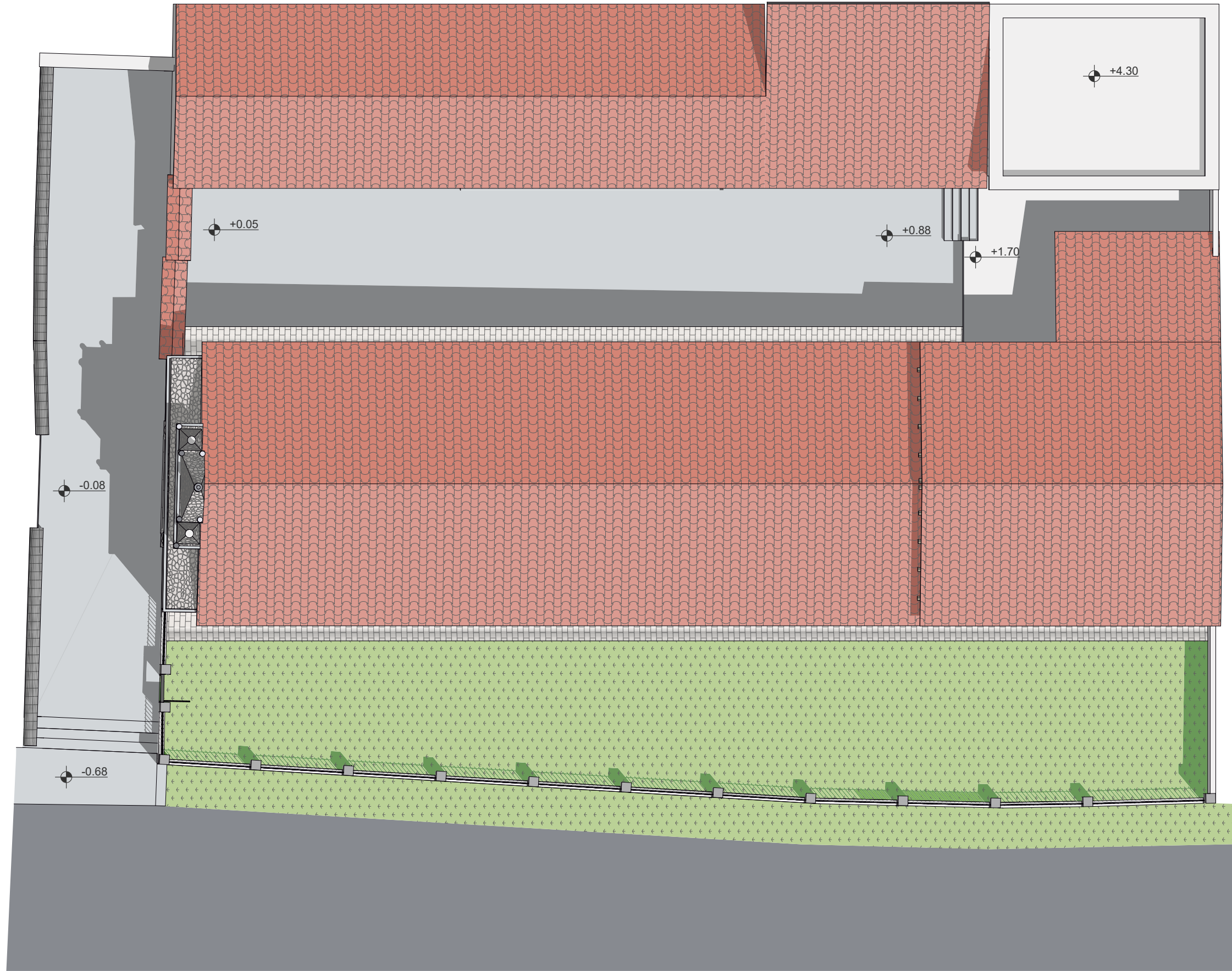
GRÁFICA

FECHA

JULIO - 2021

1
15





IMPLANTACIÓN

ESCALA 1 : 150



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA,
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

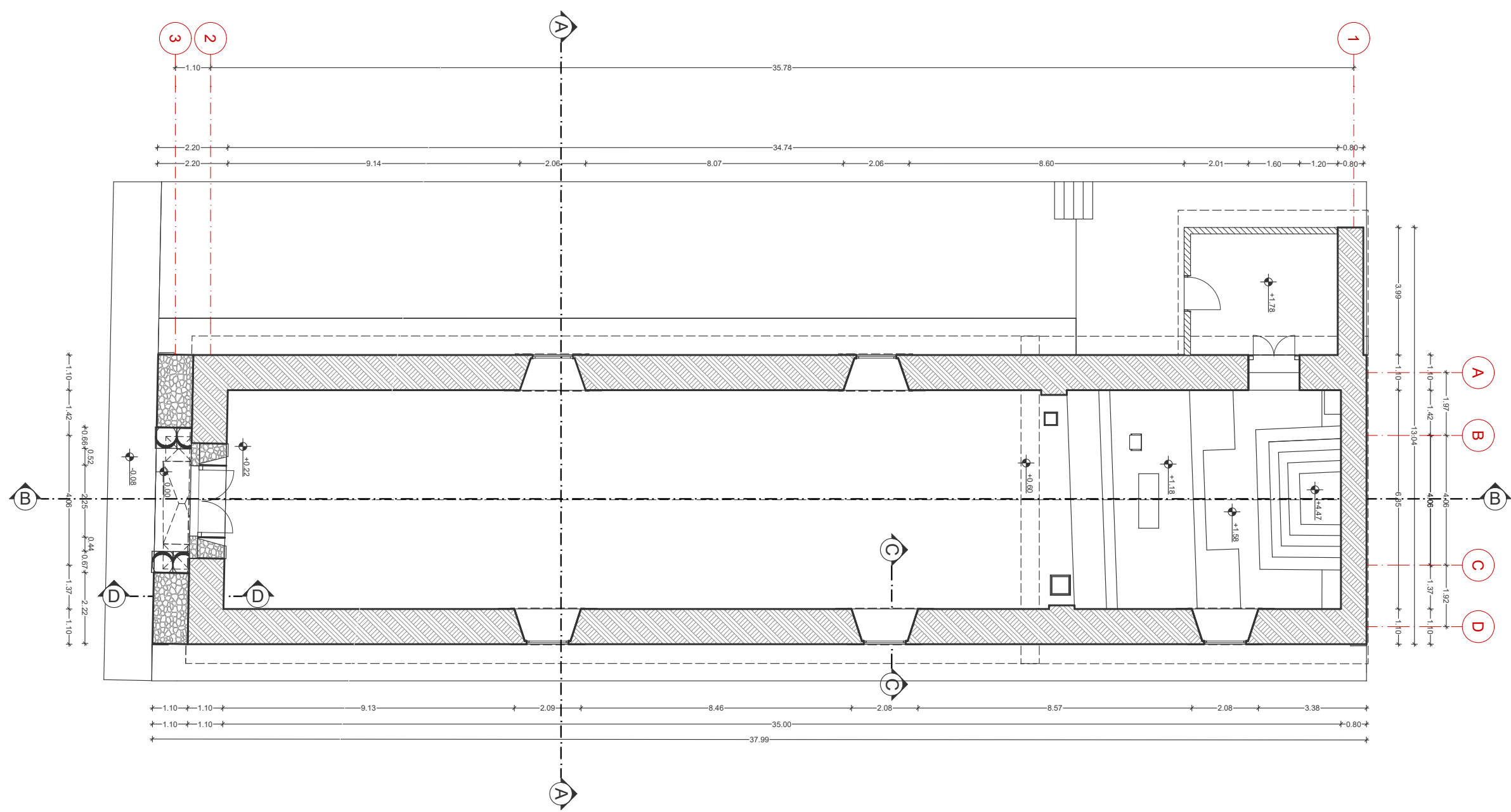
1 / 150

FECHA

JULIO - 2021

2
15





PLANTA BAJA
ESCALA 1 : 150

UNIVERSIDAD NACIONAL
 DE CHIMBORAZO

TEMA
 APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
 MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
 ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
 ESTRUCTURAL. CASO IGLESIA DE BALBANERA,
 COLTA-CHIMBORAZO

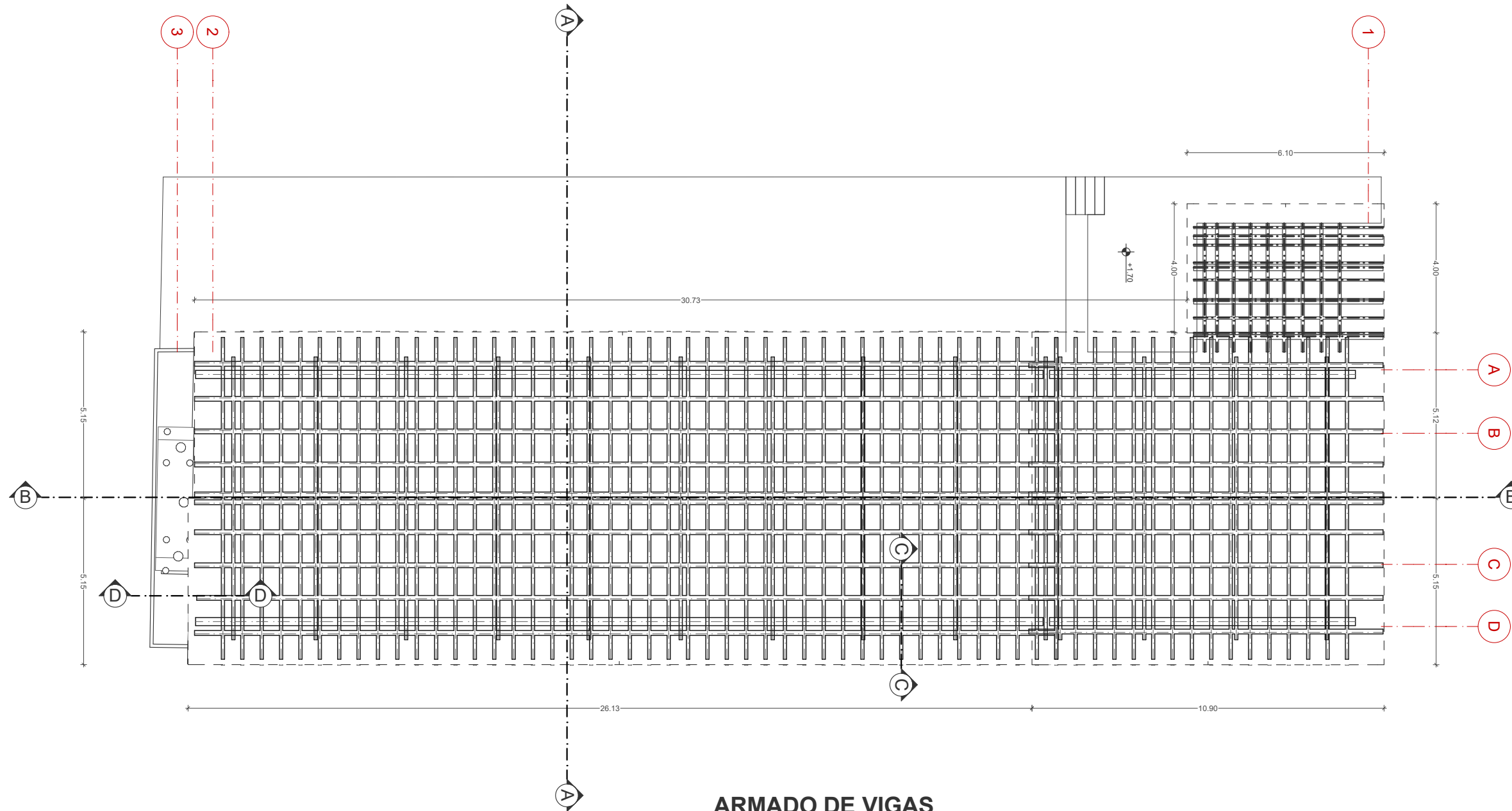
TUTOR
 ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES
 EDISON F. ESPINOSA F.
 BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA
 1 / 150

FECHA
 JULIO - 2021

3 / 15



ARMADO DE VIGAS

ESCALA 1 : 150

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA,
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

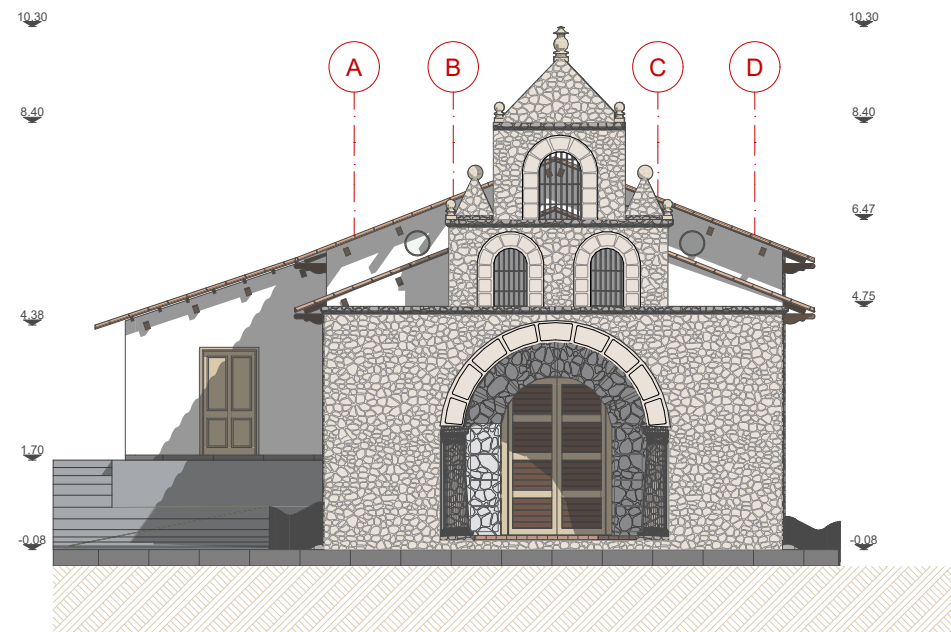
1 / 150

FECHA

JULIO - 2021

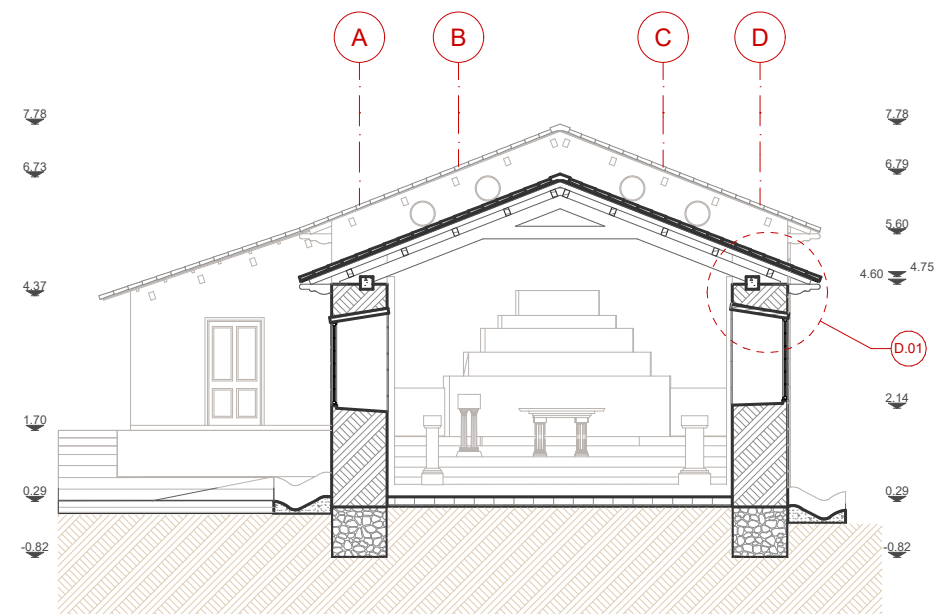
4 | 15





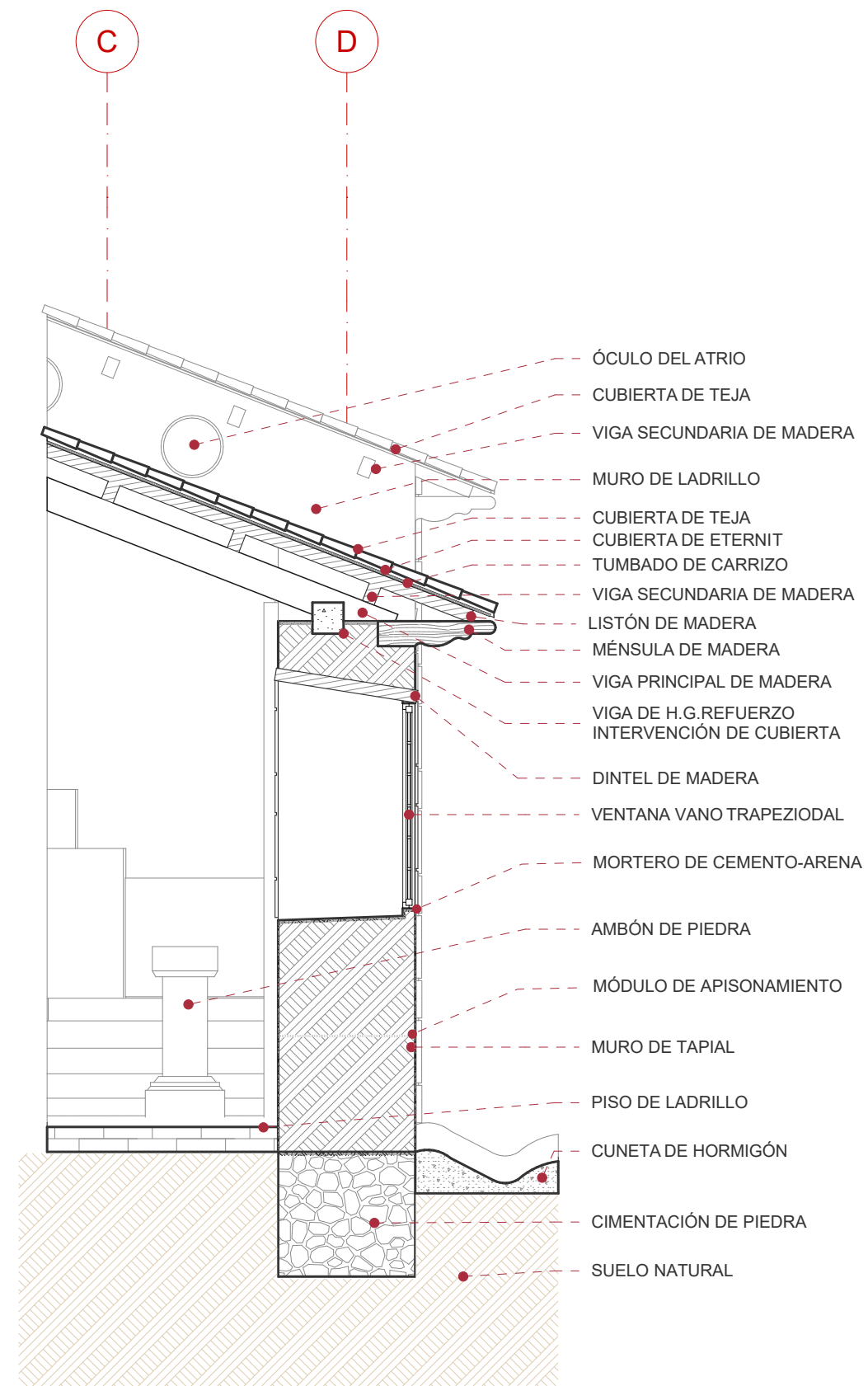
FACHADA SUR

ESCALA 1 : 150



SECCIÓN A - A"

ESCALA 1 : 150



SECCIÓN C - C"

ESCALA 1 : 50



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL: IGLESIA BALBANERA
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

ESPECIFICADAS

FECHA

JULIO - 2021

5
15





UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA
 APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
 MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
 ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
 ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA,
 COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR
 ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

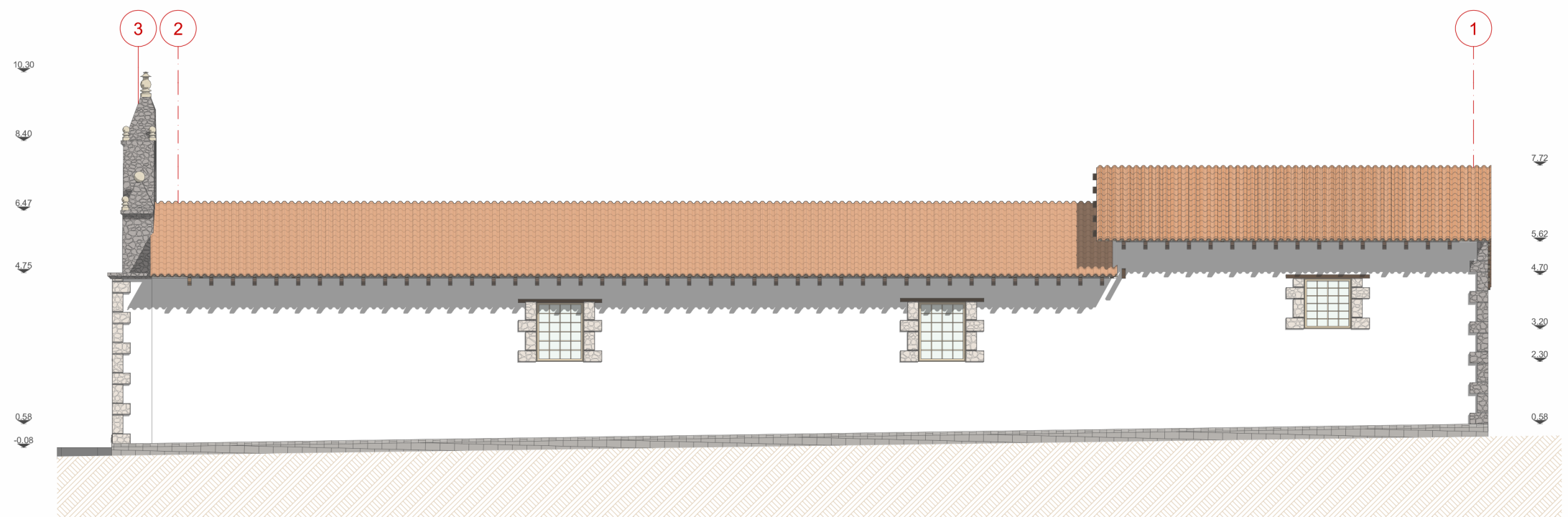
INTEGRANTES
 EDISON F. ESPINOSA F.
 BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA
 1 / 150

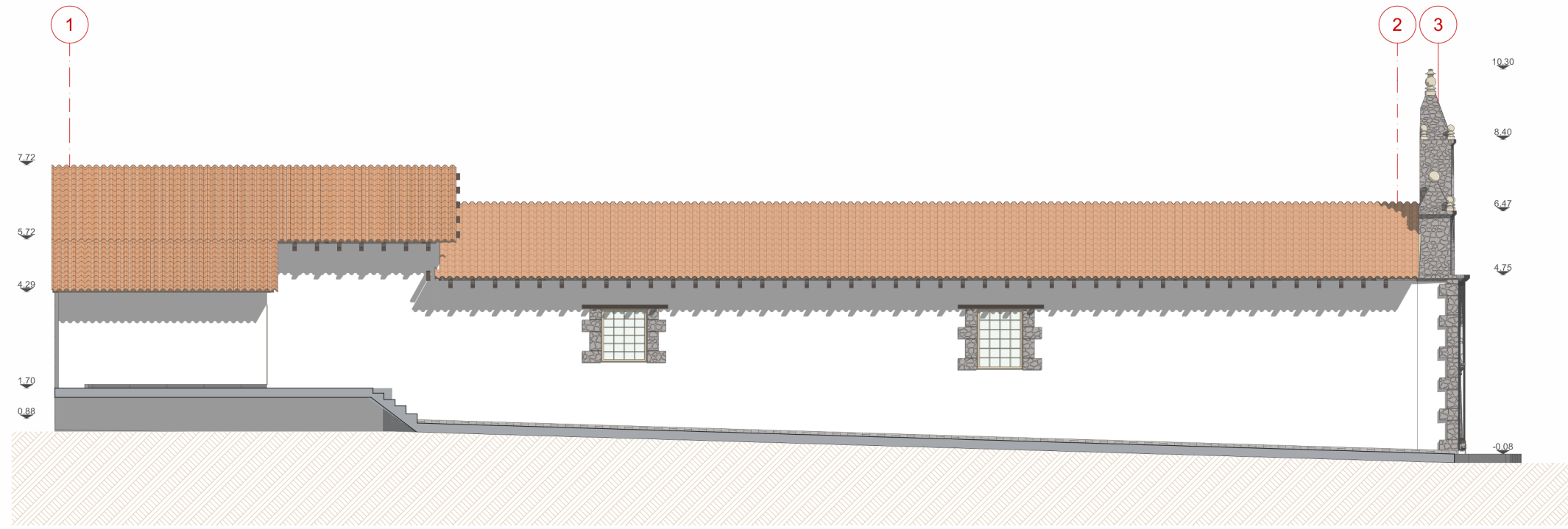
FECHA
 JULIO - 2021



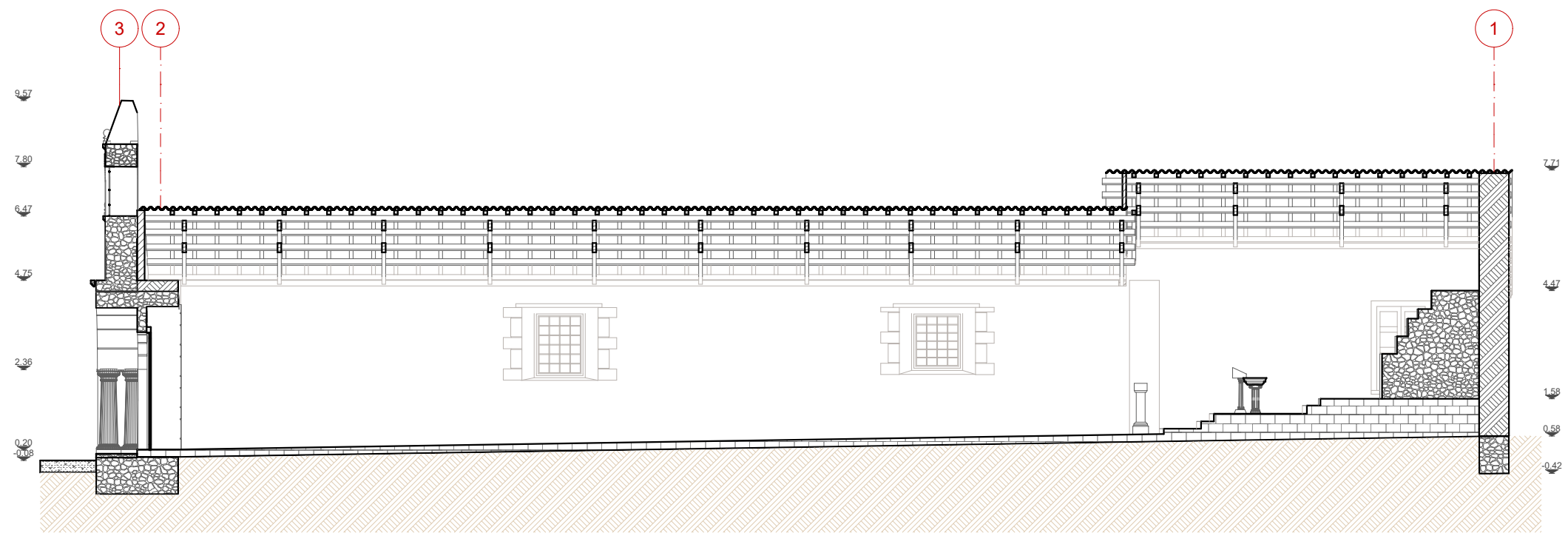
6 / 15



FACHADA ESTE
 ESCALA 1 : 150

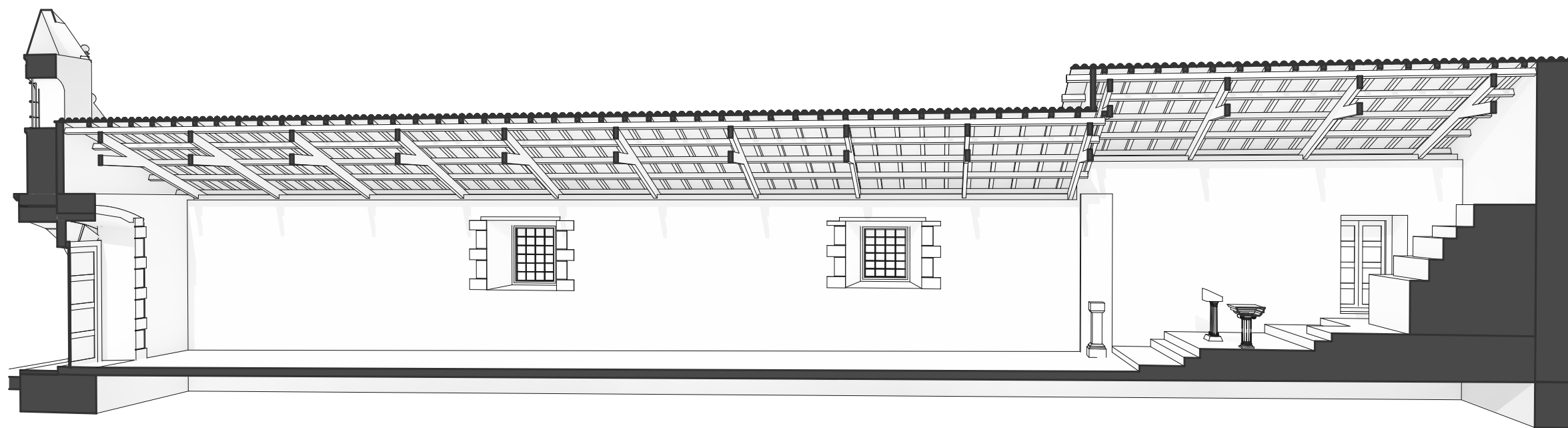


FACHADA OESTE
 ESCALA 1 : 150



SECCIÓN B - B"

ESCALA 1 : 150



SECCIÓN ISOMETRICO B - B"

ESCALA S/E

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL. CASO IGLESIA DE BALBANERA,
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

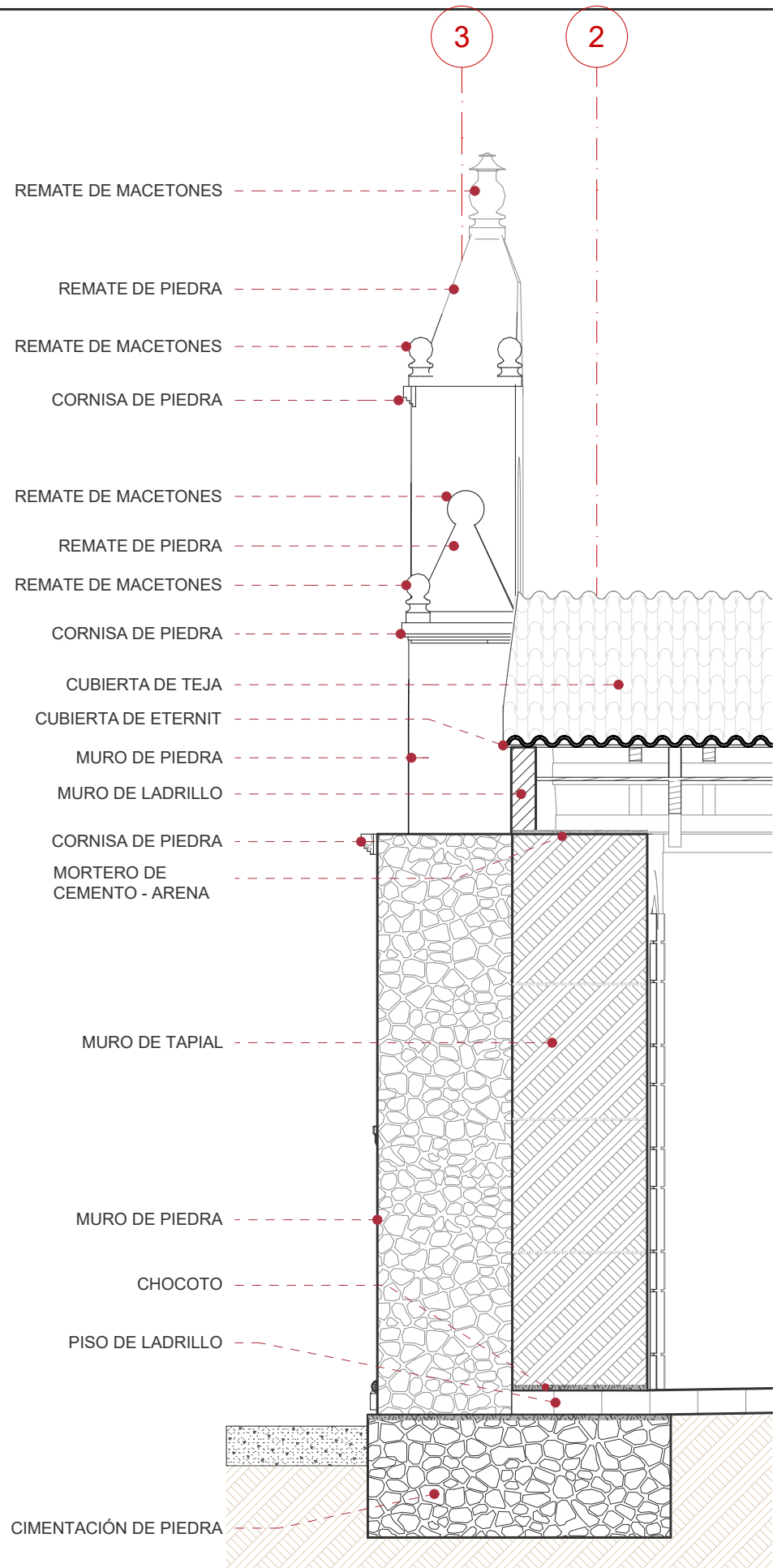
ESPECIFICADAS

FECHA

JULIO - 2021

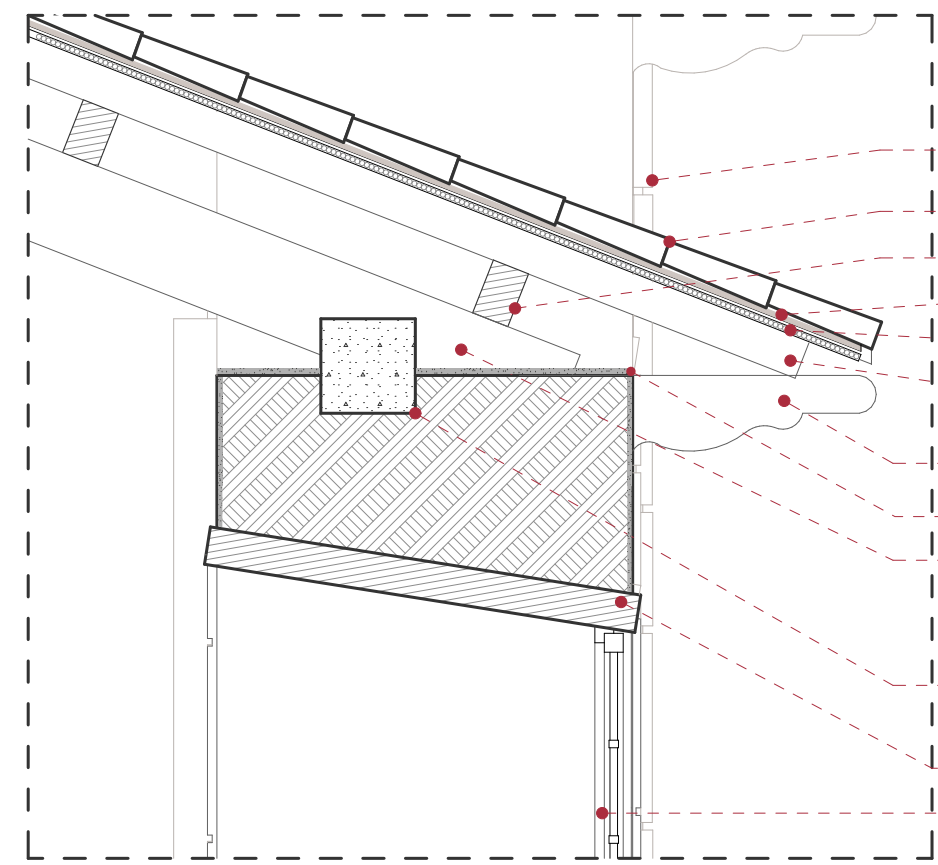
7 |
15





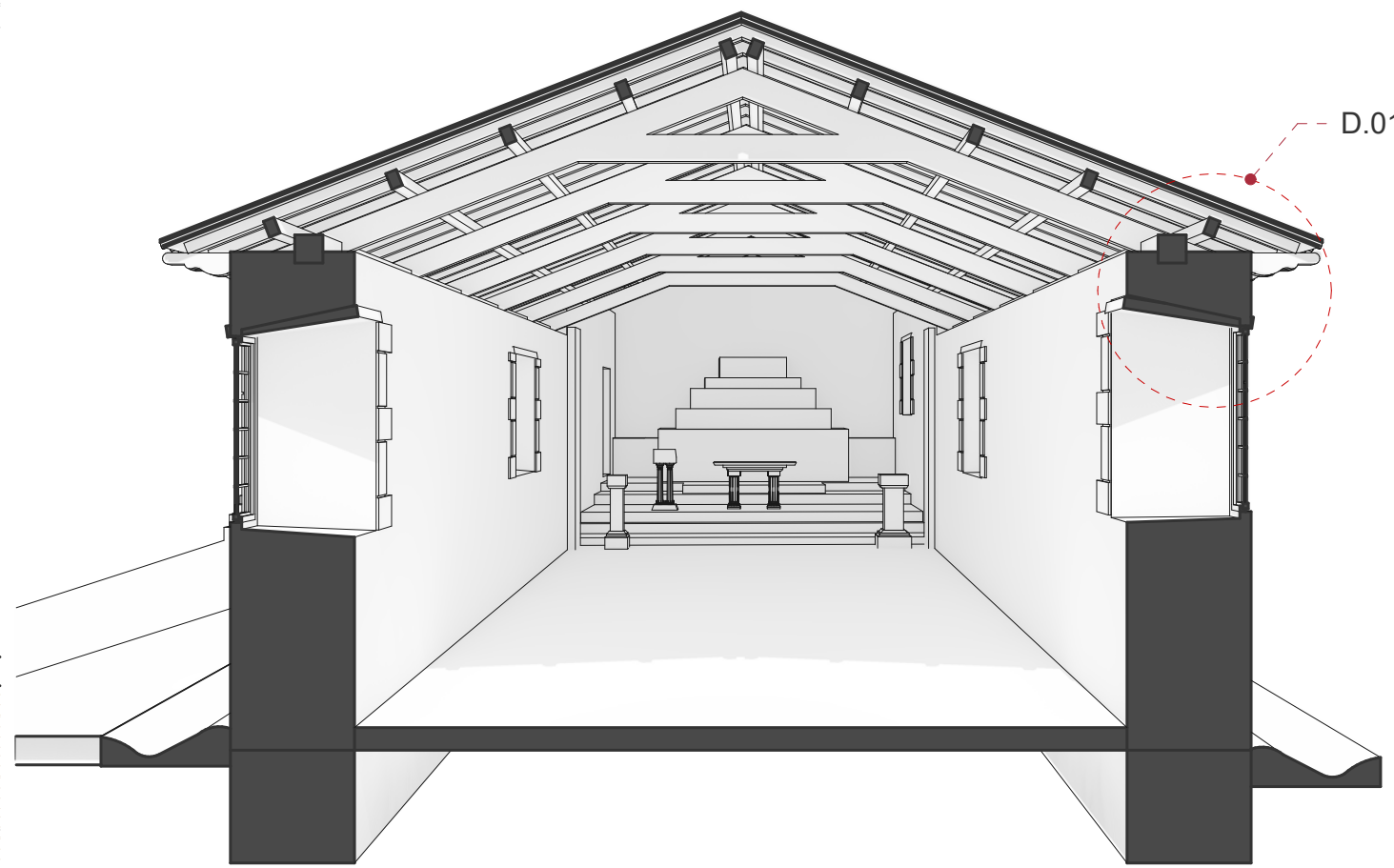
- REMATE DE MACETONES
- REMATE DE PIEDRA
- REMATE DE MACETONES
- CORNISA DE PIEDRA
- REMATE DE MACETONES
- REMATE DE PIEDRA
- REMATE DE MACETONES
- CORNISA DE PIEDRA
- CUBIERTA DE TEJA
- CUBIERTA DE ETERNIT
- MURO DE PIEDRA
- MURO DE LADRILLO
- CORNISA DE PIEDRA
- MORTERO DE CEMENTO - ARENA
- MURO DE TAPIAL
- MURO DE PIEDRA
- CHOCOTO
- PISO DE LADRILLO
- CIMENTACIÓN DE PIEDRA

SECCIÓN D - D''
ESCALA 1 : 50



- ALMOHADILLADO DE PIEDRA
- CUBIERTA DE TEJA
- VIGA SECUNDARIA DE MADERA
- CUBIERTA DE ETERNIT
- TUMBADO DE CARRIZO
- LISTÓN DE MADERA
- MENSULA DE MADERA
- MORTERO DE CEMENTO-ARENA
- VIGA PRINCIPAL DE MADERA
- VIGA DE H.G.REFUERZO INTERVENCIÓN DE CUBIERTA
- DINTEL DE MADERA
- VENTANA VANO TRAPEZOIDAL

DETALLE CONSTRUCTIVO D.01
ESCALA 1 : 20



SECCIÓN ISOMÉTRICO A - A''
ESCALA S/E



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL: IGLESIA BALBANERA COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

1 / 150

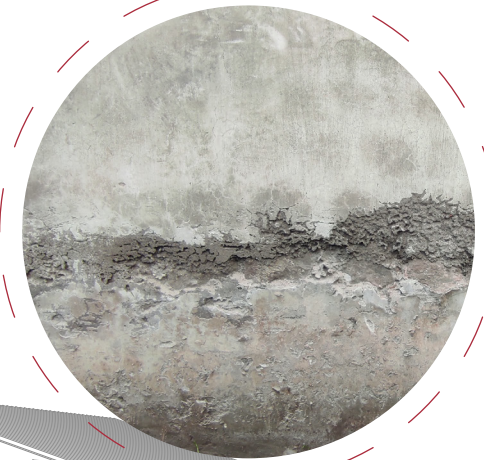
FECHA

JULIO - 2021

8
15



PATOLOGÍAS HALLADAS EN EL LADO ESTE



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL. CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR
ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES
EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA
S / E

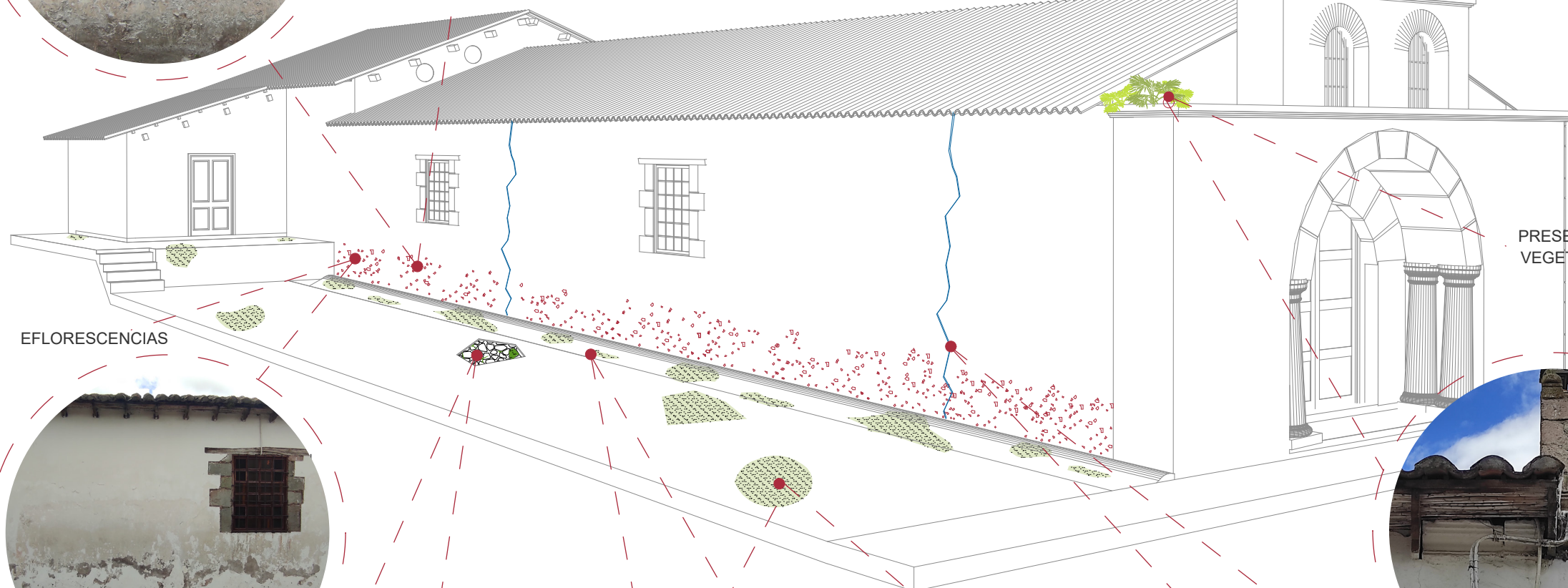
FECHA
JULIO - 2021

9 / 15

PATOLOGÍAS HALLADAS EN EL LADO OESTE



DESMORONAMIENTOS



EFLORESCENCIAS

PRESENCIA DE ESPECIES VEGETALES EN EL MURO

HONGOS POR HUMEDAD EN PISOS Y CUNETAS

AGRIETAMIENTO EN REVESTIMIENTOS

ASENTAMIENTOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

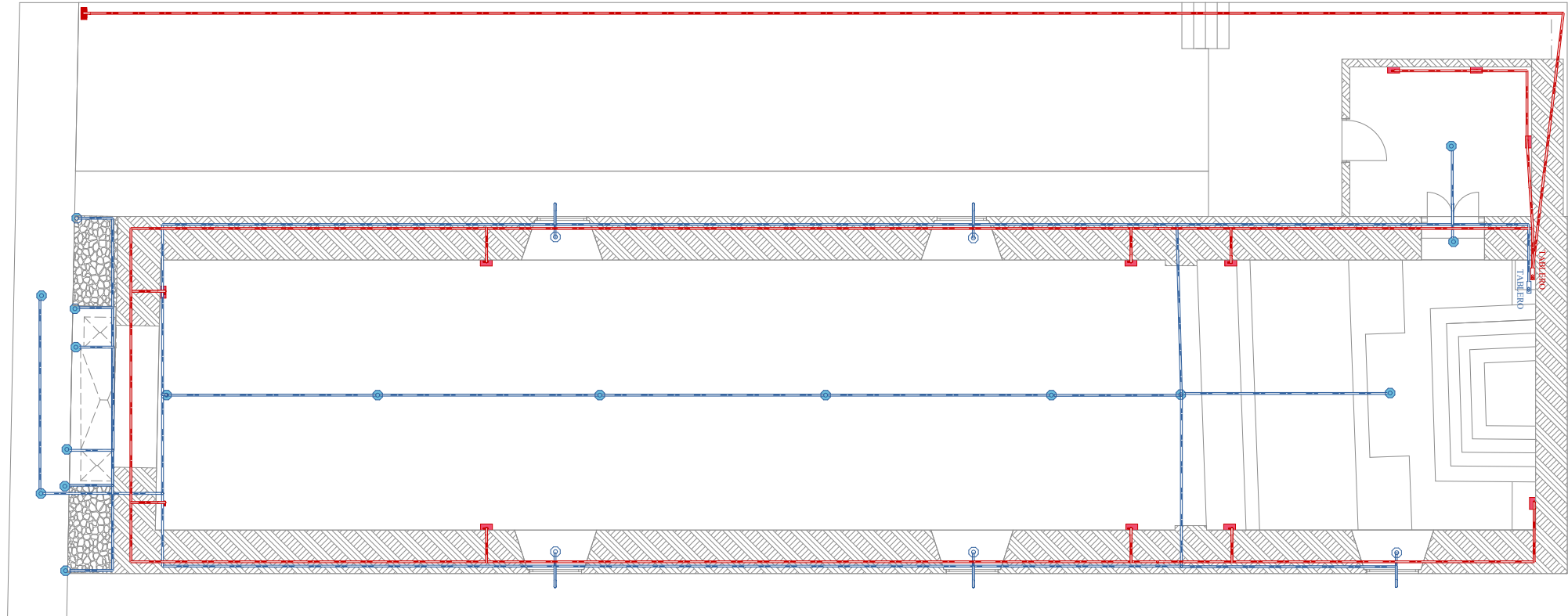
S / E

FECHA

JULIO - 2021

10 | 15





INSTALACIONES ELÉCTRICAS

ESCALA 1 : 150

LEYENDA	
	LUMINARIAS
	INTERRUPTOR
	CIRCUITO DE ILUMINACIÓN 3/4 DE DIAMETRO
	TOMACORRIENTE
	CIRCUITO DE FUERZA 3/4 DE DIAMETRO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

TEMA
 APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR
 ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

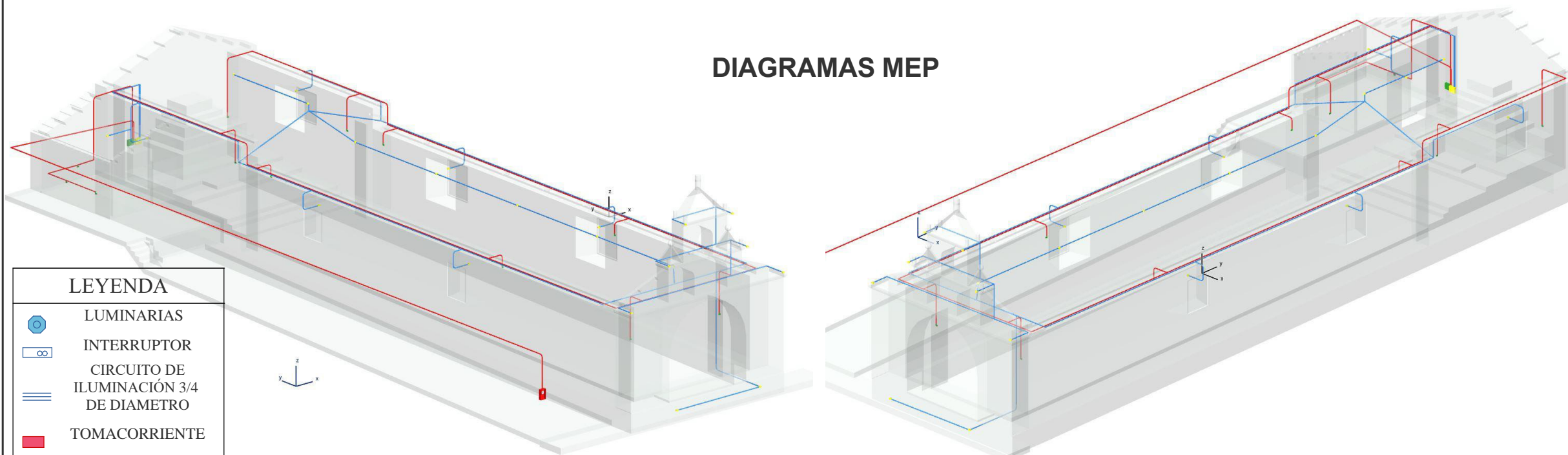
INTEGRANTES
 EDISON F. ESPINOSA F.
 BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA
 1 / 150






FECHA
 JULIO - 2021

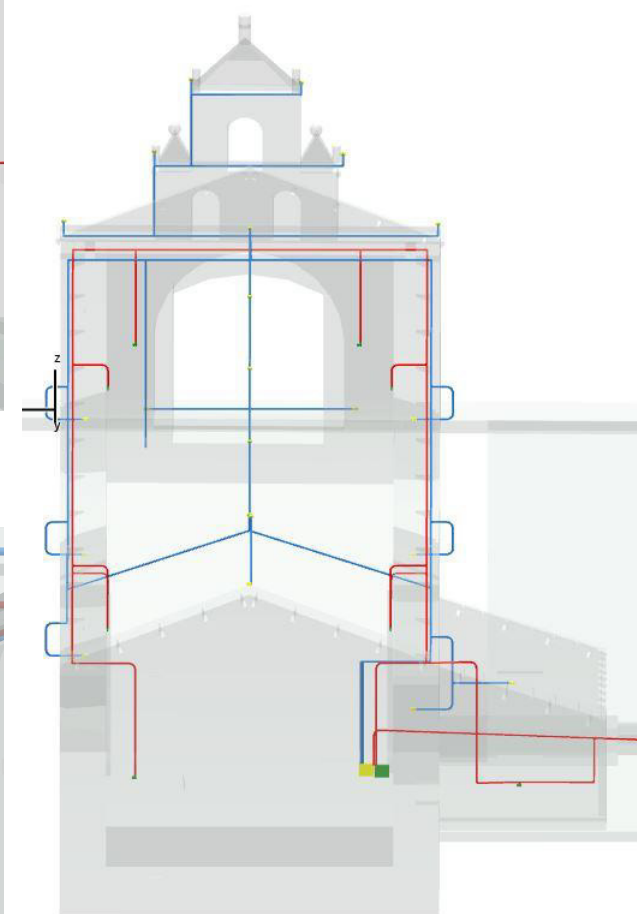
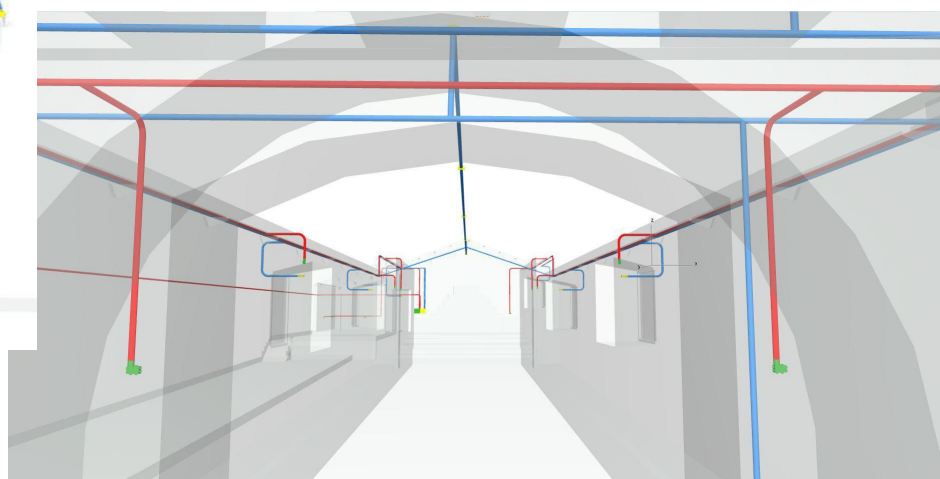
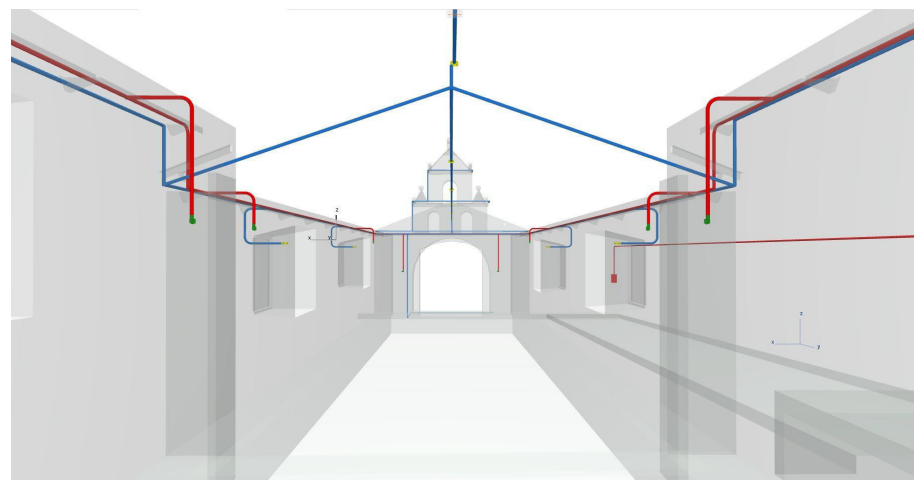
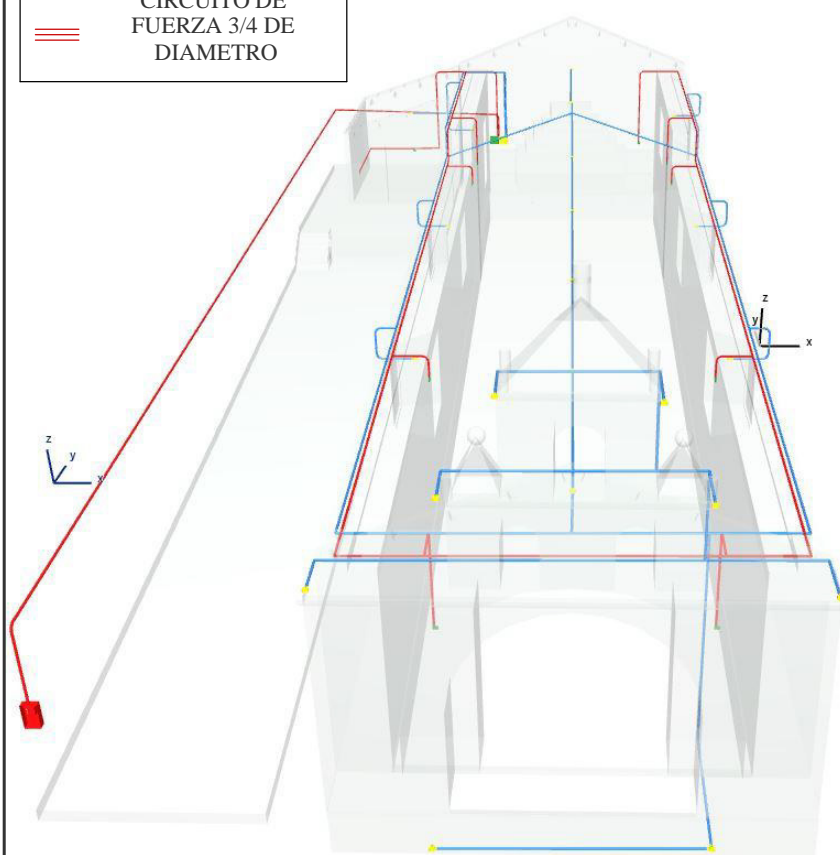


DIAGRAMAS MEP



LEYENDA

-  LUMINARIAS
-  INTERRUPTOR
-  CIRCUITO DE ILUMINACIÓN 3/4 DE DIAMETRO
-  TOMACORRIENTE
-  CIRCUITO DE FUERZA 3/4 DE DIAMETRO



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

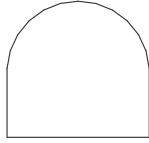
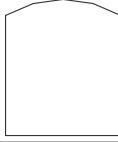



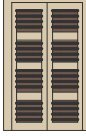



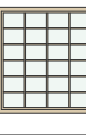


S / E

FECHA

JULIO - 2021

12 | 15



Esquema de Vanos				
Nombre Elemento	ID Elemento	Cantidad	Tamaño	Vista Frontal
Abertura Arco 24	P - 001	1	4.55×4.35	
Abertura Arco 24	P - 002	1	3.60×4.25	
Abertura Arco 24	P - 005	1	0.83×1.35	
Abertura Arco 24	P - 005	2	0.67×1.25	
Puerta 24	P - 004	1	1.10×2.10	
Puerta Doble 24	P - 003	1	1.60×2.50	
Puerta Doble 24	P - 003	1	2.25×3.30	
Ventana 24	V - 002	1	1.25×1.45	
Ventana 24	V - 002	1	1.25×1.65	
Ventana 24	V - 002	1	1.31×1.40	
Ventana 24	V - 002	2	1.31×1.65	
Ventana Circular 24	V - 003	4	0.50×0.50	

ESQUEMA DE MUROS					
Material de Constr...	Cantidad	Espesor final d...	Longitud del Muro	Área	Volumen
Ladrillo	1	0.10	6.85	7.88	0.79
Ladrillo	3	0.20	18.67	31.72	6.43
	4		25.52 m	39.60 m ²	7.22 m ³
Piedra	1	1.10	9.05	25.35	27.89
Piedra	2	0.25	1.38	3.07	0.76
Piedra	2	0.85	6.93	9.84	8.36
	5		17.36 m	38.26 m ²	37.01 m ³
Tapial	4	0.80	11.10	59.45	47.56
Tapial	5	1.10	78.86	331.88	368.42
	9		89.96 m	391.33 m ²	415.98 m ³
	18		132.84 m	469.19 m ²	460.21 m ³

ESQUEMA DE FORJADOS		
ID de Elemento	Material de Co...	Volumen m3
Altar	Piedra	23.73
Arcos Estructurales	Piedra	5.50
Canal de Agua LLuvia	Concreto Cunetas	16.43
Cimentación	Piedra	103.95
Cornisas de fachada ...	Piedra	0.26
Dintel de Ventanas	Madera de Capulí	1.35
Mobiliario de Piedra	Concreto	0.42
Patio Frontal del Mu...	Concreto	0.00
Pilares de Piedra	Piedra	1.80
Piso de Iglesia	Ladrillo en Piso	85.30
Piso de Sacristía	Concreto Armado	2.05
Piso del Museo	MENSULAS	2.20
Vereda Frontal	Concreto Armado	8.08
		251.07 m ³

ESQUEMA DE VIGAS			
ID de Elemento	Ángulo de Inclinación	Longitud	Volumen
Tiras de Tejado			
	0°	5.86	0.12
	21°	5.35	6.00
		677.16 m	6.12 m³
Vigas de Hormigón Armado			
	0°	9.47	1.18
	0°	26.24	3.28
		71.42 m	4.46 m³
Vigas Principales			
	0°	0.00	0.84
	0°	5.86	0.36
	21°	4.70	3.10
		155.04 m	4.30 m³
Vigas Secundarias			
	0°	5.86	0.02
	0°	10.97	1.60
	0°	26.63	0.40
	0°	26.70	3.60
	19°	4.20	0.36
		420.29 m	5.98 m³
		1,323.91 m	20.86 m³



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA,
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

S / E

FECHA

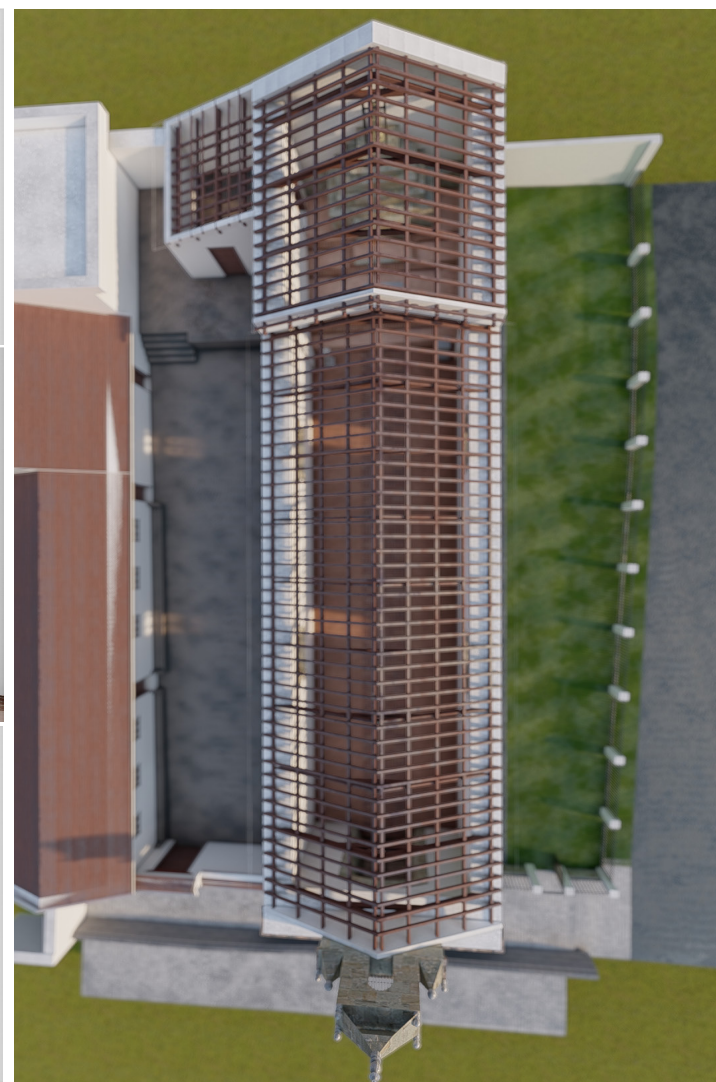
JULIO - 2021



13

15

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA OBTENIDA DEL MODELADO BIM



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN
ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN
ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA,
COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

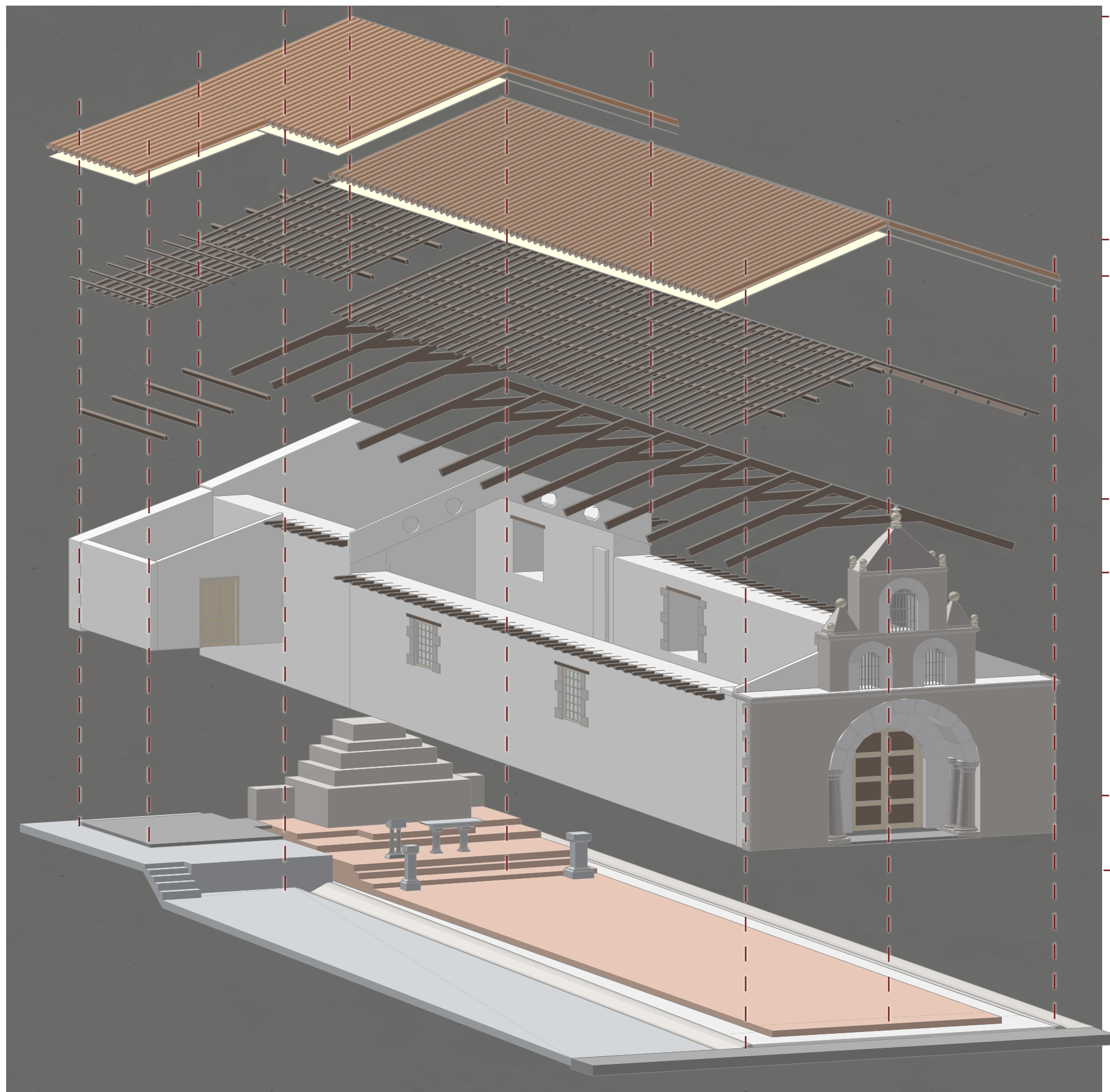
S / E

FECHA

JULIO - 2021

14 | 15





AXONOMETRÍA EXPLOTADA

- CUBIERTA DE TEJA
- CUBIERTA DE ETERNIT
- IMPERMEABILIZANTE (PLASTICO NEGRO).
- TUMBADO DE CARRIZO

- LISTONES DE MADERA
- VIGA SECUNDARIA
- VIGA PRINCIPAL
- VIGA DE HG INTERVENCIÓN.

- REMATE DE MACETONES
- REMATE DE PIEDRA
- CORNISAS DE PIEDRA
- ARCOS ESTRUCTURALES DE MEDIO PUNTO.
- MENSULAS DE MADERA.
- COLUMNAS ESTILO DÓRICO.
- MUROS DE TAPIAL
- MUROS DE PIEDRA

- ATRIO DE PIEDRA.
- MOBILIARIO DE PIEDRA.
- PISO DE LADRILLO.
- CUNETAS DE HORMIGÓN.
- COLUMNAS ESTILO DÓRICO.



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHIMBORAZO

TEMA

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CASO IGLESIA DE BALBANERA, COLTA-CHIMBORAZO

TUTOR

ING. ALEJANDRO VELASTEGUI

INTEGRANTES

EDISON F. ESPINOSA F.
BYRON G. GUEVARA B.

ESCALA

S / E

FECHA

JULIO - 2021

15 | 15



7.7 MANUAL DE USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

MANUAL DE DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA



**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE
MEDICIÓN 3D Y MODELADO BIM**

Caso: Iglesia de Balbanera

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2		
OBJETIVOS DEL MANUAL	3		
1. Planificación	5		
1.1. Determinación de objetivos	6		
1.2. Análisis del área a levantar	7		
1.3. Determinación de técnicas de medición y equipo necesario.	8		
1.4. Gestión y procesamiento de datos.	9		
2. Trabajo de Campo	10		
2.1. Trabajo de Gabinete previo salida a campo	12		
2.2. Estacionamiento del Equipo	13		
2.3. Determinación de las posiciones óptimas para el equipo de escaneo	14		
2.4. Consideraciones para unificar proyectos con diferente cronología	15		
3. Preparación y toma de Datos	16		
3.1. Ajustes del Escáner	16		
3.1.1. Determinación de la Superficie	17		
3.1.2. Resolución	18		
3.1.3. Filtrado Inicial	19		
3.1.4. Rango de Distancia	19		
3.2. Parámetros de Perfil	20		
3.3. Ambigüedad de Distancia	20		
3.4. Medición Ponderada.	20		
3.4.1. Medición Ponderada al Angulo Cenital	21		
3.4.2. Medición Ponderada al Horizonte	21		
3.4.3. Medición Ponderada al Centro	21		
4. Registro y Georreferenciación	24		
4.1. Técnica de Registro Directa	28		
4.2. Técnica de Registro Indirecta	28		
4.2.1. Registro Objeto a Objeto	28		
4.2.2. Registro Nube a Nube	28		
5. Procesamiento de la Nube de Puntos	30		
5.1. Representación de la Nube de Puntos	31		
5.2. Depuración	31		
5.3. Muestreo	31		
5.4. Mallado	34		
5.5. Eliminación de vacíos	36		
6. Generación del Modelo BIM	37		
6.1. Evaluación de materiales en campo	37		
6.2. Configuración Inicial	40		
6.3. Importación de Nube de Puntos	42		
6.4. Modelado	44		
6.5. Instalaciones Eléctricas y Diagramas de tuberías (MEP)	46		
6.6. Esquematzación y Cuantificación	47		
6.7. Documentación Arquitectónica	48		
6.8. Exportación ArchiCAD-Diana FEA	49		
7. Evaluación Estructural	50		
7.1. Análisis de Geometrías	51		
7.2. Configuración de Materialidad	51		
7.3. Configuración de Apoyos	53		
7.4. Configuración de Cargas	54		
7.5. Creación de Mallado	55		
7.6. Parámetros de Análisis	55		
7.7. Configuración del Análisis	56		
7.8. Evaluación de Resultados	57		

INTRODUCCIÓN

La documentación arquitectónica en la actualidad es de suma importancia sobre todo en el ámbito patrimonial, ya que permite obtener un registro exhaustivo de toda la información arquitectónica, lo más preciso y ajustado a la realidad posible; convirtiéndose en una metodología que permite documentar, evaluar, simular y acercarnos a una caracterización completa de un objeto arquitectónico.

El uso de herramientas más avanzadas de documentación, se vuelve cada vez más necesario, por ello, el presente manual es un trabajo fruto de nuestra experiencia en el uso de herramientas tecnológicas como el escáner láser 3d y su emparejamiento con un software BIM, acoplándolos para un mejor estudio de un bien patrimonial o arquitectónico.

A través del presente documento, brindamos una metodología de trabajo y una secuencia de pasos aplicables en el uso de dichas herramientas, tomando como ejemplo de estudio a la Iglesia de Balbanera, elaborando un procedimiento que pueda ser replicado en diferentes edificaciones patrimoniales que lo requieran.

Finalmente, es un trabajo dirigido a la academia, con el fin de implementar y aprender el uso de nuevas formas de trabajo con herramientas tecnológicas actuales que permitan agilizar procesos de levantamiento de información y ayude a obtener resultados más ajustados a la realidad.

OBJETIVOS DEL MANUAL

Definir una cronología de actividades, necesarias en procesos de planeación, modelamiento y evaluación, de una edificación analizada bajo un proyecto de documentación arquitectónica.

Determinar los mecanismos de coordinación del trabajo realizado en campo, así como en gabinete, para lograr un mejor control y mayor eficiencia operativa en las tareas de levantamiento y procesamiento de datos, dentro del proyecto de documentación y rehabilitación de edificaciones.

Establecer una herramienta de consulta ágil y expedita para la aplicación y de tecnologías de documentación 3D, y su enlace con procesos de modelamiento BIM y evaluación estructural.



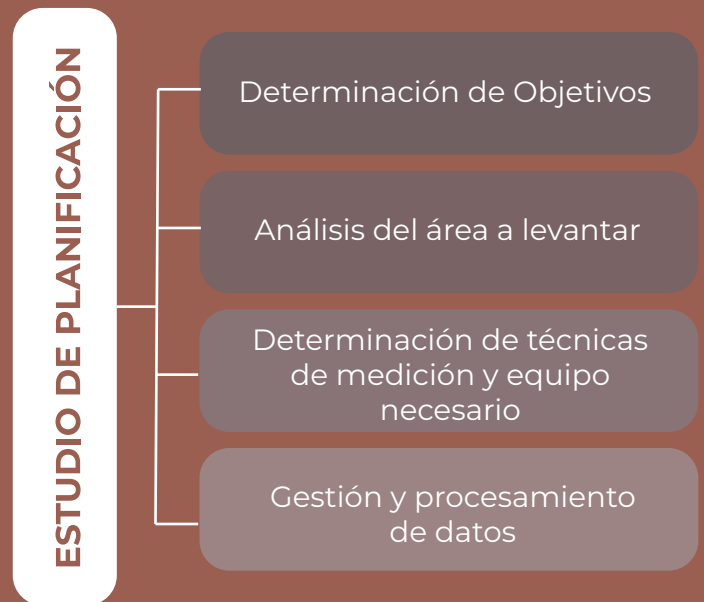
Para la generación el proceso de escaneo se prevé una secuencia de pasos que vayan definiendo las tareas a realizar entre el trabajo de gabinete y el trabajo realizado en campo. De este modo se define la secuencia de obtención y procesamiento de datos bajo el siguiente diagrama



(Título: flujo de trabajo con escáner láser 3D para documentación y evaluación)

1. Planificación

El primer paso que se debe realizar para proyectar un escaneo de alta calidad es una adecuada planificación. Por tanto, al definir un proceso de planificación se puede implementar el siguiente esquema:



(Título: Proceso de planificación)



1.1. Determinar los Objetivos.

Al planificar el escaneo de un objeto se deberá tener en cuenta las necesidades por las cuales se está proponiendo el escaneo, en conjunto con los entregables que serán necesarios según el proyecto que se esté proponiendo.

Para lo cual se deberán definir objetivos que respondan a estas preguntas:

- ¿Por qué se requiere realizar la documentación? (Medición, documentación, modelados, visualización)
- ¿Qué se requiere realizar con los datos generados por la documentación? (para que necesita)
- ¿Qué resultados se necesitan obtener? (Entregables Necesarios)

A partir de las respuestas obtenidas se deberán generar las siguientes características importantes al momento de configurar el escaneo:

- Justificar la necesidad (Explicar entregable según objetivos).

- Definir documentos a entregar (entregables según software).

- Considerar intensidad (puntos) a capturar (número de puntos / tiempo).

De este modo, la determinación de los objetivos servirá como base para definir los posibles entregables que requiera el proyecto que se esté realizando, para definir así tiempos, resolución y cantidad de puntos por escaneo; estos entregables podrían ser:

- Nube de puntos
- Planos 2D
- Modelos 3D
- Animaciones 3D

Ejemplo: Levantamiento Estructura N

Objetivo General:

- Visualización

(Duración de escaneo=8min)



Objetivos específicos:

- Análisis de Ubicación (Estructura N)
- Prever Estacionamiento de Escenas.
- Establecer la densidad de puntos por escaneo.
- Identificar tipos de Materiales de Construcción.
- Definir rutas controladas para la circulación de Peatones.
- Ubicar la presencia de vegetación y sus posibles problemáticas.
- Observar si se encuentra despejada de construcciones Aledañas.

1.2. Análisis del área a levantar.

Se debe recolectar información del objeto con el fin de obtener una idea de la complejidad y el tiempo que puede llegar a tomar el proceso de documentación, lo que llevará a definir los parámetros de resolución y presión que se determinen según las necesidades del proyecto. Para el proceso de recolección de datos se pueden generar diferentes elementos que permitan generar condicionantes y prever posibles riesgos en el momento del escaneo que puedan llegar a provocar posibles errores de captura en el escaneo, estos podrían ser:

- Notas de campo
- Mapas
- Fotografías aéreas
- Información de levantamientos pasados, etc.



También es recomendable generar un análisis del entorno para definir posibles obstáculos a la hora de realizar el levantamiento, con esto se puede optimizar los lugares donde se planten las escenas para obtener un mejor escaneo sin interrupciones; además, se debe añadir la elaboración de un croquis que trabaje sobre la información obtenida, realizando en él la posible ubicación de estaciones de escaneo y puntos de referencia, este servirá como base al momento de llevar los equipos a realizar el levantamiento en campo, optimizando así el tiempo del montaje de escenas y referencias.

1.3. Determinación de técnicas de medición y equipo necesario.

Al momento de elegir las técnicas de levantamiento se deben definir los motivos de partida para la realización del escaneo, tomando en cuenta:

- Analizar la complejidad de las estructuras o superficies, permitiendo programar un escaneo de áreas amplias.
- Definir las necesidades de la documentación en 3D, para establecer la cantidad de detalle del escaneo.
- Proyectar datos que puedan ser usados por un equipo multidisciplinario para diferentes propósitos.
- Establecer posibles restricciones de acceso a la información (disponibilidad de software).

Según el objeto a levantar se deberá proveer el personal necesario para realizar el

levantamiento, según la necesidad de los equipos (cantidad de esferas, trípodes, escáner, etc.), previendo una mejor transportabilidad y cuidado de estos. Siendo necesario este análisis para poder escoger el tipo de procesamiento que se dará, para determinar el uso o no de elementos de referencia.

1.4. Gestión y procesamiento de datos.

La gestión de datos estará dispuesta en base a los entregables que se hayan definido en la determinación de objetivos, entre estos podríamos encontrar:

- Nube de puntos
- Modelado geométrico
- Mixturado Nube + Modelado

Este proceso de escaneo, conlleva a una interrelación del trabajo de campo con el trabajo de gabinete, debido a que la cantidad de detalle configurado al momento del escaneo, reflejará la calidad del modelo según los requerimientos del proyecto, esta consideración debe tomarse en cuenta como punto de partida debido a que marcará los requerimientos computacionales necesarios durante el transcurso del procesamiento de información.

Se debe tomar en cuenta que, al configurar una mayor calidad, el proceso de levantamiento tomará más tiempo, por lo que se debe equilibrar esta fase en base a la necesidad de los productos, junto con la planificación inicial para coordinar un número de escaneos y su programación temporal en base a la duración de las baterías del equipo.



Trabajo de Campo



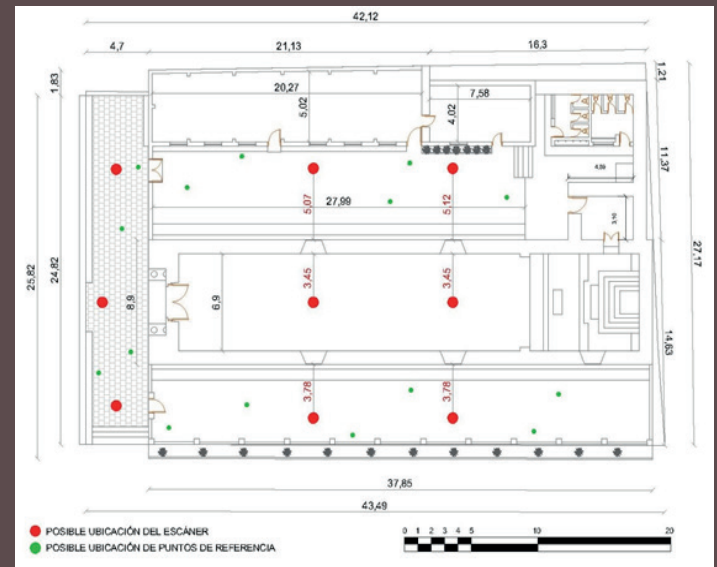
Para la gestión de las condicionantes de levantamiento se deben estimar condicionantes tanto de posicionamiento de los equipos como de la configuración del escáner para cada escena.

Para la gestión de las condicionantes de levantamiento se deben estimar condicionantes tanto de posicionamiento de los equipos como de la configuración del escáner para cada escena. Los objetos pueden ser utilizados para el escaneo como puntos de referencia son dianas (elementos fijos que se adhieren a superficies metálicas) y esferas (elementos móviles que se pueden trasladar manteniendo un orden para el solape de planos escaneados), debido a la alta reflectividad de los mismos.

Las esferas al ser objetos de alta reflectividad, son consideradas como referencias artificiales para el registro de nubes de puntos, pero, también pueden considerarse referencias naturales, mismos que son elementos fijos existentes en el sitio del levantamiento, estos necesitan presentar formas geométricas distinguidas, con gran presión en su forma. Se deberá indicar en el programa, su forma y diámetro, además de tener en cuenta que el objeto debe ser claro en el escaneo. Solo se deben usar las referencias naturales cuando se está seguro de las dimensiones y forma exacta, sino NO arriesgarse.

2.1. Trabajo de Gabinete previo salida a campo

Para un proceso optimizado en tiempos y número de escenas, se deberá llevar a cabo un bosquejo donde se establezca un croquis del objeto a levantar, planificando las posibles estaciones de escaneo, esta planificación permite acortar el número de escenas y llevar un control de ubicación de puntos de referencia, haciendo así, que se optimice el manejo y movilidad de los equipos. Además, previa salida, siempre se deberá llevar un control completo por listado de los equipos considerados necesarios para el levantamiento, junto con los dispositivos de almacenamiento, comprobando en estos, la disponibilidad de espacio para albergar los datos del proyecto.



Croquis planteado previo al Levantamiento de Información
Fuente: Elaboración Propia





2.2. Estacionamiento del Equipo

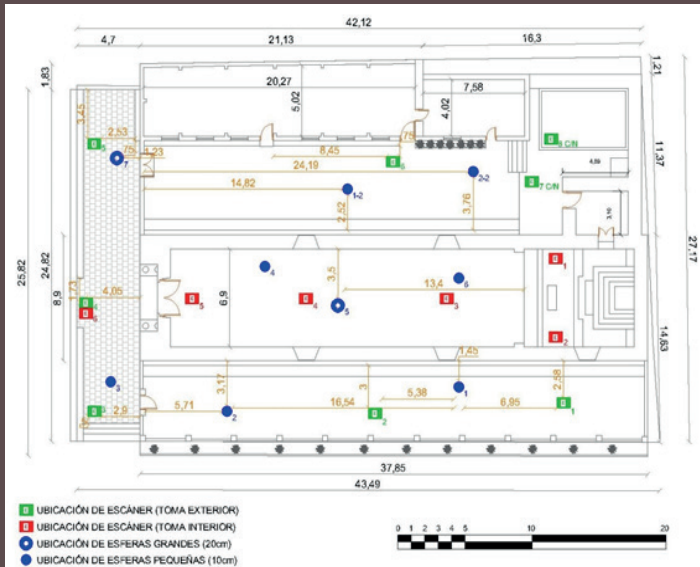
Los equipos usados en el escaneo se colocan en el terreno sobre trípodes de movilidad manual, la ubicación de estos dependerá de las condicionantes del terreno, por lo que si el escaneo se realizará en un terreno accidentado se deberá usar un trípode de anclaje con base nivelante.

Se tomará en cuenta que la altura del trípode del escáner, al tener extendidas completamente sus patas, puede levantar una altura de hasta ocho pisos, en base a esto configurar la altura del escáner en cada posición de las escenas.

Al momento de estacionar el escáner, previo a la iniciación del escaneo se deberá revisar que la tarjeta de memoria se encuentre conectada en la posición correcta y desbloqueada. Para esto se deberá realizar la revisión con el equipo apagado evitando posibles riesgos de desconfiguración del escáner.

El punto de partida para iniciar la exploración de estaciones será realizar un **Análisis del área**, el cual contará de:

- Elaborar un croquis de levantamiento en sitio.
- Definir los espacios mínimos a levantar.
- Identificar si el escaneo presenta un perfil interior o exterior.
- Determinar las condicionantes del terreno.
- Describir las condiciones ambientales y entorno (clima, lluvia, viento, vibraciones).
- Planificar escenas en base a la superficie del proyecto.



Croquis planteado in situ para el Levantamiento de Información
Fuente: Elaboración Propia

2.3. Determinación de las posiciones óptimas para el equipo de escaneo

Al proyectar un escaneo como elemento de levantamiento para un proceso de documentación, se deberán considerar tanto las posibles ubicaciones del escáner láser, como las de los puntos de referencia que se vayan a utilizar, las mismas que deberán garantizar la precisión del levantamiento.

Al plantear las posibles estaciones del escáner se deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Analizar que las estaciones garanticen una máxima cobertura, sin interrupciones
- Comprobar la precisión según el alcance del escáner y el nivel de detalle necesario (A mayor distancia, se obtiene menor precisión y resolución).
- Minimizar el número de inicializaciones (estaciones de escaneo).
- Colocar la elevación del escáner sobre el suelo (trípode) dependiendo que altura del paramento (objeto) que se va a escanear.
- Garantizar la visibilidad de puntos de referencia natural o artificial.

De la misma forma que con el escáner, los puntos de referencia que se establezcan también tendrán algunos parámetros a considerar que son:

- Siempre ubicar las esferas en zigzag con referencia a la posición del escáner, jamás se deben colocar de forma lineal porque la escena pierde puntos de referencia.
- Al manejar dos diámetros de objetos de referencia se deberá colocar las esferas grandes alejadas al punto de escaneo y ubicar las pequeñas en las zonas intermedias.
- En la nota de campo se debe nombrar las esferas en base a cada escena, estas serán referenciadas en pares de escaneos para identificarlas en la unificación de escenas.
- Establecer un mínimo de tres puntos de referencia entre pares de escenas, con una mayor cantidad de referencias disminuye el error.



Fotografía del Levantamiento de posiciones de Objetos de Referencia
Fuente: Elaboración Propia

2.4. Consideraciones para unificar proyectos con diferente cronología

En ocasiones el trabajo se verá interrumpido por distintas circunstancias, por las cuales se deberá parar el levantamiento para retomar después, las principales consideraciones a tomar en cuenta serán:

- Colocar coordenadas en cada esfera, la opción ideal sería usando un GPS de precisión puesto que garantiza fallas milimétricas.
- Ubicar distintivos en los puntos a reconocer como pintura, estacas, o establecer puntos fijos con marcas.
- No utilizar GPS estacionario, debido a que genera un error de 5m por no tener red geodésica propia.
- Garantizar al menos cuatro puntos de referencia para evitar la necesidad de traslape de puntos.

Preparación y toma de Datos



3.1. Ajustes del Escáner

Al dar paso al proceso de toma de datos, se necesita configurar el equipo bajo parámetros de escaneo que permitan un mejor y más exacto levantamiento, en base al área u objeto que se encuentre en proceso de documentación.

PROCESO PARA LA CONFIGURACIÓN DE PROYECTOS EN EL ESCANER LÁSER FARO FOCUS 3D

Una vez determinada la posición óptima del equipo, se deberá encenderlo y seguir la siguiente secuencia para la creación de un nuevo proyecto:

Administrar → Proyectos → + (Crear proyecto)
La nueva configuración se creará en la opción "Nombre del Proyecto"

- Considerar que, para la creación de un proyecto nuevo, se deberá ingresar la latitud aproximada del sitio de levantamiento (por medio de referencias de google, GPS o vista de fotografía satelital con coordenadas).

- Para levantamientos dentro de la ciudad de Riobamba se podrá usar la latitud aproximada de -1.6522.

- Si se plantea el uso de un GPS móvil, se verificará que éste se encuentre establecido en el sistema WGS 84.

3.1.1. Determinación de la Superficie:

El Faro Laser Scanner Focus 3D 130, presenta un campo de visión vertical/horizontal de 360°/305°, que se pueden modificar según la definición del área que se necesita escanear.

Se deberá siempre revisar la configuración de los ángulos, ya que el escáner ubica la configuración de escaneo anterior como predeterminada para próximos escaneos.

Las áreas de escaneo se establecerán en grados, ajustando los ángulos de levantamiento en sentido horizontal y vertical, considerando la disposición del escáner sobre el suelo donde no habrá puntos de levantamiento. De este modo los ángulos admisibles estarían contenidos en el siguiente rango:

Vertical: -62.5° a 90°

Horizontal: 0° a 360°



Fotografía de la apertura Angular del Levantamiento
Fuente: Elaboración Propia

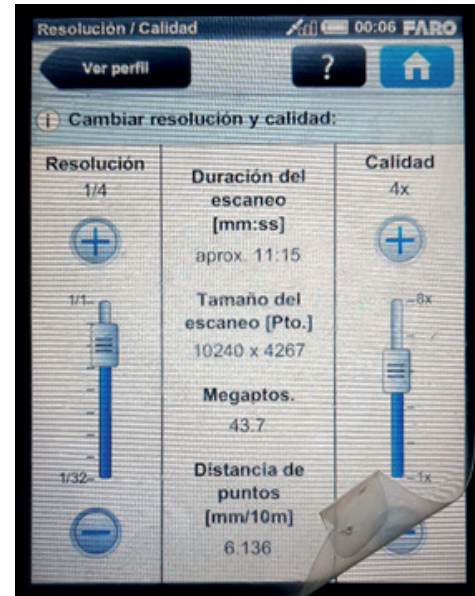


3.1.2. Resolución

La resolución corresponde a la distancia entre 2 puntos, de esta dependerá la densidad de la nube de puntos, se debe tomar en cuenta que la resolución será directamente proporcional a la calidad del escaneo.

Según el tipo de superficie y el detalle necesario, la configuración de resolución tomará los siguientes rasgos:

- Superficies uniformes: Menor cantidad de puntos, por correspondencia necesitará una menor resolución y tiempo de captura.
- Superficies irregulares: Necesidad de levantar una mayor cantidad de puntos, donde demandará una mayor resolución, tiempo y datos de almacenaje.





3.1.3. Filtrado Inicial

Esta acción permite retirar errores al momento del levantamiento, por medio de filtros primarios que depuren el escaneo, estos son:

Contorno nítido, este filtro elimina los errores usuales presentes en los bordes de los objetos que llegan a producir la obtención de mediciones incorrectas.

Cielo nítido, sirve para eliminar aquellos puntos que se originan al no tocar ningún objeto, lo cual es un error usual al escanear el cielo.

3.1.4. Rango de Distancia

El rango de distancia corresponde a la longitud existente entre el objetivo y la posición del escáner, y permite la configuración de los siguientes parámetros de distancia:

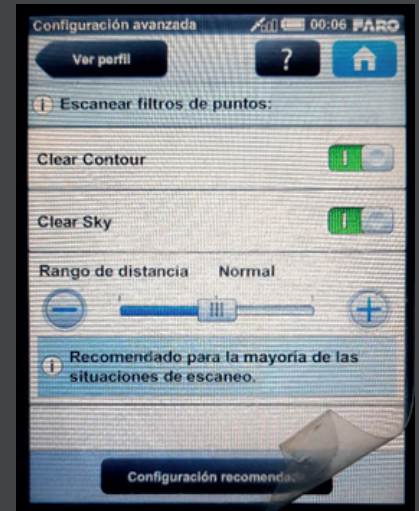
- Cercano: Usado para escanear objetos muy reflectores hasta 10m de distancia.

- Normal:

Rango predefinido para la mayoría de escaneos.

- Largo: Para escanear objetos a 130m (distancia total permitida).

Fotografía
Configuración de
Filtros y Rango de
Distancia
Fuente: Elaboración
Propia

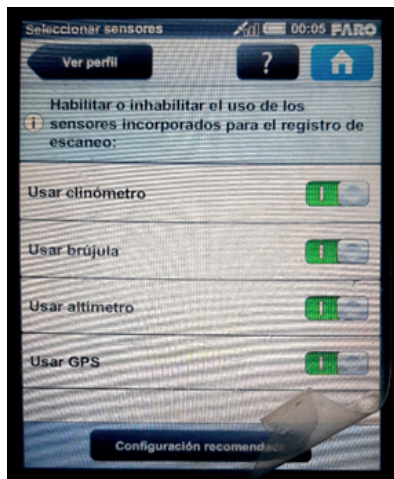


3.2. Parámetros de Perfil

Al realizar la configuración del perfil es necesario realizar una evaluación del objeto para determinar si el perfil es interior o exterior, esto definirá la base de la configuración y los entregables. Se tomarán a consideración algunas opciones de configuración, de las que se debe llevar un registro por escena si se ha realizado algún cambio en sus parámetros, estas son:

- Clinómetro
- Altimetro
- Brújula
- GPS
- Color

Estas se deberán mantener activadas como recomendación y llevar apuntes por escaneo si se llegase a desactivar alguna, necesario para tomar en cuenta al ingresar los datos de escaneo al software, además el escaneo con color se deberá usar siempre, sólo se desactivará al generar un escaneo en lugares oscuros.



Fotografía Parámetros de perfil activados
Fuente: Elaboración propia

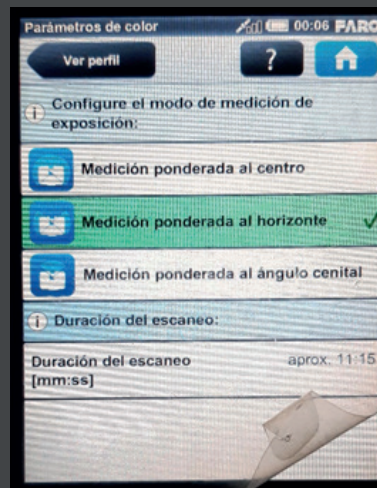
3.3. Ambigüedad de Distancia.

Es un error que se presenta al trabajar en una distancia promedio de 50m, donde reflejan separaciones de puntos entre 5mm y 50mm. Para eliminar este error, dentro del modelado se genera una triangulación o un reconocimiento de formas primitivas a través de un mallado, generando una mayor densidad de puntos.

3.4. Medición Ponderada.

Se trata del tipo de iluminación que va a percibir el escáner durante el proceso de escaneo, será configurada en base al clima y horario del mismo.

Se debe evitar trabajar al momento en el que el sol se encuentra en su máximo punto de radiación (12-13 pm), debido a que la gran radiación del horario afecta a los aparatos electrónicos y aumenta el error de medición.



Fotografía Parámetros de Medición Ponderada
Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Medición Ponderada al Angulo Cenital

Se aplica cuando la cámara use información de la luz que proviene de arriba, por ejemplo, se usa cuando la luz proviene de ventanas; este tipo de medición prolonga el escaneo 14 segundos.

Reconoce a la luz que ingresa de forma lateral o desde la parte superior, pero no a 90°, por lo que este tipo de medición es más recomendable para espacios cerrados. Además, considerar que cuando la medición se presenta muy cercana al horizonte, desde esta línea se debe proyectar una entrada lumínica entre 30 y -30° para evitar errores.

3.4.2. Medición Ponderada al Horizonte

Se usa cuando hay una fuente de luz que proviene desde la parte superior y es más brillante, como la luz solar, por ejemplo.

Esta es recomendada para exteriores cuando la Luz solar esté en su máximo punto, en todo su esplendor permitiendo entradas lumínicas a 90° en un horario de 12pm.

3.4.3. Medición Ponderada al Centro

Aplicada cuando la cámara usa información de la luz de toda la escena y la promedia. La iluminación que se genera es pareja en cualquier punto.

Será recomendada para cualquier toma exterior, donde el sol no se encuentre en su máximo esplendor (12-13pm), por lo que será la configuración predeterminada para levantamientos exteriores.



TABLA MODELO DE CONFIGURACIÓN DE ESCANER POR ESTACIÓN

REGISTRO DE CONFIGURACIÓN DE ESCANER

PERFIL IN

N° Escaneo	Resolución	Calidad	Distancia entre puntos (mm)	Duración de Escaneo (min)	Megaptos	Tamaño del Escaneo	Ángulos de escaneo		Brújula
							Ángulo Vertical	Ángulo Horizontal	
1	1/4	4x	3,068	11:15	43,7	10240x4267	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
2	1/4	4x	3,068	11:15	43,7	10240x4268	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
3	1/5	4x	7,670	8:40	28	8192x3414	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
4	1/4	4x	6,136	11:15	43,7	10240x4267	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
5	1/4	4x	6,136	11:15	43,7	10240x4268	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
6	1/2	3x	3,068	18:24	174	2080x8534	-60° a 90°	0° a 180°	Activado

PERFIL EX

1	1/5	4x	7,67	8:40	28	8192x3414	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
2	1/5	4x	7,67	8:40	28	8192x3414	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
3	1/4	4x	6,136	11:13	43,7	10240x4267	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
4	1/5	4x	7,67	8:40	28	8192x3414	-60° a 90°	0° a 180°	Activado
5	1/4	4x	6,136	11:13	43,7	10240x4267	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
6	1/5	4x	7,67	8:40	28	8192x3414	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
7	1/5	4x	7,67	8:40	28	8192x3414	-60° a 90°	0° a 360°	Activado
8	1/2	3x	3,068	18:24	174	2080x8534	-60° a 90°	0° a 180°	Activado

EO POR ESCENA - IGLESIA DE BALBANERA

INTERIOR

Sensores			Parámetros de Color			Parámetros Avanzados		
	Clinómetro	Altimetro	GPS	Escaneo con color	Medición de Exposición	Cielo Nítido	Contorno Nítido	Rango de Distancia
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Ángulo Cenital	Activado	Activado	Cercano
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Ángulo Cenital	Activado	Activado	Cercano
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Ángulo Cenital	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Ángulo Cenital	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Ángulo Cenital	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal

EXTERIOR

o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal
o	Activado	Activado	Activado	Activado	Med. Ponderada al Horizonte	Activado	Activado	Normal

Registro y Georreferenciación



Al realizar un proceso de documentación, generalmente el objeto a levantar presenta dimensiones que harían imposible realizar un solo escaneo para obtener los datos necesarios de levantamiento, por lo que será necesario obtener varias escenas para obtener un modelo completo del objeto a documentar.

Una vez obtenidos los datos computacionales de todos los escaneos realizados al objeto, se procede a la combinación de las nubes de puntos de cada escena, este proceso se realiza bajo técnicas de registro que permiten obtener una nube de puntos unificada, cada uno de estos escaneos se genera en torno a puntos que se definen a través del sistema de coordenadas que presenta el equipo, permitiendo así obtener una nube completa y precisa.

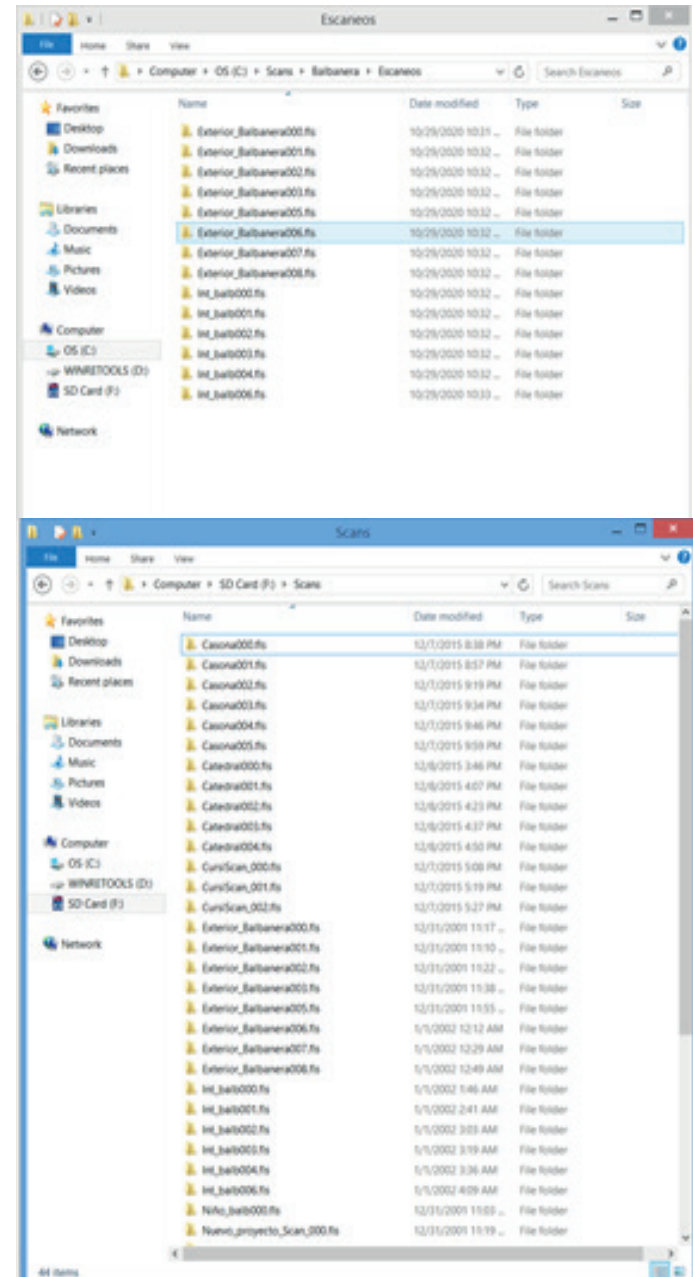
La selección de técnicas de registro se hará en base al levantamiento realizado en campo, según la configuración del equipo, el estacionamiento de escenas, y la calidad del levantamiento. Estas podrían ser directa o indirecta, según los elementos usados al momento del levantamiento, definiendo puntos de referencia, número de elementos en común entre escaneos, o la utilización de otros equipos que colaboren al escaneo.

PROCESO DE IMPORTACIÓN DE ARCHIVOS PARA LA OBTENCIÓN DE NUBE DE PUNTOS

Cada una de las escenas planteadas durante un proceso de escaneo, brindan una carpeta autónoma con datos de levantamiento por planos que llevan la extensión FLS, de este modo, todas las carpetas resultantes, deben ser llevadas a un

proceso de unificación de escenas dentro del software Trimble RealWorks Advance 10.4, con el objetivo de obtener una nube de puntos general del objeto en formato RWP, siguiendo la siguiente secuencia:

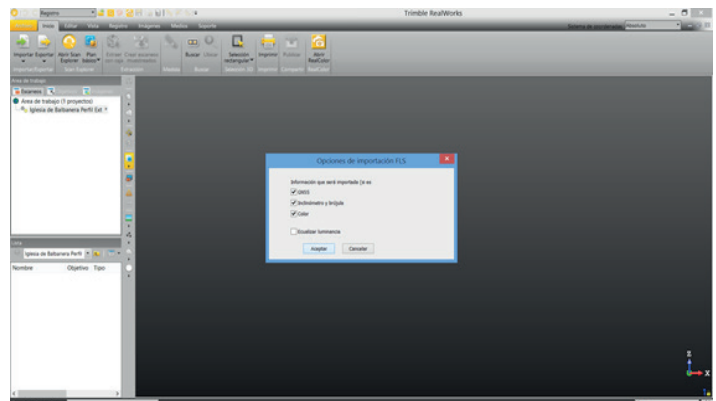
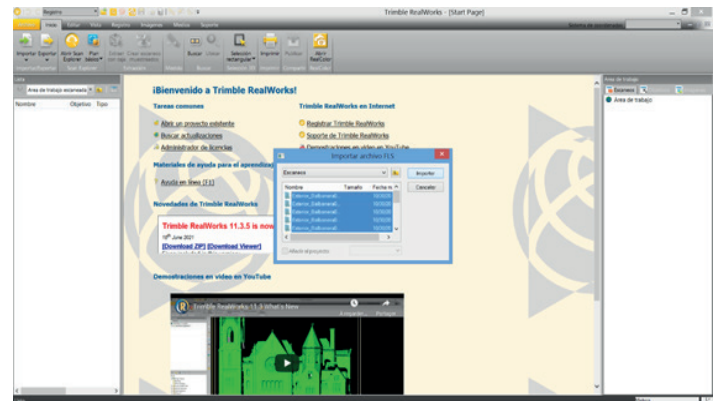
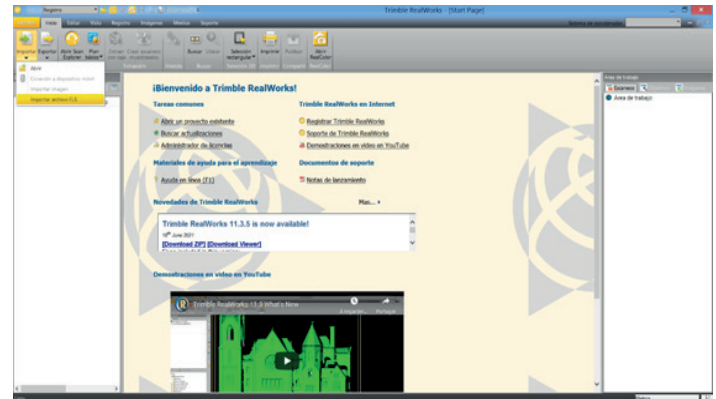
- Descargar archivos FLS desde la tarjeta del escáner en la carpeta Scans del disco local C.



- Abrir el programa RealWorks y hacer clic en la opción importar, luego importar FLS.

- Buscar y seleccionar todos los archivos FLS correspondientes a los escaneos que busquemos unificar, una vez seleccionados damos clic en importar

- Activar los sensores para importar los archivos fls y convertirlos en rwp





4.1. Técnica de Registro Directa

Se aplica bajo una configuración del escáner que esté determinada sobre puntos de control definidos. Por lo que requerirá de una base técnica para la posición y orientación del escáner láser. Por tanto, está técnica reduce el número de elementos de referencia y no necesita un traslape de puntos entre planos de escaneo, evitando los requerimientos de configuración.

4.2. Técnica de Registro Indirecta

4.2.1. Registro Objeto a Objeto

Se centra bajo el proceso de escaneo de objetivos bajo un sistema de puntos de referencia. Para el establecimiento de estos objetivos (esferas, dianas, etc.), se debe configurar en el software el tamaño del objetivo más grande; en el caso de utilizar esferas, se debe configurar el

reconocimiento bajo un diámetro de 0.20m, debido a que el diámetro mayor normaliza las otras esferas más pequeñas (0.10m).

De este modo, al presentar una mayor cantidad de puntos de referencia, el error que pudiese llegar a producirse sería minúsculo, para esto, se deben marcar al menos 3 pares de puntos correspondientes en ambas nubes.

4.2.2. Registro Nube a Nube

Se realiza en procesos de escaneo donde no se hayan considerado usar puntos de referencia para el procesamiento de la nube, por ende, la unificación se la realizará a través de la similitud de planos y el porcentaje de puntos que compartan entre sí, considerando un mínimo de 30% a 40% de solape entre planos.

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE REGISTRO

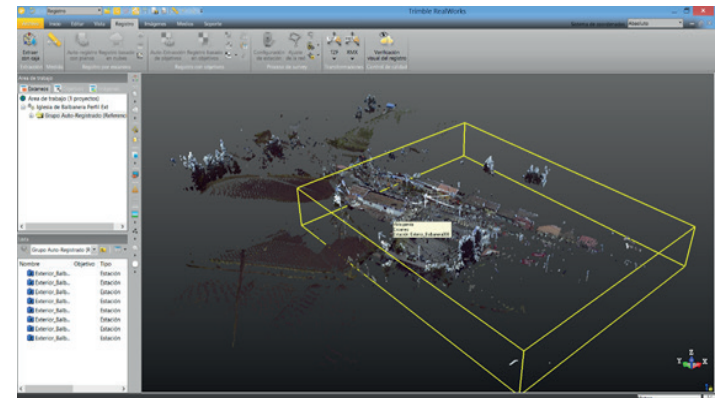
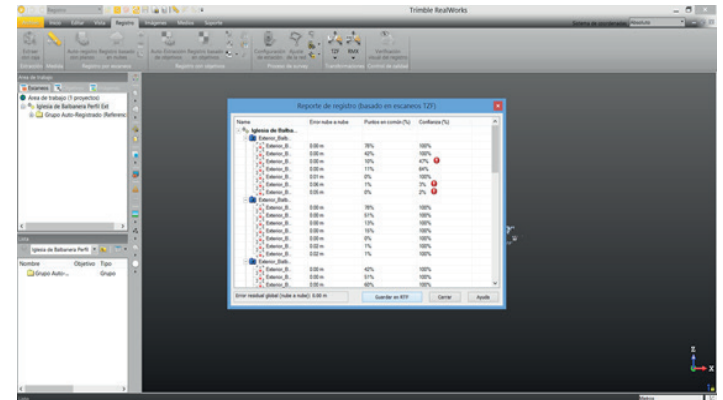
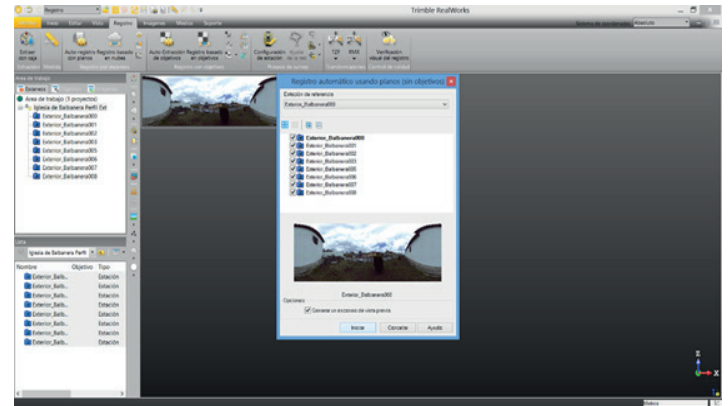
Este proceso nos permite unir todos los archivos obtenidos del escáner en una sola nube de puntos, para lo cual, una vez importados los archivos FLS y analizado los porcentajes de traslape y error, se deberá seguir con la siguiente secuencia:

Revisar cada escaneo importado y activar todas las carpetas de escaneo para generar un registro con un escaneo de vista previa, en este caso se ha usado un registro por planos, debido a la confiabilidad del traslape que presenta el escaneo.

Se seleccionarán los archivos y en la pestaña Registro, se dará clic en la opción auto registro con planos.

- Analizar el porcentaje de traslape entre escenas y el error nominal, exportar el informe de registro como archivo de block de notas.

- Posterior al análisis y exportación del informe, se procede a obtener la nube de puntos cruda con los datos de los escaneos.



Nota: El proyecto es no editable una vez que esté en fase de registro.

Procesamiento de la Nube de Puntos



El procesamiento de la nube de puntos se realiza en base a la necesidad de obtener una nube depurada de elementos que no sean necesarios para el producto que se busca obtener dentro de los objetivos de entregables. Esta nube procesada se puede identificar con diferentes formatos:

- Nube de puntos depurada.
- Planos 2D (planos, elevaciones, secciones, entre otros).
- Modelados 3D texturizados

5.1. Representación de la Nube de Puntos

El equipo de escaneo permite obtener una gran cantidad de puntos establecidos en el espacio, cada uno con coordenadas específicas resultantes del choque del láser con el objeto escaneado, por lo que garantiza una gran precisión en el manejo de información para documentación arquitectónica.

Este proceso brinda resultados con información de color en valores RGB, dónde en primera instancia al obtener una nube unificada con datos crudos, se puede tornar difícil el manejo de tanta información existente, por lo que se puede generar diversas representaciones en base a colores que faciliten la identificación de elementos para la visualización y depuración de la nube.

5.2. Depuración

La depuración es una acción que permite corregir o eliminar puntos mediante diversos parámetros de ajuste dentro de la configuración del software, esta puede trabajar por medio de filtros: por intensidad, por radio, superposición, etc.

Estos filtros examinan los puntos levantados durante el escaneo, si estos puntos presentan características de inexactitud al ser sometidos a una comparativa con los puntos del área del objeto, entonces el punto se elimina.

5.3. Muestreo

Los muestreos son técnicas que permiten la optimización de la nube de puntos generando una depuración de puntos donde se pueda eliminar puntos innecesarios, debido a que una densidad muy alta de puntos demandaría demasiados recursos informáticos al pasar a la fase de mallado, puesto que, produciría una cantidad sobredimensionada de triángulos durante el proceso. Se debe considerar que en un escaneo se puede tener más de veinte millones de triángulos, por lo que el muestreo permite reducir la densidad de puntos y proporcionalmente de triángulos, por lo que se realiza con el objetivo de generar una nueva nube de puntos que sea más manejable y amigable con el consumo de recursos informáticos.

Las técnicas de muestreo que nos permite usar el software Trimble RealWorks 10.4 son:

- **Espacial:** Establece una distancia entre puntos homogénea entre todas las nubes obtenidas, debido a que éstas generalmente tienen diferentes densidades de puntos entre escaneos.

- **Aleatorio:** Usa una relación porcentual de densidad de puntos entre nubes para generar la cantidad puntos a mantener de la nube original.

- **Basado en el escaneo:** Elimina el exceso de puntos coincidentes entre una y otra nube.

- **Basado en intensidad:** Es un muestreo establecido por el color de la nube (refleja la densidad de puntos), donde establece rangos de valores entre 0 (color rojo) y 255 (color azul), para la creación de una nueva nube con una densidad de puntos equilibrada.

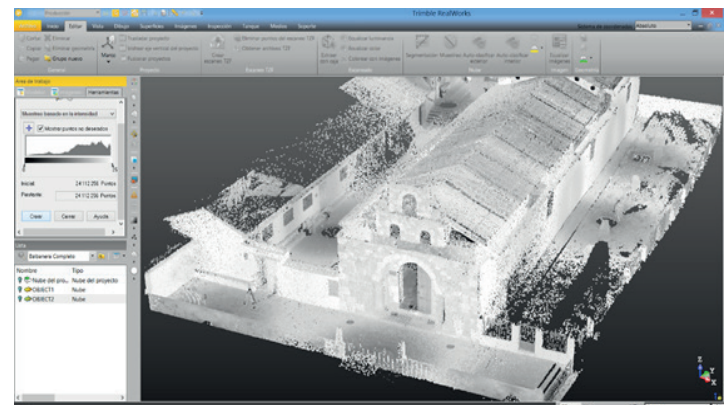
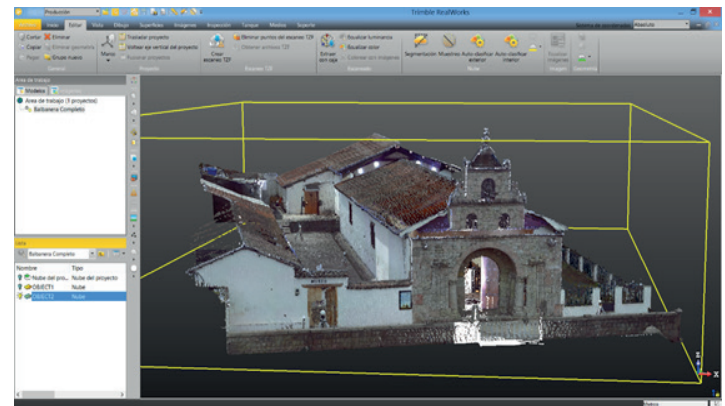
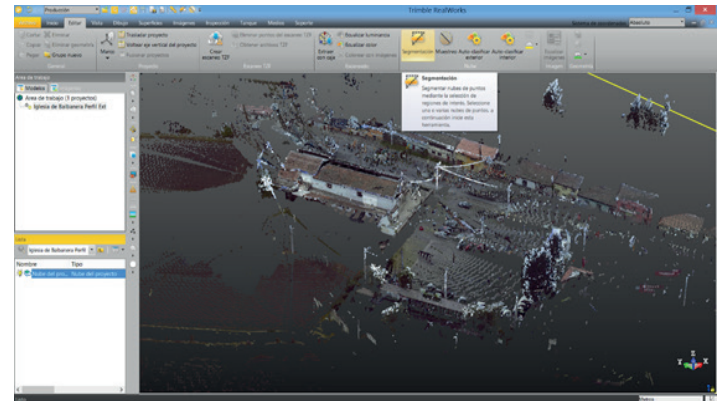
- **Basado en discontinuidad:** Se aplica para eliminar imperfecciones ocurridas cuando los puntos generan aristas o brechas.

PROCESO DE DEPURACIÓN Y MUESTREO DE NUBE DE PUNTOS

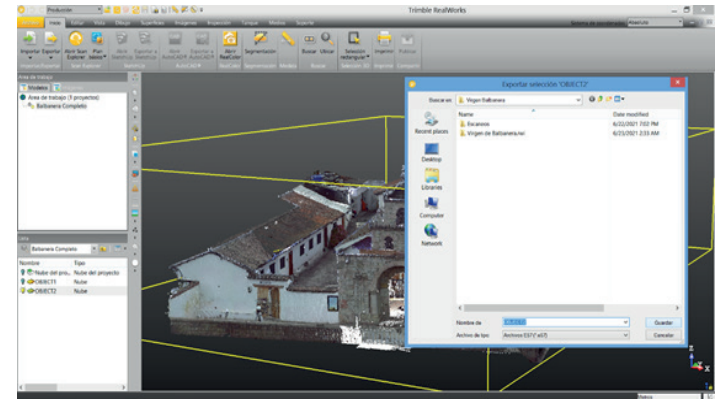
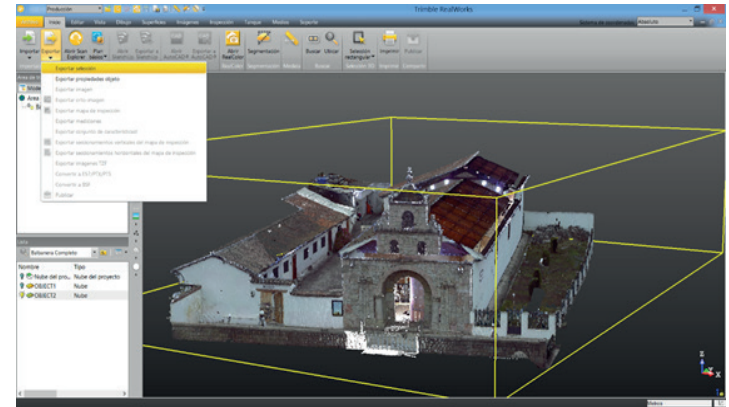
Una vez obtenida la nube de puntos cruda, se empezará la segmentación, para lo cual se deberá encender la nube de puntos y cambiar el tipo espacio de trabajo de Registro a Producción. Luego, se dará clic en la pestaña editar y se escogerá la herramienta segmentación

El proceso de segmentación, se usará para eliminar todos los elementos que estén demás en la nube de puntos hasta dejar un elemento libre de imperfecciones

Una vez depurado el elemento, se procede a generar muestreos que permitan la eliminación de puntos coincidentes. Para esto, dentro de la pestaña editar se escogerá Muestreo, y en los parámetros se configurará el tipo de depuración a realizar.



- La nube de puntos completamente depurada se deberá guardar e exportar como un documento .e57 para su posterior importación en un software BIM. Para esto, con la nube seleccionada, se deberá dar clic en la pestaña inicio, luego en la opción exportar y posteriormente en exportar selección, se escogerá el destino y en tipo de archivo se colocará .e57



5.4. Mallado

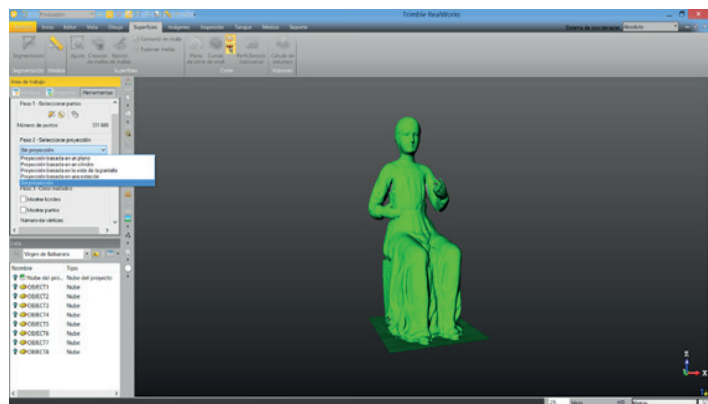
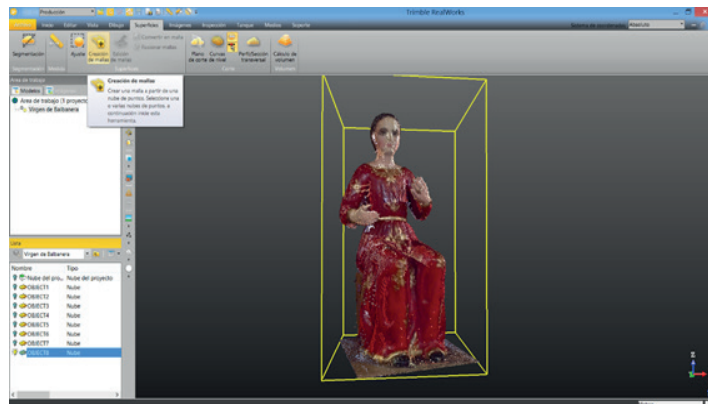
Es un proceso que se usa para generar mallas a partir de nubes de puntos, donde sus conexiones pueden ser por medio de triángulos o cuadriláteros, para la creación de ñas mallas establece un criterio donde un punto puede estar en una sola esfera circunscrita de un triángulo del mallado, no deben coincidir puntos en otra esfera del modelado.

GENERACIÓN DE MALLADO DE ELEMENTOS A DETALLE

Si dentro del análisis se establece la necesidad de obtener superficies de elementos como esculturas o fachadas a detalle, se puede configurar un mallado por triangulaciones.

Para este proceso se deberá seleccionar la nube depurada completamente, posteriormente se dará clic en la pestaña superficies y elegirá la opción Creación de Mallas

Si se necesita obtener un mallado de un objeto escultórico como en este caso, deberá seleccionar la nube de puntos y elegir un mallado sin proyección, además, podrá realizar una vista previa de la malla creada al desactivar la opción “mostrar nube”. Una vez aprobada, se procederá a la creación del mallado en la opción crear.



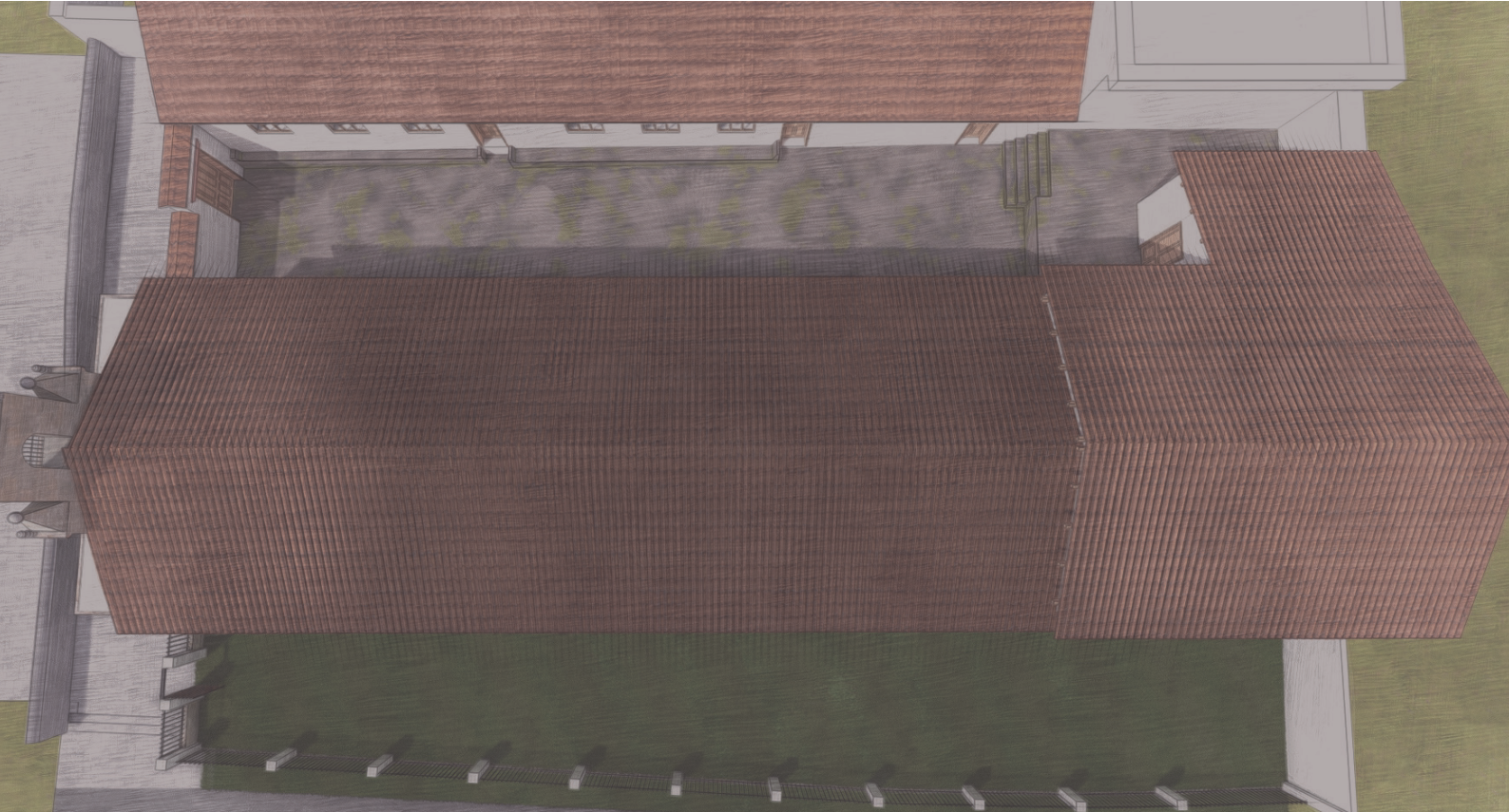


5.5. Eliminación de vacíos

Debido a la ubicación del escáner en distintas posiciones, el escaneo puede llegar a producir zonas donde no se encuentren puntos, de este modo, es necesaria una eliminación de vacíos que se identifican como huecos dentro de la nube de puntos por falta de datos.

Estas zonas vacías, que no contienen información, se pueden rellenar de forma plana, conectando bordes con triángulos o utilizando una superficie curva, haciendo que estos triángulos se usen tanto en la creación de los bordes como en el relleno de los vacíos, a través de una superficie suave.

Generación del Modelo BIM

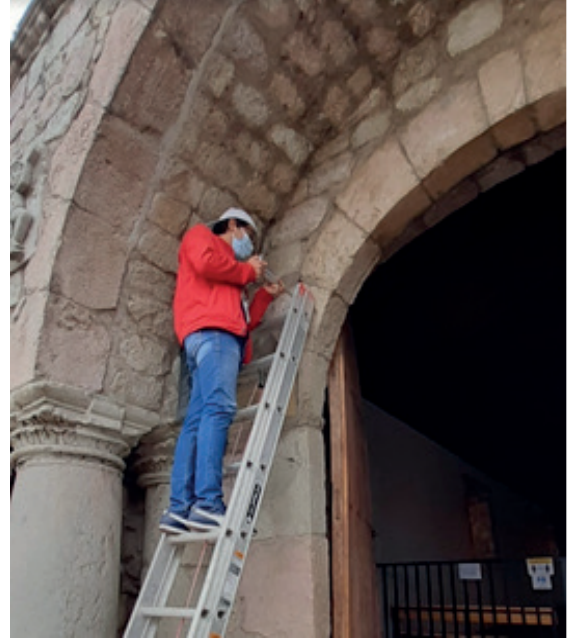


6.1. Evaluación de materiales en campo

Considerando que el modelado BIM no solo es la creación y asignación de superficies, como condicionante para la generación de un modelado BIM real, se debe tener en cuenta que los materiales de construcción serán útiles desde el modelamiento hasta la cuantificación de obra de los distintos componentes de la construcción como forjados, muros, vigas, ventanas, puertas, cubiertas, etc.

Esta información es usada para la documentación arquitectónica, y de igual manera, la caracterización de estos materiales será indispensables al momento de exportar el modelado para el análisis estructural.

·En este procedimiento se realizó una visita a campo para definir la materialidad de cada elemento constructivo, bajo esta consideración, y con la ayuda de un esclerómetro, se procedió a realizar ensayos a compresión en cada material de la iglesia, para obtener valores referenciales de carga que nos permitiesen identificar sus demás características en la NEC. Estos coeficientes serán utilizados posteriormente para caracterizar e identificar materiales y sus resistencias, al ingresar la información inter-operativa entre los softwares ArchiCAD y DIANA.





6.2. Configuración Inicial

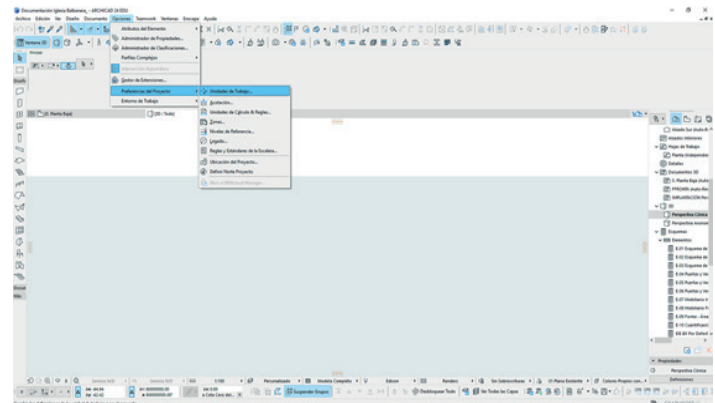
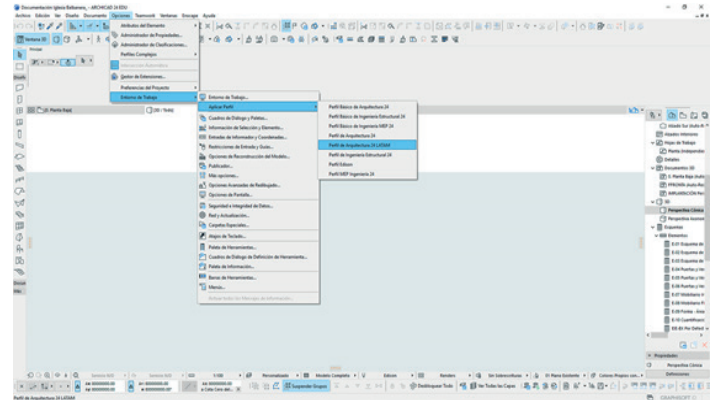
El programa por el cual nos hemos inclinado para la generación del modelo BIM, será ArchiCAD 24 EDUCACIONAL, la ventaja de este software es la interoperabilidad y lectura de formatos que lo hace sumamente útil a la hora de importar y exportar información entre distintos programas.

La configuración inicial del programa es importante, ya que esta será la que nos facilitará la utilización del software durante todo el proceso de generación del modelo BIM, por tal razón los aspectos iniciales de gran importancia como, unidades y entorno de trabajo, altura de pisos e información general del proyecto, serán fundamentales para empezar el proceso de modelamiento.

Configuración Inicial del Entorno de trabajo

Configuración de Unidades de Trabajo

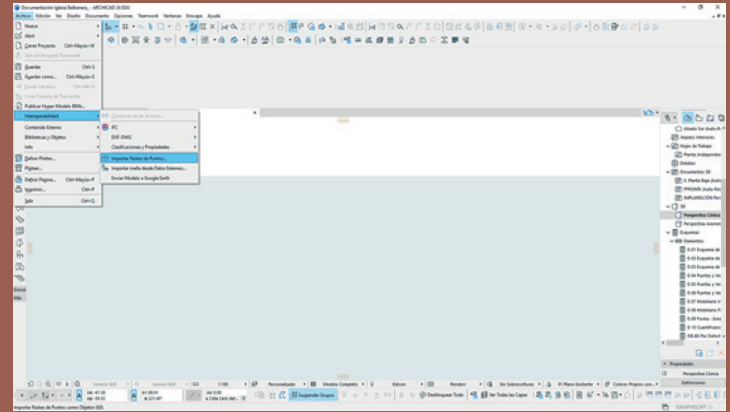
Por defecto ArchiCAD maneja una configuración basada en normas y unidades de países extranjeros, por lo cual, es necesario realizar una configuración inicial de este proceso; en este caso, se ha trabajado con un perfil previamente configurado de tal forma que las herramientas de diseño, unidades de medida y plumillas de representación gráfica, nos ayuden a sistematizar el proceso de modelamiento.



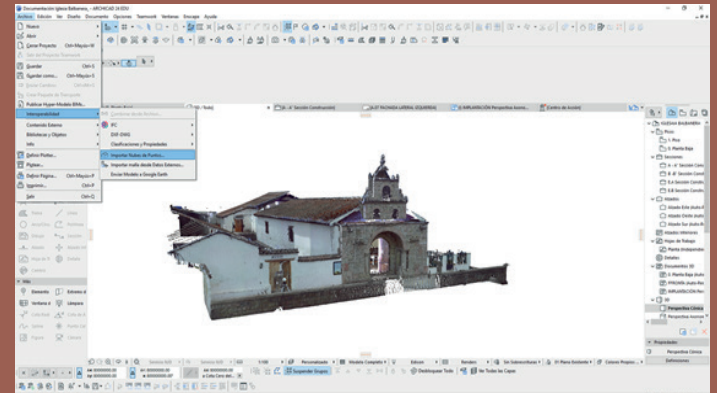
6.3. Importación de Nube de Puntos

Una vez generada la nube de puntos en el programa Trimble RealWorks, procederemos a importar hacia ArchiCAD, este procedimiento se lo podrá realizar una vez generada la configuración inicial; la nube de puntos se convertirá en la base para el modelamiento de la iglesia, lo beneficioso de este procedimiento, es que permite al modelador la obtención de aristas e intersecciones de referencia, que son de gran utilidad para un modelamiento preciso.

Existen un sin número de formatos para la lectura de nubes de puntos, ArchiCAD por defecto, reconoce 2 formatos: .xyz y .e57, en el presente estudio se empleó el formato .e57, debido a que Trimble RealWorks exporta este formato permitiendo interoperabilidad con ArchiCAD, la nube de puntos se emplazará georeferenciada en el espacio de modelo tanto en coordenadas como en elevaciones bajo el sistema de coordenadas configurado por el escáner laser.



Importación de Nube de Puntos

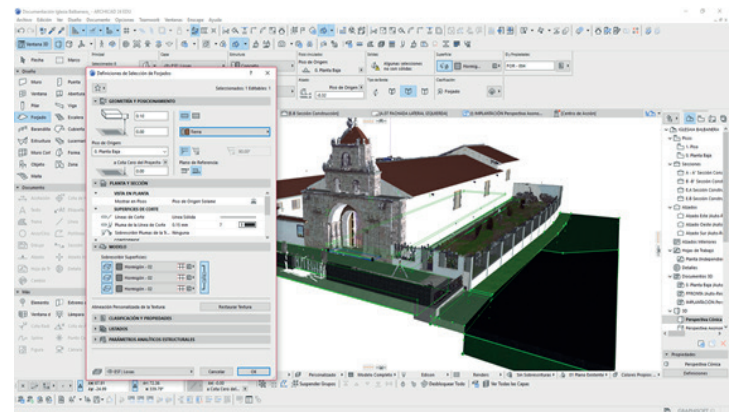


Resultado de la Importación de la Nube

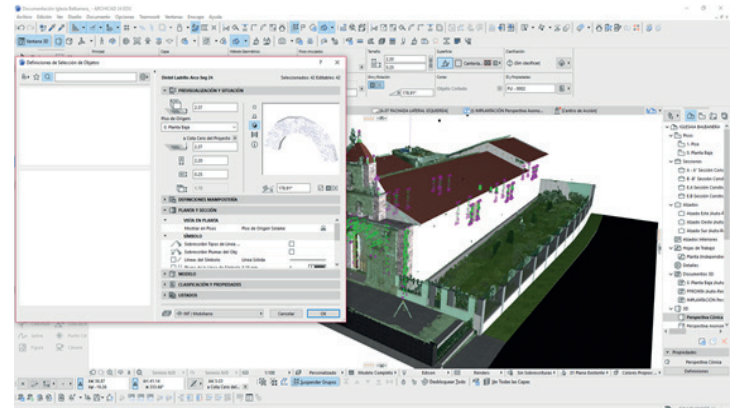
6.4. Modelado

En el modelado BIM intervienen 2 factores importantes del diseño, el primero es la herramienta de diseño entre las cuales se encuentran: forjados, muros, ventanas, vigas, columnas, puertas etc. Estas herramientas de diseño van a la par con su caracterización, en este proceso se podrá definir cualidades de materialidad, superficies, material de construcción, representación en 2D y 3D etc. Para el correcto proceso de modelado se deberá utilizar las distintas vistas que permite el programa: Vista en planta, en alzado, en sección y ventana tridimensional.

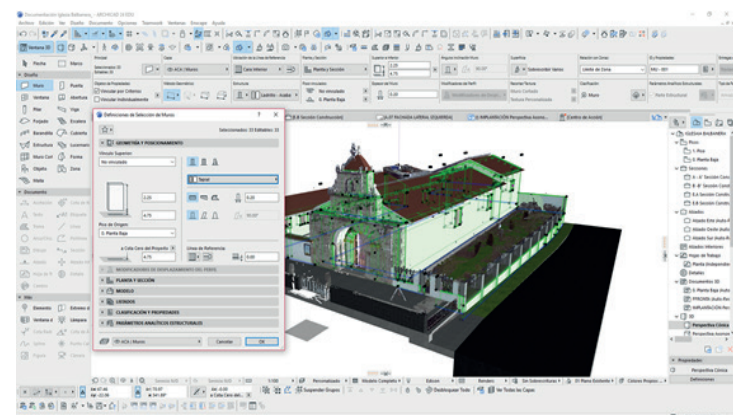
A continuación se puntualiza un listado de elementos necesarios para obtener un modelo con información a detalle.



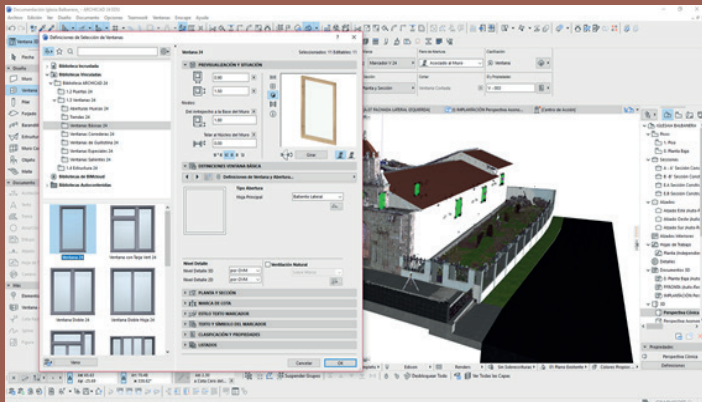
Importación de Nube de Puntos



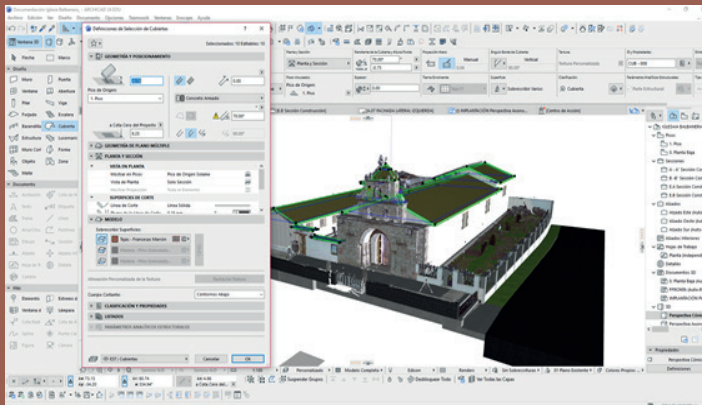
Modelamiento de Elementos estructurales



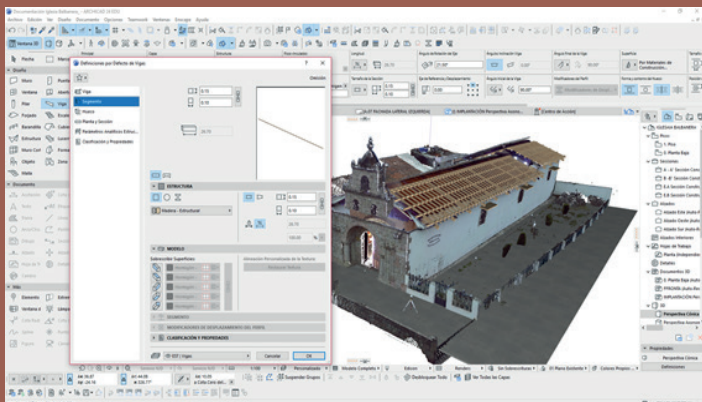
Modelamiento de Muros



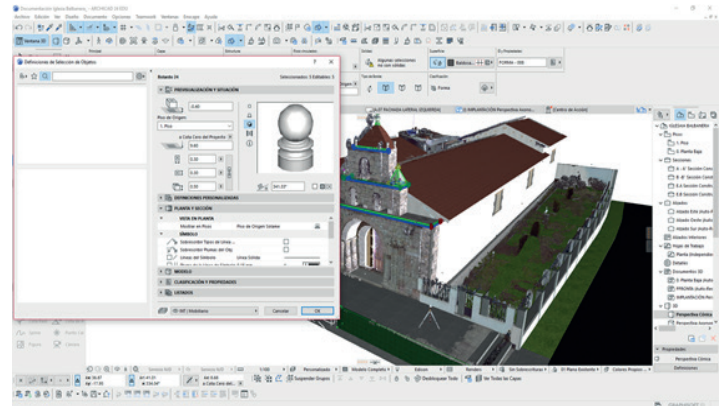
Modelamiento de Vanos



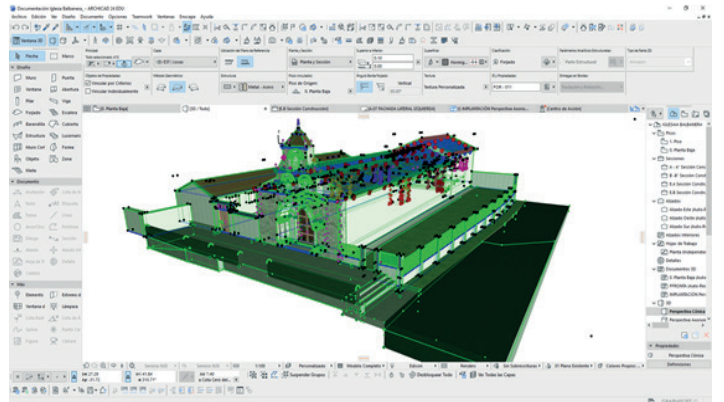
Modelamiento de cubiertas



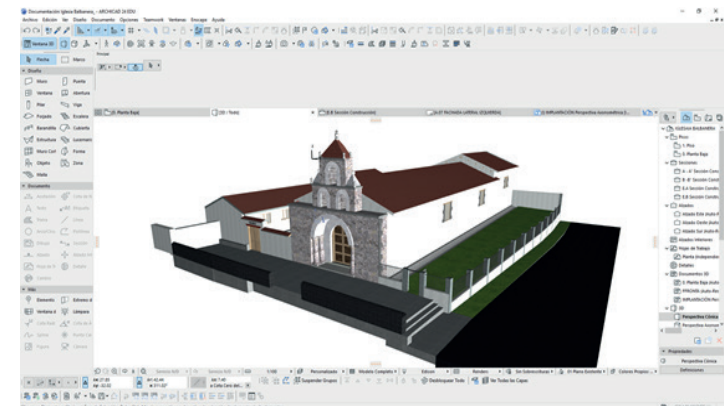
Modelamiento de vigas



Modelamiento de Elementos Ornamentales



Resultado del modelamiento de todos los elementos constructivos
 Para el modelamiento nos ayudaremos de las herramientas de diseño, caracterizando conjuntamente cada elemento constructivo, la forma de caracterizar dependerá de la evaluación de los materiales realizada en campo.

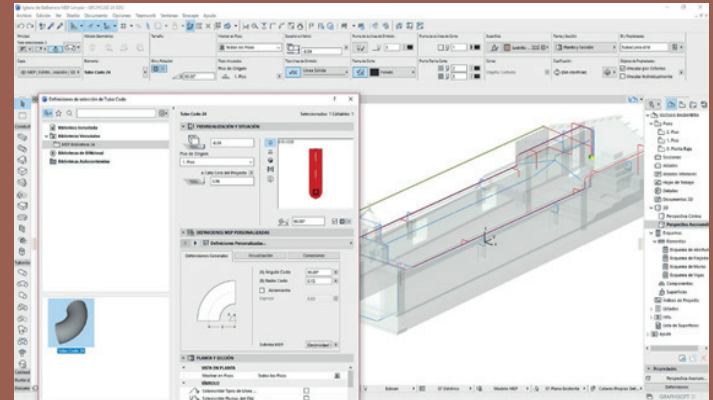


Modelado tridimensional con características de materialidad y superficies.

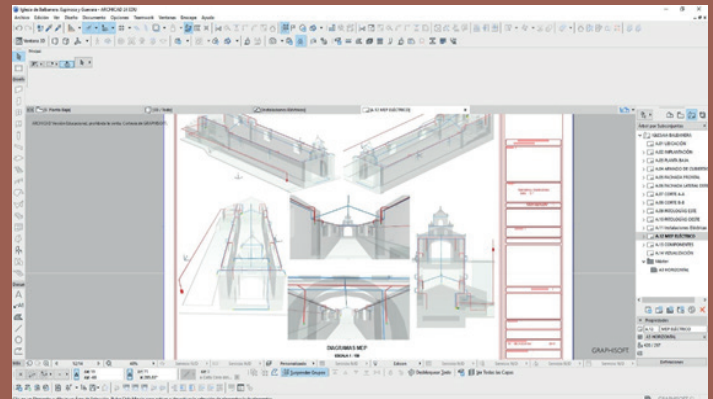
6.5. Instalaciones Eléctricas y Diagramas de tuberías (MEP)

Con el objetivo de obtener un modelo de información completo, se le debe brindar al objeto datos de instalaciones, los cuales serán representados dentro del Software BIM a través de la interfaz de diagramación MEP, la cual permite configurar instalaciones mecánicas, eléctricas y plomerías.

De este modo, dentro de la configuración de la Iglesia se desarrollaron diagramas MEP correspondientes a las instalaciones existentes (iluminación y fuerza).



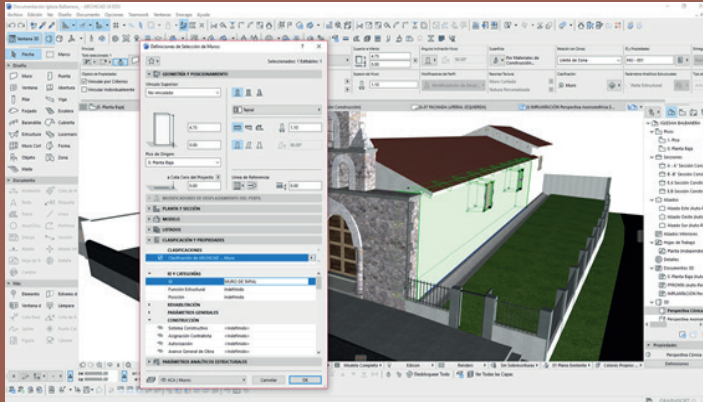
Proceso de configuración de Diagramas MEP



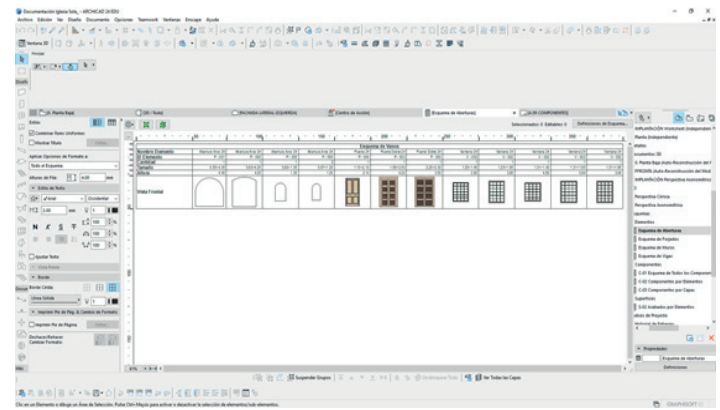
Diagramas MEP de Instalaciones Eléctricas (Luz y Fuerza).

6.6. Esquematzación y Cuantificación

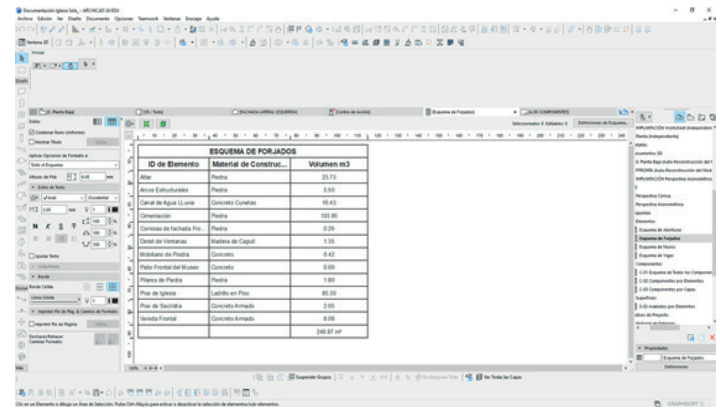
Al hablar de la utilización de un software BIM, no solo se habla de visualización y Documentación, sino más bien del aprovechamiento de las bondades del BIM, la generación de esquemas de cuantificación de componentes, elementos de construcción, materiales de construcción, superficies, vanos y mobiliario, son de fácil generación una vez que se haya realizado correctamente el proceso de modelado y caracterización de elementos.



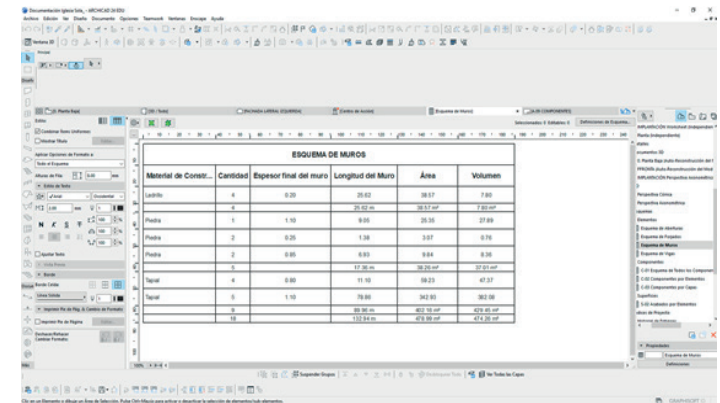
Seleccionamos cada elemento de diseño y lo iremos caracterizando de tal manera que tenga un nombre, un material de construcción y una superficie.



Esquema de Vanos



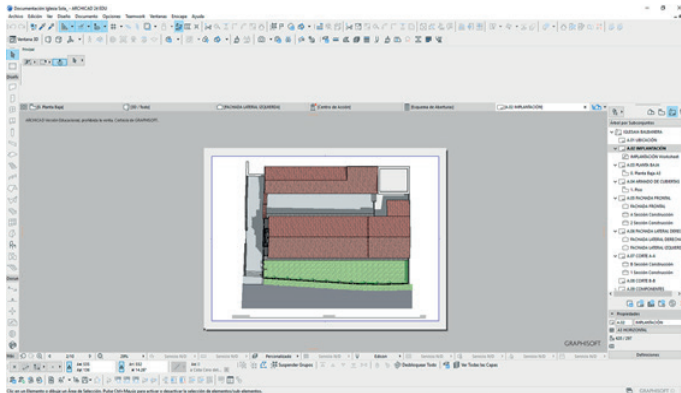
Esquema de Cuantificación de Forjados



Esquema y cuantificación de muros.

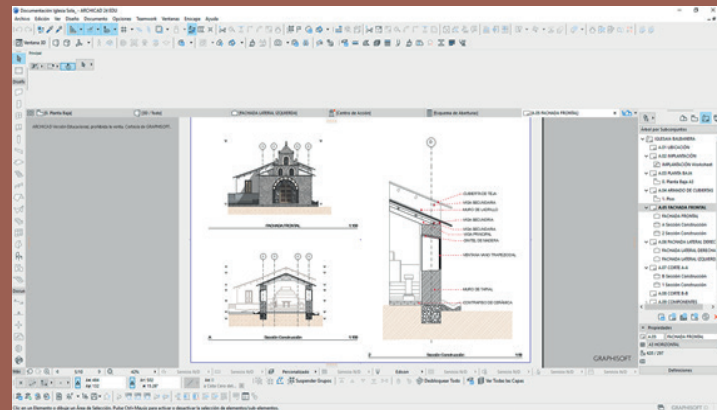
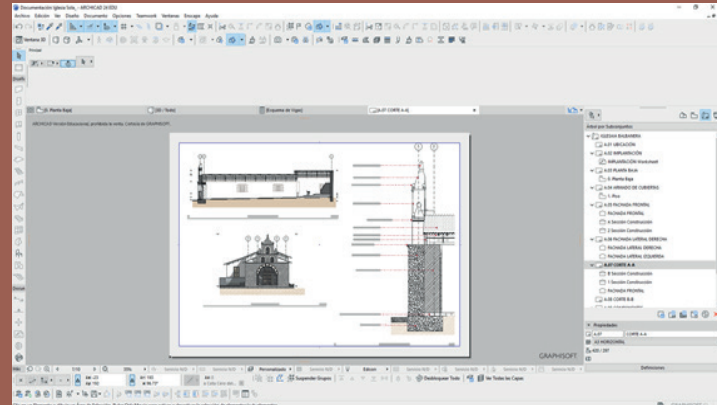
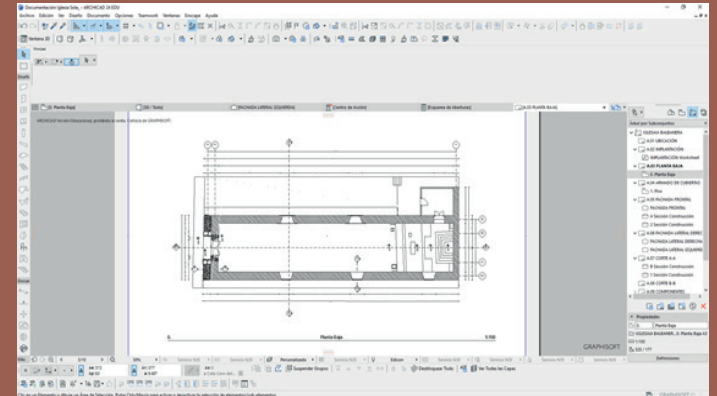
6.7. Documentación Arquitectónica

Lo beneficioso de utilizar un programa BIM es la automatización y el ahorro de tiempo y recursos, para la documentación arquitectónica existen varios apartados que una vez generado el modelo 3D nos permitirán generar: Plantas, Alzados, Detalles constructivos, Alzados interiores, Isometrías, Perspectivas, Diagramas MEP y esquemas de cuantificación de materiales



Planta de Cubiertas

Con el modelado BIM a detalle se procederá al apartado de vistas de modelo, en este apartado se deberá generar todas las vistas que se quiere documentar, implantación, cortes, alzados, detalles, perspectivas y el listado de componentes para posteriormente generar un libro de planos con los tamaños y formatos que se necesite trazar, finalmente se genera un grupo de trazado con el formato de exportación o seleccionando la impresora con la cual se realizará la impresión.



Libro de planos con contenido de vistas del modelo realizado.

Evaluación Estructural



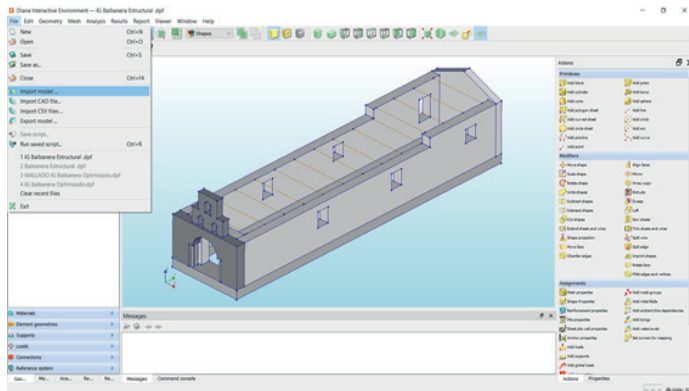
Al orientar el trabajo de documentación hacia un análisis de la estructura, se debe tomar una cronología de configuraciones que permitan realizar una evaluación de los elementos no lineales, con el objetivo de determinar los puntos donde la estructura posiblemente llegaría a

fallar ante un eventual sismo. De este modo, se detallará a continuación el proceso de configuración dentro del programa DIANA FEA, proceso que se realizará una vez importado el modelado en formato .e57 proveniente de ArchiCAD.

7.1. Análisis de Geometrías

Una vez importado el archivo BIM, se debe realizar un chequeo de las geometrías para tratar de eliminar posibles errores o aristas existentes que puedan provocar errores durante el análisis estructural, estas se corregirán a través de un redibujo en el programa Diana.

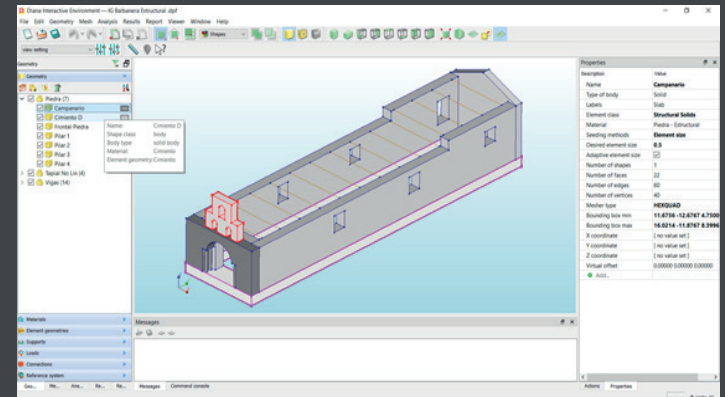
Importar modelado y optimizar las geometrías con las herramientas primitivas de Diana.



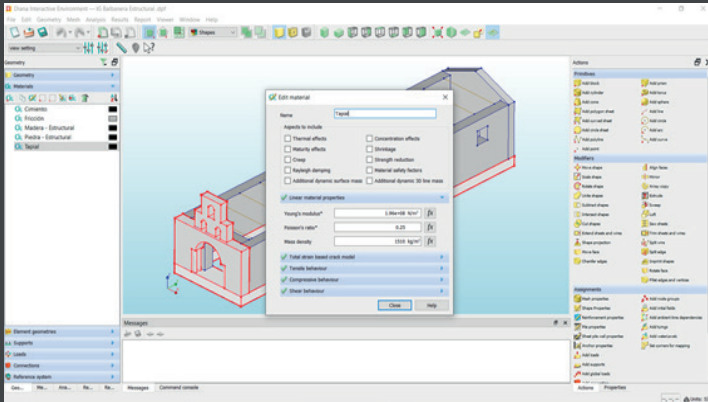
7.2. Configuración de Materialidad

Al mantener la interoperabilidad entre programas, es beneficioso que el modelo se importe con características de materialidad asignadas, a las cuales se deberá ir configurando con sus condicionantes de resistencia y tipología según el tipo de elemento que estemos configurando. Para esta configuración se llevarán los siguientes pasos:

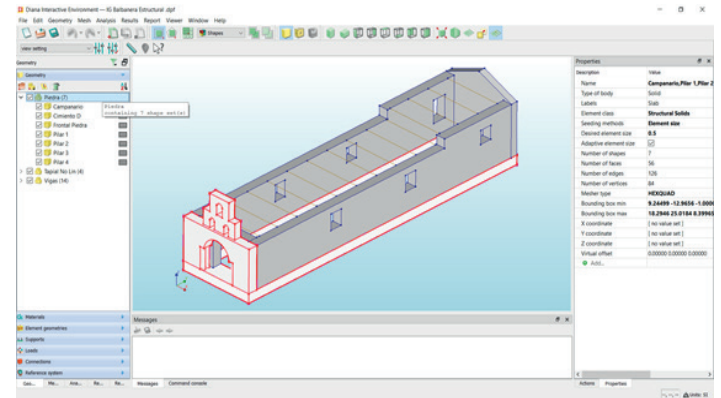
Primero, realizar la asignación del material creado según su clase



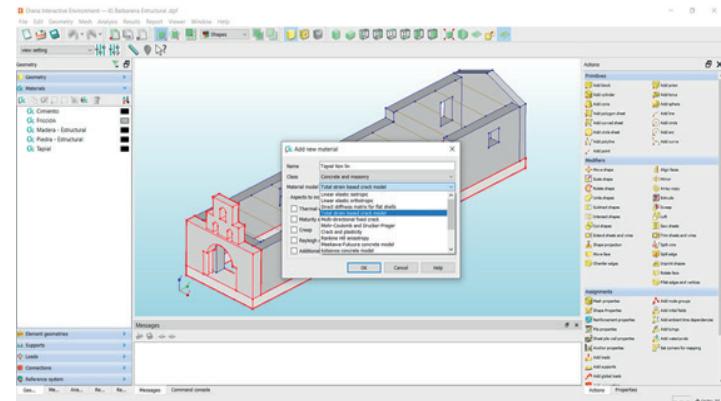
El segundo paso será verificar que todos los elementos se encuentren con su material identificado.



Sumado a todo esto, se deberá analizar la composición de los muros y unir muros sueltos con caras coplanares, para que la estructura actúe en conjunto al momento del análisis, cada elemento con características compartidas se deberá unir para generar un solo bloque de evaluación por tipo.



Al estar todos los materiales con su característica propia, se puede continuar con la configuración material de los elementos, para determinar las resistencias que pueda presentar el mismo. Se debe definir en primer punto las características de acción del material:



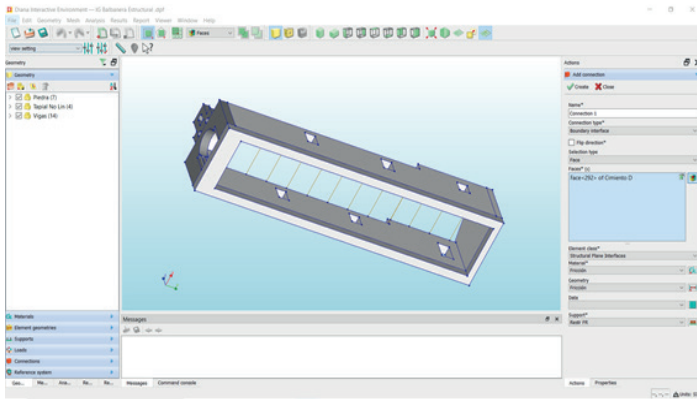
En segundo lugar, se colocarán los parámetros de resistencia

7.3. Configuración de Apoyos

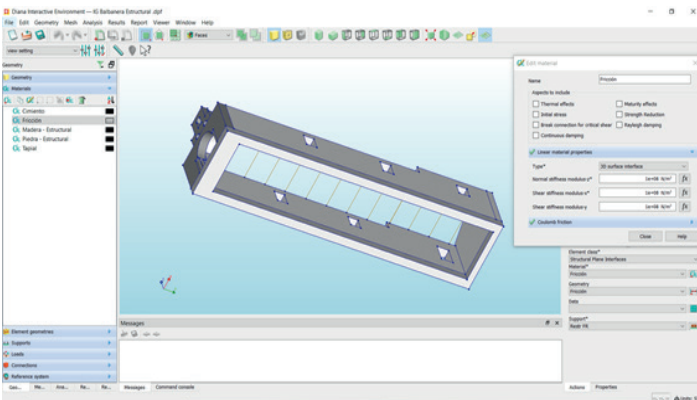
La configuración de los apoyos será importante para definir la acción que tendrá el elemento con el suelo, para lo cual se necesitará colocar las restricciones de los soportes.

De este modo, se seguirá la siguiente secuencia:

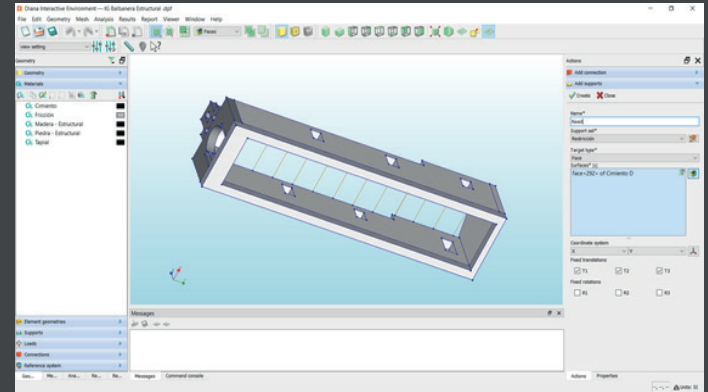
Paso 1, Configuración de Conexión:



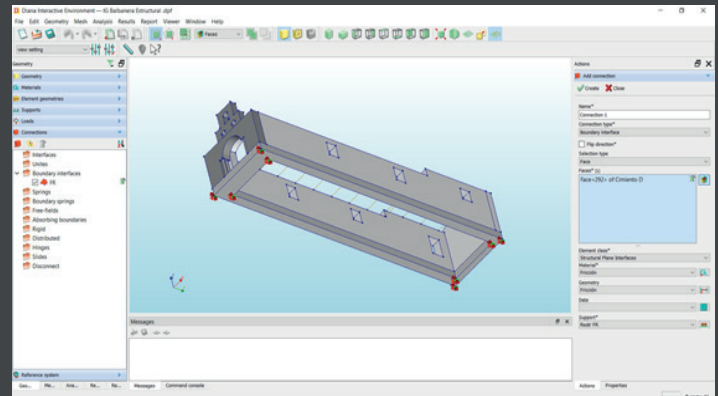
Paso 2, definir y configurar el material del apoyo:



Paso 3, definir características de soporte y restricciones:



Paso 4, analizar ubicación y sentido de soportes generados:



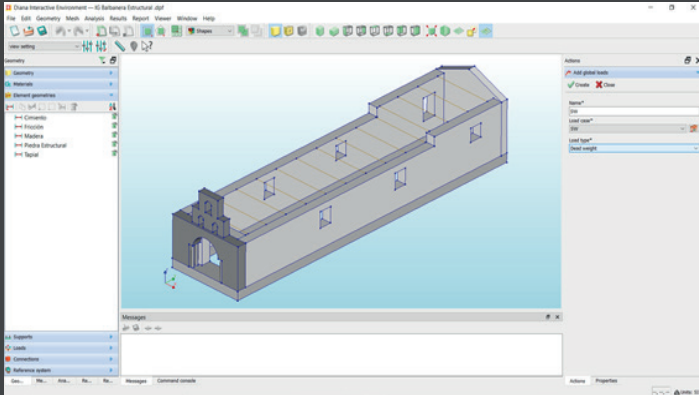
7.4. Configuración de Cargas

Una vez terminado el modelo en conjunto con la caracterización de materiales y el tipo de elemento se deberá iniciar la inclusión de las cargas que actuarán sobre la estructura, además de los requerimientos que componen los apoyos de la edificación en el suelo.

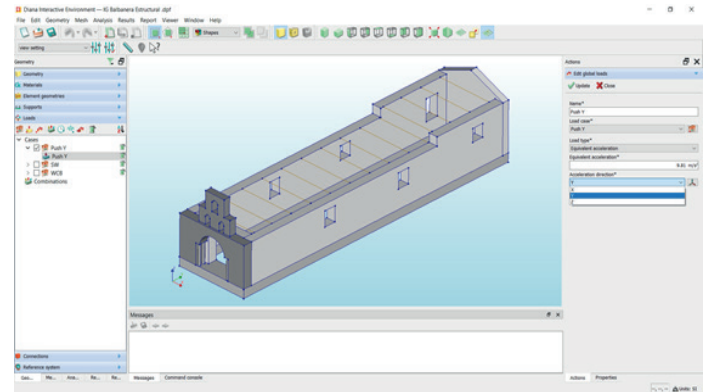
Para esto, es necesario, crear un material auxiliar con características de Concrect and Manssory lineal elástico isotrópico para ir generando cargas globales sobre la estructura.

Para la configuración de las fuerzas que interactúen en la estructura, se deberán añadir cargas globales o distribuidas según su tipología, y configurarlas desde las pestañas Add Load-Add Global load, considerando su acción en el modelado.

Paso 1: Añadir cargas globales (Peso Muerto)

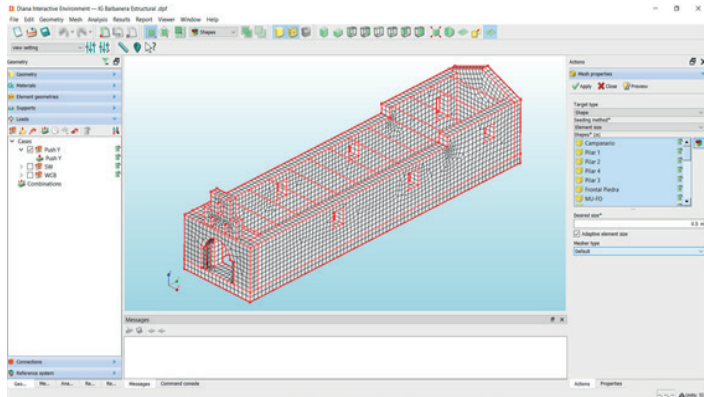


Paso 2: Añadir Cargas Distribuidas (Push en Y)



7.5. Creación de Mallado

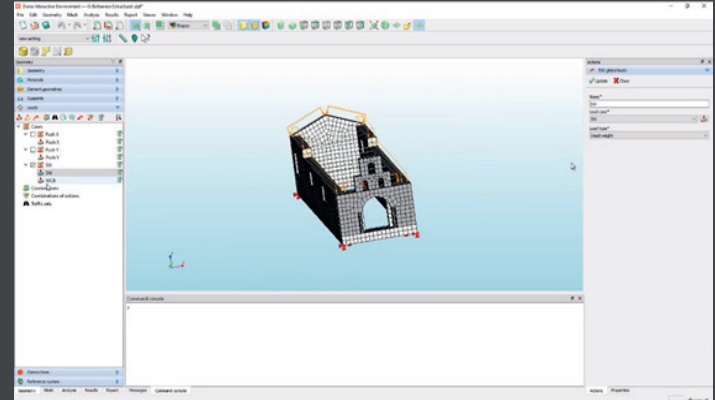
Una vez caracterizados los materiales, se debe proceder a definir y configurar la malla que vaya a procesar la segmentación de los elementos para realizar los análisis de la estructura. Esta deberá tomar en cuenta los recursos informáticos que exigirá el transcurso del análisis para definir la sección de la división del mallado.

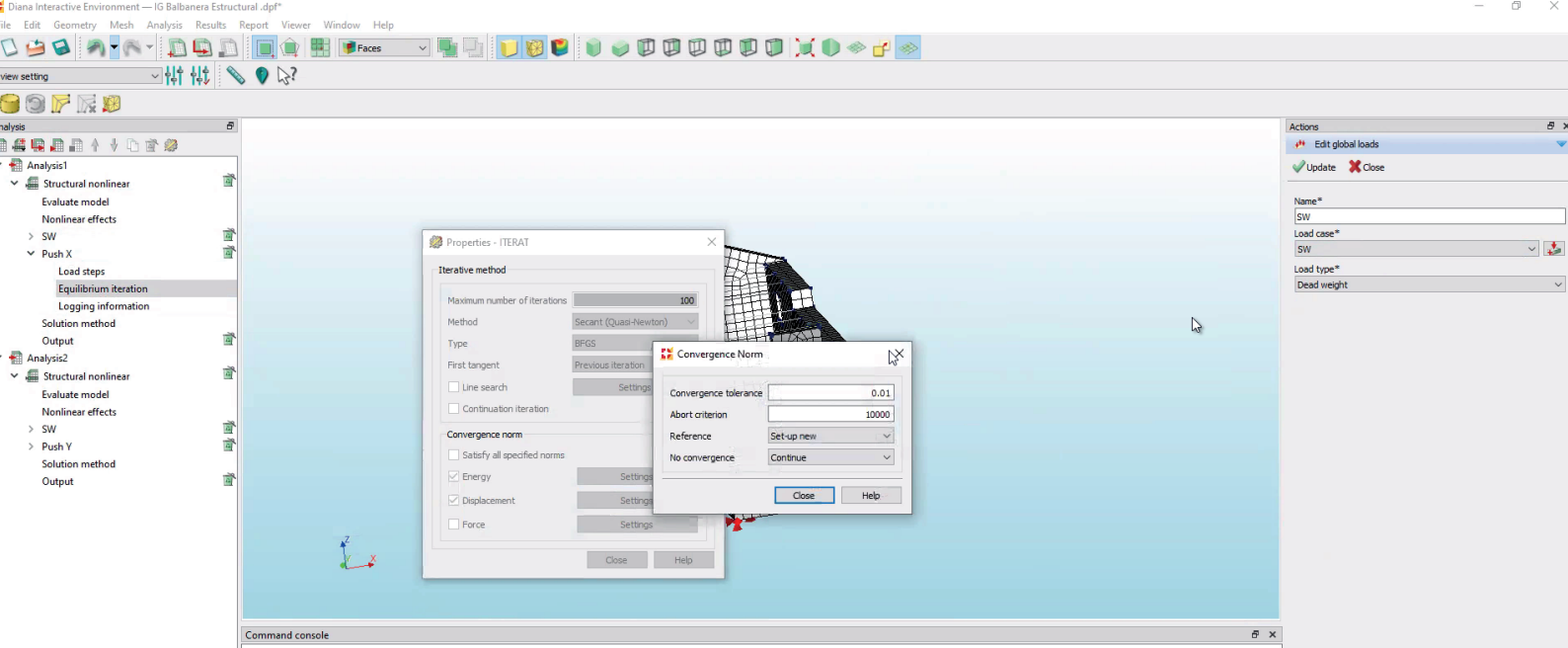


7.6. Parámetros de Análisis

Configuración de las fuerzas:

Para la configuración se debe considerar tres tipos de fuerzas que actúen sobre la estructura, dos casos Push, correspondientes a una aceleración equivalente en función de la gravedad en el eje X y el eje Y respectivamente, junto con la carga gravitacional del peso propio de la estructura sumado al peso de la cubierta.





7.7. Configuración del Análisis:

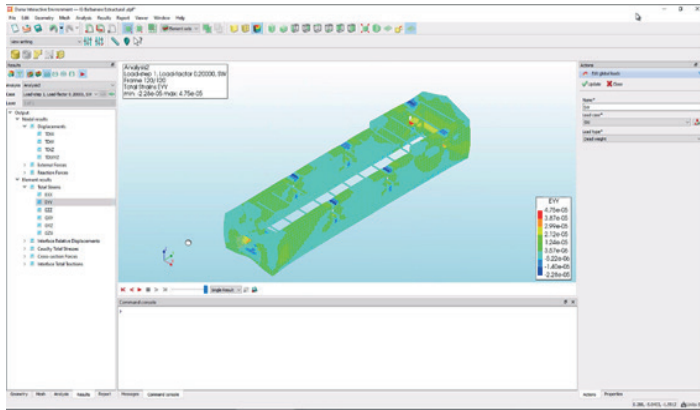
Considerando la acción del sismo correspondiente a dos ejes en el plano, se determinará la configuración de dos análisis por separado, que brinden resultados en base al plano de aplicación de la carga.

Se inicia con la configuración del análisis del peso propio de la estructura, debido a que es el primer estado de carga, sumado a este, deberá considerarse la inclusión de la carga de la cubierta.

Posteriormente el análisis Pushover, se configura en torno a una aceleración, correspondiente a 0.005 de la gravedad, donde, dentro de la configuración de equilibrio, se genera una convergencia entre energía y desplazamiento, añadido a un efecto físico no lineal de materiales.

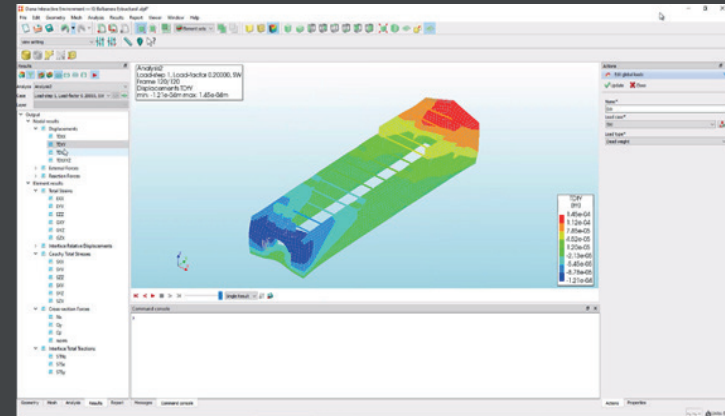
7.8. Evaluación de Resultados

En cuanto a la evaluación de los resultados, se deberá comparar cada uno de los análisis que se hayan propuesto, para determinar así los elementos que se encuentren mayormente afectados y poder desarrollar un esquema de zonas de posible intervención para el mejoramiento de la estructura.



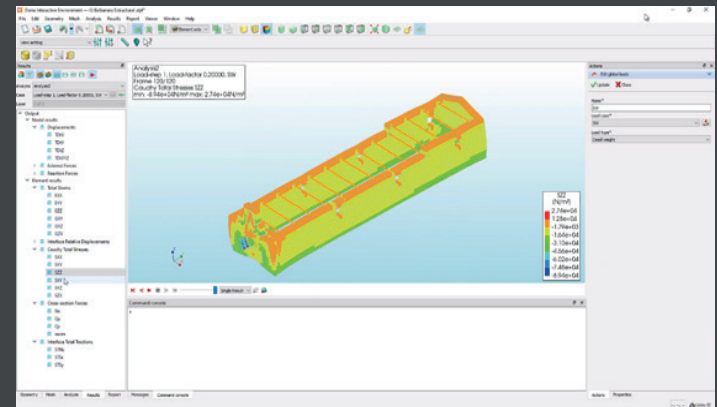
Análisis de Cortantes

Estos análisis serán evaluados a través de los efectos que presenten las aceleraciones dadas en el eje X o Y, sobre la edificación, donde se podrá revisar los resultados determinados en función de los desplazamientos, los esfuerzos, las deformaciones y las cortantes que actúen sobre los elementos constructivos.




Análisis de Desplazamientos

De este modo será posible identificar los tipos de fallo que pueda tener la estructura, dados en los elementos que presenten una mayor concentración de esfuerzos, para así poder analizar sus efectos.



Análisis de Esfuerzos



El presente manual de procedimientos podrá ser aplicado en Proyectos de Documentación y Análisis de estructuras patrimoniales, mismos que serán propuestos por la Universidad Nacional de Chimborazo, y por ser un documento de consulta debe conservarse dentro de la institución para apoyo del personal que ahí lo requiera, manteniendo los derechos de autoría por su elaboración.

Autores:
EDISON FABRICIO ESPINOSA FIGUEROA
BYRON GEOVANNY GUEVARA BONIFAZ

Julio de 2021
Riobamba-Ecuador