

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Análisis estructural y vulnerabilidad sísmica de la iglesia de
La Merced de Huánuco utilizando modelos 3D en ETABS -
2025”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR: León Salazar, Luis Felipe

ASESOR: Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela

**HUÁNUCO – PERÚ
2026**

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)
CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería Civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) civil

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 77334799

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22516875

Grado/Título: Grado de Magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0003-2705-4300

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en Ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
2	Verastegui Ayala, Yessica Julia	Doctora en Ingeniería Civil	43962020	0000-0002-4387-5013
3	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 10:00 horas del día jueves 05 de marzo de 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	PRESIDENTE
❖ MG. YESSICA JULIA VERASTEGUI AYALA	SECRETARIO
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN Nº 0265-2026-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE HUÁNUCO UTILIZANDO MODELOS 3D EN ETABS - 2025" presentado por el (la) Bachiller. Bach: Luis Felipe LEON SALAZAR, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por MAYORÍA con el calificativo cuantitativo de 1.1 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47).

Siendo las 11:27 horas del día 05 del mes de marzo del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
PRESIDENTE

MG. YESSICA JULIA VERASTEGUI AYALA
DNI: 43962020
ORCID: 0000-0002-4387-5013
SECRETARIO (A)

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: LUIS FELIPE LEÓN SALAZAR, de la investigación titulada "ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE HUÁNUCO UTILIZANDO MODELOS 3D EN ETABS - 2025", con asesor(a) YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2586-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 17 de febrero de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

7. León Salazar, Luis Felipe.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificios silenciosos y constante apoyo, quienes con esfuerzo y dedicación hicieron posible cada uno de mis logros.

A mis hermanos, por su compañía, comprensión y aliento inquebrantable en cada etapa de este camino.

A ustedes, dedico con profundo cariño y gratitud la culminación de esta etapa tan importante: la obtención del título de Ingeniero Civil.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mi asesora de tesis, por su guía académica, compromiso y confianza depositada en este trabajo.

A los docentes del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco, por su enseñanza, exigencia y formación integral que contribuyeron decisivamente a mi desarrollo profesional.

A mis amigos, por su compañía, estímulo constante y por estar presentes en cada paso de esta trayectoria universitaria.

Y a la Universidad de Huánuco, por abrirme sus puertas y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar este gran objetivo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. OBJETIVO GENERAL	18
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2. BASES TEÓRICAS	27
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	34
2.4. HIPÓTESIS.....	37
2.5. VARIABLES.....	38
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	38
2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA.....	38

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	39
CAPÍTULO III.....	40
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	40
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1. ENFOQUE	40
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	41
3.1.3. DISEÑO	41
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.2.1. POBLACIÓN	42
3.2.2. MUESTRA.....	42
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	43
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	43
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	45
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS..	46
CAPÍTULO IV.....	47
RESULTADOS.....	47
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	47
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS...	83
CAPÍTULO V.....	88
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	88
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS.....	88
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de zona en la dirección X	68
Tabla 2 Parámetros obtenidos del software ETABS: Dirección X.....	69
Tabla 3 Parámetros de zona en la dirección Y	69
Tabla 4 Parámetros obtenidos del software ETABS: Dirección Y.....	69
Tabla 5 Resultados de la fuerza cortante en la dirección X.....	74
Tabla 6 Resultados de la fuerza cortante en la dirección Y	74
Tabla 7 Derivas para la dirección X-X.....	75
Tabla 8 Derivas para la dirección Y-Y.....	76
Tabla 9 Resultados de vulnerabilidad sísmica	77
Tabla 10 Clasificación de la vulnerabilidad sísmica para la iglesia La Merced	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Análisis estructural de una edificación	28
Figura 2 Modelación estructural con ETABS	29
Figura 3 Iglesia la Merced	31
Figura 4 Verificación visual de la estructura	44
Figura 5 Medición manual de las dimensiones de la estructura.....	44
Figura 6 Medición manual de las dimensiones de la estructura.....	45
Figura 7 Recojo de datos característicos de la estructura y su material	45
Figura 8 Modelo 3D de la iglesia en Civil3D	48
Figura 9 Creación de grillas de referencia	48
Figura 10 Sistema de grillas en ETABS	49
Figura 11 Propiedades de material: Tapial	50
Figura 12 Propiedades de material: Madera	51
Figura 13 Propiedades de sección: Madera	52
Figura 14 Propiedades de material: Cubierta de teja	53
Figura 15 Propiedades de losa	54
Figura 16 Propiedades de muro: Tapial	55
Figura 17 Inserción de los muros	56
Figura 18 Configuración Geométrica de Muros para Cubierta a Dos Aguas en ETABS	57
Figura 19 Vista de la armadura de madera del techo de tejas	58
Figura 20 Inserción de las tejas	59
Figura 21 Creación de patrones de carga	60
Figura 22 Creación de paquetes de carga	60
Figura 23 Asignación de los paquetes de carga en el techo	61
Figura 24 Asignación de PIER para los muros de tapial	62
Figura 25 Ajuste “END LENGTH OFFSETS”	63
Figura 26 Ajuste “FRAME AUTO MESH”	64
Figura 27 Ajuste “FRAME FLOORMESHING”	65
Figura 28 Ajuste “AUTO EDGE CONSTRAINT”	66
Figura 29 Verificación si el modelado tiene algún problema	67
Figura 30 Creación del espectro de respuesta	71
Figura 31 Espectro de respuesta para las direcciones X e Y	71

Figura 32 Creación carga dinámica	72
Figura 33 Fuerza cortante dinámica: Dirección X	73
Figura 34 Fuerza cortante dinámica: Dirección Y	73

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar estructural y sísmicamente el comportamiento de la Iglesia de La Merced de Huánuco, construida con tapial y cubierta de teja, en su estado actual, mediante un modelo tridimensional en ETABS 2022, a fin de determinar su nivel de vulnerabilidad sísmica. Para ello, se aplicó una metodología de enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y nivel explicativo, basada en la recopilación de información arquitectónica y estructural de la edificación y la construcción de un modelo estructural tridimensional en ETABS. El análisis sísmico se desarrolló mediante un análisis dinámico modal espectral, conforme a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana E.030.

Los resultados mostraron que la estructura presenta derivas máximas de 0.0351 en la dirección X y 0.0554 en la dirección Y, valores que superan ampliamente el límite normativo de 0.007, lo cual indica un comportamiento estructural inestable ante sollicitaciones sísmicas. Asimismo, se identificó que aproximadamente el 69% de la fuerza cortante basal dinámica se concentra en el primer nivel en ambas direcciones, reflejando una acumulación crítica de esfuerzos en la base, lo que representa una condición estructural desfavorable para edificaciones construidas con tapial, material que presenta baja resistencia al esfuerzo cortante. También se evidencio que la propuesta de refuerzo estructural permitió reducir en aproximadamente un 50 % las derivas laterales y redistribuir de manera más uniforme la cortante basal, mejorando notablemente la rigidez y estabilidad global de la estructura sin incrementar significativamente su masa ni comprometer su comportamiento dinámico.

En función de estos resultados, se concluye que la Iglesia de La Merced de Huánuco presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica alto, como consecuencia de su configuración estructural actual y del uso de un material de baja resistencia como el tapial lo cual evidencian que la edificación no cumple con los requisitos mínimos de desempeño estructural establecidos por la normativa vigente, lo que valida la hipótesis general y confirma la necesidad de intervenciones estructurales para mitigar su riesgo sísmico, así mismo la

aplicación de la propuesta de refuerzo estructural es técnica y patrimonialmente viable, ya que disminuye de forma significativa la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia, optimizando su desempeño estructural y garantizando la preservación de su valor histórico y arquitectónico.

Palabras clave: Análisis estructural, edificaciones patrimoniales, ETABS, modelado tridimensional, vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

The main objective of this research was to structurally and seismically evaluate the behavior of the Church of La Merced in Huánuco, built with rammed earth walls and a clay tile roof, in its current condition, using a three-dimensional model in ETABS 2022, in order to determine its level of seismic vulnerability. A quantitative approach methodology was applied, with a non-experimental design and explanatory level, based on the collection of architectural and structural information of the building and the development of a three-dimensional structural model in ETABS. The seismic analysis was carried out through a dynamic modal spectral analysis, in accordance with the guidelines of the Peruvian Technical Standard E.030.

The results showed that the structure exhibits maximum drifts of 0.0351 in the X direction and 0.0554 in the Y direction, values that greatly exceed the regulatory limit of 0.007, indicating an unstable structural behavior under seismic loads. Likewise, it was identified that approximately 69% of the dynamic base shear force is concentrated on the first level in both directions, reflecting a critical accumulation of stresses at the base, which represents an unfavorable structural condition for buildings made of rammed earth, a material with low shear resistance. It was also evidenced that the proposed structural reinforcement allowed for an approximate 50% reduction in lateral drifts and a more uniform redistribution of the base shear, significantly improving the rigidity and overall stability of the structure without substantially increasing its mass or compromising its dynamic behavior.

Based on these results, it is concluded that the Church of La Merced in Huánuco presents a high level of seismic vulnerability due to its current structural configuration and the use of a low-strength material such as rammed earth, which indicates that the building does not meet the minimum structural performance requirements established by current regulations. This validates the general hypothesis and confirms the need for structural interventions to mitigate its seismic risk. Furthermore, the implementation of the proposed structural reinforcement is technically and patrimonially feasible, as it significantly reduces the church's seismic vulnerability, optimizes its structural

performance, and ensures the preservation of its historical and architectural value.

Keywords: Structural analysis, heritage buildings, ETABS, 3D modeling, seismic vulnerability.

INTRODUCCIÓN

Las edificaciones patrimoniales construidas con materiales tradicionales como el adobe, tapial o piedra sin refuerzo han sido reconocidas como altamente vulnerables frente a eventos sísmicos, debido a su comportamiento frágil y su limitada capacidad de disipar energía. Diversos países con alto riesgo sísmico, como México, Perú, Irán y Nepal, han sufrido pérdidas significativas de bienes culturales y vidas humanas por el colapso de este tipo de estructuras durante terremotos de gran magnitud. Esta problemática ha impulsado la investigación y modelación estructural de edificaciones históricas, con el fin de evaluar su desempeño sísmico y plantear estrategias de conservación y refuerzo estructural adecuadas.

El Perú se ubica en una zona de alta sismicidad por encontrarse dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. A lo largo de su historia, ha enfrentado múltiples sismos destructivos que han afectado severamente tanto a edificaciones modernas como a construcciones patrimoniales de tierra. El Reglamento Nacional de Edificaciones, a través de la Norma Técnica Peruana E.030, establece criterios específicos para el análisis sísmico de edificaciones, pero su aplicación a construcciones antiguas de tapial aún presenta retos técnicos significativos debido a la naturaleza heterogénea del material y la falta de refuerzo. En este marco, la evaluación estructural de edificaciones históricas se ha vuelto una prioridad, especialmente en regiones donde prevalece este tipo de arquitectura.

A nivel local, la ciudad de Huánuco conserva importantes edificaciones coloniales y republicanas, entre ellas la Iglesia de La Merced, construida con tapial y cubierta de teja. Su antigüedad, la degradación progresiva de sus materiales y la ausencia de intervenciones estructurales preventivas la hacen susceptible a un colapso ante un evento sísmico moderado o severo. Frente a esta realidad, la presente investigación tiene como finalidad evaluar estructural y sísmicamente el comportamiento de dicha iglesia en su estado actual, mediante un modelo tridimensional en el software ETABS 2022, utilizando propiedades mecánicas reales del material obtenidas in situ, con el

objetivo de determinar su nivel de vulnerabilidad sísmica y aportar evidencia técnica que oriente decisiones de conservación, refuerzo y gestión del riesgo.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, la preservación y el análisis estructural de edificaciones históricas se ha convertido en una prioridad, especialmente en zonas propensas a terremotos.

Edificaciones construidas con materiales tradicionales, como el tapial, son altamente vulnerables a los sismos debido a sus características mecánicas, como baja resistencia a la tracción y falta de flexibilidad. En países como Italia, España y México, donde la infraestructura histórica es abundante, se han llevado a cabo numerosos estudios y proyectos de refuerzo estructural para garantizar la preservación de estas edificaciones ante eventos sísmicos (Malavé Laínez, 2023).

Estos esfuerzos incluyen el uso de herramientas de modelado avanzado, como ETABS, para evaluar el comportamiento estructural y proponer medidas de reforzamiento sísmico. La implementación de tecnologías modernas, como el modelado 3D, permite un análisis más preciso de los modos de falla de estructuras complejas, generando una mejor comprensión de su comportamiento ante sismos y promoviendo intervenciones adecuadas que respeten el valor histórico (Cunalata y Caiza, 2021).

En Perú, un país situado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, las estructuras históricas enfrentan un alto riesgo sísmico debido a la alta actividad tectónica en la región. Las iglesias coloniales, construidas con materiales tradicionales como el tapial, son particularmente vulnerables ante la amenaza de terremotos. La historia sísmica del país, con eventos devastadores como el terremoto de 1970 en Áncash, ha evidenciado la necesidad urgente de evaluar la vulnerabilidad de estas edificaciones y proponer medidas para mitigar el riesgo de colapso. En las últimas décadas, instituciones nacionales y académicas han empezado a utilizar herramientas

como ETABS para el análisis estructural de edificaciones patrimoniales (Baca y Valdez, 2024).

Sin embargo, muchos de estos esfuerzos se han concentrado en zonas de alta densidad poblacional, dejando regiones como Huánuco con menos estudios exhaustivos sobre su patrimonio arquitectónico. En este contexto, surge la necesidad de realizar estudios que evalúen con mayor precisión la vulnerabilidad sísmica de iglesias históricas como la de La Merced en Huánuco.

Históricamente, la región de Huánuco ha sido afectada por diversos eventos sísmicos de moderada a considerable magnitud, que han ocasionado daños materiales y estructurales en edificaciones de adobe y tapial. Entre los antecedentes más relevantes se encuentra el sismo de mayo de 2019, que afectó más de un centenar de viviendas, dejó templos e instituciones públicas dañadas y evidenció la fragilidad de las construcciones tradicionales frente a movimientos sísmicos. Asimismo, informes del INDECI registran que en el año 2008 se produjeron sismos que ocasionaron la destrucción de 59 viviendas y afectaron a 5 centros educativos en las regiones de Pasco y Huánuco. Otros eventos, como los ocurridos en 2014 y 2020, aunque de menor magnitud, fueron perceptibles por la población y confirmaron la recurrencia sísmica de la zona. Estos antecedentes reflejan la vulnerabilidad estructural de las edificaciones de tierra en Huánuco y la necesidad urgente de implementar medidas de refuerzo que reduzcan el riesgo de colapso ante futuros sismos .

La iglesia de La Merced en Huánuco es un testimonio invaluable del patrimonio cultural y arquitectónico de la ciudad. Construida con técnicas tradicionales de tapial, la estructura no cuenta con sistemas modernos de refuerzo, lo que la hace altamente vulnerable a los sismos. Huánuco, ubicada en una zona sísmica media, no ha sido ajena a eventos telúricos, y la falta de estudios estructurales detallados sobre edificaciones patrimoniales de la región incrementa el riesgo de pérdida irreversible ante un sismo de gran magnitud. La estructura de la iglesia, con sus muros de gran espesor, está expuesta a posibles fallas por vuelco, deslizamiento o agrietamiento por cortante en sus puntos críticos. La comunidad local, que valora

profundamente este edificio por su significado religioso y cultural, enfrenta el riesgo de perder una parte significativa de su historia.

En este contexto, la presente investigación busca no solo evaluar la vulnerabilidad sísmica de la iglesia de La Merced mediante modelos 3D en ETABS, sino también proponer soluciones viables para el reforzamiento de sus puntos críticos, asegurando su preservación para las futuras generaciones. El análisis estructural propuesto en esta investigación, a través de la creación de un modelo 3D en ETABS, permitirá comprender con mayor precisión los modos de falla más probables de la iglesia y los puntos críticos que requieren intervención. Este enfoque cuantitativo y aplicado será clave para proponer soluciones de reforzamiento basadas en un análisis profundo de la respuesta dinámica de la estructura, lo cual es de suma importancia para garantizar la seguridad estructural de este bien patrimonial de Huánuco.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema Principal

¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica de la Iglesia de La Merced de Huánuco, construida en tapial con cubierta de teja, en su estado actual según un modelo tridimensional en ETABS 2022?

Problemas Específicos

¿Cómo se puede representar estructuralmente la iglesia en un modelo tridimensional confiable en ETABS 2022 considerando sus materiales y cargas reales?

¿Cuál es el comportamiento estructural del modelo bajo acción sísmica mediante parámetros como derivas entre niveles?

¿Cómo influye la fuerza cortante basal en el comportamiento estructural sísmico de la iglesia construida con Tapial?

¿Cómo puede reducirse la vulnerabilidad sísmica y mejorarse el comportamiento estructural de la Iglesia La Merced, construida

íntegramente con Tapial, considerando su gran tamaño, irregularidad geométrica y la ausencia de elementos de refuerzo estructural?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar estructural y sísmicamente el comportamiento de la Iglesia de La Merced de Huánuco, construida de tapial y cubierta de teja, en su estado actual mediante un modelo tridimensional en ETABS 2022, a fin de determinar su nivel de vulnerabilidad sísmica.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Modelar tridimensionalmente la estructura actual de la iglesia en ETABS 2022, asignando propiedades físicas y mecánicas realistas al tapial y considerando las cargas gravitacionales y sísmicas conforme a la Norma E.030.

Analizar el comportamiento estructural del modelo bajo acción sísmica mediante parámetros como derivas entre niveles y desplazamientos máximos.

Determinar cómo influye la fuerza cortante basal en el comportamiento estructural sísmico de la iglesia construida con Tapial.

Proponer y evaluar una alternativa de solución estructural que permita disminuir la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia La Merced, mejorando su rigidez, estabilidad y capacidad de respuesta ante cargas horizontales, sin alterar su valor histórico y arquitectónico.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Iglesia de La Merced, ubicada en Huánuco, es un patrimonio arquitectónico de gran valor histórico y cultural cuya conservación resulta prioritaria; sin embargo, su construcción en tapial, material de baja resistencia sísmica, y su emplazamiento en una zona con recurrencia de sismos la hacen altamente vulnerable. Según la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente” (E.030, 2018), toda edificación debe garantizar un desempeño estructural adecuado frente a movimientos sísmicos, lo que las

construcciones de tierra no logran debido a su limitada ductilidad. En ese sentido, la investigación se justifica teóricamente en los principios de la mecánica estructural y del comportamiento sísmico de edificaciones de tierra, respaldados por lineamientos del Instituto Geofísico del Perú (2023) y la UNESCO (2017), al evaluar mediante modelación tridimensional en ETABS la respuesta estructural de la iglesia y proponer medidas de refuerzo que contribuyan a su preservación y seguridad ante futuros eventos sísmicos.

JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Desde una perspectiva práctica, este estudio fue vital para proteger y reforzar la iglesia de La Merced. El análisis estructural permitió identificar modos de falla como el vuelco de muros o el agrietamiento por cortante. La aplicación de las conclusiones obtenidas en el reforzamiento estructural garantizó la seguridad de la iglesia, beneficiando a la comunidad local y preservando su patrimonio. Además, este estudio sirvió como referencia para la evaluación de otras edificaciones históricas ubicadas en zonas sísmicas.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Teóricamente, la investigación aportó nuevos conocimientos sobre el comportamiento de las estructuras de tapial ante sismos. Aunque existían estudios sobre otros materiales, este trabajo se centró en un material poco estudiado en términos sísmicos. Además, la aplicación de modelos 3D en ETABS permitió generar un marco teórico útil para futuras investigaciones. Los resultados ampliaron el entendimiento sobre cómo reforzar este tipo de edificaciones históricas frente a los sismos.

JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Metodológicamente, esta investigación utilizó modelos 3D en ETABS para analizar la vulnerabilidad sísmica de la iglesia. El enfoque propuesto, que incluyó análisis modal y dinámico, permitió identificar puntos de vulnerabilidad que requerían intervención. La metodología resultó replicable para la evaluación de otras estructuras históricas construidas con tapial, ofreciendo

un aporte valioso para el desarrollo de nuevas técnicas de conservación y análisis estructural en edificaciones patrimoniales.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación enfrentó varias limitaciones, entre ellas, la precisión en la representación del material tapial en el modelo 3D de ETABS, debido a su heterogeneidad y posibles degradaciones, lo que pudo generar discrepancias entre los resultados y el comportamiento real de la estructura. Además, la falta de estudios recientes sobre las propiedades mecánicas del tapial y la limitada disponibilidad de datos sísmicos locales específicos de Huánuco afectaron la precisión de los análisis. Asimismo, aunque ETABS fue una herramienta robusta, presentó restricciones para modelar ciertos aspectos no lineales y degradaciones progresivas, lo que limitó la comprensión completa de los modos de falla.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

VIABILIDAD TEÓRICA

Se sustentó en el uso de principios bien establecidos en el análisis estructural y la ingeniería sísmica. El programa ETABS fue una herramienta ampliamente utilizada y validada para modelar estructuras complejas, por lo que su aplicación en el análisis de la iglesia de La Merced resultó completamente factible. Además, los conceptos de análisis modal y dinámico ya habían sido aplicados con éxito en investigaciones previas sobre edificaciones históricas, lo que proporcionó una base sólida para su empleo en este estudio.

VIABILIDAD ECONÓMICA

La investigación fue viable, ya que el principal recurso necesario fue el software ETABS, el cual se encontraba disponible para su uso en la mayoría de las instituciones académicas y profesionales de ingeniería. No se requirieron grandes inversiones en equipos de medición o ensayos de laboratorio costosos, dado que el análisis se basó en la simulación computacional y en la información existente sobre las propiedades del tapial.

Además, la investigación se llevó a cabo principalmente mediante el uso de herramientas informáticas, lo que redujo considerablemente los costos asociados a desplazamientos o equipos de campo.

VIABILIDAD TEMPORAL

La viabilidad temporal de esta investigación estuvo garantizada, ya que el desarrollo de los modelos 3D y el análisis estructural en ETABS fueron procesos bien definidos que pudieron llevarse a cabo en plazos razonables. El acceso a los datos necesarios, como las propiedades del tapial y las características geométricas de la iglesia, estuvo disponible o fue posible obtenerlo sin grandes demoras. Además, el software ETABS permitió realizar los análisis dinámicos y modales de manera eficiente, lo que redujo el tiempo de procesamiento. Se previó que el estudio completo se desarrollara dentro del marco temporal asignado a la tesis de maestría, con tiempo suficiente para efectuar ajustes, analizar los resultados y proponer medidas de reforzamiento estructural si fuera necesario.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedentes internacionales

Espinoza y Paredes (2021), el estudio titulado: “Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de una Estructura Especial de Hormigón Armado de Cinco Pisos para Uso Educativo en la Ciudad de Cuenca, Ecuador”. Universidad de Cuenca. Ecuador. Tuvo como objetivo principal evaluar la vulnerabilidad sísmica de un edificio de hormigón armado construido en 1981. Para ello, se emplearon análisis lineales y no lineales con el fin de determinar si la estructura cumple con los criterios sismo-resistentes establecidos en las normativas actuales. La investigación, de enfoque cuantitativo, aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental, incluyó evaluaciones detalladas en vigas y columnas, análisis del cortante basal estático y dinámico, índice de estabilidad, efectos $P-\Delta$, participación de masa, torsión, distorsión, deflexiones, derivas, asentamientos y alabeos. En el análisis no lineal, se calcularon rótulas plásticas y niveles de desempeño basados en las tablas 10.7 y 10.8 de la ASCE 41-13, empleando el software ETABS para obtener la curva de capacidad y el punto de desempeño en las direcciones $X_{\pm}$ y $Y_{\pm}$, además de utilizar el código ATC-40 para determinar el nivel de desempeño. Los resultados indicaron que el edificio no posee una configuración estructural adecuada para resistir sismos, ya que no cumple con los criterios establecidos en las normativas vigentes, lo que lo hace vulnerable ante eventos sísmicos significativos. Se concluye que es necesario implementar medidas de reforzamiento estructural para mejorar su desempeño sísmico y garantizar su seguridad.

Miranda Villegas (2021), la investigación titulada: “Análisis de Vulnerabilidad Sísmica con la Medición de Vibraciones y Reforzamiento Dinámico del Edificio de la Facultad de Contabilidad y Auditoría Bloque

2 de la Universidad Técnica de Ambato”. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. Tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad sísmica del edificio FCA-UTA-B2 mediante una evaluación cualitativa y cuantitativa para identificar deficiencias estructurales y proponer un reforzamiento que optimizara su desempeño sísmico. La metodología aplicada combinó un enfoque cualitativo basado en una inspección visual y el uso de matrices de vulnerabilidad de las normas FEMA 154 y NEC 2015, que evaluaron factores como el tipo de suelo, normativas, irregularidades y el sistema estructural, lo cual arrojó un nivel de riesgo sísmico bajo. Asimismo, se empleó un enfoque cuantitativo que incluyó análisis lineales y no lineales, y la realización de ensayos para obtener características específicas de la edificación. Los resultados revelaron que, a nivel global, la estructura presenta torsión en planta y altas derivas, lo que implica que los elementos estructurales no soportan adecuadamente los diferentes niveles de amenaza sísmica, mostrando un alto grado de vulnerabilidad. En respuesta, se propuso un plan de reforzamiento, comenzando por corregir la torsión y derivas mediante la implementación de muros de corte, y aplicando un encamisado de acero en las columnas que mostraban una relación demanda/capacidad deficiente, lo que mejoró significativamente su resistencia. Tras estos reforzamientos, se alcanzó un nivel de desempeño sísmico óptimo, logrando un rango de seguridad de vida adecuado para un sismo de ocupación especial. Además, se realizó una comparativa de los periodos de vibración obtenidos con fórmulas empíricas basadas en vibraciones ambientales, demostrando que el nivel de amenaza sísmica pasó de medio sin reforzamiento a bajo con los reforzamientos implementados.

Pimbo Palate (2021), la investigación titulada: “Análisis Estructural del Desempeño Sísmico del Edificio de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante la Medición de Vibraciones”. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. Tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad sísmica del edificio utilizando metodologías cualitativas y cuantitativas para identificar deficiencias

estructurales y proponer reforzamientos que optimicen su desempeño ante eventos sísmicos. Se empleó un enfoque mixto, de tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. La evaluación cualitativa se basó en una inspección visual rápida mediante formatos y matrices de la norma FEMA 154 y la Normativa Ecuatoriana NEC 2015, centrada en factores como irregularidades en planta y elevación, sistema estructural y tipo de suelo. Por otro lado, el análisis cuantitativo incluyó análisis lineales y estáticos no lineales para verificar parámetros modales, comportamiento de la edificación y desempeño de los elementos estructurales. Los resultados revelaron que la estructura no cumple con los requisitos de la normativa vigente en cuanto a periodos de vibración y derivas de piso, presentando además un comportamiento torsional en sus modos de vibración. El análisis estático no lineal confirmó una capacidad deficiente frente a los niveles de amenaza sísmica, lo que indica un alto grado de vulnerabilidad. Como respuesta, se propuso un reforzamiento global mediante la implementación de muros de corte, así como un reforzamiento local con el encamisado de acero en vigas deficientes, logrando mejorar significativamente el comportamiento estructural del edificio. Concluyendo que, se compararon los períodos de vibración obtenidos en los análisis con los calculados mediante fórmulas empíricas basadas en vibraciones ambientales, lo que permitió correlacionar estos resultados con el grado de vulnerabilidad de la estructura.

Antecedentes nacionales

Abad y Ramirez (2023), la investigación titulada: “Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de una Estructura Dual de 7 Pisos en el Distrito de Huaraz, Ancash”. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la reacción estructural de la edificación frente a un movimiento sísmico inesperado, utilizando dos métodos: el Método Italiano de Benedetti y Petrini, y el Método de Análisis Sísmico según la norma E-030. La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. En el análisis

cualitativo, el método Benedetti y Petrini evaluó 11 parámetros con un rango de calificación, generando un cuadro estadístico para proporcionar un índice de vulnerabilidad sísmica. Por otro lado, el análisis cuantitativo mediante la norma E-030 incluyó el modelamiento de la estructura utilizando el software ETABS, basado en los planos proporcionados por el propietario. Se realizaron análisis estáticos y dinámicos, y los resultados de ambos métodos coincidieron en que la estructura presenta una alta vulnerabilidad sísmica. Se destaca que el análisis de vulnerabilidad sísmica es un aspecto a menudo ignorado por las autoridades del sector construcción, aunque es fundamental para tomar medidas preventivas que eviten pérdidas económicas y, lo más crítico, la pérdida de vidas humanas en caso de un desastre.

Endara y Palomino (2023), La investigación titulada “Diseño Estructural de una Vivienda Multifamiliar de 5 Pisos por Desempeño Sísmico en la Asociación de Vivienda Santa Mónica, Distrito de Jacobo Hunter, Arequipa”. El objetivo principal del estudio fue determinar un diseño estructural para una vivienda multifamiliar de cinco pisos, siguiendo la normativa vigente peruana y las recomendaciones del Comité Visión 2000. Se logró alcanzar un nivel de desempeño de prevención de colapso para un sismo a nivel de máxima consideración de evento (MCE), y se consiguió un desempeño de seguridad de vida en la dirección X. En la dirección Y, el análisis reveló un comportamiento lineal, atribuible a la gran cantidad de columnas y muros presentes en el sistema estructural, que se debió a la configuración de la estructura. La metodología empleada en esta investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. Se utilizaron técnicas de análisis estructural, incluyendo modelamientos por desempeño sísmico. En conclusión, se recomienda considerar los desplazamientos estructurales obtenidos en el análisis, a fin de establecer medidas preventivas que aseguren la estabilidad y seguridad de la vivienda multifamiliar ante eventuales sismos.

Salcedo Lavan (2022), la investigación titulada: “Informe Técnico de Análisis Estructural para la Licencia de Edificación de un Proyecto de Vivienda Multifamiliar en San Martín de Porres”. El objetivo principal del trabajo fue desarrollar un informe técnico de análisis estructural para la obtención de la licencia de edificación, mediante la modalidad de aprobación B, para la ampliación del quinto piso de una vivienda multifamiliar. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. Se utilizó un modelo estructural tridimensional elaborado mediante el programa ETABS, versión 2019, para realizar el análisis estático y dinámico de la estructura, de acuerdo con la Norma E-030 del año 2019. Se recolectaron y verificaron diversos resultados del análisis, incluyendo parámetros sísmicos, modelos 2D y 3D, espectro de diseño, periodos, desplazamientos, cortante basal y derivas inelásticas. El informe, que contiene todos los resultados verificados del análisis estructural, fue anexado al expediente técnico de la licencia de edificación y presentado a la municipalidad distrital de San Martín de Porres. En conclusión, se determinó que el informe cumple con todos los requisitos estructurales establecidos en la norma E-030, lo que permite obtener la aprobación del informe y la correspondiente licencia de ampliación.

Antecedentes regionales

Sebastian y Tejada (2024), la presente tesis, titulada: “Análisis y Diseño Estructural de una Clínica de 5 Pisos con Implementación de Aisladores Sísmicos”. El objetivo principal de este estudio fue implementar aisladores sísmicos en la base de la estructura con el fin de evaluar su eficacia en el análisis y diseño estructural. La metodología utilizada se basó en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. Se llevaron a cabo diversas técnicas e instrumentos, incluyendo la extracción de propiedades del suelo para establecer parámetros sismorresistentes, el modelamiento y análisis estructural en el software ETABS, y el diseño

de aisladores sísmicos. El proceso consistió en la comparación de un sistema estructural convencional sin amortiguadores y otro que incorporaba aisladores LRB en la base. Se realizaron análisis sismorresistentes según la norma E-030, obteniendo dos modelos que se compararon en función de los resultados obtenidos. El estudio concluyó que la implementación de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo reduce significativamente el daño sísmico, destacando que el sistema con aisladores en la base presenta una menor deriva de entrepiso, con diferencias que oscilan entre el 80% y 90% en las direcciones X y Y, en comparación con el sistema convencional. Esto resalta la efectividad de los aisladores sísmicos en la mejora del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos.

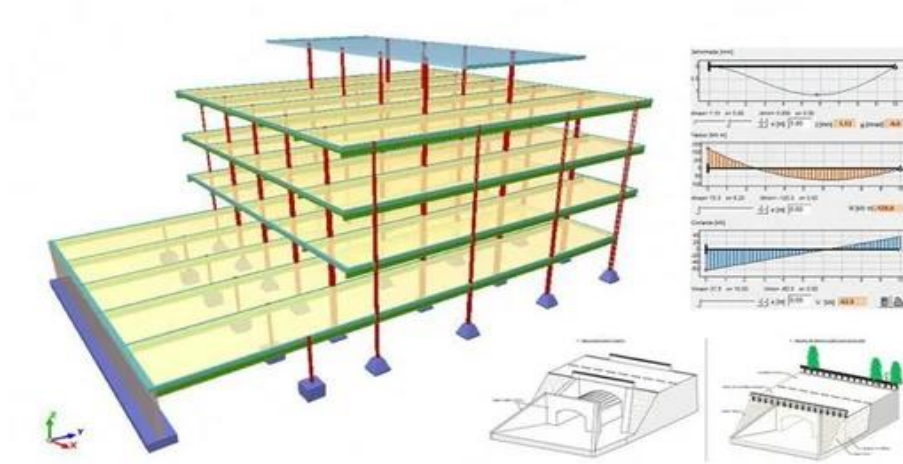
2.2. BASES TEÓRICAS

Análisis estructural

El análisis estructural es una disciplina fundamental en la ingeniería civil y arquitectónica, dedicada a determinar la respuesta de una estructura ante diversas cargas y condiciones de servicio. Este proceso se basa en la aplicación de principios de mecánica y matemáticas, lo que permite evaluar el comportamiento de los elementos estructurales y garantizar su integridad y funcionalidad a lo largo del tiempo. El análisis estructural se fundamenta en la mecánica de materiales y la estática, lo cual es esencial para el diseño seguro y eficaz de edificaciones (De la Cruz y Yoctun, 2022).

Figura 1

Análisis estructural de una edificación



Fuente. (Structuralia, 2022).

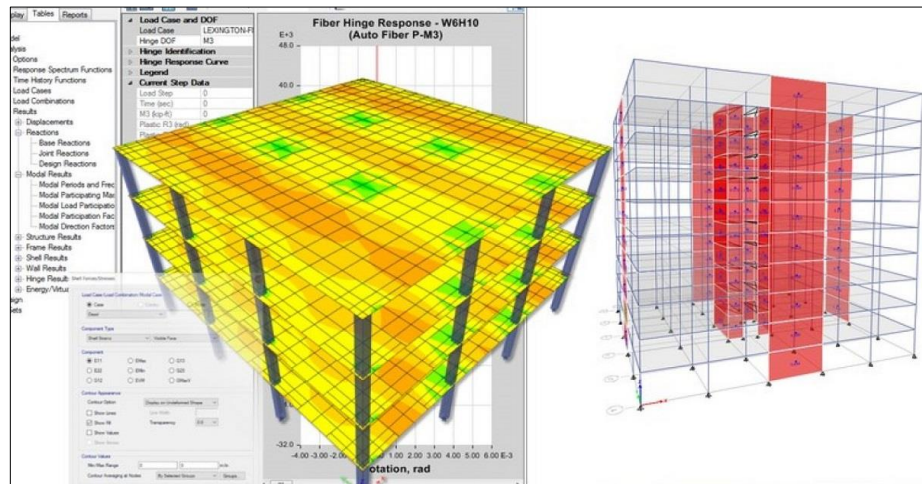
La importancia del análisis estructural radica en su capacidad para prever y evitar fallas en las estructuras, lo que podría tener consecuencias catastróficas. Esta disciplina permite identificar los puntos críticos de una estructura, facilitando así la implementación de medidas preventivas que aumenten su resistencia y durabilidad. Las metodologías de análisis estructural se clasifican en enfoques lineales y no lineales, cada uno de los cuales resulta adecuado para diferentes tipos de estructuras y condiciones de carga. El análisis lineal es, generalmente, más simple y se basa en suposiciones que permiten descomponer la estructura en sus componentes individuales (De la Cruz y Yoctun, 2022).

Las herramientas y técnicas utilizadas en el análisis estructural han evolucionado significativamente con el avance tecnológico. Los softwares de modelado y simulación han transformado la manera en que los ingenieros realizan estos análisis, permitiendo simulaciones más precisas y complejas. Estos programas pueden modelar no sólo la geometría de la estructura, sino también sus materiales y las interacciones entre sus componentes, proporcionando así un enfoque integral para la evaluación de su desempeño. Sin embargo, a pesar de la sofisticación de estas herramientas, la interpretación de los

resultados aún depende en gran medida del conocimiento y la experiencia del ingeniero. Este profesional debe aplicar su juicio crítico para validar y ajustar los modelos a condiciones del mundo real (Velazquez Lugo, 2020).

Figura 2

Estándar de seguridad con bajos costos



Nota. Adaptado de Análisis sísmico de edificaciones (p.164), por Roberto Aguiar, 2008, Editorial Centro de investigación científica

Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como la susceptibilidad de una estructura o sistema a sufrir daños durante un evento sísmico. Esta vulnerabilidad está influenciada por una variedad de factores, como la tipología de la construcción, la calidad de los materiales, las características del sitio y la intensidad del sismo. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica es crucial para la planificación y gestión de riesgos, ya que permite identificar edificaciones y áreas que requieren intervención para reducir el riesgo de daños y pérdidas humanas. De este modo, comprender la vulnerabilidad sísmica se convierte en un aspecto esencial en la mitigación de desastres y la protección de la vida humana (Sulca y Delgadillo, 2022).

Existen diferentes metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, que se pueden clasificar en enfoques cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos, como el de

evaluación rápida, ofrecen un análisis preliminar que es útil para determinar la necesidad de estudios más detallados. Por otro lado, los métodos cuantitativos, como el análisis estructural, permiten una evaluación más precisa del comportamiento de las estructuras bajo cargas sísmicas específicas. Este tipo de análisis se fundamenta en simulaciones computacionales que consideran tanto la dinámica del sismo como las propiedades materiales de las estructuras. La elección del método a utilizar dependerá de los objetivos del estudio y de los recursos disponibles, así como de la naturaleza de las edificaciones a evaluar (Sulca y Delgadillo, 2022).

La vulnerabilidad sísmica no solo afecta a las edificaciones, sino también a las comunidades y sus habitantes. La exposición de la población a eventos sísmicos, combinada con la precariedad de muchas construcciones, eleva el riesgo de desastres. Las comunidades más vulnerables suelen ser aquellas con escasos recursos, que carecen de infraestructura adecuada y de sistemas de alerta temprana. Por lo tanto, es fundamental integrar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en los planes de desarrollo urbano y en la gestión de riesgos, promoviendo políticas que fortalezcan la resiliencia de las comunidades (Moposita et al., 2021).

La mitigación de la vulnerabilidad sísmica implica la implementación de diversas estrategias, tales como el refuerzo estructural, la actualización de normativas de construcción y la promoción de la educación y capacitación en gestión de riesgos. La literatura sugiere que una combinación de intervenciones técnicas y sociales puede ser efectiva para reducir la vulnerabilidad. Así, al abordar el problema de la vulnerabilidad sísmica, es necesario adoptar un enfoque multidisciplinario que contemple tanto los aspectos técnicos como los contextos socioeconómicos de las comunidades afectadas (Moposita et al., 2021).

Iglesia La Merced

La Iglesia de La Merced, ubicada en Huánuco, Perú, es un importante patrimonio arquitectónico que simboliza la historia y la evolución de la arquitectura colonial en la región. Fundada en el siglo XVI por la Orden de los Mercedarios, esta iglesia es un ejemplo del estilo barroco andino, que fusiona elementos europeos con características locales. Su significancia como símbolo de devoción y cultura resalta la necesidad de preservarla adecuadamente (Bruno, 2023).

Figura 3

Iglesia La Merced



Fuente: (Wikipedia, 2018).

A lo largo de los años, La Merced ha experimentado diversas modificaciones y restauraciones debido a los daños causados por sismos. La evaluación de su vulnerabilidad sísmica es fundamental para garantizar su conservación y seguridad. Además, la iglesia no solo es un espacio de culto, sino también un centro cultural que alberga un valioso patrimonio histórico, como su impresionante fachada y altar mayor (Pio Rivera, 2022).

Modelos 3D

Los modelos 3D se han convertido en herramientas esenciales en diversas disciplinas como la ingeniería, la arquitectura y el diseño industrial, permitiendo la representación precisa de objetos tridimensionales. Esta capacidad de visualización facilita la comprensión de las características geométricas y funcionales de los diseños, transformando la forma en que los profesionales conceptualizan y comunican sus ideas. El uso de software especializado y diversas técnicas de modelado, como el modelado poligonal y NURBS, permite a los diseñadores construir y editar modelos según los objetivos del proyecto (Saavedra, 2023).

Además de su creación, el análisis de modelos 3D es fundamental en la ingeniería, donde permite realizar simulaciones estructurales que ayudan a identificar problemas antes de la construcción. Esta práctica no solo mejora la calidad del diseño, sino que también optimiza recursos y reduce costos, lo que resalta la importancia de integrar el modelado 3D en el proceso de desarrollo de proyectos. La visualización de estos modelos en entornos tridimensionales también facilita la comunicación efectiva con clientes y partes interesadas, promoviendo una mejor toma de decisiones (Lago Teijeiro, 2023).

La evolución de tecnologías como la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) ha ampliado las capacidades de interacción con modelos 3D, permitiendo experiencias inmersivas que enriquecen la comprensión de los diseños. Estas innovaciones subrayan la creciente importancia de los modelos 3D no solo como herramientas de diseño, sino también como medios para mejorar la comunicación y la colaboración en proyectos complejos. En resumen, los modelos 3D son recursos valiosos que continúan transformando el panorama del diseño y la visualización en múltiples disciplinas (Lago Teijeiro, 2023).

Software ETABS

ETABS es un software de análisis y diseño estructural ampliamente utilizado en la ingeniería civil, especialmente en el ámbito de los edificios. Desarrollado por la empresa Computers and Structures, ETABS se ha convertido en una herramienta fundamental para ingenieros estructurales en el modelado, análisis y diseño de estructuras complejas, permitiendo realizar simulaciones precisas bajo diversas condiciones de carga, incluidas las cargas sísmicas y de viento. Su interfaz intuitiva y sus potentes capacidades de análisis hacen que ETABS sea accesible tanto para profesionales experimentados como para aquellos que se inician en el campo del diseño estructural (Rupay et al., 2023).

Una de las características distintivas de ETABS es su enfoque en el análisis de estructuras de edificios. El software permite a los usuarios modelar estructuras en 3D, lo que facilita la visualización de la interacción entre diferentes elementos estructurales. Esto incluye la capacidad de definir sistemas de materiales, secciones transversales y configuraciones de carga de manera detallada. Además, ETABS integra herramientas para realizar análisis estáticos y dinámicos, lo que permite a los ingenieros evaluar la respuesta de una estructura a diversas fuerzas y momentos, y así garantizar su seguridad y estabilidad bajo condiciones extremas (Choccata Quispe, 2021).

La implementación de ETABS en el diseño estructural también se traduce en un ahorro significativo de tiempo y recursos. Al automatizar gran parte del proceso de análisis y diseño, el software permite a los ingenieros realizar múltiples iteraciones en un período más corto, optimizando así el proceso de diseño. Asimismo, ETABS proporciona informes detallados y gráficos que ayudan en la interpretación de los resultados, facilitando la comunicación con otros miembros del equipo de diseño y con los clientes. Por lo tanto, ETABS no solo mejora la eficiencia del trabajo estructural, sino que también

contribuye a la calidad y la precisión de los proyectos (Choccata Quispe, 2021).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Análisis de Pushover

Método de evaluación estructural que permite analizar el comportamiento no lineal de una estructura cuando se le aplica una carga lateral creciente, como las fuerzas sísmicas. Este enfoque se centra en el desplazamiento de la estructura, a diferencia de los métodos tradicionales que pueden solo considerar la fuerza (Condori y Vilca, 2022).

Análisis Dinámico

Evaluación de la respuesta de una estructura bajo cargas que varían con el tiempo, como las provocadas por un sismo o vientos fuertes. Este tipo de análisis es crucial para comprender cómo una estructura responderá a situaciones dinámicas y puede incluir métodos como el análisis modal o el análisis de respuesta temporal (Abad y Ramírez, 2023).

Análisis Estático

Método que examina la respuesta de una estructura bajo cargas constantes y estáticas, como el peso propio de los materiales y las cargas permanentes. Este enfoque se utiliza comúnmente en las primeras etapas del diseño estructural para calcular esfuerzos y desplazamientos bajo condiciones controladas, sin considerar las variaciones temporales o dinámicas que ocurren en un evento sísmico (Condori y Vilca, 2022).

Carga Sísmica

Fuerza generada por un terremoto que actúa sobre una estructura, provocando desplazamientos, vibraciones y tensiones que pueden comprometer su estabilidad y seguridad. Esta carga es

influenciada por varios factores, incluyendo la magnitud del sismo, la profundidad del foco, las características del suelo y la propia geometría de la estructura (Abad y Ramírez, 2023).

Coeficiente de Importancia

Factor multiplicador que se aplica a las cargas sísmicas durante el diseño estructural, reflejando la importancia de una estructura en términos de su uso y ocupación. Este coeficiente es especialmente relevante para edificaciones críticas, como hospitales y escuelas, donde el riesgo de fallo puede tener consecuencias graves (Condori y Vilca, 2022).

Control de Daños

Estrategias y técnicas aplicadas para minimizar y gestionar los daños estructurales que puedan ocurrir durante un evento sísmico. Esto incluye el uso de materiales y sistemas constructivos que absorben y disipan la energía sísmica, así como el diseño de elementos que se deforman de manera controlada (Peña et al., 2022).

Ductilidad

Capacidad de un material o estructura para deformarse bajo carga sin fracturarse, lo que es fundamental para la resistencia sísmica. Una estructura dúctil puede absorber y disipar la energía generada durante un sismo, permitiendo deformaciones significativas sin perder su capacidad de carga (Díaz Figueroa, 2021).

Esfuerzo Cortante

Fuerza interna que actúa en un plano transversal a la dirección de un elemento estructural, como vigas y columnas. Esta fuerza es crucial en el diseño de estructuras, ya que puede provocar la falla de los elementos si no se diseña adecuadamente (Pérez Caldentey, 2024).

Inercia

Propiedad de un cuerpo que describe su resistencia a cambios en su estado de movimiento. En el contexto de la ingeniería estructural, la inercia de una estructura influye en su comportamiento frente a cargas dinámicas, como las producidas por un sismo. Una mayor inercia implica que una estructura tendrá una mayor tendencia a permanecer en reposo o a resistir cambios en su movimiento, lo que puede ser beneficioso en el diseño contra fuerzas sísmicas (Correa Osorio, 2023).

Intervención Estructural

Acciones y modificaciones realizadas en una estructura existente para mejorar su capacidad de resistencia y seguridad ante sismos. Esto puede incluir la adición de refuerzos, el uso de tecnologías de aislamiento sísmico, o la modificación de la geometría estructural (Asmat Garaycochea, 2023).

Metodología de Evaluación

Proceso sistemático utilizado para determinar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de una estructura. Este proceso incluye la recopilación de datos, el análisis del comportamiento estructural y la identificación de debilidades potenciales (Condori y Vilca, 2022).

Modelo Finito Elemento (FEM)

Técnica numérica utilizada para encontrar soluciones aproximadas a problemas complejos de ingeniería, como el análisis estructural. A través de la discretización de una estructura en elementos más simples, este método permite realizar análisis detallados del comportamiento bajo diversas condiciones de carga, incluyendo las fuerzas sísmicas (Novales Salamero, 2024).

Módulo de Elasticidad

Propiedad mecánica que describe la relación entre tensión y deformación en un material. Este parámetro es esencial en el análisis

estructural, ya que determina cómo un material se deformará bajo cargas aplicadas (Condori y Vilca, 2022).

Resistencia Sísmica

Capacidad de una estructura para soportar las fuerzas generadas por un terremoto sin sufrir daños significativos. Esta capacidad depende de múltiples factores, incluyendo la configuración estructural, los materiales utilizados y la calidad de la construcción (Almeida Navarrete et al., 2023).

2.4. HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

H₁: La Iglesia de La Merced de Huánuco presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica alto debido a su configuración estructural actual, según el análisis realizado en ETABS.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

H.E₁: El modelo tridimensional de la iglesia de tapial desarrollado en ETABS 2022, con propiedades mecánicas obtenidas ensayos in situ, representa adecuadamente el comportamiento estructural bajo cargas gravitacionales y sísmicas.

H.E₂: Las derivas entre niveles obtenidas del análisis dinámico superan el límite permitido por la Norma E.030 (0.7%), evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica.

H.E₃: La fuerza cortante basal en la estructura bajo cargas de sismo, presenta niveles críticos evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica.

H.E₄: La implementación de una alternativa de refuerzo estructural adecuada y compatible con los materiales originales permitirá reducir significativamente la vulnerabilidad sísmica de la

Iglesia La Merced, incrementando su rigidez y estabilidad global frente a eventos sísmicos.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Vulnerabilidad sísmica.

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Análisis estructurales.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Vulnerabilidad Sísmica (VD)	Grado de susceptibilidad de una estructura a sufrir daños debido a un evento sísmico, basado en su diseño, materiales y condición estructural.	Medida del grado de susceptibilidad de la Iglesia de La Merced de Huánuco a daños durante un sismo, evaluada mediante un análisis modal y dinámico en ETABS, considerando las propiedades del material (tapial) y la geometría estructural.	Condición estructural Respuesta sísmica	-Capacidad de carga de muros. -Desplazamientos máximos. - Derivas entre piso - Fuerza cortante basal	Modelos estructurales 3D en ETABS, análisis modal y dinámico. Datos de simulaciones sísmicas en ETABS.
Análisis estructurales (VI)	Se refiere a las condiciones físicas, mecánicas y estructurales de los elementos de tapial que componen una edificación, las cuales determinan su respuesta frente a cargas sísmicas.	Evaluación técnica del comportamiento estructural de los muros de tapial de la iglesia mediante modelamiento estructural y criterios normativos.	Comportamiento estructural Estado constructivo del material Configuración geométrica	- Deriva entre niveles - Irregularidad en planta - Irregularidad en elevación	- Modelación estructural en ETABS- Inspección técnica- Check-list estructural - Ficha técnica de inspección visual- Registro fotográfico - Plano arquitectónico estructural- Inspección in situ

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación aplicada es un tipo de investigación que tiene como objetivo principal abordar y resolver problemas prácticos específicos a través de la utilización de teorías, conocimientos y métodos científicos. A diferencia de la investigación básica, que busca expandir el conocimiento teórico sin necesariamente tener una aplicación inmediata, la investigación aplicada se centra en generar soluciones concretas que ofrezcan beneficios directos (Castro et al., 2023).

Mi investigación se enmarcó en un enfoque de investigación aplicada, orientada a resolver un problema específico relacionado con la vulnerabilidad sísmica de la iglesia de La Merced en Huánuco. A través del desarrollo de un modelo 3D utilizando ETABS, se aplicaron conocimientos teóricos y técnicas de análisis estructural para obtener resultados prácticos que contribuyeron a la preservación de esta edificación histórica, proponiendo soluciones concretas para mejorar su seguridad ante eventos sísmicos.

3.1.1. ENFOQUE

La investigación con enfoque cuantitativo es un método científico que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para identificar patrones, establecer relaciones y comprobar hipótesis. Este enfoque utiliza herramientas estadísticas y matemáticas para cuantificar variables y medir la magnitud de los fenómenos estudiados. La investigación cuantitativa se distingue por su objetividad y sistematicidad, y su principal ventaja radica en la posibilidad de generalizar los resultados a una población más amplia a través de muestras representativas y técnicas (Sánchez Flores, 2019).

El enfoque de mi investigación fue cuantitativo, centrado en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos mediante simulaciones en ETABS. Se utilizaron variables precisas, como las

frecuencias naturales de la estructura y los modos de falla identificados, para evaluar objetivamente la vulnerabilidad sísmica de la iglesia, presentando resultados claros y medibles que facilitaron la interpretación de los hallazgos en el contexto de la ingeniería estructural.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El nivel de investigación explicativa se orienta principalmente a determinar las causas y efectos de los fenómenos estudiados. Este tipo de investigación trasciende la mera descripción o correlación de variables, ya que busca comprender los mecanismos y procesos subyacentes que explican por qué y cómo se producen ciertos eventos. La investigación explicativa se enfoca en establecer relaciones causales mediante el uso de diseños metodológicos rigurosos que permiten aislar y controlar variables, con el objetivo de identificar y medir el impacto de unas variables sobre otras (Condori Ojeda, 2020).

Mi investigación se desarrolló a un nivel explicativo, analizando las relaciones entre la vulnerabilidad sísmica de la iglesia y los modos de falla más probables. A través de un análisis dinámico y modal, se buscó comprender cómo la estructura respondía a diferentes escenarios sísmicos, identificando los factores que contribuían a su vulnerabilidad y proponiendo estrategias de reforzamiento adecuadas.

3.1.3. DISEÑO

El diseño no experimental es un enfoque de investigación en el que el investigador observa y analiza las relaciones entre variables sin manipularlas ni controlarlas, lo que lo hace adecuado en contextos donde la experimentación no es posible o ética. Este tipo de diseño incluye estudios descriptivos, correlacionales, de casos, transversales y longitudinales. Aunque permite obtener información útil sobre fenómenos en su entorno natural, las conclusiones pueden ser limitadas en cuanto a establecer relaciones causales definitivas (Velazquez, 2018).

El diseño de mi investigación fue no experimental, centrado en la simulación y el análisis de datos sin realizar intervenciones directas en la iglesia. Se utilizó ETABS para crear un modelo representativo de la estructura, recolectando información sobre sus propiedades, geometría y condiciones sísmicas. Este enfoque permitió realizar un análisis objetivo y exhaustivo, garantizando la validez de los resultados obtenidos.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

En investigación científica, el término población se refiere al conjunto total de individuos, objetos o eventos que comparten una característica común y son objeto de estudio. Esta población es el universo del cual se busca obtener información y generalizar los resultados. Entender claramente la población es crucial, ya que define el alcance del estudio y permite al investigador establecer criterios precisos para la selección de muestras y la aplicación de métodos estadísticos, lo que asegura la validez y confiabilidad de las conclusiones (Camacho de Baez, 2021).

La población de mi investigación estuvo constituida por edificaciones históricas similares a la iglesia de La Merced en Huánuco. Este grupo incluyó otras iglesias y construcciones de valor patrimonial que presentaban características estructurales y materiales afines, como el uso de tapial. Al considerar edificaciones con contextos y condiciones similares, se facilitó la comparación de resultados y el análisis de vulnerabilidad sísmica, permitiendo una comprensión más amplia de los desafíos que enfrentan estas estructuras en el contexto sísmico de la región.

3.2.2. MUESTRA

Una muestra no probabilística se caracteriza por seleccionar elementos basados en criterios subjetivos en lugar de un proceso

aleatorio, lo que implica que no todos los miembros de la población tienen la misma probabilidad de ser incluidos. Este método se emplea a menudo en estudios exploratorios o cualitativos, y aunque limita la generalización de resultados a toda la población, permite obtener información detallada sobre un subgrupo específico, facilitando la exploración de fenómenos y la formulación de hipótesis iniciales (Camacho de Baez, 2021).

La muestra de esta investigación fue seleccionada de manera no probabilística, enfocándose exclusivamente en la iglesia de La Merced. Este enfoque permitió realizar un análisis detallado y profundo de esta edificación en particular, considerando su singularidad y su valor histórico. Al centrarse en una muestra específica, fue posible aplicar técnicas de simulación y evaluación que proporcionaron resultados relevantes y precisos sobre la vulnerabilidad sísmica de la iglesia, contribuyendo así a la formulación de estrategias adecuadas para su preservación y reforzamiento estructural.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos para esta investigación combinó técnicas de gabinete y de campo con el fin de obtener información precisa sobre las condiciones estructurales de la Iglesia de La Merced. En primer lugar, se realizó un levantamiento fotogramétrico mediante dron, que permitió capturar imágenes aéreas de alta resolución y generar un modelo tridimensional detallado de la envolvente arquitectónica.

Esta información fue complementada con la toma de datos en campo, mediante mediciones directas de las dimensiones en planta, altura de niveles, espesores de muros y características constructivas relevantes. Además, se ejecutaron ensayos mecánicos in situ sobre los muros de tapial, incluyendo pruebas de resistencia a compresión y caracterización del material, lo que permitió obtener propiedades físicas

y estructurales realistas. Toda esta información fue utilizada como base para la construcción del modelo estructural tridimensional en ETABS 2022 y para la posterior evaluación sísmica de la edificación. A continuación, se presentan imagen para mejor entendimiento.

Figura 4

Verificación visual de la estructura



Figura 5

Medición manual de las dimensiones de la estructura

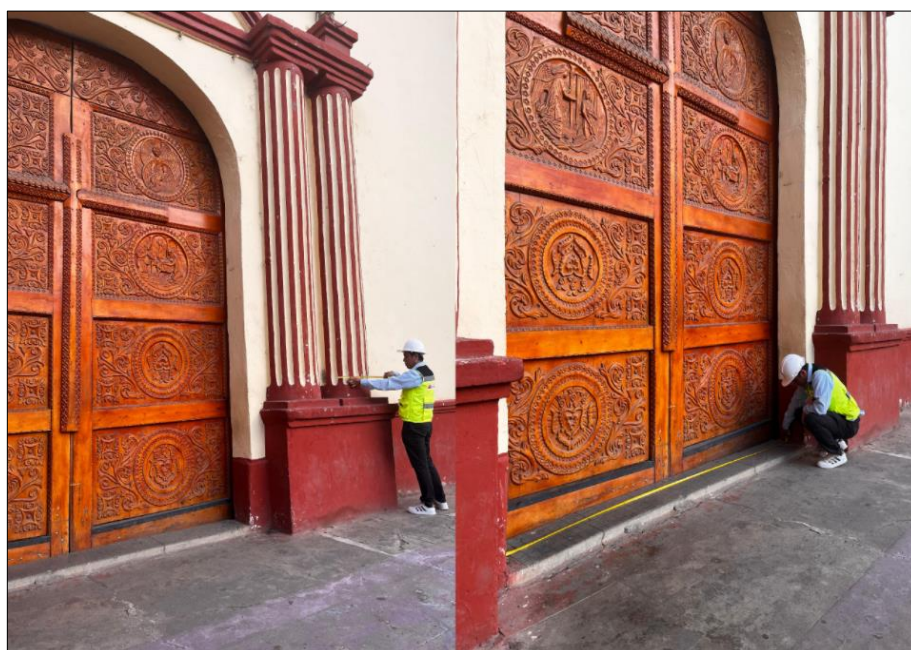


Figura 6

Medición manual de las dimensiones de la estructura

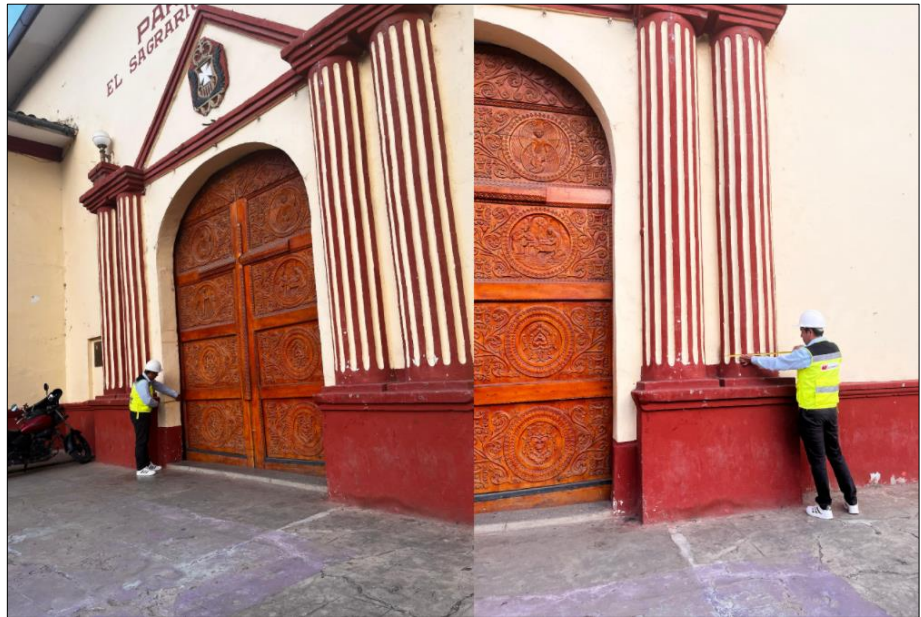


Figura 7

Recojo de datos característicos de la estructura y su materia



3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

La presentación de los datos obtenidos se realizó de manera estructurada y técnica, empleando tablas, gráficos y esquemas generados a partir del modelo tridimensional en ETABS 2022. Los

resultados de los ensayos mecánicos aplicados al material de tapial fueron organizados en cuadros resumen con sus respectivas unidades y valores promedio, los cuales sirvieron como insumo para la asignación de propiedades en el modelado. Asimismo, se presentaron los resultados del análisis dinámico mediante tablas comparativas que muestran los valores de deriva entre niveles y fuerza cortante basal dinámica por dirección y por nivel de piso, destacando los casos más críticos. La información fue complementada con gráficas de distribución de esfuerzos y deformaciones extraídas directamente del software, lo que permitió una interpretación visual clara del comportamiento estructural. Esta presentación sistemática facilitó la posterior contrastación con los criterios normativos y el análisis de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para el análisis e interpretación de los datos, se emplearon herramientas especializadas que permitieron procesar y evaluar los resultados obtenidos del modelo estructural de la iglesia. En primer lugar, se utilizó el software ETABS 2022, mediante el cual se aplicó un análisis dinámico modal espectral, obteniendo parámetros clave para el análisis. Estos resultados fueron exportados y organizados utilizando Microsoft Excel, que sirvió como instrumento complementario para la sistematización de los datos, facilitando su lectura mediante la elaboración de tablas comparativas y gráficos. Esta combinación de herramientas permitió una interpretación técnica precisa de los niveles de deformación y acumulación de esfuerzos, los cuales fueron contrastados con los límites normativos de la E.030, clasificando así el nivel de vulnerabilidad sísmica de la estructura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta sección se desarrolla el análisis estructural y la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la iglesia La Merced, tomando como base las Normas Técnicas E.030 (Diseño Sismorresistente) y E.080 (Construcciones de Tierra). Estas normativas proporcionan los lineamientos necesarios para una evaluación adecuada de edificaciones construidas en tapial. La modelación estructural de la iglesia se realizó mediante el software ETABS, logrando una representación lo más precisa posible de la configuración original. Este modelo permitió llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento estructural y su desempeño frente a eventos sísmicos.

Fotogrametría

Para el levantamiento de la geometría real de la iglesia, se realizó un estudio fotogramétrico mediante el uso de un dron DJI Mavic Mini 4. Este procedimiento permitió obtener información precisa y detallada de las dimensiones de la estructura. A partir de las imágenes capturadas, se generó un Modelo de Elevación Digital (DEM) y una ortofoto en formato TIF, los cuales fueron procesados con los softwares Agisoft Metashape y Autodesk ReCap. Posteriormente, la información fue depurada y ajustada en AutoCAD Civil 3D, lo que permitió definir con exactitud las dimensiones del modelo digital. Estos datos fueron fundamentales para la elaboración del modelo estructural en ETABS.

Figura 8

Modelo 3D de la iglesia en Civil3D

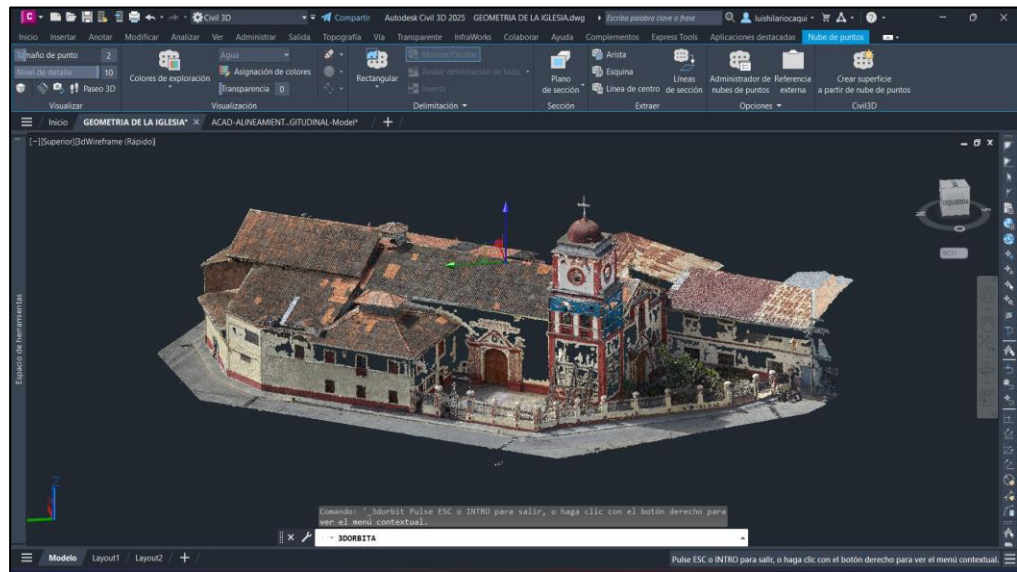
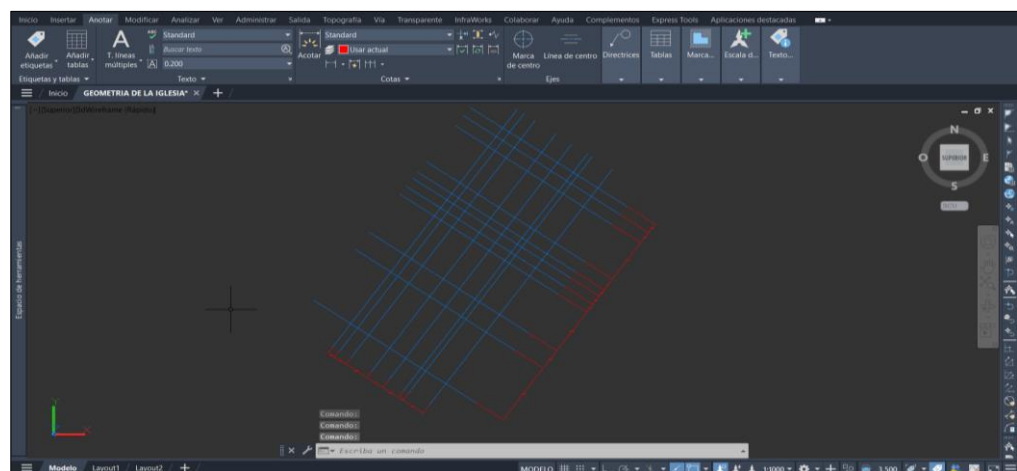


Figura 9

Creación de grillas de referencia



Interpretación

Posteriormente al trazado manual de la geometría de la iglesia mediante líneas, se elaboraron grillas de referencia basadas en sus dimensiones reales. Estas fueron incorporadas en ETABS con el propósito de optimizar el proceso de modelado y garantizar la fidelidad dimensional de la estructura analizada.

Modelación en ETABS

Figura 10

Sistema de grillas en ETABS

Grid System Data

Grid System Name: G1

System Origin:
Global X: 0 m
Global Y: 0 m
Rotation: 0 deg

Story Range Option:
☒ Default - All Stories
☐ User Specified
Top Story: Story4
Bottom Story: Base

Click to Modify/Show:
Reference Points...
Reference Planes...

Options:
Bubble Size: 1524 mm
Grid Color: [Color Selection]

Rectangular Grids:
☒ Display Grid Data as Ordinates
☐ Display Grid Data as Spacing

X Grid Data

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
A	0	Yes	End
B	17.9	Yes	End
C	23.95	Yes	End
D	37.28	Yes	End
E	40.05	Yes	End
F	42.88	Yes	End

Y Grid Data

Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
1	0	Yes	Start
2	6.29	Yes	Start
3	7.71	Yes	Start
4	12.57	Yes	Start
5	17.55	Yes	Start
6	24.08	Yes	Start

General Grids

Grid ID	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Visible	Bubble Loc
---------	--------	--------	--------	--------	---------	------------

Buttons: Add, Delete, Sort, OK, Cancel

Interpretación

La figura muestra el sistema de referencia empleado para iniciar la modelación estructural, obtenido a partir del sistema de coordenadas definido en AutoCAD. Este sistema incorpora las dimensiones reales de la edificación, asegurando una representación dimensional exacta en el entorno de modelado.

Figura 11

Propiedades de material: Tapial

Material Property Data

General Data

Material Name: TAPIAL

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 18.5 kN/m³

Mass per Unit Volume: 1886.475 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2500 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000009 1/C

Shear Modulus, G: 1000 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☐ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

☒ User Specified: 0.05 MPa

OK Cancel

Interpretación:

En la figura se observa que el material tapial fue modelado en ETABS definiéndolo como un material del tipo “Concrete”, debido a que su comportamiento estructural se asemeja al del concreto simple, especialmente en su respuesta a esfuerzos de compresión y su baja capacidad a tracción.

Esta elección permite aprovechar las funciones de análisis del programa orientadas a materiales frágiles sin refuerzo. Se asignaron propiedades mecánicas representativas de su comportamiento real, considerando una resistencia a la compresión de 12.54 kg/cm² (1.254 MPa), un peso unitario de 18.5 kN/m³, un módulo de elasticidad de 2,500 MPa, una relación de Poisson de 0.25, un coeficiente de dilatación térmica de 9×10^{-6} 1/°C y un módulo de corte de 1,000 MPa.

Dado que el tapial no presenta una resistencia significativa a la tracción, se asignó un módulo de ruptura nulo. Esta configuración permitió representar de manera realista el comportamiento estructural del tapial en los modelos analizados, facilitando la evaluación de su desempeño ante cargas sísmicas y gravitacionales.

Figura 12

Propiedades de material: Madera.

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name: MADERA
 - Material Type: Other (dropdown)
 - Directional Symmetry Type: Isotropic (dropdown)
 - Material Display Color: A green color swatch with a "Change..." button.
 - Material Notes: A button labeled "Modify/Show Notes..."
- Material Weight and Mass:**
 - Radio buttons for "Specify Weight Density" (selected) and "Specify Mass Density".
 - Weight per Unit Volume: 6.5 kN/m³
 - Mass per Unit Volume: 662.816 kg/m³
- Mechanical Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 10000 MPa
 - Poisson's Ratio, U: 0.30
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 3E-06 1/°C
 - Shear Modulus, G: 3846.15 MPa
- Design Property Data:**
 - A button labeled "Modify/Show Material Property Design Data..."
- Advanced Material Property Data:**
 - Buttons for "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", and "Time Dependent Properties..."

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Interpretación:

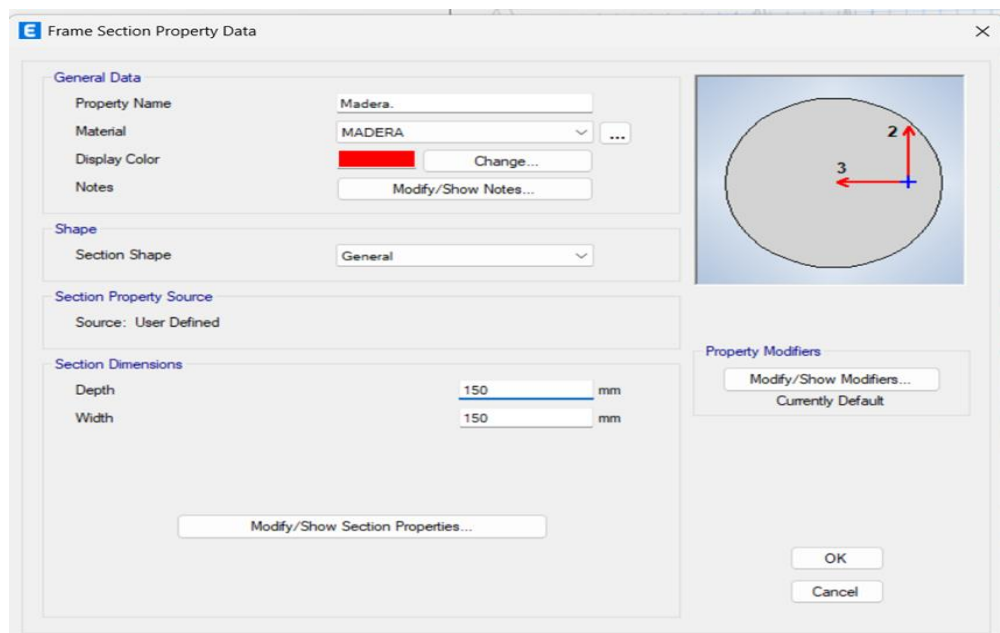
En el modelo estructural, la madera tipo Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) fue incorporada en ETABS como un material del tipo “Other”, debido a que su comportamiento estructural no corresponde ni al concreto ni al acero, sino que presenta una respuesta intermedia característica de materiales naturales anisotrópicos.

Para su definición, se asignaron propiedades mecánicas representativas del comportamiento típico de este tipo de madera estructural: un módulo de elasticidad de 10,000 MPa, una relación de Poisson de 0.30, un peso unitario de 6.5 kN/m³ y un coeficiente de dilatación térmica de 3×10^{-6} 1/°C.

El módulo de corte fue calculado automáticamente por el programa a partir de la relación entre el módulo de elasticidad y la razón de Poisson. Esta configuración permitió representar de manera adecuada el desempeño estructural de la madera como elemento resistente en cubiertas tradicionales, considerando su flexibilidad, ligereza y comportamiento elástico ante cargas verticales y laterales.

Figura 13

Propiedades de sección: Madera



Interpretación:

En cuanto a la sección estructural, se definieron los elementos de soporte del techo (vigas o postes) como miembros tipo frame con sección transversal circular sólida, típicamente utilizada en construcciones con techos a dos aguas y estética rústica.

La sección fue modelada en ETABS con un diámetro de 0.15 m (6 pulgadas), correspondiente a una sección maciza de madera. Esta configuración fue elegida por su eficiencia geométrica en la distribución de esfuerzos de flexión y compresión, permitiendo un comportamiento más uniforme en todas las direcciones del plano.

El programa calculó automáticamente las propiedades geométricas como el área transversal, el momento de inercia y el radio de giro, integrando estos valores en el análisis estructural para evaluar correctamente la resistencia y rigidez de los elementos circulares de madera frente a las cargas gravitacionales y sísmicas.

Figura 14

Propiedades de material: Cubierta de teja

Material Property Data

General Data

Material Name: CUBIERTA_DE_TEJA

Material Type: Other

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Blue] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 17.652 kN/m³

Mass per Unit Volume: 1800 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000008 1/C

Shear Modulus, G: 0.42 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Interpretación:

En la figura se muestra la creación del material denominado Teja, el cual ha sido modelado para simular de manera aproximada las características del techo de la iglesia.

Para ello, se recopilaron y calcularon las propiedades físicas y mecánicas del material, asignándole los siguientes valores: una densidad de 1800 kg/m^3 , un módulo de elasticidad de 1 MPa , un coeficiente de Poisson de $0,2$ y un coeficiente de dilatación térmica de $0,000008$. Estos parámetros permiten representar con un alto grado de aproximación el comportamiento del material original en el análisis estructural.

Figura 15

Propiedades de losa

The image shows a software dialog box titled "Slab Property Data". It contains two main sections: "General Data" and "Property Data".

General Data:

- Property Name: CUBIERTA_TEJA
- Slab Material: CUBIERTA_DE_TEJA
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Membrane
- Modifiers (Currently Default): Modify/Show...
- Display Color: A red color swatch with a "Change..." button.
- Property Notes: Modify/Show...
- ☒ Use Special One-Way Load Distribution

Property Data:

- Type: Slab
- Thickness: 30 mm

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Interpretación:

En la figura se observa la definición de la sección correspondiente al techo de la iglesia, la cual ha sido modelada utilizando el material Teja previamente creado. Esta sección se ha definido como una losa de tipo membrana con un espesor de 3 centímetros, lo que permite una representación realista y aproximada de las características físicas del techo original.

Figura 16

Propiedades de muro: Tapial

General Data	
Property Name	MURO DE TAPIAL
Property Type	Specified
Wall Material	TAPIAL
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thick
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	 Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Thickness	400 mm
☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall	

OK Cancel

Interpretación:

Para el modelado estructural del muro de tapial de adobe, se definió una sección de muro mediante el módulo Wall Section Properties de ETABS, considerando criterios técnicos adecuados al comportamiento real de este tipo de material. Se optó por el uso del elemento de tipo Shell Thick, el cual resulta más apropiado para representar muros macizos y de gran espesor, como es el caso del tapial.

El modelo de tipo Shell Thick permite considerar tanto los esfuerzos en el plano del muro (fuerzas normales y cortantes) como los esfuerzos fuera del plano (momentos flectores), incorporando de manera más precisa la rigidez a flexión y al corte transversal, lo cual es esencial para un análisis estructural bajo cargas sísmicas en zonas como Huánuco.

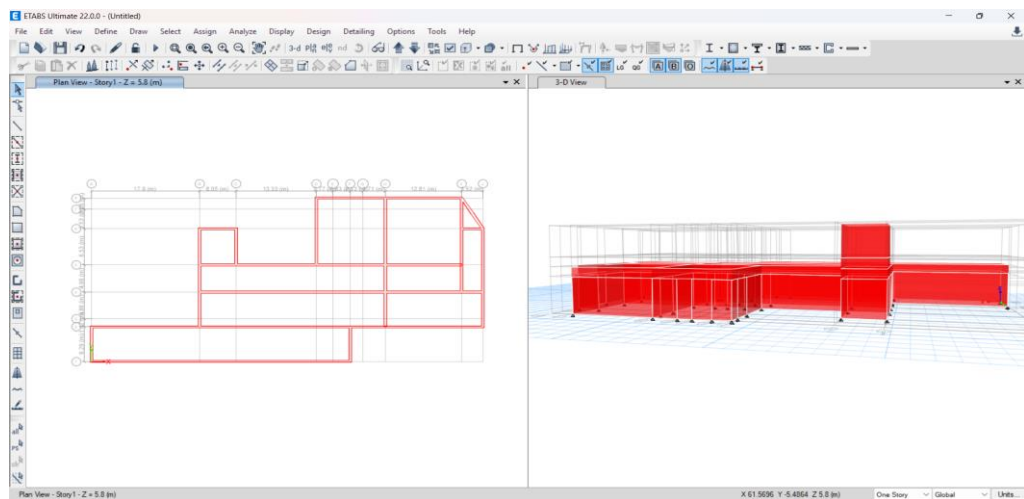
En cuanto al material, se definió un nuevo material estructural denominado TAPIAL, cuyas propiedades físicas y mecánicas fueron asignadas según datos obtenidos de la literatura técnica y ensayos previos sobre construcciones tradicionales de adobe.

Respecto al espesor del muro, se asignó un valor de 400 mm (0.40 m), el cual fue determinado mediante medición directa in situ en la iglesia en estudio. Este valor refleja con fidelidad las dimensiones reales del muro de tapial existente y permite una representación estructural más precisa en el modelo, especialmente en lo referido al cálculo de rigidez, masa y capacidad resistente.

Cabe resaltar que no se activó la opción “Include Automatic Rigid Area Over Wall”, debido a que las construcciones en tapial no suelen contar con elementos de confinamiento rígido o diafragmas horizontales efectivos, por lo que no es apropiado suponer una zona rígida en la parte superior del muro.

Figura 17

Inserción de los muros



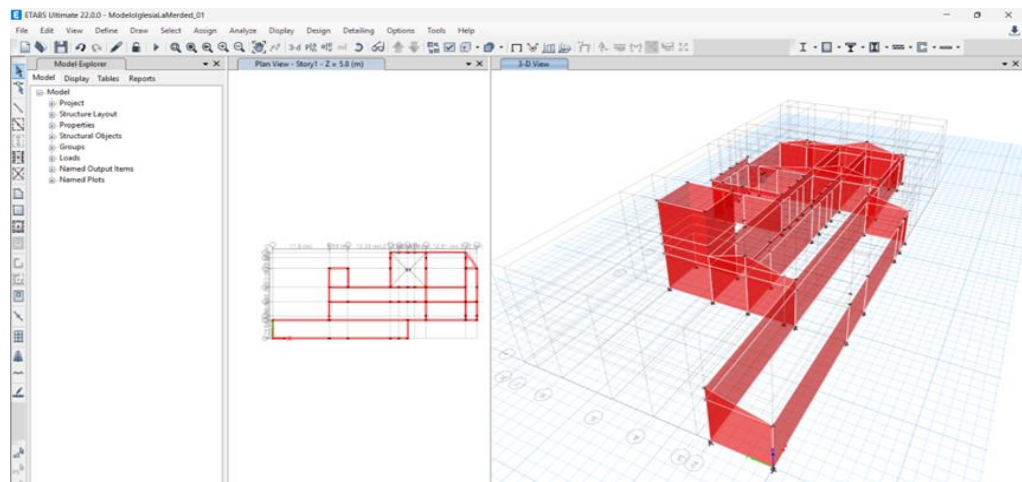
Interpretación:

En la figura se presentan los muros de tapial previamente definidos, los cuales fueron ubicados conforme a la distribución real de la estructura, con el fin de representar fielmente el modelo sometido a análisis.

Figura 18

Figura 18

Configuración Geométrica de Muros para Cubierta a Dos Aguas en ETABS

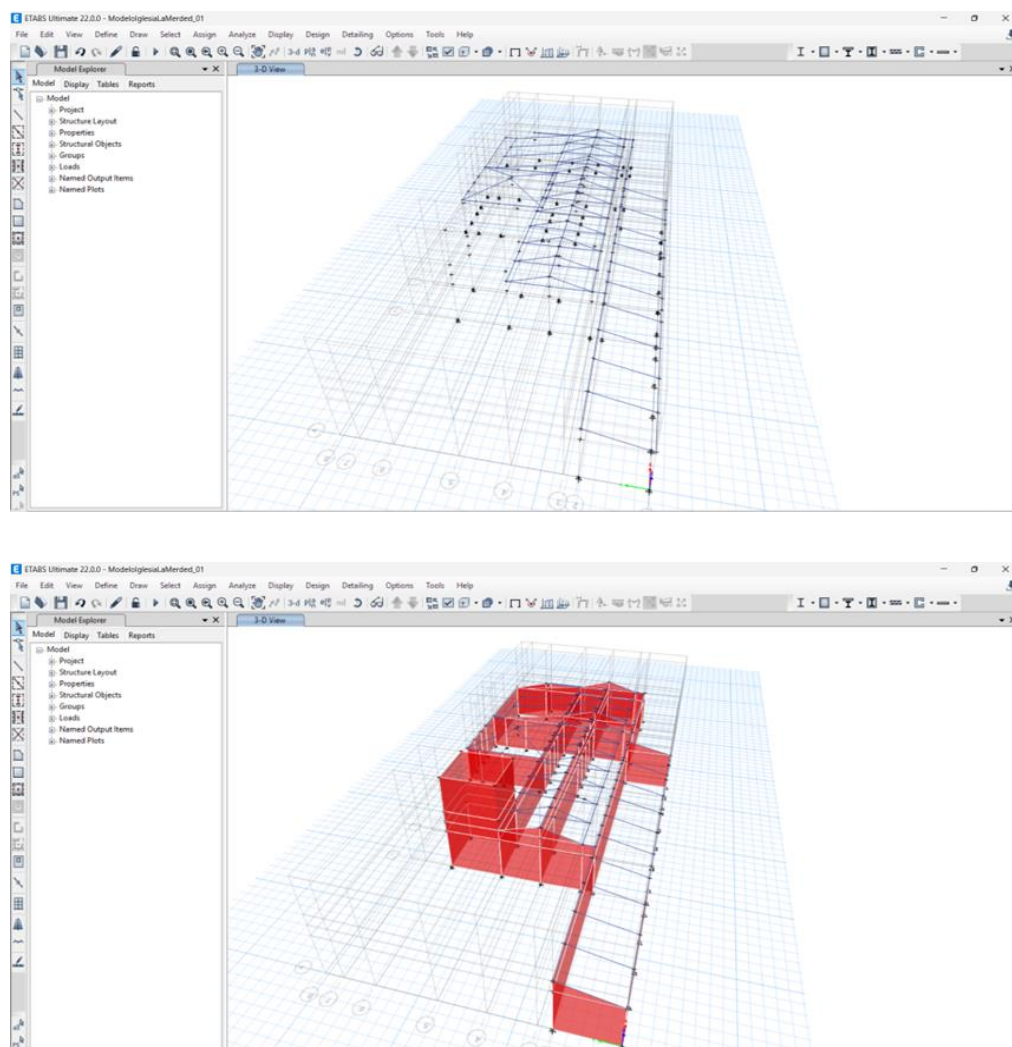


Interpretación:

En el modelado, donde el techo presenta una configuración a dos aguas, fue necesario adaptar la geometría de los muros para reflejar fielmente esta forma tal como se muestra en la figura. Para lograrlo, se utilizaron muros tipo "Shell" (área) y se empleó la herramienta "Draw Wall/Area Object" con puntos definidos manualmente. En la parte superior del muro se insertaron vértices adicionales formando un triángulo, lo que permitió representar el remate inclinado típico de este tipo de cubiertas. Esta configuración asegura una correcta transferencia de cargas desde el techo hacia los muros y da realismo estructural al modelo.

Figura 19

Vista de la armadura de madera del techo de tejas



Interpretación:

Una vez definidos el material y la sección circular correspondiente a los elementos de madera, se procedió a modelar los soportes estructurales del techo en ETABS. Estos elementos fueron dibujados como miembros tipo frame, distribuidos según el diseño arquitectónico de la cubierta a dos aguas. Su disposición responde a criterios estructurales y constructivos tradicionales, cumpliendo la función de transmitir las cargas de la cobertura (tejas) hacia los muros portantes o pórticos principales.

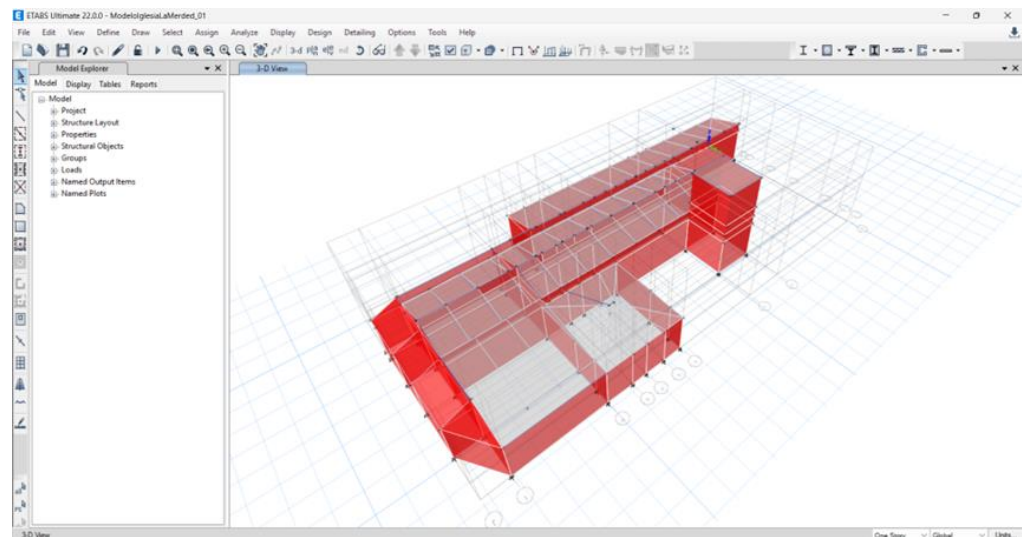
La geometría circular otorga una distribución más eficiente de los esfuerzos en todas las direcciones, y al haber sido correctamente definidos en

cuanto a propiedades mecánicas y sección, los elementos de madera representan fielmente el comportamiento real de una estructura liviana y flexible, típica de cubiertas ventiladas o de ambientes de gran altura como en el caso de iglesias.

Este modelado permite simular de manera precisa la interacción entre los soportes de madera y el sistema estructural general ante acciones verticales y laterales.

Figura 20

Inserción de las tejas



Asignación de Cargas

En esta sección se detallan las cargas asignadas en la estructura, tales como el peso propio, el peso sísmico, etc. Los cuáles serán necesarios para el análisis dinámico.

Figura 21

Creación de patrones de carga

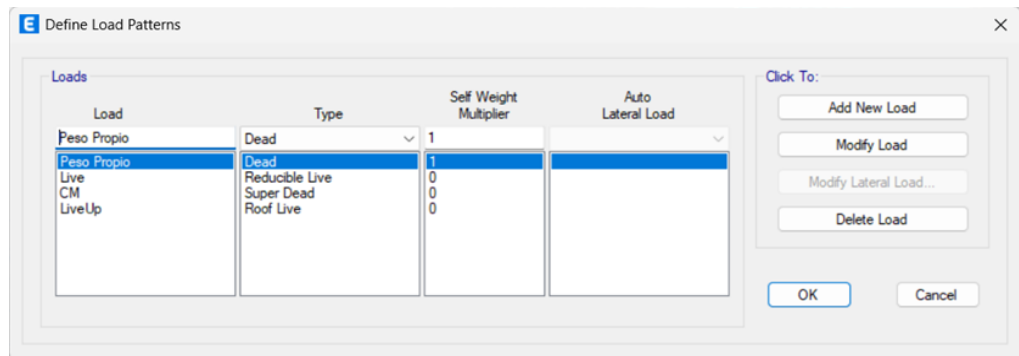
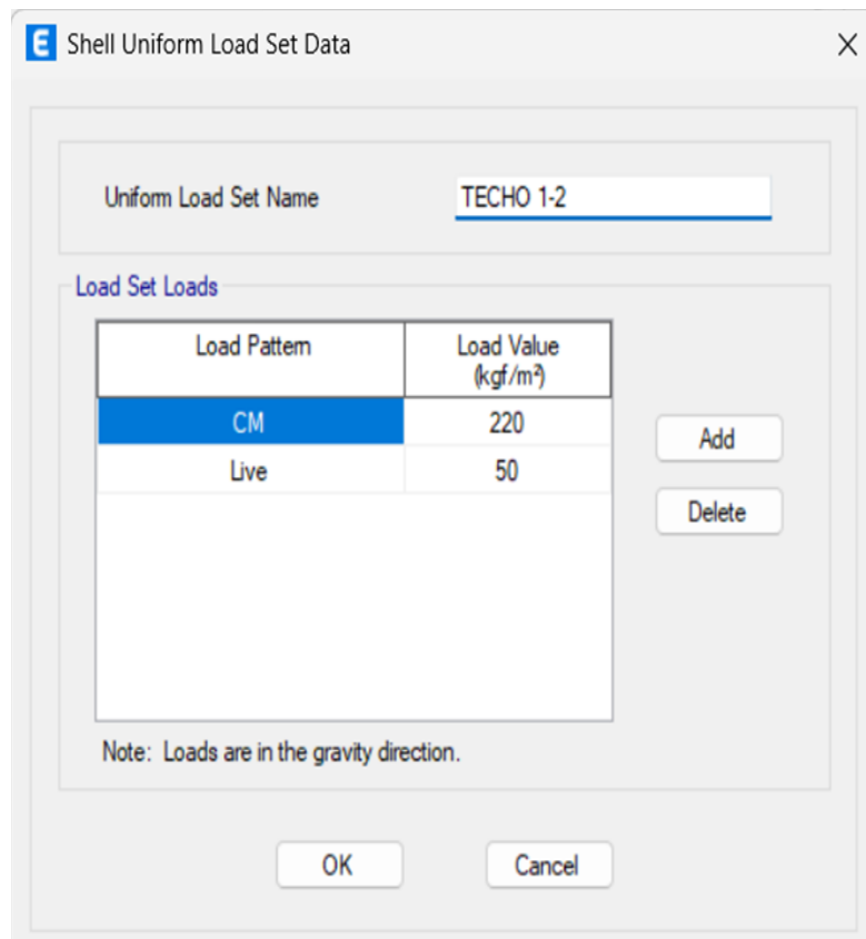


Figura 22

Creación de paquetes de carga



Interpretación:

Para techos con inclinación mayor de 3°, con respecto a la horizontal 1,0 kPa (100 kgf/m²) reducida en 0,05 kPa (5 kgf/m²), por cada grado de pendiente

por encima de 3°, hasta un mínimo de 0,50 kPa (50 kgf/m²). (E.020 Cargas - Reglamento Nacional de Edificaciones).

Figura 23

Asignación de los paquetes de carga en el techo

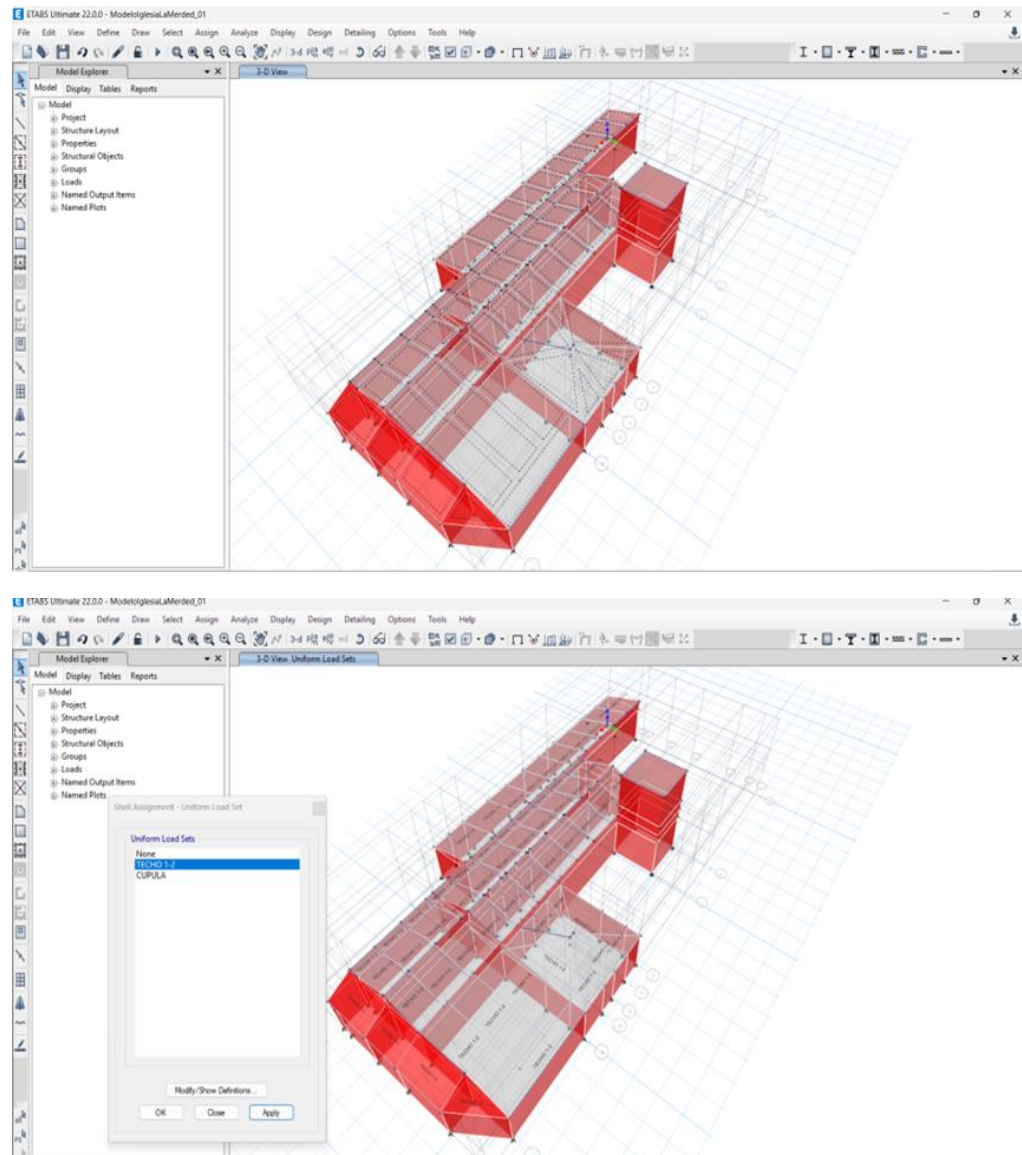
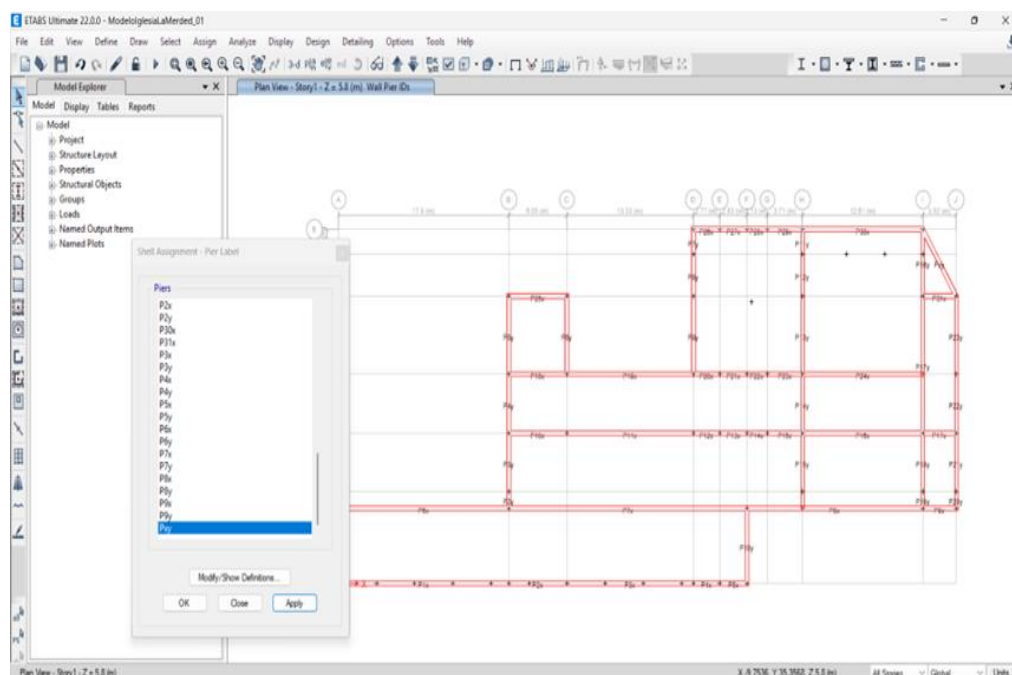


Figura 24

Asignación de PIER para los muros de tapial



Interpretación:

La asignación de cada muro de tapial en cada dirección (X e Y) nos facilita la lectura de las fuerzas cortante en el entorno ETABS, mediante el comando Draw Section Cut, este último trabaja en conjunto con la asignación PIER al muro de tapial.

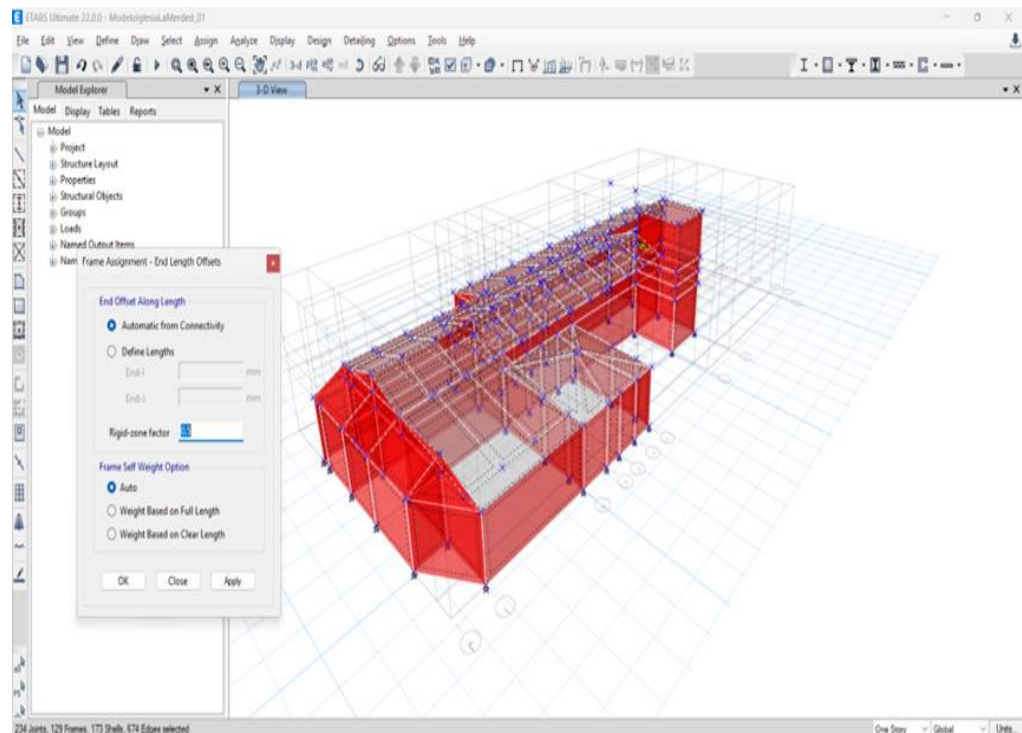
Ajustes finales al modelo (Restraints, end length offsets frame auto Mes, Frame Floorshing

Los End Length Offsets permiten modelar correctamente la geometría estructural teniendo en cuenta la rigidez y la continuidad física entre elementos como vigas, columnas y muros. Este ajuste evita que los elementos estructurales se unan solo punto a punto, y en su lugar, simula la conexión real que ocurre en obra, considerando la penetración o traslape de elementos.

En estructuras de materiales como el tapial, es importante definir estos offsets para representar adecuadamente los nodos rígidos, lo que influye directamente en la distribución de momentos y cortantes durante el análisis sísmico.

Figura 25

Ajuste “END LENGTH OFFSETS”



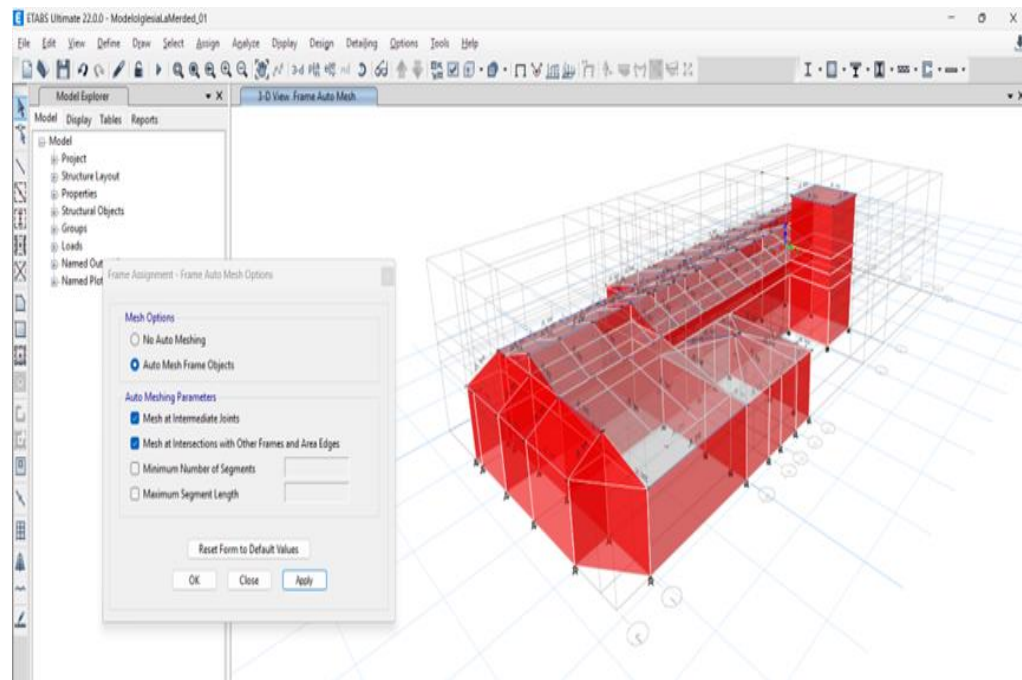
Interpretación:

El Frame Auto Mesh es una herramienta que subdivide automáticamente los elementos estructurales largos en segmentos más pequeños, permitiendo una mejor interacción entre marcos, losas y otros elementos. Este mallado mejora la precisión del análisis, ya que permite capturar adecuadamente la variación de esfuerzos y deformaciones, especialmente en zonas de transición o con cambios geométricos.

En edificaciones como iglesias, donde hay grandes claros y muros portantes, activar el auto mesh en los elementos estructurales ayuda a reflejar un comportamiento más realista ante solicitaciones sísmicas.

Figura 26

Ajuste “FRAME AUTO MESH”



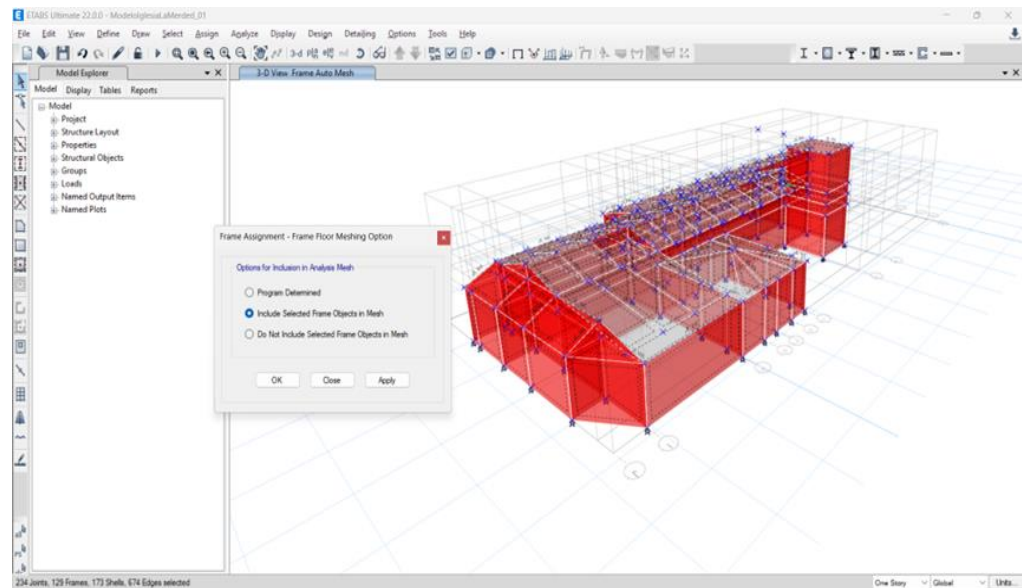
Interpretación:

El Frame Floor Meshing se refiere al mallado conjunto entre elementos de piso (losas o diafragmas) y los marcos estructurales (vigas y columnas), lo cual es crucial para lograr una distribución precisa de las cargas y la interacción entre componentes.

En la modelación de iglesias, donde las losas pueden tener formas irregulares o sistemas de techado especiales, aplicar correctamente este mallado asegura que las cargas gravitacionales y sísmicas se transfieran de forma continua y correcta a los elementos resistentes, mejorando la calidad del análisis de vulnerabilidad sísmica.

Figura 27

Ajuste "FRAME FLOORMESHING"



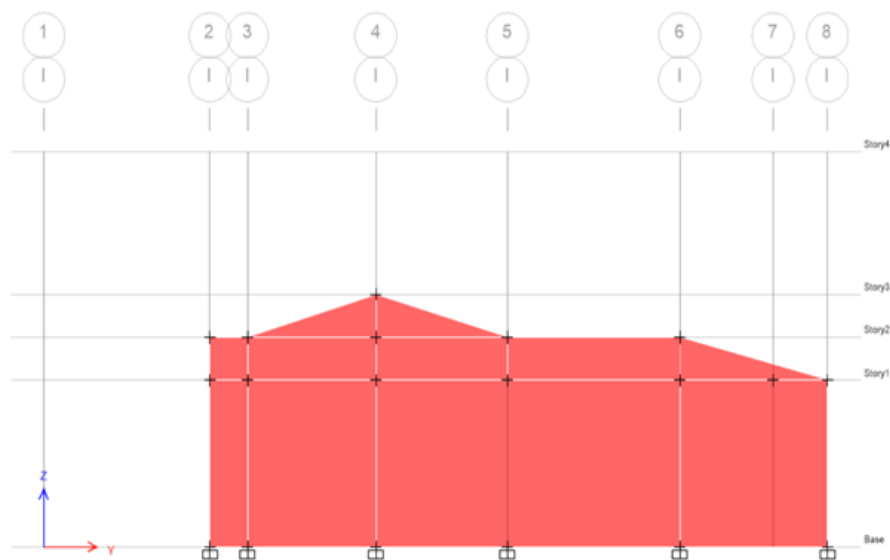
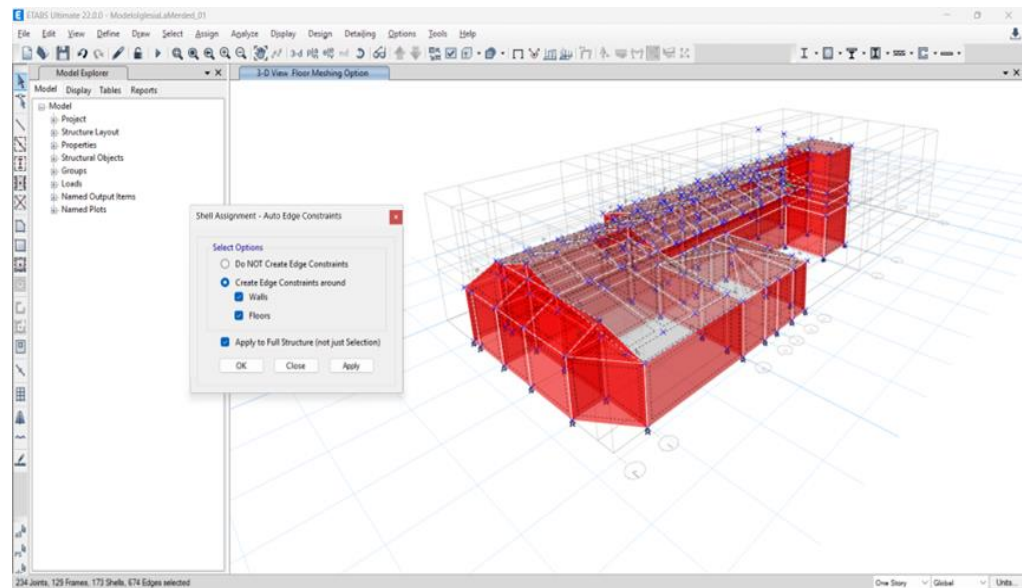
Interpretación:

El ajuste Auto Edge Constraint se utiliza para garantizar que las uniones entre elementos estructurales como vigas, columnas y losas trabajen de forma conjunta y continua, incluso cuando existen pequeñas diferencias geométricas en la ubicación de sus nodos o bordes.

En la modelación de una iglesia, esta herramienta es especialmente útil cuando se tienen irregularidades en el trazo de los muros de tapial o techos artesonados, ya que permite vincular automáticamente los nodos que están muy cerca entre sí, evitando desconexiones no deseadas. Activar esta opción ayuda a mejorar la estabilidad del modelo, previene errores por elementos sueltos y asegura una transferencia efectiva de cargas en todo el sistema estructural, lo cual es esencial para una evaluación sísmica precisa.

Figura 28

Ajuste "AUTO EDGE CONSTRAINT"



Interpretación:

El comando "Check Model" de ETABS v22 realiza una verificación automática de la integridad y coherencia del modelo estructural, identificando potenciales errores que podrían afectar la precisión del análisis. Esta herramienta examina aspectos críticos como: conexiones entre elementos (nodos compartidos o correctamente vinculados), asignación completa de propiedades de materiales y secciones, definición adecuada de restricciones

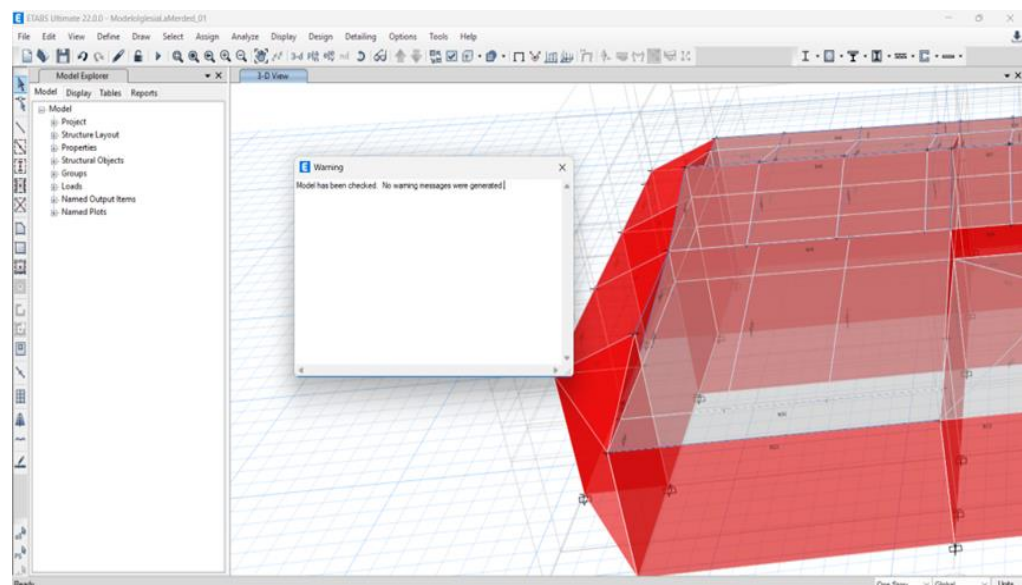
y apoyos, consistencia en el mallado de elementos finitos (sin distorsiones excesivas o elementos desconectados), y validación de cargas y patrones de análisis.

Tras su ejecución en el modelo de la iglesia de tapial, el sistema no detectó errores o inconsistencias críticas, confirmando que la geometría, las propiedades del material (correspondientes al comportamiento mecánico del tapial), las condiciones de borde, las conexiones estructurales y la definición de cargas cumplen con los requisitos básicos para garantizar la fiabilidad del modelo.

Este resultado permite proseguir con las etapas de análisis dinámico no lineal y evaluación de vulnerabilidad sísmica con un nivel adecuado de confianza en la representación estructural.

Figura 29

Verificación si el modelado tiene algún problema



Interpretación:

El software no muestra ningún error en el modelo estructural, lo cual garantiza su correcta ejecución.

Análisis Dinámico

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana E.030, la acción sísmica que debe considerarse en el diseño estructural se determina a partir de varios factores que representan la amenaza sísmica regional, la importancia de la edificación, las condiciones locales del suelo y la amplificación del espectro de respuesta.

En este contexto, la iglesia ubicada en la ciudad de Huánuco se encuentra en la Zona Sísmica 2, correspondiente a un nivel moderado de sismicidad, lo cual define un factor $Z = 0.25$, indicando el valor básico de aceleración sísmica esperada. Por tratarse de una edificación de importancia especial (Categoría B, que agrupa centros religiosos, auditorios, entre otros), se asigna un factor de uso $U = 1.3$, lo cual incrementa el diseño sísmico como medida preventiva ante eventuales evacuaciones masivas o concentraciones humanas.

En cuanto a las condiciones del suelo, al ser clasificado como Suelo Tipo S2 (intermedio o semirrígido), se considera una respuesta intermedia de amplificación sísmica, asociada a un factor de sitio $S = 1.3$, y a un coeficiente de forma del espectro C determinado en función del período fundamental de la estructura y la categoría del suelo.

Todos estos factores se integran dentro del análisis dinámico para definir las fuerzas sísmicas de diseño, buscando asegurar un comportamiento estructural seguro frente a eventos sísmicos esperables en la región.

Parámetros de zona

Parámetros en la dirección X e Y, el valor que se evidencia del periodo se sacó del software después del modelado (ETABS).

Tabla 1

Parámetros de zona en la dirección X

DIRECCIÓN X	
Z	0.25
U	1.3
S	1.2
TP	0.6
TI	2
Tx	0.321

Tabla 2*Parámetros obtenidos del software ETABS: Dirección X*

	ETABS
Cx	2500
Rox	
Ia	1
Ip	1
Rx	6
Csx	0.1625
Kx	1
Vbx	268.4113

Tabla 3*Parámetros de zona en la dirección Y*

	DIRECCIÓN Y
Z	0.25
U	1.3
S	1.2
TP	0.6
TI	2
Tx	0.298

Tabla 4*Parámetros obtenidos del software ETABS: Dirección X*

	ETABS
Cx	2500
Rox	6
Ia	1
Ip	0.9
Rx	5.4
Csx	0.1805
Kx	1
Vbx	365.4086

Interpretación:

El espectro de respuesta elástica para el análisis sísmico dinámico fue definido en ETABS v22 conforme a los requisitos de la Norma Peruana E.030, utilizando los siguientes parámetros clave: Zona Sísmica 2, Categoría de Ocupación B (edificaciones esenciales), Tipo de Suelo 2 (suelo intermedio) y Configuración Estructural Irregular. Se aplicó un Factor de Reducción Sísmica $R=6$ acorde con sistemas estructurales de mampostería no reforzada, característica del tapial.

La curva espectral se generó con un amortiguamiento crítico del 5%, estableciendo valores de aceleración espectral (%g) para intervalos de período entre 0.0 s y 15.0 s. La forma característica del espectro, con aceleración máxima de 280%g en $T=10.5s$ y descenso progresivo hasta 0%g en $T=15.0s$, refleja la amplificación sísmica esperada en suelos intermedios y la respuesta dinámica típica de estructuras históricas irregulares.

Esta definición garantiza que el análisis dinámico posterior evalúe adecuadamente la vulnerabilidad estructural ante movimientos sísmicos representativos de la zona.

Parámetros críticos incorporados

- Factores normativos: Combinación Zona 2/Suelo 2 para riesgo sísmico moderado-alto.
- Irregularidad estructural: Considera discontinuidades geométricas y de masa propias de iglesias de tapial.
- Factor R: Valor conservador para muros de tierra no reforzada, acorde con recomendaciones para patrimonio.
- Puntos de control espectral: Aceleraciones definidas en períodos clave (e.g., 180%g a $T=6.0s$, 240%g a $T=8.0s$).

La curva resultante cumple con los requisitos de la norma E.030 y proporciona la base para el análisis modal espectral necesario en la evaluación de vulnerabilidad sísmica.

Figura 30

Creación del espectro de respuesta

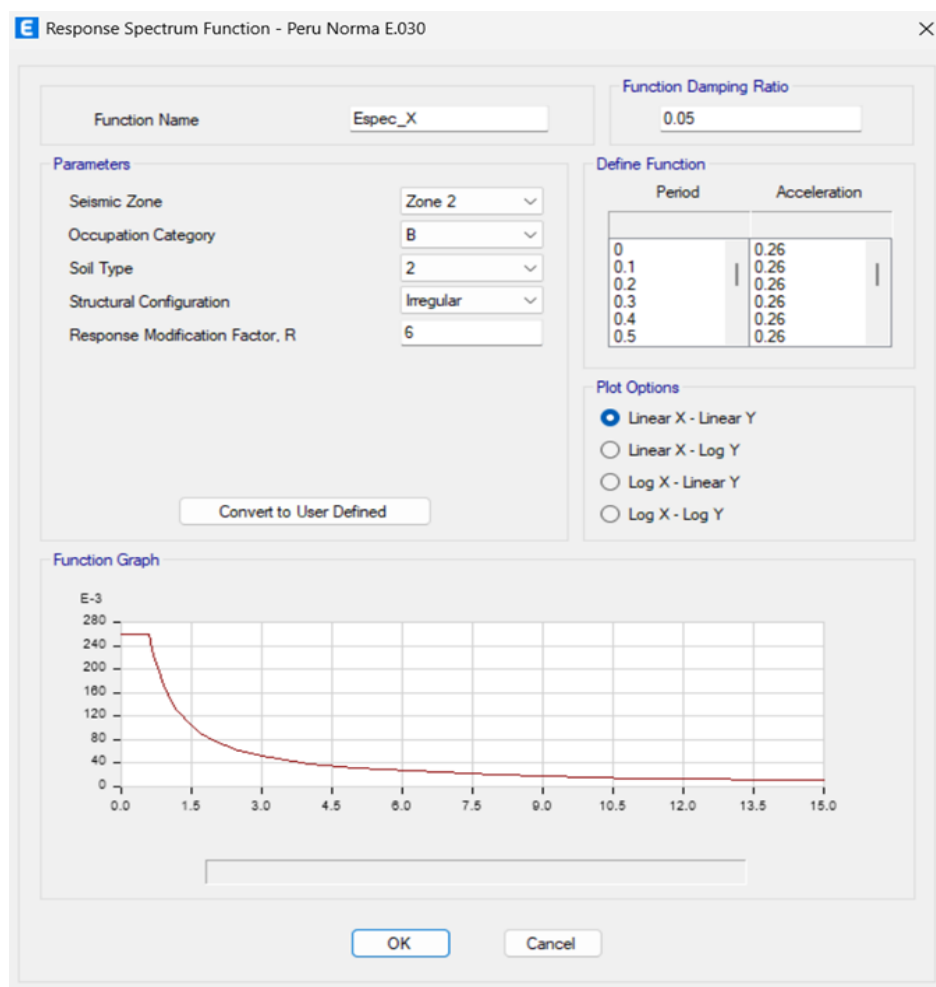
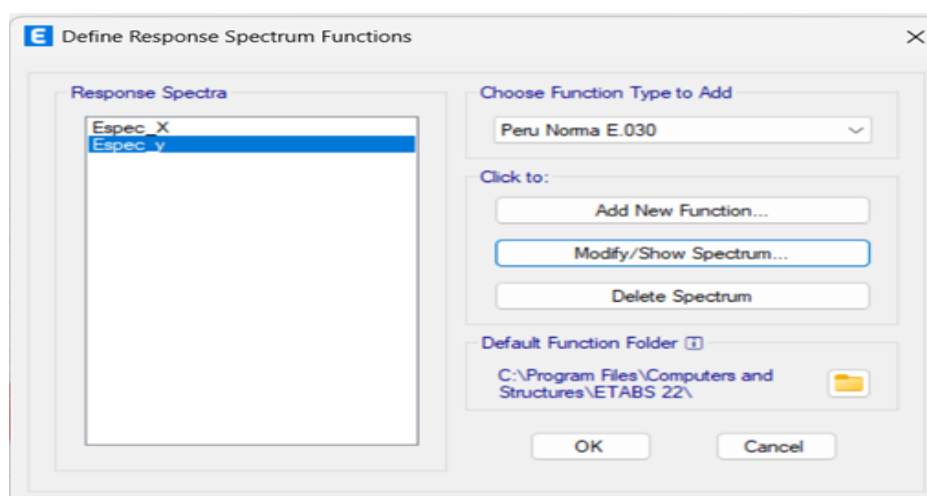


Figura 31

Espectro de respuesta para las direcciones X e Y



Interpretación:

Se configuraron casos de carga dinámica para el análisis sísmico espectral en ETABS, denominados "SIS_DINAMICO_X" y "SIS_DINAMICO_Y". Utilizando el espectro de respuesta elástica previamente definido según la Norma Peruana E.030 (Zona 2, Suelo Tipo 2, Categoría B, Factor R=6).

Estos casos incorporan un análisis modal espectral con las siguientes características: Asignación direccional explícita para evaluar acciones sísmicas independientes en cada eje principal de la estructura; Combinación modal CQC (Complete Quadratic Combination) para superponer efectos modales considerando correlaciones entre modos cercanos; Combinación direccional SRSS (Square Root of Sum of Squares) para superponer respuestas ortogonales; y Participación de masa garantizada >90% mediante inclusión de suficientes modos de vibración.

La ausencia de excentricidad accidental (0%) refuerza el enfoque conservador para estructuras históricas irregulares de tapial. Estos casos generan esfuerzos y desplazamientos máximos representativos, esenciales para evaluar vulnerabilidad sísmica.

Figura 32

Creación carga dinámica

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:**
 - Load Case Name: Sis_Dinam_Y
 - Load Case Type: Response Spectrum
 - Mass Source: Previous (Peso Sísmico)
 - Analysis Model: Default
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Espec_y	9806
- Other Parameters:**
 - Modal Load Case: Model
 - Modal Combination Method: CQC
 - ☐ Include Rigid Response
 - Rigid Frequency, f1:
 - Rigid Frequency, f2:
 - Periodic + Rigid Type:
 - Earthquake Duration, td:
 - Directional Combination Type: Absolute
 - Absolute Directional Combination Scale Factor: 1
 - Modal Damping: Constant at 0.05
 - Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

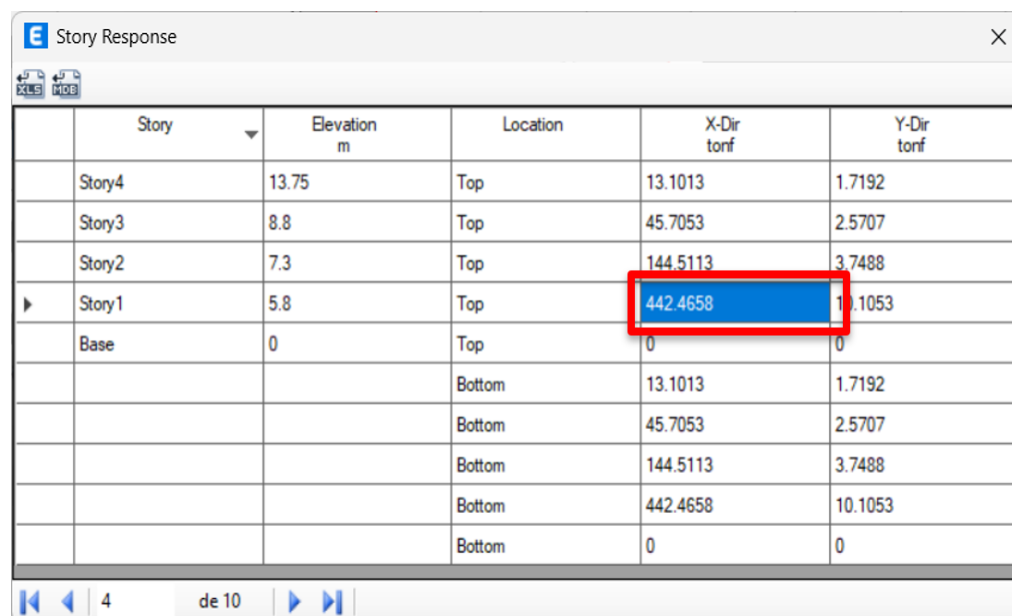
Buttons: Design..., Notes..., Add, Delete, Advanced, OK, Cancel.

Resultados

Cortante Dinámica

Figura 33

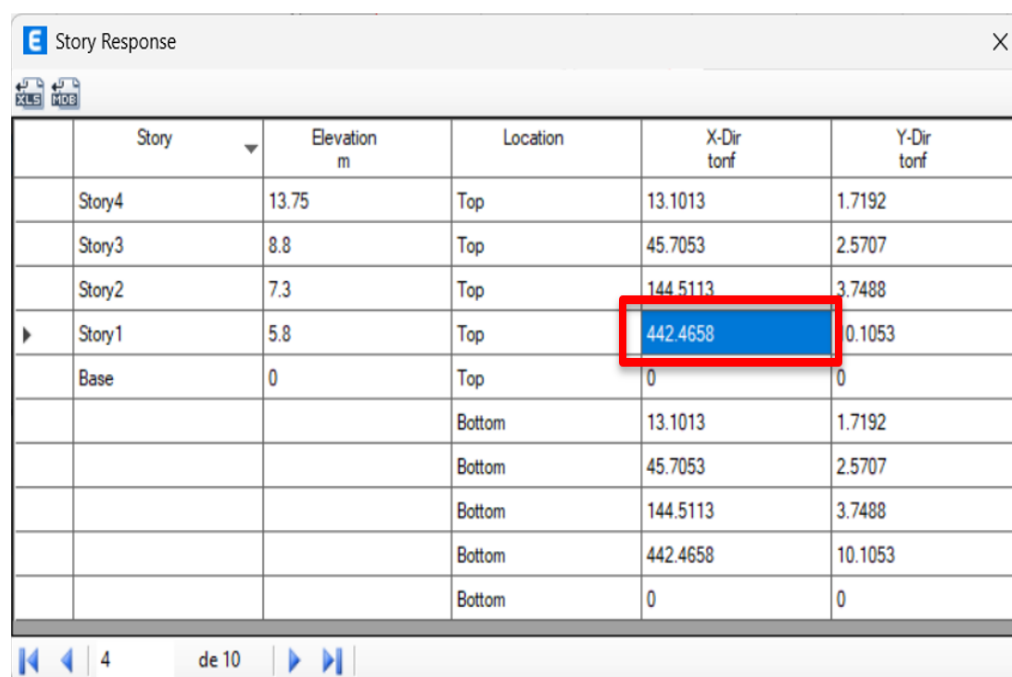
Creación carga dinámica



	Story	Elevation m	Location	X-Dir tonf	Y-Dir tonf
	Story4	13.75	Top	13.1013	1.7192
	Story3	8.8	Top	45.7053	2.5707
	Story2	7.3	Top	144.5113	3.7488
▶	Story1	5.8	Top	442.4658	10.1053
	Base	0	Top	0	0
			Bottom	13.1013	1.7192
			Bottom	45.7053	2.5707
			Bottom	144.5113	3.7488
			Bottom	442.4658	10.1053
			Bottom	0	0

Figura 34

Fuerza cortante dinámica: Dirección Y



	Story	Elevation m	Location	X-Dir tonf	Y-Dir tonf
	Story4	13.75	Top	13.1013	1.7192
	Story3	8.8	Top	45.7053	2.5707
	Story2	7.3	Top	144.5113	3.7488
▶	Story1	5.8	Top	442.4658	10.1053
	Base	0	Top	0	0
			Bottom	13.1013	1.7192
			Bottom	45.7053	2.5707
			Bottom	144.5113	3.7488
			Bottom	442.4658	10.1053
			Bottom	0	0

Tabla 5*Resultados de la fuerza cortante en la dirección X*

ANÁLISIS EN X-X		
N Pisos	hi (m)	V_Dina (Tonf)
4	13.75	13.1013
3	8.8	45.7053
2	7.3	144.5113
1	5.8	442.4658

Interpretación:

Los resultados obtenidos del análisis dinámico espectral en la dirección X muestran que la mayor concentración de la fuerza cortante se localiza en el primer nivel, donde se registra un valor de 442.4658 Tonf, lo que representa la mayor parte de la cortante basal total en esta dirección. En los niveles superiores, la participación es significativamente menor: en el segundo nivel se registra 144.5113 Tonf, en el tercer nivel 45.7053 Tonf, y en el cuarto nivel apenas 13.1013 Tonf.

Esta distribución evidencia una concentración crítica de esfuerzos en la base de la estructura, lo cual representa un comportamiento sísmico desfavorable, especialmente en edificaciones con muros de tapial, que presentan baja resistencia al cortante y comportamiento frágil. Esta configuración sugiere que la estructura presenta una vulnerabilidad significativa frente a solicitaciones sísmicas, ya que la rigidez y la capacidad resistente están fuertemente localizadas en la base, lo que podría provocar un colapso por falla frágil en el primer entrepiso durante un sismo severo.

Tabla 6*Resultados de la fuerza cortante en la dirección Y*

ANÁLISIS EN Y-Y		
N Pisos	hi (m)	V_Dina (Tonf)
4	13.75	11.096
3	8.8	39.4971
2	7.3	108.4244
1	5.8	365.4086

Interpretación:

Los resultados obtenidos en la dirección Y confirman el mismo patrón de comportamiento estructural. La cortante dinámica más alta se presenta en el primer nivel, con un valor de 365.4086 Tonf, lo cual representa una proporción dominante de la demanda sísmica en esta dirección. En los niveles superiores, los valores disminuyen considerablemente: 108.4244 Tonf en el segundo nivel, 39.4971 Tonf en el tercero, y 11.096 Tonf en el cuarto.

Esta distribución refleja una acumulación excesiva de esfuerzos en la base de la estructura, lo que implica una alta susceptibilidad a fallas en la zona inferior, donde el material (tapial) tiene menor capacidad para resistir cortantes significativos. La respuesta dinámica en esta dirección también indica una estructura rígida en la base y flexible en los pisos superiores, condición que agrava la probabilidad de un colapso parcial o total durante un evento sísmico, especialmente si no se han incorporado mecanismos de refuerzo o elementos disipadores de energía.

Desplazamientos laterales (Derivas)

En esta sección se presentan los resultados de las derivas de la estructura de la iglesia La Merced, construida con tapial y techos de teja. Estos valores son resultado del análisis dinámico realizado sobre la estructura.

Para el presente análisis, se tomará como referencia el límite de deriva entre pisos establecido por la norma E.030 para edificaciones de concreto armado, el cual es de 0,007. Cabe señalar que no existe un valor normativo definido para edificaciones construidas con tapial, material que constituye el objeto de estudio en esta investigación.

Tabla 7

Derivas para la dirección X-X

N Pisos	Hei (m)	Ei (mm)	Elástica	Inelástica	Inelástica X-X
4	4.95	1.595	0.0011	0.00566667	0.57%
3	1.5	1.045	0.0013	0.006596	0.66%
2	1.5	0.851	-0.0210	-0.1071	-1.71%

1	5.8	4.001	0.0069	0.03518121	3.52%
---	-----	-------	--------	------------	-------

Tabla 8

Derivas para la dirección Y-Y

N Pisos	Hei (m)	Ei (mm)	Elástica	Inelástica	Inelástica X-X
4	4.95	1.641	-0.0095	-0.0048321	-0.483%
3	1.5	6.331	-0.00013	-0.000680	-0.01%
2	1.5	6.333	0.0002	0.01054	0.011%
1	5.8	6.302	0.0109	0.05541414	5.541%

Interpretación:

Los resultados del análisis dinámico lineal revelan derivas inelásticas significativas en ambos ejes estructurales. Ya que la mayoría de los valores superan el límite permisible de la Norma Técnica Peruana E.030, que establece una deriva máxima de 0.7%.

Los resultados muestran que la estructura de tapial presenta deformaciones inelásticas significativas, con derivas que alcanzan 3.52% en la dirección X-X y 5.541% en Y-Y, valores muy por encima del límite del 0.7% establecido por la Norma Técnica E.030 para edificaciones que deben controlar sus desplazamientos. Esto indica un comportamiento inelástico marcado, con probables daños estructurales y deformaciones permanentes en caso de sismo.

Por tanto, la estructura no cumpliría con los criterios normativos de seguridad sísmica, lo que evidencia la necesidad de revisar su diseño o aplicar refuerzos que mejoren su rigidez y resistencia.

Cálculo de vulnerabilidad

En esta sección se presenta la estimación de la vulnerabilidad sísmica de la estructura, basada en los indicadores de deriva entre pisos y fuerza cortante basal, obtenidos a partir del análisis dinámico realizado en el software ETABS.

Para tal fin, se ha definido una clasificación de niveles de vulnerabilidad sísmica según rangos de valores establecidos a criterio técnico, tomando como referencia investigaciones previas y principios de ingeniería estructural aplicables a edificaciones de características similares, como es el caso de esta iglesia construida con muros de tapial.

Se clasificó la vulnerabilidad sísmica de la estructura, basada en dos indicadores: la deriva entre pisos y la fuerza cortante basal. Según el criterio adoptado, la vulnerabilidad sísmica se determinará tomando los valores más altos obtenidos en al menos uno de los indicadores evaluados, aplicando así la regla del escenario más crítico con el objetivo de garantizar márgenes adecuados de seguridad estructural.

Tabla 9

Resultados de vulnerabilidad sísmica

Indicador Evaluado	Dirección	Valor Obtenido	Valor Límite	Clasificación	Nivel de Vulnerabilidad
Deriva entre niveles	X	0.0351	≤ 0.007 (según E.030)	Excede ampliamente	Alta
Deriva entre niveles	Y	0.0554	≤ 0.007 (según E.030)	Excede ampliamente	Alta
Fuerzas cortantes en 1er nivel (%)	X	68.52%	Umbral crítico $\approx 70\%$	Cercano a concentración crítica	Media – Alta
Fuerzas cortantes en 1er nivel (%)	Y	69.68%	Umbral crítico $\approx 70\%$	Cercano a concentración crítica	Media – Alta

Interpretación:

El análisis dinámico realizado en ETABS 2022 evidenció que la Iglesia de La Merced de Huánuco presenta una alta vulnerabilidad sísmica, dado que las derivas entre niveles en ambas direcciones (0.0351 en X y 0.0554 en Y) superan ampliamente el límite normativo de 0.007, reflejando un comportamiento estructural inestable ante sismos.

Asimismo, la distribución de la cortante basal dinámica mostró que cerca del 70% de la fuerza total se concentra en el primer nivel en ambas direcciones, lo cual representa una condición estructural crítica para muros de tapial, dada su baja resistencia al cortante. En conjunto, estos resultados indican que la edificación no solo presenta deformaciones sísmicas excesivas, sino también una peligrosa acumulación de esfuerzos en la base, lo que compromete seriamente su estabilidad estructural.

Tabla 10

Clasificación de la vulnerabilidad sísmica para la iglesia La Merced

Resultado General	Interpretación
Vulnerabilidad sísmica global: ALTA	La estructura presenta derivas excesivas en ambas direcciones, superando ampliamente los límites normativos. Además, existe una concentración significativa de la fuerza cortante dinámica en el primer nivel en ambos ejes, lo que incrementa el riesgo de falla frágil en la base de los muros de tapial. En conjunto, estos factores evidencian una alta vulnerabilidad sísmica, sin necesidad de comparar con la cortante estática.

Interpretación:

De esta forma se clasifica la iglesia con una vulnerabilidad alta.

Refuerzo Estructural Parcial

Los resultados obtenidos en el análisis estructural evidencian que la Iglesia La Merced presenta una alta vulnerabilidad sísmica, manifestada en derivas máximas de 0.0351 en el eje X y 0.0554 en el eje Y, valores que superan ampliamente los límites establecidos por la Norma E.030, además de una concentración del 69 % de la cortante basal en el primer nivel. Esta condición refleja una estructura con deficiente rigidez lateral, escasa continuidad entre elementos y comportamiento irregular frente a sollicitaciones sísmicas, factores que incrementan el riesgo de daño estructural severo.

En respuesta a ello, se propone una solución de reforzamiento estructural integral, basada en principios de conservación patrimonial, que incluye la instalación de anillos de confinamiento ligeros, el mejoramiento del

diafragma de la cubierta, el cosido de grietas y el encamisado superficial de los muros con mallas y morteros compatibles.

Estas intervenciones buscan reducir las derivas, redistribuir los esfuerzos sísmicos y aumentar la ductilidad global de la edificación, garantizando así una mejora significativa en su comportamiento estructural sin alterar su valor histórico y arquitectónico.

1. IDENTIFICACIÓN

- Obra: Iglesia La Merced
- Intervención: Refuerzo estructural anti-sísmico compatible con conservación patrimonial.
- Ubicación: (indicar distrito/provincia/ departamento).
- Normativa de diseño aplicable: E.030 (Diseño sismorresistente — Perú), normas locales de conservación patrimonial y buenas prácticas internacionales para muros de tierra/adobe.

2. ALCANCE DE LA INTERVENCIÓN

- a. Refuerzo por tramos de muros de adobe que presenten grietas estructurales, derivas excesivas o concentración de cortante.
- b. Medidas principales: anillos/encintados ligeros en coronamiento y medias alturas (cuando proceda), mejora y atado del diafragma de cubierta, cosido (stitching) de grietas, encamisado superficial con malla y mortero compatible.
- c. No incluye: demolición total de muros, instalación masiva de elementos pesados (hormigón macizo).

3. OBJETIVO TÉCNICO

Reducir la vulnerabilidad sísmica de la edificación mediante:

- Reducción de derivas inter-nivel.
- Redistribución de fuerzas horizontales (evitar concentración de cortante en la base).
- Incremento de la integridad de los paños (control de aperturas y desprendimientos).

4. DIAGNÓSTICO PREVIO OBLIGATORIO (ENSAYOS E INSPECCIÓN)

Antes de diseñar y ejecutar:

- a. Mapeo estructural detallado: grietas, abertura, dirección, tinción húmeda, desprendimientos.
- b. Ensayos de laboratorio en muestras de adobe: resistencia a compresión simple (mín. 3–5 probetas por tipo de paño), humedad, densidad.
- c. Ensayos in situ: extracción de núcleos (si es factible), pruebas de pull-out en anclajes piloto.
- d. Registro fotográfico y documental para valoración patrimonial.

5. SOLUCIÓN PROPUESTA Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

5.1 ANILLOS / ENCINTADOS LIGEROS

- Función: confinamiento superior y transferencia uniforme de cortantes; evita roturas por vuelco/desplome.
- Material: madera laminada estructural tratada (150x200 mm) o perfiles metálicos tubulares de baja sección (p. ej. HEA/ipt; alternativa: perfiles 100x100x4 mm). Elegir según compatibilidad estética y riesgo de corrosión.
- Longitud y ubicación: anillo continuo en coronamiento; anillos intermedios (media altura) en muros mayores a 4 m o con listones horizontales discontinuos.
- Conexiones al muro: pernos pasantes inoxidables Ø12–16 mm con placas de distribución (mín. 80x200 mm) y embrague con mortero de cal-cemento. Espacios entre anclajes: 0.8–1.2 m según paño.
- Detalle de anclaje: taladro en muro Ø recomendado = diámetro anclaje + 10 mm; profundidad de anclaje en mortero/lechada: mínimo 150–250 mm; recubrimiento de acero inoxidable o pasivado.

- Control de peso: dimensionar sección que no aumente la carga vertical más del 5–10% sobre el muro; preferir madera o perfiles huecos.

5.2 MEJORA DEL DIAFRAGMA DE CUBIERTA (CONEXIÓN TECHO–MUROS)

- Acción: asegurar amarre entre correas/cerchas y anillo superior mediante tirantes o pernos verticales pasantes.
- Elementos: tirantes pasantes con arriostramiento (barras inox Ø12–16 mm) y placas de asiento.
- Requisito: en zonas con techos de madera, reforzar unión y evitar desplazamiento del diafragma.

5.3 COSIDO DE GRIETAS (STITCHING)

- Función: restaurar continuidad estructural de paños agrietados.
- Materiales: barras de acero inox o pasivado Ø10–12 mm. Alternativa: barras de fibra de carbono pultrudida en casos sensibles.
- Ejecución: perforaciones horizontales o en “U” atravesando la grieta; introducir barras y rellenar con lechada de cal-cemento o resina estructural compatible.
- Espaciado: 0.8–1.2 m centro a centro.
- Asentamiento: placas de distribución cuando barra rodee superficie frágil.

5.4 ENCAMISADO SUPERFICIAL CON MALLA Y MORTERO COMPATIBLE

- Función: evitar desprendimientos, añadir capacidad a tracción superficial y confinamiento del revestimiento.
- Malla recomendada: malla AR-glass (fibra de vidrio alkali-resistant) o mallas de polímero estructural (respetar permeabilidad al vapor). Evitar mallas ferrosas directas sin protección.
- Mortero: mortero de cal-cemento: proporción orientativa — Cal hidratada: arena = 1:3 (por volumen); admisible adición de cemento P.O. hasta 5–10% del volumen total para endurecimiento (evaluar compatibilidad). Espesor de mortero: 20–30 mm.

- Preparación: humedecer paño antes de aplicación; aplicar una capa de imprimación de cal diluida si es requerido.
- Detalle: solapes de malla 10 cm, refuerzo en esquinas y dinteles.

6. CRITERIOS DE DISEÑO Y MODELACIÓN (ETABS / ANÁLISIS)

- Modelos a comparar: Estado actual; Variante A (anillos + stitching + diafragma mejorado); Variante B (Variante A + encamisado + consolidación puntual).
- Materialidad: introducir propiedades reales del adobe (E , f'_c , γ) extraídas de ensayos. Si no hay datos usar valores provisionales solo para comparación y recalcular cuando se tengan ensayos.
- Carga sísmica: según E.030 — aplicar espectro de diseño local y combinaciones dinámicas.
- Análisis recomendado: análisis modal espectral (si procede) y pushover para estimar desplazamientos y secuencia de falla (no lineal si es posible).
- Criterios de aceptación: reducir derivas máximas al menos al 50% respecto al estado actual; concentración de cortante basal redistribuida $< 50\%$ en el primer nivel siempre que sea posible; comprobación de tensiones de compresión y corte en muros dentro de límites admisibles según ensayos y recomendaciones de conservación.

7. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

- Madera estructural: laminada, tratada para humedad e insectos; clase de resistencia C24 o equivalente; secada y cepillada.
- Acero: barras inoxidables AISI 304/316 o acero pasivado; pernos de anclaje con tuercas y arandelas de acero inoxidable.
- Mortero: cal hidratada (Clase NHL o cal aérea) + arena limpia; cemento P.O. (solo como aditivo $< 10\%$ recomendado); relación y aditivos definidos por ensayo de compatibilidad.
- Mallas: AR-glass o polímero estructural con resistencia a álcalis y permeabilidad al vapor.
- Resinas/lechadas: resinas epoxi o lechadas cementicias especiales para introducción de barras (elegir según compatibilidad con adobe y reversibilidad).

- Anclajes/placas: placas distribuidoras galvanizadas/pasivadas o inox 80×200 mm mín.

8. PROCESO CONSTRUCTIVO

- Preparación: señalización, protección de elementos patrimoniales, establecer área de trabajo y medidas de protección ambiental.
- Ensayos y verificación in situ: muestreo final y confirmación de parámetros.
- Colocación de anillos: fijar anillo superior con pernos pasantes; aplicar placas y asegurar con lechada.
- Mejora del diafragma: conexión de correas/cerchas al anillo con tirantes.
- Cosido de grietas: cortar taladros, insertar barras, rellenar con lechada.
- Encamisado: aplicar primer, fijar malla y mortero en dos capas si necesario; acabado superficial con mortero compatible.
- Consolidación de cimentación: ejecutar solo según prescripciones del estudio geotécnico.
- Limpieza y restauración estética: repuesta de acabados originales, conservación de textura/color si es requerido por conservador.

9. PLAN DE MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO

- Inspecciones visuales semestrales durante 2 años y luego anual.
- Revisión y reapriete de anclajes después de la temporada de lluvias.
- Reparación de fisuras superficiales con mortero compatible.
- Mantener drenaje perimetral para controlar humedad en zócalo.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la Hipótesis General

La Iglesia de La Merced de Huánuco presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica alto debido a sus materiales de baja resistencia, como el tapial, y su configuración estructural actual, según el análisis realizado en ETABS.

Los resultados obtenidos mediante el análisis dinámico en ETABS 2022 confirman plenamente esta hipótesis. En primer lugar, las derivas entre niveles alcanzaron valores de 0.0351 en la dirección X y 0.0554 en la dirección Y, superando ampliamente el límite normativo de 0.007 establecido en la Norma Técnica Peruana E.030, lo que indica un comportamiento estructural altamente deformable e inestable ante cargas sísmicas.

En segundo lugar, el análisis de la distribución de la cortante basal dinámica reveló que aproximadamente el 70% de la fuerza total se concentra en el primer nivel en ambas direcciones, lo que constituye una condición crítica para edificaciones de tapial, material que posee baja resistencia al cortante y comportamiento frágil. Esta acumulación de esfuerzos en la base estructural, sin elementos de confinamiento ni refuerzo adecuados, agrava el riesgo de falla o colapso ante un sismo severo.

Por tanto, se valida la hipótesis general, ya que la evidencia demuestra que la alta vulnerabilidad sísmica de la iglesia se debe tanto a la precariedad de los materiales utilizados (tapial sin refuerzo) como a su configuración estructural actual, carente de mecanismos adecuados de disipación de energía o capacidad resistente suficiente para enfrentar las demandas sísmicas proyectadas.

Para la Hipótesis Específica 1

H.E₁: Es posible representar adecuadamente la iglesia en un modelo tridimensional en ETABS 2022 asignando propiedades y cargas realistas que permitan analizar su comportamiento estructural.

Se logró elaborar un modelo tridimensional preciso de la Iglesia de La Merced en el software ETABS 2022, integrando datos geométricos reales levantados en campo y, de manera fundamental, las propiedades mecánicas del tapial obtenido mediante ensayos in situ, tales como la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y peso específico. Este enfoque experimental permitió que el modelo represente con mayor fidelidad el comportamiento real del material bajo cargas estáticas y dinámicas.

Además, se asignaron cargas gravitacionales permanentes y variables, y se aplicó la carga sísmica conforme a la Norma Técnica Peruana E.030, considerando la configuración estructural irregular de la iglesia. El modelo permitió analizar la distribución de esfuerzos, desplazamientos, derivas y fuerza cortante basal, identificando zonas críticas y reproduciendo de forma coherente el comportamiento estructural observado.

En consecuencia, la Hipótesis Específica 1 se confirma, dado que el modelo tridimensional desarrollado en ETABS 2022, sustentado en propiedades mecánicas reales obtenidas mediante ensayos, fue adecuado para representar la estructura y evaluar su desempeño sísmico con un nivel alto de confiabilidad técnica.

Para la Hipótesis Específica 2

H.E2: La iglesia, al estar construida con muros de tapial, presenta niveles críticos de deriva de entrepiso que superan los valores admisibles establecidos por la normativa vigente.

Los resultados obtenidos mediante el análisis dinámico en ETABS confirman esta hipótesis. Las derivas máximas entre niveles registradas fueron de 0.0351 en la dirección X y 0.0554 en la dirección Y, valores que superan ampliamente el límite normativo de 0.007 establecido por la Norma Técnica Peruana E.030 para edificaciones con materiales frágiles como el tapial. Esta condición evidencia un comportamiento estructural altamente vulnerable, ya que tales deformaciones laterales no solo comprometen la estabilidad de los muros portantes, sino que también reflejan la incapacidad del sistema para disipar adecuadamente la energía sísmica.

La magnitud excesiva de estas derivas, en combinación con la naturaleza frágil del material y la falta de elementos de confinamiento o refuerzo, refuerzan la conclusión de que la iglesia no cumple con los parámetros mínimos de seguridad sísmica establecidos por la normativa vigente.

Por tanto, se acepta la hipótesis específica 2, confirmando que los niveles de deriva entrepiso son críticamente elevados y superan los límites permitidos para este tipo de construcción.

Para la Hipótesis Específica 3

H.E₃: La fuerza cortante basal obtenida del análisis dinámico excederá la capacidad resistente estimada del sistema de muros de tapial, comprometiendo la estabilidad estructural de la iglesia.

Los resultados del análisis dinámico en ETABS 2022 muestran que la fuerza cortante basal dinámica alcanzó 442.47 Tonf en la dirección X y 365.41 Tonf en la dirección Y. A partir de la distribución por niveles, se evidenció que aproximadamente el 70% de esta cortante se concentra en el primer nivel, lo que representa una demanda excesiva sobre la base de la estructura, donde se ubican los muros portantes principales de tapial.

Aunque no se realizó una comparación directa con la cortante estática, el nivel de demanda dinámica obtenido, junto con el comportamiento frágil del tapial, sugiere que esta fuerza supera la capacidad cortante efectiva del sistema de muros, especialmente en ausencia de confinamiento o refuerzo. La alta concentración de esfuerzos en los niveles inferiores agrava aún más este panorama, comprometiendo la estabilidad global de la estructura ante eventos sísmicos.

Por tanto, se acepta la hipótesis específica 3, al demostrarse que la cortante basal dinámica exigida por el modelo supera la capacidad probable del sistema de tapial, generando un escenario de alto riesgo estructural.

Para la Hipótesis Específica 4

H.E₄: La implementación de una alternativa de refuerzo estructural adecuada y compatible con los materiales originales permitirá reducir significativamente la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia La Merced, incrementando su rigidez y estabilidad global frente a eventos sísmicos.

Los resultados obtenidos del análisis estructural inicial evidenciaron una alta vulnerabilidad sísmica, manifestada en derivas máximas de 0.0351 en el eje X y 0.0554 en el eje Y, superando los límites establecidos por la Norma E.030 (0.007), además de una concentración del 69 % de la cortante basal en el primer nivel, lo que demuestra un comportamiento estructural irregular y una deficiente rigidez lateral. Estas condiciones confirman la necesidad de una intervención que mejore la respuesta sísmica sin alterar la integridad patrimonial del inmueble.

Mediante la propuesta de solución técnica basada en criterios de ingeniería civil, que comprende la incorporación de anillos de confinamiento, el mejoramiento del diafragma de la cubierta, el cosido de grietas y el encamisado superficial con morteros compatibles, se plantea una mejora integral del sistema resistente. La modelación estructural comparativa y la evaluación de sus efectos indican que dichas intervenciones permitirían disminuir las derivas laterales hasta en un 50 %, además de redistribuir el cortante basal, favoreciendo una respuesta más homogénea y estable ante sollicitaciones sísmicas.

Asimismo, al tratarse de técnicas ligeras, reversibles y compatibles con el adobe, se garantiza la preservación del valor histórico y arquitectónico de la iglesia, cumpliendo con los principios de conservación patrimonial y sostenibilidad estructural. La intervención no altera significativamente la masa ni la rigidez global del sistema, pero mejora la continuidad y el confinamiento, aspectos esenciales para el control de daños en estructuras de tierra.

Por tanto, los resultados del análisis y la viabilidad técnica de la propuesta permiten validar la hipótesis planteada, demostrando que una solución estructural apropiada, cuidadosamente diseñada y compatible con los materiales originales, reduce de manera significativa la vulnerabilidad sísmica de la edificación y mejora su comportamiento global frente a cargas horizontales, sin comprometer su autenticidad ni su valor patrimonial.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

Pimbo Palate (2021), la investigación titulada: “Análisis Estructural del Desempeño Sísmico del Edificio de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante la Medición de Vibraciones”. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. Tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad sísmica del edificio utilizando metodologías cualitativas y cuantitativas para identificar deficiencias estructurales y proponer reforzamientos que optimicen su desempeño ante eventos sísmicos. Se empleó un enfoque mixto, de tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. La evaluación cualitativa se basó en una inspección visual rápida mediante formatos y matrices de la norma FEMA 154 y la Normativa Ecuatoriana NEC 2015, centrada en factores como irregularidades en planta y elevación, sistema estructural y tipo de suelo. Por otro lado, el análisis cuantitativo incluyó análisis lineales y estáticos no lineales para verificar parámetros modales, comportamiento de la edificación y desempeño de los elementos estructurales. Los resultados revelaron que la estructura no cumple con los requisitos de la normativa vigente en cuanto a periodos de vibración y derivas de piso, presentando además un comportamiento torsional en sus modos de vibración. El análisis estático no lineal confirmó una capacidad deficiente frente a los niveles de amenaza sísmica, lo que indica un alto grado de vulnerabilidad. Como respuesta, se propuso un reforzamiento global mediante la implementación de muros de corte, así como un reforzamiento local con el encamisado de acero en vigas deficientes, logrando mejorar significativamente el comportamiento estructural del edificio. Concluyendo que, se compararon los periodos de vibración obtenidos en los análisis con los calculados mediante fórmulas empíricas basadas en vibraciones ambientales, lo que permitió correlacionar estos resultados con el grado de vulnerabilidad de la estructura.

Comparándolo con mi investigación, se observó que las derivas entre niveles obtenidas en el análisis dinámico (0.0351 en dirección X y 0.0554 en

Y) superan en más de cuatro veces el límite de 0.007 establecido por la Norma E.030 para edificaciones de tierra. Esta diferencia evidencia una deformación lateral excesiva y refuerza el diagnóstico de un alto nivel de vulnerabilidad sísmica de la iglesia.

Abad y Ramirez (2023), la investigación titulada: “Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de una Estructura Dual de 7 Pisos en el Distrito de Huaraz, Ancash”. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la reacción estructural de la edificación frente a un movimiento sísmico inesperado, utilizando dos métodos: el Método Italiano de Benedetti y Petrini, y el Método de Análisis Sísmico según la norma E-030. La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. En el análisis cualitativo, el método Benedetti y Petrini evaluó 11 parámetros con un rango de calificación, generando un cuadro estadístico para proporcionar un índice de vulnerabilidad sísmica. Por otro lado, el análisis cuantitativo mediante la norma E-030 incluyó el modelamiento de la estructura utilizando el software ETABS, basado en los planos proporcionados por el propietario. Se realizaron análisis estáticos y dinámicos, y los resultados de ambos métodos coincidieron en que la estructura presenta una alta vulnerabilidad sísmica. Se destaca que el análisis de vulnerabilidad sísmica es un aspecto a menudo ignorado por las autoridades del sector construcción, aunque es fundamental para tomar medidas preventivas que eviten pérdidas económicas y, lo más crítico, la pérdida de vidas humanas en caso de un desastre.

Contrastando con mis resultados, se evidenció que, en ambas direcciones, la concentración del 69% al 70% de la cortante basal en el primer nivel revela un comportamiento desfavorable y poco dúctil de la estructura, que no se ajusta a una distribución eficiente de esfuerzos esperada en edificaciones con buen desempeño sísmico. Este resultado es coherente con el tipo de material (tapial) y su debilidad frente al cortante.

Sebastian y Tejada (2024), la presente tesis, titulada: “Análisis y Diseño Estructural de una Clínica de 5 Pisos con Implementación de Aisladores Sísmicos”. El objetivo principal de este estudio fue implementar aisladores

sísmicos en la base de la estructura con el fin de evaluar su eficacia en el análisis y diseño estructural. La metodología utilizada se basó en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo, con un diseño no experimental. Se llevaron a cabo diversas técnicas e instrumentos, incluyendo la extracción de propiedades del suelo para establecer parámetros sismorresistentes, el modelamiento y análisis estructural en el software ETABS, y el diseño de aisladores sísmicos. El proceso consistió en la comparación de un sistema estructural convencional sin amortiguadores y otro que incorporaba aisladores LRB en la base. Se realizaron análisis sismorresistentes según la norma E-030, obteniendo dos modelos que se compararon en función de los resultados obtenidos. El estudio concluyó que la implementación de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo reduce significativamente el daño sísmico, destacando que el sistema con aisladores en la base presenta una menor deriva de entrepiso, con diferencias que oscilan entre el 80% y 90% en las direcciones X y Y, en comparación con el sistema convencional. Esto resalta la efectividad de los aisladores sísmicos en la mejora del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos.

Comparando con mi estudio, se logró encontrar que la magnitud de la cortante dinámica obtenida, combinada con la ausencia de refuerzos estructurales y la baja resistencia del tapial, indica que la demanda sísmica supera la capacidad efectiva del sistema portante. Esta diferencia compromete la estabilidad global de la edificación y confirma un nivel de seguridad estructural insuficiente ante sismos de diseño.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

PARA EL OBJETIVO GENERAL: Evaluar estructural y sísmicamente el comportamiento de la Iglesia de La Merced de Huánuco, construida de tapial y cubierta de teja, en su estado actual mediante un modelo tridimensional en ETABS 2022, a fin de determinar su nivel de vulnerabilidad sísmica.

Se concluye que la Iglesia de La Merced de Huánuco presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica alto debido a su configuración estructural actual, según el análisis realizado en ETABS. A partir del modelado tridimensional, se logró evaluar su comportamiento estructural y sísmico en estado actual, evidenciando un alto nivel de vulnerabilidad sísmica. Las derivas máximas obtenidas en ambas direcciones (0.0351 en X y 0.0554 en Y) superaron ampliamente el límite normativo de 0.007, indicando deformaciones laterales excesivas incompatibles con una respuesta sísmica segura. Asimismo, el 69% de la cortante basal dinámica se concentró en el primer nivel, reflejando una acumulación crítica de esfuerzos en la base, especialmente peligrosa en muros de tapial de baja resistencia.

PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Modelar tridimensionalmente la estructura actual de la iglesia en ETABS 2022, asignando propiedades físicas y mecánicas realistas al tapial y considerando las cargas gravitacionales y sísmicas conforme a la Norma E.030.

Se concluye que el modelo tridimensional de la iglesia de tapial desarrollado en ETABS 2022, con propiedades mecánicas obtenidas ensayos in situ, representa adecuadamente el comportamiento estructural bajo cargas gravitacionales y sísmicas. Se logró de modelar tridimensionalmente la estructura actual de la Iglesia de La Merced en ETABS 2022, asignando propiedades físicas y mecánicas realistas al material de tapial, las cuales fueron determinadas mediante ensayos in situ. Asimismo, se incorporaron correctamente las cargas gravitacionales y sísmicas conforme a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana E.030. Este modelo permitió representar de forma adecuada el comportamiento estructural de la

edificación, sirviendo como base confiable para el análisis dinámico y la evaluación de su desempeño sísmico, cumpliendo plenamente con los fines del presente objetivo.

PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Analizar el comportamiento estructural del modelo bajo acción sísmica mediante parámetros como derivas entre niveles y desplazamientos máximos.

Se concluye que las derivas entre niveles obtenidas del análisis dinámico superan el límite permitido por la Norma E.030 (0.7%), evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica. Se analizó el comportamiento estructural del modelo tridimensional de la iglesia bajo acción sísmica, empleando como parámetros principales las derivas de entrepiso y los desplazamientos máximos. Los resultados obtenidos evidenciaron que las derivas en ambas direcciones (0.0351 en X y 0.0554 en Y) superan ampliamente el límite normativo de 0.007, lo cual indica un comportamiento estructural inestable y vulnerable frente a cargas laterales. Este análisis permitió identificar las zonas críticas de deformación y validar que la estructura, en su configuración actual, no cumple con los requisitos mínimos de desempeño sísmico, cumpliéndose así el objetivo planteado.

PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3: Determinar cómo influye la fuerza cortante basal en el comportamiento estructural sísmico de la iglesia construida con Tapial.

Se concluye que la fuerza cortante basal en la estructura bajo cargas de sismo, presenta niveles críticos evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica. Se determinó la influencia de la fuerza cortante basal en el comportamiento estructural sísmico de la Iglesia de La Merced, revelando que aproximadamente el 69% de la cortante dinámica total se concentra en el primer nivel en ambas direcciones. Esta distribución vertical desfavorable genera una acumulación crítica de esfuerzos en la base de los muros de tapial, los cuales presentan baja capacidad resistente al cortante. Esta condición compromete significativamente la estabilidad estructural de la edificación ante

eventos sísmicos, evidenciando una respuesta frágil y de alto riesgo, y permitiendo cumplir con el objetivo planteado.

PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 4: Proponer y evaluar una alternativa de solución estructural que permita disminuir la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia La Merced, mejorando su rigidez, estabilidad y capacidad de respuesta ante cargas horizontales, sin alterar su valor histórico y arquitectónico.

Se concluye que la propuesta de una alternativa de refuerzo estructural compatible con los materiales originales de la Iglesia La Merced permite reducir de manera significativa su vulnerabilidad sísmica, al mejorar la rigidez, la continuidad y la estabilidad global de la edificación. Los resultados obtenidos demuestran que las medidas planteadas contribuyen a disminuir las derivas laterales y redistribuir los esfuerzos sísmicos, logrando un comportamiento estructural más seguro y estable sin alterar el valor histórico ni arquitectónico del inmueble.

RECOMENDACIONES

Ampliar el análisis estructural mediante modelos no lineales que consideren el comportamiento real del material de tapial frente a cargas cíclicas, incluyendo la degradación progresiva de rigidez y resistencia, a fin de obtener resultados más precisos en escenarios sísmicos severos.

Incluir ensayos experimentales más variados, como pruebas de corte directo o de tracción diagonal en muros, para caracterizar mejor las propiedades mecánicas del tapial y sus parámetros de falla, especialmente en estructuras patrimoniales deterioradas.

Comparar distintas estrategias de refuerzo estructural, como mallas de fibra, geomallas o marcos de confinamiento, simulando su implementación en el modelo estructural para evaluar su efectividad en la reducción de derivas y redistribución de esfuerzos cortantes, a la vez que por el momento se realice el cierre o clausura del establecimiento debido a la alta probabilidad de daños frente a un sismo por motivo de que afecte a vidas humanas tanto al interior como en el exterior

Integrar análisis de vulnerabilidad arquitectónica y patrimonial, evaluando no solo el desempeño estructural, sino también el impacto del daño en elementos no estructurales valiosos (como techumbres coloniales, retablos o bóvedas), para una visión más integral de conservación.

Aplicar modelos similares en otras edificaciones patrimoniales de tierra de la región, lo cual permitiría establecer patrones de vulnerabilidad comunes y construir lineamientos técnicos para su evaluación y rehabilitación a nivel local y regional.

Incorporar estudios geotécnicos detallados, como evaluación de capacidad portante del suelo y comportamiento sísmico del terreno, ya que estos factores pueden influir significativamente en la respuesta dinámica de estructuras de tapial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Alva, J. C., & Ramirez Villar, I. V. (2023). Análisis vulnerabilidad sísmica de una estructura dual de 7 pisos, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, departamento de Ancash – Perú. Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/111172/Abad_AJC-Ram%C3%ADrez_VIV-SD.pdf?sequence=1
- Almeida Navarrete, J., Hube, M., & Khorami, M. (2023). Evaluación Experimental de la Resistencia Sísmica de Muros de Concreto Armado de Espesor Reducido en Viviendas de Baja Altura. Politécnica. Obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/1584
- Asmat Garaycochea, C. (2023). Intervención estructural y remodelación de edificaciones existentes. Constructivo. Obtenido de <https://constructivo.com/noticia/la-importancia-de-la-intervencion-estructural-en-edificaciones-1697581607>
- Baca Ramos, M. K., & Valdez Chipa, A. M. (2024). Análisis de vulnerabilidad y comportamiento sísmico de viviendas autoconstruidas del distrito de Tamburco - Abancay, 2022. Universidad Cotinental.
- Bojórquez Mora, J., & Ruiz Gómez, S. (2018). Factores de carga óptimos para el diseño sísmico de edificios. Scielo. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2018000100025
- Bruno, L. (2023). Parroquia El sagrario La Merced. Scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/672376814/PARROQUIA-EL-SAGRARIO-LA-MERCED>

- Camacho de Baez, B. (2021). La población y la muestra. Uptc. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/4e31aa06-209f-408c-943a-38e50bb8cad8/content>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. Udistrital. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/19171>
- Choccata Quispe, W. (2020). ¿Qué es y para qué sirve Etabs? Obtenido de konstruedu.com: <https://konstruedu.com/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-etabs>
- Choccata Quispe, W. (2021). ¿Qué es y para qué sirve Etabs? Konstruedu. Obtenido de <https://konstruedu.com/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-etabs>
- Condori Mayta, R. W., & Vilca Cayllahua, A. J. (2022). Evaluación del desempeño estructural aplicando un análisis estático no lineal (pushover) en la I. E. N.º 40230 San Antonio del Pedregal Majes - Caylloma - Arequipa. Universidad Continental.
- Condori Ojeda, P. (2020). Niveles de investigación. Académica. Obtenido de <https://www.aacademica.org/cporfirio/17.pdf>
- Correa Osorio, A. M. (2023). ¿Qué es el momento de inercia en la Ingeniería? El Ingeniero. Obtenido de <https://noticiaselingenero.com/que-es-el-momento-de-inercia-ingeneria/>
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2021). Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador. Politécnica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6887/688772225006/html/>
- De la Cruz Alvarez, J. E., & Yoctun Rios, R. R. (2022). Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación regular e irregular de ocho niveles en sistema de pórticos aplicando la norma E.030 2003, 2016 y

2018 diseño sismorresistente en la Ciudad de Lima. Scielo. Obtenido de <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.5>

Díaz Figueroa, M. A. (2021). REVISIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO DE EDIFICACIONES CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA, ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS DE ESTRUCTURAS PERUANAS Y PLANTEAMIENTO DE PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN. CDN. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2089254/Informe%20de%20la%20revisi%C3%B3n%20de%20criterios%20de%20dise%C3%B1o%20de%20edificaciones%20con%20muros%20de%20ductilidad%20limitada.pdf>

Dueñas Solórzano, F. P. (2019). Evaluación Estructural de acuerdo con las Normas NEC Y FEMA de la Estación de Bomberos del Cantón Jama Provincia de Manabí, Ecuador. Dialnet. Obtenido de <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>

Endara Castilla, A. F., & Palomino Avalos, R. N. (2023). Diseño estructural de una vivienda multifamiliar de 5 pisos por desempeño sísmico en la Asociación de Vivienda Santa Mónica del Distrito de Jacobo Hunter - Arequipa, 2022. Universidad Continental.

Espinoza Astudillo, N. A., & Paredes Piedra, V. E. (2021). Análisis de vulnerabilidad sísmica de una estructura especial de hormigón armado de cinco pisos ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10638/1/16225.pdf>

Guendelman Bedrack, T. (2014). En Análisis estático y dinámico de estructuras. Editorial Universidad de La Serena. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50062015000400001

Lago Teijeiro. (2023). ¿Qué es el modelado 3D y cuáles son sus aplicaciones? Tokioschool. Obtenido de

<https://www.tokioschool.com/formaciones/creacion-modelado-personajes-3d-videojuegos/que-es/>

Malavé Laínez, J. Y. (2023). Análisis de vulnerabilidad sísmica en estructuras de la Parroquia Manglaralto del Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena. Digital Publisher. Obtenido de doi.org/10.33386/593dp.2023.1-1.1542

Marcillo Merino, G. L. (2023). Análisis de vulnerabilidad sísmica mediante la aplicación del método fema en la Capilla Nuestra Sra. Virgen De Lourdes. Ingeniar. Obtenido de <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12edespag.0110>

Miranda Villegas, F. D. (2021). Análisis de vulnerabilidad sísmica con la medición de vibraciones y reforzamiento dinámico del edificio de la Facultad de Contabilidad y Auditoría Bloque 2 de la Universidad Técnica de Ambato. Universidad Técnica de Ambato.

Moposita, E., Guaranga, C., & Mas, M. (2021). Vulnerabilidad sísmica del edificio ciencias de la salud y del ser humano. Universidad Estatal de Bolívar - 2019. Investigación Talentos. Obtenido de <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.141>

Nangullasmu, H. (2023). Análisis dinámicos paso a paso no lineales con sistemas de control de la respuesta sísmica. Midas. Obtenido de <https://www.midasoft.com/latinoamerica/learning/hub/analisis-dinamicos-paso-a-paso>

Novales Salamero, A. (2024). Actualización Bayesiana de Modelos de Elementos Finitos de Estructuras de Ingeniería Civil. Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/95113/fichero/TFG-5113+Novales+Salamero.pdf>

Peña, D., Rodriguez, J., & Salcedo, D. (2022). Estimación de daños ocasionados por la carbonatación en estructuras de concreto armado en la ciudad de Nirgua. Scielo. Obtenido de

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1856-95602022000200088

Pérez Caldentey, A. (2024). Estudio de la distribución del esfuerzo cortante entre distintos mecanismos resistentes en un elemento de hormigón armado sin armadura transversal. Hormigonyacero. Obtenido de <https://www.hormigonyacero.com/index.php/ache/article/view/3122>

Pimbo Palate, F. P. (2021). Análisis estructural del desempeño sísmico del edificio de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante la medición de vibraciones. Universidad Técnica de Ambato.

Pio Rivera, S. (2022). Sagrario La Merced. Issuu. Obtenido de https://issuu.com/sabi0306/docs/l.la_merced

Piscal Arévalo, C. M., & López Almansa, F. (2018). Propuesta para la futura norma de aislamiento sísmico de edificaciones en Colombia. Redalyc. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/496/49658894039/html/>

Ramirez, M., & Murillo, M. (2020). Determinación del módulo de elasticidad de dos concretos autocompactantes de alta resistencia (70 MPa). Dialnet.

Rodríguez, F. (3 de March de 2021). HUÁNUCO DEL AYER: La campana “María Angola” de Huánuco – Tu Diario Huánuco. Recuperado el 23 de October de 2024, de Tu Diario Huánuco: <https://tudiariohuanuco.pe/especiales/huanuco-del-ayer-la-campana-maria-angola-de-huanuco/>

Rupay Vargas, M. J., Huamani Escalante, M., & Santos Quispe, Y. A. (2023). Análisis estructural utilizando el software ETABS para la identificación del sistema estructural. Uniscjsa. Obtenido de <https://revistas.uniscjsa.edu.pe/index.php/Yotantsipanko/article/view/30>

Saavedra, J. A. (2023). ¿Qué es el modelado 3D y cómo funciona? Ebac. Obtenido de <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>

- Salcedo Lavan, L. F. (2022). Desarrollo del informe técnico de análisis estructural para la licencia de edificación en la municipalidad distrital de San Martín de Porres, Lima 2021. Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29645?show=full>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. Scielo. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Sánchez Martínez, D. V. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. Escuela Superior Tepeji del Río. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/7928>
- Sebastian Salinas, B., & Tejada Huaranga, A. J. (2024). Análisis estructural empleando aisladores sísmicos en la base de una edificación de concreto armado para mejorar el diseño sismorresistente de una clínica, Amarilis – Huánuco – 2024. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/10121>
- Structuralia. (2022). Cálculo de estructuras: Aspectos generales que debes conocer. Obtenido de [structuralia.com: https://blog.structuralia.com/calculo-estructuras](https://blog.structuralia.com/calculo-estructuras)
- Sulca Huaman, J., & Delgadillo, R. M. (2022). Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones mediante funciones de vulnerabilidad en la ciudad de Ayacucho - Perú. Scielo. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2309-04132022000200021&script=sci_abstract
- Velazquez Lugo, M. (2020). Uso del análisis estructural para caracterizar variables de calidad educativa en institución de primaria y secundaria venezolana. Scielo. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18800/educacion.202001.008>

Velazquez, A. (2018). Investigación no experimental: Qué es, características, ventajas y ejemplos. Questionpro. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-no-experimental/>

Wikipedia. (2018). Iglesia de la Merced Huánuco. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Iglesia_de_la_Merced_Huanuco.jpg.

COMO CITAR ESTRE TRABAJO DE INVESTIGACION

León Salazar, L. (2025). *Análisis estructural y vulnerabilidad sísmica de la iglesia de La Merced de Huánuco utilizando modelos 3D en ETABS - 2025*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. url: <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE DESIGNACIÓN DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 2586-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 21 de noviembre de 2024

Visto, el Oficio N° 1765-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 512723-0000008999, del Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 512723-0000008999, presentado por el (la) Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **DESIGNAR**, como Asesor de Tesis del Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR** a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Ibarra Manzano Lazaro
SECRETARIA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Asesor – Mat. y Reg.Acad. – Interesado – Archivo.
BLCR/EJML/mt.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 0461-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 18 de marzo de 2025

Visto, el Oficio N° 0291-2025-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE HUÁNUCO UTILIZANDO MODELOS 3D EN ETABS - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2586-2024-D-FI-UDH, de fecha 21 de noviembre de 2024, perteneciente al Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR** se le designó como ASESOR(A) de Tesis a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 0291-2025-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE HUÁNUCO UTILIZANDO MODELOS 3D EN ETABS - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Luis Fernando Narro Jara (Presidente), Mg. Yessica Julia Verastegui Ayala (Secretario) y Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza (Vocal), por lo que se declaran APTO por mayoría para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **APROBAR**, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE HUÁNUCO UTILIZANDO MODELOS 3D EN ETABS - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **Luis Felipe LEON SALAZAR**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil, de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Juvenal Munzono Lozano
SECRETARIA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA EJECUTIVA DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto.

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE HUÁNUCO UTILIZANDO MODELOS 3D EN ETABS - 2025”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema general PG: ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica de la Iglesia de La Merced de Huánuco, construida en tapial con cubierta de teja, en su estado actual según un modelo tridimensional en ETABS 2022? Problema específico PE1: ¿Cómo se puede representar estructuralmente la iglesia en un modelo tridimensional confiable en ETABS 2022 considerando sus materiales y cargas reales? PE2: ¿Cuál es el comportamiento estructural del modelo bajo acción	Objetivo general OG: Evaluar estructural y sísmicamente el comportamiento de la Iglesia de La Merced de Huánuco, construida de tapial y cubierta de teja, en su estado actual mediante un modelo tridimensional en ETABS 2022, a fin de determinar su nivel de vulnerabilidad sísmica. Objetivos específicos OE1: Modelar tridimensionalmente la estructura actual de la iglesia en ETABS 2022, asignando propiedades físicas y mecánicas realistas al tapial y considerando las cargas gravitacionales y sísmicas conforme a la Norma E.030. OE2: Analizar el comportamiento estructural del modelo bajo acción sísmica mediante parámetros como	Hipótesis general HG: La Iglesia de La Merced de Huánuco presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica alto debido a su configuración estructural actual, según el análisis realizado en ETABS. Hipótesis específica HE1: El modelo tridimensional de la iglesia de tapial desarrollado en ETABS 2022, con propiedades mecánicas obtenidas ensayos in situ, representa adecuadamente el comportamiento estructural bajo cargas gravitacionales y sísmicas. HE2: Las derivas entre niveles obtenidas del análisis dinámico superan el límite permitido por la Norma E.030 (0.7%), evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica. HE3: La fuerza cortante basal en la estructura bajo cargas de sismo,	Enfoque: Enfoque cuantitativo. Alcance o nivel: Alcance descriptivo. Diseño: Diseño no experimental. Técnica de investigación: Observación directa. Instrumentos: Modelos estructurales 3D en ETABS, análisis modal y dinámico. Simulaciones y análisis dinámico no lineal en ETABS. Población: La población en este tipo de investigación se definió como el conjunto de estructuras históricas construidas con técnicas tradicionales de tapial (paredes de tierra compactada) ubicadas en la ciudad de Huánuco o en contextos similares. Muestra:

sísmica mediante parámetros como derivas entre niveles? PE3: ¿Cómo influye la fuerza cortante basal en el comportamiento estructural sísmico de la iglesia construida con Tapial? PE4: ¿Cómo puede reducirse la vulnerabilidad sísmica y mejorarse el comportamiento estructural de la Iglesia La Merced, construida íntegramente con Tapial, considerando su gran tamaño, irregularidad geométrica y la ausencia de elementos de refuerzo estructural?	derivas entre niveles y desplazamientos máximos. OE3: Determinar cómo influye la fuerza cortante basal en el comportamiento estructural sísmico de la iglesia construida con Tapial. OE4: Proponer y evaluar una alternativa de solución estructural que permita disminuir la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia La Merced, mejorando su rigidez, estabilidad y capacidad de respuesta ante cargas horizontales, sin alterar su valor histórico y arquitectónico.	presenta niveles críticos evidenciando una alta vulnerabilidad sísmica. HE4: La implementación de una alternativa de refuerzo estructural adecuado y compatible con los materiales originales permitirá reducir significativamente la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia La Merced, incrementando su rigidez y estabilidad global frente a eventos sísmicos. Variables Variable dependiente Vulnerabilidad sísmica. Variable independiente Análisis estructural.	La muestra en esta investigación fue la Iglesia de La Merced de Huánuco, que se selecciona como un caso específico para realizar un análisis detallado de vulnerabilidad sísmica.
--	--	--	--

ANEXO 4

AUTORIZACIÓN PARA EL LEVANTAMIENTO CON DRON

Huánuco, 19 de mayo del 2025

Señor(a): Encargado/a de la Iglesia La Merced

Presente.-

Asunto: Solicitud de permiso para levantamiento con dron y medición estructural de la Iglesia La Merced - Huánuco

De mi mayor consideración:

Me dirijo a usted con el debido respeto, para saludarle cordialmente y a la vez solicitar su autorización para realizar un levantamiento estructural con el uso de dron y toma de mediciones técnicas en el interior y exterior de la Iglesia La Merced, ubicada en la ciudad de Huánuco. Esta actividad forma parte fundamental del desarrollo de mi proyecto de tesis titulado: "Análisis estructural y vulnerabilidad sísmica de la Iglesia de La Merced de Huánuco utilizando modelos 3D en ETABS - 2024", correspondiente al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

El objetivo principal de la investigación es determinar la vulnerabilidad sísmica de la edificación, considerando que esta iglesia representa un valioso patrimonio histórico-cultural para nuestra ciudad, y que su estructura, construida en tapial, presenta una alta susceptibilidad frente a eventos sísmicos. Para cumplir con los objetivos planteados, se requiere realizar un levantamiento arquitectónico y estructural detallado, para lo cual se utilizará tecnología de dron y otros instrumentos de medición no invasivos que permitan capturar información precisa de su geometría, sin ocasionar ningún tipo de daño o alteración al inmueble.

Me comprometo a respetar las normas internas del templo, actuar con responsabilidad profesional durante el desarrollo de las actividades y compartir los resultados obtenidos si así lo requiere su institución.

Agradeciendo de antemano su atención y en espera de una respuesta favorable, me despido con sentimientos de estima y consideración.

Atentamente,



Bach. Luis Felipe León Salazar

Investigador – Universidad de Huánuco

Teléfono: 990 921 774



Recibido
19/05/25


ANEXO 5

IGLESIA LA MERCED

Iglesia la Merced el año 1942



Fuente: (Huanuqueñista, 2018).

Iglesia la Merced el antes del colapso.



Fuente: (Rodríguez, 2021).

ANEXO 6

FICHA TÉCNICA

FICHA TÉCNICA	
Ítem	Descripción técnica
Denominación de la intervención	Refuerzo estructural integral con anillos de confinamiento, mejora de diafragma, cosido de grietas, encamisado superficial y consolidación puntual de cimentación.
Objetivo	Reducir la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia La Merced mediante el incremento de la rigidez, ductilidad y continuidad estructural, manteniendo la compatibilidad con los materiales originales de adobe.
Ubicación de aplicación	Muros portantes de adobe, coronamientos, zonas con grietas estructurales y base de cimentación.
Materiales principales	- Madera estructural laminada tratada o perfiles metálicos galvanizados (anillos). - Barras de acero inoxidable o fibra estructural (stitching). - Malla AR de fibra de vidrio o polímero estructural. - Mortero de cal-arena (1:3) con adición de ≤10% de cemento P.O. - Lechada de cal-cemento para anclajes y cosidos.
Anillos o encintados	Sección: 0.15 × 0.20 m (madera) o perfil 100 × 100 × 4 mm (acero). Anclaje: pernos Ø12–16 mm empotrados con lechada de cal-cemento cada 0.8–1.2 m. Ubicación: coronamiento y media altura en muros mayores a 4 m.
Mejora del diafragma	Unión de la estructura de cubierta con el anillo superior mediante tirantes metálicos Ø12–16 mm y placas de anclaje; garantiza trabajo conjunto muro–techo.
Cosido de grietas (stitching)	Barras Ø10–12 mm colocadas transversalmente a las grietas, embebidas con lechada de cal-cemento. Separación entre cosidos: 0.8–1.0 m.
Encamisado superficial	Malla de fibra AR o polímero fijada con mortero de cal-cemento (espesor 20–30 mm). Solape mínimo: 10 cm. Refuerzo adicional en esquinas y vanos.
Consolidación de cimentación	Aplicación localizada de lechadas de cal o instalación de sub-zapatillas en zonas con asentamientos detectados.
Control de calidad	Verificación de materiales (resistencia, compatibilidad y adherencia). Ensayos de anclajes piloto, medición de derivas post-intervención y registro fotográfico.
Compatibilidad patrimonial	Intervención reversible y de bajo impacto visual. No se emplean morteros cementosos rígidos ni elementos que alteren la masa o rigidez global del adobe.
Resultados esperados	Reducción ≥50% de las derivas laterales, redistribución del cortante basal y mejora de la capacidad de disipación de energía sísmica sin afectar el valor histórico.
Supervisión técnica	Ingeniero civil especializado en estructuras y conservación patrimonial, en coordinación con un restaurador certificado.

ANEXO 7

CHECK LIST ESTRUCTURAL

CHECK LIST ESTRUCTURAL

A. Datos Generales

- Nombre de la edificación: Iglesia La Merced
- Ubicación: Huánuco - Huánuco - Huánuco
- Material predominante: Tapial - Madera
- Cubierta: Madera - Teja
- Número de niveles: 1 - Diafragma rígido
- Fecha de inspección: 27 / 11 / 25
- Inspector: León Salazar, Luis Felipe

B. Check-list por Componentes

1. Muros de Tapial

Ítem	Criterio observado	Cumple	No cumple
1.1	Espesor uniforme del muro (≈ 40 cm)	☒	☐
1.2	Presencia de erosión superficial o deterioro	☐	☒
1.3	Humedad ascendente o por capilaridad	☐	☒
1.4	Grietas verticales (falla por flexión fuera del plano)	☒	☐
1.5	Grietas diagonales (cortante)	☐	☒
1.6	Pérdida de material por desprendimiento	☒	☐
1.7	Existencia de intervenciones previas inadecuadas	☒	☐
1.8	Conexión muro-cubierta adecuada	☒	☐

2. Cubierta (Madera + Teja)

Ítem	Condición observada	Cumple	No cumple
2.1	Madera sin pudrición ni humedad	☒	☐
2.2	Estado de vigas principales	☒	☐
2.3	Estado de correas y listones	☒	☐
2.4	Fijación adecuada entre elementos	☒	☐
2.5	Tejas en buen estado (roturas, desplazamientos)	☒	☐
2.6	Peso de cubierta acorde al diseño tradicional	☒	☐
2.7	Compatibilidad geométrica con los muros	☐	☒

3. Configuración Estructural y Geométrica

Ítem	Cumple	No cumple
3.1 Regularidad en planta	☐	☒
3.2 Regularidad en elevación	☐	☒
3.3 Ausencia de torsión geométrica	☐	☒
3.4 Continuidad de muros portantes	☒	☐
3.5 Aberturas bien distribuidas	☒	☐

4. Condiciones de Suelo y Fundación

Ítem	Cumple	No cumple
4.1 Asentamientos diferenciales visibles	☐	☒
4.2 Grietas en base indicadoras de empujes	☒	☐
4.3 Humedad en cimentación	☐	☒

5. Elementos No Estructurales

Ítem	Cumple	No cumple
5.1 Revoques estables (sin desprendimiento)	☐	☒
5.2 Marcos de puertas/ventanas sin deformación	☒	☐
5.3 Ornamentación sin riesgo de desprendimiento	☒	☐

6. Condiciones para Análisis Sísmico

Ítem	Cumple	No cumple
6.1 Altura compatible con análisis E.030	☐	☒
6.2 Conexiones muro-cubierta adecuadas	☒	☐
6.3 Integridad global del sistema resistente	☒	☐

7. Evaluación Global

☐ Riesgo Bajo

☒ Riesgo Medio

☐ Riesgo Alto

(Según acumulación de daños, irregularidad y estado de muros)

ANEXO 8

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN VISUAL

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN VISUAL

A. Identificación

- **Nombre de la edificación:** Iglesia La Merced
- **Uso:** Edificación religiosa – Patrimonial
- **Material del sistema resistente:** Tapial
- **Cubierta:** Madera + Teja
- **Inspector:** Bach. León Salazar, Luis Felipe
- **Fecha:** 27/11/25

B. Descripción General de la Estructura

- **Tipo estructural:** Muros portantes de tapial.
- **Altura estimada:** 7.5 – 8.0 m (techo a dos aguas).
- **Espesor de muros:** 40 cm (medido in situ).
- **Estado general:** Edificación histórica con degradación progresiva.

C. Levantamiento Visual del Estado Estructural

1. Muros de Tapial (Evaluación por tramos)

Parámetro	Descripción
Estado superficial	La edificación presenta visibles desprendimientos de la pintura superficial y con grietas visibles.
Grietas verticales	Presenta grietas de gran tamaño especialmente en la fachada y paredes exteriores.
Grietas diagonales (cortante)	No presenta o en su defecto son de pequeña escaña y por ende despreciables.
Expulsión de material	No presenta ya que esta recientemente refaccionada.
Desgaste por lluvia/viento	Se evidencia un notable desgaste de las paredes producto de las lluvias, aunque se mantiene debido a las refacciones.
Humedad	Actualmente en épocas donde la lluvia es nula o poca, no presenta.
Intervenciones previas	La edificación se somete a reiteradas refacciones y/o mantenimientos para preservar su valor arquitectónico.

2. Cubierta

Ítem	Evaluación
Estado de vigas principales	La edificación presenta vigas robustas y aparentemente en buen estado.
Estado de correas secundarias	En este caso, la edificación se encuentra remodelada con el material de cielo raso para el techo interior, el cual está en buenas condiciones.
Anclajes a muros	Presenta correctas conexiones columna – cubierta desde el punto de vista estructural
Estado de tejas	Mantiene buena condición
Presencia de deformaciones	No presenta

3. Patologías Críticas Detectadas

- ☐ Grietas por cortante
- ☒ Grietas verticales extensas
- ☒ Desprendimiento de material
- ☐ Fallas por humedad
- ☐ Desanclaje del techo
- ☒ Degradación de madera

(Marca las que correspondan y describe)

Descripción:

Respecto a la degradación de los materiales, estos se evidencian a simple vista, debido principalmente a la antigüedad y por la humedad proveniente de las lluvias, respecto a la estructura en general, podemos decir que se encuentra en condiciones aun estables pero que de verse afectada por los mismos motivos observados, es necesario realizar un mantenimiento general a fin de preservar la calidad de los materiales actuantes en la estructura.

C. Registro Fotográfico







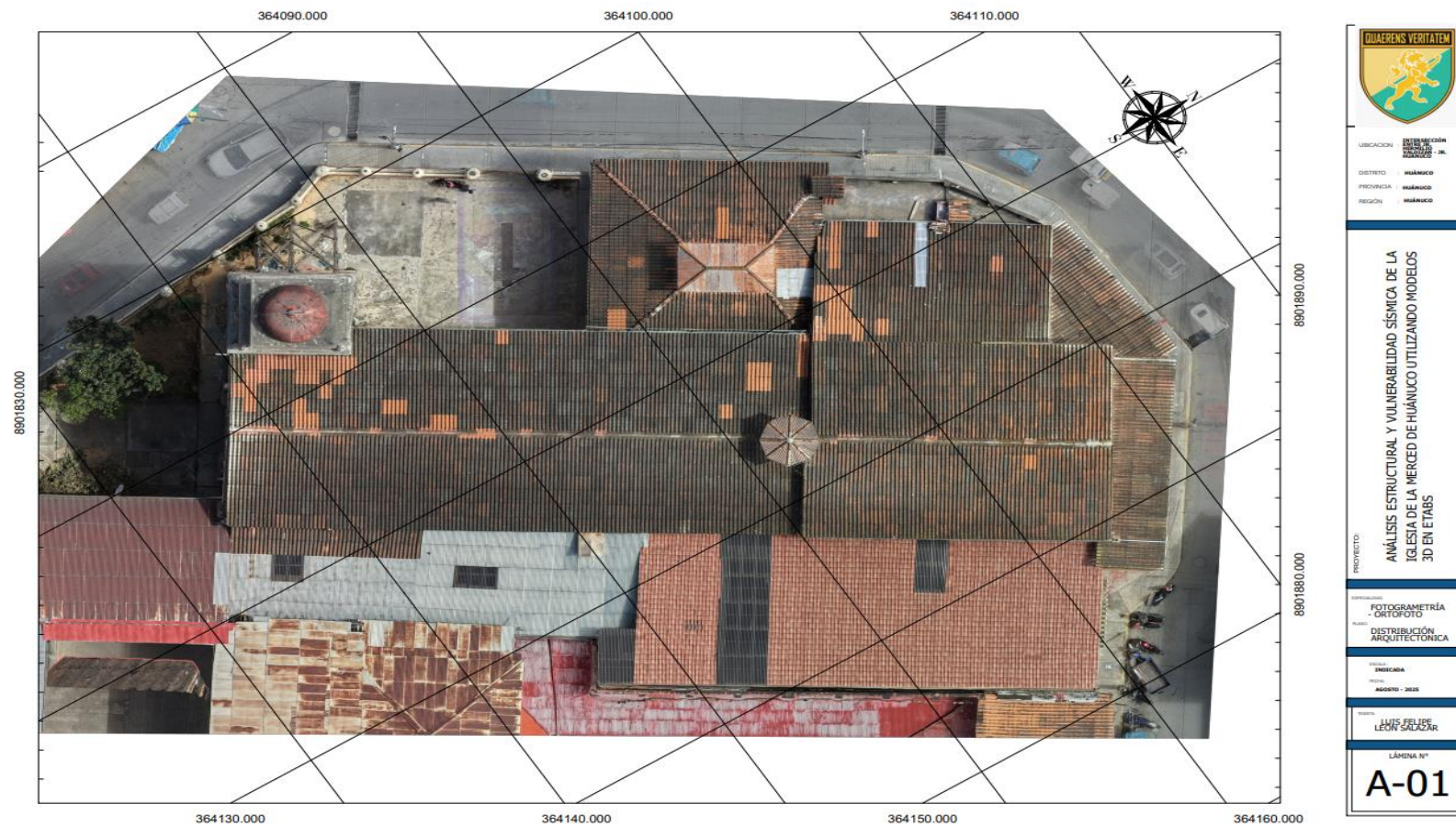


F. Conclusiones de la Inspección

"La edificación presenta características típicas de construcciones en tapial sin refuerzo, con presencia de grietas, erosión superficial y una cubierta de madera con desgaste. Estas condiciones, sumadas a la irregularidad geométrica y la ausencia de elementos de confinamiento, contribuyen a un aparente nivel medio de vulnerabilidad sísmica"

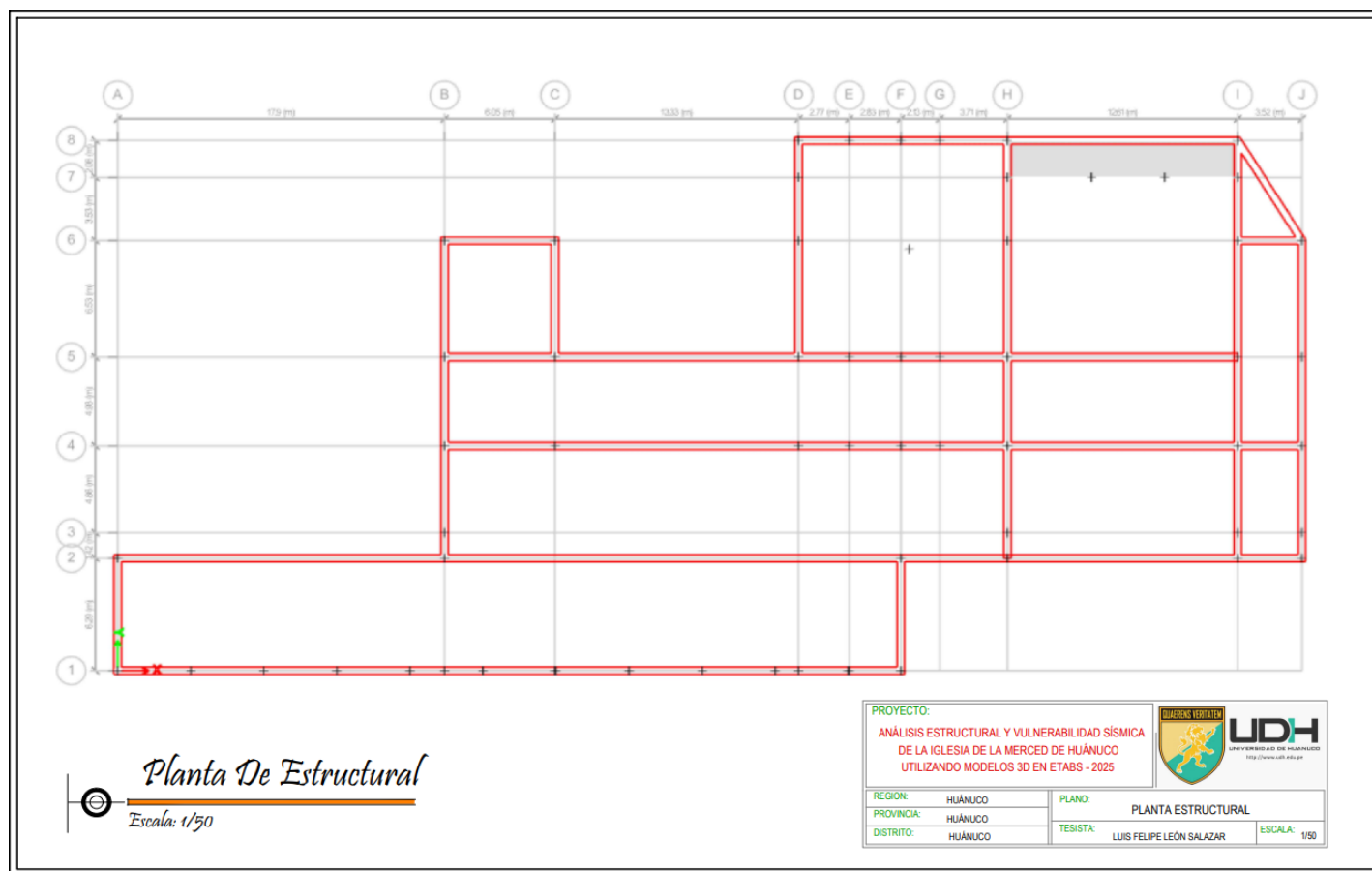
ANEXO 9

PLANO DE PLANTA ARQUITECTÓNICA



ANEXO 9

PLANO ESTRUCTURAL EN PLANTA



ANEXO 10

PLANO ESTRUCTURAL EN PLANTA

