



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento
estructural de Monumentos Históricos de adobe del distrito
Pachía, ciudad de Tacna, 2021”**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA CIVIL**

AUTORA:

Mamani Ayrampo, Miriam Elizabeth (ORCID: 0000-0003-3455-4469)

ASESOR:

Mg. Ing. SINCHE ROSILLO, Fredy Marco (ORCID: 0000-0002-3313-9530)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

La realización de este trabajo es dedicada a Martin y Flor de María, mis padres, los que siempre estuvieron a mi lado a lo largo de toda la carrera y de mi vida, apoyándome, aconsejándome y dándome fuerzas para seguir adelante.

A mis hermanas Marializ y Maylin por ser el motivo para seguir adelante con todos mis planes y proyectos.

Va a mis familiares por estar allí motivándome a seguir creciendo.

A todos aquellos que creen en mí.

AGRADECIMIENTO

Primero debo agradecer a nuestro padre celestial por darme la vida, las bendiciones, las oportunidades y por permitirme tener conmigo a mi familia.

A mis padres por todo el sacrificio, esfuerzo y amor incondicional que me han brindado cada día.

A mis hermanas que siempre me brindan su apoyo y su cariño.

A mis amigos que se han convertido parte importante de mi vida, que para mí son familia, amigos que me regalo esta hermosa carrera a quienes conocí en las aulas, quienes han estado conmigo en las buenas y las malas, con quienes eh compartido tantos momentos que llevaré en mi corazón.

Debo también agradecer a las personas que me apoyaron a realizar esta investigación, los que compartieron conmigo cosas valiosas como su tiempo y saberes para apoyarme en concluir mi tesis.

A esta casa de estudios y a su personal por la ayuda brindada hasta ahora, a mi asesor de tesis por el tiempo dedicado por tener siempre la disposición de guiar y aconsejar en la culminación de este proyecto.

Gracias

Índice de Contenido

| | PÁG. |
|--|------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTO | iiiv |
| ÍNDICE DE TABLAS | iii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | iv |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1. Tipo y Diseño de Investigación | 13 |
| 3.2. Variables y operacionalización | 14 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo | 15 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:..... | 16 |
| 3.5. Procedimiento:..... | 17 |
| 3.6. Método de Análisis de datos: | 17 |
| 3.7. Aspectos éticos: | 17 |
| IV. RESULTADOS | 18 |
| V. DISCUSIÓN..... | 66 |
| VI. CONCLUSIONES | 70 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 71 |
| REFERENCIAS | 72 |
| ANEXOS | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Metrado de cargas muerta por gravedad..... | 23 |
| Tabla 2. Metrado de cargas viva. | 23 |
| Tabla 3. Metrado de cargas de viento. | 23 |
| Tabla 4. Parámetros de carga sísmica según la E.080. | 24 |
| Tabla 5. Parámetros de carga sísmica según la E.030. | 24 |
| Tabla 6. Valores de S_a para cada periodo | 24 |
| Tabla 7. Propiedades mecánicas de los materiales usados en el modelo analítico. | 25 |
| Tabla 8. Resultados de caracterización mecánica para adobe..... | 25 |
| Tabla 9. Perfil estratigráfico (Anexo: Estudio de mecánica de suelos). | 26 |
| Tabla 10. Frecuencia y periodos de vibración de la estructura..... | 31 |
| Tabla 11. Esfuerzos en elementos tipo shell. | 39 |
| Tabla 12. Reacciones máximas y mínimas del punto más crítico en la estructura para las diferentes combinaciones. | 43 |
| Tabla 13. Peso de muros. | 53 |
| Tabla 14. Peso de la cubierta..... | 53 |
| Tabla 15. Peso total sobre los muros analizados. | 54 |
| Tabla 16. Fuerzas cortantes de los muros analizados..... | 54 |
| Tabla 17. Momentos máximos en los muros. | 54 |
| Tabla 18. Resistencia requerida del refuerzo. | 54 |
| Tabla 19. Momento resistente..... | 55 |
| Tabla 20. Número de geomallas a utilizar. | 55 |
| Tabla 21. Verificación de esfuerzos sobre muro..... | 56 |
| Tabla 22. Costo inicial de las alternativas. | 60 |
| Tabla 23. Valor asignado para F_1 | 61 |
| Tabla 24. Factor Seguridad y comportamiento..... | 61 |
| Tabla 25. Factor de recursos y facilidad de Construcción | 62 |
| Tabla 26. Factor disponibilidad de materiales | 63 |
| Tabla 27. Factor de Impacto Ambiental..... | 63 |
| Tabla 28. Factor Imaginario de la Población | 63 |
| Tabla 29. Matriz de Factores..... | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo con la metodología propuesta por ICOMOS para las intervenciones estructurales de edificios históricos. | 7 |
| Figura 2. Ensayo de resistencia del mortero a la tracción. | 7 |
| Figura 3. Planimetría actual. | 18 |
| Figura 4. Ficha de información básica de la iglesia San José. | 20 |
| Figura 5. Esquema de cimentación de la iglesia. | 21 |
| Figura 6. Detalle de muro de adobe. | 21 |
| Figura 7. Geometría del modelo matemático de la iglesia San José. | 22 |
| Figura 8. Espectro de pseudo-aceleraciones | 25 |
| Figura 9. Ejes de elementos Shell. | 27 |
| Figura 10. Fuerzas actuantes en elementos Shell. | 28 |
| Figura 11. Momentos actuantes en elementos Shell. | 28 |
| Figura 12. Esfuerzos en la cara 1 dirección 1, S11. | 28 |
| Figura 13. Esfuerzos en la cara 1 dirección 2, S12. | 29 |
| Figura 14. Esfuerzos en la cara 1 dirección 3, S13. | 29 |
| Figura 15. Esfuerzos en la cara 2 dirección 2, S22 y en la cara 2 dirección 3, S23. | 29 |
| Figura 16. Tensiones del elemento de la carcasa y fuerzas y momentos internos resultantes. | 30 |
| Figura 17. Modos predominantes en X y en Y respectivamente. | 31 |
| Figura 18. Deformación máxima en la combinación 1 (D). | 32 |
| Figura 19. Deformación máxima en la combinación 2 (D+L). | 32 |
| Figura 20. Deformación máxima en la combinación 3, 4 ($D \pm 0.70S_x$). | 32 |
| Figura 21. Deformación máxima en la combinación 5, 6 ($D \pm 0.70S_y$). | 33 |
| Figura 22. Deformación máxima en la combinación 7, 8 ($0.75D + 0.75L \pm 0.525S_x$). | 33 |
| Figura 23. Deformación máxima en la combinación 9, 10 ($0.75D + 0.75L \pm 0.525S_y$). | 33 |
| Figura 24. Diagrama de esfuerzos horizontales S_{11} (kgf/cm ²). | 34 |
| Figura 25. Diagrama de esfuerzos verticales S_{22} (kgf/cm ²). | 34 |
| Figura 26. Diagrama de momentos flexionantes verticales M_{11} (kgf.cm/cm). | 35 |

| | |
|---|----|
| Figura 27. Diagrama de momentos flexionantes horizontales M_{22} (kgf.cm/cm). ... | 35 |
| Figura 28. Diagrama de esfuerzos horizontales S_{11} en combinación crítica (kgf/cm ²). | 36 |
| Figura 29. Diagrama de esfuerzos verticales S_{22} en combinación crítica (kgf/cm ²). | 36 |
| Figura 30. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} en combinación crítica (kgf.cm/cm). | 36 |
| Figura 31. Diagrama de momentos flexionantes horizontales mínimos y máximos M_{22} en combinación crítica (kgf.cm/cm). | 37 |
| Figura 32. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente (kgf.cm/cm). | 37 |
| Figura 33. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente, elevación frontal (kgf.cm/cm). | 37 |
| Figura 34. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente, elevación posterior (kgf.cm/cm). | 38 |
| Figura 35. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente, elevación lateral (kgf.cm/cm). | 38 |
| Figura 36. Diagrama de falla por flexión en los muros en forma horizontal. | 38 |
| Figura 37. Grietas formadas a causa de esfuerzos a flexión en muro lateral. | 39 |
| Figura 38. Grietas formadas a causa de esfuerzos a flexión en muro posterior. .. | 40 |
| Figura 39. Grietas formadas a causa de esfuerzos a flexión en muro frontal. | 40 |
| Figura 40. Diagrama de esfuerzos horizontales S_{11} en combinación crítica de la cobertura (Kgf/cm ²). | 41 |
| Figura 41. Diagrama de esfuerzos verticales S_{22} en combinación crítica de la cobertura (Kgf/cm ²). | 41 |
| Figura 42. Diagrama de momentos flexionantes horizontales M_{11} en combinación crítica de la cobertura (Kgf.cm/cm). | 42 |
| Figura 43-.. Diagrama de momentos flexionantes verticales M_{22} en combinación crítica de la cobertura (Kgf.cm/cm). | 42 |
| Figura 44. Reacciones en la base de la estructura del punto más crítico (ton). | 43 |
| Figura 45. Ubicación de la viga collar de madera externa. | 44 |
| Figura 46. Ubicación del refuerzo de viga collar en el modelo estructural. | 45 |
| Figura 47. Ubicación de las llaves de madera. | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 48. Ubicación del refuerzo de llaves de madera en el modelo estructural. | 46 |
| Figura 49. Ubicación de los muros a reconstruir. | 46 |
| Figura 50. Sustitución de piezas en reconstrucción de muros. | 47 |
| Figura 51. Ubicación del refuerzo con contrafuertes. | 47 |
| Figura 52. Ubicación del refuerzo con contrafuertes en el modelo estructural. | 48 |
| Figura 53. Grieta vertical y diagonal en tímpano. | 48 |
| Figura 54. Grieta horizontal en tímpano. | 49 |
| Figura 55. Propuesta de reforzamiento de tímpano. | 50 |
| Figura 56. Estructura interna del nuevo tímpano. | 50 |
| Figura 57. Pasos para la elaboración de paja barro. | 51 |
| Figura 58. Valores del coeficiente de momentos. | 52 |
| Figura 59. Distribución de muros analizados. | 53 |
| Figura 60. Ubicación de muros analizados, se observa la disminución de la longitud del muro 6B6E. | 55 |
| Figura 61. Diagrama de esfuerzos sobre muro de adobe. | 56 |
| Figura 62. Gráfica de esfuerzo cortante (MPa) vs deriva del muro prototipo. | 57 |
| Figura 63. Diagrama de momentos flexionantes verticales M_{11} , sin refuerzo y con refuerzo. | 58 |
| Figura 64. Diagrama de momentos flexionantes horizontales M_{22} , sin refuerzo y con refuerzo. | 58 |
| Figura 65. Deformación máxima por sismo, sin refuerzo y con refuerzo. | 59 |

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo determinar una propuesta metodológica para el análisis y posterior reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, Ciudad de Tacna, 2021 a fin de preservarlos. Fue una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo. El nivel de investigación es descriptivo-correlacional con un diseño experimental (cuasi-experimental).

Por ello, se estudió el desempeño de los materiales usados, y se obtuvieron los resultados del desempeño de Adobe y sus propiedades físicas y mecánicas. De la configuración de la estructura de la iglesia se determinó el daño existente, y se diagnosticó alineamiento de muros y columnas y la existencia de grietas, fisuras, y desplazamientos visibles.

Se estudió el proceder de edificaciones de adobe respecto a las acciones sísmicas y las fallas típicas que ocurren en sí. Se evaluó aquellas fallas encontradas determinando los sectores más vulnerables frente a caídas o derrumbes.

Se propuso opciones de reforzamiento, del cual el nivel de intervención se determinó conforme a los esfuerzos de diseño de los elementos resistentes usando SAP2000.

Se concluye que el reforzamiento propuesto usando contrafuertes y componentes de madera constituyen una opción factible porque otorga continuidad estructural, previene inestabilidad y logra mantener el equilibrio de monumentos históricos.

Palabras clave: Adobe, evaluación estructural, reforzamiento.

ABSTRACT

This research aims to determine a methodological proposal for the analysis and subsequent structural reinforcement of historic adobe monuments in the Pachía district, City of Tacna, 2021 in order to preserve them. It was an applied research with a quantitative approach. The research level is descriptive-correlational with an experimental design (quasi-experimental).

Therefore, the performance of the materials used was studied, and the results of the performance of Adobe and its physical and mechanical properties were obtained. The existing damage was determined from the configuration of the church structure, and the alignment of walls and columns and the existence of cracks, fissures, and visible displacements was diagnosed.

The adobe building procedure was studied with respect to seismic actions and the typical faults that occur in themselves. Those faults found were evaluated, determining the sectors most vulnerable to falls or collapses.

Reinforcement options were proposed, of which the level of intervention was determined according to the design efforts of the resistant elements using SAP2000. It is concluded that the proposed reinforcement using buttresses and wooden components constitute a feasible option because it provides structural continuity, previous instability and manages to maintain the balance of historical monuments.

Keywords: Adobe, structural evaluation, reinforcement.

I. INTRODUCCIÓN

Dada la historia de nuestra nación, las primeras estructuras, que datan de la época del Virreinato, fueron construidas con material de adobe o ladrillo por quincha, muchas de las cuales hoy en día aún se preservan, pero con daños estructurales a causa de movimientos telúricos que las han afectado.

La ciudad de Tacna está incluida también como una ciudad con alto riesgo sísmico, y con regulares niveles de frecuencia de registro de eventos sísmicos, debido a su ubicación dentro de la Placa de Nazca, por lo cual, es requerido que se cumpla con las normas sismo resistentes que aseguren la protección de las infraestructuras, y ello no atente contra quienes lo habitan.

Tal es el caso por ejemplo de la Iglesia de Pachía en Tacna, cuya estructura es de material de adobe y cuenta con una antigüedad de más de 160 años.

Por ello, considerando que la Iglesia de Pachía presenta daños estructurales debido a los registros sísmicos a los cuales se ha expuesto durante los más de 100 años, es que se requiere una intervención urgente, a fin de preservar dicho monumento declarado Patrimonio Cultural.

En este proyecto de tesis se realizó la evaluación y propuesta metodológica de análisis y reforzamiento estructural de los monumentos históricos de adobe con aplicación en la iglesia San José de Pachía, siendo este un hecho arquitectónico muy importante dentro del departamento de Tacna, por el valor cultural que posee y el contexto histórico que representa.

La conservación de este monumento histórico incluye tener que evaluar la condición existente en la que se encuentra la edificación, para esto es fundamental analizar la documentación que posibilite proponer un método apropiado. La importancia de la evaluación estructural de los monumentos históricos se basa en la necesidad de saber su comportamiento en condiciones de servicio, como también en condiciones de falla. A raíz de esto se puede plantear propuestas de reforzamiento estructural para asegurar la estabilidad y la seguridad de la construcción.

Por lo que en el presente proyecto de tesis se elaboró una propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento estructural, que permita disminuir la vulnerabilidad sísmica en edificaciones de adobe aplicado a la Iglesia de Pachía en la provincia de Tacna, y cuya metodología pueda ser aplicada en diferentes edificaciones con características similares. En tal sentido, la propuesta metodológica elaborada, permitirá ofrecer alternativas procedimentales para el análisis y reforzamiento estructural, que mejoren la funcionalidad y comportamiento de tales tipos de estructuras, haciendo frente a la vulnerabilidad sísmica.

A raíz de lo explicado líneas arriba se formula el siguiente problema general, ¿Cuál sería la propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021?, del cual se originan los problemas específicos detallado a continuación:

- ¿Cuáles son los sistemas de refuerzo estructural adecuados en monumentos históricos de adobe?
- ¿Cuál sería la mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos de adobe?
- ¿Cuál es el costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021?

Este trabajo se justifica en 03 planos, el primero en un plano teórico, dado que permite que se amplíe las teorías de estructuras, en este caso aplicados a edificaciones de adobe, y sean revisadas, a fin de aplicarlas en el caso de estudio. En un plano metodológico, la investigación permite aplicar nuevas metodologías de reforzamiento de estructuras, en este caso, con una aplicación sobre monumentos históricos, el cual, a partir de los procedimientos que se establezcan, podrán servir de referencia para futuros investigadores que analicen problemáticas similares y/o requieran resolver problemas estructurales.

En un plano social, la investigación permitirá el logro de una propuesta a favor de la región Tacna, dado que se contará con alternativas para hacer frente a la vulnerabilidad de las estructuras de adobe de monumentos de la ciudad de Tacna, con lo cual, se salvaguardará la integridad de la edificación y de quienes la habitan o utilizan. De este modo, se preservará la Iglesia de Pachía y se cuidará la historia de la ciudad.

Para responder a los problemas planteados se propone como objetivo general Determinar la propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, Ciudad de Tacna, 2021, de igual forma se plantea los objetivos específicos siguientes:

- Determinar los sistemas de refuerzos estructurales adecuados para monumentos históricos de adobe.
- Determinar la mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos de adobe.
- Determinar el costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021

Como último punto se expone que la hipótesis general que se planteó fue que la propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad Tacna, 2021 será cualitativa-analítica. Conjuntamente se tiene que sus hipótesis específicas son:

- Los sistemas de refuerzo estructural adecuados en monumentos históricos son los que no alteren su forma arquitectónica, como las llaves de madera y vigas collar.
- La mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos es un modelo matemático que considere características del suelo, fuerzas sísmicas y resistencias de los materiales.
- El costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe es económico, debido al bajo costo de los materiales de refuerzo

II. MARCO TEÓRICO

Como antecedentes investigados, se ha citado autores internacionales, nacionales y locales los que con su aporte avalan la problemática planteada.

A nivel Internacional, Moreta (2015), en su tesis “Evaluación estructural mediante el FEMA 154 del NEC y propuesta de reforzamiento del centro educativo Juan Pablo I del D.M.Q.”, en la Universidad Central del Ecuador, en Quito describe que para la ejecución de la tesis, se recopiló gran número de información respecto de la estructura y a partir de esta información se estableció un modelo matemático del edificio en el software ETABS v9.7.4, en este modelo se determina que el edificio presenta varios defectos estructurales y que necesita la aplicación de refuerzo estructural. Finalmente, se propusieron dos posibles alternativas de refuerzo, mediante un análisis técnico y económico se determinaron las alternativas más factibles: utilizar muros enchapados, recrecido de columnas y colocación de fibras de vidrio, que mejoraron significativamente el comportamiento de la estructura.

A nivel Nacional, Esquivel (2009), elaboró la tesis “Sistemas de refuerzo estructural en monumentos históricos de la región Cusco” de la PUCP en Lima, por medio del registro y evaluación de las clases de refuerzo estructural que se son aplicados en la restauración de una iglesia construida con adobe, la elección y aplicación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se usaron en el proceso de restauración, y evaluación de la efectividad de tales refuerzos estructurales. El autor concluye que el refuerzo estructural que fue utilizado para los muros adobe son las llaves de madera rolliza y vigas collar.

Además, Quispe & Rondón (2012), en su tesis “Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe, aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos”, de la PUCP en Lima plantearon una propuesta que consistió en 03 etapas: Identificación y selección de mejor alternativa de reforzamiento para la edificación existente de adobe, Análisis y diseño de la alternativa seleccionada, y Presentación del proyecto a la comunidad. Se realizó un Análisis y Diseño del Local Escolar de los muros de adobe con la técnica de la Geomalla y Diseño Estructural de Techo de Madera. Se concluyó que la malla electrosoldada es la más económica, dado el bajo costo y el procedimiento de instalación en el cual no es

requerido de refuerzo de cimentación y la cantidad de perforaciones a realizar en el muro es mucho menor.

A nivel local, Avendaño (2017), realizó la tesis “Evaluación de las tipologías de intervención en monumentos históricos tipo iglesia: caso específico para la Catedral de Tacna”, de la UPT. Para ejecutar la investigación, se recopiló información de 03 casos similares en los que se realizó un análisis estructural del edificio histórico similar a una iglesia, y se encontró que uno de ellos era similar al caso de investigación. Por eso se implementó el análisis estructural correspondiente al domo de la catedral, utilizando el software SAP 2000, a través de, este mecanismo de elementos finitos. Después de realizar el análisis anterior se pudo concluir que el domo de la catedral tiene fallas en número considerable, para esto, se hizo una propuesta para mejorar y reforzar las áreas de falla con material Geosteel 2000. Gracias al uso de este material, la estructura en análisis, tuvo una notable mejoría en su resistencia. Finalmente, se concluye que actualmente es de considerable valor reforzar el domo de la catedral, además, el material que se propuso, posee todas las características para que la resistencia de la infraestructura sea óptima.

Para el respaldo de esta tesis se debe conocer bases teóricas como:

Adobe; Se trata de una unidad de mampostería tradicional, que consta de arena, tierra y paja. Se emplea en la construcción de muros.

La elaboración del adobe precolombino se hacía usualmente, mezclando tierra y paja entera sin cortar el mismo que se ubicaba en forma de espiral, como señala el cronista Garcilaso de la Vega: los Incas producían los adobes tan extensos como pretendían que fuera el espesor de la pared. Se hallaron adobes que oscilan entre 0.45 metros y 1.10 metros de longitud, de 0.10m a 0.29m de ancho y de 0.60m a 0.12m de altura (Figura 3.1.). En el periodo Colonial, la composición del adobe cambio, debido a la adición de estiércol de ganado, la colocación de paja picada y la reducción de cantidad de grava. Los tamaños en la sierra usualmente son de 0.45m a 0.61 m de longitud, de 0.19m a 0.30m de ancho y entre 0.10m a 0.16m de altura. La resistencia a la compresión que se consideró para la región del Cusco, procedió de muestras consignadas de la Iglesia de San Jerónimo de la región del Cusco. Estas resistencias a compresión fluctúan de 10.98 kg/cm² a 14.87Kg/cm².

Propuesta metodológica; corresponde a una propuesta de una serie de mecanismos o procedimientos de naturaleza racional que son utilizados para lograr objetivos sobre una investigación científica.

La metodología requiere del análisis teórico y sistemático de diversos procedimientos aplicados a un campo de investigación.

Reforzamiento del Patrimonio Cultural; según el RNE E.080 (2017), las labores para restaurar, recuperar, rehabilitar, proteger, reforzar y/o mejorar los bienes inmuebles que forman parte del Patrimonio Cultural de la Nación construido con tierra tiene que estar incluido en un Plan de Intervención que debe desarrollar soluciones técnicas que satisfagan con las consideraciones detalladas a continuación:

- Garantizar la vida de los residentes y proteger los bienes culturales que existen en su interior.
- Mejorar la durabilidad de la construcción que es tradicional empleando tecnologías modernas y diseños basados en el desempeño (refuerzo).
- Conservar las técnicas y materiales tradicionales de alto valor dentro de un rango apropiado y resaltar su valor científico e histórico.
- Preservar la autenticidad cultural originaria reduciendo la intervención a lo absolutamente necesario.
- Utilizar refuerzos que sean compatibles y reversibles para conservar los materiales originarios de acuerdo a las condiciones climatológicas y que no dañen el material originario cuando ocurran sismos.
- Admitir labores posteriores de mantenimiento y conservación.
- Conservar la documentación técnica de las intervenciones, a cargo de entidades competentes que ayuden a simplificar el acceso al archivo sobre las labores de intervención que se realizaron.

Considerando las recomendaciones ISCARSAH de ICOMOS (2003b) un proyecto de intervención del patrimonio arquitectónico puede dividirse en cuatro aspectos primordiales como se mencionan (Fig. 1): Obtención de datos / Comportamiento estructural / Diagnóstico y seguridad/ Medidas de intervención



Figura 1. Diagrama de flujo con la metodología propuesta por ICOMOS para las intervenciones estructurales de edificios históricos.
Fuente. Lourenço (2006)

Propiedades mecánicas de los materiales; La resistencia a la compresión de una unidad es un indicador de la calidad de la unidad, no un indicador de la calidad general. Cuanto mayor sea la resistencia de la unidad, mayor será la durabilidad de esta al descubierto. En las unidades de adobe esta resistencia se puede alcanzar llevando a cabo la prueba de compresión axial, esta se hace en cinco unidades y agregando capping en cada superficie (Figura 2), donde "fo" es la resistencia última proveniente de entre la carga máxima resistida y el área de la unidad

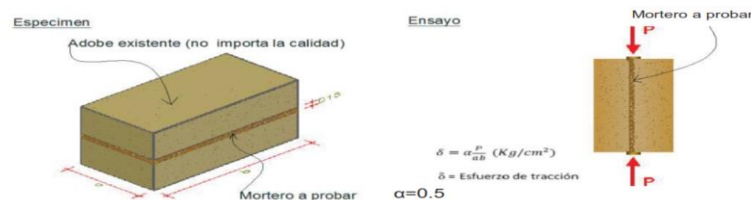


Figura 2. Ensayo de resistencia del mortero a la tracción.
Fuente. (MVCyS, 2017)

Vulnerabilidad Sísmica; Peralta (2002), precisa que se puede definir la vulnerabilidad sísmica como el nivel de riesgo que uno o un conjunto de edificaciones, sufren deterioros totales y/o parciales, depende de la magnitud. Así también, los bienes materiales y vidas, que podrían traer como consecuencia la funcionalidad a la presentación de un movimiento telúrico de una determinada magnitud, tiempo o periodo determinado y un lugar definido.

Desempeño sísmico; Se recomienda evaluar el desempeño sísmico con base en el grado de daño que pueda ocurrir en la edificación debido al impacto del sismo en el sistema estructural y componentes no estructurales. El proceso incluye clasificar el daño moderado de la estructura en función de los resultados del análisis de pushover.

Análisis Estructural; Según Hibbeler (2010), indica que se debe utilizar ecuaciones de la resistencia, para que se pueda hallar deformaciones y factores de tensión, los cuales, afectan a una estructura particularmente resistente, ya sean edificaciones o estructuras resistentes.

Hibbeler (2010), sostiene que en función de los esfuerzos se pueden calcular directamente los desplazamientos y las tensiones. Respecto al método de los elementos finitos se procura definir de forma directa el traslado sin que exista el requerimiento de realizar cálculos de los esfuerzos internos. Una estructura que ha sido de forma correcta diseñada, además de ser pragmática y accesible, requiere que se cumpla de forma obligatoria con dos criterios de seguridad:

- Criterio de resistencia, que consiste en la comprobación que los puntos del material no sobrepasen las tensiones máximas admisibles.
- Criterio de la rigidez, que se fundamenta en la comprobación según las fuerzas y solicitudes actuantes respecto a los desplazamientos y deformaciones de la estructura, para que no sobrepasen ciertos límites.

Refuerzo Estructural; según Rosero (2013), las edificaciones son diseñadas y construidas con el fin que tengan una vida útil, la cual, la posición dentro de los parámetros exigidos de servicio y resistencia y de una forma segura teniendo en cuenta todos los aspectos de las capacidades estructurales en diseño, mantenimiento, operación y construcción, no obstante estas ya no se satisfacen en el momento que los elementos estructurales que tiene la edificación no dan cumplimiento de los requerimientos ínfimos estructurales de estabilidad y de seguridad, fallas de pandeo, existencia de fisuras o cambio de uso de la edificación y que influyan de manera negativa en la capacidad resistente que se espera y provisionalmente conducen a su culminación.

Patología estructural en edificaciones de adobe; según Bartolomé (2016), las consecuencias comunes que ocasionan los sismos de gran intensidad en las casas típicas de tapial y/o adobe se detallan a continuación:

1. Falla provocada por acción sísmica perpendicular al plano del muro.
2. Falla por carga sísmica coplanar.
3. Falla en la base de la zona triangular de los tímpanos.
4. Colapso total.

En cuanto a la compatibilidad del adobe con respecto a otros materiales para el reforzamiento de monumentos históricos, se debe considerar que al combinarlo no se deteriore ni existan problemas entre estos. A continuación, se describirán la compatibilidad del adobe con tres tipos de materiales (madera, acero, y concreto armado).

Compatibilidad del adobe con la madera; la madera es un material anisotrópico, ligero, flexible, de baja densidad y fácil de usar. Entre sus características, tiene mayor resistencia a la compresión, menor resistencia a la tracción y moderada resistencia al cizallamiento. Además, por ser fibroso, tiene una mayor dureza que el Adobe, y su superficie permite cierto grado de adherencia a la tierra, lo que permite su uso integral con Adobe. En consecuencia, la madera se considera un material compatible con el adobe (Esquivel, 2009).

Compatibilidad del adobe con acero; los tensores de acero se utilizan como refuerzo horizontal y vertical de la pared. Esta tecnología se considera una solución adecuada y también cumple con el requisito de reversibilidad. La desventaja de colocar estos refuerzos es la pérdida de tensión con el tiempo debido al relajamiento del acero. (Leroy, et al, 2000) propuso una alternativa moderna al uso de acero como refuerzo en las paredes. En los monumentos históricos del Cusco solo se utilizan las barras horizontales superiores de acero para los muros los que evitan el volteo del muro debido a las cargas del techo y/o algún evento sísmico y los que también aseguran la continuación del plano, lo que impide que las secciones de pared que producen las fisuras, se salgan del mismo plano (Esquivel, 2009).

Compatibilidad del adobe con concreto armado; desde la aparición, se puede asegurar que la armadura de hormigón armado aportará resistencia y seguridad a la estructura, y en algunos casos se pueden omitir reparaciones más coherentes. Por tanto, es importante tener en cuenta que el hormigón armado es un material homogéneo e isotrópico, mientras que los edificios de mampostería son heterogéneos y anisotrópicos. A pesar de estas diferencias, el hormigón armado todavía se utiliza con demasiada facilidad, pero su eficacia y coexistencia en la reparación de problemas son a veces dudosas (Esquivel, 2009).

Baca (2010), implantó un proceso para el reforzamiento, el cual es descrito a continuación:

- a. Revisión de la estructura.
- b. Analizar la estructura existente y diagnosticar las razones que requieran el reforzamiento
- c. Realizar la ejecución del proyecto de refuerzo, para analizar la estructura en función de las variadas técnicas a fortalecer, dependiendo de los modelos de refuerzo (estabilidad, tensión, corte, flexión, compresión, etc.) solicitados para los componentes.

Las técnicas de reforzamiento de edificaciones de adobe existentes que aportan resistencia, rigidez y capacidad de deformación ante un evento sísmico pueden ser los siguientes:

Refuerzo de muros de adobe con malla exterior natural; el material de refuerzo, en este caso, es una malla compuesta por cañas, como elementos verticales, y por sogas tipo “cabuya” como elementos horizontales, en ambos lados del muro. La caña y la soga “cabuya” son conectadas a través del muro por soguillas de yute de diámetro pequeño. La caña se debe colocar verticalmente cada 50 cm a ambos lados del muro y la soguilla a 40 cm en la dirección horizontal (PNUD, 2008). Este refuerzo incrementa la resistencia a la tracción de la estructura de adobe.

Rehabilitación con elementos de madera confinantes; De acuerdo a (Sísmica, 2010) consiste en la instalación de tablas de madera (horizontales y verticales) en la cara exterior e interior de los muros con el fin de aumentar la resistencia de los muros y mantener la consistencia y unidad de la estructura. Las tablas de madera de Grupo B (PADT, REFORT, 1984) se interconectan mediante pernos pasantes y mediante puntillas convencionales clavadas sobre las tablas hasta penetrar los muros.

Viga collar de madera y barro; (Vargas, Torrealva, & Blondet, 2007) generalmente el sistema techo se apoya simplemente sobre la estructura de adobe generando esfuerzos locales. Una viga collar de madera a lo largo de todos los muros lograría transmitir de manera perimetral el peso total del techo evitando concentraciones de esfuerzos.

Viga collar de concreto armado; su función es amarrar todas las paredes de tal manera que la casa se comporte como una sola unidad en caso de movimientos sísmicos. (Quispe & Rondón, 2012)

Viga collar de madera externa; consiste en el reforzamiento con viga collar de madera la que se compone de dos tablones colocados en el exterior y en el interior de los muros a la altura de las puertas y ventanas. Esto con la finalidad de formar una sola unidad a través del efecto “aro” que proporciona esta viga externa y que al mismo tiempo produce un efecto de diafragma parecido al de un techo rígido uniendo firmemente los muros (Kuroiwa, 2004) Este tipo de reforzamiento es apropiado para edificaciones existentes de adobe sobre todo en zonas rurales. Las dos tablas de madera paralelas son de 12”x1” ó 8”x1” de sección transversal y con una longitud máxima de 5 m. Estas maderas son conectadas con ángulos de metal de 90° con un espesor mínimo de 1/16”.

Contrafuertes o mochetas; cuando los muros de adobe son muy largos, se recurre a una variante, que consiste en introducir elementos perpendiculares al muro, que unen la zapata con el muro. Estos modifican el comportamiento del muro de tal forma que este ya no sea un voladizo sino una losa apoyada en tres bordes, con un comportamiento importante en la dirección horizontal. (Quispe & Rondón, 2012)

Mallas electrosoldadas como refuerzo en construcciones de adobe; la propuesta de (Quiun, San Bartolomé, Zegarra, & Giesecke, 2008) de utilizar la malla electrosoldada como refuerzo de estructuras de adobe consiste en colocar franjas de mallas electrosoldadas en las esquinas y parte superior de los muros, clavadas e interconectadas entre sí, las que luego se recubren con mortero de cemento y arena.

La geomalla como refuerzo en construcciones de adobe; Según J. Quispe & Rondón (2012) consiste en incorporar la geomalla a lo largo de todos los muros de adobe amarradas con cintas plásticas. Se realizan perforaciones cada 30cm en el muro por donde se introduce la rafia o nylon para amarrar la geomalla en ambas caras, siendo esta continua en esquinas y bordes exteriores e interiores. La geomalla debe estar anclada a su propia cimentación y a una viga collar de madera o de concreto reforzado con fierro.

Reforzamiento con tiras cortadas de llantas radiales usadas; este sistema de reforzamiento consiste en colocar tiras de llantas radiales de aproximadamente 6.0 m de largo por 0.4 m de ancho. Estas tiras de llanta son colocadas de forma horizontal (espaciados cada 0.6 m en sentido vertical) y vertical (espaciadas cada

1.2 m en sentido horizontal) alrededor de todos los muros de adobe tanto en la parte interna como en la parte externa anclándolas en la parte de abajo a través de una cimentación y en la parte de arriba con la viga collar. (Charleson, 2011)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo ya que se realizan cálculos estructurales cuyos resultados serán extraídos del software, que llevará como respaldo el desarrollo del marco teórico.

Según (ÑAUPAS, 2014) existen 02 tipos de investigación principales las cuales son:

- Investigación básica
- Investigación aplicada

Esta investigación es de tipo aplicada, puesto que está orientada a plantear una propuesta para resolver un problema específico que es analizar y reforzar estructuralmente monumentos históricos de adobe como la Iglesia de Pachía, basándose en conocimientos de la investigación básica ya establecidas.

Es de nivel descriptivo-correlacional puesto que se llega a evaluar la relación que existe entre las variables. En este caso explicando como se comporta un variable (monumento histórico) en función de otra (propuesta de reforzamiento estructural)

3.1.2. Diseño de investigación

Según Hernández Sampieri et al. (2006), esto se refiere al plan que se tiene que continuar con la finalidad de recolectar información que se necesita para la investigación la cual se enfoca en tipos como experimental y no experimental.

Esta investigación tiene un diseño experimental, debido a que se realizarán cálculos estructurales orientados a las variables dependientes e independientes.

Según Carrasco Díaz (2006) el diseño cuasi experimental es aquello que no se asigna al azar los sujetos que son parte de un grupo controlado y experimental, ni son asociados debido a que los grupos de trabajo ya están formados.

Con base en lo escrito en el párrafo anterior se entiende que la presente investigación será cuasi experimental porque se manipulará al menos una variable independiente, empleándose las teorías, manuales y lineamientos que han existido antes de este proyecto, y se propondrá un nuevo modelo en base a estos.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente

X: Monumentos histórico

Variable Dependiente

Y: Análisis y Reforzamiento estructural

Definición Conceptual:

Monumentos Históricos: Según (INAH, 2020) son los bienes que son parte de la historia de la nación, por declaratoria respectiva o declaración de ley, siendo este último los construidos en los siglos XVI al XIX como templos, arzobispados, casas culturales, seminarios, conventos. Así como cualquier otro que tenga la finalidad de pertenecer a la administración, divulgación, enseñanza o práctica de culto religioso, o uso de autoridades civiles o militares.

Análisis y Reforzamiento estructural: Según (Hibbeler R. , 2010), el análisis estructural se refiere a la obtención de esfuerzos internos y deformaciones de una edificación, el cual se basa en ecuaciones de la mecánica de materiales. Según (Peña Modragón & Lourenco, 2012), el reforzamiento estructural consiste en modificar la estructura de una edificación con la finalidad de administrarle mayor resistencia frente a una carga externa, generalmente sismos.

Definición Operacional:

De la Variable independiente: La iglesia presenta dos torres y una nave rectangular con una sala exterior adicional a la derecha. El material empleado para la construcción es de adobe en las paredes y madera en las coberturas, la cual esta última es trapezoidal.

De la variable dependiente: El análisis se desarrolla con el modelo estructural de la iglesia con sus respectivos parámetros y consideraciones de simulación. El reforzamiento consiste en aportar más capacidad a la estructura con el objetivo de soportar un sismo de diseño según el reglamento nacional de edificaciones.

Indicadores:

| V. Independiente | Dimensiones | Indicadores |
|-----------------------|------------------------|-------------------|
| Monumentos Históricos | Propuesta metodológica | Adobe estructural |

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| | para el análisis y reforzamiento estructural | Cobertura de madera Más de 125 años |
| V. dependiente | Dimensiones | Indicadores |
| Análisis y Reforzamiento estructural | Análisis Estructural Reforzamiento estructural Costo - Beneficio | Fuerza cortante Desplazamiento lateral Periodos Distorsión |

Fuente. Elaboración propia.

Escala de medición:

La escala es de razón.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población:

Según (Valderrama Mendoza, 2013) se define que la población “está formado por un conjunto de individuos o cosas las cuales poseen características parecidas y a la vez son observables”.

Por lo que para esta investigación se tiene como población a los monumentos históricos de adobe del distrito de Pachía.

Muestra:

Según (Valderrama Mendoza, 2013) se define que la muestra “es un conjunto representativo de la población”.

Por lo que para esta investigación se tiene como muestra la Iglesia de Pachía.

Muestreo:

Según (Moran Delgado & Alvarado Cervantes, 2010) indican que en el Muestreo No probabilístico, los objetos que determinan en la muestra son elegidos a interés del investigador. Este muestreo no permite generalizar los datos de la población Por lo que esta investigación utiliza el muestreo no probabilístico, debido a que se elige la muestra a conveniencia del investigador, puesto que el monumento objeto

de estudio fue la Iglesia de Pachía que se eligió ya que era la más representativa, importante y la que necesita con mayor urgencia de un reforzamiento. Esto se decidió de dicha manera, por lo que se quiere conocer las fallas en la estructura y proponer un nuevo reforzamiento.

Unidad de análisis:

Muros y techos de la Iglesia de Pachía

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Técnicas:

Se empleará como técnica de recolección de datos las siguientes:

- Observación Experimental, a diferencia de la no experimental, esta, elabora datos en condiciones que el investigador tiene controladas, ya que, el investigador puede manipular las variables
- Análisis Documental, se refiere a la recolección de datos de fuentes secundarias, ya sean, libros, revistas, y diarios que son utilizadas como referencia, para la obtención de datos referentes a las variables de estudio

Instrumentos:

Instrumentos de Recolección de datos:

Como instrumento se usará la Hoja o ficha de Registros de datos. Así como también se usará herramientas de consulta con concordancia con el tema desarrollado, ya sea en manuales, normas o bibliografía respectiva.

Instrumentos para el procesamiento de la información:

Para el procesamiento de la información, se hará uso de softwares ingenieriles

Validez del Instrumento:

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) la validez permite asegurar que el instrumento del que se hace uso es capaz de medir la variable de la que se requiere información.

Por lo tanto, la validez del estudio de investigación se medirá de acuerdo a la evaluación de juicio de expertos.

Confiabilidad del instrumento:

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) indican que la confiabilidad que proporciona el instrumento será segura, si al aplicarlo varias veces proporciona el mismo resultado.

3.5. Procedimiento:

Inicialmente se realizó la recolección de información de la Iglesia San José de Pachía, el cual comprendió la visita a campo y las consultas respectivas a la Dirección Desconcentrada de Cultura de Tacna, donde se obtuvieron planos de arquitectura sin mucho detalle. Por lo que se tuvo que complementar la información con otra visita a la iglesia. Se obtuvieron fotos, donde se observa el deterioro interno de los muros. Se procedió a llevar toda la información a planos de evaluación y diagnóstico de la estructura, luego se realizó el modelado en el software SAP2000 con parámetros de referencias de otras iglesias similares, se realizó el análisis y posterior reforzamiento según lo investigado planteándose dos alternativas para la evaluación costo – beneficio. Se finaliza con los planos de reforzamiento y las conclusiones a la investigación.

3.6. Método de Análisis de datos:

Se utilizará la recolección de resultados de las muestras de las investigaciones que se tomaron para la evaluación.

Por consiguiente, para la actual investigación se realizó el análisis de datos basándose en una ficha de análisis cualitativa (Anexo N° 01), con el fin de recopilar datos del monumento histórico estudiado para poder analizarlo estructuralmente y así realizar la propuesta metodológica para su reforzamiento estructural.

3.7. Aspectos éticos:

La investigación se realiza en cumplimiento con los principios éticos para la garantía de transparencia y confiabilidad de la información recolectada, lo mismo que otorga veracidad al estudio.

Para esta investigación se cuenta con la revisión del turnitin resultando el porcentaje de similitud de 15.00 %.

FICHA DE INFORMACIÓN BÁSICA

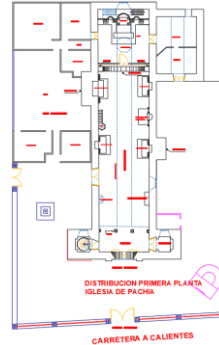
Inmueble declarado patrimonio cultural de la nación
 Inmueble en presunción de patrimonio cultural de la nación

| |
|---|
| X |
| |

Identificación



Planta



Nombre del edificio:

IGLESIA DE PACHÍA

Propietario actual:

| | |
|------------------|---|
| Gobierno central | |
| Gobierno local | |
| Iglesia | X |
| Persona natural | |
| Persona jurídica | |

Localización:

TACNA

Departamento:

TACNA

Provincia:

TACNA

Distrito:

PACHÍA

Dirección:

Av. Arias y Araguez s/n carretera a Pachía

Nombre:

Obispado de Tacna y Moquegua

Dispositivo legal:

R.M. 0928-80-ED (23/07/80)

Tipo de arquitectura:

| | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------|-------------------------------------|---------|--------------------------|
| Civil pública | <input type="checkbox"/> | Civil domést. | <input type="checkbox"/> | Religiosa | <input checked="" type="checkbox"/> | Militar | <input type="checkbox"/> |
| Uso original | Iglesia | Uso actual | Iglesia | | | | |

Año de construcción:

| | | | | | |
|----------|-------------------------------------|--------|--------------------------|---------|--------------------------|
| Siglo: | <input type="checkbox"/> | S. XVI | <input type="checkbox"/> | S. XVII | <input type="checkbox"/> |
| S. XVIII | <input checked="" type="checkbox"/> | S. XIX | <input type="checkbox"/> | S. XX | <input type="checkbox"/> |

Descripción del inmueble:

| | | | |
|---|--|----------------|---|
| Descripción de la fachada | | Nro. de pisos: | 1 |
| Elementos arquitectónicos | | Descripción | |
| De acuerdo a la relación de posición torre - nave esta se determina de la siguiente manera: | | | |

| Descripción del interior | | | |
|---|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Nave de un solo cuerpo, diferenciando el altar con la sala de fieles por medio de un arco de madera, que remata en dos pilastras del mismo material. El altar principal es de madera con aplicaciones de molduras en los diferentes niveles. | | | |
| Descripción de los materiales constructivos | | | |
| Elementos | Descripción | Estado B/R/M | Observaciones |
| Cimientos | Piedra | R | Presencia de humedad |
| Muros | Adobe | R | Presencia de rajaduras |
| Pisos | Madera | R | |
| Techos | Madera, cubierta de calamina | R | Filtraciones de agua por lluvias |
| Pilastras | Madera | B | |
| Revestimiento | Torta de barro | R | Rajaduras horizontales y vverticales |
| Balcones | | | |
| Puertas | De madera, pino óregon | R | |
| Ventanas | Madera | R | |
| Rejas | Metálica | B | |
| Otros | | | |
| IISS | | | |
| IIEE | | | |
| Reseña histórica | | | |
| La construcción data del siglo XVII. EL 13 d eagosto de 1868 un terremoto asoló la región sur del Perú, y al templo del distrito, originando serios daños en una de sus torres principalmente. | | | |
| Observaciones | | | |
| Se requiere una nueva evaluación de la estructura de la iglesia y determinar el grado de deterioro de la misma, tanto por los sismos ocurridos así como el paso del tiempo. Presenta fisuras en muros, deterioro en los elementos de madera, presencia de humedad en muros, filtraciones de agua en partes del techo del ambiente contigua a la nave principal. | | | |

*Figura 4. Ficha de información básica de la iglesia San José.
Fuente. Elaboración propia.*

4.1.2. Descripción estructural

Aunque inicialmente se planteó realizar calicatas para la obtención de parámetros de suelo, y dimensiones de la cimentación, esto no fue posible debido a la negativa por parte de la autoridad encargada de la iglesia, sin embargo, se pudo obtener un EMS cercano a éste y dimensiones obtenidas de la iglesia.

Por ende, la cimentación consta de un cimiento de material de relleno y piedras con mortero de barro a una profundidad de 0.70m a 0.85m, y un ancho igual al espesor del muro.

El sobrecimiento es del mismo material que el cimiento, con altura variable de 0.00m a 0.50m.

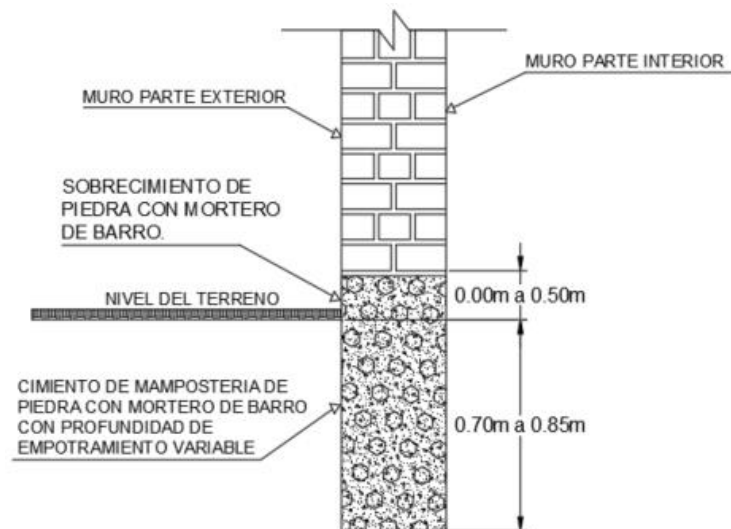


Figura 5. Esquema de cimentación de la iglesia.
Fuente. Elaboración propia.

Los muros de adobe cuentan con unidades de 50x30x15 con un aparejo aparentemente regular, además de estar unido mediante mortero de barro de 2cm en promedio, y tener un ancho total de 1.00m.

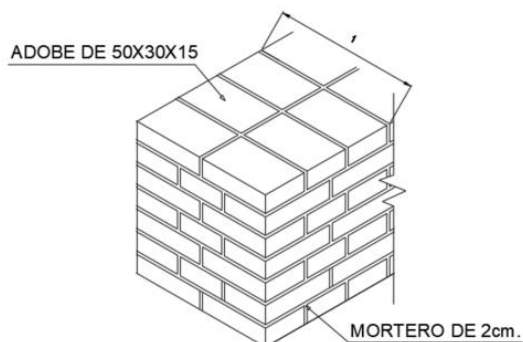


Figura 6. Detalle de muro de adobe.
Fuente. Elaboración propia.

Los contrafuertes existentes se encuentran ubicados muy distantes de otro muro de arriostramiento, por lo que se prevé una falla por empujes ortogonales al muro. La iglesia posee cuatro columnas circulares de 25cm de diámetro, los cuales soportan el mezanine que se encuentra en la parte superior del ingreso. Estos elementos son muy esbeltos.

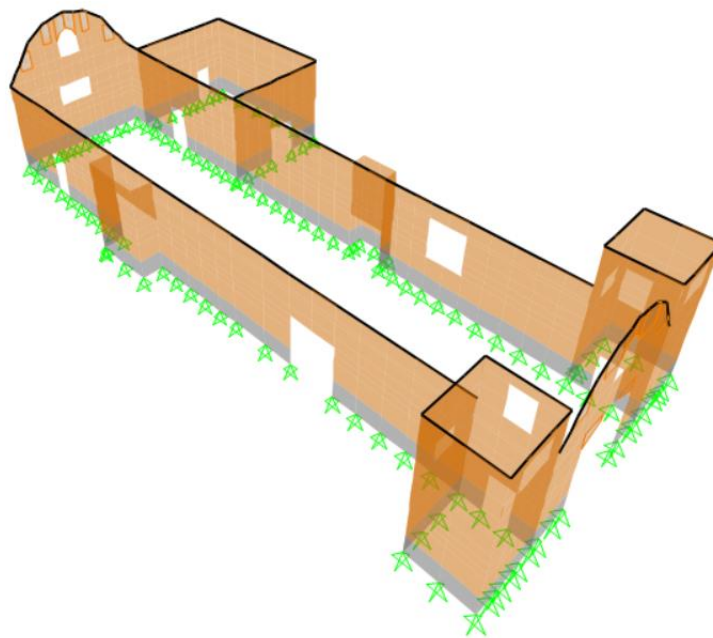
La cobertura está compuesta por un tijeral trapezoidal con perfiles de madera de 4"x4" y de 4"x6", cubierto con capas de paja-barro, este tijeral estará cada 67cm a lo largo de todo el techo de la iglesia.

4.1.3. Análisis estructural

Tiene por objetivo principal la predicción del comportamiento de la edificación ante diferentes cargas (sean muertas, vivas, de viento o de sismo), para obtener la demanda de esfuerzos que requieran ciertos elementos como muros, vigas, losas, cimentaciones.

Para realizar un correcto modelamiento estructural se debe tener claro la geometría arquitectónica y estructural, patrones de agrietamiento, y las propiedades mecánicas de los materiales.

Por ello, el software a utilizar será el SAP2000, con el cual mediante elementos shell, frame y joint se puede tener un adecuado resultado. Los elementos tipo shell se usaron para modelar los muros de adobe y la cubierta, estos cuentan con 4 nodos y 6 grados de libertad en cada uno, los elementos frame se usaron principalmente en los tijerales, los elementos joint se usaron en las bases de los muros, y tijerales los cuales según la bibliografía consideran muy poco aporte ante momentos por lo que se modelaron como apoyos fijos. Es importante un adecuado mallado interno y externo para la transmisión de esfuerzos.



*Figura 7. Geometría del modelo matemático de la iglesia San José.
Fuente. Elaboración propia.*

4.1.4. Análisis de cargas

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, las normas técnicas: E-020, E-030 y E-080 (cargas, sismorresistente, adobe), el modelo estructural estará sometido a las siguientes fuerzas.

La carga muerta representa el peso propio de la edificación multiplicado por un volumen, es decir todo aquello que se considera permanente en su vida útil, estos pueden ser estructurales como no estructurales. Para esta edificación solo se consideran las cargas de muros de adobe y la cobertura de madera.

Tabla 1. Medrado de cargas muerta por gravedad.

| | Descripción | Carga |
|--------------|-------------------------|------------------------|
| Carga muerta | Peso específico (Adobe) | 1500 kg/m ³ |
| | Cobertura de madera | 225 kg/m ² |

Fuente. Elaboración propia.

Según el artículo 7 del RNE E.020 (2006), la carga viva para techos con cobertura liviana será de 30kgf/m², por motivos de seguridad para el caso de análisis y diseño de esta iglesia se consideró un valor de 50kgf/m².

Tabla 2. Medrado de cargas viva.

| | Descripción | Carga |
|------------|--------------------|----------------------|
| Carga viva | Carga de azotea | 50 kg/m ² |

Fuente. Elaboración propia.

El análisis por cargas de viento se realizará solo para la cobertura liviana, debido a que ante los muros de adobe predominará la acción sísmica.

Tabla 3. Medrado de cargas de viento.

| | Descripción | Carga |
|----------------------|--------------------|--------------------------|
| Carga de viento 1 | Tramo 1 | 18.42 kg/m ² |
| | Tramo 2 | -18.42 kg/m ² |
| | Tramo 3 | -15.79 kg/m ² |
| Carga de viento 1 | Tramo 1 | -7.90 kg/m ² |
| | Tramo 2 | -18.42 kg/m ² |
| | Tramo 3 | -15.79 kg/m ² |

Fuente. Elaboración propia.

Se analizó mediante fuerzas estáticas y dinámicas la iglesia con la carga sísmica que indica la norma E.080 Adobe y E.030 Diseño sismorresistente. A continuación, se describen los parámetros utilizados:

Tabla 4. Parámetros de carga sísmica según la E.080.

| | | |
|-----|--------|----------------------|
| S | 1.40 | Factor de suelo |
| U | 1.40 | Factor de uso |
| C | 0.25 | Coefficiente sísmico |
| SUC | 0.4900 | |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 5. Parámetros de carga sísmica según la E.030.

| | | |
|--------|--------|---------------------------------|
| Z | 0.45 | Zona 4 |
| U | 1.30 | Edificación importante |
| S | 1.05 | Perfil tipo S2 |
| C | 2.50 | Factor de amplificación sísmica |
| R | 1.00 | Se asumió de la norma E.080 |
| ZUCS/R | 1.5356 | |

Fuente. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran para periodos de 0 a 6 segundos, sus valores de pseudo aceleración en intervalos de 0.1 segundos:

Tabla 6. Valores de Sa para cada periodo

| T | Sa | T | Sa | T | Sa |
|------|-------|------|------|------|------|
| 0.00 | 15.06 | 2.10 | 4.10 | 4.20 | 1.02 |
| 0.10 | 15.06 | 2.20 | 3.73 | 4.30 | 0.98 |
| 0.20 | 15.06 | 2.30 | 3.42 | 4.40 | 0.93 |
| 0.30 | 15.06 | 2.40 | 3.14 | 4.50 | 0.89 |
| 0.40 | 15.06 | 2.50 | 2.89 | 4.60 | 0.85 |
| 0.50 | 15.06 | 2.60 | 2.67 | 4.70 | 0.82 |
| 0.60 | 15.06 | 2.70 | 2.48 | 4.80 | 0.78 |
| 0.70 | 12.91 | 2.80 | 2.31 | 4.90 | 0.75 |
| 0.80 | 11.30 | 2.90 | 2.15 | 5.00 | 0.72 |
| 0.90 | 10.04 | 3.00 | 2.01 | 5.10 | 0.70 |
| 1.00 | 9.04 | 3.10 | 1.88 | 5.20 | 0.67 |
| 1.10 | 8.22 | 3.20 | 1.77 | 5.30 | 0.64 |
| 1.20 | 7.53 | 3.30 | 1.66 | 5.40 | 0.62 |
| 1.30 | 6.95 | 3.40 | 1.56 | 5.50 | 0.60 |
| 1.40 | 6.46 | 3.50 | 1.48 | 5.60 | 0.58 |
| 1.50 | 6.03 | 3.60 | 1.39 | 5.70 | 0.56 |
| 1.60 | 5.65 | 3.70 | 1.32 | 5.80 | 0.54 |
| 1.70 | 5.32 | 3.80 | 1.25 | 5.90 | 0.52 |
| 1.80 | 5.02 | 3.90 | 1.19 | 6.00 | 0.50 |
| 1.90 | 4.76 | 4.00 | 1.13 | | |
| 2.00 | 4.52 | 4.10 | 1.08 | | |

Fuente. Elaboración propia

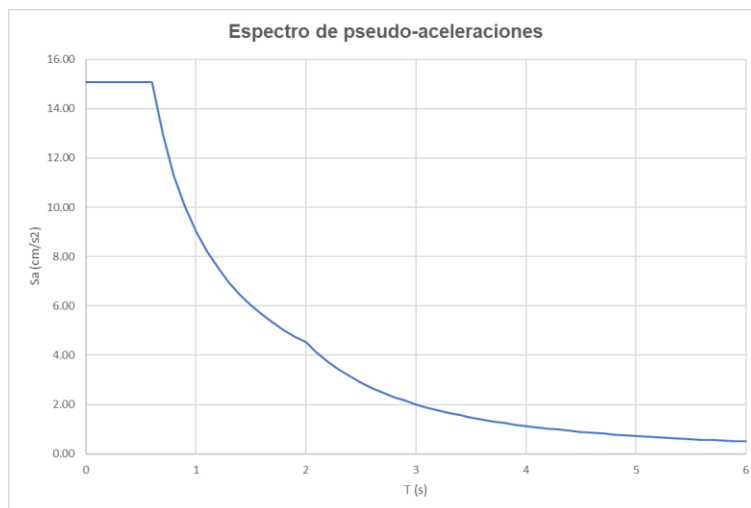


Figura 8. Espectro de pseudo-aceleraciones
Fuente. Elaboración propia

4.1.5. Propiedad de los materiales adoptados

Aunque lo ideal sería obtener muestras de la edificación a modelar, para el presente informe se asumieron valores de la tesis “Evaluación y propuesta de reforzamiento estructural de la capilla Cristo Pobre de la beneficencia de Puno” y del RNE E.010 (2006).

Tabla 7. Propiedades mecánicas de los materiales usados en el modelo analítico.

| Material | Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | Peso específico (tn/m ³) | Módulo de elasticidad (kg/cm ²) | Coefficiente de poisson |
|----------|---|--------------------------------------|---|-------------------------|
| Adobe | 6.12 | 1.50 | 1200 | 0.25 |
| Piedra | 12.90 | 2.00 | 8150 | 0.20 |
| Madera | 15.00 | 0.47 | 90000 | 0.30 |

Fuente. Quispe (2017), RNE E.010 (2006).

Tabla 8. Resultados de caracterización mecánica para adobe.

| Característica mecánica | Resultados obtenidos | |
|---|-------------------------|-----------------|
| | Adobe (unidades) | Mortero de pega |
| Resistencia a la compresión | 6.12 kg/cm ² | - |
| Resistencia a la flexión - Módulo de rotura | 0.78 kg/cm ² | - |

Fuente. Quispe (2017).

Los parámetros de suelo se obtuvieron en función de un EMS realizado en una zona muy cercana a la edificación a estudiar de la cual se infiere:

Tabla 9. Perfil estratigráfico (Anexo: Estudio de mecánica de suelos).

| Dimensión Horizonte | Muestra | Profundidad | Descripción Visual | Clasificación SUCS | Propiedades Físicas y Mecánicas |
|---------------------|---------|-------------|--|--------------------|---|
| 0.00 m | M-01 | 1.40 m | Material de relleno con tierra de chacra y piedra. | | |
| -0.20 m | | | | | |
| -0.40 m | | | | | |
| -0.60 m | | | | | |
| -0.80 m | | | | | |
| -1.00 m | | | | | |
| -1.20 m | | | | | |
| -1.40 m | M-02 | 1.60 m | Grava bien graduada con regular cantidad de finos con bolonería aislada. | GP | L.L.=14.2% L.P.=N.P. I.P.=N.P. %Pasa malla N°200=1.53% |
| -1.60 m | | | | | |
| -1.80 m | | | | | |
| -2.00 m | | | | | |
| -2.20 m | | | | | |
| -2.40 m | | | | | |
| -2.60 m | | | | | |
| -2.80 m | | | | | |
| -3.00 m | | | | | |

Fuente. Elaboración propia.

4.1.6. Combinaciones de carga

En el presente trabajo se realizó la verificación de los estados límites de servicio, por lo tanto, las combinaciones de cargas utilizadas para este fin corresponden a las estipuladas por el RNE E.020 (2006).

- Serv1: D
 Serv2: D + L
 Serv3: D + (W o 0,70 E)
 Serv4: $\alpha [D + L + (W \text{ o } 0,70 E)]$

Y para el diseño se utilizaron las siguientes combinaciones:

- Comb1: D
 Comb2: D + L
 Comb3: D + 0.70 Sx
 Comb4: D - 0.70 Sx
 Comb5: D + 0.70 Sy
 Comb6: D - 0.70 Sy
 Comb7: 0.75 D + 0.75 L + 0.525 Sx
 Comb8: 0.75 D + 0.75 L - 0.525 Sx
 Comb9: 0.75 D + 0.75 L + 0.525 Sy
 Comb10: 0.75 D + 0.75 L - 0.525 Sy

Donde:

- D = Carga muerta
 L = Carga viva

W = Carga de viento

E = Carga de sismo

α = Factor que tendrá un valor mínimo de 0,75

4.1.7. Interpretación de respuestas estructurales

El programa utilizado para el modelamiento estructural utiliza elementos finitos, por lo que es importante una correcta interpretación de resultados. Como se observa en la siguiente figura el elemento shell posee 6 caras, 3 positivas y 3 negativas, siendo las que apuntan sus ejes locales las primeras.

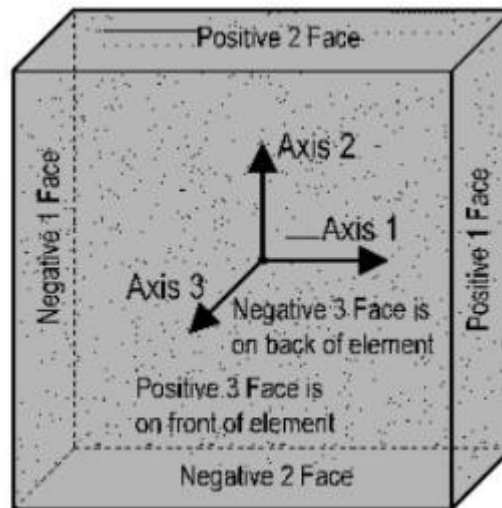


Figura 9. Ejes de elementos Shell.
Fuente. Computer & Structures (2017)

Los resultados son fuerzas normales (F_{11} , F_{22}), cortantes tangentes (F_{21} , F_{12}) y cortantes transversales (V_{13} , V_{23}), siendo el primer índice el que indique la cara en la que se produce la fuerza y el segundo la dirección que toma en función de los ejes.

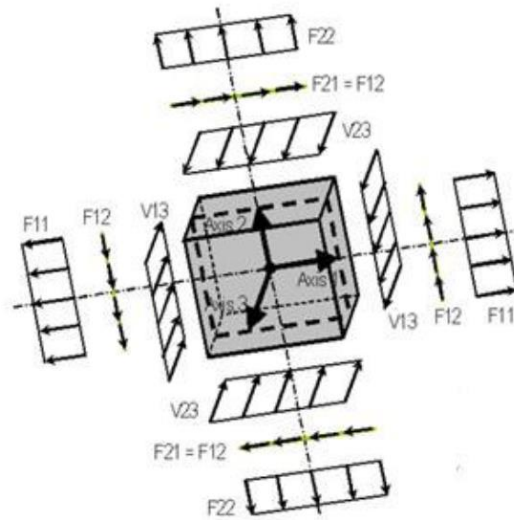


Figura 10. Fuerzas actuantes en elementos Shell.
Fuente. Computer & Structures (2017)

Los momentos actuantes indican primero la cara donde se producen y luego el eje en el que giran.

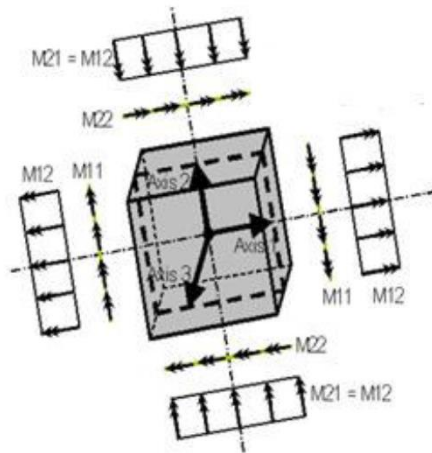


Figura 11. Momentos actuantes en elementos Shell.
Fuente. Computer & Structures (2017)

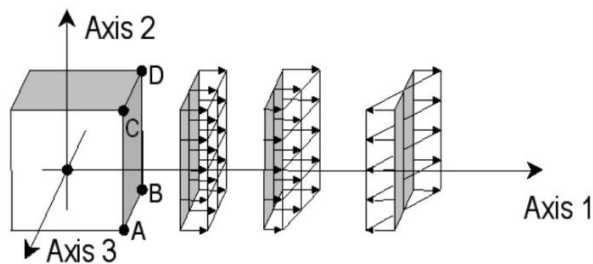


Figura 12. Esfuerzos en la cara 1 dirección 1, S_{11} .
Fuente. Computer & Structures (2017)

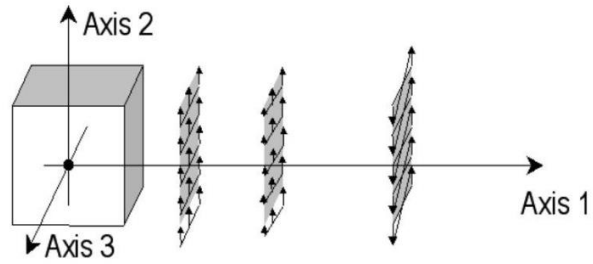


Figura 13. Esfuerzos en la cara 1 dirección 2, S12.
Fuente. Computer & Structures (2017)

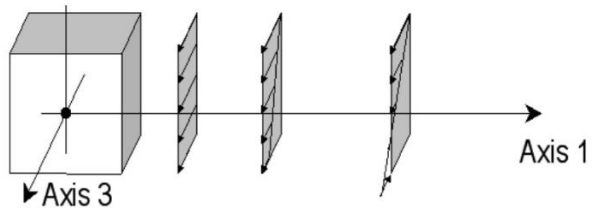


Figura 14. Esfuerzos en la cara 1 dirección 3, S13.
Fuente. Computer & Structures (2017)

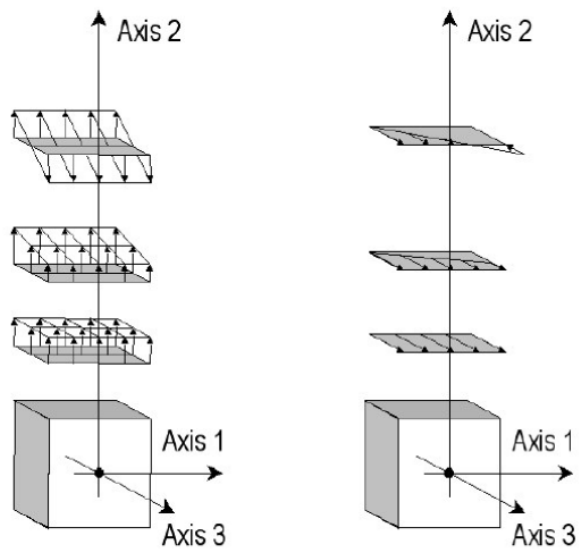


Figura 15. Esfuerzos en la cara 2 dirección 2, S22 y en la cara 2 dirección 3, S23.
Fuente. Computer & Structures (2017)

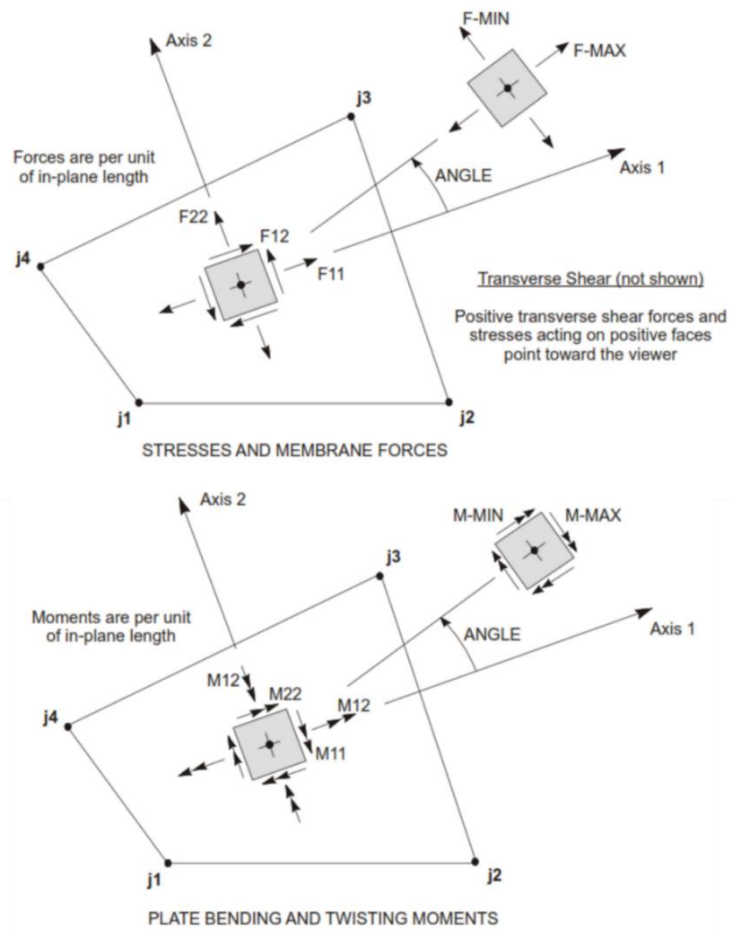


Figura 16. Tensiones del elemento de la carcasa y fuerzas y momentos internos resultantes.

Fuente. Computer & Structures (2017)

4.1.8. Periodos de vibración

Después del modelado estructural, se corre una primera vez para observar el comportamiento dinámico de la iglesia, y obtener así su periodo.

Tabla 10. Frecuencia y periodos de vibración de la estructura

| Modo | Periodo (Seg) | Frecuencia (Hz) |
|-----------|---------------|-----------------|
| 1 | 0.766 | 1.306 |
| 2 | 0.598 | 1.671 |
| 3 | 0.548 | 1.826 |
| 4 | 0.480 | 2.084 |
| 5 | 0.431 | 2.321 |
| 6 | 0.392 | 2.552 |
| 7 | 0.379 | 2.642 |
| 8 | 0.335 | 2.983 |
| 9 | 0.320 | 3.121 |
| 10 | 0.296 | 3.381 |
| 11 | 0.283 | 3.528 |
| 12 | 0.274 | 3.649 |
| 13 | 0.267 | 3.741 |
| 14 | 0.265 | 3.777 |
| 15 | 0.248 | 4.037 |

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior el periodo fundamental en la dirección X es de 0.48s y en la dirección Y es de 0.27s.

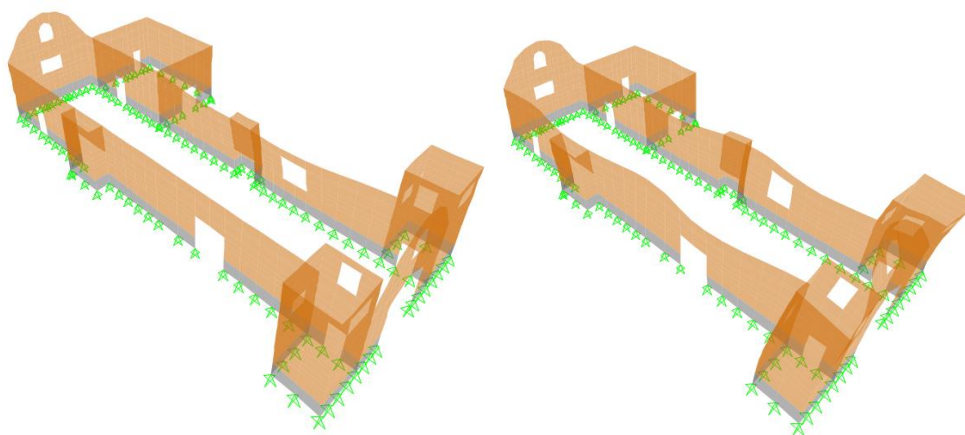


Figura 17. Modos predominantes en X y en Y respectivamente.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.9. Deformaciones

Continuando con la obtención de resultados, se presentan las deformaciones máximas de la edificación, intérpretese todas como unidad de medida en centímetros.

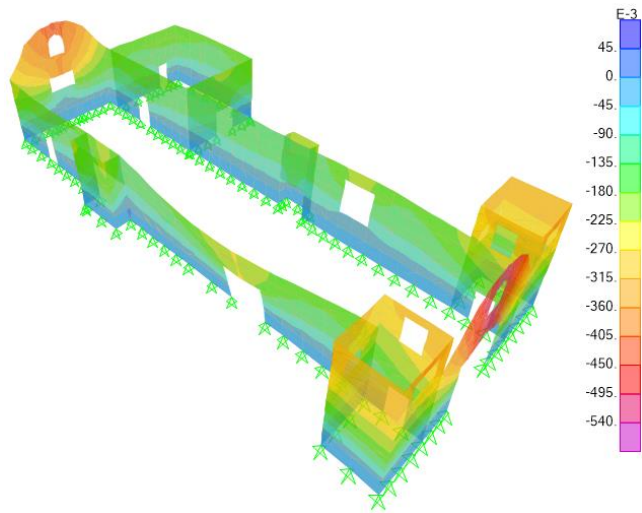


Figura 18. Deformación máxima en la combinación 1 (D).
Fuente. Elaboración propia.

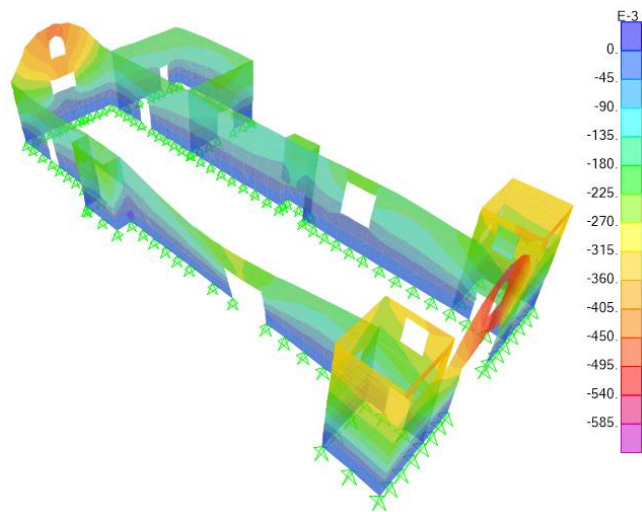


Figura 19. Deformación máxima en la combinación 2 (D+L).
Fuente. Elaboración propia.

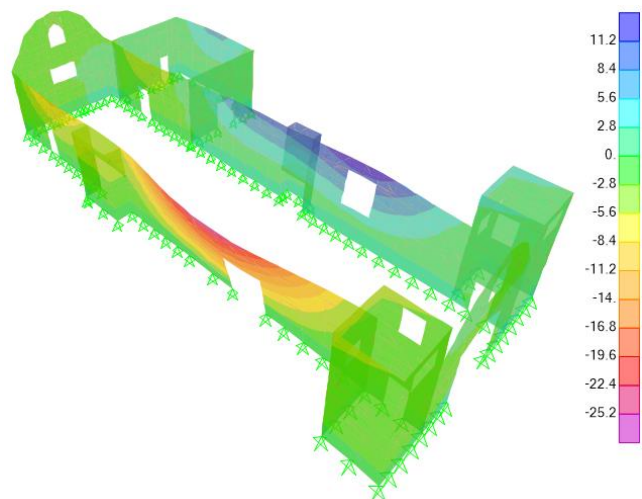


Figura 20. Deformación máxima en la combinación 3, 4 ($D \pm 0.70S_x$).
Fuente. Elaboración propia.

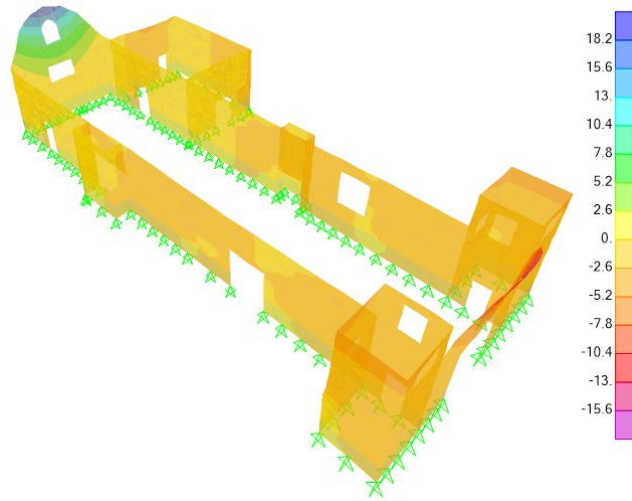


Figura 21. Deformación máxima en la combinación 5, 6 ($D \pm 0.70S_y$).
Fuente. Elaboración propia.

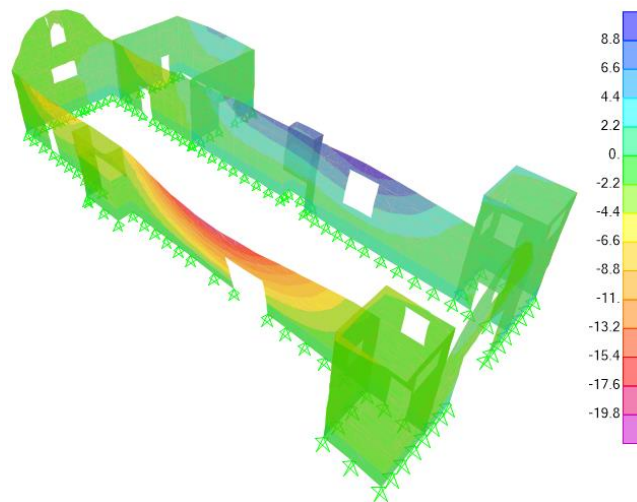


Figura 22. Deformación máxima en la combinación 7, 8 ($0.75D + 0.75L \pm 0.525S_x$).
Fuente. Elaboración propia.

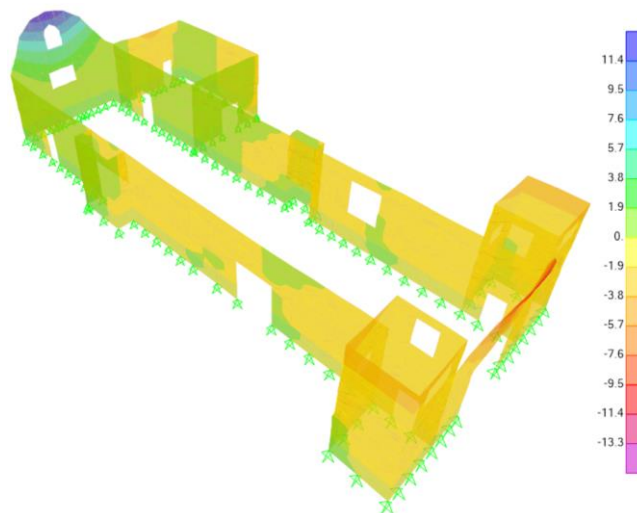


Figura 23. Deformación máxima en la combinación 9, 10 ($0.75D + 0.75L \pm 0.525S_y$).
Fuente. Elaboración propia.

4.1.10. Esfuerzos

Como se recuerda, según la tabla anterior, la resistencia de compresión será de 6.12 kg/cm² y la resistencia a flexión de 0.78 kg/cm², por lo que se verificará su cumplimiento en el modelo.

Combinación 1 y 2 (D, D + L)

Como se observa los esfuerzos horizontales (S11) se concentran generalmente en las zonas centrales de mayor luz entre restricciones perpendiculares al muro y en zonas donde se intersecan estos muros. Para el caso de los esfuerzos verticales (S22), estos se presentan en las zonas inferiores de los muros.

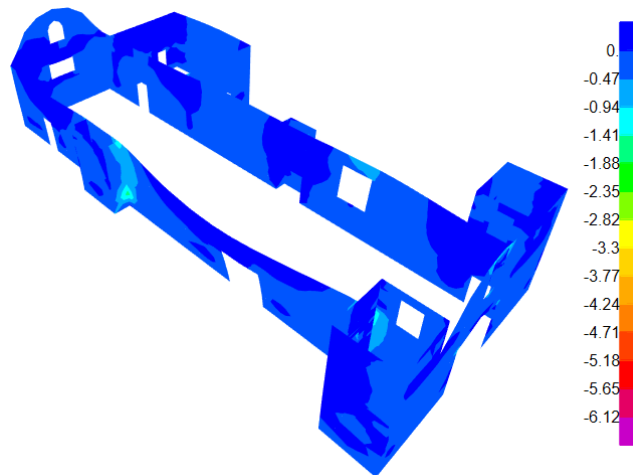


Figura 24. Diagrama de esfuerzos horizontales S_{11} (kgf/cm²).
Fuente. Elaboración propia.

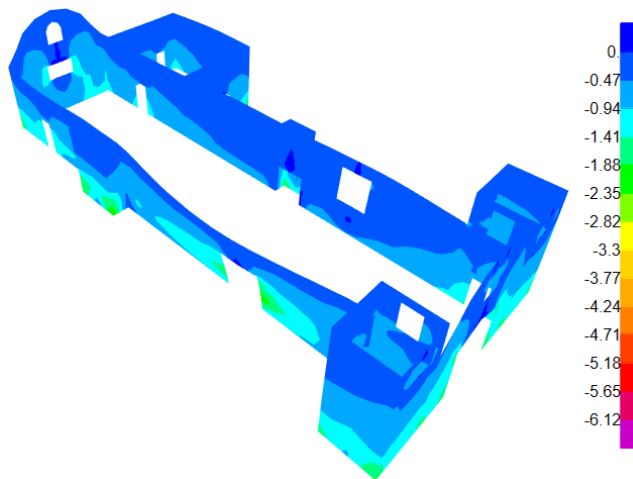


Figura 25. Diagrama de esfuerzos verticales S_{22} (kgf/cm²).
Fuente. Elaboración propia.

En cuanto a los esfuerzos de flexión, estos se muestran mayores en las uniones entre muros y en la parte superior de tramos largos, esfuerzos M_{11} ; en cuanto para los momentos M_{22} , estos se presentan mayores desde la base y en paños con luces largas.

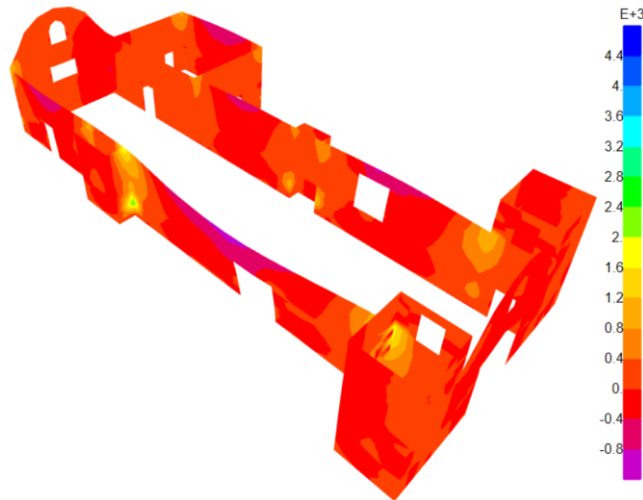


Figura 26. Diagrama de momentos flexionantes verticales M_{11} (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

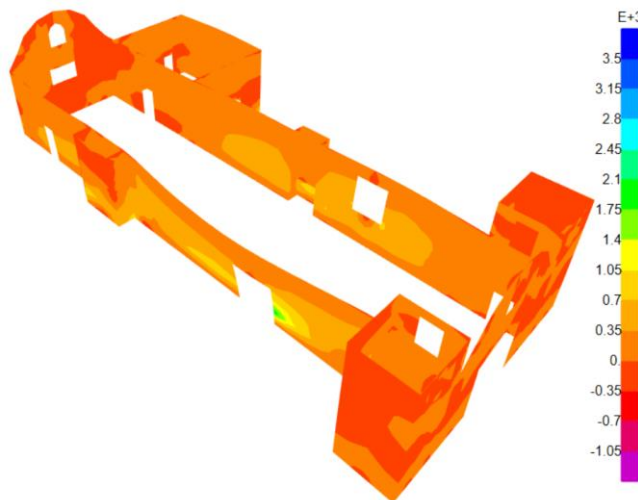


Figura 27. Diagrama de momentos flexionantes horizontales M_{22} (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

Combinación crítica 3 y 4 ($D \pm 0.7S_x$)

Se observa una mayor concentración de esfuerzos en la dirección 1 (S_{11}) en la zona baja del contrafuerte de la izquierda de la iglesia, y en la dirección 2 (S_{22}) se ubican en ambos contrafuertes, el ingreso lateral izquierdo y las bases de las torres.

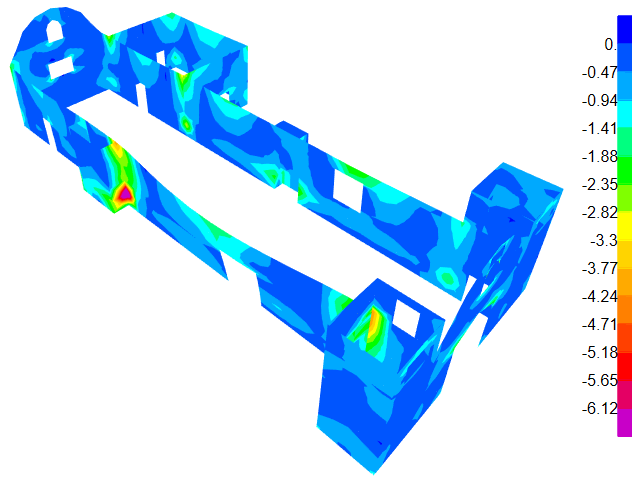


Figura 28. Diagrama de esfuerzos horizontales S_{11} en combinación crítica (kgf/cm^2).
Fuente. Elaboración propia.

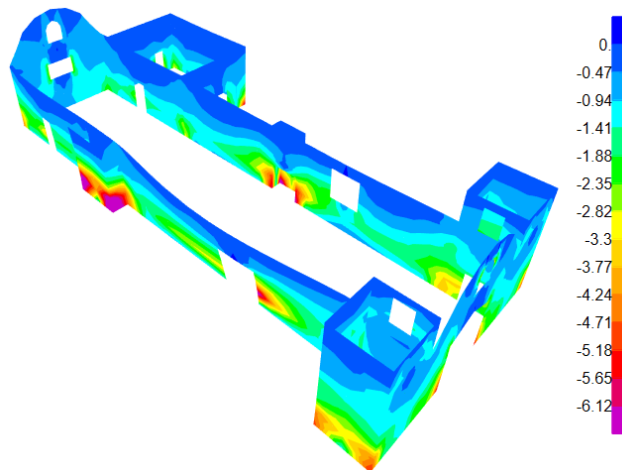


Figura 29. Diagrama de esfuerzos verticales S_{22} en combinación crítica (kgf/cm^2).
Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los momentos flexionantes M_{11} y M_{22} del modelo numérico:

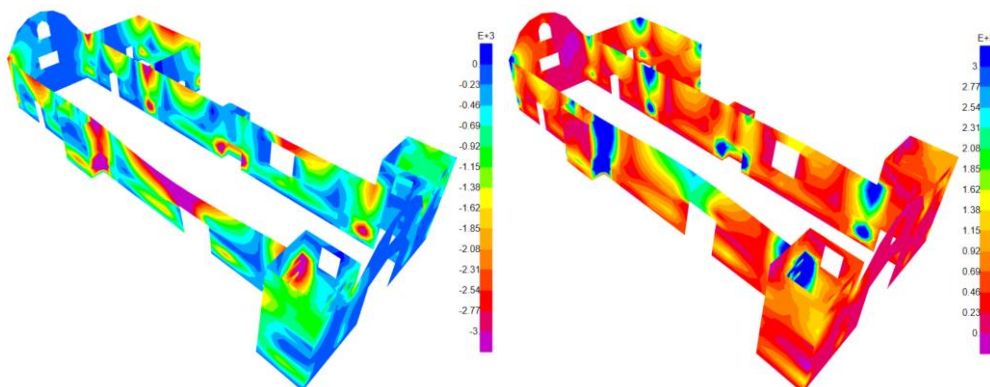


Figura 30. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} en combinación crítica (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

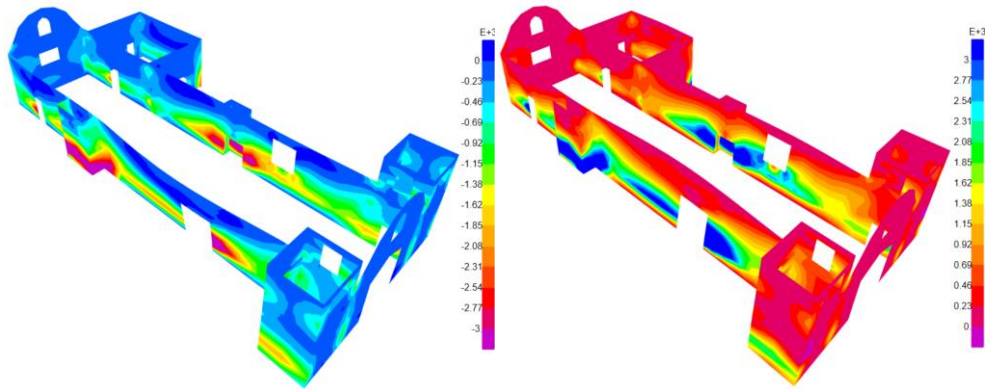


Figura 31. Diagrama de momentos flexionantes horizontales mínimos y máximos M_{22} en combinación crítica (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

Envolvente

Según las figuras presentadas anteriormente se observa un patrón de valores altos ubicados en las zonas con mayor luz libre, por lo que estas son las que tienen una mayor probabilidad de colapsar ante cargas muertas, vivas o de sismo.

Se presentan máximos momentos flexionantes de la envolvente de combinaciones de carga.

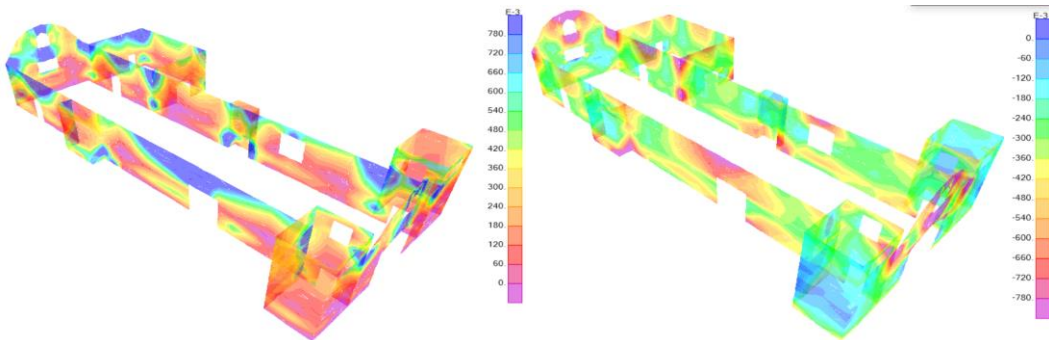


Figura 32. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

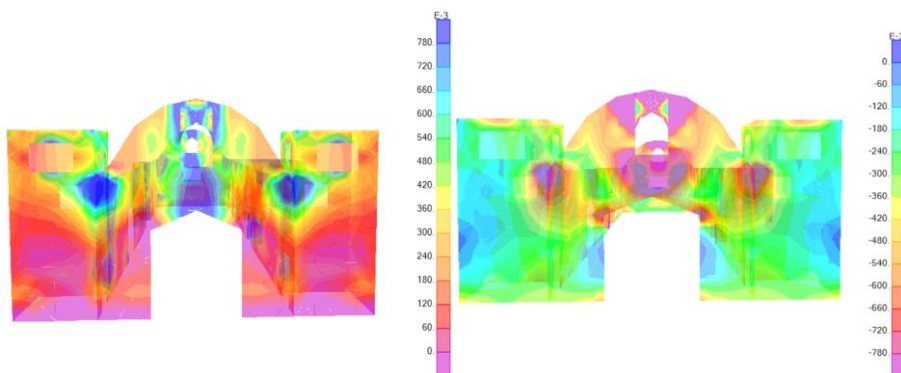


Figura 33. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente, elevación frontal (kgf.cm/cm).

Fuente. Elaboración propia.

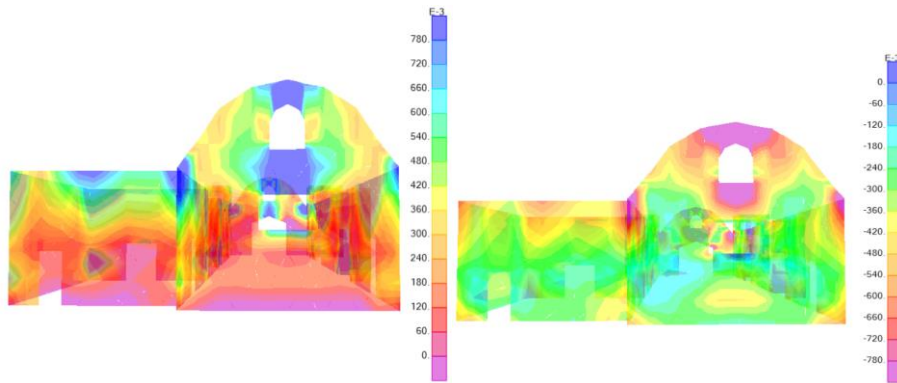


Figura 34. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente, elevación posterior (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

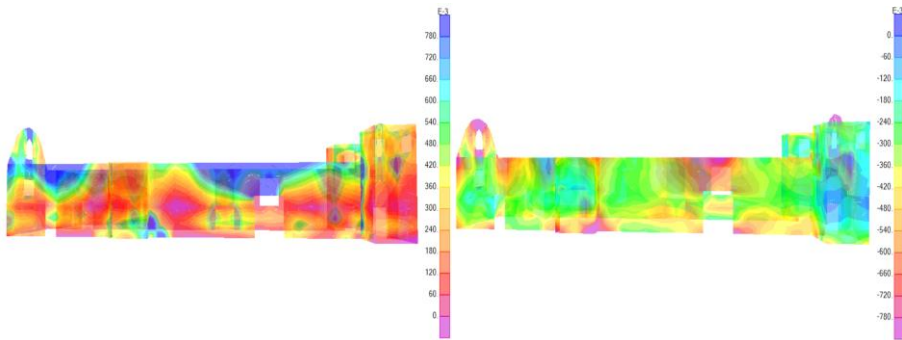


Figura 35. Diagrama de momentos flexionantes verticales mínimos y máximos M_{11} de la envolvente, elevación lateral (kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

Para la dirección horizontal la zona más afectada se ubica en las esquinas inferiores de los tímpanos y las zonas centrales de los muros de paños largos, produciéndose una falla similar a la figura siguiente.

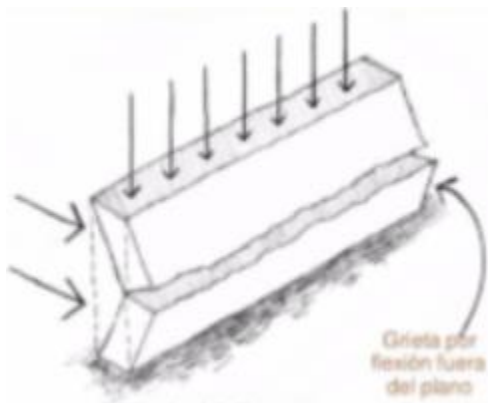


Figura 36. Diagrama de falla por flexión en los muros en forma horizontal.
Fuente. Quispe (2017)

Se presentan en la siguiente tabla un resumen de los esfuerzos normales verticales S11, tensiones normales horizontales S22 y esfuerzos cortantes S12, según cada combinación:

Tabla 11. Esfuerzos en elementos tipo shell.

| Combinación | Esfuerzos (kg/cm ²) | | | |
|----------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | S11 | S22 | S12 | |
| Comb1 D | Máx. | 2.099 | 0.918 | 1.696 |
| | Mín. | -2.138 | -3.226 | -1.603 |
| Comb2 D+L | Máx. | 2.489 | 1.378 | 2.082 |
| | Mín. | -2.659 | -3.772 | -1.900 |
| Comb3 D+0.7Sx | Máx. | 10.858 | 13.227 | 8.083 |
| | Mín. | -11.118 | -12.131 | -7.864 |
| Comb4 D-0.7Sx | Máx. | 12.107 | 13.966 | 10.865 |
| | Mín. | -15.130 | -19.682 | -11.288 |
| Comb5 D+0.7Sy | Máx. | 13.130 | 10.245 | 9.727 |
| | Mín. | -18.673 | -11.078 | -9.734 |
| Comb6 D-0.7Sy | Máx. | 14.704 | 10.681 | 9.999 |
| | Mín. | -17.124 | -10.633 | -9.993 |
| Comb7 0.75D+0.75L+0.525Sx | Máx. | 7.751 | 9.511 | 5.772 |
| | Mín. | -8.602 | -8.802 | -5.617 |
| Comb8 0.75D+0.75L-0.525Sx | Máx. | 9.373 | 10.820 | 8.435 |
| | Mín. | -11.740 | -15.171 | -8.756 |
| Comb9 0.75D+0.75L+0.525Sy | Máx. | 9.841 | 7.663 | 7.315 |
| | Mín. | -14.044 | -8.334 | -7.320 |
| Comb10 0.75D+0.75L-0.525Sy | Máx. | 10.989 | 7.987 | 7.514 |
| | Mín. | -12.875 | -7.996 | -7.509 |

Fuente. Elaboración propia.

4.1.11. Análisis de resultados

Muros

Se observa que se originan esfuerzos altos de flexión en zonas de daño en la estructura real. Como tal es el caso de los esfuerzos en el sentido perpendicular a los muros, así como fisuras en la parte superior del muro, tal como se puede observar en la siguiente figura. Además, se ven afectados también uno de los contrafuertes adosados al muro.

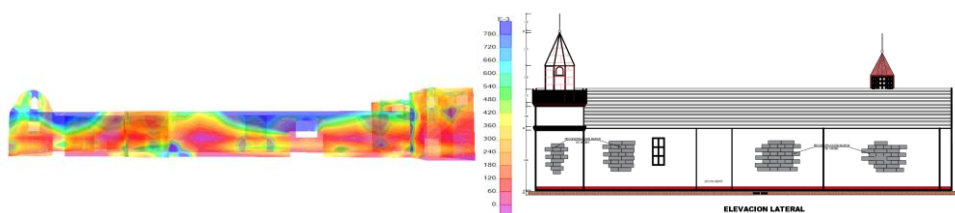


Figura 37. Grietas formadas a causa de esfuerzos a flexión en muro lateral.
Fuente. Elaboración propia.

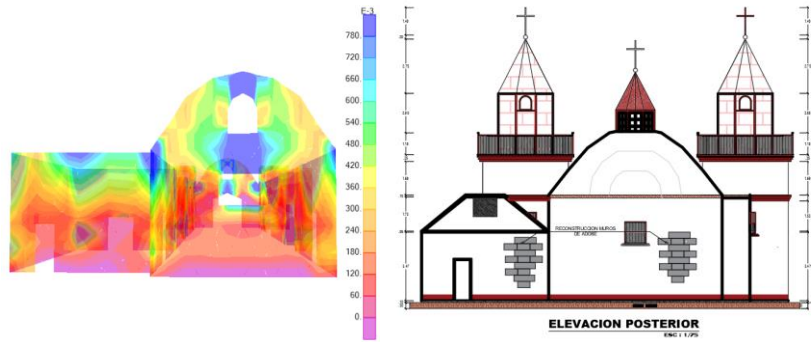


Figura 38. Grietas formadas a causa de esfuerzos a flexión en muro posterior.
Fuente. Elaboración propia.

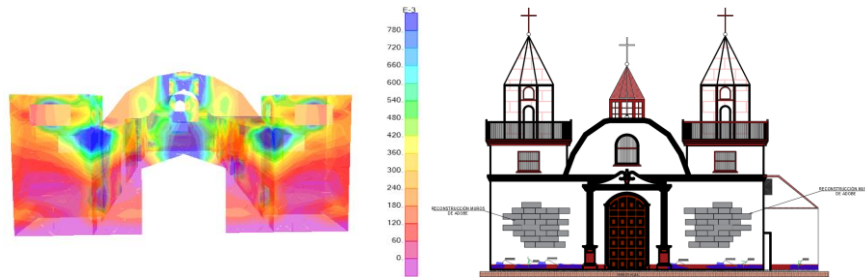


Figura 39. Grietas formadas a causa de esfuerzos a flexión en muro frontal.
Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a lo observado, en los diagramas de esfuerzos, aparecen valores altos en diferentes zonas (máximos valores – azul), advirtiéndonos de que puede ser propensa a sufrir fallas o colapsar debido a cargas muertas y externas, en los diagramas anteriores podemos observar además que se presenta relación con el estado actual de la estructura que por situación de emergencia es reforzado provisionalmente con tablas y rollizos de madera.

Cobertura

Para el análisis de la cobertura, los valores de resistencia a la compresión y flexión se consideran de la Norma Técnica E-010 madera, detallada en el capítulo anterior, para esto se toma valores de los esfuerzos admisibles para madera del grupo C, según esto la compresión máxima admisible es de 15.00 Kg/cm y flexión máxima admisible de 100.00 Kg/cm².

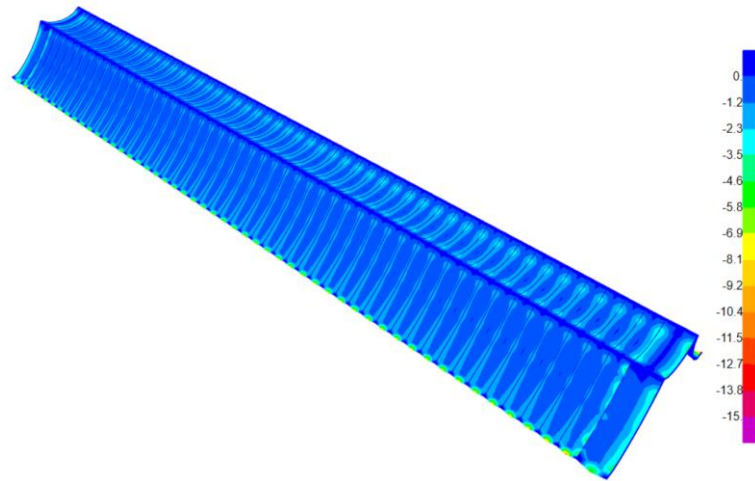


Figura 40. Diagrama de esfuerzos horizontales S_{11} en combinación crítica de la cobertura (Kg/cm²).
Fuente. Elaboración propia.

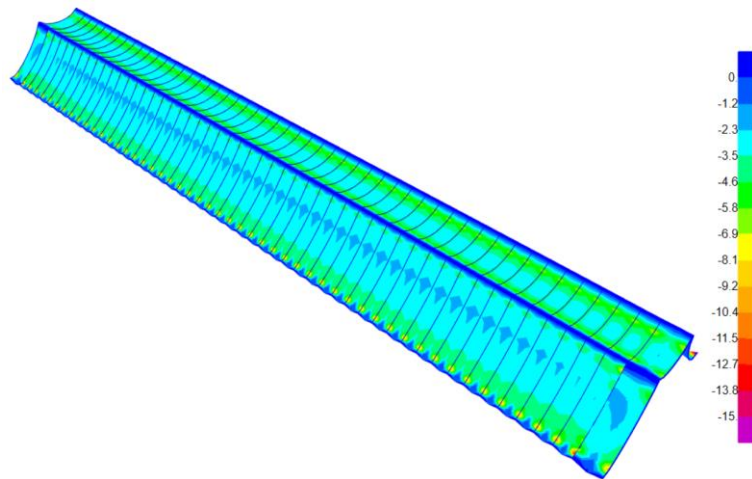


Figura 41. Diagrama de esfuerzos verticales S_{22} en combinación crítica de la cobertura (Kg/cm²).
Fuente. Elaboración propia.

Los resultados correspondientes al esfuerzo normal experimentado por el modelo, muestra que el menor esfuerzo de compresión ocurre casi en toda la zona de la cobertura (cero - azul), de esto se puede observar que las máximas compresiones no llegan a superar los 15.00 Kg/cm².

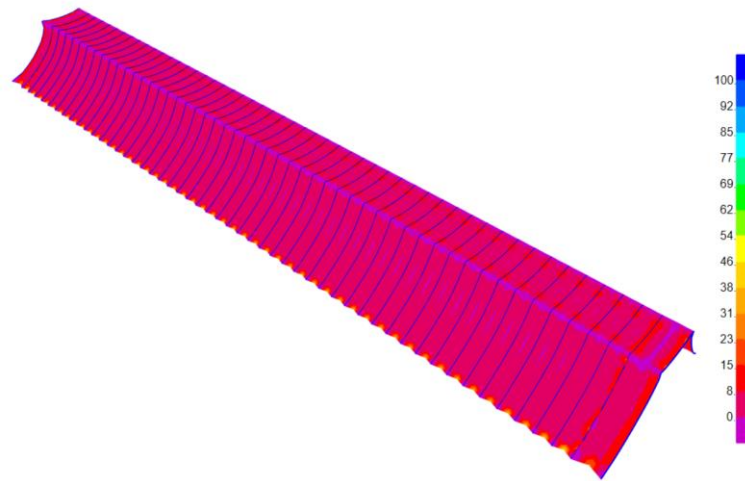


Figura 42. Diagrama de momentos flexionantes horizontales M_{11} en combinación crítica de la cobertura (Kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

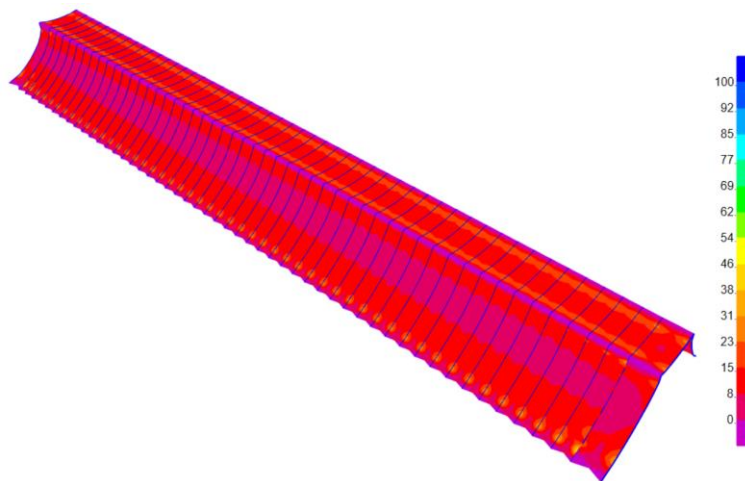


Figura 43-.. Diagrama de momentos flexionantes verticales M_{22} en combinación crítica de la cobertura (Kgf.cm/cm).
Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a los diagramas de esfuerzos, podemos observar que en un gran porcentaje del elemento los momentos flexionantes son neutros (valores mínimos), por lo cual se deduce que el elemento no experimenta grandes deflexiones garantizando la estabilidad de la estructura. Por tanto, no se presentan máximos momentos flexionantes que superen 100.00 Kg/cm².

4.1.12. Reacciones

Se muestra el resultado de las reacciones en la base de la estructura de acuerdo al modelo estructural para las diferentes hipótesis de carga del punto más crítico.

Del estudio de mecánica de suelos incluida en el anexo la capacidad admisible del terreno es de 0.701 kg/cm². Considerando para un área de 1.00 m² debido a que el cimiento tiene 1.00 m de espesor, la cimentación estará sujeta a resistir una carga de 7.01Ton. A partir de esta carga se verifica que la reacción en la base de la estructura no debe superar la carga máxima a resistir por la capacidad del suelo.

Tabla 12. Reacciones máximas y mínimas del punto más crítico en la estructura para las diferentes combinaciones.

| Combinación | | | Fx | Fy | Fz |
|-------------|---------------------|------|---------|---------|----------|
| | | | Tonf | Tonf | Tonf |
| Comb1 | D | Máx. | 4.675 | 1.463 | 23.603 |
| | | Mín. | -2.750 | -1.908 | 0.528 |
| Comb2 | D+L | Máx. | 5.782 | 1.538 | 26.197 |
| | | Mín. | -3.440 | -2.061 | -0.957 |
| Comb3 | D+0.7Sx | Máx. | 64.976 | 25.020 | 155.005 |
| | | Mín. | -61.285 | -26.520 | -135.627 |
| Comb4 | D-0.7Sx | Máx. | 64.976 | 25.020 | 155.005 |
| | | Mín. | -61.285 | -26.520 | -135.627 |
| Comb5 | D+0.7Sy | Máx. | 11.841 | 28.991 | 63.303 |
| | | Mín. | -12.274 | -26.482 | -26.023 |
| Comb6 | D-0.7Sy | Máx. | 11.841 | 28.991 | 63.303 |
| | | Mín. | -12.274 | -26.482 | -26.023 |
| Comb7 | 0.75D+0.75L+0.525Sx | Máx. | 49.562 | 18.500 | 117.608 |
| | | Mín. | -46.481 | -20.114 | -102.834 |
| Comb8 | 0.75D+0.75L-0.525Sx | Máx. | 49.562 | 18.500 | 117.608 |
| | | Mín. | -46.481 | -20.114 | -102.834 |
| Comb9 | 0.75D+0.75L+0.525Sy | Máx. | 8.691 | 21.888 | 47.925 |
| | | Mín. | -9.395 | -19.717 | -19.159 |
| Comb10 | 0.75D+0.75L-0.525Sy | Máx. | 8.691 | 21.888 | 47.925 |
| | | Mín. | -9.395 | -19.717 | -19.159 |

Fuente. Elaboración propia.

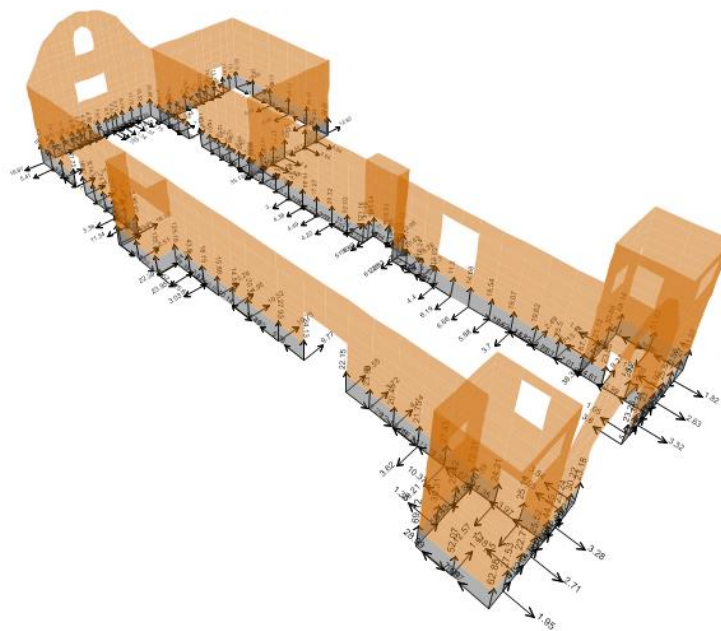


Figura 44. Reacciones en la base de la estructura del punto más crítico (ton).
Fuente. Elaboración propia.

4.2. Propuesta de reforzamiento estructural

Se propone un reforzamiento estructural en función del análisis ya descrito en el sub capítulo 4.1., brindando una mejora estructural que vele por la seguridad de sus ocupantes, por lo que se expondrán los siguientes puntos:

- Refuerzo con viga collar de madera externa.
- Refuerzo con llaves de madera en esquinas.
- Reconstrucción de los muros de adobe.
- Refuerzo con contrafuertes.
- Reconstrucción de tímpano.
- Refuerzo con geomalla
- Refuerzo con cuerdas (drizas)

4.2.1. Refuerzo con viga collar de madera externa

Esta viga va a transferir uniformemente las cargas provenientes de la cubierta a los muros, esta es de madera, clavos y recubierta generalmente con barro, es usual también su conexión a los muros de adobe mediante pasadores. Esta se compone por dos largueros unidos mediante travesaños más cortos a cierta distancia constante, produciendo un efecto de diafragma en todos los muros por los que pasa.

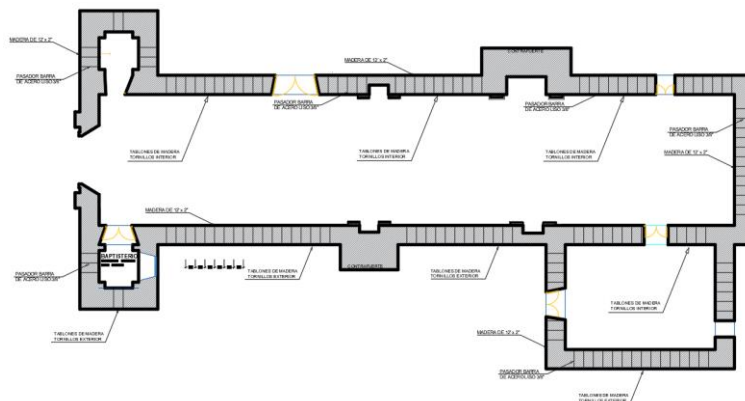


Figura 45. Ubicación de la viga collar de madera externa.
Fuente. Elaboración propia.

Este tipo de reforzamiento es apropiado para edificaciones existentes de adobe usadas principalmente en construcciones históricas. Las dos tablas de madera paralelas son de 12"x2" de sección transversal y con una longitud máxima de 5 m.

Estas maderas son conectadas con ángulos de metal de 90° con un espesor mínimo de 1/16”.

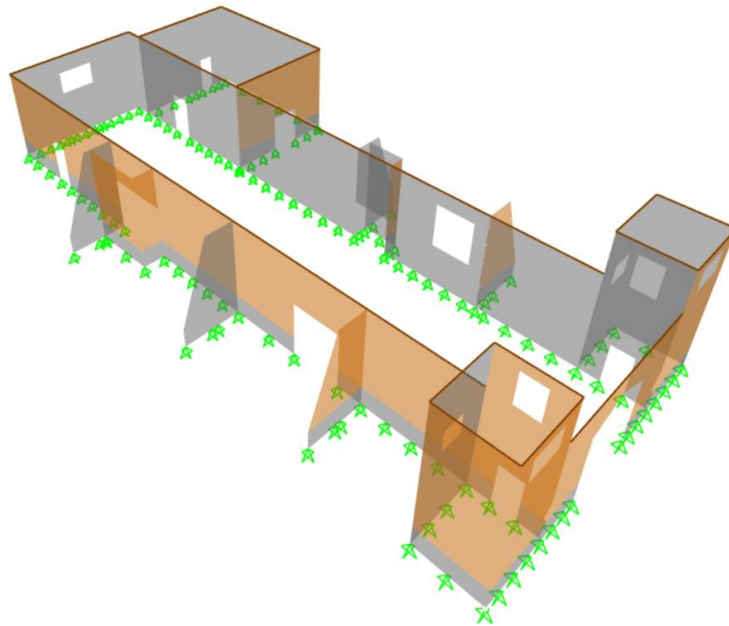


Figura 46. Ubicación del refuerzo de viga collar en el modelo estructural.
Fuente. Elaboración propia.

4.2.2. Refuerzo con llaves de madera en esquinas

Se utilizan para reforzar las uniones entre muros ortogonales, se da interiormente en casos en que los muros deben ser desmontados, y exteriormente en donde no es necesario su remoción.

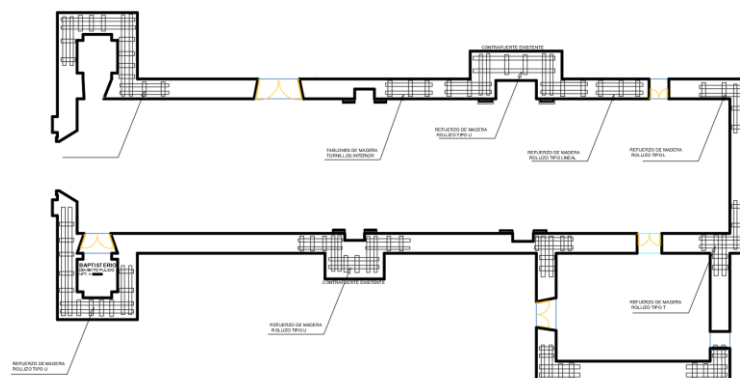


Figura 47. Ubicación de las llaves de madera.
Fuente. Elaboración propia.

Para evitar que aparezcan grietas en los encuentros de dos muros, se colocarán llaves de madera, estas están ancladas en sus extremos aportando mayor resistencia ante una posible falla, estas pueden ser en “L” o “T”, según su ubicación.

El refuerzo propuesto consiste en instalar elementos de madera rolliza en “L” de 4”x3” de sección transversal con longitud de 1.10 m en promedio siendo este valor variable de acuerdo a su ubicación. Interconectándolos mediante pernos pasantes, se instalan las maderas de manera horizontal. Este reforzamiento incrementa la resistencia a flexión de los muros y mantiene la unidad de la estructura. El empleo de este tipo de reforzamiento se dio en la iglesia de San Pedro Apóstol de Urubamba (Siglo XVI) – Urubamba – Cusco, refuerzo con llaves de madera.

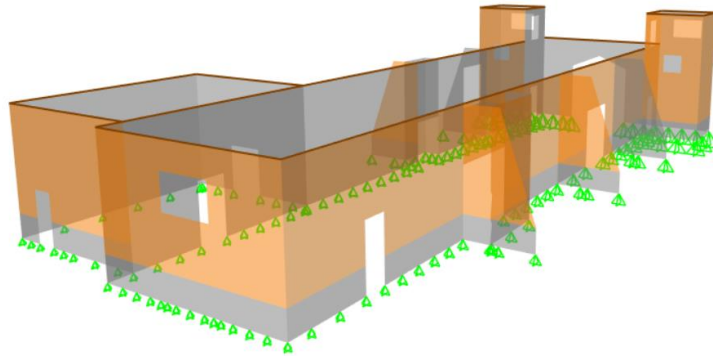


Figura 48. Ubicación del refuerzo de llaves de madera en el modelo estructural.
Fuente. Elaboración propia.

4.2.3. Reconstrucción de los muros de adobe

Se da cuando la grieta supera los 2cm de espesor, y por lo tanto ya no puede ser rellenado solo con mortero de barro, o cuando las unidades de adobe se ven afectadas a la intemperie y presentan fracturas o erosión; es por ello que se deben retirar elemento por elemento y reemplazarlo por otros que estén en buen estado, se recomienda hacer máximo dos hiladas por días para evitar el aplastamiento del mortero.

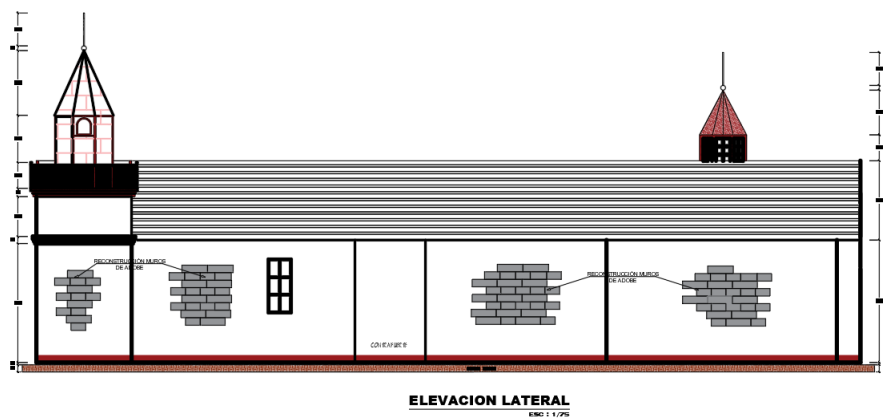


Figura 49. Ubicación de los muros a reconstruir.

Fuente. Elaboración propia.

El procedimiento será el siguiente, primero se retirará las unidades afectadas, luego se colocarán las unidades en buen estado, manteniendo el dentado normal del muro, estas deberán estar humedecidas para una buena adherencia con el mortero de barro.

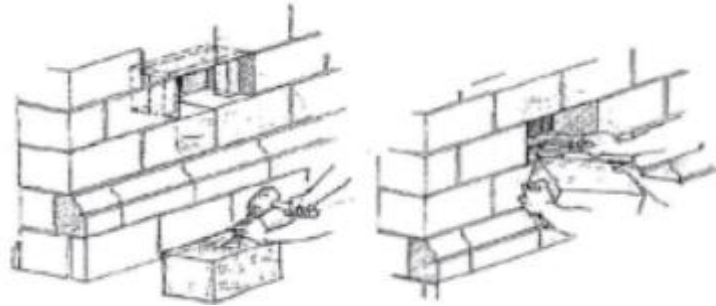


Figura 50. Sustitución de piezas en reconstrucción de muros.
Fuente. Elaboración propia.

4.2.4. Refuerzo con contrafuertes

Mejora la estabilidad de los muros, principalmente de aquellos que presentan luces largas entre muros ortogonales que proporcionan arriostramiento, absorbe los empujes producidos de la cubierta, o por cargas horizontales como viento y sismo. Es un gran aporte a la rigidez de la estructura.

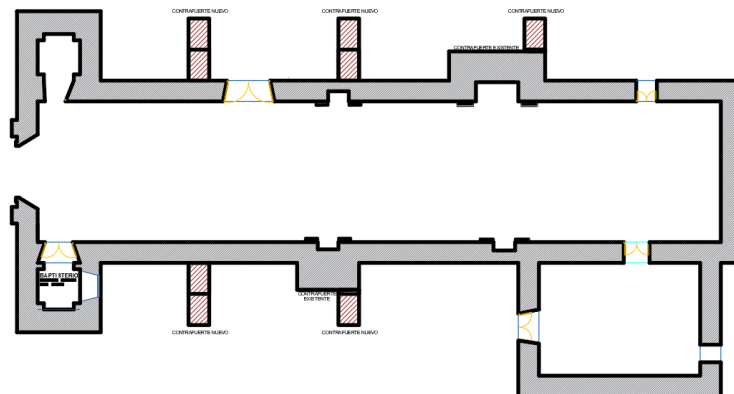


Figura 51. Ubicación del refuerzo con contrafuertes.
Fuente. Elaboración propia.

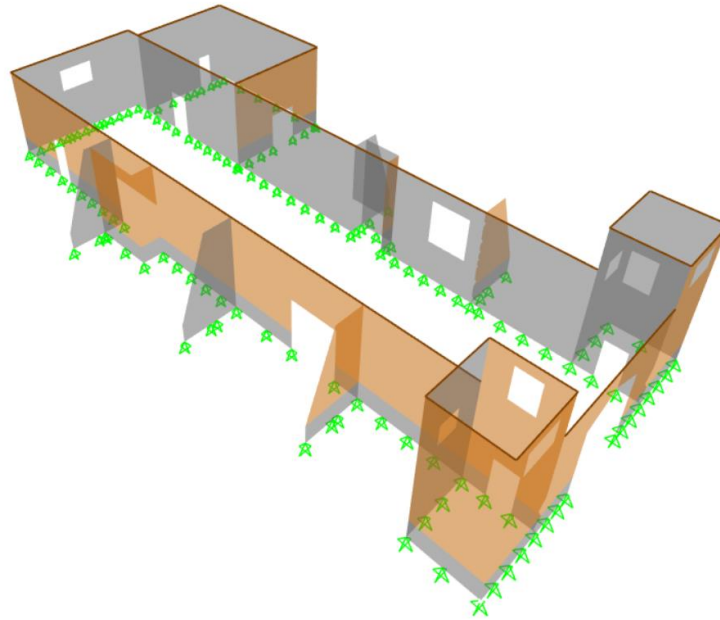


Figura 52. Ubicación del refuerzo con contrafuertes en el modelo estructural.
Fuente. Elaboración propia.

4.2.5. Reconstrucción de tímpano

El tímpano es muy vulnerable a mostrar fallas verticales u horizontales, por ello se pretende reemplazar este por un material menos peligroso.

El agrietamiento se produce después de un sismo, al formarse tres pedazos de muro, iniciando con una grieta vertical en la parte superior central del tímpano que luego se divide en dos diagonales hacia las esquinas de la parte inferior del muro.

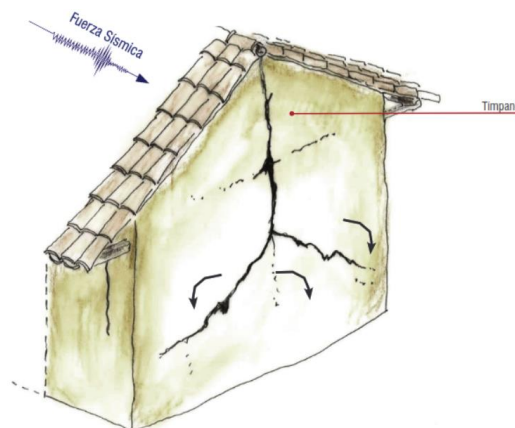


Figura 53. Grieta vertical y diagonal en tímpano.
Fuente. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2014).

Existe otro tipo de agrietamiento el cual es horizontal y se ubica al comienzo del tímpano, este se produce debido al cambio de rigidez del muro que durante un sismo hace que vibren de distinta manera y exista riesgo de volteo.

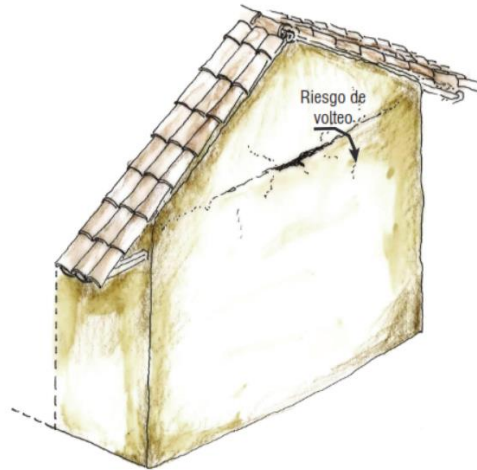
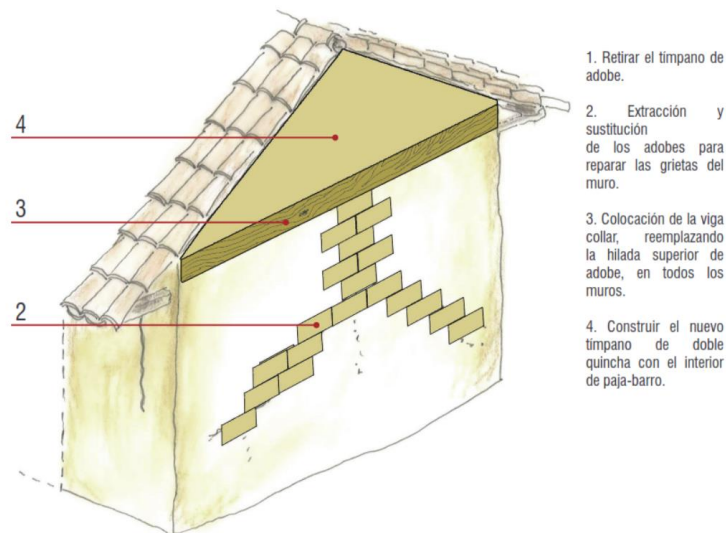


Figura 54. Grieta horizontal en tímpano.
Fuente. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2014).

Se propone un desarme, armado y refuerzo de tímpano de doble quincha y paja-barro, el procedimiento constructivo a seguir será:

- Apuntalar los techos que se apoyan en los tímpanos.
- Desarmar los tímpanos y reconstruirlos con 2 triángulos de quincha conectados entre sí por piezas de madera y viga collar inferior. La viga collar se debe colocar en todos los muros de la vivienda.
- Las grietas diagonales y la vertical, se reparan de manera dentada, desarmando de arriba hacia abajo y armando con nuevos adobes desde la parte inferior.
- Por razones térmicas, debe rellenarse el espacio entre los tímpanos de quincha con paja-barro.
- Envolver los muros con drizas verticales y horizontales.
- Enlucir los muros.

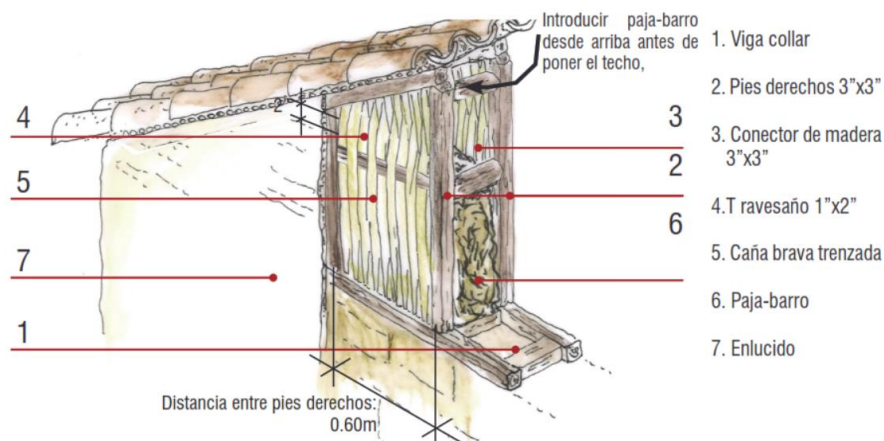


1. Retirar el tímpano de adobe.
2. Extracción y sustitución de los adobes para reparar las grietas del muro.
3. Colocación de la viga collar, reemplazando la hilada superior de adobe, en todos los muros.
4. Construir el nuevo tímpano de doble quincha con el interior de paja-barro.

Figura 55. Propuesta de reforzamiento de tímpano.
Fuente. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2014).

Para el desarme del tímpano se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- Apuntalar los techos donde estén soportados los tímpanos.
- Retirar el tímpano de adobe con cuidado y reconstruirlo con 2 triángulos de quincha conectados mediante piezas de madera incluyendo en la base una viga collar.
- Esta viga collar debe estar ubicada en todos los muros.
- Dentro del tímpano debe rellenarse con paja-barro.
- Se procede a reparar la grieta horizontal.
- Se envuelve los muros con drizas similar a un enmallado.
- Se hace un enlucido del muro.



1. Viga collar
2. Pies derechos 3"x3"
3. Conector de madera 3"x3"
4. T ravesaño 1"x2"
5. Caña brava trenzada
6. Paja-barro
7. Enlucido

Distancia entre pies derechos:
0.60m

Figura 56. Estructura interna del nuevo tímpano.
Fuente. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2014).

Para la paja-barro se mezclará 30 volúmenes de paja con 1 volumen de tierra. En un depósito se colocará agua y tierra hasta que esté hecho barro y se sumergirá la paja, esta luego se sacará y escurrirá apretándola con las manos.



Figura 57. Pasos para la elaboración de paja barro.
Fuente. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2014).

4.2.6. Refuerzo con geomalla

Según la RNE E.080 (2017), este refuerzo debe ser externo y embutido en el enlucido, este está constituido por material sintético y presenta las siguientes características: debe estar conformado por retículas rectangulares o cuadradas con o sin diagonales interiores con abertura mínima de 50mm y nudos integrados; la capacidad a tracción mínima debe ser de 3.5 kN/m (356.9 kgf/m) en ambas direcciones con una elongación de 2%; debe poseer flexibilidad y durabilidad, y debe envolverse en ambas caras del muro con una separación máxima de 30cm entre cuerdas.

Para el análisis de flexión se utilizará las tablas de Kalmanok propuestas en la Norma E.070 Albañilería.

VALORES DEL COEFICIENTE DE MOMENTOS «m» Y DIMENSIÓN CRÍTICA «a»

| | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| CASO 1. MURO CON CUATRO BORDES ARRIOSTRADOS | | | | | | | | |
| a = Menor dimensión | | | | | | | | |
| b/a = 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 3,0 | ∞ | |
| m = 0,0479 | 0,0627 | 0,0755 | 0,0862 | 0,0948 | 0,1017 | 0,118 | 0,125 | |
| CASO 2. MURO CON TRES BORDES ARRIOSTRADOS | | | | | | | | |
| a = Longitud del borde libre | | | | | | | | |
| b/a = 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | ∞ |
| m = 0,060 | 0,074 | 0,087 | 0,097 | 0,106 | 0,112 | 0,128 | 0,132 | 0,133 |
| CASO 3. MURO ARRIOSTRADO SOLO EN SUS BORDES HORIZONTALES | | | | | | | | |
| a = Altura del muro | | | | | | | | |
| m = 0,125 | | | | | | | | |
| CASO 4. MURO EN VOLADIZO | | | | | | | | |
| a = Altura del muro | | | | | | | | |
| m = 0,5 | | | | | | | | |

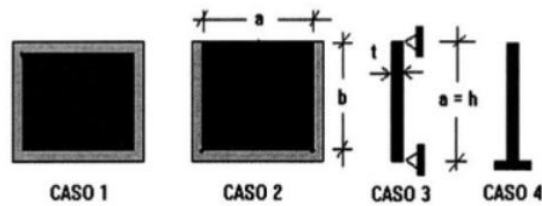


Figura 58. Valores del coeficiente de momentos.
Fuente. RNE E.070 (2019)

La fórmula propuesta por Kalmanok para determinar el momento en los bordes de los muros es:

$$M = m \times a \times w$$

Donde:

m: Coeficiente del momento obtenido.

a: Dimensión menor, del borde libre o altura del muro.

w: Fuerza distribuida perpendicular al plano del muro.

A continuación, se muestran el metrado de cargas, así como los cálculos respectivos:

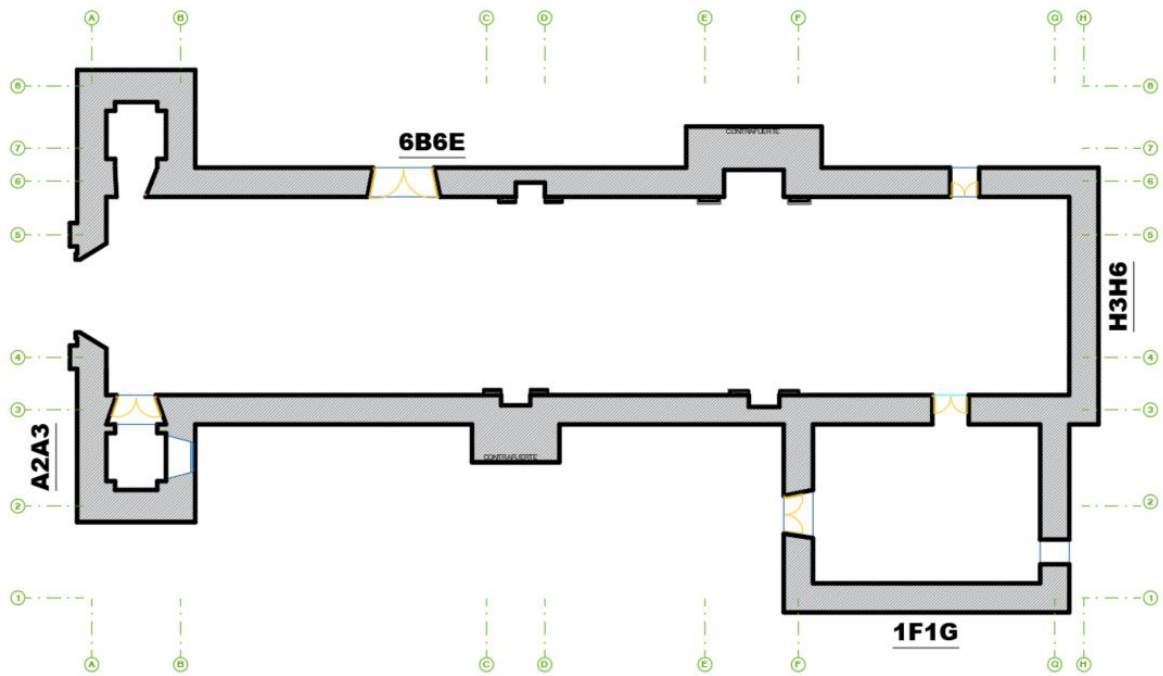


Figura 59. Distribución de muros analizados.
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 13. Peso de muros.

| Muros | Peso propio (kg) |
|-------|------------------|
| A2A3 | 3375 |
| 6B6E | 25275 |
| 1F1G | 11700 |
| H3H6 | 10200 |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 14. Peso de la cubierta.

| Muros | P total (kg) |
|-------|--------------|
| A2A3 | 556.88 |
| 6B6E | 21483.75 |
| 1F1G | 5908.50 |
| H3H6 | 867.00 |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15. Peso total sobre los muros analizados.

| Muros | P total (kg) |
|-------|--------------|
| A2A3 | 3931.88 |
| 6B6E | 46758.75 |
| 1F1G | 17608.50 |
| H3H6 | 11067.00 |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16. Fuerzas cortantes de los muros analizados.

| Muros | H (kg) | A (m ²) | V (kg/cm ²) | V (Mpa) |
|-------|----------|---------------------|-------------------------|---------|
| A2A3 | 1926.62 | 16.65 | 0.01 | 0.001 |
| 6B6E | 22911.79 | 86.78 | 0.03 | 0.003 |
| 1F1G | 8628.17 | 27.07 | 0.03 | 0.003 |
| H3H6 | 5422.83 | 35.02 | 0.02 | 0.002 |

Fuente. Elaboración propia.

Se cumple con las fuerzas cortantes al ser estos valores menores de 0.02MPa.

Tabla 17. Momentos máximos en los muros.

| Muros | w kg/m | Caso | b/a | m | M (kg.m/m) | M (kN.m/m) | T (kg/m) | T (kN/m) |
|-------|--------|------|------|-------|------------|------------|----------|----------|
| A2A3 | 367.5 | 2 | 3.29 | 0.133 | 247.44 | 2.47 | 247.44 | 2.47 |
| 6B6E | 367.5 | 2 | 0.31 | 0.028 | 2921.56 | 29.22 | 2921.56 | 29.22 |
| 1F1G | 367.5 | 2 | 0.44 | 0.052 | 1162.65 | 11.63 | 1162.65 | 11.63 |
| H3H6 | 367.5 | 2 | 0.76 | 0.092 | 1563.37 | 15.63 | 1563.37 | 15.63 |

Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se realiza el diseño de la geomalla.

Tabla 18. Resistencia requerida del refuerzo.

| | |
|-----------|----------|
| S | 1.4 |
| vu (MPa) | 0.04 |
| b (m) | 1.04 |
| N | 0.5 |
| fg (N/m) | 29120.00 |
| fg (kN/m) | 29.12 |

Fuente. Elaboración propia.

Sin embargo, esta resistencia requerida del refuerzo es superior a lo encontrado comercialmente, usándose una Geomalla 20 con resistencia a la tracción en el 5% de 19.6 kN/m, y verificándose el momento resistente con el momento requerido según análisis.

Tabla 19. Momento resistente.

| | |
|----------------|-------|
| Φ | 0.9 |
| f_g (kN/m) | 19.6 |
| d (m) | 1 |
| M_r (kN.m/m) | 17.64 |

Fuente. Elaboración propia.

Se concluye que el muro más largo 6B6E no cumple por flexión, se volvió a analizar los muros, pero esta vez con el plano final con contrafuertes, reduciendo de 16.85m de muro no arriostrado a 6.25m. Obteniendo un resultado favorable.

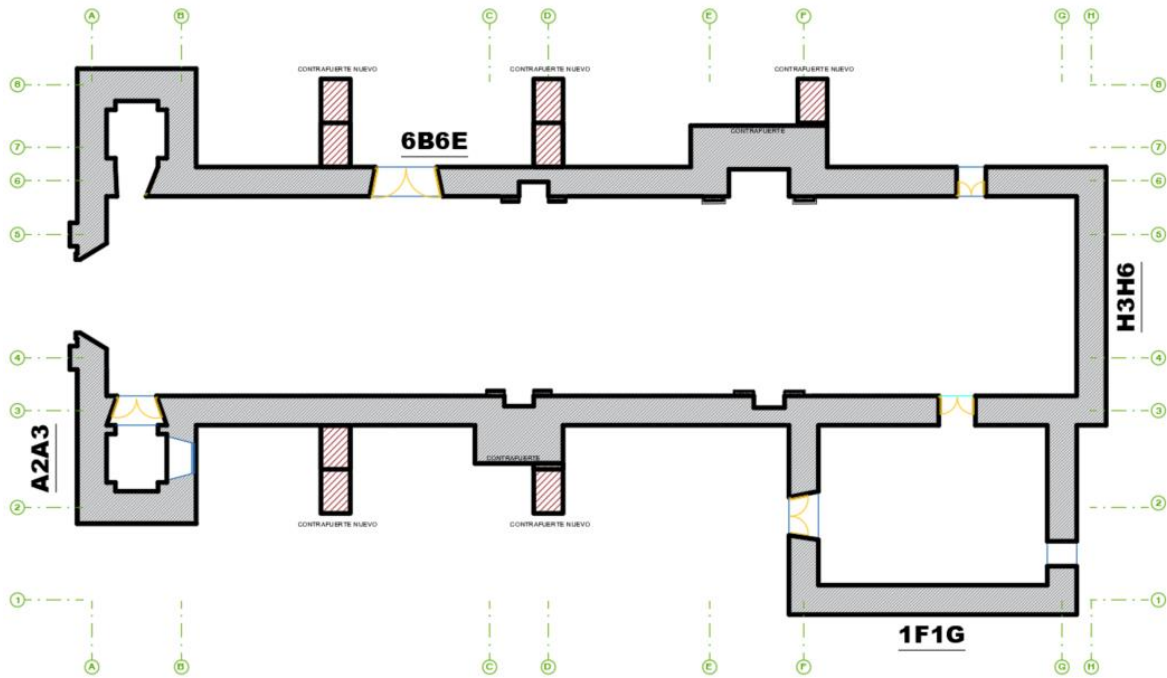


Figura 60. Ubicación de muros analizados, se observa la disminución de la longitud del muro 6B6E.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 20. Número de geomallas a utilizar.

| Muros | M (kg.m/m) | M (kN.m/m) | T (kg/m) | T (kN/m) | $\frac{M < M_r}{< 19.6}$ | M/M _r | # Mallas |
|-------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------------------|------------------|----------|
| A2A3 | 247.44 | 2.47 | 247.44 | 2.47 | OK | 0.14 | 1 |
| 6B6E | 401.95 | 4.02 | 401.95 | 4.02 | OK | 0.23 | 1 |
| 1F1G | 1162.65 | 11.63 | 1162.65 | 11.63 | OK | 0.66 | 1 |
| H3H6 | 1563.37 | 15.63 | 1563.37 | 15.63 | OK | 0.89 | 1 |

Fuente. Elaboración propia.

Por último, se realizó una verificación de los esfuerzos de compresión del muro más cargado (H3H6).

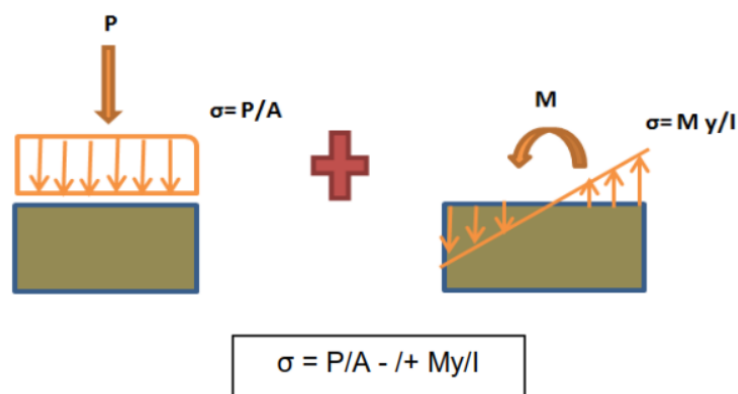


Figura 61. Diagrama de esfuerzos sobre muro de adobe.
Fuente. (J. Quispe & Rondón, 2012)

Tabla 21. Verificación de esfuerzos sobre muro.

| | |
|-------------------|---------------------------|
| Peso | 1627.50 kgf/m |
| Momento | 156337.44 kgf.cm/m |
| b | 100 cm |
| h | 100 cm |
| y | 50 cm |
| I | 8333333 cm ⁴ |
| A | 10000 cm ² |
| σ_1 | -0.78 kgf/cm ² |
| σ_2 | 1.10 kgf/cm ² |
| σ (límite) | 2.00 kgf/cm ² |

Fuente. Elaboración propia.

4.2.7. Refuerzo con cuerdas (drizas)

Según la RNE E.080 (2017), si se utilizaran refuerzos con mallas de sogas sintéticas (driza blanca o similar) se debe tener las consideraciones siguientes:

- Utilizar diámetros de sogas sintéticas igual o mayores a 5/32" (3.97 mm), salvo las sogas para unir las mallas de ambas caras del muro, cuyo diámetro debe ser mínimo de 1/8" (3.17 mm).
- Las mallas de refuerzo deben ser externas al muro y embutidas en el enlucido del mismo, lo que también sirve para la consolidación de construcciones existentes.
- Las mallas deben conformarse mediante lazos verticales y horizontales que confinen (envuelvan) el muro. Los lazos de confinamiento vertical deben estar convenientemente anclados a la cimentación y a la viga collar superior.

- Las mallas de cada cara del muro deben unirse en cada intersección de los lazos según lo indicado en el Anexo N°6, inciso 6.1: Nudos para refuerzos, o mediante un método similar comprobado.
- La separación entre las sogas horizontales debe ser menor a 0.40m en promedio para el tercio inferior a la altura del muro (sea la edificación de uno o dos pisos). Debe ser de 0.30m en promedio para el tercio central y de 0.20m en promedio para el tercio superior (sin coincidir con la junta horizontal). La separación entre las sogas verticales debe ser menor a 0.40m.
- El refuerzo horizontal debe coincidir con los niveles inferior y superior de los vanos.

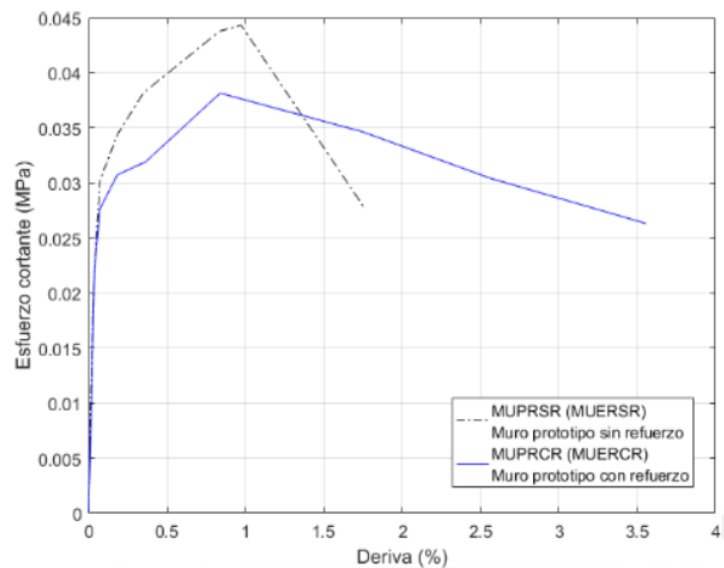


Figura 62. Gráfica de esfuerzo cortante (MPa) vs deriva del muro prototipo.
Fuente: Valle (2019)

Ensayos en muros sin refuerzo y con refuerzo demostraron un incremento de la ductilidad y casi nulo incremento en resistencia (Valle, 2019).

4.2.8. Resultados del análisis sin refuerzo y con refuerzo

En las siguientes figuras se presenta la comparación de modelos analíticos, con refuerzo y sin refuerzo. En los modelos de la estructura donde no posee refuerzo se observa esfuerzos que superan el máximo admisible de orden 0.78 kg/cm, estos exceden la capacidad del material y por esto fácilmente se fisuran gran parte por que en estas construcciones predominan los esfuerzos de flexión.

En los modelos con refuerzo de madera y la colocación del contrafuerte se observa una disminución en el valor de los esfuerzos en relación a la no reforzada, los elementos de refuerzo unen partes importantes de concentración de esfuerzos uniendo las posibles grietas y fisuras. Además, estos elementos de refuerzo generan un aumento en los esfuerzos admisibles de los materiales por el efecto de refuerzo directo.

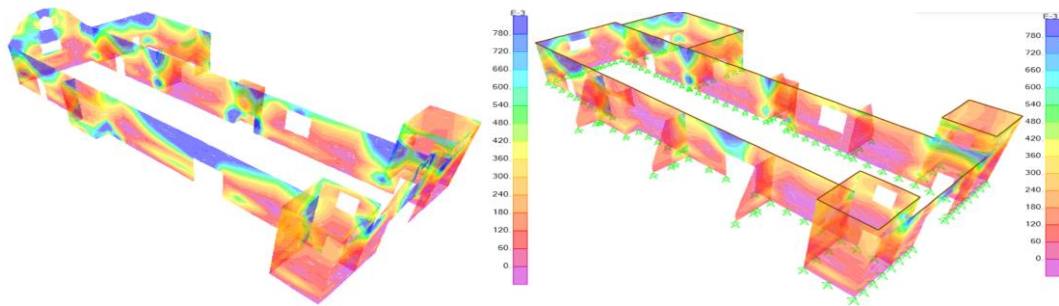


Figura 63. Diagrama de momentos flexionantes verticales M_{11} , sin refuerzo y con refuerzo.
Fuente. Elaboración propia.

Según los resultados del análisis de momentos flexionantes en la dirección 1 vertical adicionándole refuerzos señalados en el ítem anterior, se observa una disminución significativa de esfuerzos en todos los muros de la estructura, se presenta esfuerzos menores al máximo admisible del orden 0.78 kg/cm^2 .

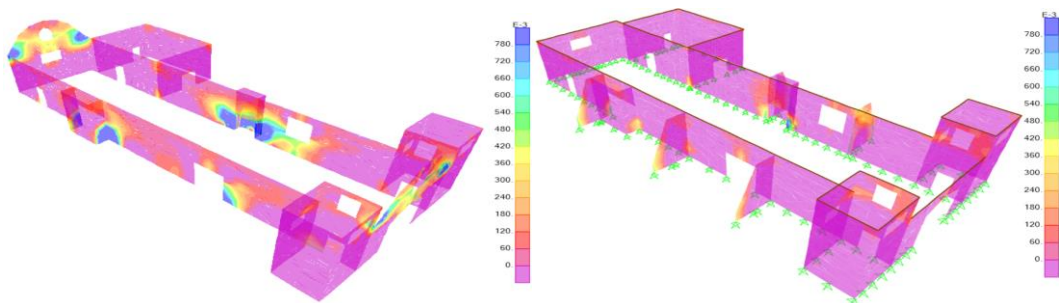


Figura 64. Diagrama de momentos flexionantes horizontales M_{22} , sin refuerzo y con refuerzo.
Fuente. Elaboración propia.

De la estructura reforzada en comparación con la no reforzada se evidencia una disminución de esfuerzos. Esto se debe en gran parte a que en este tipo de estructuras predominan los esfuerzos de flexión, para lo cual los elementos de madera resultan muy efectivos para contrarrestar los esfuerzos que superan el máximo admisible. El principal efecto se traduce en un aumento en los esfuerzos admisibles del material.

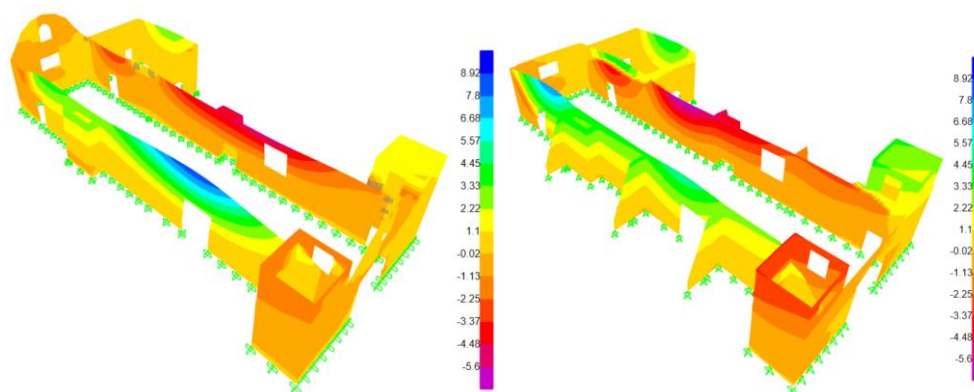


Figura 65. Deformación máxima por sismo, sin refuerzo y con refuerzo.
Fuente. Elaboración propia.

De la estructura con refuerzo se puede observar una disminución en las deformaciones máximas lineales y angulares en un 80.00% del desplazamiento de los muros sin refuerzo, en el diagrama que se muestra se puede apreciar la variación de los esfuerzos con los distintos colores.

Según los desplazamientos máximos relativos de entrepiso no debe exceder la fracción de la altura de entrepiso para material de albañilería (NTP E-030, 2016).

$$(\Delta_i / h_{ei}) \leq 0.005$$

Para la altura $h_n = 8.15$ m de la estructura y $\Delta_i = 1.96$ cm, el máximo desplazamiento será: $(\Delta_i / h_{ei}) = 0.0024 \leq 0.005$, este valor es el máximo desplazamiento de todos los puntos para el sentido x-x y en el sentido y-y, por lo tanto, cumple con la norma E-030.

4.3. Evaluación costo-beneficio

Después de un estudio de las diferentes técnicas disponibles y validadas de reforzamiento en edificaciones existentes de adobe se decidió la utilización de dos alternativas consideradas como las mejores candidatas: la geomalla y las cuerdas (drizas) por ser alternativas con sustento teórico experimental, aplicadas en proyectos anteriores y que han demostrado eficacia en sucesos reales.

A la vez, se ejecutó el diseño preliminar de reforzamiento a nivel de prefactibilidad de las dos alternativas mencionadas.

A continuación, se procede a determinar la mejor alternativa en costo beneficio para el caso particular de la Iglesia San José de Pachía, esto aplicando un índice de factibilidad el cual mide la viabilidad de ejecutar una de las alternativas propuestas en la zona de estudio.

Este índice se mide en valores de entre el 0 y el 100 siendo 0 la alternativa menos viable y 100 correspondería a la mejor alternativa para ejecutar.

Para establecer el valor que tendrá este índice para las 02 alternativas principales desarrolladas en este trabajo que con geomallas y drizas se realizará la suma ponderada de cada factor de desempeño que involucra el siguiente enunciado:

$$I = W_1.F_1 + W_2.F_2 + W_3.F_3 + \dots + W_n.F_n \quad , \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$$

I : Índice de factibilidad

W_i : Peso asignado al Factor “i” (F_i),

F_i : Factor de desempeño “i”

4.3.1. Factor Costo inicial (F_1)

Los costos iniciales por metro cuadrado de reforzamiento para la iglesia San José de Pachía de ambas alternativas son mostrados en la Tabla 13. Se debe considerar que la importancia de la edificación es alta (edificación esencial). Por ello es que se ha modificado la configuración estructural o la tipología de la edificación (v.g. la implementación de contrafuertes en los muros de las iglesias en la que estos han sido reforzados por cada una de las alternativas de reforzamiento). Esto incrementa el costo de recursos para cada alternativa de reforzamiento (materiales, mano de obra, etc.).

Tabla 22. Costo inicial de las alternativas.

| MATERIALES | COSTO INICIAL MATERIALES S/.M2 |
|--|--------------------------------|
| GEOMALLA | |
| Rollos de geomalla, cemento para la cimentación de anclaje | 31.2 |
| CUERDAS (DRIZAS) | |
| Drizas | 19.6 |

Fuente. Elaboración propia.

Para determinar el factor Costo Inicial primero se debe determinar la viabilidad de costo que es:

$$\text{Viabilidad de costo} = \left(\frac{\text{Costo inicial de reforzamiento/m}^2}{\text{Valor unitario oficial de construcción de adobe/m}^2} \right) \%$$

La viabilidad se refiere a realizar una división entre el costo inicial de las propuestas de reforzamiento por m² y el valor unitario oficial de los muros de adobe para ubicaciones rurales que es una publicación del MVCS – 2011

Para este caso ambas propuestas de reforzamiento son viables puesto que al ser esta estructura un monumento histórico este no se puede demoler y construir nuevamente, por lo tanto, se considera la viabilidad para la Geomalla 31% y para las drizas 21%

Después de encontrado la viabilidad del costo se procede a realizar el cálculo del factor costo inicial con el siguiente enunciado:

$$F_1 = 100 - \text{Viabilidad de costo} \quad (F_1 \geq 0)$$

Tabla 23. Valor asignado para F_1

| MATERIALES | FACTOR COSTO INICIAL (F_1) |
|--|--------------------------------|
| GEOMALLA | |
| Rollos de geomalla, cemento para la cimentación de anclaje | 69 |
| CUERDAS (DRIZAS) | |
| Drizas | 80 |

Fuente. Elaboración propia.

4.3.2. Factor Seguridad y comportamiento (F_2)

Este factor se refiere la seguridad que la edificación proporcione a sus habitantes y el buen comportamiento que tendrá durante los distintos niveles de sismos. La seguridad se relaciona con el tipo de falla de la edificación.

A continuación, se muestra la tabla de valores propuestos para el factor seguridad y comportamiento F_2 .

Tabla 24. Factor Seguridad y comportamiento.

| Características propias de las alternativas de reforzamiento | Valor Asignado (F_2) |
|--|--------------------------|
| Falla frágil y poca resistencia (reparaciones continuas) | 0 - 25 |
| Falla frágil y buena resistencia (reparaciones ocasionales) | 25 - 50 |
| Falla dúctil y poca resistencia (reparaciones frecuentes) | 50 - 70 |
| Falla dúctil y buena resistencia (muy pocas reparaciones) | 70 - 100 |

Fuente. (Quispe & Rondón, 2012)

Para la propuesta de reforzamiento estructural con geomalla se asigna la cifra de 70 puesto que la geomalla favorece a la falla dúctil, dándoles a las personas la facilidad para evacuar progresivamente.

Para la propuesta de reforzamiento estructural con drizas se asigna la cifra de 50 puesto que las utilizaciones de estas favorecen a la falla dúctil pero no dan mayor resistencia.

4.3.3. Factor Recursos y Facilidad de Construcción (F_3)

Mediante este factor se mide de forma cualitativa la facilidad de las alternativas de reforzamiento para que sea ejecutado.

A continuación, se muestra la tabla de valores propuestos para el factor F_3 .

Tabla 25. Factor de recursos y facilidad de Construcción

| Descripción | Valor |
|--|----------|
| Asesoría permanente de técnicos y/o profesional. Requiere el uso permanente de equipos mayores (mixers, retroexcavadoras, etc.) | 0 - 25 |
| Asesoría parcial de técnicos y/o profesionales requiere relativamente el uso de equipos (compactadoras manuales, vibradoras, etc.) | 25 - 50 |
| Capacitación mínima. Requiere equipos menores (trompos, winches, etc.) | 50 - 75 |
| Capacitación mínima. Requiere el uso de herramientas menores | 75 - 100 |

Fuente. (Quispe & Rondón, 2012).

A la propuesta de reforzamiento con geomalla se le da un valor de 60 ya que para su instalación es necesario realizar perforaciones en las dos direcciones de los muros de adobe; y para la propuesta con drizas se le da un valor de 75 por requerir menos orificios. En cambio, para el caso de las dos propuestas, se puede emplear un taladro. Así mismo ambos necesitan usar mezcladora, capacitación mínima y mano de obra capacitada.

4.3.4. Factor Disponibilidad de Materiales (F_4)

Mediante este factor se mide de la disponibilidad de los materiales para reforzamiento en la zona real, puesto que por lo general este tipo de estructuras (de adobe) se encuentran en provincias.

A continuación, se muestra la tabla de valores propuestos para el factor F_4 .

Tabla 26. Factor disponibilidad de materiales

| Descripción | Valor |
|--|----------|
| Disponibilidad remota (distribuidores extranjeros) | 0 - 25 |
| Disponibilidad mínima (distribuidores en pocas ciudades a nivel nacional: Lima, Arequipa, Pacasmayo, etc.) | 25 - 50 |
| Disponibilidad regular (proveedores en poblados aledaños) | 50 - 75 |
| Disponibilidad inmediata (los materiales se encuentran disponibles a nivel local) | 75 - 100 |

Fuente. (Quispe & Rondón, 2012).

A la propuesta de reforzamiento con geomalla se le da un valor de 50 ya que es un material geosintético importado para ser obtenida solo se puede con abastecedores acreditados; y para la propuesta con drizas se le da un valor de 85 puesto que este se consigue en zonas cercanas al distrito de Pachía.

4.3.5. Factor Impacto Ambiental (F_5)

Mediante este factor se evalúa el análisis de ciclo de vida de los insumos más importantes por cada propuesta y como este afecta al medio ambiente.

A continuación, se muestra la tabla de valores propuestos para el factor F_5 .

Tabla 27. Factor de Impacto Ambiental

| Descripción | Valor |
|---|----------|
| Impacto ambiental negativo, en especial sobre agua, suelo. La mayoría de materiales que componen la técnica son reutilizables. | 0 - 25 |
| Impacto ambiental negativo, en especial sobre agua y/o suelo. La mayoría de materiales que componen la técnica son reutilizables. | 25 - 50 |
| Impacto ambiental mínimo en el agua y en el suelo. Todo el material que compone la técnica es reutilizable. | 50 - 75 |
| No hay impacto ambiental por actividad antrópica. | 75 - 100 |

Fuente. (Quispe & Rondón, 2012)

Para ambas propuestas se le asigna un valor de 50 puesto que los materiales utilizados para los reforzamientos son reutilizables además que se usa el barro como recubrimiento para los muros para dar protección a la geomalla y la driza.

4.3.6. Factor Imaginario de la Población (F_6)

Mediante este factor se evalúa la existencia de alguna experiencia que los ejecutores hayan tenido con algunos de los tipos de reforzamiento y que este haya sido admisible.

A continuación, se muestra la tabla de valores propuestos para el factor F_6 .

Tabla 28. Factor Imaginario de la Población

| Descripción | Valor |
|--|----------|
| No se conoce de la alternativa de refuerzo | 0 - 25 |
| Se conoce el reforzamiento y no se ha tenido experiencia o no es aceptado por la comunidad | 25 - 75 |
| Se conoce el reforzamiento, se ha tenido experiencia y ha sido aceptado por la comunidad | 75 - 100 |

Fuente. (Quispe & Rondón, 2012)

A la propuesta de reforzamiento con geomalla se le da un valor de 100 ya que esta es una alternativa que ya es aceptada y usada en nuevos proyectos en zonas aledañas al sitio de estudio; sin embargo, para la propuesta con drizas se le da un valor de 0 puesto que sobre esta alternativa no se tiene conocimiento en la zona de trabajo.

4.3.6. Aplicación de la Fórmula del Índice de Factibilidad de Alternativas

Aplicando la fórmula descrita en el capítulo 4.3 se llega a la siguiente tabla que describe los seis factores principales.

Tabla 29. Matriz de Factores

| Factor | Peso | Geomalla | Drizas | Óptimo Máximo | Pésimo Mínimo |
|--------------------------------------|----------|-----------|-----------|------------------|------------------|
| Costo inicial | 0.17 | 69 | 80 | 100 | 0 |
| Seguridad y Comportamiento | 0.17 | 70 | 50 | 100 | 0 |
| Recursos y Facilidad de Construcción | 0.17 | 60 | 75 | 100 | 0 |
| Disponibilidad de Materiales | 0.17 | 50 | 85 | 100 | 0 |
| Impacto ambiental | 0.17 | 50 | 50 | 100 | 0 |
| Imaginario de la Población | 0.17 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| Total | 1 | 67 | 57 | 100 | 0 |

Fuente. Elaboración propia.

De la tabla anterior se visualiza que para este caso la mejor alternativa costo beneficio para el reforzamiento de la Iglesia de Pachia es la geomalla.

4.4. Contrastación de la hipótesis general y específica

Hipótesis general

Ho: La propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad Tacna, 2021 será cualitativa-analítica

De acuerdo a la evaluación cualitativa y analítica de la edificación en el presente capítulo, se puede afirmar que la hipótesis general planteada en la presente investigación es válida.

Hipótesis específicas

H1: La mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos es un modelo matemático que considere características del suelo, fuerzas sísmicas y resistencias de los materiales.

De acuerdo a los parámetros obtenidos de la normativa y referencias a otras fuentes, se puede confirmar que la hipótesis específica 1 en la presente investigación es válida.

H2: Los sistemas de refuerzo estructural adecuados en monumentos históricos son los que no alteren su forma arquitectónica, como las llaves de madera y vigas collar.

De acuerdo a los sistemas de refuerzo planteados (viga collar de madera externa, llaves de madera en esquinas, reconstrucción de muros de adobe, contrafuertes, reconstrucción de tímpano, refuerzo con geomalla, refuerzo con cuerdas), se puede confirmar que la hipótesis específica 2 en la presente investigación es válida.

H3: El costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe es económico, debido al bajo costo de los materiales de refuerzo.

De acuerdo a la evaluación costo-beneficio entre los materiales de reforzamiento de muros mediante geomallas y con cuerdas (drizas), se puede confirmar que la hipótesis específica 3 en la presente investigación es válida.

V. DISCUSIÓN

Según Mendes (2017), presenta una “Metodología de Evaluación Rápida de edificaciones patrimoniales tipo iglesia colonial” en la ciudad de Cusco el cual tiene la finalidad de lograr el índice de vulnerabilidad y hallar los daños que podría presentar ante varios periodos de retorno. Este procedimiento mecánico es de fácil y rápida aplicación, por lo que se posibilita una extensión de su uso a una gran cantidad de muestras para un conocimiento más preciso de los diferentes escenarios en lo que se presentan este tipo de iglesias. La finalidad principal es determinar cuando amerita una evaluación más precisa, utilizando modelamientos numéricos avanzados. Aunque la propuesta es interesante aún falta validarla mediante sustentaciones y otras validaciones futuras. La metodología empleada para el análisis de la iglesia San José de Pachía presenta algunas similitudes en cuanto a la caracterización y descripción de la edificación en estudio con algunas variaciones en cuanto a la información cualitativa como propietario actual, si esta es del gobierno central, local, o pertenece a alguna iglesia, persona natural o jurídica; localización del edificio; si existiese algún dispositivo legal que nombre a la edificación como patrimonio cultural; el tipo de arquitectura (si es civil pública, civil doméstica, religiosa, o militar; el año de construcción (en función del siglo), una descripción del inmueble exterior e interior y los materiales constructivos como piedra, adobe, madera, entre otros; así como su estado actual (bueno, malo, regular) y observaciones. Una breve reseña histórica obtenida por consultas en campo. Y cierta referencia a la investigación de Apaza (2016) en cuanto a la clasificación de la arquitectura de la iglesia; esta última referencia nace de la investigación “Estudio tipológico de la arquitectura religiosa andina - región Tacna (siglos XVIII-XX), y propuesta de restauración y puesta en valor de la capilla de Queñuavichinca (Alto Perú)” de cual se hace estudio de unos 65 templos que cuentan con cierto valor histórico con 11 diferentes tipos arquitectónicos como nave simple con torre adosadas, con torre exenta, en cruz latina con torre central, con techo de mojinete, en cruz latina con cerco y calvario, con espadaña, en cruz griega, atípica, y en cruz latina; todo ello con la finalidad de dar a conocer el valor del

patrimonio histórico arquitectónico religioso de Tacna. Todas las metodologías ya descritas anteriormente son importantes para conocer desde diferentes puntos de vista una edificación patrimonial que por sus años de antigüedad se debe velar por un análisis más preciso y con más tiempo de estudio.

Una vez realizada la evaluación indicada en el párrafo anterior, este debe de analizarse mediante un análisis cuantitativo, es decir con modelos numéricos, el cual debe realizarse mediante algún software especializado en este tipo de análisis, para la presente tesis se usó el software SAP2000 el cual acorde a su descripción es un programa comercial de cálculo de estructuras que se basa en el método de elementos finitos con una interfaz gráfica 3D orientada a objetos, el cual es muy reconocida por su amplia solución de problemas de ingeniería de estructuras. Sin embargo, Paulo B. Lourenço & Pereira (2020) recomiendan para modelos constitutivos de mampostería usar los softwares comerciales como Diana y Abaqus, los cuales son idóneas para análisis más complejos como los no lineales.

Dentro de los análisis que son nombrados en el libro “Recomendaciones para el modelado avanzado de sitios históricos de tierra” de Paulo B. Lourenço & Pereira (2020), se nombran los análisis estáticos, los que se dividen en lineal elástico, límite, no lineal, pushover, y los análisis dinámicos, que son de espectro de respuesta y tiempo-historia; de los cuales menciona el primero como no recomendable para una estructura histórica debido a la limitada simulación de la mampostería la cual por sus características de poseer una baja resistencia a tracción hacen imposible encontrar el esfuerzo de tracción admitido ya que depende de una distribución de esfuerzos que no brinda este análisis. Aunque Proaño et al. (2003) indica que si bien los resultados producto de un comportamiento lineal no son exactos, estos pueden ser útiles cualitativamente, por ello en la presente tesis siempre debe tomarse en consideración este concepto.

Los parámetros guía de resistencia a compresión y flexión del adobe se asumieron como 6.12 kgf/cm² y 0.78 kgf/cm² producto de ensayos realizados para la iglesia “Cristo Pobre” de Puno, alcanzándose resistencias altas con respecto a la norma vigente (RNE E.080, 2017), de acuerdo a lo observado en el análisis estructural, considerado un modelo idealizado mediante elementos shell, se observó el siguiente comportamiento: los elementos de madera resultan muy efectivos para contrarrestar los esfuerzos de flexión, el esfuerzo normal muestra

que las fuerzas verticales en la dirección 1 (S11) se concentran en la base central del elemento, siendo lo opuesto en la zona alta. Los esfuerzos horizontales en la dirección 2 (S22) solo son mayores en las zonas de mayor tramo o con mayor luz libre, similar caso con las deflexiones ante cargas sísmicas debido a que la cobertura de madera no es rígida, por ende, este podría modelarse como una iglesia con una carga distribuida que represente uniformemente la carga del techo. Esta investigación es similar al análisis que se realizó en la presente tesis. Se evalúan los periodos, distorsiones entre otros, así como se presentan soluciones para el reforzamiento estructural como la viga collar, llaves de madera, reconstrucción de muros y contrafuertes.

Otra propuesta planteada para el reforzamiento estructural de muros de adobe es el uso de geomalla, investigaciones realizadas como la de Bossio (2010), mostraron que la geomalla reduce la vulnerabilidad sísmica, además de que es compatible con el adobe, esta aporta resistencia y ductilidad a la edificación, previo tarrajeo que será necesario para un adecuado funcionamiento del reforzamiento. La función de la geomalla es distribuir los esfuerzos de tracción en todo el muro, incrementando la seguridad ante sismos severos. En la presente investigación se obtuvo mediante cálculo una geomalla 20 con resistencia a la tracción de 19.6 kN/m, el cual es suficiente para aumentar la seguridad de los muros ante un sismo.

Aunque las geomallas son el material más común para el reforzamiento de muros de adobe, existe otro material más económico, los cuales son las drizas o cuerdas sintéticas que mejoran la respuesta sísmica al proveer al muro de mampostería de mayor ductilidad (mas no de resistencia a diferencia de la geomalla), este reforzamiento disipa una mayor cantidad de energía, disminuyendo el daño. Según Valle (2019), este tipo de refuerzo de drizas es práctico, económico, fácil de usar y de muy fácil disponibilidad en el mercado, ensayos realizados a tracción en drizas de $\frac{1}{4}$ ", $\frac{5}{32}$ " y $\frac{1}{8}$ " de diámetro se determinó el módulo de elasticidad de 350MPa, 411MPa y 600MPa, así como ensayos a emparedados de adobe y mortero indicando que el agrietamiento comienza con este último elemento, y con ensayos de respuestas laterales de fuerza-desplazamiento a muros con reforzamiento y sin reforzamiento demostraron mediante curvas de histéresis que el rango elástico eran similares, y que en el rango inelástico existía una gran diferencia.

Después de un estudio de las diferentes técnicas disponibles y validadas de reforzamiento en edificaciones existentes de adobe dados en el proceso del Brainstorming se escogieron dos alternativas consideradas como las mejores candidatas: la geomalla y la drizas por ser alternativas con sustento teórico experimental, aplicadas en proyectos anteriores y que han demostrado eficacia en terremotos reales.

Así mismo, se realizó el diseño preliminar de reforzamiento a nivel de prefactibilidad de la mejor alternativa seleccionada.

VI. CONCLUSIONES

Finalizando esta tesis y tomando en cuenta los objetivos que la rigen se concluyeron los siguientes puntos:

1. La propuesta metodológica presentada permitió una correcta evaluación cualitativa y analítica, pudiendo observar con la primera información básica de la edificación grietas y erosión en sus muros, y con la segunda, un análisis más exacto de las posibles fallas que pudiesen ocurrir.
2. Según el análisis estructural de la iglesia San José de Pachía se observaron también fallas por flexión y compresión de estos en el modelo analítico superando el máximo admisible de 0.78 y 6.12 kgf/cm² respectivamente,
3. Existen diversos métodos para reforzar una estructura, los cuales varían según su ubicación y el elemento al cual está afectado, las fichas para reparación de viviendas de adobe del Ministerio de Vivienda resumen muy bien estas. El método de reforzamiento con llaves de madera, viga collar, contrafuertes y reemplazando el tímpano por un sistema más liviano y con mejor comportamiento recomendado por el Ministerio de Vivienda. Se verifica las distorsiones, resultando para la dirección más crítica $(\Delta i / h e_i) = 0.0024 \leq 0.005$, cumpliendo con la Norma Técnica E-030. Se usará la geomalla 20 con resistencia a la tracción en el 5% (19.6 kN/m) para los muros de adobe.
4. El costo-beneficio obtenido de la evaluación a dos materiales de reforzamiento para los muros, como las cuerdas (drizas) y geomallas se ve reflejado por 7 factores que son: el factor costo inicial, seguridad y comportamiento, recursos y facilidad de construcción, disponibilidad de materiales, impacto ambiental, imaginario de la población, obteniéndose un valor de 57 y 67 respectivamente (para cada sistema propuesto) recomendándose este último.

VII. RECOMENDACIONES

Debido a que las resistencias a compresión y flexión no cumplen ante un evento sísmico, estas deben intervenir inmediatamente para evitar peligro de colapso de la estructura.

Se recomienda realizar un análisis no lineal, previa obtención de propiedades mecánicas reales de la estructura.

Aunque el reforzamiento propuesto cumple con las necesidades estructurales de la iglesia, se recomienda revisar mucha más bibliografía extranjera, debido a que esta depende de la creatividad y experiencia del ingeniero estructural, que proponga más alternativas para posteriormente realizar una comparación en costos y determinar la mejor de estas.

REFERENCIAS

1. Apaza, K. (2016). *Estudio tipológico de la arquitectura religiosa andina- región Tacna (Siglos XVIII-XX), y propuesta de restauración y puesta en valor de la capilla de Queñuavichinca (Alto Perú)*. Universidad Privada de Tacna.
2. Avendaño. (2017). *Evaluación de las tipologías de intervención en monumentos históricos tipo iglesia: caso específico para la Catedral de Tacna*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
3. Baca. (2010). *Experiencia peruana en el diseño y aplicación de reforzamiento estructural con Fibras de Carbono*. Perú: ACI.
4. Bértora. (2010). *Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado*. Argentina: IX Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio" - 2010.
5. Bossio, S. (2010). *Evaluación del comportamiento sísmico e influencia de la dirección del movimiento en módulos de adobe reforzado con geomalla*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
6. Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la Investigación Científica*. (Vol. 1era Edición). Lima: Editorial San Marcos.
7. Charleson, A. (2011). *Seismic strengthening of earthen houses using straps cut from used car tires: a construction guide*. California: EERI Publication Number WHE-2011-02.
8. Computer & Structures, I. (2017). *CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSI Bridge* (I. Computer & Structures (ed.); Version 20).
9. Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. (2019). <https://www.monumentos.gob.cl>. Obtenido de <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/definicion/monumentos-historicos>
10. Corzo, M., & Nieves, V. (1994). *Conservación de vidrieras históricas: Análisis y diagnóstico de su deterioro*. Santander: The Getty Conservation Institute.
11. Donobhan. (2007). *Aplicación de los métodos estático y dinámico modal para el diseño sísmico de edificios con disipadores de energía*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

12. Esquivel, Y. (2009). *Sistemas de refuerzo estructural en monumentos históricos de la Región Cusco*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
13. Gobierno Peruano. (2009). *Sitio Web del Gobierno Peruano*. Obtenido de Sitio Web del Gobierno Peruano - Normas para el proceso de recepción, liquidación y transferencia de las obras y proyectos ejecutados por administración directa Municipalidad Provincial de Chincheros: http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/11857/PLAN_11857_DIRECTIVA%20DE%20LIQUIDACIONES%20DE%20OBRA_2009.doc
14. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL.
15. Herrman, C. (2009). *Fundamentals of Methodology*. *Social Sciences Research Network*.
16. Hibbeler. (2010). *Ingeniería mecánica- Estática*. 12° edición. México: Pearson Educación.
17. Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería mecánica-estática* (Vol. 12va Edición). (P. Educación, Ed.) México.
18. INAH, I. N. (2020). *Monumentos históricos*. Chihuahua.
19. Irny, S., & Rose, A. (2005). *Diseño de una metodología de planificación estratégica de sistemas de información para los institutos de educación superior de Malasia (ISPPTA), Problemas en el sistema de información*. Malasia: ISPPTA.
20. Kuroiwa, J. (2004). *Disaster reduction: living in harmony with nature*. Lima: Quebecor World Perú.
21. Lajo, R. (1990). *Léxico de arte*. Madrid: Akal.
22. Lourenço, Paulo B., & Pereira, J. (2020). *Proyecto de Estabilización Sismorresistente: Recomendaciones para el modelado avanzado de sitios históricos de tierra*.
23. Mendes, A. (2017). *Metodología de evaluación visual rápida para determinar la vulnerabilidad sísmica en las iglesias coloniales: Aplicaciones en Cusco, Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
24. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2014). *Fichas para la reparación de viviendas de adobe*.

25. MEF. (2011). *Anexo SNIP 05 A: Contenidos mínimos - Perfil para declarar la viabilidad del PIP*. Lima: MEF - Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/anexos/new_direc/ndi_AnexoSNIP05A-ContenidosMinimosPerfilparaDeclaratoriadeViabilidaddelPIP.pdf
26. Moran Delgado, G., & Alvarado Cervantes, D. G. (2010). *Métodos de Investigación* (Vol. 1era Edición). Naucalpan de Juarez: Pearson.
27. Moreta. (2015). *Evaluación estructural mediante el Fema 154 del NEC y propuesta de reforzamiento del centro educativo Juan Pablo I del D.M.Q.* Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
28. MVCyS. (2017). *NORMA E.080*. PERU.
29. ÑAUPAS, E. (2014). *Metodología de la investigación científica*. Colombia: Bogotá: ISBN.
30. Ortega, M. (2010). *Lecciones de Física (4 volúmenes)*. Monytex.
31. OSCE. (2015). *Contratación de Obras Públicas*. Lima: OSCE - Sub Dirección de Desarrollo de Capacidades. Obtenido de https://portal.osce.gob.pe/osce/sites/default/files/Documentos/Capacidades/Capacitacion/Virtual/curso_contratacion_obras/libro_cap3_obras.pdf
32. Oxford. (2004). *Diccionario de Ciencias*. Madrid: Oxford University Press.
33. PADT, REFORT. (1984). *Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino* (Vol. 3º Edición). Lima, Perú.
34. Peña Modragón, F., & Lourenco, P. (2012). Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 87.
35. Peralta. (2002). *Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
36. Pereira, J. (2010). *Protocolo de actuación frente a la restauración y rehabilitación de edificios históricos*. España: S.E.
37. PNUD. (2008). *Manual para el desarrollo de Viviendas Sismoresistentes*. Lima, Perú.
38. Presidencia del Consejo de Ministros. (2005). *Presidencia del Consejo de Ministros. Municipio al día*. Obtenido de Municipio al día Web Site: https://municipioaldia.com/consultas-frecuentes/consulta_frecuente_90091861/

39. Proaño, R., Torres, M., Olarte, J., Zavala, C., Aguilar, Z., Scaletti, H., & Rodriguez, M. (2003). Vulnerabilidad sísmica de la catedral de Cusco. *Xiv Congreso Nacional De Ingeniería Civil*, 1, 1–11.
40. Quispe & Rondón. (2012). *Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
41. Quispe, M. (2017). *Evaluación y propuesta de reforzamiento estructural de la capilla Cristo Pobre de la beneficencia de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
42. Quiun, D., San Bartolomé, A., Zegarra, L., & Giesecke, A. (2008). *Comportamiento de las viviendas de adobe reforzadas ante el sismo de Pisco*. Lim: Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
43. RAE. (2005). *Real Academia Española*. Madrid: Real Academia Española.
44. RNE E.020. (2006). *Cargas*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
45. RNE E.070. (2019). *Albañilería* (pp. 10–15). Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
46. RNE E.080. (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. In *El Peruano*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
47. Rosero Landeta. (2013). *Reforzamiento de estructuras de hormigón armado con FRP (Fiber reinforced polymers). Aplicación al caso de refuerzo de una losa y columnas de un salón de audiovisuales y un auditorio*. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
48. Sísmica, A. C. (2010). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Colombia.
49. Tello Malpartida. (2006). *Evaluación y Reforzamiento de Estructuras*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal Facultad de Ingeniería Civil.
50. Valderrama Mendoza, S. (2013). *Pasos para evaluar proyecto de investigación científica* (Vol. 2da edición).
51. Vargas, J., Torrealva, D., & Blondet, M. (2007). *Construcción de casas saludables y sismoresistentes de Adobe Reforzado con geomallas*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

52. Valle, A. (2019). *Evaluación experimental del comportamiento de muros de adobe reforzados con cuerdas sometidos a carga lateral cíclica*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

Anexo 02: Operacionalización de variables

Anexo 03: Fichas Técnicas de Recopilación de datos validadas por especialistas

Anexo 04: Planos de proyecto

Anexo 05: Resultados de laboratorio de los ensayos de mecánica de suelos

Anexo 06: Panel Fotográfico

Anexo N°07: Resultados de análisis anti plagio por el sistema Turnitin.

Anexo 01. Matriz de Consistencia

TÍTULO: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MONUMENTOS HISTÓRICOS DE ADOBE DEL DISTRITO PACHÍA, CIUDAD DE TACNA, 2021

AUTOR: MIRIAM ELIZABETH MAMANI AYRAMPO

| PROBLEMA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL | VARIABLES INDEPENDIENTE | DIMENSIONES | INDICADORES |
|---|--|---|--------------------------------------|---|---|
| ¿Cuál sería la propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021? | Determinar la propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, Ciudad de Tacna, 2021. | La propuesta metodológica para el reforzamiento estructural de monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad Tacna, 2021 será cualitativa-analítica | Monumentos históricos | Propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento estructural | <ul style="list-style-type: none"> - Adobe estructural. - Cobertura de madera. - Más de 125 años. |
| PROBLEMA ESPECÍFICO | OBJETIVO ESPECÍFICO | HIPÓTESIS ESPECÍFICA | VARIABLE DEPENDIENTE | DIMENSIONES | INDICADORES |
| ¿Cuál sería la mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos de adobe? | Determinar la mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos de adobe. | La mejor alternativa de análisis estructural para monumentos históricos es un modelo matemático que considere características del suelo, fuerzas sísmicas y resistencias de los materiales. | Análisis y reforzamiento estructural | Análisis estructural | <ul style="list-style-type: none"> - Fuerza cortante - Desplazamiento lateral - Periodos - Distorsión |
| ¿Cuáles son los sistemas de refuerzo estructural adecuados en monumentos históricos de adobe? | Determinar los sistemas de refuerzos estructurales adecuados para monumentos históricos de adobe. | Los sistemas de refuerzo estructural adecuados en monumentos históricos son los que no alteren su forma arquitectónica, como las llaves de madera y vigas collar. | | Reforzamiento estructural | |
| ¿Cuál es el costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021? | Determinar el costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe en el distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021. | El costo beneficio de aplicar el reforzamiento estructural en monumentos históricos de adobe es económico, debido al bajo costo de los materiales de refuerzo. | | Costo-beneficio | <ul style="list-style-type: none"> - Costos por insumos - Análisis de precios unitarios. - Metrados. |

Anexo 02. Operacionalización de variables

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIÓN | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
|--------------------------------------|---|--|--|---|--------------------|
| Monumentos históricos | Son los bienes vinculados con la historia de la Nación, a partir del establecimiento de la cultura hispánica en el país, en los términos de la declaratoria respectiva o por determinación de la ley, en este último caso, quedan comprendidos los inmuebles construidos en los siglos XVI al XIX, destinados a templos y sus anexos; arzobispados, obispados y casas culturales; seminarios, conventos o cualesquiera otros destinados a la administración, divulgación, enseñanza o práctica de un culto religioso; así como a la educación y a la enseñanza, a fines asistenciales o benéficos; al servicio y ornato público y al uso de las autoridades civiles y militares. (http://inahchihuahua.gob.mx/sections.pl?id=25) | La iglesia presenta dos torres y una nave rectangular con una sala exterior adicional a la derecha. El material empleado para la construcción es de adobe en las paredes y madera en las coberturas, la cual esta última es trapezoidal. | Propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento estructural | - Adobe estructural. - Cobertura de madera. - Más de 125 años. | Razón |
| VARIABLE DEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIÓN | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
| Análisis y reforzamiento estructural | El análisis estructural se refiere al uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones o esqueletos resistentes de maquinaria. Igualmente el análisis dinámico estudiaría el comportamiento dinámico de dichas estructuras y la aparición de posibles vibraciones perniciosas para la estructura (https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_estructural). El refuerzo estructural consiste en aportar modificaciones a las estructuras existentes de un edificio o estructura para darles mayor resistencia frente a sismos (generalmente), al movimiento del terreno, a la apertura de una falla o al derrumbe de un terreno (https://es.wikipedia.org/wiki/Refuerzo_antis%C3%ADsmico). | El análisis se desarrolla con el modelo estructural de la iglesia con sus respectivos parámetros y consideraciones de simulación. El reforzamiento consiste en aportar más capacidad a la estructura con el objetivo de soportar un sismo de diseño según el reglamento nacional de edificaciones. | Análisis estructural Reforzamiento estructural Costo-beneficio | - Fuerza cortante - Desplazamiento lateral - Periodos - Distorsión | Razón |

Anexo 03. Fichas Técnicas de Recopilación de datos validadas por especialistas



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA N°1: DE INFORMACIÓN BÁSICA

TESIS : Propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento estructural de Monumentos Históricos de adobe del distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021

UBICACIÓN : Tacna - Perú

TESISTA : Miriam Elizabeth Mamani Ayrampo

FECHA : 2021

Inmueble declarado patrimonio cultural de la nación

Inmueble en presunción de patrimonio cultural de la nación

| Identificación: Imagen referencial | Planta |
|------------------------------------|--------|
| | |

| | | | |
|-----------------------------|----------------------|---|--|
| Nombre del edificio: | | Propietario actual: | |
| <input type="text"/> | | Gobierno central <input type="checkbox"/> | |
| Localización: | | Gobierno local <input type="checkbox"/> | |
| Departamento: | <input type="text"/> | Iglesia <input type="checkbox"/> | |
| Provincia: | <input type="text"/> | Persona natural <input type="checkbox"/> | |
| Distrito: | <input type="text"/> | Persona jurídica <input type="checkbox"/> | |
| Dirección: | Nombre: | | |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | | |

Dispositivo legal:

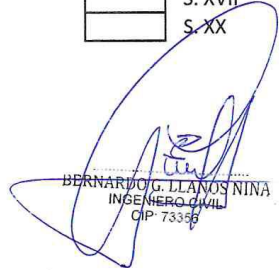
Tipo de arquitectura:

| | | | |
|--|--|------------------------------------|----------------------------------|
| Civil pública <input type="checkbox"/> | Civil domést. <input type="checkbox"/> | Religiosa <input type="checkbox"/> | Militar <input type="checkbox"/> |
| Uso original <input type="text"/> | | Uso actual <input type="text"/> | |

Año de construcción:

| | | | | | |
|--------|----------------------|--------|----------------------|---------|----------------------|
| Siglo: | <input type="text"/> | S. XVI | <input type="text"/> | S. XVII | <input type="text"/> |
| | <input type="text"/> | S. XIX | <input type="text"/> | S. XX | <input type="text"/> |


 EDWIN SIXTO APAZA CAYO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP: 173075


 BERNARDO G. LLANOS NINA
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 73358


 JUAN EMILIO GUIZA ORDOÑEZ
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 99120



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA N°1: DE INFORMACIÓN BÁSICA

TESIS : Propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento estructural de Monumentos Históricos de adobe del distrito Pachía, ciudad de Tacna, 2021

UBICACIÓN : Tacna - Perú

TESISTA : Miriam Elizabeth Mamani Ayrampo

FECHA : 2021

Descripción del inmueble:

| Descripción de la fachada | | Nro. de pisos: |
|---------------------------|-------------|----------------|
| Elementos arquitectónicos | Descripción | |
| | | |

Descripción del interior

| |
|--|
| |
|--|

Descripción de los materiales constructivos

| Elementos | Descripción | Estado B/R/M | Observaciones |
|---------------|-------------|--------------|---------------|
| Cimientos | | | |
| Muros | | | |
| Pisos | | | |
| Techos | | | |
| Pilastras | | | |
| Revestimiento | | | |
| Balcones | | | |
| Puertas | | | |
| Ventanas | | | |
| Rejas | | | |
| Otros | | | |
| IISS | | | |
| IIEE | | | |



EDWIN SIXTO APAZA CAYO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 173075

BERNARDO G. KLANOS MINO
INGENIERO CIVIL
CIP: 73386



JUAN EMILIO GUIZA ORDÓÑEZ
INGENIERO CIVIL
CIP N° 88120



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA N°1: DE INFORMACIÓN BÁSICA

TESIS : Propuesta metodológica para el análisis y reforzamiento estructural de Monumentos Históricos de adobe del distrito Pachla, ciudad de Tacna, 2021

UBICACIÓN : Tacna - Perú

TESISTA : Miriam Elizabeth Mamani Ayrampo

FECHA : 2021

Reseña histórica

Observaciones

*ADJUNTAR PLANOS DE LA EDIFICACIÓN

Revisado por:

| N° | VALIDADOR | N° CIP | CALIFICACIÓN |
|----|-------------------------------|--------|--------------|
| 1 | Edwin Sixto Apaza Cayo | 173075 | 01 |
| 2 | BERNARDO GILBERTO LIANOS NIÑO | 78356 | 01 |
| 3 | JUAN ERIC GUZÁ CRADOÑEZ | 86120 | 01 |



EDWIN SIXTO APAZA CAYO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 173075

BERNARDO G. LIANOS NIÑO
INGENIERO CIVIL
CIP: 78356



JUAN ERIC GUZÁ CRADOÑEZ
INGENIERO CIVIL
CIP Nº 86120

Anexo 04. Resultados de laboratorio de los ensayos de mecánica de suelos

(ADJUNTADO EN ARCHIVO PDF)

Anexo 05. Planos del Proyecto

(ADJUNTADAS EN ARCHIVOS DWG/PDF)

Anexo 06. Ficha técnica Geomalla 20

(ADJUNTADO EN ARCHIVO PDF)

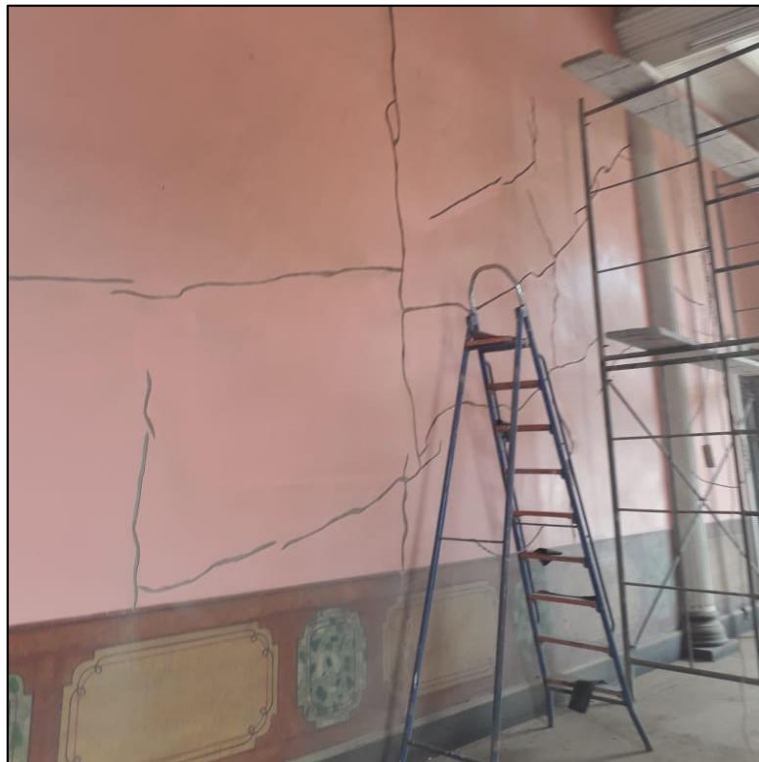
Anexo 07. Panel Fotográfico



Fotografía 1. Vista frontal de la iglesia de Pachía



Fotografía 2. Vista interior de la iglesia de Pachía



Fotografía 3. Fallas en muros.



Fotografía 4. Fallas en muros.



Fotografía 5. Fallas en muros.



Fotografía 6. Fallas en muros.



Fotografía 7. Vista interior.

Anexo 08. Resultados de análisis anti plagio por el sistema turnitin

TESIS_MIRIAM_MAMANI_AYRAMPO_09072021 FINAL.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 15% | 13% | 1% | 6% |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | idoc.pub Fuente de Internet | 2% |
| 2 | pt.slideshare.net Fuente de Internet | 2% |
| 3 | Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante | 1% |
| 4 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante | 1% |
| 7 | www.scribd.com Fuente de Internet | 1% |
| 8 | es.readkong.com Fuente de Internet | 1% |
| 9 | hdl.handle.net Fuente de Internet | <1% |

| | | |
|----|--|------|
| 10 | es.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 11 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1 % |
| 12 | tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | informesdelaconstruccion.revistas.csic.es Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | aprenderly.com Fuente de Internet | <1 % |
| 17 | Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante | <1 % |
| 18 | docslide.us Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 20 | cybertesis.uach.cl Fuente de Internet | <1 % |
| 21 | archive.org | |

| | | |
|----|--|------|
| | Fuente de Internet | <1 % |
| 22 | www.coursehero.com Fuente de Internet | <1 % |
| 23 | es.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 24 | repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 25 | repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 26 | Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante | <1 % |
| 27 | Submitted to Aliat Universidades Trabajo del estudiante | <1 % |
| 28 | Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante | <1 % |
| 29 | repositorio.upci.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 30 | www.secretariasenado.gov.co Fuente de Internet | <1 % |
| 31 | qhapaqnan.cultura.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 32 | vsip.info Fuente de Internet | |

| | | |
|----|--|------|
| | | <1 % |
| 33 | www.sicoes.gov.bo Fuente de Internet | <1 % |
| 34 | Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante | <1 % |
| 35 | anyelajimenez2b.blogspot.com Fuente de Internet | <1 % |
| 36 | editorialrestauro.com.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 37 | www.researchgate.net Fuente de Internet | <1 % |
| 38 | Luis Pancorbo, Inés Martín-Robles. "Amerikanische Bekleidung. La técnica semperiana en la obra de Albert Kahn", VLC arquitectura. Research Journal, 2020 Publicación | <1 % |
| 39 | costaricascallcenter.blogspot.com Fuente de Internet | <1 % |
| 40 | gestiopolis.com Fuente de Internet | <1 % |
| 41 | iris.paho.org Fuente de Internet | <1 % |

repositorioacademico.upc.edu.pe

| | | |
|----|---|------|
| 42 | Fuente de Internet | <1 % |
| 43 | wn.com Fuente de Internet | <1 % |
| 44 | worldwidescience.org Fuente de Internet | <1 % |
| 45 | www.gestruc.com Fuente de Internet | <1 % |
| 46 | www.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 47 | S. A. Bernal, R. Mejía de Gutiérrez, F. Ruiz, H. Quiñones, J. L. Provis. "Desempeño a temperaturas altas de morteros y hormigones basados en mezclas de escoria/metacaolín activadas alcalinamente", Materiales de Construcción, 2012 Publicación | <1 % |

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado