

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Análisis de vulnerabilidad sísmica usando el programa
ETABS de la iglesia San Francisco, Huánuco - 2024”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Mauricio Trinidad, Gil Augurio

ASESORA: Cecilio Reyes, Fatima Rosaria

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

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 Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74937534

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 47064856

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental.

Código ORCID: 0009-0001-5016-5538

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Taboada Trujillo, William Paolo	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	40847625	0000-0002-4594-1491
2	Miraval Rojas, Biseth	Maestro en gestión y negocios, con mención en gestión de proyectos	47474699	0000-0001-5605-3003
3	Suarez Landauro, Reynaldo Favio	Maestro en gestión pública	22498065	0000-0002-4641-3797

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 15:00 horas del día **jueves 02 de julio 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:

❖ DR. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO	PRESIDENTE
❖ MG. BISETH MIRAVAL ROJAS	SECRETARIO
❖ MG. REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN Nº 1146-2026-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: **"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bachiller. Bach: **Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD**, 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) a probado por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 11 y cualitativo de suficiente (Art. 47).

Siendo las 16:00 horas del día **02 del mes de julio** del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


DR. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO
DNI: 40847625
ORCID: 0000-0002-4594-1491
PRESIDENTE


MG. BISETH MIRAVAL ROJAS
DNI: 47474699
ORCID: 0000-0001-5605-3003
SECRETARIO (A)


MG. REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO
DNI: 22498065
ORCID: 0000-0002-4641-3797
VOCAL



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **GIL AUGURIO MAURICIO TRINIDAD**, de la investigación titulada **"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO - 2024"**, con asesor(a): **FATIMA ROSARIA CECILIO REYES**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 1143-2024-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **13 %** 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, 08 de junio de 2026



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

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 08 de octubre de 2026.

1. GIL AUGURIO MAURICIO TRINIDAD.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
5	www.previsora.com.co Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1%



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

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa importante de mi formación profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional, sacrificio y confianza constante, quienes han sido el principal sustento moral y motivacional a lo largo de mi vida académica.

A mi familia, por su comprensión, paciencia y palabras de aliento durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad, por brindarme la formación académica y los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.

A mi asesora de tesis, por su orientación constante, disposición, paciencia y valiosos aportes académicos y metodológicos, los cuales fueron fundamentales para el adecuado desarrollo y culminación de la presente investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas a lo largo de mi formación universitaria, contribuyendo de manera significativa a mi crecimiento académico y profesional.

Asimismo, agradezco a todas las personas que colaboraron directa o indirectamente durante la ejecución del trabajo de campo, facilitando la información y el apoyo necesario para la realización de esta tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	19
1.3. OBJETIVO GENERAL	19
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION	21
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	23
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	26
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	28
2.2. BASES TEÓRICAS.....	29

2.2.1. VULNERABILIDAD SÍSMICA	29
2.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	30
2.2.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	31
2.2.4. REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	32
2.2.5. MODELADO DE LA MAMPOSTERÍA	32
2.2.6. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS DISCONTINUOS	33
2.2.7. EL PROGRAMA ETABS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	33
2.2.8. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN EN ETABS	34
2.2.9. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	34
2.2.10 IGLESIA SAN FRANCISCO	35
2.3. BASES CONCEPTUALES.....	36
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	37
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	37
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	38
2.5. VARIABLES	38
2.5.1. VARIABLE 1	38
2.5.2. VARIABLE 2	38
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	39
CAPÍTULO III	40
METODOLOGÍA	40
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.2. ENFOQUE	40
3.3. NIVEL	41
3.4. DISEÑO	41
3.5. POBLACIÓN	41

3.6. MUESTRA	42
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.7.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.7.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	51
3.8. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	52
3.9. ASPECTOS ÉTICOS	53
CAPÍTULO IV.....	54
RESULTADOS.....	54
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	54
4.2. RESULTADOS INFERENCIALES	102
CAPITULO V.....	105
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	105
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesores de muros para la modelación.....	01
Tabla 2 Parámetros para un sismo de intensidad 3.....	02
Tabla 3 Parámetros para un sismo de intensidad 5.....	03
Tabla 4 Parámetros para un sismo de intensidad 7.....	04
Tabla 5 Parámetros para un sismo leve en X en muros de la fachada.....	05
Tabla 6 Parámetros para un sismo moderada en X en muros de la fachada	06
Tabla 7 Parámetros para un sismo fuerte en X en muros de la fachada	07
Tabla 8 Parámetros para un sismo leve en Y en muros de la fachada.....	08
Tabla 9 Parámetros para un sismo moderado en Y en muros de la fachada	09
Tabla 10 Parámetros para un sismo fuerte en Y en muros de la fachada ...	10
Tabla 11 Parámetros para un sismo leve en X en muros del salón principal	11
Tabla 12 Parámetros para un sismo moderado en X en muros del salón principal	12
Tabla 13 Parámetros para un sismo fuerte en X en muros del salón principal	13
Tabla 14 Parámetros para un sismo leve en Y en muros del salón principal	14
Tabla 15 Parámetros para un sismo moderado en Y en muros del salón principal	15
Tabla 16 Parámetros para un sismo fuerte en Y en muros del salón principal	16
Tabla 17 Parámetros para un sismo leve en X en muros del salón con bóveda	17
Tabla 18 Parámetros para un sismo moderada en X en muros del salón con bóveda	18
Tabla 19 Parámetros para un sismo fuerte en X en muros del salón con bóveda	19
Tabla 20 Parámetros para un sismo leve en Y en muros del salón con bóveda	20

Tabla 21	Parámetros para un sismo moderado en Y en muros del salón con bóveda.....	21
Tabla 22	Parámetros para un sismo fuerte en Y en muros del salón con bóveda.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Iglesia San Francisco.....	01
Figura 2 Reconocimiento de elementos estructurales	02
Figura 3 Medición de los elementos estructurales	03
Figura 4 Registro de la altura libre de la puerta	04
Figura 5 Toma de dimensiones del ancho de columna interior.....	05
Figura 6 Inspección de columnas próximas al acceso principal	06
Figura 7 Observación del sistema estructural interior	07
Figura 8 Reconocimiento del sistema estructural interior de la iglesia.....	08
Figura 9 Vista del sistema de arcos y soportes verticales	09
Figura 10 Reconocimiento de elementos arquitectónicos y estructurales del interior	10
Figura 11 Vista general del interior del templo y elementos estructurales principales.....	11
Figura 12 Vista interior del templo y distribución estructural	12
Figura 13 Identificación de arcos y columnas en el interior del templo	13
Figura 14 Identificación de elementos portantes del interior del templo	14
Figura 25 Modelo en planta de la iglesia en Recap Pro.....	15
Figura 26 Modelo 3D de la iglesia en Recap Pro.....	16
Figura 27 Modelo 3D de la iglesia en Civil 3D.	17
Figura 28 Plano en planta a partir del modelo 3D en Civil 3D.....	18
Figura 29 Planteamiento de los ejes de coordenadas de cada elemento estructural en AutoCAD.	19
Figura 30 Configuración de grillas en ETABS.....	20
Figura 31 Vista de las grillas en ETABS.	21
Figura 32 Configuración de propiedades del tapial.....	22
Figura 33 Configuración de la resistencia a la compresión del tapial.	23
Figura 34 Configuración propiedades de la madera.	24
Figura 35 Configuración de la sección de la armadura de madera.....	25
Figura 36 Configuración del material para la cubierta.....	26
Figura 37 Configuración del elemento tipo “shell” para la cubierta.	27
Figura 38 Configuración del elemento tipo “shell” para el machihembrado para las estructuras secundarias.	28

Figura 39 Modelación de la fachada de la iglesia San Francisco.	29
Figura 40 Modelación de los muros interiores y de la bóveda de la iglesia San Francisco.	30
Figura 41 Modelación final de la iglesia San Francisco.	31
Figura 42 Vista de la armadura de madera del techo.	32
Figura 43 Vista de la armadura de madera del techo con la iglesia modelada.	33
Figura 44 Modelo final con las cubiertas.....	34
Figura 45 Medición del ángulo de la pendiente de la cobertura en ETABS.	35
Figura 46 Colocación de carga de techo.	36
Figura 47 Colocación de carga viva de machihembrado.	37
Figura 48 Vista frontal de colocación de cargas al modelo.....	38
Figura 49 Vista trasera de colocación de cargas al modelo.....	39
Figura 50 Vista en planta de colocación de etiquetas al modelo.	40
Figura 51 Ajuste “END LENGTH OFFSETS”	41
Figura 52 Ajuste “FRAME AUTO MESH”	42
Figura 53 Ajuste “FRAME FLOORMESHING”	43
Figura 54 Ajuste “AUTO EDGE CONSTRAINT”	44
Figura 55 Verificación si el modelado tiene algún problema.....	45
Figura 56 Creación del espectro para un sismo leve de grado 3.	46
Figura 57 Creación del espectro para un sismo moderado de grado 5.	47
Figura 58 Creación del espectro para un sismo fuerte de grado 7.	48
Figura 59 Creación del sismo dinámico en la dirección X.....	49
Figura 60 Creación del sismo dinámico en la dirección Y.....	50

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general analizar la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco de Huánuco mediante el uso del software ETABS, y como objetivos específicos identificar las zonas críticas ante sismos leves, evaluar el comportamiento estructural frente a sismos moderados y determinar la capacidad resistente de la edificación bajo un evento severo. La metodología consistió en la elaboración de un modelo estructural tridimensional que permitió representar los elementos principales del templo (fachada, salón central y bóveda), aplicando diferentes escenarios sísmicos equivalentes a magnitudes de 3°, 5° y 7°. A partir de esta modelación, se evaluaron derivas, desplazamientos y rigideces relativas para diagnosticar el desempeño estructural del inmueble frente a cada nivel de demanda sísmica.

Los resultados demuestran que la Iglesia San Francisco presenta un comportamiento heterogéneo según sus componentes estructurales. En escenarios leves, la fachada y algunos niveles del salón central superaron los límites permisibles de deriva, mientras que la bóveda evidenció un desempeño estable debido a su configuración más rígida. Bajo un sismo moderado, tanto la fachada como el salón presentaron desplazamientos excesivos y generalizados, registrándose valores críticos de hasta 17 cm en los niveles superiores. Finalmente, ante un sismo severo, las deformaciones observadas fueron incompatibles con un comportamiento seguro, indicando la posibilidad real de colapsos locales e incluso totales en los sectores más vulnerables.

Se concluye que la edificación presenta un nivel de vulnerabilidad sísmica significativo en su estado actual, destacando como zonas críticas la fachada principal y el salón central, incluso bajo demandas de baja intensidad. Asimismo, se determina que ante eventos moderados y severos la estructura no posee la capacidad necesaria para resistir adecuadamente las acciones sísmicas, evidenciándose riesgos de fallas locales y colapso parcial o total. En consecuencia, se recomienda implementar intervenciones de refuerzo estructural orientadas a mejorar la rigidez lateral, reducir las deformaciones y

garantizar la preservación patrimonial de este importante monumento arquitectónico.

Palabras clave: Análisis dinámico, desempeño estructural, edificación patrimonial, modelamiento y vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

The present research aimed to analyze the seismic vulnerability of the San Francisco Church in Huánuco using the ETABS software. The specific objectives were to identify critical zones under low-intensity earthquakes, evaluate the structural behavior under moderate seismic events, and determine the load-bearing capacity of the building under a severe seismic scenario. The methodology involved the development of a three-dimensional structural model representing the main components of the church (façade, central nave, and vault), applying different seismic scenarios equivalent to magnitudes of 3°, 5°, and 7°. Based on this modeling, story drifts, displacements, and relative stiffness were evaluated to assess the structural performance of the building under each level of seismic demand.

The results show that the San Francisco Church exhibits heterogeneous behavior depending on its structural components. Under low-intensity scenarios, the façade and certain levels of the central nave exceeded the allowable drift limits, while the vault demonstrated stable performance due to its stiffer configuration. Under a moderate earthquake, both the façade and the nave experienced excessive and generalized displacements, with critical values reaching up to 17 cm at the upper levels. Finally, under a severe seismic event, the observed deformations were incompatible with safe structural behavior, indicating a real possibility of local and even total collapse in the most vulnerable sectors.

It is concluded that the building presents a significant level of seismic vulnerability in its current condition, with the main façade and central nave identified as critical zones, even under low-intensity seismic demands. Furthermore, it is determined that under moderate and severe events, the structure lacks sufficient capacity to adequately resist seismic actions, evidencing the risk of local failures and partial or total collapse. Consequently, the implementation of structural strengthening interventions is recommended to enhance lateral stiffness, reduce deformations, and ensure the preservation of this important architectural heritage.

Keywords: Dynamic analysis, structural performance, heritage building, modeling, seismic vulnerability.

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones históricas ha adquirido una importancia creciente, debido al riesgo que representa la acción sísmica sobre estructuras con configuraciones arquitectónicas antiguas, materiales frágiles y sistemas constructivos que no responden a los estándares modernos de diseño sismorresistente. En países ubicados dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico como Italia, Japón, México o Chile, se han desarrollado diversas metodologías numéricas y analíticas para el diagnóstico del comportamiento dinámico de templos, catedrales y edificaciones patrimoniales, empleando herramientas computacionales avanzadas como ETABS, SAP2000 y ANSYS. Estos estudios han permitido comprender cómo las irregularidades geométricas, la falta de confinamiento estructural y los procesos de deterioro acumulado incrementan la probabilidad de daño y colapso ante eventos sísmicos moderados y severos, resaltando la necesidad de estrategias de refuerzo compatibles con la conservación del valor histórico-arquitectónico.

En el contexto nacional, el Perú es uno de los países con mayor peligrosidad sísmica del mundo debido a su ubicación en el contacto convergente de las placas de Nazca y Sudamericana. Esta condición geotectónica, sumada al amplio inventario de edificaciones patrimoniales construidas en adobe, piedra o albañilería no confinada, ha generado una preocupación constante por la protección y seguridad estructural del patrimonio cultural. Instituciones como el Ministerio de Cultura, el CISMID, las universidades y los gobiernos regionales han impulsado investigaciones orientadas a analizar la vulnerabilidad sísmica de iglesias coloniales y estructuras históricas mediante modelamientos tridimensionales y simulaciones dinámicas. Sin embargo, muchos templos de alto valor cultural siguen presentando deficiencias estructurales debido al envejecimiento, intervenciones inadecuadas, pérdida de elementos resistentes originales y ausencia de un sistema estructural continuo, lo que los convierte en edificaciones altamente vulnerables.

En el ámbito local, la Iglesia San Francisco de Huánuco constituye uno de los monumentos más representativos del centro histórico de la ciudad,

caracterizado por su arquitectura colonial, muros de gran altura y una disposición estructural que combina una fachada principal, un salón central amplio y una bóveda de mayor rigidez. A pesar de su relevancia histórica, la edificación presenta signos de deterioro y materiales que, por su naturaleza, exhiben un comportamiento frágil ante eventos sísmicos. La ausencia de refuerzos modernos y la discontinuidad entre sus elementos verticales incrementan la susceptibilidad del templo frente a movimientos telúricos propios de la región. En este contexto, el análisis estructural mediante el software ETABS permite evaluar con mayor precisión el desempeño dinámico del templo, identificar zonas críticas y estimar su comportamiento frente a diferentes niveles de demanda sísmica. Por ello, la presente investigación se orienta a diagnosticar la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco de Huánuco, generando información técnica que respalde la toma de decisiones para la protección y preservación de este importante patrimonio arquitectónico

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La vulnerabilidad sísmica de edificaciones históricas y patrimoniales es una preocupación creciente. Las estructuras construidas con técnicas y materiales tradicionales, como la tierra, enfrentan riesgos significativos debido a su baja capacidad para resistir las fuerzas sísmicas. Esto es especialmente crítico en regiones propensas a terremotos, como el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde muchos países han experimentado sismos devastadores que han afectado sus bienes culturales (García y Pérez, 2022).

Los terremotos en países como Italia, Japón, y México han demostrado la fragilidad de estos edificios y la necesidad urgente de evaluaciones y refuerzos estructurales adecuados. En respuesta, se han desarrollado metodologías avanzadas y programas de software para analizar y mitigar estos riesgos (Bolt, 2022).

En el Perú, la vulnerabilidad sísmica es un tema de vital importancia debido a su ubicación en una zona altamente sísmica. A lo largo de la historia, el país ha sufrido numerosos terremotos que han causado pérdidas humanas y materiales significativas. Las edificaciones históricas, muchas de las cuales están construidas con adobe y tapial, son especialmente vulnerables. La falta de mantenimiento, las técnicas constructivas antiguas y la degradación de materiales aumentan el riesgo de colapso durante un sismo (Alfaro y Martínez, 2020).

A nivel nacional, se han implementado políticas y normativas para la evaluación y reforzamiento de estas estructuras, pero la aplicación de tecnologías avanzadas como ETABS aún es limitada. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante este software puede proporcionar una comprensión más detallada y precisa del comportamiento de estas edificaciones bajo cargas sísmicas, facilitando la implementación de medidas de mitigación más efectivas.

La Municipalidad de Huánuco, en colaboración con el Colegio de Ingenieros, ha determinado que los templos Cristo Rey, San Sebastián, San Cristóbal y La Merced presentan un alto riesgo de colapso debido al deterioro de sus infraestructuras, según los informes técnicos de la Oficina de Gestión de Riesgos y Desastres. La Iglesia Cristo Rey muestra desprendimientos del cielo raso en una longitud de 9.10 metros por falta de apoyo, agravado por la humedad. En la Iglesia San Sebastián, se detectaron fisuras en el altar y servicios higiénicos que podrían causar desprendimientos, y se advirtió alta vulnerabilidad en los muros perimétricos. La Iglesia La Merced presenta grietas significativas y fisuras de hasta 3 cm en la torre, con riesgo de colapso por sobrepeso, recomendando su demolición para prevenir accidentes. Por último, la Iglesia San Cristóbal, tras la caída de su torre principal, tiene muros en peligro de colapso, por lo que se declara en riesgo alto (AHORA, 2019).

La Iglesia San Francisco, ubicada en la ciudad de Huánuco, es un ejemplo representativo de las edificaciones históricas de la región, construida predominantemente con materiales tradicionales de tierra. Esta iglesia no solo es un importante monumento religioso y cultural, sino que también forma parte del patrimonio histórico de la ciudad de Huánuco, al igual que muchas otras ciudades del Perú, está expuesta a la amenaza constante de sismos.

La vulnerabilidad de la Iglesia San Francisco es una preocupación para la comunidad local, dado que un evento sísmico podría resultar en la pérdida de un bien cultural irremplazable. El análisis de su vulnerabilidad sísmica utilizando ETABS permitirá identificar las debilidades estructurales específicas y desarrollar estrategias de reforzamiento que preserven la integridad del edificio y, por ende, su valor histórico y cultural.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

PG: ¿Cómo es el análisis de vulnerabilidad sísmica usando el programa ETABS de la iglesia San Francisco, Huánuco - 2024?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE1: ¿Cuáles son las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco que presentan mayor vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de magnitud 3 grados?

PE2: ¿Cómo se comporta estructuralmente la Iglesia San Francisco ante un sismo de magnitud 5 grados y cuáles son las posibles fallas y colapsos parciales?

PE3: ¿Cuál es la capacidad de la estructura de la Iglesia San Francisco para soportar un sismo de magnitud 7 grados, considerando el riesgo de colapso total?

1.3. OBJETIVO GENERAL

OG: Analizar de la vulnerabilidad sísmica usando el programa ETABS de la iglesia San Francisco, Huánuco - 2024.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinar las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco que presentan mayor vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de magnitud 3 grados.

OE2: Evaluar el comportamiento estructural de la Iglesia San Francisco ante un sismo de magnitud 5 grados, identificando las posibles fallas y colapsos parciales.

OE3: Analizar la capacidad de la estructura de la Iglesia San Francisco para soportar un sismo de magnitud 7 grados, considerando el riesgo de colapso total.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La investigación sobre la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco en Huánuco tuvo una alta relevancia práctica, debido a que este

edificio constituye un patrimonio histórico y cultural de la región. La evaluación y mejora de su capacidad de resistencia frente a sismos de diferentes magnitudes resultaron fundamentales para la protección de los feligreses y visitantes, así como para la preservación de su valor histórico y arquitectónico. En este sentido, la identificación de debilidades estructurales y la propuesta de medidas de mitigación permitieron plantear intervenciones orientadas a garantizar la integridad del edificio frente a futuros eventos sísmicos, contribuyendo a la seguridad de la comunidad y a la conservación del patrimonio cultural. Asimismo, se consideró el contexto local, en el cual la Municipalidad de Huánuco y el Colegio de Ingenieros habían identificado un alto riesgo de colapso en templos como Cristo Rey, San Sebastián, San Cristóbal y La Merced, debido al deterioro de sus infraestructuras.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Desde una perspectiva teórica, la presente investigación aportó al campo del análisis estructural y la ingeniería sísmica, especialmente en el contexto de edificaciones históricas construidas con técnicas y materiales tradicionales. El uso del software ETABS para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una estructura de esta naturaleza permitió explorar y desarrollar metodologías específicas para el análisis de edificaciones históricas, las cuales difieren de las construcciones modernas en cuanto a sus características estructurales y materiales. Asimismo, los resultados obtenidos sirvieron como base para futuras investigaciones y para la formulación de lineamientos orientados a la intervención y conservación de edificaciones patrimoniales expuestas a riesgos sísmicos.

JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La metodología empleada en la presente investigación, basada en el uso del software ETABS, resultó adecuada y robusta para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco. ETABS constituyó una herramienta avanzada y ampliamente reconocida en la ingeniería estructural, la cual permitió modelar y analizar de manera detallada el comportamiento de la estructura frente a diferentes solicitaciones sísmicas. Al aplicar esta

metodología, se obtuvieron datos precisos y confiables sobre el desempeño sísmico del edificio, lo que facilitó la identificación de sus puntos críticos y la planificación de las intervenciones necesarias. En este sentido, la aproximación metodológica empleada aseguró un análisis riguroso y detallado, sustentado en el uso de herramientas tecnológicas especializadas.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación presentó diversas limitaciones que debieron considerarse en la interpretación de los resultados. En primer lugar, la degradación de los materiales originales de la Iglesia San Francisco pudo afectar la precisión del modelo estructural en ETABS, debido a que las propiedades actuales de dichos materiales no estuvieron completamente documentadas. Asimismo, la información histórica y los planos originales del edificio resultaron, en algunos casos, incompletos, lo que dificultó la elaboración de un modelo estructural exacto. De igual manera, las simplificaciones adoptadas en la modelación mediante ETABS no permitieron capturar en su totalidad los comportamientos complejos y no lineales propios de una estructura histórica. Finalmente, los escenarios sísmicos considerados correspondieron a aproximaciones de la amenaza real, la cual pudo variar en términos de intensidad, duración y características del suelo.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION

VIABILIDAD TEÓRICA

La investigación es teóricamente viable ya que se basa en métodos y herramientas consolidadas en el campo de la ingeniería estructural. El uso del software ETABS para el análisis de vulnerabilidad sísmica es una práctica común y validada por numerosos estudios previos. Además, la investigación se enmarca en una rica base teórica que abarca el comportamiento sísmico de estructuras históricas, la conservación del patrimonio arquitectónico y la ingeniería sísmica, lo que asegura un fundamento sólido para el desarrollo del estudio.

VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica de la investigación es factible, ya que se puede realizar con un presupuesto moderado. El software ETABS, aunque especializado, está disponible a través de licencias académicas o institucionales, reduciendo los costos. Los recursos necesarios para la recopilación de datos históricos y la realización de visitas al sitio son manejables. Asimismo, las pruebas adicionales que podrían ser necesarias, como los ensayos de materiales, pueden ser llevadas a cabo con equipos disponibles en laboratorios universitarios o mediante acuerdos con instituciones locales, optimizando los recursos disponibles.

VIABILIDAD TEMPORAL

La investigación es viable en términos temporales, dado que el análisis utilizando ETABS y la recopilación de datos pueden completarse dentro de un plazo razonable. La estructuración de las actividades de investigación, desde la recopilación de datos hasta el análisis y la redacción del informe final, puede ser planificada eficientemente para ajustarse a un cronograma de trabajo bien definido. La disponibilidad de datos históricos y acceso al sitio también facilita el cumplimiento de los plazos establecidos, permitiendo una ejecución ordenada y efectiva del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Soria y Gonzalo (2021) el estudio se concentra en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en el sector Oyambarillo, ubicado en la parroquia de Tababela, Ecuador. Este sector fue seleccionado debido a su alta exposición al riesgo sísmico y la prevalencia de construcciones informales que carecen de regulaciones adecuadas, en el cual se realizó una inspección de campo para obtener un panorama general del sector, identificando los tipos de viviendas presentes y las patologías constructivas más comunes. Se aplicó una encuesta detallada a los residentes para recoger información específica sobre las características constructivas de las viviendas, tales como el tipo de materiales utilizados y las técnicas de construcción empleadas, así mismo, se utilizó el método FEMA-154, que permitió una evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de una vivienda representativa en el sector. El análisis estructural se profundizó mediante modelamiento estático lineal y no lineal utilizando el software SAP2000, que facilitó la simulación del comportamiento estructural bajo cargas gravitacionales y sísmicas. Se complementa con un ensayo no destructivo con esclerómetro para evaluar la resistencia del hormigón en las vigas y columnas de la vivienda. El estudio reveló que el sector Oyambarillo enfrenta una alta probabilidad de daños severos en caso de sismo. La encuesta indicó que muchas viviendas fueron construidas sin asistencia técnica profesional y carecen de planos y estudios de suelo, lo que aumenta su vulnerabilidad. La inspección mostró deficiencias en el confinamiento del hormigón en vigas y columnas, con resistencia insuficiente, especialmente en las columnas. El modelamiento estructural con SAP2000 demostró que las viviendas no cumplen con los requisitos de la norma NEC-SE-DS (2015) y colapsarían durante un

sismo, con formación de rótulas plásticas en las columnas y deriva máxima que supera los límites normativos. En conclusión, el sector presenta una significativa vulnerabilidad sísmica. Se recomienda implementar medidas urgentes como la capacitación en construcción sismorresistente y el refuerzo de las viviendas existentes para mejorar la seguridad y reducir el riesgo de daños severos en futuros eventos sísmicos

Betancourt y Soria (2022) el estudio se enfoca en la evaluación exhaustiva de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en el barrio Buenos Aires, del Cantón Quito, Ecuador, una zona con alta exposición a sismos y predominancia de construcciones informales. La metodología utilizada abarcó una serie de pasos clave: se realizaron encuestas a los residentes y se revisaron registros municipales para obtener información detallada sobre las características constructivas de las viviendas. Además, se empleó la microzonificación sísmica de Quito para determinar el tipo de suelo y la peligrosidad sísmica del área, identificando el terreno como tipo D con alta peligrosidad sísmica. Se llevó a cabo un análisis estructural utilizando el programa SAP2000, que permitió modelar una vivienda representativa y evaluar su comportamiento frente a cargas sísmicas bajo la normativa NEC 2015. Los resultados mostraron que la mayoría de las viviendas fueron construidas sin asistencia técnica adecuada ni supervisión profesional, y el análisis reveló deficiencias significativas en la calidad del confinamiento del hormigón en vigas y columnas. El modelamiento estructural demostró que la vivienda representativa no cumple con los estándares de la norma NEC 2015, presentando un alto riesgo de colapso ante sismos de moderada intensidad. Las derivas máximas observadas superaron los límites establecidos por la normativa, confirmando una alta vulnerabilidad sísmica. En conclusión, el estudio evidencia un considerable riesgo sísmico en el barrio Buenos Aires debido a la deficiente calidad constructiva y las características del suelo. Se recomienda la implementación de medidas urgentes para mitigar este riesgo, incluyendo la capacitación en técnicas de construcción

sismorresistente, la evaluación y refuerzo de las viviendas existentes, y la adopción de normas de construcción más rigurosas. Este análisis subraya la necesidad imperiosa de abordar la vulnerabilidad sísmica en áreas de alto riesgo, proporcionando una base sólida para mejorar la seguridad estructural y reducir el riesgo de daños severos en futuros eventos sísmicos.

Pimbo y Betzabeth (2021), el objetivo principal de esta investigación es evaluar de manera integral la vulnerabilidad sísmica de una edificación existente en la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, aplicando metodologías cualitativas y cuantitativas. Posteriormente, se proponen alternativas de refuerzo estructural que mejoren el desempeño sísmico de la edificación y garanticen la seguridad de sus ocupantes. La metodología empleada tiene un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), de tipo descriptivo y explicativo, con un nivel aplicado y un diseño no experimental. Se emplearon técnicas como la inspección visual, utilizando formatos y matrices de las normas FEMA 154 y NEC 2015 para identificar irregularidades y deficiencias estructurales, así como un análisis numérico mediante software especializado para evaluar el comportamiento de la edificación bajo cargas sísmicas. Además, se realizó una comparación de los resultados obtenidos con valores de referencia establecidos en las normativas. Los instrumentos utilizados incluyeron formatos y matrices de inspección de las normas FEMA 154 y NEC 2015, software de análisis estructural como SAP2000 y ETABS, y equipos de medición, en caso de haberse realizado pruebas de vibración ambiental. La población en estudio fue la edificación en sí, tratándose de un estudio de caso, por lo que no se aplicó una muestra. Concluyendo que la evaluación sísmica integral de la edificación revela una vulnerabilidad media debido a irregularidades estructurales y deficiencias en el tipo de suelo, lo que resulta en un comportamiento torsional y una capacidad insuficiente para resistir cargas sísmicas; sin embargo, las propuestas de refuerzo mejoran significativamente su desempeño sísmico, permitiendo que cumpla con las normativas vigentes.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Abad y Ramirez (2023), El objetivo principal de este estudio es determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de una estructura dual de 7 pisos ubicada en el distrito de Huaraz, mediante la aplicación del Método Italiano Benedetti y Petrini y el Método de Análisis Sísmico basado en la norma E-030, con el fin de evaluar la capacidad de respuesta de la estructura ante eventos sísmicos y proponer medidas de mejora que garanticen la seguridad de los ocupantes. La metodología adoptada tiene un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y nivel explicativo, dado que se busca explicar las causas de la vulnerabilidad sísmica. El diseño es no experimental, ya que no se manipulan variables. Las técnicas empleadas incluyen la revisión documental para recopilar información sobre la estructura y la normativa sismorresistente, el análisis estructural mediante el uso del software ETABS para modelar la estructura y realizar análisis estáticos y dinámicos, así como la aplicación de los métodos de evaluación de vulnerabilidad mencionados. Como instrumentos, se utilizaron planos de la estructura, el software ETABS y guías y manuales para la aplicación de los métodos de evaluación de la vulnerabilidad. La población de estudio es la estructura dual de 7 pisos en cuestión, y debido a que se trata de un estudio de caso, no se considera una muestra. Concluyendo que los resultados obtenidos mediante ambos métodos coinciden en que la estructura presenta un alto nivel de vulnerabilidad sísmica, lo cual implica un riesgo significativo para la seguridad de los ocupantes en caso de un evento sísmico.

Guzmán y Torres (2022) el estudio se centra en analizar la vulnerabilidad sísmica de un edificio de cinco niveles en Cusco, Perú, con el objetivo de identificar y proponer soluciones a las fallas estructurales existentes. El edificio presenta un exceso de acero de refuerzo en columnas y vigas, lo que resulta en ineficiencias en el diseño y aumenta el riesgo sísmico. Para abordar esta situación, el estudio tuvo varios objetivos clave. Primero, se evaluó la vulnerabilidad sísmica del edificio actual mediante análisis tanto estáticos como no lineales.

También se determinaron las solicitudes sísmicas y de uso conforme a las normativas vigentes. La metodología incluyó modelar la estructura del edificio utilizando los programas SAP2000 y CYPECAD. Se realizó un análisis estático para determinar las cargas gravitatorias y tensiones en los elementos estructurales. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis sísmico no lineal con dos factores de reducción: $R=8$ y $R=3$. También se evaluó la vulnerabilidad sísmica para diferentes niveles de sismo (frecuente, ocasional y raro) y se propuso un rediseño estructural ajustando las dimensiones de columnas y vigas. Los resultados mostraron que, con un factor de reducción $R=8$, la estructura no puede soportar un sismo raro (475 años) y presenta daños significativos en un sismo ocasional (75 años). En contraste, con un factor de reducción $R=3$, la estructura mostró un mejor desempeño, acercándose al umbral de resistencia para un sismo raro, aunque aún se requieren ajustes menores en el refuerzo de los elementos estructurales. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica indicó que el edificio es adecuado para un sismo frecuente (45 años), pero presenta vulnerabilidades importantes ante sismos de mayor intensidad. En conclusión, el estudio revela que el edificio original tiene vulnerabilidades sísmicas notables, especialmente frente a sismos más intensos. El rediseño estructural propuesto, con modificaciones en las dimensiones de columnas y vigas, mejora significativamente la capacidad de la estructura para resistir eventos sísmicos y reduce su vulnerabilidad.

García Alama (2022) el estudio se centra en analizar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas en áreas con alto riesgo sísmico, específicamente en la Urbanización López Albuja I etapa en Sullana, Perú. Este estudio es crucial debido a la creciente preocupación por la seguridad estructural en zonas propensas a sismos. La metodología del estudio incluyó una recopilación exhaustiva de información sobre las viviendas, que abarcó planos detallados, materiales de construcción empleados, el estado actual de la estructura y las características geotécnicas del terreno. Se realizó un estudio de mecánica de suelos para evaluar las propiedades del terreno, revelando

la presencia de arenas finas y gravas arenosas que requieren un reforzamiento adicional en las cimentaciones para evitar posibles fallos estructurales. El análisis estructural se realizó utilizando el software SAP2000, permitiendo modelar la estructura de las viviendas y evaluar su comportamiento sísmico bajo diferentes escenarios. Se llevó a cabo una evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica siguiendo la metodología del INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú), lo que permitió identificar que las viviendas tienen un alto nivel de riesgo sísmico. Los resultados del análisis mostraron que, durante sismos de baja a mediana intensidad, las viviendas presentan deformaciones significativas, y podrían enfrentar daños considerables en eventos sísmicos más intensos, así mismo el estudio también reveló que estas viviendas no cumplen con los requisitos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para la construcción de un tercer piso, debido a deficiencias en la cimentación y una falta de refuerzo estructural adecuado.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Torres (2024) El estudio tuvo como objetivo principal evaluar las propiedades sismorresistentes de un edificio residencial de cinco niveles en La Esperanza, Huánuco, utilizando un enfoque descriptivo y métodos cuantitativos mediante un diseño experimental riguroso. Se realizó un análisis exhaustivo con el software CSI ETABS, que permitió modelar la estructura de acero y examinar su comportamiento sísmico bajo diferentes condiciones. Para la evaluación, se emplearon perfiles de acero ASTM A-36 ($F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$) y concreto de resistencia $f'_c 210 \text{ kg/cm}^2$. Los resultados del análisis sísmico revelaron que las distorsiones máximas en la dirección fueron de 0.00032, claramente por debajo de los límites establecidos por la normativa peruana E.030, asegurando el cumplimiento con las regulaciones vigentes. Se determinaron los perfiles estructurales óptimos, siendo HEB-260 para las columnas, IPE-240 para las vigas de carga y IPE-200 para las vigas de amarre. El análisis estructural concluyó que el edificio presenta un comportamiento sísmico

altamente adecuado, con distorsiones en las direcciones "X" e "Y" dentro de los límites permitidos, lo que garantiza una notable seguridad frente a cargas sísmicas laterales y confirma la conformidad con los requisitos de diseño sísmico establecidos, demostrando que el diseño no solo es eficaz sino también robusto y seguro frente a las demandas sísmicas.

León (2023) el estudio se propuso como objetivo fundamental realizar un exhaustivo análisis comparativo entre los sistemas de albañilería confinada y pórticos en el diseño sismorresistente de un edificio multifamiliar de cuatro niveles en Amarilis, Huánuco. Utilizando un enfoque no experimental de tipo transversal y siguiendo rigurosamente las normativas del Reglamento Nacional de Edificaciones, se empleó el avanzado software ETABS para modelar y optimizar ambos sistemas estructurales. Los resultados obtenidos destacaron que el sistema de albañilería confinada superaba significativamente al de pórticos en términos de rendimiento sísmico, reduciendo el período de vibración en un impresionante 70% en el eje X-X y un 28% en el eje Y-Y. Además, este sistema demostró una mayor eficiencia en términos de desplazamientos relativos laterales, requiriendo elementos estructurales menos robustos y, por ende, implicando una reducción en los costos y en el análisis estructural. Los resultados del análisis con ETABS confirmaron que la máxima deriva inelástica en ambas direcciones era menor a 0.005, evidenciando así que la albañilería confinada ofrece un comportamiento estructural superior y más económico frente a las cargas sísmicas, constituyendo una opción más robusta para edificaciones de cuatro niveles.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica es un concepto central en la ingeniería sísmica y en la gestión del riesgo. Se refiere al grado de susceptibilidad que tiene una estructura, infraestructura, o comunidad a sufrir daños ante un evento sísmico. Este concepto es esencial para comprender y mitigar

los riesgos asociados a los terremotos, especialmente en regiones geológicamente activas (Bozzo y Barbat, 2020).

Evaluar la vulnerabilidad sísmica es un proceso complejo que involucra el análisis de varios factores, como las características estructurales de los edificios, las propiedades del suelo, la intensidad del sismo, y la capacidad de respuesta de la comunidad (Bozzo y Barbat, 2020).

La importancia de la vulnerabilidad sísmica radica en su capacidad para identificar las debilidades estructurales y sociales que podrían aumentar los daños durante un terremoto. Esto permite a los ingenieros y planificadores desarrollar estrategias de mitigación eficaces, mejorando la resiliencia de las comunidades frente a desastres naturales (Santos Quispe, 2019).

2.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica de una edificación o infraestructura está determinada por una combinación de factores que, al interactuar entre sí, definen el comportamiento de la estructura durante un sismo. Estos factores pueden agruparse en tres categorías principales: características estructurales, condiciones del suelo y factores socioeconómicos (Vega Maza, 2019).

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Las características físicas y mecánicas de una estructura son determinantes clave en su respuesta ante un evento sísmico. La calidad de los materiales utilizados, el diseño estructural, la antigüedad de la construcción, y el cumplimiento de las normas sísmicas vigentes son aspectos críticos que influyen en la vulnerabilidad. Las estructuras mal diseñadas o construidas con materiales deficientes tienen una mayor probabilidad de sufrir daños severos o colapsar durante un sismo (Vega Maza, 2019).

CONDICIONES DEL SUELO

El comportamiento del suelo durante un terremoto también es un factor crucial en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Fenómenos como la licuefacción, la amplificación de ondas sísmicas, y los deslizamientos de tierra pueden exacerbar los efectos de un sismo sobre las estructuras. Las edificaciones situadas sobre suelos blandos o en pendientes pronunciadas son particularmente vulnerables a estos fenómenos, lo que puede resultar en un aumento significativo del daño estructural (Vega Maza, 2019).

FACTORES SOCIOECONÓMICOS

Los aspectos socioeconómicos, como la densidad poblacional, la calidad de la planificación urbana, y la capacidad de respuesta de la comunidad, también juegan un papel importante en la vulnerabilidad sísmica. En muchas áreas, especialmente en regiones urbanas densamente pobladas o en comunidades con recursos limitados, la falta de infraestructura adecuada y de planes de emergencia eficaces puede aumentar significativamente la vulnerabilidad de la población ante un terremoto (Vega Maza, 2019).

2.2.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Evaluar la vulnerabilidad sísmica es un proceso multidisciplinario que combina técnicas de ingeniería estructural, geotecnia, y análisis de riesgos. Existen diversos métodos y enfoques para llevar a cabo esta evaluación, que varían en complejidad y detalle según el contexto y los objetivos del estudio (Vilca y Violeta, 2020).

MÉTODOS CUALITATIVOS

Los métodos cualitativos se basan en la inspección visual y en la experiencia profesional para identificar debilidades estructurales. Estos métodos son útiles para evaluaciones rápidas, especialmente en

situaciones de emergencia, pero su precisión es limitada (Vilca y Violeta, 2020).

MÉTODOS CUANTITATIVOS

Los métodos cuantitativos emplean herramientas matemáticas y computacionales para modelar el comportamiento de las estructuras bajo cargas sísmicas. Programas de análisis estructural, como ETABS, permiten simular cómo una edificación responderá ante diferentes escenarios sísmicos, proporcionando una evaluación más precisa y detallada de la vulnerabilidad (Vilca y Violeta, 2020).

2.2.4. REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Reducir la vulnerabilidad sísmica es una prioridad en la planificación y construcción de infraestructuras en zonas sísmicamente activas. Las estrategias de reducción de vulnerabilidad incluyen el reforzamiento estructural, la mejora de las normativas de construcción, y la implementación de programas de educación y preparación comunitaria (Triana y Ramírez, 2024).

2.2.5. MODELADO DE LA MAMPOSTERÍA

El modelado de la mampostería es una técnica de análisis estructural utilizada para representar y evaluar el comportamiento de estructuras construidas con mampostería, como paredes de ladrillo, bloques de concreto o piedra. Este enfoque simula cómo interactúan y responden estos elementos bajo diferentes condiciones de carga, como sismos, viento y peso propio (Altamirano Castillo, 2023).

En el modelado de mampostería, los bloques se representan como elementos continuos que transmiten las fuerzas verticales y horizontales, mientras que las juntas entre los bloques se modelan como discontinuidades, simulando fallas por rotura, deslizamiento o aplastamiento. Estas discontinuidades se pueden representar mediante elementos de espesor cero o elementos de interfaz, que ajustan la interacción entre bloques y juntas (Altamirano Castillo, 2023).

2.2.6. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS DISCONTINUOS

Los modelos de elementos finitos discontinuos son una técnica de análisis estructural que permite simular cómo se comportan materiales o estructuras que presentan discontinuidades, como grietas, juntas o interfaces entre distintos materiales. A diferencia de los modelos continuos, que asumen que el material es uniforme y sin interrupciones, los modelos discontinuos permiten representar directamente las discontinuidades y sus efectos, como la rotura o el deslizamiento (Oré y Suárez, 2022).

Estos modelos utilizan una malla de elementos finitos que combina elementos continuos, para representar el material sólido, con elementos de discontinuidad, para modelar fallas e interacciones entre diferentes partes de la estructura. La representación de las discontinuidades se logra mediante técnicas específicas, como elementos de interfaz, elementos de resorte o elementos de espesor cero, que detallan cómo estas discontinuidades influyen en el comportamiento general de la estructura (Cotrina León, 2016).

2.2.7. EL PROGRAMA ETABS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) es uno de los programas más utilizados a nivel mundial para el análisis y diseño de estructuras. Desarrollado por Computers and Structures, Inc. (CSI), ETABS ofrece herramientas avanzadas para el análisis dinámico y estático de edificaciones, permitiendo simular con precisión el comportamiento de una estructura ante cargas sísmicas. La capacidad de ETABS para modelar estructuras complejas en tres dimensiones lo convierte en una herramienta ideal para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios (Laurencio Rao, 2021).

A través de ETABS, se pueden analizar diversos aspectos de la vulnerabilidad sísmica, como la rigidez, la resistencia, y la capacidad de disipación de energía de la estructura. El programa también permite

realizar simulaciones no lineales, que son cruciales para entender cómo se comportará una edificación ante un sismo severo, especialmente en estructuras que no fueron diseñadas con códigos sísmicos modernos (Laurencio Rao, 2021).

2.2.8. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN EN ETABS

El proceso de modelación en ETABS comienza con la creación de un modelo tridimensional de la estructura, basado en planos arquitectónicos y estudios detallados de las características físicas y mecánicas de los materiales. Para la Iglesia San Francisco, se requiere una comprensión profunda de los materiales históricos, como la piedra, el adobe, o la madera, y de cómo estos interactúan bajo cargas sísmicas (Rodríguez Cabanillas, 2023).

Una vez creado el modelo, se aplican las cargas correspondientes, que incluyen tanto cargas estáticas como dinámicas. Las cargas dinámicas representan el movimiento sísmico y se simulan utilizando registros históricos de terremotos o mediante la generación de espectros de diseño según normas sísmicas locales e internacionales. ETABS permite realizar un análisis modal espectral, que evalúa las respuestas dinámicas de la estructura y determina los modos de vibración más significativos, así como un análisis pushover, que es esencial para identificar los puntos de falla potenciales en la estructura (Rodríguez Cabanillas, 2023).

2.2.9. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural de una edificación es esencial en ingeniería civil para garantizar que las construcciones sean seguras y eficientes. Este proceso evalúa cómo la estructura se comporta ante distintas cargas, como el peso propio, el viento o los sismos, y cómo los materiales utilizados (concreto, acero, madera, etc.) responden a esfuerzos como compresión, tracción o torsión. Además, se emplean distintos métodos de análisis, como el método estático para cargas permanentes o el método dinámico para cargas variables, y técnicas

avanzadas como el método de elementos finitos, que permite modelar estructuras complejas (Pimbo Palate, 2021).

En el diseño de edificaciones, los sistemas estructurales juegan un papel importante, ya sean marcos rígidos o muros portantes, pues determinan la capacidad de la estructura para resistir fuerzas externas. En zonas sísmicas, factores como la ductilidad, la rigidez y la flexibilidad son clave para asegurar que la edificación pueda deformarse sin colapsar y absorber energía sísmica adecuadamente. Todo esto se debe realizar bajo normativas técnicas y reglamentos que establecen criterios de seguridad y resistencia, como los códigos sísmicos y las normas de construcción locales (Estrada y Vivanco, 2019).

El uso de software especializado para la modelación estructural, como ETABS o SAP2000, ha revolucionado el análisis estructural, facilitando simulaciones precisas sobre el comportamiento de las edificaciones frente a distintas condiciones de carga. Este tipo de herramientas permite optimizar los diseños y cumplir con los estándares normativos, asegurando así la seguridad y funcionalidad de la estructura en todo momento (Estrada y Vivanco, 2019).

2.2.10 IGLESIA SAN FRANCISCO

La parroquia San Francisco en Huánuco, segunda en importancia después de la de San Bernardino, fue establecida por los frailes franciscanos con apoyo económico de encomenderos. Fundada originalmente por Fray Juan del Corso y más tarde reedificada en 1566 por Fray Andrés Corzo, quien también fundó el Convento de los Franciscanos Descalzos, la parroquia ha jugado un papel crucial en la historia religiosa y cultural de la región. Fray Corzo, natural de Córcega y llegado al Perú en 1556, falleció en 1620, y su legado permanece en la historia local (Turismo, 2020).

Los franciscanos, pioneros en la catequización y en la fundación de pueblos en Huánuco, trabajaron hasta 1834, dejando un impacto duradero en la comunidad y en la educación, contribuyendo al desarrollo

del Colegio Leoncio Prado. La iglesia, notable por su altar mayor de estilo Churrigueresco y sus bóvedas construidas por Alonso Armas en 1620, es uno de los templos más destacados de Huánuco (Capira Capira, 2018).

En 1999, fue formalmente erigida como parroquia por el Obispo Ermanno Artale y está actualmente gestionada por la Comunidad San Bernardino de Siena, Hnos. Capuchinos OFMcap, con el Hno. José Antonio Alarcón Gómez como párroco. Su jurisdicción abarca varias áreas limítrofes con otras parroquias, y sigue siendo un importante centro de fe y actividad comunitaria en la diócesis de Huánuco (Capira Capira, 2018).

2.3. BASES CONCEPTUALES

Análisis dinámico lineal: Método que evalúa la respuesta de una estructura a cargas dinámicas, como sismos, considerando una relación proporcional entre fuerzas y deformaciones (Bruno y Pérez, 2017).

Análisis estructural: Procedimiento para evaluar cómo una estructura reacciona ante cargas y fuerzas, utilizando modelos matemáticos para garantizar su seguridad y durabilidad, cumpliendo con las normativas (Suquillo y Pimbo, 2021).

Condiciones del suelo: Incluyen las propiedades físicas y mecánicas del terreno, esenciales para el diseño de cimientos y la seguridad de la construcción, evaluando la capacidad de carga y estabilidad del suelo (Barrera et al., 2020).

Factor de seguridad: Coeficiente utilizado en ingeniería para asegurar que una estructura pueda soportar cargas mayores a las esperadas, cubriendo posibles errores y garantizando la fiabilidad (Mesa et al., 2021).

Modelo estructural: Representación matemática simplificada de una estructura física para analizar su comportamiento bajo cargas y optimizar su diseño, garantizando la seguridad y eficiencia en la construcción (Aguilar et al., 2016).

Norma E.010: Especifica los requisitos para el diseño y mantenimiento de estructuras de madera, abarcando propiedades físicas, criterios de diseño y métodos de construcción, asegurando su seguridad y durabilidad (Norma E.010, 2017).

Norma E.020: Asegura que las edificaciones soporten las cargas resultantes de su uso previsto sin superar los límites de esfuerzo y deformación establecidos, garantizando la seguridad estructural (Norma E.020, 2017).

Norma E.080: Establece requisitos para la construcción de edificaciones de tierra reforzada, asegurando su resistencia ante sismos y promoviendo soluciones económicas y seguras (Norma E.080, 2017).

Propiedades de materiales: Las características de los materiales estructurales, como el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y el peso específico, afectan el comportamiento de las construcciones (Reyes y Alegre, 2015).

SAP2000: Es un software avanzado para análisis y diseño estructural en ingeniería civil, que permite modelar, analizar y diseñar diversas estructuras. Ofrece herramientas para diseñar conforme a normas y generar informes detallados (Choccata y Huaripata, 2021).

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

HG: La estructura de la Iglesia San Francisco en Huánuco presenta una vulnerabilidad sísmica significativa frente a sismos, que puede ser identificada y mitigada mediante el uso del programa ETABS, permitiendo proponer medidas de refuerzo estructural necesarias para preservar la integridad del edificio histórico.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

HE1: Las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco mostrarán una vulnerabilidad significativa frente a un sismo de magnitud 3 grados, con ciertos elementos estructurales presentando mayor deformación y esfuerzo.

HE2: Ante un sismo de magnitud 5 grados, la estructura de la Iglesia San Francisco exhibirá comportamientos estructurales que indicarán posibles fallas y colapsos parciales, con una distribución de cargas y tensiones que afectarán de manera significativa a ciertos elementos.

HE3: La estructura de la Iglesia San Francisco tendrá una capacidad limitada para soportar un sismo de magnitud 7 grados, mostrando riesgo de colapso total a menos que se implementen estrategias de intervención y refuerzo que mejoren su resistencia.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE 1

Análisis de vulnerabilidad sísmica.

2.5.2. VARIABLE 2

Características estructurales.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ESPECIFICACIONES
VARIABLE 2: Características estructurales.	Características físicas y mecánicas de la estructura que afectan su comportamiento frente a cargas sísmicas.	- Evaluación de la estructura en términos de materiales, diseño, altura, y configuración. - Análisis de los planos arquitectónicos y estructurales de la Iglesia San Francisco.	- Materiales de construcción (concreto, acero, etc.). - Configuración estructural (simetría, regularidad, etc.). - Edad y estado de conservación de la estructura.	- Tipo de materiales utilizados. - Geometría y distribución de la masa. - Estado de conservación y mantenimiento.	Calidad Cantidad m2 %	- ISO 9001 - Norma Técnica Peruana E.050 - Norma Técnica Peruana E.020
VARIABLE 1: Análisis de vulnerabilidad sísmica.	La vulnerabilidad sísmica se define como la capacidad inherente de una estructura para resistir un terremoto. Representa cómo se comportará una edificación frente a un sismo, con el sismo siendo la causa y el daño resultante el efecto. En otras palabras, la vulnerabilidad sísmica evalúa la capacidad de una edificación para soportar la actividad sísmica (Santos, 2019).	- Análisis mediante el software ETABS para determinar la capacidad de resistencia sísmica de la Iglesia San Francisco. - Evaluación de desplazamientos, fuerzas internas y modos de vibración.	- Resistencia estructural. - Rigidez estructural. - Capacidad de disipación de energía.	-Desplazamientos máximos en nudos críticos. - Fuerzas internas en elementos estructurales. - Frecuencias naturales y modos de vibración.	Kg/cm2 Cantidad %	-Norma Técnica Peruana E.0.30 -Norma Técnica Peruana E.060

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación aplicada se enfoca en la resolución de problemáticas concretas que surgen en los diversos ámbitos de la actividad humana, desde la producción hasta el consumo. Basándose en los fundamentos teóricos de la investigación básica, esta disciplina busca desarrollar soluciones prácticas y eficientes que contribuyan a mejorar los procesos, productos y servicios existentes (Esteban Nieto, 2018)

En la presente investigación se analizó la estructura de la Iglesia San Francisco con el propósito de evaluar su vulnerabilidad sísmica mediante el uso del programa ETABS, identificando posibles deficiencias estructurales y proponiendo soluciones técnicas orientadas a mejorar su comportamiento ante eventos sísmicos.

3.2. ENFOQUE

El enfoque cuantitativo se caracteriza por su rigurosidad metodológica, basada en la recolección y análisis de datos numéricos. A través de la medición precisa de variables y la aplicación de técnicas estadísticas, este enfoque permite cuantificar fenómenos, identificar patrones y probar hipótesis de manera objetiva y sistemática (Zacarías y Supo, 2020).

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, en el cual se recopilaban y analizaban datos numéricos, tales como las dimensiones de la estructura, su peso y otras características relevantes, para su procesamiento en el software ETABS. El estudio se centró en la evaluación estructural y sismorresistente, con el propósito de identificar las deficiencias de la estructura de la Iglesia San Francisco y proponer soluciones viables orientadas a mejorar su resistencia sísmica.

3.3. NIVEL

Una investigación de nivel descriptiva constituye un primer paso fundamental en el proceso de investigación científica, ya que proporciona una descripción exhaustiva del fenómeno de estudio. Los hallazgos obtenidos en estos estudios pueden servir como punto de partida para investigaciones posteriores de carácter explicativo o predictivo, contribuyendo al avance del conocimiento en un determinado campo (Arias y Covinos, 2021).

La investigación fue de nivel descriptivo, ya que se centró en observar y detallar el comportamiento estructural de la Iglesia San Francisco frente a la acción sísmica, describiendo la forma en que la edificación respondió ante dichos eventos.

3.4. DISEÑO

Los diseños no experimentales se caracterizan por su enfoque observacional, en el cual el investigador se limita a registrar y analizar los fenómenos tal y como ocurren en su contexto natural, sin ejercer ningún tipo de control sobre las variables en estudio. A diferencia de los diseños experimentales y cuasi experimentales, en las investigaciones no experimentales la variable independiente ya ha actuado sobre los participantes antes de que se inicie la recolección de datos, lo que las clasifica como estudios ex post facto (Alan y Cortez, 2018)

En la presente investigación se analizó y observó el comportamiento y la respuesta de la estructura de la Iglesia San Francisco frente a la acción sísmica. Asimismo, se identificaron y plantearon posibles soluciones orientadas a mejorar su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos.

3.5. POBLACIÓN

La población se define como un conjunto teóricamente infinito de elementos que comparten una característica común de interés. Esta característica, más allá de los objetos físicos, constituye la unidad de análisis y delimita el alcance del estudio (Gaviria y Márquez, 2019).

En este contexto, la población estuvo constituida por todos los elementos estructurales de la Iglesia San Francisco, los cuales fueron objeto de análisis. Esto incluyó los componentes arquitectónicos y estructurales susceptibles de verse afectados por la acción sísmica, tales como columnas, vigas, muros, techos y cimentaciones.

3.6. MUESTRA

Una muestra no probabilística es aquella en la que los elementos se seleccionan sin recurrir al azar, sino mediante criterios específicos del investigador, por lo que no todos los individuos de la población tienen la misma oportunidad de ser elegidos (Ancajima y Garrido, 2023).

En la presente investigación se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, mediante el cual los elementos estructurales fueron seleccionados con base en criterios técnicos y estructurales. Debido a la naturaleza histórica y patrimonial de la Iglesia San Francisco, la muestra estuvo conformada por elementos representativos de la estructura, tales como muros portantes, arcos principales, columnas interiores y elementos de cubierta, los cuales resultaron clave para la estabilidad global del edificio y relevantes para evaluar su respuesta ante sismos de distintas magnitudes.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos para la presente investigación se realizó mediante un conjunto de procedimientos técnicos orientados a obtener información precisa y confiable sobre las características geométricas, estructurales y materiales de la Iglesia San Francisco de Huánuco. En primera instancia, se efectuó un levantamiento arquitectónico y estructural detallado, el cual incluyó la medición directa de dimensiones, alturas de muros, espesores, configuraciones de la fachada, geometría de la bóveda y distribución espacial del salón central. Este levantamiento permitió identificar con exactitud la morfología del templo y sirvió como

base para la elaboración del modelo tridimensional en el software ETABS.

Posteriormente, se recopiló información documental proveniente de planos históricos, registros del Ministerio de Cultura, fotografías antiguas y reportes previos relacionados con intervenciones o diagnósticos estructurales realizados en la edificación. Asimismo, se revisaron estudios similares desarrollados en otras iglesias coloniales del país, con el fin de establecer criterios comparativos y validar los parámetros empleados. De manera complementaria, se realizaron inspecciones visuales para identificar patologías estructurales, tales como fisuras, desprendimientos, humedades y deterioro de materiales, las cuales pudieron influir en la respuesta dinámica del templo frente a acciones sísmicas.

Finalmente, se obtuvieron los parámetros sísmicos necesarios para el análisis estructural conforme a la normativa vigente, considerando la zonificación sísmica de Huánuco, el tipo de suelo, los coeficientes dinámicos y los espectros de diseño utilizados en la modelación computacional. Todos estos datos fueron sistematizados y verificados para garantizar su coherencia antes de ser incorporados al modelo analítico en ETABS. Este proceso integral de recolección de información aseguró la elaboración de un modelo estructural representativo y confiable, permitiendo evaluar con precisión la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco frente a diferentes escenarios sísmicos.

Figura 1

Iglesia San Francisco



Figura 2

Reconocimiento de elementos estructurales



Figura 3

Medición de los elementos estructurales



Figura 4

Registro de la altura libre de la puerta



Figura 5

Toma de dimensiones del ancho de columna interior



Figura 6

Inspección de columnas próximas al acceso principal



Figura 7

Observación del sistema estructural interior



Figura 8

Reconocimiento del sistema estructural interior de la iglesia



Figura 9

Vista del sistema de arcos y soportes verticales



Figura 10

Reconocimiento de elementos arquitectónicos y estructurales del interior



Figura 11

Vista general del interior del templo y elementos estructurales principales



Figura 12

Vista interior del templo y distribución estructural



Figura 13

Identificación de arcos y columnas en el interior del templo



Figura 14

Identificación de elementos portantes del interior del templo



3.7.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

La presentación de los datos obtenidos en la presente investigación se organizó de manera estructurada con el fin de mostrar de forma clara y comprensible la información recopilada durante el levantamiento arquitectónico, la inspección estructural y el análisis computacional realizado en ETABS. En primer lugar, se expusieron las características geométricas y morfológicas de la Iglesia San Francisco, incluyendo dimensiones, espesores de muros, distribución de niveles, ubicación de contrafuertes y configuración de la bóveda. Estos datos fueron presentados mediante tablas descriptivas y esquemas generales que permitieron visualizar la composición espacial del templo y la relación entre sus principales elementos estructurales.

Posteriormente, se presentaron los datos correspondientes a las propiedades mecánicas asignadas a los materiales, tales como resistencias características, módulos de elasticidad y parámetros inherentes al comportamiento de edificaciones históricas de albañilería o mampostería. Dichas propiedades se mostraron de forma sistematizada para facilitar su comprensión y evidenciar los criterios utilizados en la modelación. Asimismo, se incluyeron los parámetros sísmicos empleados en los escenarios de análisis, tales como coeficientes de zona, factores dinámicos, espectros de diseño y aceleraciones consideradas, los cuales se organizaron en tablas y gráficos que permitieron contextualizar el nivel de demanda sísmica aplicada al modelo.

Finalmente, se presentaron los resultados obtenidos de las simulaciones estructurales en ETABS, priorizando parámetros clave como desplazamientos laterales, derivas entre pisos, deformaciones máximas, distribución de esfuerzos y comportamiento de cada uno de los componentes estructurales: fachada principal, salón central y bóveda. Estos datos se mostraron mediante gráficos comparativos, diagramas de deformación y tablas que resumieron los valores obtenidos en cada escenario sísmico (magnitudes 3, 5 y 7). La presentación

organizada y secuencial de esta información permitió interpretar de manera efectiva el desempeño estructural del templo, constituyendo la base para el análisis y la discusión de resultados desarrollados posteriormente en la investigación.

3.8. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de los datos obtenidos a partir del modelamiento estructural en ETABS permitió evaluar el comportamiento dinámico de la Iglesia San Francisco ante diferentes niveles de sollicitación sísmica. En primer lugar, se interpretaron los desplazamientos laterales y las derivas entre pisos como indicadores principales de vulnerabilidad. Estos parámetros mostraron variaciones significativas entre los tres componentes estructurales analizados: la fachada, el salón central y la bóveda. La fachada presentó los mayores niveles de deformación debido a su configuración vertical continua y a la ausencia de elementos que aportaran rigidez lateral, mientras que la bóveda evidenció un desempeño más estable gracias a la presencia de contrafuertes y a su geometría inherentemente rígida. Esta interpretación inicial permitió identificar diferencias en la capacidad de respuesta de cada elemento, evidenciando la heterogeneidad estructural del templo.

En escenarios de sismicidad leve (magnitud 3), los datos evidenciaron que la fachada y algunos sectores del salón superaron los límites permisibles de deriva, lo que indicó una vulnerabilidad latente incluso ante excitaciones sísmicas moderadas. En el análisis correspondiente a un sismo de magnitud 5, la interpretación de los desplazamientos globales mostró un incremento significativo de las deformaciones, alcanzando valores críticos en los niveles superiores de la fachada y en zonas verticales extensas del salón. Esto sugirió la posibilidad de fallas locales en muros altos y colapsos parciales en áreas donde la rigidez lateral resultó insuficiente. La bóveda, aunque mantuvo un comportamiento relativamente más controlado, también evidenció exigencias en algunos niveles discretizados, lo que confirmó que ningún componente estuvo completamente exento de daño.

Finalmente, en el escenario severo (magnitud 7), los datos analizados confirmaron que la estructura no contó con la capacidad necesaria para resistir adecuadamente un evento de gran intensidad. Las derivas obtenidas excedieron ampliamente los límites admitidos por la normativa y resultaron incompatibles con la estabilidad estructural, evidenciando un riesgo real de colapso total en la fachada y de colapso parcial o generalizado en el salón central. La bóveda, aunque menos comprometida, también registró deformaciones que pudieron conducir a daños significativos. En conjunto, la interpretación de los datos permitió concluir que el templo se encontró en un estado de vulnerabilidad sísmica elevada, requiriendo intervenciones de refuerzo orientadas a mejorar su rigidez lateral y su desempeño global frente a futuros eventos sísmicos.

3.9. ASPECTOS ÉTICOS

En el desarrollo de la presente investigación se respetaron los principios éticos fundamentales de la investigación científica, garantizándose el uso responsable y adecuado de la información empleada. Los datos utilizados fueron obtenidos de fuentes confiables y debidamente citadas, respetándose en todo momento la propiedad intelectual de los autores consultados. Asimismo, los resultados derivados del modelamiento estructural y del análisis económico fueron presentados de manera objetiva y transparente, sin alteración ni manipulación, asegurándose la veracidad del estudio. Del mismo modo, al tratarse de una investigación de carácter teórico–computacional, no se involucraron personas ni se generaron riesgos sociales o ambientales, manteniéndose el compromiso con la honestidad académica y la responsabilidad profesional en el ámbito de la ingeniería civil.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Esta sección describe el proceso de análisis estructural y evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la iglesia San Francisco. El estudio se basó en los lineamientos de las Normas Técnicas E.030 (Diseño Sismorresistente) y E.080 (Construcciones de Tierra), que proporcionan el marco regulatorio para una evaluación adecuada de las edificaciones de tapial. La metodología consistió en modelar la estructura de la iglesia utilizando el software ETABS, con el objetivo de lograr una representación fiel de su configuración original. Dicho modelo sirvió como herramienta fundamental para ejecutar un análisis detallado del comportamiento estructural y proyectar su desempeño ante la acción de eventos sísmicos.

LEVANTAMIENTO CON FOTOGRAMETRIA

El proceso para capturar la geometría existente de la iglesia San Francisco consistió en un levantamiento fotogramétrico ejecutado con un dron DJI Mavic Mini 4. A partir de las imágenes aéreas capturadas, se generaron un Modelo de Elevación Digital (DEM) y una ortofoto. El flujo de trabajo continuó con el procesamiento de estos productos en el software Autodesk ReCap, seguido de una fase de ajuste y depuración de la información en AutoCAD Civil 3D. Las dimensiones exactas obtenidas en esta etapa sirvieron de base fundamental para el desarrollo posterior del modelo estructural en el software de análisis ETABS.

Figura 15

Modelo en planta de la iglesia en Recap Pro.

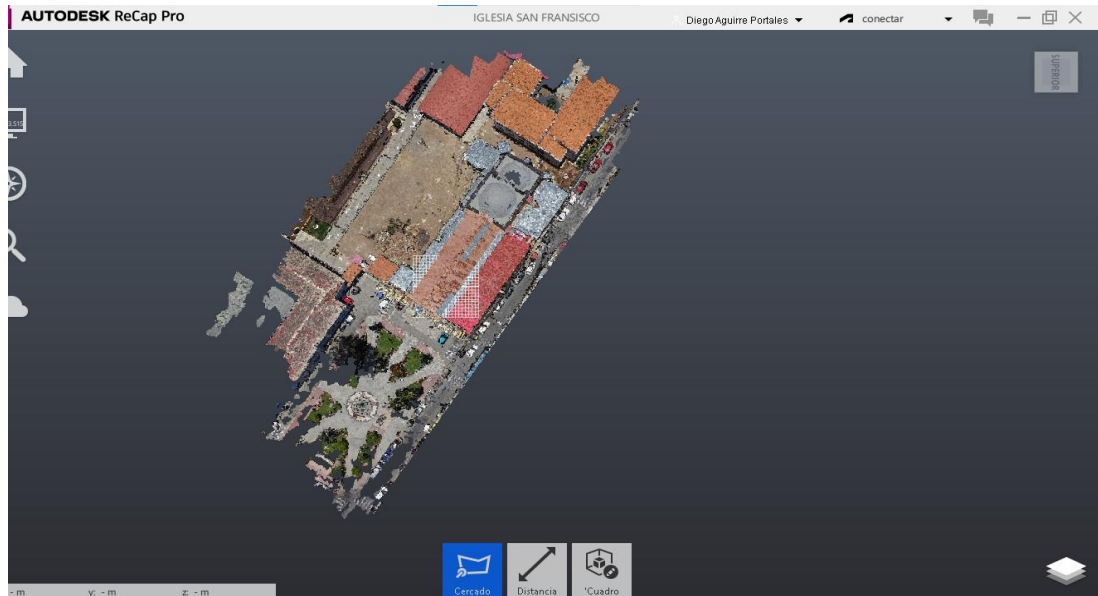
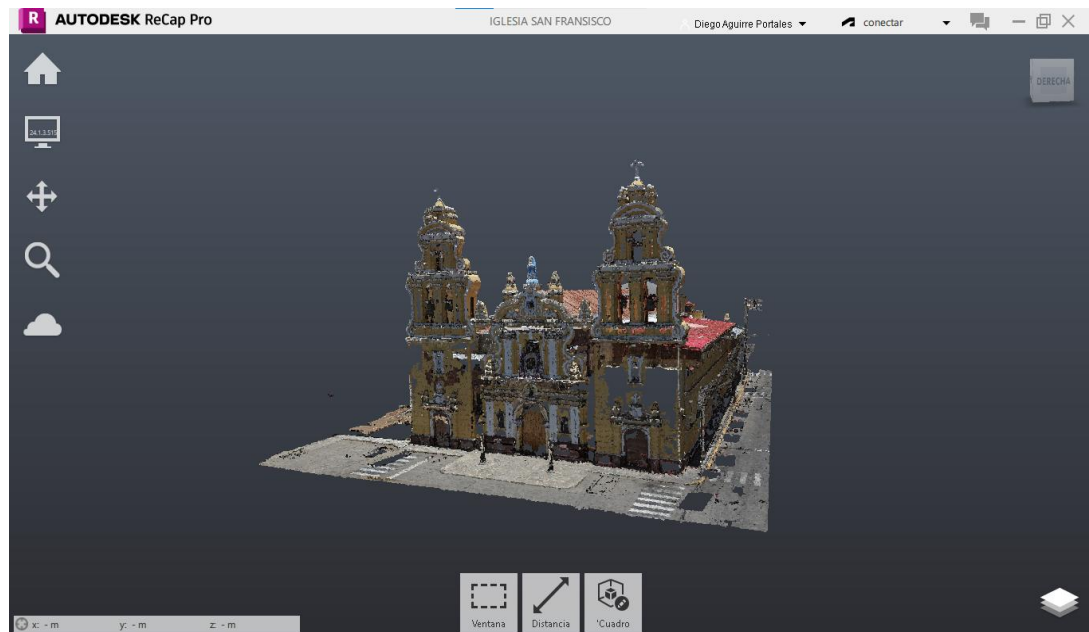


Figura 16

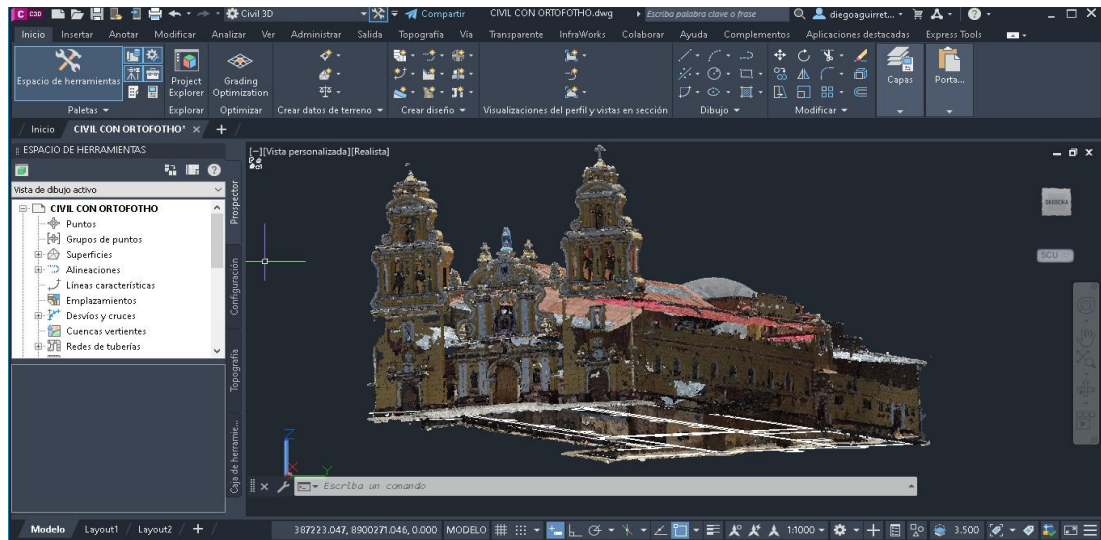
Modelo 3D de la iglesia en Recap Pro.



El modelo tridimensional aquí presentado fue generado a partir del procesamiento de la nube de puntos obtenida en el vuelo fotogramétrico. Este resultado se empleó como base geométrica de referencia para el proceso de extracción de planos y medidas precisas. Dicho recurso fue fundamental para

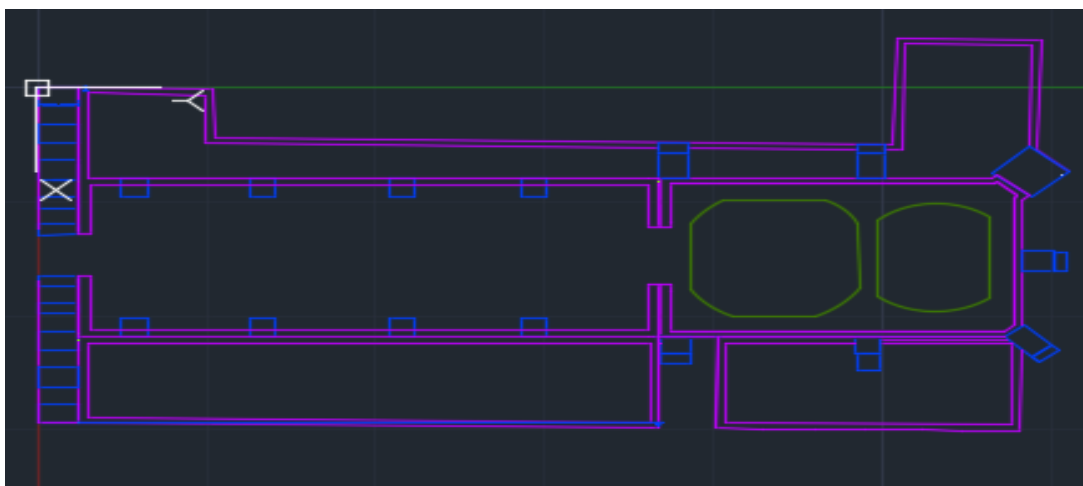
garantizar que la posterior modelación estructural en ETABS se desarrollara a partir de una representación fidedigna de la edificación real.

Figura 17
Modelo 3D de la iglesia en Civil 3D.



La generación del modelo tridimensional mostrado fue el resultado del procesamiento de la nube de puntos capturada durante el vuelo fotogramétrico. Este modelo se constituyó como la base geométrica de referencia para el proceso de extracción de planos y medidas precisas. Esta precisión inicial fue crucial para garantizar que la subsiguiente modelación estructural en ETABS se desarrollara a partir de una representación confiable de la edificación existente.

Figura 18
Plano en planta a partir del modelo 3D en Civil 3D.



Una vez definida la geometría en planta, se utilizó el software AutoCAD para establecer un sistema de ejes coordenados que replicara con exactitud la configuración espacial real de la estructura. La elección de esta plataforma se debió a que sus herramientas de dibujo facilitan y agilizan notablemente este proceso en comparación con Civil 3D. Estas mallas de referencia, generadas a partir de las dimensiones precisas del levantamiento topográfico, constituyeron el marco fundamental para garantizar el posicionamiento y alineamiento correctos de todos los elementos estructurales en el posterior modelo digital desarrollado en el software ETABS.

Figura 19

Planteamiento de los ejes de coordenadas de cada elemento estructural en AutoCAD.

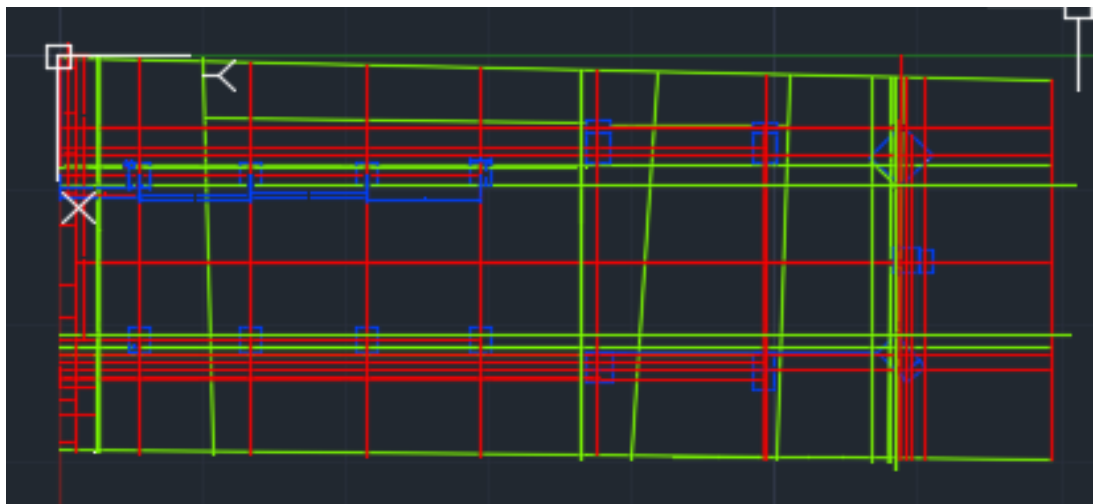


Figura 20
Configuración de grillas en ETABS.

Grid System Name:

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

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

Click to Modify/Show:

Options:
Bubble Size: mm
Grid Color:

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

X Grid Data:

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
	0.45	Yes	End
	1.7	Yes	End
	3.15	Yes	End
1	3.2	Yes	End
	4.05	Yes	End
MSV2	4.7	Yes	End

Y Grid Data:

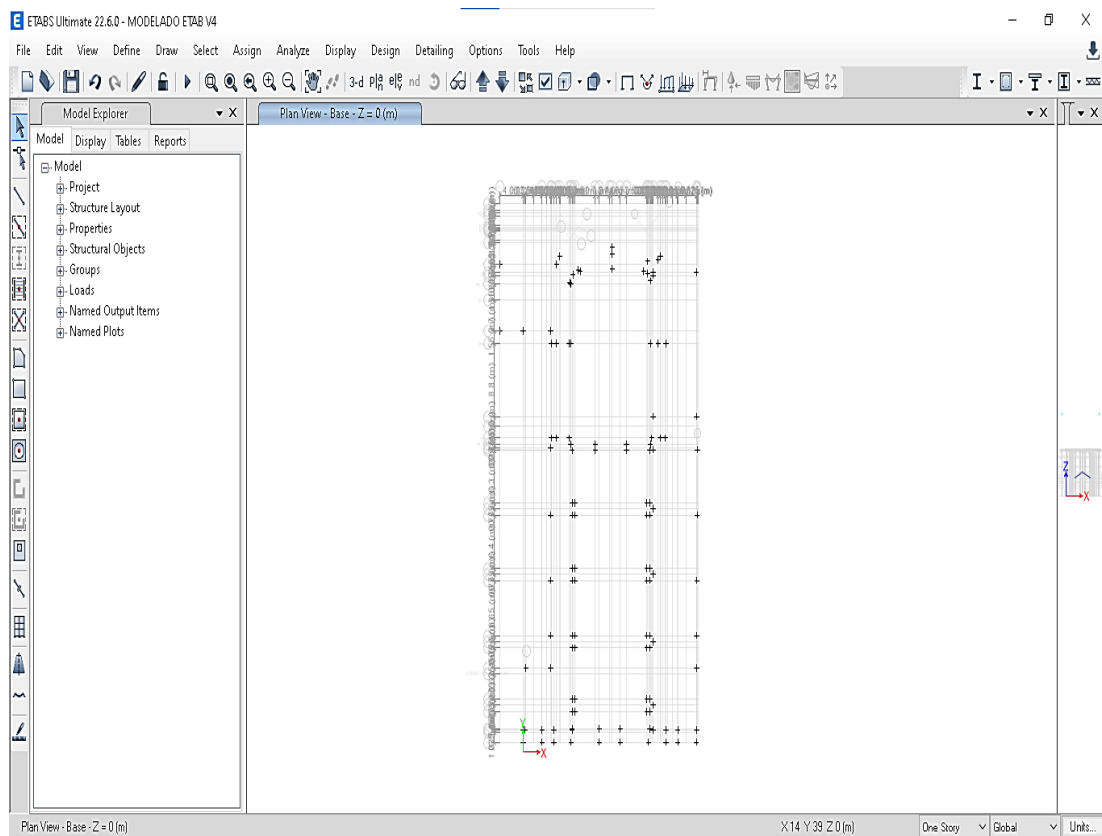
Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
A	1.225	Yes	Start
I1	2.45	Yes	Start
MIC2	2.7	Yes	Start
M1	2.8	Yes	Start
X	4.95	Yes	Start
B	5.7	Yes	Start

General Grids:

Grid ID	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Visible	Bubble Loc
D2	0.25	2.7	0.45	10.15	Yes	End
D3	6.25	65.15	8.5	62.95	Yes	End
D4	21.35	63.05	23.55	65.15	Yes	End
D5	8.15	61.8	7.95	62	Yes	End
D6	7.95	62	9.45	63.5	Yes	End
D7	9.45	63.5	9.75	63.35	Yes	End
D8	21.8	62.2	20.5	63.5	Yes	End

OK Cancel

Figura 21
Vista de las grillas en ETABS.



La configuración de ejes estructurales mostrada se implementó en el entorno de ETABS, replicando fielmente el sistema de coordenadas predefinido en AutoCAD. Esta malla de referencia, cuyas dimensiones se derivaron directamente del levantamiento fotogramétrico, constituyó el marco esencial para el modelado. La transferencia de esta información garantizó la coherencia dimensional durante la generación y el correcto posicionamiento de todos los elementos estructurales, tanto principales como secundarios, dentro del software.

Figura 22

Configuración de propiedades del tapial.

The image shows a screenshot of the 'Material Properties' dialog box in ETABS software, configured for a material named 'TAPIAL'. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name: TAPIAL
 - Material Type: Concrete
 - Directional Symmetry Type: Isotropic
 - Material Display Color: (Color swatch) 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: 0.0000099 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

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

Figura 23

Configuración de la resistencia a la compresión del tapial.

The image shows a software dialog box titled "Material Property Design Data". It is divided into two main sections. The first section, "Material Name and Type", contains three input fields: "Material Name" with the value "TAPIAL", "Material Type" with the value "Concrete, Isotropic", and "Grade" with the value "f'c 4000 psi". The second section, "Design Properties for Concrete Materials", contains a field for "Specified Concrete Compressive Strength, f'c" with the value "125400" and the unit "kgf/m²". Below this is an unchecked checkbox for "Lightweight Concrete" and an empty field for "Shear Strength Reduction Factor". At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Section	Field	Value
Material Name and Type	Material Name	TAPIAL
	Material Type	Concrete, Isotropic
	Grade	f'c 4000 psi
Design Properties for Concrete Materials	Specified Concrete Compressive Strength, f'c	125400 kgf/m²
	Lightweight Concrete	☐
	Shear Strength Reduction Factor	

Para la simulación del material tapial en el software, se definió como un concreto simple, asignándole propiedades mecánicas representativas de su comportamiento estructural real. Los parámetros configurados incluyeron una resistencia a compresión de 1.254 MPa, un módulo de elasticidad de 2,500 MPa y un peso unitario de 18.5 kN/m³. Esta caracterización permite modelar adecuadamente su respuesta frágil ante la acción combinada de cargas gravitacionales y laterales dentro del entorno de análisis estructural.

Figura 24

Configuración propiedades de la madera.

Material Property Data

General Data

Material Name: MADERA

Material Type: Other

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: 662.82 kgf/m³

Mass per Unit Volume: 67.588 kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1019716192 kgf/m²

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000006 1/C

Shear Modulus, G: 392198535.47 kgf/m²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

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

OK Cancel

Para la modelación de los elementos de madera tipo tornillo, se creó un material personalizado dentro del software, asignándole un módulo de elasticidad de 10,000 MPa y un peso unitario de 6.5 kN/m³. Esta configuración de propiedades mecánicas específicas permite representar adecuadamente el comportamiento anisotrópico característico de la madera durante los análisis estructurales de la cubierta.

Figura 25

Configuración de la sección de la armadura de madera.

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: ARMADURA DE MADERA

Material: MADERA

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: General

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.15 m

Width: 0.15 m

Modify/Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...

Currently User Specified

OK

Cancel

Los componentes estructurales de madera se modelaron como elementos *frame* asignándoles una sección circular maciza de 0.15 m de diámetro. Esta configuración geométrica fue seleccionada por su eficiencia estructural para distribuir adecuadamente los esfuerzos de flexión y compresión dentro de la armadura de techo.

Figura 26

Configuración del material para la cubierta.

Material Property Data

General Data

Material Name: CUBIERTA

Material Type: Other

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Grey Swatch] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 1800 kgf/m³

Mass per Unit Volume: 183.549 kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 101971.62 kgf/m²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000008 1/C

Shear Modulus, G: 42488.17 kgf/m²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

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

Time Dependent Properties...

OK Cancel

Para la cubierta de teja, se configuró un material con una densidad de 1800 kg/m³ y un módulo de elasticidad de 1 MPa. La definición de estos parámetros permite representar adecuadamente tanto la masa como la rigidez de este componente no estructural dentro del análisis global del modelo, capturando su influencia en el comportamiento sísmico de la edificación.

Figura 27

Configuración del elemento tipo “shell” para la cubierta.

Slab Property Data

General Data

Property Name: CUBIERTA

Slab Material: CUBIERTA

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

☒ Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

Type: Slab

Thickness: 0.02 m

OK Cancel

La sección de techo se definió como un elemento tipo losa delgada con un espesor de 0.02 m, asignándole el material de teja cuyas propiedades fueron establecidas previamente. Esta modelación simplificada permite capturar de manera eficiente la influencia gravitacional de la cubierta en el comportamiento estructural global, sin incorporar una complejidad computacional innecesaria.

Figura 28

Configuración del elemento tipo “shell” para el machihembrado para las estructuras secundarias.

Slab Property Data

General Data

Property Name: MACHIHEMRADO

Slab Material: MADERA

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Magenta Square] Change...

Property Notes: Modify/Show...

☒ Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

Type: Slab

Thickness: 0.0254 m

OK Cancel

Para el techo del primer piso de las estructuras secundarias, se adoptó un sistema machihembrado de madera, criterio conservador que busca uniformidad en la evaluación estructural. Esta decisión se basó en que este sistema representa la alternativa más adecuada y consistente para los cálculos, permitiendo estimar de manera segura las cargas y rigideces involucradas. Paralelamente, los muros portantes se configuraron como elementos *Shell Thick*, asignándoles espesores variables según los datos obtenidos en el levantamiento fotogramétrico. A continuación, se presenta un cuadro resumen con los espesores utilizados:

Tabla 1*Espesores de muros para la modelación.*

Elemento	Ubicación / Tipo	Espesor (m)
Muros		
Muro de fachada	Principal	2.45
Muro interior principal	Interno	0.7
Muro interior secundario	Interno	0.5
Muro de la bóveda	Cubierta abovedada	0.5
Contrafuertes		
Contrafuerte del salón principal	Exterior	1.7
Contrafuerte de la bóveda 1	Exterior	1.7
Contrafuerte de la bóveda 2	Exterior	3
Contrafuerte de la bóveda 3	Exterior	1.65
Contrafuerte de la bóveda 4	Exterior	1.8

Para la representación computacional de los diversos muros y contrafuertes que constituyen la estructura de la edificación, se procedió a definir secciones de muro específicas aprovechando el módulo Wall Section Properties del software ETABS. Esta definición se guio por criterios técnicos estrictamente coherentes con el comportamiento estructural real que presentan las construcciones históricas de mampostería, caracterizadas por su masa y volumen considerables. Siguiendo la misma lógica aplicada previamente a los muros de tapial, se seleccionó para su modelación la utilización de elementos finitos del tipo Shell Thick. La elección de esta categoría de elemento se fundamenta en su idoneidad para representar con mayor fidelidad el comportamiento de muros de gran espesor, ya que permite capturar con un alto grado de precisión tanto la rigidez flexional fuera del plano como la capacidad para resistir esfuerzos dentro de su propio plano, siendo ambos aspectos de una relevancia fundamental para un análisis estructural bajo condiciones sísmicas.

Cada uno de los espesores que fueron implementados en el modelo digital se asignó de manera rigurosa, basándose en un doble criterio: por un lado, las mediciones directas obtenidas en campo y, por otro lado, la configuración arquitectónica real y existente de la estructura. En lo que respecta a los muros propiamente dichos, se consideró para el muro de la fachada un espesor significativo de 2.45 metros. Para el muro interior que cumple la función de principal, se estableció un espesor de 0.70 metros, mientras que para los muros interiores de carácter secundario y para el muro asociado a la bóveda, se adoptó un espesor uniforme de 0.50 metros. De un modo análogo, los contrafuertes, dada su naturaleza esencialmente maciza y su función estructural similar a la de un muro de gran peralte, fueron modelados también como elementos Shell Thick. A estos contrafuertes se les asignaron los espesores que presentan en la realidad constructiva, correspondiendo 1.70 metros al contrafuerte del salón principal. Para el grupo de contrafuertes asociados estructuralmente a la bóveda, se emplearon y asignaron en el modelo los siguientes espesores: 1.70 metros, 1.65 metros y 1.80 metros para los que están orientados de manera horizontal y vertical en planta y 3.00 metros y 3.2 para los contrafuertes en diagonal.

En cuanto a la definición del material para estos componentes estructurales, se creó y configuró un material “TAPIAL” dentro del software.

Finalmente, no se activó la opción “Include Automatic Rigid Area Over Wall”, debido a que este tipo de edificaciones no cuenta con elementos de confinamiento rígido ni diafragmas horizontales efectivos que justifiquen la presencia de una zona rígida en la parte superior de los muros. Por ello, su omisión permite una representación más fiel del comportamiento real de la estructura.

Figura 29

Modelación de la fachada de la iglesia San Francisco.

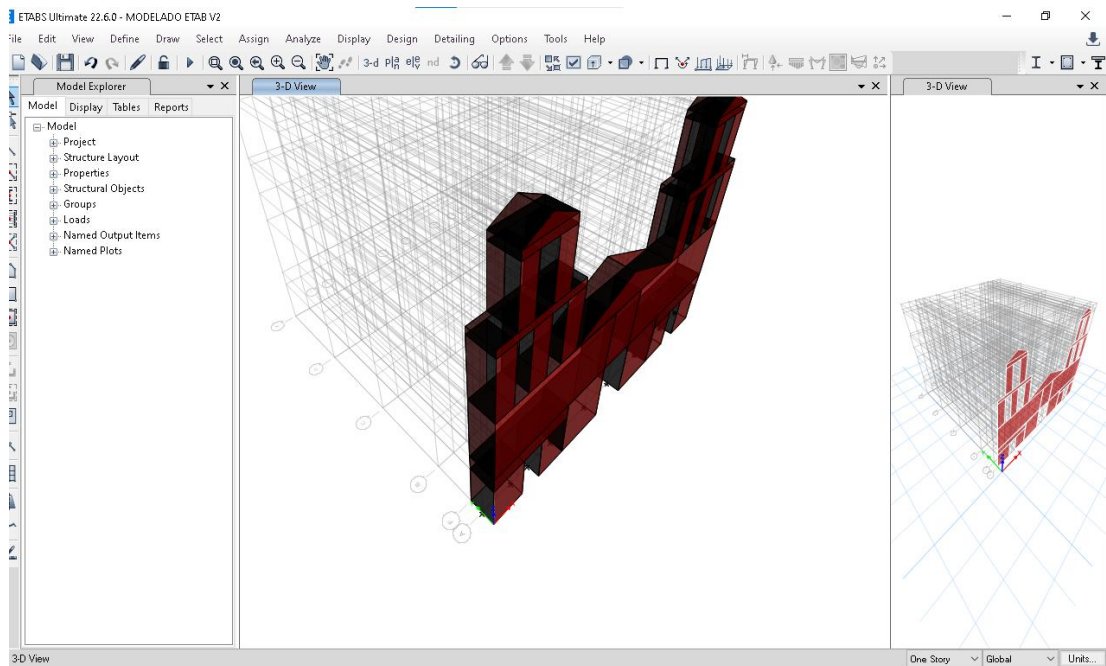
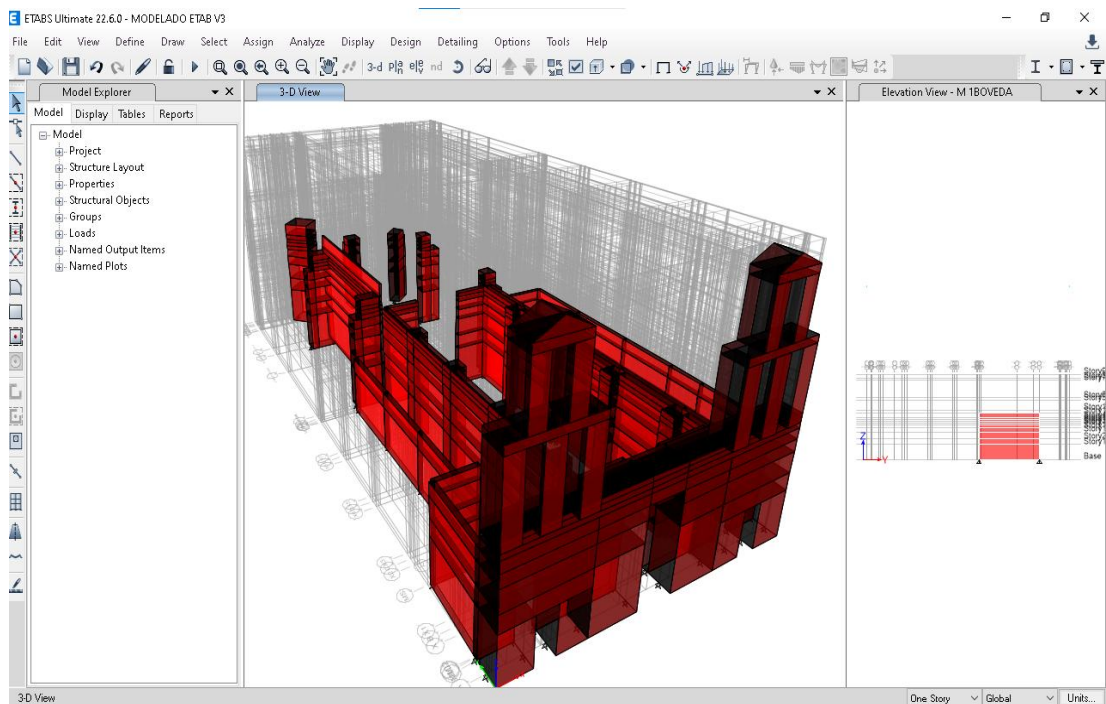


Figura 30

Modelación de los muros interiores y de la bóveda de la iglesia San Francisco.

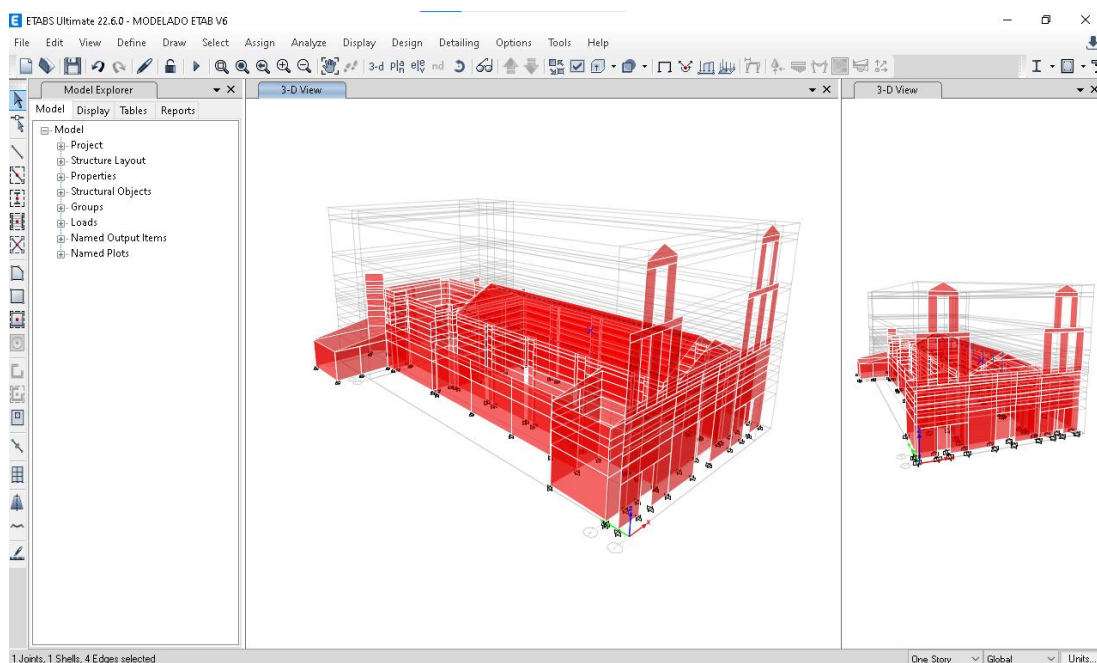


La figura muestra la disposición de los muros de tapial modelados, cuya ubicación y orientación replican fielmente la configuración real de la estructura. Para representar con precisión la geometría observada en campo, se

utilizaron grillas diagonales en la definición de ciertos muros, adaptándose a sus trazos particulares. Asimismo, se incorporaron los contrafuertes de la bóveda modelados con sus diferentes alturas reales, manteniendo así las variaciones dimensionales existentes en la construcción actual y garantizando una correspondencia exacta entre el modelo computacional y la realidad constructiva.

Figura 31

Modelación final de la iglesia San Francisco.



En el proceso de modelado, debido a que la cubierta posee una configuración a dos aguas, fue necesario ajustar la geometría de los muros para reproducir correctamente dicha forma, tal como se aprecia en la figura. Para ello se emplearon muros del tipo *Shell* (área) utilizando la herramienta “Draw Wall/Area Object”, definiendo manualmente los puntos de cada borde. En la parte superior de los muros se añadieron vértices adicionales que conforman un contorno triangular, lo que permitió representar el remate inclinado característico de este tipo de techumbres. Esta disposición garantiza una adecuada transmisión de cargas desde la cubierta hacia los muros y aporta mayor realismo estructural al modelo.

Figura 32
Vista de la armadura de madera del techo.

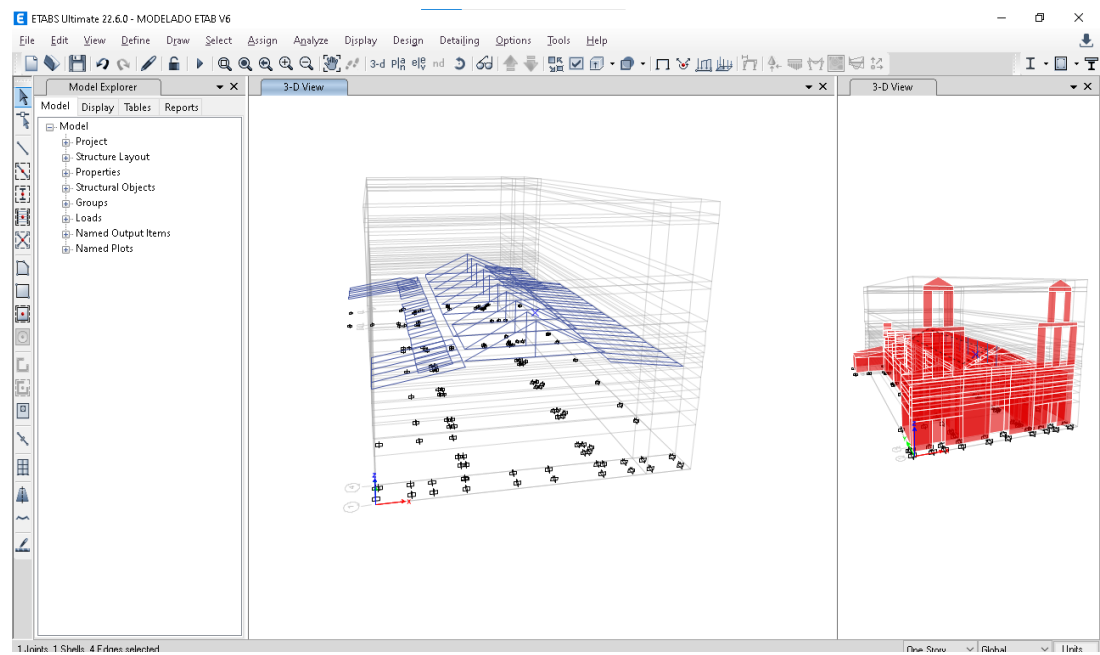
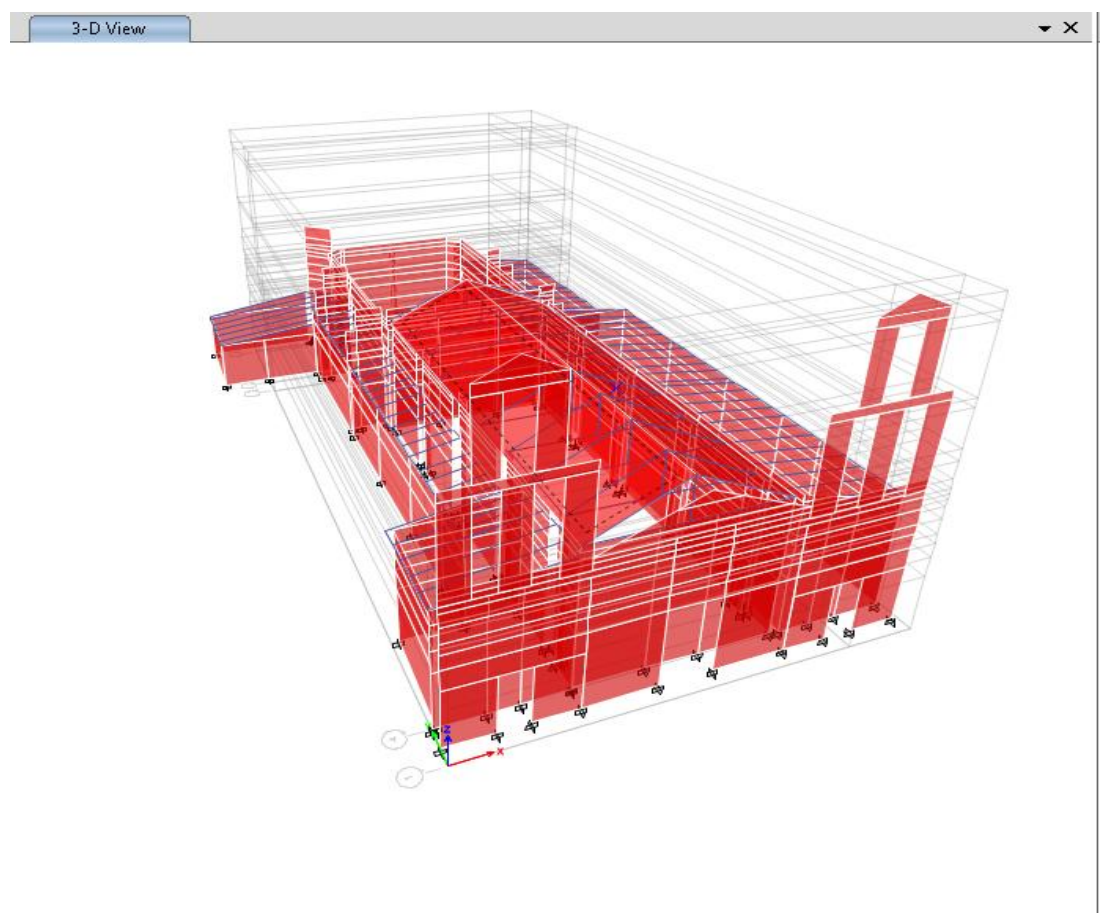


Figura 33
Vista de la armadura de madera del techo con la iglesia modelada.



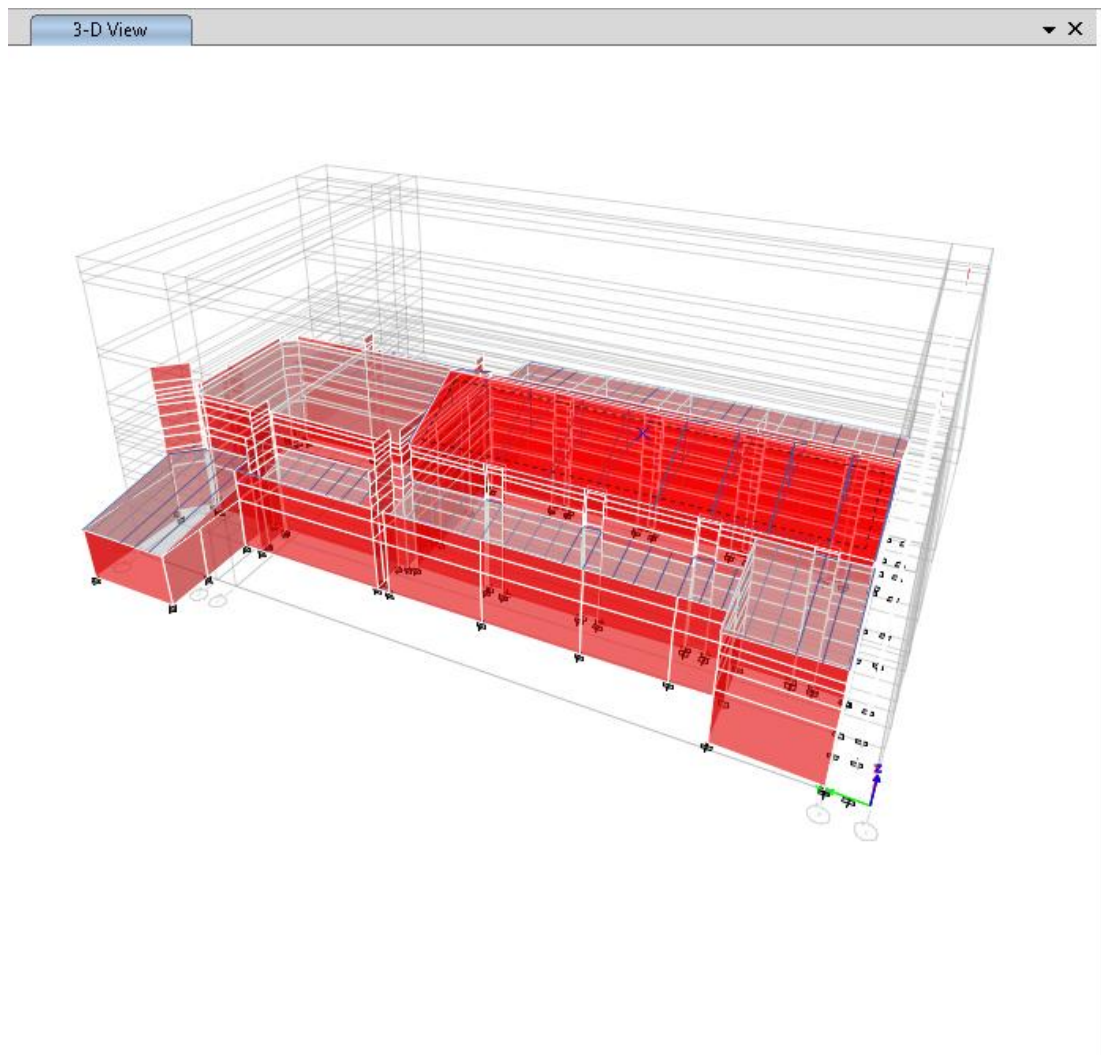
Tras establecer el material y la sección circular correspondiente a los elementos de madera, se procedió a modelar en ETABS los soportes estructurales del techo. Estos componentes fueron representados mediante elementos tipo *frame*, ubicados de acuerdo con la configuración arquitectónica de la cubierta a dos aguas y con una sola pendiente para las estructuras secundarias. Su distribución sigue criterios constructivos y estructurales propios de sistemas tradicionales, asegurando la transferencia de las cargas provenientes de la cobertura hacia los muros portantes o hacia los pórticos principales.

La sección circular proporciona una mejor distribución de los esfuerzos en todas las direcciones, y gracias a la correcta asignación de sus propiedades mecánicas y geométricas, los elementos de madera reproducen adecuadamente el comportamiento real de una estructura ligera y flexible, característica de techumbres ventiladas o de edificaciones con gran altura interior, como ocurre en edificaciones religiosas.

Este enfoque de modelado permite representar con precisión la interacción entre los soportes de madera y el sistema estructural global frente a cargas verticales y acciones laterales.

Figura 34

Modelo final con las cubiertas.

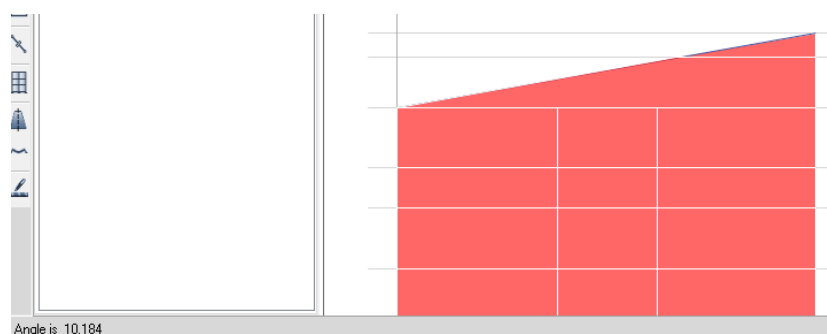


ASIGNACIÓN DE CARGAS

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 35

Medición del ángulo de la pendiente de la cobertura en ETABS.



De acuerdo con lo establecido en la Norma E.020, para techos con pendientes superiores a 3° , la carga viva se calcula como $1,0 \text{ kPa}$ (100 kgf/m^2), reduciéndose en $0,05 \text{ kPa}$ (5 kgf/m^2) por cada grado adicional por encima de dicho límite, hasta un valor mínimo de $0,50 \text{ kPa}$ (50 kgf/m^2). Considerando que la cubierta presenta un excedente de aproximadamente 7 grados por encima del límite inicial, se aplica una reducción total de $0,35 \text{ kPa}$ (35 kgf/m^2). Por lo tanto, la carga viva resultante asignada para el análisis estructural es de $0,65 \text{ kPa}$ (65 kgf/m^2), valor que se encuentra por encima del mínimo establecido por la normativa y que refleja adecuadamente las condiciones reales de la estructura en estudio.

Figura 36

Colocación de carga de techo.

Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name: CARGA DE TECHO

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
Live	65

Add

Delete

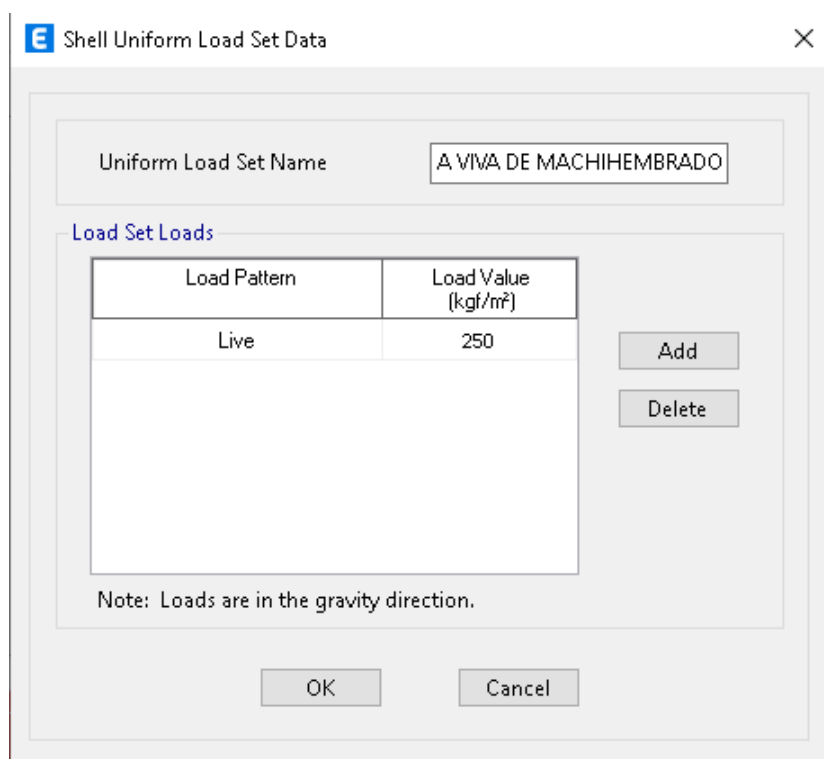
Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel

Respecto a las cargas de gravedad, el modelo considera automáticamente el peso propio de todos los elementos estructurales a través de las propiedades de densidad asignadas a cada material durante su configuración inicial. Adicionalmente, para las áreas correspondientes al segundo nivel (destinadas específicamente a actividades de catequesis y funciones académicas similares) se ha aplicado una carga viva uniforme de 250 kgf/m². Este valor se ajusta a lo estipulado en la normativa peruana para ambientes educativos como aulas, reflejando adecuadamente el uso previsto en estos espacios. La combinación de estas cargas (peso propio y sobrecarga de uso) garantiza que el análisis estructural capture de manera integral las condiciones reales de servicio a las que estará sometida la edificación.

Figura 37

Colocación de carga viva de machihembrado.



Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name: A VIVA DE MACHIHEMBRADO

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
Live	250

Add

Delete

Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel

Procedemos a asignar las cargas a toda la estructura.

Figura 38

Vista frontal de colocación de cargas al modelo.

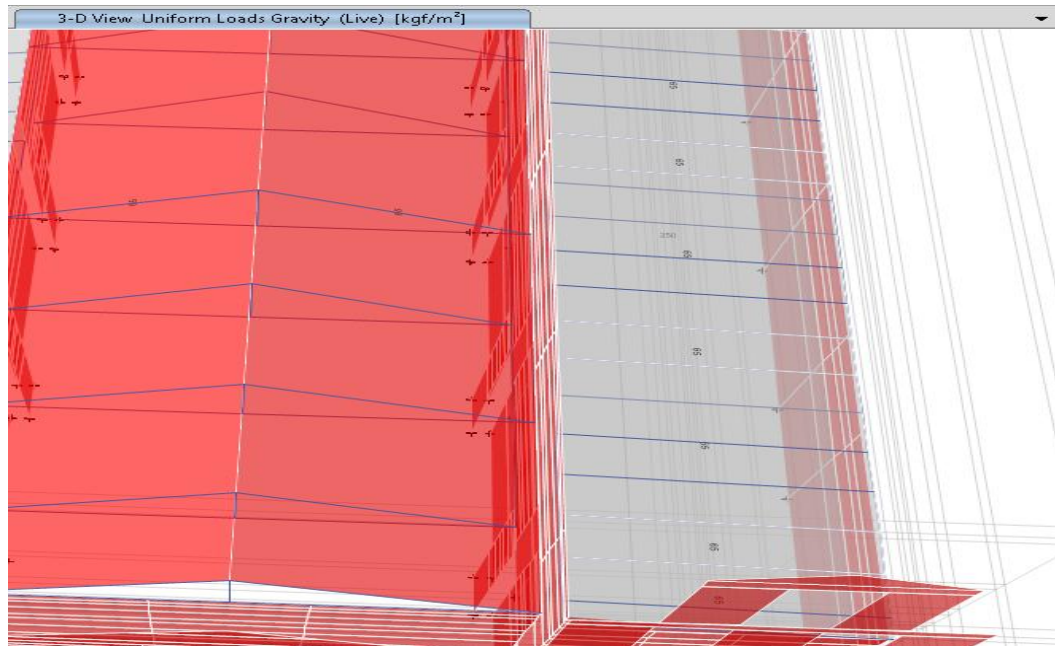
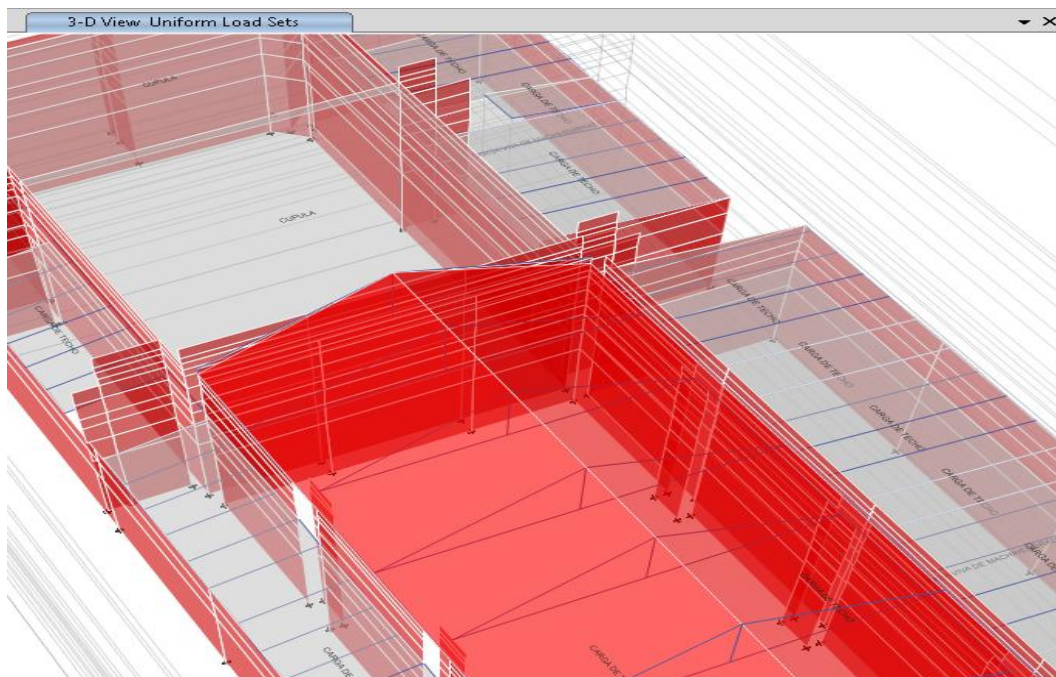
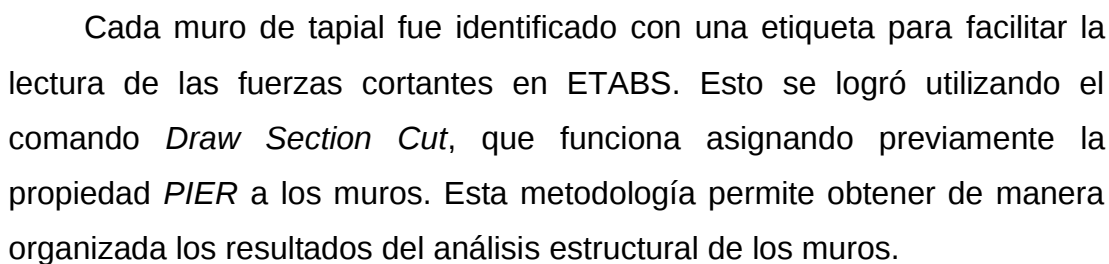


Figura 39

Vista trasera de colocación de cargas al modelo.



Vista en planta de colocación de etiquetas al modelo.

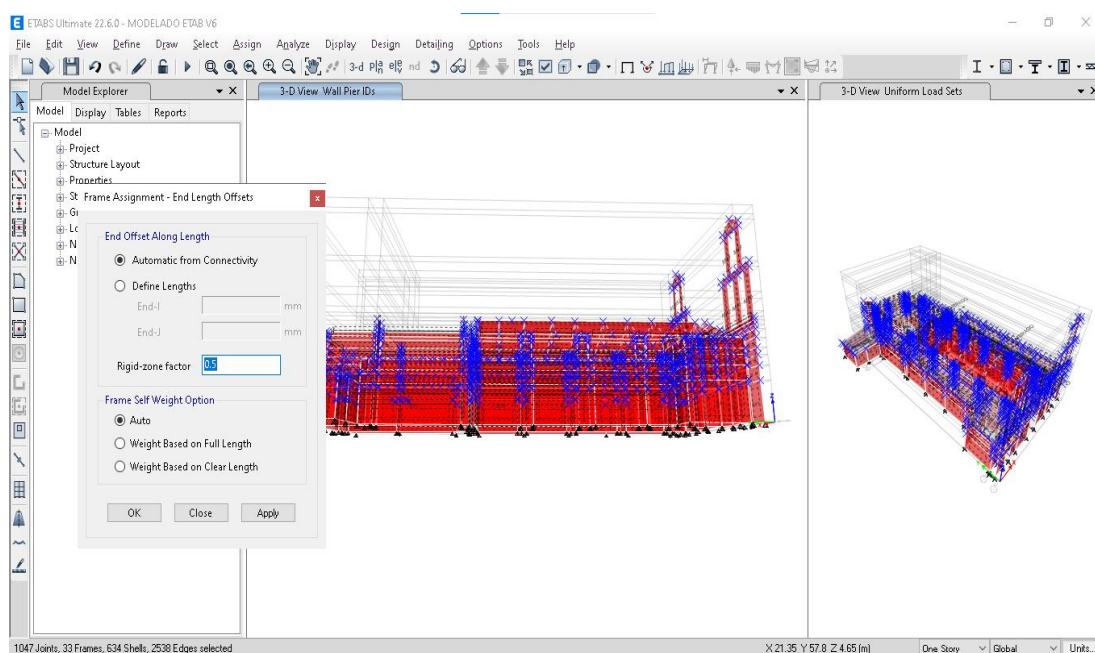


La función *End Length Offsets* en ETABS resulta esencial para representar con precisión la geometría estructural, considerando tanto la rigidez como la continuidad física existente entre los diferentes elementos, como vigas, columnas y muros. Esta herramienta permite superar la limitación de las uniones simples "punto a punto", ofreciendo en su lugar una simulación realista de las conexiones constructivas que se materializan en obra, al incorporar los efectos de penetración y traslape entre elementos.

En el contexto específico de las estructuras de tapial, la correcta definición de estos desplazamientos en los extremos adquiere especial relevancia, ya que permite modelar de manera fidedigna el comportamiento de los nodos rígidos característicos de este sistema constructivo. Esta configuración incide directamente y de manera significativa en la distribución de momentos flectores y fuerzas cortantes que se obtienen durante el análisis sísmico, garantizando así que los resultados reflejen de manera más exacta el comportamiento estructural esperado bajo condiciones de carga lateral.

Figura 41

Ajuste “END LENGTH OFFSETS”



Interpretación:

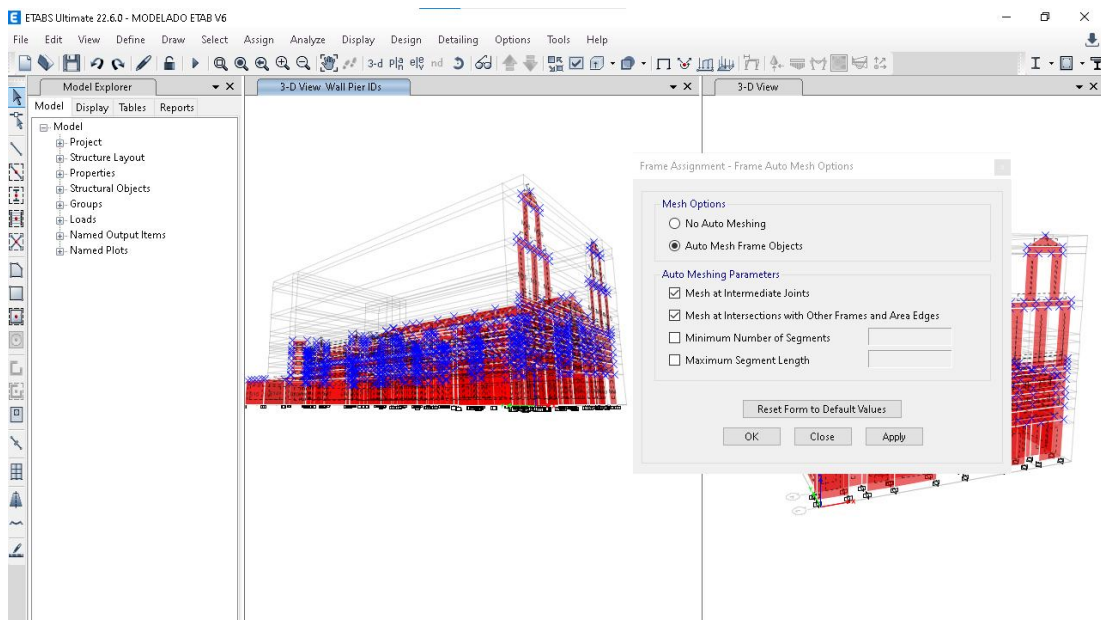
La herramienta *Frame Auto Mesh* constituye una función computacional esencial que realiza la subdivisión automática de elementos estructurales de gran longitud en segmentos más pequeños y manejables. Este proceso de discretización facilita una interacción más precisa y realista entre los diferentes componentes del sistema estructural, incluyendo marcos, losas y demás elementos vinculados. La implementación de este mallado refinado incrementa significativamente la precisión del análisis estructural, ya que permite capturar con mayor fidelidad las variaciones en la distribución de esfuerzos y los patrones de deformación a lo largo de los elementos,

particularmente en zonas críticas donde existen transiciones geométricas o cambios bruscos de rigidez.

En el contexto específico de edificaciones monumentales como las iglesias, caracterizadas por la presencia de grandes luces estructurales y sistemas de muros portantes de considerable masa, la activación del *auto mesh* en los elementos estructurales principales se convierte en una consideración metodológica fundamental. Esta aproximación permite reflejar de manera más exacta el comportamiento estructural complejo que emerge bajo solicitaciones sísmicas, donde la interacción entre elementos estructurales de diferentes características y la concentración de esfuerzos en puntos específicos pueden determinar el desempeño global de la estructura. La herramienta asegura así que el modelo computacional responda de manera análoga a lo esperado en el comportamiento real de la edificación histórica.

Figura 42

Ajuste “FRAME AUTO MESH”



Interpretación:

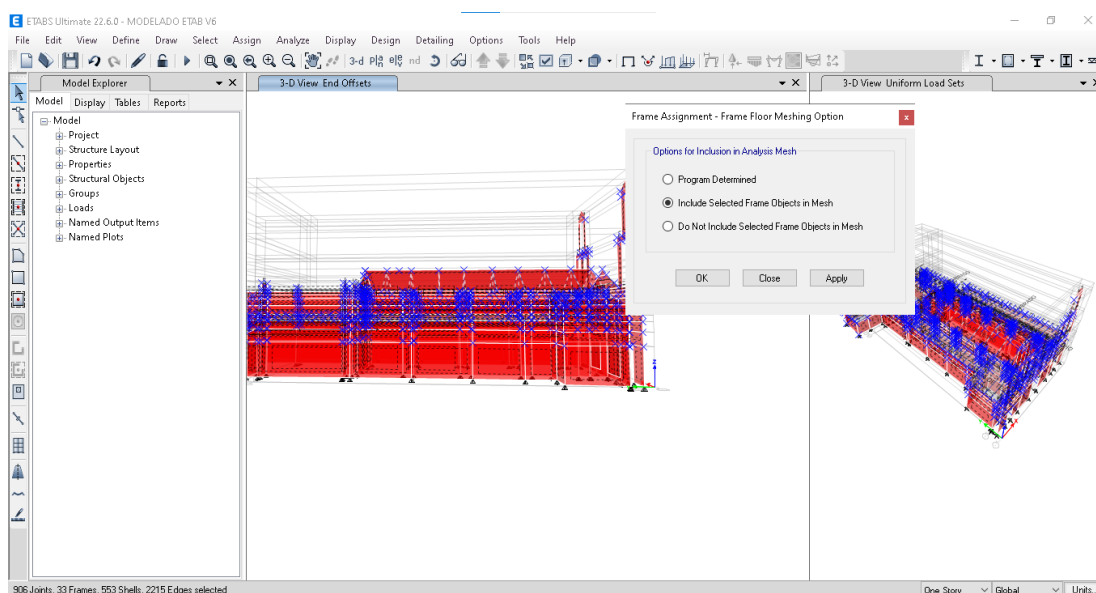
El Frame Floor Meshing consiste en el proceso de mallado integrado que se establece entre los elementos horizontales de piso (como losas y diafragmas) y los marcos estructurales compuestos por vigas y columnas.

Esta interacción resulta fundamental para simular de manera adecuada la distribución de cargas dentro del sistema estructural, así como la transferencia de esfuerzos entre los distintos componentes.

En el análisis de estructuras históricas, como las iglesias, donde es común encontrar losas de geometría irregular y sistemas de cubierta con configuraciones particulares, la correcta aplicación de esta técnica de mallado adquiere especial relevancia. Garantiza que tanto las cargas gravitacionales como las fuerzas sísmicas se transmitan de manera continua y realista hacia los elementos portantes, como muros y columnas. Esta precisión en la modelación contribuye directamente a mejorar la confiabilidad del análisis de vulnerabilidad sísmica, permitiendo una evaluación más representativa del comportamiento estructural bajo condiciones de sismo.

Figura 43

Ajuste “FRAME FLOORMESHING”



Interpretación:

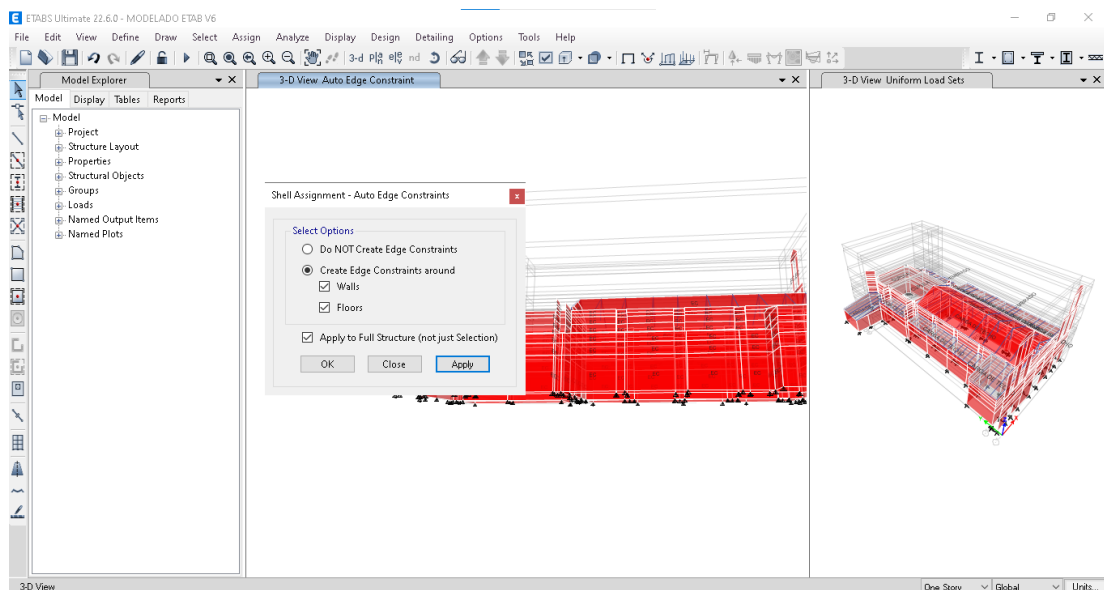
La función Auto Edge Constraint constituye una herramienta computacional esencial para garantizar la adecuada interacción estructural entre elementos como vigas, columnas y losas, asegurando su trabajo conjunto y continuo incluso ante discrepancias geométricas menores en la ubicación de sus nodos o bordes de conexión. Esta capacidad de restricción

automática resulta particularmente valiosa en la modelación de estructuras históricas como las iglesias, donde es frecuente encontrar irregularidades en el trazado de los muros de tapial o complejas configuraciones en techos artesonados.

La implementación de esta herramienta permite vincular automáticamente aquellos nodos que, a pesar de su proximidad, no coinciden exactamente en el espacio, eliminando así desconexiones involuntarias que podrían comprometer la integridad del modelo. La activación de esta opción contribuye significativamente a mejorar la estabilidad numérica del sistema, previniendo errores de análisis asociados con elementos "sueltos" o mal conectados, y garantizando una transferencia eficiente de cargas a través de todo el sistema estructural. Esta precisión en la modelación de las conexiones es fundamental para obtener resultados confiables en la evaluación del comportamiento sísmico de este tipo de edificaciones patrimoniales, donde la interacción completa entre todos los elementos estructurales determina en gran medida su respuesta global ante acciones sísmicas.

Figura 44

Ajuste "AUTO EDGE CONSTRAINT"



Interpretación:

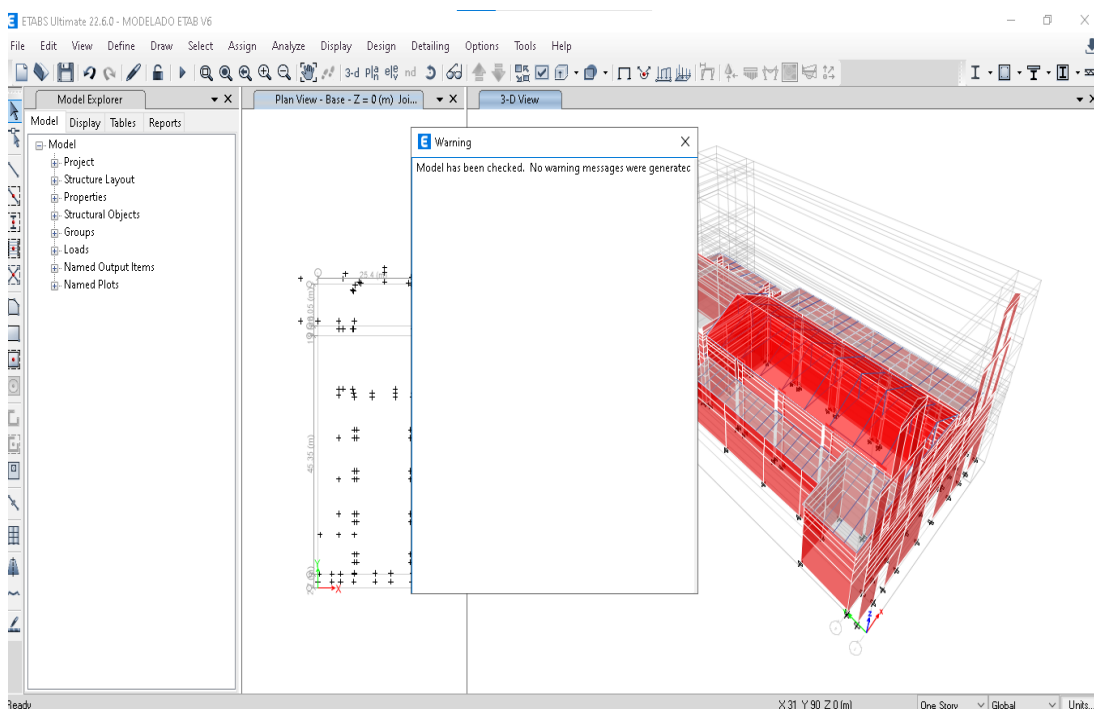
El comando "Check Model" de ETABS v22 ejecuta una revisión automatizada de la integridad y coherencia general del modelo estructural, detectando posibles fallas que podrían comprometer la exactitud de los análisis. Esta utilidad examina diversos aspectos fundamentales, entre ellos: la correcta conexión entre elementos (verificando nodos compartidos y vinculaciones apropiadas), la asignación completa de propiedades de materiales y secciones, la definición adecuada de restricciones y apoyos, la uniformidad en el mallado de elementos finitos (evitando distorsiones excesivas o elementos aislados), así como la validación de las cargas y patrones de análisis aplicados.

Una vez ejecutado el comando en el modelo de la iglesia de tapial, el sistema no identificó errores o inconsistencias de consideración, lo que confirma que la geometría, las propiedades del material (ajustadas al comportamiento mecánico del tapial), las condiciones de apoyo, las conexiones estructurales y la definición de cargas satisfacen los requisitos mínimos necesarios para asegurar la confiabilidad del modelo.

Este resultado valida el modelo y permite avanzar con seguridad a las fases de análisis dinámico no lineal y evaluación de vulnerabilidad sísmica.

Figura 45

Verificación si el modelado tiene algún problema



Interpretación:

El modelo estructural ha sido verificado sin detectar inconsistencias, lo que confirma su correcta configuración y validez para el análisis.

ANÁLISIS DINÁMICO

De acuerdo con los criterios de clasificación sísmica adoptados para este estudio, se definieron tres escenarios sísmicos diferenciados por intensidad: leve, moderado y fuerte. La configuración de cada escenario consideró tanto la magnitud del movimiento sísmico esperado como las características geotécnicas representativas de diversas regiones del Perú, con el objetivo de evaluar de manera comparativa el comportamiento estructural bajo distintos niveles de amenaza sísmica.

El escenario de sismo leve se conceptualizó como representativo de la zona amazónica, correspondiente a una Zona Sísmica 1 donde la actividad tectónica es limitada. Para este caso se adoptó una clasificación de suelo Tipo S3, característico de suelos blandos y compresibles predominantes en la selva peruana. La intensidad sísmica asignada para este escenario se sitúa en el

rango de II a III en la escala de percepción, representativa de movimientos sísmicos de carácter ligero.

El escenario de sismo moderado fue configurado para simular condiciones típicas de la región central del Perú, clasificada como Zona Sísmica 2 con sismicidad moderada. En este caso se estableció un suelo Tipo S2, correspondiente a suelos intermedios o semirrígidos. La intensidad sísmica asociada se ubica entre V y VI en la escala de percepción, representativa de sismos claramente perceptibles que pueden ocasionar daños menores en estructuras vulnerables.

Para el escenario de sismo fuerte se adoptó un caso crítico, considerando condiciones análogas a zonas costeras con alta amplificación sísmica debido a la presencia de materiales granulares sueltos. En este escenario se seleccionó principalmente un suelo Tipo S4, representativo de suelos muy blandos, incorporando adicionalmente la alternativa de un suelo Tipo S2 para evaluar el rango más desfavorable de condiciones. La intensidad estimada para este escenario se sitúa entre VI y VII, correspondiente a movimientos fuertes con capacidad de generar daños estructurales significativos.

La aplicación de estos tres escenarios sísmicos se realizó mediante análisis dinámico por espectro de respuesta en direcciones X e Y, permitiendo la comparación sistemática de derivas, desplazamientos y niveles de vulnerabilidad estructural para cada nivel de demanda sísmica. Aunque el comportamiento del material de referencia (específicamente el concreto) está sujeto a múltiples factores de influencia, su empleo como base comparativa establece un parámetro uniforme para la evaluación estructural entre los diferentes escenarios planteados.

PARÁMETROS DE ZONA

Tabla 2

Parámetros para un sismo de intensidad 3.

Z	Factor de zona	0.1	Zona 1
U	Factor de uso o importancia	1.3	B

S	Factor de amplificación del suelo	2	Suelo blando (S3)
Tp	Periodo que define la plataforma del factor C (s)	1	Tp en función de (S3)
TI	Periodo que define la plataforma del factor C (s)	1.6	TI en función de (S3)
hn	Altura total del edificio	25.65	Metros
T-x	Periodo natural en la dirección X (s)	0.7329	$T_x=(h/C_t)$
T-y	Periodo natural en la dirección Y (s)	0.7329	$T_x=(h/C_t)$

Tabla 3

Parámetros para un sismo de intensidad 5.

Z	Factor de zona	0.25	Zona 2
U	Factor de uso o importancia	1.3	B
S	Factor de amplificación del suelo	1.2	Suelo intermedio (S2)
Tp	Periodo que define la plataforma del factor C (s)	0.6	Tp en función de (S2)
TI	Periodo que define la plataforma del factor C (s)	2	TI en función de (S2)
hn	Altura total del edificio	25.65	Metros
T-x	Periodo natural en la dirección X (s)	0.7328571	$T_x=(h/C_t)$
T-y	Periodo natural en la dirección Y (s)	0.7328571	$T_x=(h/C_t)$

Tabla 4

Parámetros para un sismo de intensidad 7.

Z	Factor de zona	0.35	Zona 3
U	Factor de uso o importancia	1.3	B
S	Factor de amplificación del suelo	1.2	Suelo blando (S3)
Tp	Periodo que define la plataforma del factor C (s)	1	Tp en función de (S3)
TI	Periodo que define la plataforma del factor C (s)	1.6	TI en función de (S3)
hn	Altura total del edificio	25.65	Metros
T-x	Periodo natural en la dirección X (s)	0.7328571	$T_x=(h/C_t)$
T-y	Periodo natural en la dirección Y (s)	0.7328571	$T_x=(h/C_t)$

PARÁMETROS CRÍTICOS INCORPORADOS:

Los criterios de diseño sísmico se fundamentaron en los siguientes aspectos normativos y técnicos:

- **Factores normativos:** Se establecieron tres combinaciones zona-suelo representativas de distintos niveles de riesgo sísmico: Zona 1/Suelo 3 para riesgo bajo, Zona 2/Suelo 2 para riesgo moderado, y Zona 4/Suelo 3 para riesgo alto, de acuerdo con la clasificación establecida en la normativa peruana.
- **Irregularidad estructural:** El análisis incorpora las discontinuidades geométricas y las irregularidades en la distribución de masa características de las iglesias históricas de tapial, las cuales influyen significativamente en su respuesta sísmica.
- **Factor de reducción por ductilidad (R):** Se adoptó un valor conservador apropiado para estructuras de tierra no reforzada, siguiendo las recomendaciones específicas para edificaciones patrimoniales contenidas en la normativa especializada.
- **Puntos de control del espectro:** Se definieron aceleraciones espectrales específicas en períodos estructurales clave, incluyendo 180%g para $T=6.0$ segundos y 240%g para $T=8.0$ segundos, configurando así la forma espectral requerida para el análisis.

La curva espectral resultante cumple integralmente con los requisitos establecidos en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente y constituye la base técnica para la realización del análisis modal espectral, procedimiento fundamental en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de esta edificación patrimonial.

Figura 46

Creación del espectro para un sismo leve de grado 3.

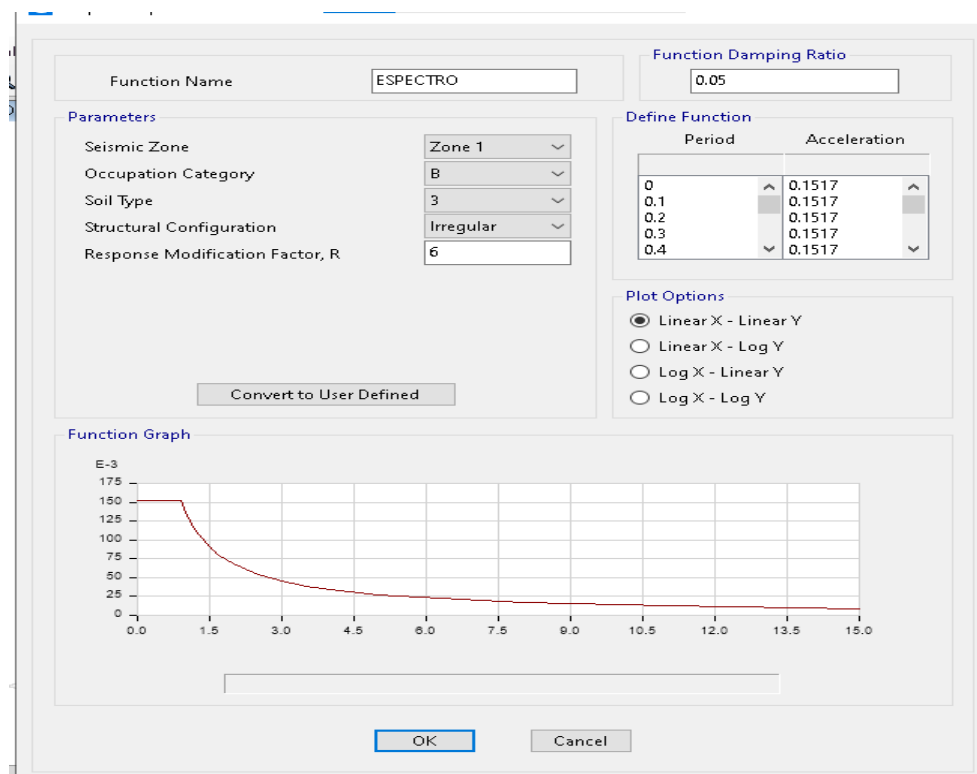


Figura 47

Creación del espectro para un sismo moderado de grado 5.

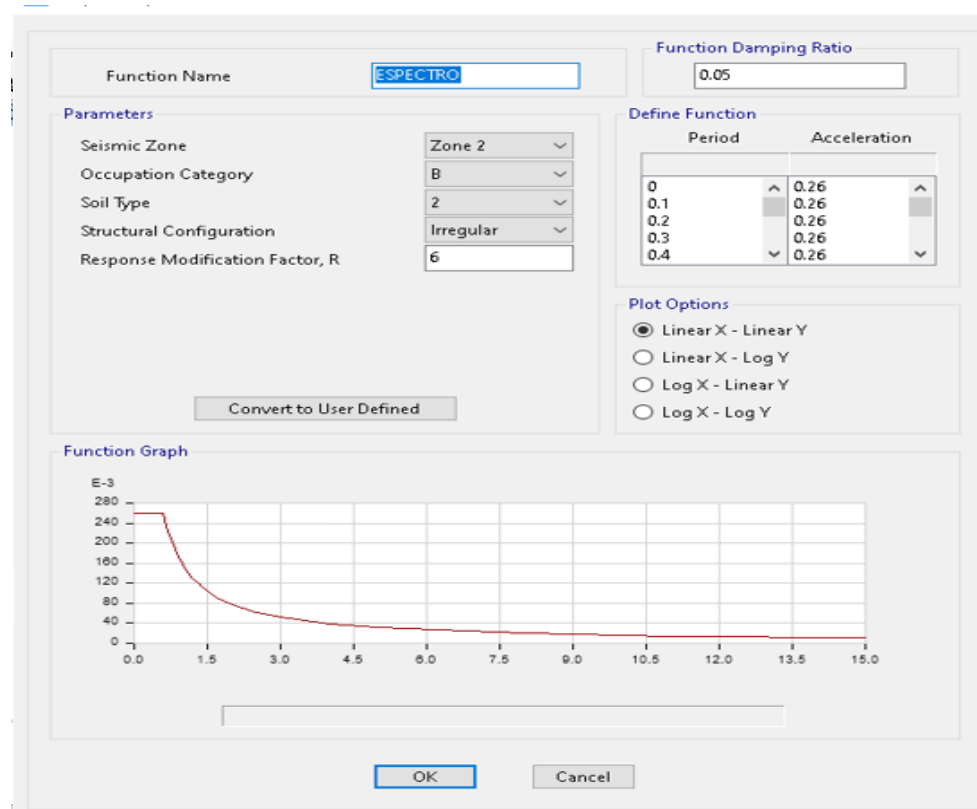


Figura 48

Creación del espectro para un sismo fuerte de grado 7.

Function Name: ESPECTRO

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters:

- Seismic Zone: Zone 3
- Occupation Category: B
- Soil Type: 3
- Structural Configuration: Irregular
- Response Modification Factor, R: 6

Convert to User Defined

Define Function:

Period	Acceleration
0	0.4044
0.1	0.4044
0.2	0.4044
0.3	0.4044
0.4	0.4044

Plot Options:

- ☒ Linear X - Linear Y
- ☐ Linear X - Log Y
- ☐ Log X - Linear Y
- ☐ Log X - Log Y

Function Graph:

Y-axis: E-3 (0 to 420)

X-axis: Period (0.0 to 15.0)

OK Cancel

Figura 49

Creación del sismo dinámico en la dirección X.

Load Case Data

General:

- Load Case Name: SISMO DINAMICO X
- Load Case Type: Response Spectrum
- Mass Source: Previous (MSK1)
- Analysis Model: Default

Design... Notes...

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO	9.8067

Add Delete Advanced

Other Parameters:

- Modal Load Case: Modal
- 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 for All Diaphragms

Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Figura 50

Creación del sismo dinámico en la dirección Y.

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

- General**
 - Load Case Name: SISMO DINAMICO Y
 - Load Case Type: Response Spectrum
 - Mass Source: Previous (MsSic1)
 - Analysis Model: Default
- Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO	9.8067
- Other Parameters**
 - Modal Load Case: Modal
 - Modal Combination Method: CQC
 - ☐ Include Rigid Response
 - Rigid Frequency, f1: [empty]
 - Rigid Frequency, f2: [empty]
 - Periodic + Rigid Type: [empty]
 - Earthquake Duration, td: [empty]
 - Directional Combination Type: Absolute
 - Absolute Directional Combination Scale Factor: 1
 - Modal Damping: Constant at 0.05
 - Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

Se configuraron en ETABS los casos de carga "SISMO DINAMICO X" y "SISMO DINAMICO Y" para realizar el análisis sísmico mediante el método espectral, empleando para ello el espectro de respuesta elástica establecido en la Norma Peruana E.030.

El análisis modal espectral aplicado incorpora las siguientes especificaciones técnicas: asignación direccional explícita que permite evaluar separadamente las acciones sísmicas en cada dirección principal de la estructura; combinación modal CQC (Complete Quadratic Combination) para superponer los efectos de los distintos modos de vibración, considerando las correlaciones entre modos de frecuencias cercanas; combinación direccional SRSS (Square Root of Sum of Squares) para integrar las respuestas en direcciones ortogonales; y la inclusión de un número suficiente de modos de vibración que garantiza una participación de masa superior al 90%.

La exclusión de excentricidad accidental (0%) refuerza el carácter conservador del análisis, particularmente apropiado para estructuras históricas de tapial que presentan irregularidades inherentes. Mediante estos

casos de carga se obtienen los esfuerzos y desplazamientos máximos representativos, datos fundamentales para la posterior evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la estructura.

RESULTADOS

En esta sección se exponen los resultados de las derivas laterales obtenidas para la estructura de la iglesia San Francisco, construcción histórica conformada por muros de tapial y cubierta. Estos valores surgen del análisis dinámico lineal ejecutado sobre el modelo estructural.

Para el control de derivas se procedió a realizar mediciones en tres estructuras específicas: la fachada principal, el salón principal y la bóveda. En cada una de estas se seleccionaron los puntos donde se presentaban los mayores desplazamientos obtenidos en el análisis estructural, con el objetivo de evaluar su desempeño frente a tres niveles de demanda sísmica: sismo leve, sismo moderado y sismo severo. El procedimiento consistió en determinar la deriva a partir de los desplazamientos relativos entre niveles, eliminar la reducción correspondiente al factor R utilizado en el análisis —en este caso se empleó un valor de 6 multiplicado por 0.75— y finalmente dividir esta diferencia entre la altura del entrepiso correspondiente. El resultado obtenido se comparó con un límite de deriva de 0.007, que es el valor permitido para estructuras de concreto armado. Este límite se adopta únicamente como referencia, ya que la normativa no establece un control específico de derivas para edificaciones construidas en tapial, razón por la cual se utiliza este valor como un parámetro comparativo general.

DERIVAS DEL MURO DE LA FACHADA

DESPLAZAMIENTOS EN X

Tabla 5

Parámetros para un sismo leve en X en muros de la fachada.

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO LEVE							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado

17	1.2	0.019255	0.00166	0.007488	0.00624	0.007	SI CUMPLE
16	0.7	0.017591	0.00098	0.00441	0.00630	0.007	SI CUMPLE
15	5.15	0.016611	0.00756	0.0340335	0.00661	0.007	SI CUMPLE
14	0.7	0.009048	0.00086	0.003888	0.00555	0.007	SI CUMPLE
13	3	0.008184	0.00736	0.0330975	0.01103	0.007	NO CUMPLE
9	3.4	0.000829	0.00024	0.0010665	0.00031	0.007	SI CUMPLE
8	0.5	0.000592	0.00031	0.001413	0.00283	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.000278	0.00016	0.0006975	0.00140	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.000123	0.00003	0.0001305	0.00013	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.000094	-0.00003	-0.0001125	-0.00009	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.000119	0.00003	0.0001125	0.00014	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.000094	0.00001	0.0000315	0.00003	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.000087	0.00002	0.0000675	0.00004	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000072	0.00007	0.000324	0.00007	0.007	SI CUMPLE

Tabla 6

Parámetros para un sismo moderada en X en muros de la fachada

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO MODERADO							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
17	1.2	0.033008	0.00285	0.01283400	0.01070	0.007	NO CUMPLE
16	0.7	0.030156	0.00168	0.00756000	0.01080	0.007	NO CUMPLE
15	5.15	0.028476	0.01296	0.05833800	0.01133	0.007	NO CUMPLE
14	0.7	0.015512	0.00148	0.00666900	0.00953	0.007	NO CUMPLE
13	3	0.01403	0.01261	0.05674050	0.01891	0.007	NO CUMPLE
9	3.4	0.001421	0.00041	0.00182700	0.00054	0.007	SI CUMPLE
8	0.5	0.001015	0.00054	0.00242550	0.00485	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.000476	0.00027	0.00119700	0.00239	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.00021	0.00005	0.00022050	0.00022	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.000161	- 0.00004	-0.00019350	- 0.00016	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.000204	0.00004	0.00019350	0.00024	0.007	SI CUMPLE

3	1.2	0.000161	0.00001	0.00005400	0.00005	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.000149	0.00003	0.00011250	0.00007	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000124	0.00012	0.00055800	0.00012	0.007	SI CUMPLE

Tabla 7

Parámetros para un sismo fuerte en X en muros de la fachada

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO FUERTE							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
17	1.2	0.051345	0.00444	0.01995750	0.01663	0.007	NO CUMPLE
16	0.7	0.04691	0.00261	0.01176300	0.01680	0.007	NO CUMPLE
15	5.15	0.044296	0.02017	0.09075150	0.01762	0.007	NO CUMPLE
14	0.7	0.024129	0.00231	0.01037250	0.01482	0.007	NO CUMPLE
13	3	0.021824	0.01961	0.08825850	0.02942	0.007	NO CUMPLE
9	3.4	0.002211	0.00063	0.00283950	0.00084	0.007	SI CUMPLE
8	0.5	0.00158	0.00084	0.00377550	0.00755	0.007	NO CUMPLE
7	0.5	0.000741	0.00041	0.00186300	0.00373	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.000327	0.00008	0.00034650	0.00035	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.00025	- 0.00007	-0.00030150	- 0.00025	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.000317	0.00007	0.00029700	0.00037	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.000251	0.00002	0.00009000	0.00007	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.000231	0.00004	0.00017100	0.00010	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000193	0.00019	0.00086850	0.00019	0.007	SI CUMPLE

DESPLAZAMIENTOS EN Y

Tabla 8

Parámetros para un sismo leve en Y en muros de la fachada

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO LEVE							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
17	1.2	0.06519	0.00454	0.02043	0.01703	0.007	NO CUMPLE
16	0.7	0.06065	0.00270	0.012159	0.01737	0.007	NO CUMPLE

15	5.15	0.057948	0.01897	0.0853785	0.01658	0.007	NO CUMPLE
14	0.7	0.038975	0.00238	0.0107235	0.01532	0.007	NO CUMPLE
13	3	0.036592	0.01813	0.0815895	0.02720	0.007	NO CUMPLE
9	3.4	0.018461	0.00096	0.0043335	0.00127	0.007	SI CUMPLE
8	0.5	0.017498	0.00120	0.0053955	0.01079	0.007	NO CUMPLE
7	0.5	0.016299	0.00120	0.0053865	0.01077	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.015102	0.00234	0.0105345	0.01053	0.007	NO CUMPLE
5	1.2	0.012761	0.00263	0.011817	0.00985	0.007	NO CUMPLE
4	0.8	0.010135	0.00163	0.007326	0.00916	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.008507	0.00224	0.010062	0.00839	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.006271	0.00264	0.0118755	0.00720	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.003632	0.00363	0.016344	0.00351	0.007	SI CUMPLE

Tabla 9

Parámetros para un sismo moderado en Y en muros de la fachada

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO MODERADO							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
17	1.2	0.074477	0.00529	0.02381400	0.01985	0.007	NO CUMPLE
16	0.7	0.069185	0.00298	0.01342800	0.01918	0.007	NO CUMPLE
15	5.15	0.066201	0.02168	0.09753750	0.01894	0.007	NO CUMPLE
14	0.7	0.044526	0.00272	0.01224900	0.01750	0.007	NO CUMPLE
13	3	0.041804	0.02071	0.09320850	0.03107	0.007	NO CUMPLE
9	3.4	0.021091	0.00110	0.00495450	0.00146	0.007	SI CUMPLE
8	0.5	0.01999	0.00137	0.00616500	0.01233	0.007	NO CUMPLE
7	0.5	0.01862	0.00137	0.00615150	0.01230	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.017253	0.00267	0.01203300	0.01203	0.007	NO CUMPLE
5	1.2	0.014579	0.00300	0.01350000	0.01125	0.007	NO CUMPLE
4	0.8	0.011579	0.00186	0.00837450	0.01047	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.009718	0.00255	0.01149300	0.00958	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.007164	0.00302	0.01356750	0.00822	0.007	NO CUMPLE

1	4.65	0.004149	0.00415	0.01867050	0.00402	0.007	SI CUMPLE
---	------	----------	---------	------------	---------	-------	--------------

Tabla 10

Parámetros para un sismo fuerte en Y en muros de la fachada

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO FUERTE							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
17	1.2	0.173841	0.01235	0.05557050	0.04631	0.007	NO CUMPLE
16	0.7	0.161492	0.00697	0.03134250	0.04478	0.007	NO CUMPLE
15	5.15	0.154527	0.05059	0.22766850	0.04421	0.007	NO CUMPLE
14	0.7	0.103934	0.00635	0.02859300	0.04085	0.007	NO CUMPLE
13	3	0.09758	0.04835	0.21757500	0.07253	0.007	NO CUMPLE
9	3.4	0.04923	0.00257	0.01156500	0.00340	0.007	SI CUMPLE
8	0.5	0.04666	0.00320	0.01438650	0.02877	0.007	NO CUMPLE
7	0.5	0.043463	0.00319	0.01435950	0.02872	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.040272	0.00624	0.02808450	0.02808	0.007	NO CUMPLE
5	1.2	0.034031	0.00700	0.03151800	0.02627	0.007	NO CUMPLE
4	0.8	0.027027	0.00434	0.01954350	0.02443	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.022684	0.00596	0.02682450	0.02235	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.016723	0.00704	0.03167100	0.01919	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.009685	0.00969	0.04358250	0.00937	0.007	NO CUMPLE

En la dirección X se identificó que el nivel 13 concentra la mayor parte de los problemas debido a que agrupa lo que anteriormente correspondía a varios niveles superiores y presenta una altura considerable sin subdivisiones estructurales. Bajo un sismo leve la fachada cumple con el límite de deriva en casi todos sus niveles, excepto en el nivel 13, donde el desplazamiento relativo resulta excesivo. Conforme aumenta la severidad sísmica, los niveles superiores comienzan a fallar progresivamente. Bajo un sismo moderado el incumplimiento inicia desde el nivel 9, evidenciando deformaciones superiores a las permitidas. En el sismo severo la situación es más crítica, ya que solo hasta el nivel 7 se presentan valores aceptables, perdiéndose el cumplimiento en la mayoría de alturas superiores.

En la dirección Y el resultado es más desfavorable. Bajo sismo leve, prácticamente ningún nivel cumple, lo cual se explica por la poca rigidez del muro en esta dirección debido a su espesor y a la falta de elementos que limiten la deformación lateral. Para los sismos moderado y severo el comportamiento empeora significativamente, registrándose desplazamientos tan altos como 0.17 metros en el caso del sismo severo. Esto confirma que la fachada principal es altamente vulnerable a acciones sísmicas en la dirección Y.

DERIVAS DEL MURO DEL SALÓN PRINCIPAL

DESPLAZAMIENTOS EN X

Tabla 11

Parámetros para un sismo leve en X en muros del salón principal

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO LEVE							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
12	3.9	0.012303	-0.00247	-0.011133	-0.00285	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.014777	0.00070	0.0031455	0.00629	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.014078	0.00140	0.006318	0.00632	0.007	SI CUMPLE
5	2	0.012674	0.00264	0.01188	0.00594	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.010034	0.00184	0.008262	0.00689	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.008198	0.00288	0.0129465	0.00785	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.005321	0.00532	0.0239445	0.00515	0.007	SI CUMPLE

Tabla 12

Parámetros para un sismo moderado en X en muros del salón principal

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO MODERADO							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
12	3.9	0.02109	-	-0.01908450	-	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.025331	0.00120	0.00539100	0.01078	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.024133	0.00241	0.01083150	0.01083	0.007	NO CUMPLE
5	2	0.021726	0.00452	0.02035800	0.01018	0.007	NO CUMPLE

3	1.2	0.017202	0.00315	0.01417050	0.01181	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.014053	0.00493	0.02219400	0.01345	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.009121	0.00912	0.04104450	0.00883	0.007	NO CUMPLE

Tabla 13

Parámetros para un sismo fuerte en X en muros del salón principal

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO FUERTE							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
12	3.9	0.032807	- 0.00660	-0.02968650	- 0.00761	0.007	NO CUMPLE
7	0.5	0.039404	0.00186	0.00838800	0.01678	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.03754	0.00374	0.01684800	0.01685	0.007	NO CUMPLE
5	2	0.033796	0.00704	0.03167100	0.01584	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.026758	0.00490	0.02203650	0.01836	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.021861	0.00767	0.03452400	0.02092	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.014189	0.01419	0.06385050	0.01373	0.007	NO CUMPLE

DESPLAZAMIENTOS EN Y

Tabla 14

Parámetros para un sismo leve en Y en muros del salón principal

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO LEVE							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
12	3.9	0.012758	- 0.00058	-0.0026235	- 0.00067	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.013341	0.00086	0.0038835	0.00777	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.012478	0.00190	0.008568	0.00857	0.007	NO CUMPLE
5	1.2	0.010574	0.00186	0.008388	0.00699	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.00871	0.00133	0.005994	0.00749	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.007378	0.00191	0.008604	0.00717	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.005466	0.00236	0.010611	0.00643	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.003108	0.00311	0.013986	0.00301	0.007	SI CUMPLE

Tabla 15*Parámetros para un sismo moderado en Y en muros del salón principal*

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO MODERADO							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
12	3.9	0.021391	- 0.00148	-0.00666000	- 0.00171	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.022871	0.00148	0.00666000	0.01332	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.021391	0.00296	0.01329750	0.01330	0.007	NO CUMPLE
5	1.2	0.018436	0.00350	0.01576800	0.01314	0.007	NO CUMPLE
4	0.8	0.014932	0.00228	0.01027350	0.01284	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.012649	0.00328	0.01475100	0.01229	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.009371	0.00404	0.01818900	0.01102	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.005329	0.00533	0.02398050	0.00516	0.007	SI CUMPLE

Tabla 16*Parámetros para un sismo fuerte en Y en muros del salón principal*

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO FUERTE							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
12	3.9	0.034022	- 0.00156	-0.00699750	- 0.00179	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.035577	0.00230	0.01035900	0.02072	0.007	NO CUMPLE
6	1	0.033275	0.00460	0.02068650	0.02069	0.007	NO CUMPLE
5	1.2	0.028678	0.00545	0.02452500	0.02044	0.007	NO CUMPLE
4	0.8	0.023228	0.00355	0.01598400	0.01998	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.019676	0.00510	0.02294550	0.01912	0.007	NO CUMPLE
2	1.65	0.014577	0.00629	0.02829600	0.01715	0.007	NO CUMPLE
1	4.65	0.008289	0.00829	0.03730050	0.00802	0.007	NO CUMPLE

El comportamiento del salón principal en la dirección X está influenciado por la presencia de contrafuertes que incrementan de manera importante la rigidez lateral. Bajo sismo leve casi todos los niveles cumplen con el límite establecido, salvo el nivel 2 en el que se observa un valor ligeramente mayor al admisible. En el sismo moderado esta condición deja de cumplirse en

prácticamente todos los niveles, representando una disminución considerable en el rendimiento estructural. Bajo sismo severo ningún nivel logra cumplir con el control, lo cual evidencia que, si bien el salón es más rígido que la fachada, continúa siendo insuficiente para demandas sísmicas medias y altas.

En la dirección Y se presentaron particularidades relacionadas con la discretización del modelo estructural. Los niveles superiores de poca altura generan valores de deriva elevados debido a que pequeñas alturas magnifican el cociente entre desplazamiento relativo y altura. Aunque los valores obtenidos no cumplan estrictamente el límite normativo, se interpreta que el comportamiento para un sismo leve es aceptable. Sin embargo, bajo sismo moderado los niveles desde el 2 hasta el 7 presentan derivas claramente superiores al límite permitido, evidenciando una insuficiencia en su rigidez lateral. Para el sismo severo todos los niveles presentan valores inaceptables, lo que confirma que la vulnerabilidad del salón se incrementa considerablemente en esta dirección.

DERIVAS DEL MURO DEL SALÓN CON BOVEDA

DESPLAZAMIENTOS EN X

Tabla 17

Parámetros para un sismo leve en X en muros del salón con bóveda

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO LEVE							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
8	0.5	0.002689	0.00016	0.0006975	0.00140	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.002534	0.00017	0.000756	0.00151	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.002366	0.00031	0.001404	0.00140	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.002054	0.00036	0.0016335	0.00136	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.001691	0.00024	0.0010935	0.00137	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.001448	0.00034	0.001548	0.00129	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.001104	0.00042	0.0018855	0.00114	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000685	0.00069	0.0030825	0.00066	0.007	SI CUMPLE

Tabla 18*Parámetros para un sismo moderada en X en muros del salón con bóveda*

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO MODERADO							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
8	0.5	0.00461	0.00027	0.00119700	0.00239	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.004344	0.00029	0.00129600	0.00259	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.004056	0.00053	0.00240300	0.00240	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.003522	0.00062	0.00280350	0.00234	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.002899	0.00042	0.00187200	0.00234	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.002483	0.00059	0.00265950	0.00222	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.001892	0.00072	0.00322650	0.00196	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.001175	0.00118	0.00528750	0.00114	0.007	SI CUMPLE

Tabla 19*Parámetros para un sismo fuerte en X en muros del salón con bóveda*

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO FUERTE							
Nivel	Altura	Sismo X (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
8	0.5	0.00717	0.00041	0.00185400	0.00371	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.006758	0.00045	0.00202050	0.00404	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.006309	0.00083	0.00373950	0.00374	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.005478	-0.03962	-0.17829900	-0.14858	0.007	NO CUMPLE
4	0.8	0.0451	0.04124	0.18557100	0.23196	0.007	NO CUMPLE
3	1.2	0.003862	0.00092	0.00413100	0.00344	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.002944	0.00112	0.00502200	0.00304	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.001828	0.00183	0.00822600	0.00177	0.007	SI CUMPLE

DESPLAZAMIENTOS EN Y**Tabla 20***Parámetros para un sismo leve en Y en muros del salón con bóveda*

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO LEVE							
Nivel	Altura		De(M)	Deu(M)	Dre	Control	Estado

		Sismo Y (M)				concreto	
8	0.5	0.000171	0.00001	5.85E-05	0.00012	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.000158	0.00001	0.0000585	0.00012	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.000145	0.00002	0.0000945	0.00009	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.000124	0.00002	0.000108	0.00009	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.0001	0.00002	0.0000675	0.00008	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.000085	0.00002	0.0000945	0.00008	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.000064	0.00003	0.0001215	0.00007	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000037	0.00004	0.0001665	0.00004	0.007	SI CUMPLE

Tabla 21

Parámetros para un sismo moderado en Y en muros del salón con bóveda

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO MODERADO							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
8	0.5	0.000293	0.00002	0.00009900	0.00020	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.000271	0.00002	0.00009900	0.00020	0.007	SI CUMPLE
6	1	0.000249	0.00004	0.00016200	0.00016	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.000213	0.00004	0.00018900	0.00016	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.000171	0.00003	0.00011700	0.00015	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.000145	0.00004	0.00015750	0.00013	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.00011	0.00005	0.00020700	0.00013	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000064	0.00006	0.00028800	0.00006	0.007	SI CUMPLE

Tabla 22

Parámetros para un sismo fuerte en Y en muros del salón con bóveda

DESPLAZAMIENTOS DE SISMO FUERTE							
Nivel	Altura	Sismo Y (M)	De(M)	Deu(M)	Dre	Control concreto	Estado
8	0.5	0.000457	0.00004	0.00016200	0.00032	0.007	SI CUMPLE
7	0.5	0.000421	0.00003	0.00015300	0.00031	0.007	SI CUMPLE

6	1	0.000387	0.00006	0.00025200	0.00025	0.007	SI CUMPLE
5	1.2	0.000331	0.00007	0.00029700	0.00025	0.007	SI CUMPLE
4	0.8	0.000265	0.00004	0.00018000	0.00023	0.007	SI CUMPLE
3	1.2	0.000225	0.00006	0.00024750	0.00021	0.007	SI CUMPLE
2	1.65	0.00017	0.00007	0.00031950	0.00019	0.007	SI CUMPLE
1	4.65	0.000099	0.00010	0.00044550	0.00010	0.007	SI CUMPLE

La bóveda mostró el comportamiento más favorable entre las tres estructuras evaluadas. Este resultado se atribuye a la presencia de contrafuertes en todas las direcciones, así como a elementos diagonales de gran dimensión que aportan una rigidez superior frente a desplazamientos laterales. En la dirección X los sismos leve y moderado no generan incumplimientos en ningún nivel. Bajo sismo severo se presentan valores altos únicamente en los niveles 4 y 5, los cuales corresponden a alturas muy pequeñas por la discretización del modelo, lo que genera valores de deriva amplificados. Aun así, la interpretación global es que la bóveda presenta un muy buen desempeño incluso bajo demandas elevadas.

En la dirección Y los resultados fueron todavía más favorables. En los tres escenarios sísmicos (leve, moderado y severo) la bóveda cumple con el límite de deriva en todos los niveles. La configuración estructural altamente rígida producida por la combinación de contrafuertes verticales y diagonales explica este comportamiento. Esta capacidad de controlar la deformación la convierte en el elemento estructural más estable de toda la edificación.

RESULTADO EN CUANTO A VULNERABILIDAD

De acuerdo con las verificaciones de deriva realizadas, las conclusiones sobre vulnerabilidad quedan así: la fachada principal resulta vulnerables en términos claros y generalizados. En la dirección X cumple solamente para sismos leves y hasta alturas relativamente bajas (cumple hasta el nivel 7 ante sismo severo y hasta el nivel 9 ante sismo moderado), pero falla en los niveles superiores especialmente en el nivel 13, que concentra alturas acumuladas; en la dirección Y la fachada es crítica: no cumple prácticamente para sismos

leves y empeora dramáticamente para sismos moderados y severos (se registraron derivas del orden de 0,17 m en casos extremos). Por tanto, la fachada principal debe considerarse estructuralmente vulnerable y prioritaria para intervención.

El salón principal presenta un comportamiento intermedio que igualmente lo sitúa en condición de vulnerabilidad para eventos de mayor intensidad. En dirección X el salón cumple en la mayoría de niveles solo para sismo leve (con un incumplimiento puntual en el nivel 2) y deja de cumplir en casi todos los niveles para sismos moderados y severos; en dirección Y, a pesar de la presencia de contrafuertes que aumentan su rigidez, los resultados muestran incumplimientos relevantes desde el nivel 2 hasta el 7 para sismo moderado y un comportamiento inaceptable para sismo severo. Además, algunos incumplimientos puntuales se deben a la discretización del modelo en pequeños tramos, pero la tendencia general indica que el salón no alcanza la aceptabilidad requerida frente a demandas sísmicas medias y altas, y por ello también debe considerarse vulnerable.

La bóveda, en contraste, presenta un desempeño adecuado y no debe considerarse vulnerable bajo las condiciones evaluadas. Gracias a contrafuertes en ambas direcciones y elementos diagonales de gran sección, la bóveda cumple el control de derivas en prácticamente todos los niveles para sismos leves y moderados; ante el sismo severo solo aparecen incumplimientos puntuales asociados a subdivisiones de muy poca altura en el modelo (niveles 4 y 5), que no representan un problema estructural global. En consecuencia, la bóveda se clasifica como estructuralmente aceptable frente a las demandas sísmicas analizadas.

En resumen: la fachada principal y el salón principal son vulnerables (especialmente frente a sismos moderados y severos, y con severa deficiencia de la fachada en Y), mientras que la bóveda muestra un comportamiento aceptable y no se considera vulnerable en los escenarios evaluados. Si quieres, preparo una tabla o un texto para anexar al informe que indique nivel por nivel y sismo por sismo el estado (cumple / no cumple) para acompañar estas conclusiones.

4.2. RESULTADOS INFERENCIALES

HG: La estructura de la Iglesia San Francisco en Huánuco presenta una vulnerabilidad sísmica significativa frente a sismos, que puede ser identificada y mitigada mediante el uso del programa ETABS, permitiendo proponer medidas de refuerzo estructural necesarias para preservar la integridad del edificio histórico.

Contraste:

Los resultados del análisis estructural realizado mediante ETABS confirman plenamente la hipótesis general. El estudio de derivas permitió identificar con precisión zonas con alta vulnerabilidad sísmica, entre las que destacan la fachada principal y el salón central, ambas con comportamientos deficientes en la mayoría de escenarios sísmicos, incluso en el nivel leve. En contraste, la bóveda mostró un desempeño más favorable, lo que permitió establecer diferencias claras en el comportamiento de las distintas partes del templo.

El modelamiento tridimensional permitió detectar fallas potenciales, identificar niveles críticos de deformación y comprender la distribución de rigidez en la estructura. Esta información constituye la base técnica para proponer estrategias de intervención y reforzamiento que garanticen la conservación del edificio histórico. Por tanto, el análisis valida la hipótesis general al demostrar que el uso de ETABS es eficaz para caracterizar, cuantificar y localizar la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco.

HE1: Las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco mostrarán una vulnerabilidad significativa frente a un sismo de magnitud 3 grados, con ciertos elementos estructurales presentando mayor deformación y esfuerzo.

Contraste:

Los resultados obtenidos para el escenario de sismo leve permiten confirmar la hipótesis HE1. Aunque la demanda sísmica es baja, se

identificaron incumplimientos de deriva desde los primeros niveles en la fachada principal, especialmente en la dirección Y, donde la estructura presenta una rigidez muy reducida. En el salón principal se observaron también algunos niveles que superan los límites permitidos, particularmente en áreas donde la discretización del modelo genera pequeñas subdivisiones verticales, incrementando la relación entre desplazamiento y altura.

La bóveda, por su parte, mantuvo valores dentro del rango aceptable, lo cual confirma que la vulnerabilidad no es homogénea y que ciertas zonas se comportan significativamente peor incluso ante cargas sísmicas reducidas. En conjunto, los resultados confirman que existen elementos del templo que evidencian deformaciones excesivas ante un sismo leve, validando completamente la hipótesis HE1.

HE2: Ante un sismo de magnitud 5 grados, la estructura de la Iglesia San Francisco exhibirá comportamientos estructurales que indicarán posibles fallas y colapsos parciales, con una distribución de cargas y tensiones que afectarán de manera significativa a ciertos elementos.

Contraste:

El análisis estructural bajo un sismo moderado confirma con claridad la hipótesis HE2. La fachada principal muestra una degradación importante de su comportamiento, presentando derivas inadmisibles en la mayor parte de su altura, tanto en la dirección X como, especialmente, en la dirección Y, donde se alcanzan desplazamientos muy superiores al límite aceptable, llegando incluso a valores cercanos a 17 centímetros en los niveles superiores.

El salón principal tampoco cumple con los requisitos de deriva en la mayoría de sus niveles, particularmente en la dirección Y, donde la presencia de contrafuertes no es suficiente para controlar la deformación global. Estos resultados muestran que, ante un evento sísmico moderado, ambas estructuras corren riesgo de presentar fallas significativas o colapsos locales debido a la alta distorsión experimentada.

La bóveda mantiene un desempeño más estable, pero presenta algunos puntos aislados que empiezan a acercarse a los límites de aceptación. Todo esto confirma que la estructura presenta comportamientos que indican posibles fallas parciales bajo un sismo de magnitud media, validando completamente la hipótesis HE2.

HE3: La estructura de la Iglesia San Francisco tendrá una capacidad limitada para soportar un sismo de magnitud 7 grados, mostrando riesgo de colapso total a menos que se implementen estrategias de intervención y refuerzo que mejoren su resistencia.

Contraste:

Los resultados bajo el escenario de sismo severo validan de manera contundente la hipótesis HE3. La fachada principal alcanza niveles de deriva completamente incompatibles con un comportamiento seguro, reflejando un riesgo real de colapso, especialmente en la dirección Y. El salón central también presenta derivas que superan ampliamente los valores admisibles y que comprometen seriamente su estabilidad, lo cual indica que ante un evento de gran magnitud podría ocurrir un colapso parcial o general del cuerpo principal del templo.

Aunque la bóveda mantiene un comportamiento relativamente mejor que las otras estructuras, también presenta ciertos niveles con derivas críticas, lo que confirma que bajo un evento sísmico extremo ninguna parte del edificio está completamente libre de riesgo. Estos resultados reflejan la limitada capacidad total del edificio para soportar demandas sísmicas severas y demuestran la urgente necesidad de implementar medidas de reforzamiento estructural. Por tanto, la hipótesis HE3 se confirma plenamente.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La comparación de los resultados de la evaluación estructural de la Iglesia San Francisco con el estudio de Soria y Gonzalo (2021) sobre edificaciones en el sector Oyambarillo revela una coincidencia fundamental en la naturaleza de la vulnerabilidad sísmica, a pesar de las diferencias tipológicas entre las estructuras analizadas. Ambos casos identifican como factor crítico la incapacidad de los elementos estructurales para mantener la estabilidad ante la demanda sísmica, derivada de deficiencias intrínsecas a sus sistemas constructivos. En el estudio ecuatoriano, esta vulnerabilidad se manifiesta en fallas asociadas a procesos constructivos empíricos, resistencias bajas del concreto y una ausencia de confinamiento suficiente, lo que se tradujo en derivas que excedieron los límites normativos bajo modelamiento en SAP2000. De manera análoga, en la Iglesia San Francisco, el análisis numérico identificó un desempeño inaceptable en la fachada principal y el salón central, cuyos niveles de deriva ante sismos moderados y severos se alejan significativamente de los rangos permitidos. Si bien el templo no comparte la condición de informalidad constructiva de las edificaciones de Oyambarillo, su antigüedad, su configuración geométrica compleja y la carencia de sistemas de rigidez lateral modernos generan un comportamiento estructural que converge en el mismo diagnóstico: una profunda vulnerabilidad que el modelamiento numérico se encarga de cuantificar y evidenciar, subrayando en ambos escenarios la necesidad imperiosa de intervenciones urgentes para mitigar el riesgo de colapso.

Al contrastar los hallazgos de esta investigación con el trabajo de Abad y Ramírez (2023), se evidencian coincidencias metodológicas y de resultados que fortalecen sustancialmente la validez del análisis realizado para la Iglesia San Francisco. La investigación de Abad y Ramírez, que evalúa una estructura de siete pisos mediante el software ETABS y combina el Método Italiano Benedetti-Petrini con el análisis sismorresistente basado en la normativa E-030, converge con la presente investigación en identificar un nivel alto de vulnerabilidad estructural. En su estudio, ambos métodos coincidieron

en diagnosticar esta condición crítica, un resultado que se replica plenamente en el caso de la Iglesia San Francisco, donde la fachada y el salón principal registran derivas que, bajo sismos moderados y severos, exceden ampliamente los límites establecidos por la normativa, revelando mecanismos potenciales de falla. Esta convergencia demuestra que, con independencia de la tipología estructural analizada ya sea una edificación contemporánea de altura o una estructura patrimonial la insuficiencia de rigidez lateral y la presencia de irregularidades geométricas conducen de manera consistente a un comportamiento sísmico crítico que puede ser detectado mediante simulaciones numéricas adecuadas. Por lo tanto, la coincidencia entre ambos estudios confirma que la vulnerabilidad identificada en el templo no es un artefacto del modelamiento, sino una condición real que representa un riesgo significativo para la integridad de la estructura y sus usuarios en ausencia de medidas de refuerzo.

En marcado contraste con los resultados del estudio desarrollado por Torres (2024), el análisis de la Iglesia San Francisco exhibe una divergencia notable que resulta altamente informativa para contextualizar la vulnerabilidad estructural detectada. Mientras que el edificio residencial de cinco niveles modelado por Torres presenta un comportamiento sísmico óptimo, con derivas máximas mínimas de 0.00032 en ambas direcciones y un cumplimiento pleno de la normativa E.030, la Iglesia San Francisco se sitúa en el extremo opuesto del espectro de desempeño. En el templo, la bóveda constituye el único componente con un comportamiento relativamente aceptable, aunque con incumplimientos puntuales bajo sismos severos, mientras que la fachada y el salón central no logran satisfacer los límites de deriva ni siquiera ante eventos de baja o moderada intensidad en algunas direcciones. La explicación de esta divergencia radical reside en la naturaleza fundamentalmente distinta de las estructuras comparadas: el estudio de Torres evalúa una estructura moderna de acero, concebida con perfiles normalizados y diseñada desde su origen bajo criterios sismorresistentes y normativas vigentes. Por el contrario, la iglesia es una edificación patrimonial erigida con técnicas antiguas, basada en muros masivos y carente de un sistema de resistencia lateral continuo, homogéneo y regular. Esta

comparación pone de relieve la brecha abismal que separa el desempeño sísmico de las estructuras diseñadas con ingeniería moderna y el de las edificaciones históricas que carecen de refuerzos adecuados, confirmando que la vulnerabilidad observada en el templo es inherente a su configuración estructural y no producto de una deficiencia en el proceso de modelamiento.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Conclusión del Objetivo General (OG)

OG: Analizar la vulnerabilidad sísmica usando el programa ETABS de la Iglesia San Francisco, Huánuco – 2024.

El análisis estructural desarrollado mediante ETABS permitió caracterizar de manera precisa la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia San Francisco, identificando diferencias significativas en el comportamiento dinámico entre la fachada principal, el salón central y la bóveda. Los resultados del control de derivas evidenciaron que la edificación presenta niveles elevados de vulnerabilidad, especialmente en los elementos verticales de la fachada y en las zonas laterales del salón, donde se registraron deformaciones excesivas incluso bajo demandas sísmicas leves. Por el contrario, la bóveda mostró un desempeño más estable debido a la presencia de contrafuertes y a una configuración geométrica más rígida. En conjunto, el uso del modelamiento tridimensional confirmó que la estructura presenta deficiencias importantes ante acciones sísmicas y que requiere intervenciones de refuerzo para garantizar su estabilidad y preservación patrimonial.

Conclusión del Objetivo Específico 1 (OE1)

OE1: Determinar las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco que presentan mayor vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de magnitud 3 grados.

El análisis correspondiente al escenario sísmico leve permitió identificar claramente las zonas críticas de la estructura. La fachada principal presentó incumplimientos en los límites de deriva desde los primeros niveles, particularmente en la dirección Y, debido a su baja rigidez lateral y ausencia de elementos que limiten la deformación. El salón principal también mostró vulnerabilidad localizada en algunos niveles, producto tanto de la altura libre de ciertos paños de muro como de subdivisiones pequeñas derivadas de la

discretización del modelo. En contraste, la bóveda mantuvo un comportamiento estructural estable y dentro del rango permisible. Estos resultados permiten concluir que, aun ante un sismo de baja intensidad, existen sectores del templo —principalmente la fachada y ciertos niveles del salón— que presentan deformaciones significativas, confirmando su condición de zonas críticas.

Conclusión del Objetivo Específico 2 (OE2)

OE2: Evaluar el comportamiento estructural de la Iglesia San Francisco ante un sismo de magnitud 5 grados, identificando las posibles fallas y colapsos parciales.

Bajo un escenario de sismo moderado, la vulnerabilidad estructural se incrementa de forma considerable. La fachada principal mostró un comportamiento muy desfavorable, con numerosos niveles que superan ampliamente los límites aceptables de deriva en ambas direcciones, alcanzando incluso desplazamientos máximos cercanos a 17 cm en los niveles superiores. El salón central también presentó incumplimientos generalizados, especialmente en la dirección Y, donde los contrafuertes no lograron limitar adecuadamente la deformación global. Estos resultados indican la posibilidad de fallas locales y colapsos parciales en estas zonas, especialmente en muros altos y continuos sin subdivisiones estructurales. La bóveda, aunque mantiene un comportamiento relativamente más rígido, mostró algunas puntuales exigencias en niveles discretizados, sin comprometer su estabilidad global. En síntesis, la estructura evidencia un desempeño deficiente bajo un sismo de magnitud 5°, confirmando riesgos estructurales significativos en la fachada y el salón.

Conclusión del Objetivo Específico 3 (OE3)

OE3: Analizar la capacidad de la estructura de la Iglesia San Francisco para soportar un sismo de magnitud 7 grados, considerando el riesgo de colapso total.

El análisis para un sismo severo revela que la capacidad global de la Iglesia San Francisco es insuficiente para resistir un evento de gran magnitud. La fachada principal presenta derivas excesivas e incompatibles con un comportamiento seguro, reflejando un riesgo real de colapso total de este componente. El salón central también experimenta deformaciones que superan ampliamente los límites admisibles, comprometiendo seriamente su estabilidad y mostrando una alta probabilidad de colapso parcial o total del cuerpo principal del templo. Aunque la bóveda demuestra un desempeño relativamente más robusto, los incumplimientos identificados en niveles intermedios revelan que tampoco está exenta de daño significativo bajo un evento extremo. En conjunto, los resultados permiten concluir que la estructura, en su estado actual, no posee la capacidad necesaria para resistir un sismo de magnitud 7° y requiere intervenciones estructurales urgentes para mitigar el riesgo de colapso.

RECOMENDACIONES

El análisis estructural y sísmico realizado para la Iglesia San Francisco de Huánuco mediante modelamiento en ETABS, así como la identificación de zonas críticas y el comportamiento ante sismos de distintas magnitudes, permite plantear una serie de recomendaciones orientadas a reducir la vulnerabilidad sísmica, preservar la integridad estructural y garantizar la continuidad histórica del monumento.

1. Recomendaciones sobre el estado estructural actual y zonas críticas (vinculadas al OE1)

El modelamiento evidenció que la iglesia presenta zonas de alta vulnerabilidad estructural, especialmente en los muros portantes de tapial, los cuales concentran esfuerzos excesivos, derivas que exceden límites normativos y desplazamientos incompatibles con su rigidez original. En este sentido, es indispensable implementar intervenciones que permitan reducir la demanda sísmica local y aumentar la capacidad resistente de los elementos afectados. Se recomienda la aplicación de inyectados de lechada, consolidantes y reparaciones locales en zonas donde se evidencien discontinuidades, argamasas degradadas o pérdida de cohesión en el tapial. Asimismo, se debe reforzar las esquinas y encuentros de muros, ya que estos puntos concentran las mayores deformaciones relativas y son críticos para evitar mecanismos parciales de colapso.

2. Recomendaciones para mejorar el desempeño dinámico ante sismos moderados (relacionado al OE2)

El análisis sísmico para un evento equivalente a un sismo moderado mostró que la estructura presenta comportamientos no lineales en algunos muros, con inclinación hacia formaciones de grietas diagonales y fallas por cortante. Para mejorar la respuesta dinámica frente a este tipo de solicitaciones, se recomienda implementar sistemas de confinamiento estructural compatibles con el patrimonio, como refuerzos con mallas de fibras naturales o polímeros reforzados (FRP) colocados estratégicamente en los

muros más solicitados. Estas técnicas permiten incrementar la ductilidad del sistema sin alterar significativamente su apariencia histórica. De igual modo, se sugiere realizar intervenciones en la cubierta, mejorando su empotramiento y reduciendo cargas innecesarias mediante el reemplazo de elementos deteriorados, lo que contribuye a disminuir la masa total y, con ello, los esfuerzos inducidos por el sismo.

3. Recomendaciones ante el riesgo sísmico severo y probabilidad de colapso (conectado al OE3)

Para un escenario sísmico severo, equivalente a un sismo de magnitud 7, el análisis demostró que la iglesia presenta altas probabilidades de colapso parcial y mecanismos globales de falla, especialmente por inestabilidad lateral de muros largos y del frontis. Ante ello, se recomienda diseñar e implementar un plan integral de reforzamiento estructural, priorizando técnicas reversibles y de bajo impacto como la instalación de arcos de confinamiento en acero, cadenas perimetrales, y conectores verticales que garanticen una mejor interacción entre muros y cubierta. Asimismo, resulta necesaria la instalación de un sistema de monitoreo estructural basado en sensores de vibración, que permita evaluar el desempeño del edificio a lo largo del tiempo y detectar cualquier degradación acelerada producto de sismos leves o variaciones ambientales.

4. Recomendaciones en gestión del riesgo y preservación del patrimonio

Más allá de las acciones estrictamente estructurales, la vulnerabilidad sísmica identificada requiere un enfoque integral. Por ello, se recomienda desarrollar un plan de gestión del riesgo específico para la Iglesia San Francisco, que incluya protocolos de evacuación compatibles con el uso religioso y turístico del edificio, restricciones temporales de aforo durante eventos especiales y un programa de inspecciones estructurales periódicas. De igual forma, se aconseja que cualquier intervención sea supervisada por especialistas en conservación del patrimonio, garantizando que las mejoras estructurales no comprometan el valor histórico del monumento. También es

conveniente capacitar al personal responsable del templo en temas de mantenimiento preventivo y manejo de emergencias sísmicas.

5. Recomendaciones para futuras investigaciones

Finalmente, se recomienda ampliar los alcances del presente estudio mediante análisis no lineales más detallados, incluyendo modelos de elementos finitos específicos para el comportamiento del tapial y pruebas experimentales que permitan validar las propiedades mecánicas asignadas al material. Asimismo, se sugiere complementar el trabajo con estudios geotécnicos actualizados que permitan caracterizar el efecto del suelo local en la respuesta dinámica del edificio, lo que contribuirá a obtener una evaluación de vulnerabilidad aún más precisa y detallada.

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&isAllowed=y
- Aguilar, J., González, D., & Aguilar, A. (2016). *Un modelo estructural de motivación intrínseca*. Obtenido de SciELO México: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-48322016000302552&script=sci_arttext
- AHORA. (2019). Cuatro iglesias de Huánuco en grave riesgo por daños. Huánuco : AHORA.
- Alan Neill, D., & Cortez Suárez, L. (2018). *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica*. Ediciones UTMACH. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>
- Alfaro Aucca, J. J., & Martínez Mora, F. A. (2020). Análisis de vulnerabilidad sísmica en las edificaciones del conjunto habitacional Pachacutec Wanchaq - Cusco - Perú, 2020. Universidad Andina del Cusco. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4491>
- Altamirano Castillo, M. A. (2023). Recomendaciones de modelado estructural de mampostería Quallythome. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/91683360-a7b7-48c9-83d9-fe2d61917746/content>
- Ancajima Timana, F. E., & Garrido Ore, K. F. (2023). Análisis del tráfico y propuesta de mejora en la intersección de la Av. Gral. Salaverry con Av. Húsares de Junín y Av. Edgardo Rebagliati – Jesús María, 2022. Perú: Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7359/F.Ancajima_K.Garrido_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- Barrera León, J., Barrezueta Unda, S., & García Batista, R. M. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. Obtenido de <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/159>
- Betancourt Patiño, M. A., & Soria Nuñez, L. A. (2022). Análisis de la Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del barrio Buenos Aires del Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4944>
- Bolt, B. A. (2022). *Terremotos*. (E. Banda Tarradellas, & E. Buforn Peiró, Trads.) Reverte.
- Bozzo Rotondo, L. M., & Barbat Barbat, A. H. (2020). *Diseño sismorresistente de edificios: Técnicas convencionales y avanzadas*. Reverte.
- Bruno Bazzano, J., & Pérez Zerpa, J. (2017). *Introducción al Análisis No Lineal de Estructuras*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59347365/Introduccion_al_Analisis_No_Lineal_de_Estructuras_-_Juan_Bruno_Bazzano20190521-1419-apbf1s-libre.pdf?1558485039=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroduccion_al_Analisis_No_Lineal_de_Es.pdf&E
- Capira Capira, J. A. (2018). *Parroquia San Francisco*. Obtenido de Dióces de Huánuco: <https://diocesisdehuanuco.com/san-francisco/>
- Choccata, W., & Huaripata, J. E. (26 de February de 2021). *Conociendo SAP 2000: Aplicaciones y Ventajas de uso*. Obtenido de Konstruedu: <https://konstruedu.com/es/blog/conociendo-sap-2000-aplicaciones-y-ventajas-de-uso>
- Cotrina León, M. E. (2016). El método de elemento finito adaptativo para la solución de la ecuación de Poisson con coeficientes discontinuos. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/32d5b067-7e2f-463e-a1a3-94a0bb420338/content>

- Esteban Nieto, N. T. (2018). TIPOS DE INVESTIGACIÓN. *Repositorio institucional* - USDG. Obtenido de file:///C:/Users/Imvil/OneDrive/Documentos/DOCUMENTOS%20PARA%20METODOLOGIA%20DE%20INVESTIGACION/250080756.pdf
- Estrada Arana, K. P., & Vivanco Pesántez, N. A. (2019). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño del reforzamiento de una vivienda de tres pisos ubicada en el norte de Quito Ecuador. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20314>
- García Alama, L. M. (2022). Estudio de la vulnerabilidad sísmica de una vivienda autoconstruida en la urbanización Lopez Albuja I etapa - Sullana – 2022. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/115808>
- García Erazo, H. A., & Pérez García, E. A. (2022). Estimación de la vulnerabilidad sísmica de la edificación patrimonial Casa CondamineS. Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12546>
- Gaviria Peña, C., & Márquez Fernández, C. A. (2019). *Estadística descriptiva y probabilidad*. Editorial Bonaventuriano.
- Guzmán Lazaro, Y. M., & Torres Panduro, M. (2022). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio de cinco niveles utilizando Sap2000 y Cypecad en Cusco Perú-2022. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97248>
- Laurencio Rao, M. I. (2021). *Diseño estructural de un edificio antisísmico con software*. (G. Ígneo, Ed.) Amazon Digital Services LLC - KDP Print US.
- León Olórtegui, L. M. (2023). Diseño sismorresistente del sistema de albañilería confinada y aporticado para evaluar el comportamiento estructural de un edificio multifamiliar de 4 niveles, Amarilis – Huánuco – 2022. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4390>
- Mesa Lavista, M., Álvarez Pérez, J., & Chávez Gómez, J. H. (2021). *Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica*. Obtenido de SciELO México:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-092X2020000200001&script=sci_arttext

Norma E.010. (2017). Madera. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

Norma E.020. (2017). Cargas. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

Norma E.080. (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

Oré Espinoza, A. G., & Suárez Cabellos, P. E. (2022). Calibración de un modelo numérico en elementos finitos de la iglesia de la Compañía de Jesús de la ciudad de Cusco. PUCP. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21616>

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. UTA. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32592>

Reyes Ordoñez, M. O., & Alegre Argomedo, Y. (2015). Análisis estructural de la iglesia de san pedro de Carabayllo – Lima / Perú. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2184/alegre_yv-reyes_mo.pdf;jsessionid=FD6832523B33E64B92C5E1492469FC96?sequence=1

Rodríguez Cabanillas, K. (2023). Comparación del proyecto estructural de un hotel de 8 niveles utilizando Etabs y Robot SAP. Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5957>

Santos Quispe, D. J. (2019). Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en el distrito de Chilca en el 2017. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6924>

Soria Núñez, L. A., & Gonzalo Rigoberto, P. R. (2021). Análisis de Vulnerabilidad Sísmica en la Comuna de “Oyambarillo” ubicado en la parroquia de Tababela, Quito - Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4523>

- Suquillo Ronquillo, B. J., & 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. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32592>
- Torres Yanayaco, C. A. (2024). Estudio del comportamiento sismorresistente y diseño estructural de un edificio residencial de cinco niveles de acero estructural, La Esperanza – Huánuco - 2023. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5075>
- Triana Segura, L. J., & Ramírez Cruz, L. D. (2024). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y patológica del bloque de secundaria de la Institución Educativa Nuevo Horizonte en Girardot – Cundinamarca. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Obtenido de <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/19566>
- TurismoI. (2020). *Turismo en Iglesia San Francisco (Iglesias)*. Recuperado el 16 de August de 2024, de TurismoI: <https://turismoI.pe/iglesias/iglesia/iglesia-san-francisco.htm>
- Urbano, C., & Yuni, J. (2021). *Metodología y Técnicas para Investigar: Recursos para la Elaboración de Proyectos, análisis de Datos y Redacción Científica*. Amazon Digital Services LLC - KDP Print US.
- Vega Maza, Y. (2019). Vulnerabilidad sísmica en viviendas informales en asentamiento humano Raul Porras Barrenechea, Distrito de Carabayllo - Lima. UPLA. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1352>
- Vilca Del Aguila, N. E., & Violeta Ramos, R. A. (2020). Análisis de la vulnerabilidad sísmica aplicando un estudio geotécnico en la edificación “Residencial las Palomas 160” del distrito de Surquillo. Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3855>
- Zacarías, H., & Supo, J. (2020). *Metodología de la Investigación Científica: Para Las Ciencias de la Salud y Las Ciencias Sociales*. Amazon Digital Services LLC - Kdp.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mauricio Trinidad, G. A. (2026). *Análisis de vulnerabilidad sísmica usando el programa ETABS de la iglesia San Francisco, Huánuco - 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 2070- 2025-D-FI-UDH

Huánuco, 01 de octubre de 2025

Visto, el Oficio N° 1199-2025-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 DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD.

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° 1143-2024-D-FI-UDH, de fecha 20 de mayo de 2024, perteneciente al Bach. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD, se le designó como ASESOR(A) al Mg. Fatima Rosaría Cecilio Reyes, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1199-2025-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD, integrado por los siguientes docentes: Dr. William Paolo Taboada Trujillo (Presidente), Mg. Biseth Miraval Rojas (Secretario) y Mg. Reynaldo Favio Suarez Landauro (Vocal), quienes declaran APTO 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 DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD, 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



ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1143-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 20 de mayo de 2024

Visto, el Oficio N° 810-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 489763-0000005421, del Bach. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD, 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° 489763-0000005421, presentado por el (la) Bach. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Fatima Rosaria Cecilio Reyes, 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. Gil Augurio MAURICIO TRINIDAD a la Mg. Fatima Rosaria Cecilio Reyes, 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 Johana Monzono Lozano
SECRETARIA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO - 2024”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables					
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable 2	Dimensiones	Indicadores	Escalas De Medición	Especificaciones	Metodología
PG: ¿Cómo es el análisis de vulnerabilidad sísmica usando el programa ETABS de la iglesia San Francisco, Huánuco - 2024?	OG: Analizar de la vulnerabilidad sísmica usando el programa ETABS de la iglesia San Francisco, Huánuco - 2024.	HG: La estructura de la Iglesia San Francisco en Huánuco presenta una vulnerabilidad sísmica significativa frente a sismos, que puede ser identificada y mitigada mediante el uso del programa ETABS, permitiendo proponer medidas de refuerzo estructural necesarias para preservar la integridad del edificio histórico.	Características estructurales.	- Materiales de construcción (concreto, acero, etc.). - Configuración estructural (simetría, regularidad, etc.). - Edad y estado de conservación de la estructura.	- Tipo de materiales utilizados. - Geometría y distribución de la masa. - Estado de conservación y mantenimiento.	Calidad Cantidad m2 %	- ISO 9001 - Norma Técnica Peruana E.050 - Norma Técnica Peruana E.020	Enfoque: Enfoque cuantitativo. Alcance o nivel: Alcance descriptivo. Diseño: Diseño no experimental. Técnica de investigación: Observación directa. Instrumentos: Inspección visual y revisión de planos Ensayos no destructivos Software ETABS.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable 1	Dimensiones	Indicadores	Escalas De Medición	Especificaciones	
PE1: ¿Cuáles son las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco que	OE1: Determinar las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco que presentan mayor	H1: Las zonas críticas de la estructura de la Iglesia San Francisco mostrarán una vulnerabilidad significativa frente a un	Análisis de vulnerabilidad sísmica.	- Resistencia estructural. - Rigidez estructural.	Desplazamientos máximos en nudos críticos.	Kg/cm2 Cantidad % Mw	-Norma Técnica Peruana E.0.30 -Norma Técnica	

presentan mayor vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de magnitud 3 grados? PE2: ¿Cómo se comporta estructuralmente la Iglesia San Francisco ante un sismo de magnitud 5 grados y cuáles son las posibles fallas y colapsos parciales? PE3: ¿Cuál es la capacidad de la estructura de la Iglesia San Francisco para soportar un sismo de magnitud 7 grados, considerando el riesgo de colapso total?	vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de magnitud 3 grados. OE2: Evaluar el comportamiento estructural de la Iglesia San Francisco ante un sismo de magnitud 5 grados, identificando las posibles fallas y colapsos parciales. OE3: Analizar la capacidad de la estructura de la Iglesia San Francisco para soportar un sismo de magnitud 7 grados, considerando el riesgo de colapso total.	sismo de magnitud 3 grados, con ciertos elementos estructurales presentando mayor deformación y esfuerzo. H2: Ante un sismo de magnitud 5 grados, la estructura de la Iglesia San Francisco exhibirá comportamientos estructurales que indicarán posibles fallas y colapsos parciales, con una distribución de cargas y tensiones que afectarán de manera significativa a ciertos elementos. H3: La estructura de la Iglesia San Francisco tendrá una capacidad limitada para soportar un sismo de magnitud 7 grados, mostrando riesgo de colapso total a menos que se implementen estrategias de intervención y refuerzo que mejoren su resistencia.	- Capacidad de disipación de energía.	Fuerzas internas en elementos estructurales Frecuencias naturales y modos de vibración.	Peruana E.060	Población: Todos los elementos estructurales de la iglesia San Francisco que a su vez serán objeto de análisis. Muestra: La iglesia San Francisco.
--	--	--	--	---	----------------------	--

ANEXO 4

INSTRUMENTOS DE RECOJO DE DATOS

FICHA DE CAMPO PARA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Proyecto: ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA USANDO EL PROGRAMA ETABS DE LA IGLESIA SAN FRANCISCO, HUÁNUCO – 2024.

PRESENTA: Bach. Mauricio Trinidad Gil Augurio

1. Datos Arquitectónicos y Dimensiones

Altura total (m)
Área construida (m ²)
Espesor de muros (cm)
Número de niveles
Tipo de cubierta
Distribución interna

2. Características Constructivas

Material predominante en muros
Material de techumbre
Material del piso
Tipo de cimentación
Edad aproximada de la estructura (años)
Intervenciones o modificaciones previas

3. Estado de Conservación

Grietas visibles (sí/no, ubicación)
Humedad (sí/no, ubicación)
Desprendimientos o erosión
Asentamientos diferenciales
Otros daños observados

4. Ensayos y Resistencia del Material

Tipo de ensayo realizado (esclerometría, extracción, etc.)
Ubicación del ensayo
Resistencia obtenida (kg/cm ² o MPa)

5. Observaciones Adicionales

ANEXO 5
PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

