

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de metodologías empleadas en la conservación,
restauración y reforzamiento estructural de edificaciones
históricas, con énfasis en su pertinencia para el patrimonio
arquitectónico de Antigua Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Pedro David
Remis Mazariegos para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de metodologías empleadas en la conservación,
restauración y reforzamiento estructural de edificaciones
históricas, con énfasis en su pertinencia para el patrimonio
arquitectónico de Antigua Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Pedro David
Remis Mazariegos para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala

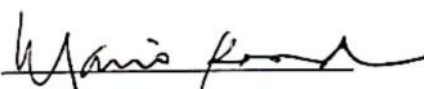
2025

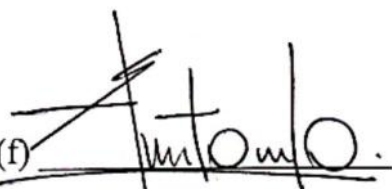
Vo. Bo.:

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas Arias

Tribunal examinador:

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas Arias

(f) 
Ing. Mario Enrique Rosada Orozco

(f) 
Ing. Danilo Antonio Rodríguez Cerón

Fecha de aprobación: Guatemala 17 de junio de 2025

Prefacio

Esta investigación implicó, además del análisis técnico y bibliográfico, un importante proceso de gestión para acceder a información relacionada con las labores de restauración en la ciudad de Antigua Guatemala. Esta documentación no se encuentra disponible en medios digitales, por lo que fue necesario contactar a las instituciones responsables de su resguardo.

Por lo tanto, agradezco a las personas e instituciones que brindaron su apoyo y facilitaron el acceso a documentos clave para este trabajo:

- Peggy Karenina Gutiérrez, encargada de la Unidad de Acceso a la Información Pública del Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG), por su amable atención y disposición durante el proceso.
- Lic. Saúl Bernardo Argueta Chinchilla, jefe del Registro Especial de la Propiedad Arqueológica, Histórica y Artística, por atender las solicitudes de información relacionadas con las memorias de labores institucionales. Estos documentos fueron fundamentales para el análisis técnico de esta investigación.
- El Departamento de Restauración del CNPAG, en especial al Arq. Marvin Borrayo, por facilitar el acceso a las bitácoras de intervención correspondientes a los monumentos del Templo de La Concepción, Santa Clara y Santa Teresa de Jesús

La experiencia de acceder a estas fuentes permitió fortalecer el enfoque técnico de este trabajo y ofrecer una mirada más cercana a la realidad de la conservación en Antigua Guatemala.

Índice general

Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	xi
Abstract	xii
I. Introducción.....	1
II. Justificación.....	3
III. Objetivos.....	5
A. General	5
B. Específicos	5
IV. Marco teórico.....	6
A. Patrimonio arquitectónico e histórico.	6
1. Definición de patrimonio cultural y su importancia en la identidad de los pueblos	6
2. Conceptos clave	6
3. Normas relevantes.....	7
B. Metodologías de restauración y conservación	8
1. Técnicas históricas de restauración.....	8
2. Materiales tradicionales y modernos en la restauración	8
3. Enfoques contemporáneos	10
C. Gestión del patrimonio cultural.....	10
1. Marcos legal y normativo en Antigua Guatemala: leyes locales y directrices internacionales	10
2. Modelos de gestión pública y privada	11

D.	Riesgos en edificaciones históricas	11
1.	Sismos	11
2.	Vulnerabilidades estructurales	12
3.	Desastres naturales	12
4.	Estrategias de mitigación del riesgo	13
V.	Metodología.....	16
A.	Fase 1: análisis de intervenciones en Antigua Guatemala	16
B.	Fase 2: evaluación del riesgo por desastres naturales	16
C.	Fase 3: recolección de datos	16
D.	Fase 4: registro y organización de datos	17
E.	Fase 5: discusión	17
VI.	Resultados y discusión.....	18
A.	Guatemala en contexto	18
1.	Marco legal	18
2.	Postura de las instituciones	18
B.	Labores del Consejo para la Protección de la Antigua Guatemala	20
1.	Introducción	20
2.	Técnicas de rehabilitación aplicadas en los monumentos históricos	21
3.	Técnicas empleadas	25
4.	Materiales utilizados en la restauración	27
5.	Metodologías de intervención.....	30
6.	Ejemplos de intervención por proyecto	32
7.	Conclusión	36
C.	Modelo de gestión con enfoque en buenas prácticas de conservación	36
8.	Identificación del deterioro en edificaciones religiosas.....	36
9.	Acciones específicas para la conservación preventiva de las edificaciones religiosas del patrimonio cultural de Perú	37
D.	Técnicas, materiales, y metodologías.....	38
1.	Técnicas de reparación.....	39

2.	Técnicas de refuerzo en edificios de adobe	40
3.	Técnicas de refuerzo en mampostería de piedra y ladrillo	44
4.	Acero	48
5.	Confinamiento de presfuerzo	50
6.	Confinamiento con placas de acero	51
7.	Refuerzo con FRP (<i>fiber reinforced polymers</i>)	53
8.	Aislamiento sísmico	55
9.	Soluciones a los asentamientos diferenciales	57
10.	Gemelo digital	59
11.	Metodologías de estudio	62
12.	Métodos de análisis avanzados	66
E.	Fenómenos naturales en la conservación de las edificaciones históricas en la Antigua Guatemala	69
1.	Evolución histórica	69
2.	Geología	71
3.	Erupciones volcánicas	72
4.	Inundaciones	72
5.	Sismos	75
6.	Conclusiones	75
VII.	Conclusiones	79
VIII.	Recomendaciones	81
IX.	Referencias	82
X.	Anexos	89
A.	Visita y análisis del ex-convento de Nuestra Señora del Pilar de Zaragoza (Capuchinas)	106

Índice de tablas

Tabla 1. Cuadro resumen sobre técnicas.....	76
Tabla 2. <i>Joint displacements</i> del modelo base.....	116
Tabla 3. <i>Joint displacements</i> del modelo intervenido.....	120

Índice de figuras

Figura 1. Cable postensado utilizado para reestructurar el arco donde se apoya el coro del Templo de San José el Viejo.	19
Figura 2. Apuntalamiento del dintel de la ventana del muro sur del templo, con la colocación de puntales metálicos y de madera para proseguir con los trabajos de integración de materiales tales como piedra y ladrillo de barro artesanal, Templo del Carmen.	22
Figura 3. Consolidación e integración de piedra en el muro poniente lado externo de la sacristía, Templo de la Concepción.....	22
Figura 4. Cimbra provisional con block pómez ocupando el grosor del arco, Santa Clara.	23
Figura 5. Tallado manual de ladrillo, Santa Clara.	23
Figura 6. Integración de solera de amarre en bóveda y muros, sector oriente, San Agustín.	24
Figura 7. Integración de repello a base de cal en diferentes áreas de la sacristía, Templo de la Concepción.	25
Figura 8. Integración de solera de amarre conformado por varillas de acero, Templo de la Concepción.	25
Figura 9. Limpieza de los muros externos del altar mayor para el proceso de consolidación, Monumento de Dolores del Cerro.	26
Figura 10. Integración de repellos a base de cal y consolidado de los aplanados originales, Nuestra Señora de los Remedios.	26
Figura 11. Molduras integradas.	27
Figura 12. Liberación de material disgregado (tapial) para posteriormente integrar piedra cantera más ladrillo de barro cocido artesanal como integración de repellos faltantes.	28
Figura 13. Integración de puertas y ventanas con marco de ciprés y hojas de cedro.	28

Figura 14. Armado de solera en Templo de la Concepción.....	29
Figura 15. Integración de cúpulas reversibles en Santa Clara.	30
Figura 16. Excavaciones para la investigación arqueológica, Monumento de Dolores del Cerro.....	31
Figura 17. Limpieza con cepillo de cerdas plásticas y agua del ladrillo integrado en la sección del muro faltante y cajuela para aplicar impermeabilizante (<i>Hidrostop</i>) con brocha, Santa Clara.	32
Figura 18. Integración de base de pilastra, Templo de la Concepción.	32
Figura 19. Integración de material faltante en marcos de ventanas, Templo de la Concepción.....	33
Figura 20. Recepción de trabajos Santa Clara.	34
Figura 21. Tallado de la parte interna (intradós) de la bóveda oriente.	34
Figura 22. Finalización de gradas de caracol.....	35
Figura 23. Proceso de integración del segmento faltante de la elevación principal, integración.....	35
Figura 24. Propuesta de albañilería armada en una vivienda ubicada en Pichidegua.....	41
Figura 25. Aplicación de malla electrosoldada como refuerzo en muros de adobe. Recuperación de viviendas en Vichuquén.	42
Figura 26. Refuerzo de muros de adobe con geomalla en recuperación de monumentos.	43
Figura 27. Sistema de consolidación de muros de adobe con exoesqueleto de madera. ..	43
Figura 28. Templos típicos coloniales de la región sudoeste de México.....	45
Figura 29. Prototipo simplificado del templo típico del estado de Puebla, México.	46
Figura 30. Características del sistema de refuerzo aplicado al modelo.	48
Figura 31. Almacén de pólvoras de la anterior Cárcel de Valparaíso en Chile, con vigas, pasarelas y refuerzos estructurales.	49
Figura 32. Almacén de pólvoras de la anterior Cárcel de Valparaíso en Chile, con vigas, pasarelas y refuerzos estructurales.	49
Figura 33. Aplicación externa de las correas.	51
Figura 34. Falla de un elemento confinado en una sola dirección.....	52
Figura 35. Soluciones para el confinamiento de mampostería, bóvedas, y arcos.....	53
Figura 36. Soluciones para el confinamiento de mampostería en fachada.	54

Figura 37. Amortiguador, Museo de Nueva Zelanda Te Papa Tongarewa, Wellington, Nueva Zelanda.....	56
Figura 38. Proyecto Enheritage.....	61
Figura 39. Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos.	63
Figura 40. Técnica del gato plano.....	65
Figura 41. Fuerzas y desplazamientos de los elementos rígidos.	67
Figura 42. Evolución histórica de la Capitanía General de Guatemala.	70
Figura 43. Inundación de la calle cancha de los herreros en Antigua Guatemala.	73
Figura 44 Mapa de municipios amenazados por inundaciones del departamento de Sacatepéquez.	74
Figura 45. Recorrido por el paso del patio principal al patio oeste.	106
Figura 46. Recorrido por el coro alto.....	107
Figura 47. Vista del atrio del convento antes del ingreso.	107
Figura 48. Levantamiento 3D en el paso del patio principal al patio al oeste.	107
Figura 49. Levantamiento 3D en coro alto.	108
Figura 50. Levantamiento del claustro circular.	108
Figura 51. Definición de la grilla en software de análisis.....	109
Figura 52. Definición de material.	109
Figura 53. Definición de la sección del área.....	110
Figura 54. Modelado idealizado de la torre circular.	110
Figura 55. Definición de los load cases.	111
Figura 56. Factores Kd de acuerdo al nivel de sismo.	111
Figura 57. Listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipio para la República de Guatemala.....	111
Figura 58. Modal, período y frecuencia para el modo 1 del modelo base.....	112
Figura 59. Modal, período y frecuencia para el modo 2 del modelo base.....	112
Figura 60. Modal, período y frecuencia para el modo 3 del modelo base.....	112
Figura 61. Modal, períodos y frecuencias del modelo base.....	113
Figura 62. Modal, participating mass ratios del modelo base.....	113
Figura 63. Sismo tangencial y radial en M11 del modelo base.	114

Figura 64. Sismo tangencial y radial en M22 del modelo base.	115
Figura 65. Sismo tangencial y radial en M12 del modelo base.	115
Figura 66. Modal, período y frecuencia para el modo 1 del modelo intervenido.....	117
Figura 67. Modal, período y frecuencia para el modo 2 del modelo intervenido.....	118
Figura 68. Modal, período y frecuencia para el modo 3 del modelo intervenido.....	118
Figura 69. Modal, período y frecuencia del modelo intervenido.....	118
Figura 70. Modal, participating mass ratios del modelo intervenido.	119
Figura 71. Sismo tangencial y radial en M11 del modelo intervenido.	119
Figura 72. Sismo tangencial y radial en M22 del modelo intervenido.	119
Figura 73. Sismo tangencial y radial en M12 del modelo intervenido.	120
Figura 74. Visita y recorrido.....	121

Resumen

Este trabajo analizó una serie de métodos para la rehabilitación de edificaciones históricas en distintas partes del mundo, con el propósito de identificar estrategias que pudieran ser útiles para la conservación del patrimonio arquitectónico de Antigua Guatemala. Para ello, se consideraron tanto enfoques internacionales como intervenciones recientes documentadas por el Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG). La investigación se organizó en cinco fases. Primero, se analizaron las intervenciones recientes en Antigua Guatemala, revisando las memorias de labores del CNPAG de 2019 al 2023 y las bitácoras de trabajo disponibles. También, se evaluaron de forma general los riesgos naturales que afectan la región, como sismos o erupciones volcánicas. Posteriormente, se recopiló información sobre los métodos de conservación y restauración aplicados en contextos similares. Luego, esa información se estructuró en tres ejes: técnicas empleadas, materiales y metodologías de estudio. Finalmente, se discutió la pertinencia de los métodos estudiados en relación con las condiciones de Antigua Guatemala y se presentó un breve análisis por técnica y un cuadro resumen con los hallazgos principales. Entre las conclusiones, se evidenció que muchas de las técnicas aplicadas son tradicionales y que su documentación y sistematización aún pueden fortalecerse. Además, se identificaron metodologías modernas como el confinamiento con FRP o el monitoreo estructural no invasivo que podrían implementarse progresivamente en el contexto local. El resultado fue un documento técnico que reúne y organiza estrategias de conservación, restauración y refuerzo estructural relevantes, ofreciendo un recurso de consulta útil para futuras intervenciones patrimoniales que busquen soluciones técnicas para proteger el valor histórico de los inmuebles.

Palabras clave: conservación del patrimonio arquitectónico, restauración de edificaciones históricas, rehabilitación estructural, técnicas y materiales de conservación, Antigua Guatemala.

Abstract

This study analyzes a range of methods used in the rehabilitation of historic buildings around the world, aiming to identify strategies that could serve as a reference for the conservation of the architectural heritage of Antigua Guatemala. The research considers both international approaches and recent interventions documented by the Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG). The investigation was structured in five phases. First, it focused on recent restoration efforts in Antigua Guatemala by reviewing CNPAG's annual reports (2019–2023) and available field logs. It also evaluated natural disaster risks in the region, such as earthquakes and volcanic eruptions. Then, it compiled information on conservation and restoration techniques used in comparable contexts. The data was organized into three main axes: employed techniques, materials, and study methodologies. Finally, it assessed the applicability of these methods to Antigua Guatemala's context through a comparative discussion and a summary table highlighting key findings. The conclusions show that many local techniques are still traditional and could benefit from further documentation and systematization. The study also identifies modern methodologies—such as confinement using fiber-reinforced polymers (FRP) and non-invasive structural monitoring—as promising for progressive local implementation. The result is a technical document that compiles and organizes relevant conservation, restoration, and structural reinforcement strategies, offering a valuable reference for future heritage interventions seeking to preserve the historic value of buildings in Antigua Guatemala.

Keywords: architectural heritage conservation, historic building restoration, structural rehabilitation, conservation techniques and materials, Antigua Guatemala.

I. Introducción

La conservación del patrimonio arquitectónico, especialmente en contextos históricos como el de Antigua Guatemala, plantea retos complejos que van más allá de la restauración estética. Se requiere de un enfoque técnico integral que permita intervenir de forma responsable las edificaciones que, además de su valor cultural, presentan vulnerabilidades estructurales acentuadas por el paso del tiempo y la exposición a fenómenos naturales como sismos, lluvias intensas o erupciones volcánicas.

Antigua Guatemala ha sido objeto de múltiples esfuerzos de conservación. Sin embargo, la mayoría de intervenciones documentadas se enfocan en criterios funcionales o estéticos, dejando en segundo plano el análisis estructural detallado y la sistematización de los métodos aplicados. Este trabajo surge con el propósito de entender cómo se están rehabilitando actualmente estos inmuebles desde el enfoque técnico y qué técnicas podrían reforzar la labor que realizan instituciones como el Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG).

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, exploratorio y descriptivo, y se concentra en el análisis de intervenciones recientes realizadas en la ciudad, así como en la revisión comparativa de metodologías empleadas internacionalmente. A partir de ello, se propone un análisis sobre su aplicabilidad, pertinencia y potencial uso en el contexto guatemalteco, teniendo en cuenta factores como la compatibilidad de materiales, la reversibilidad de las soluciones y el respeto por la autenticidad del inmueble.

Como parte de los hallazgos, el estudio evidencia que las técnicas empleadas en la ciudad, como el uso de soleras de acero, el repello con cal y la integración de materiales tradicionales, se alinean parcialmente con principios internacionales de conservación, pero aún requieren un mayor enfoque técnico. Asimismo, se identifican metodologías internacionales relevantes como el confinamiento con FRP, el uso de geomallas y el

monitoreo estructural no invasivo, que podrían adaptarse progresivamente a las condiciones del patrimonio guatemalteco.

II. Justificación

El patrimonio arquitectónico e histórico desempeña un papel esencial en la identidad cultural y en la generación de beneficios sociales, económicos y turísticos. La conservación de edificaciones históricas es clave para garantizar su permanencia a lo largo del tiempo, enfrentando desafíos como el deterioro estructural, el turismo masivo y las amenazas de desastres naturales. En este contexto, resulta fundamental analizar y documentar las técnicas, materiales y metodologías utilizadas en la rehabilitación de monumentos históricos, de manera que puedan servir como referencia en la conservación del patrimonio arquitectónico de Antigua Guatemala.

Antigua Guatemala constituye un caso emblemático de riqueza patrimonial, reconocido mundialmente por su arquitectura histórica y su designación como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Al ser una ciudad expuesta a riesgos como sismos y otras amenazas naturales, así como a los desafíos inherentes de la preservación de edificaciones históricas, resulta esencial explorar cómo se están gestionando sus recursos patrimoniales.

Asimismo, la rehabilitación del patrimonio construido debe considerar el impacto de los desastres naturales en la conservación de las edificaciones históricas de Antigua Guatemala. La ciudad se encuentra en una región altamente sísmica y expuesta a fenómenos naturales que pueden comprometer la estabilidad de sus construcciones patrimoniales. En este sentido, es esencial analizar el papel que juegan las técnicas y materiales empleados en la rehabilitación de estos edificios para mitigar vulnerabilidades y mejorar su resistencia estructural.

A pesar de que la conservación del patrimonio arquitectónico suele asociarse a disciplinas como la arquitectura, la ingeniería civil desempeña una función crucial en la estabilidad y durabilidad de las edificaciones patrimoniales. La aplicación de criterios estructurales y el uso adecuado de materiales en los proyectos de rehabilitación pueden ser determinantes en la preservación del patrimonio edificado.

Finalmente, esta investigación no solo busca contribuir al fortalecimiento de las capacidades técnicas en la conservación del patrimonio guatemalteco, sino también promover una mayor conciencia sobre la importancia de preservar la herencia cultural como un recurso clave para el desarrollo social, económico y cultural del país. Asimismo, representa un aporte para profesionales y estudiantes de ingeniería civil interesados en el campo de la conservación patrimonial, al brindar un enfoque técnico y actualizado sobre los métodos constructivos empleados en la restauración de edificaciones históricas. De igual forma, constituye un insumo valioso para instituciones encargadas de la protección del patrimonio, como el CNPAG, al ofrecer un análisis de buenas prácticas que pueden fortalecer sus estrategias de intervención. Finalmente, el trabajo busca contribuir a la preservación de un legado histórico y cultural que forma parte de la identidad nacional guatemalteca.

III. Objetivos

A. General

Analizar las metodologías utilizadas en la rehabilitación de edificaciones históricas con el fin de que puedan ser un referente en la conservación del patrimonio arquitectónico de Antigua Guatemala.

B. Específicos

- Investigar las técnicas de rehabilitación empleadas recientemente en edificaciones históricas en Antigua Guatemala a través de la exploración de las labores del Consejo para la protección de Antigua Guatemala.
- Describir las técnicas de rehabilitación en edificaciones históricas innovadoras y relevantes a Antigua Guatemala.
- Identificar el riesgo de desastres naturales en la conservación de las edificaciones históricas en Antigua Guatemala.
- Discutir la pertinencia de los métodos de rehabilitación analizados, en relación con las edificaciones históricas en Antigua Guatemala, con base en los hallazgos obtenidos.

IV. Marco teórico

A. Patrimonio arquitectónico e histórico.

1. Definición de patrimonio cultural y su importancia en la identidad de los pueblos

La UNESCO define el patrimonio cultural como el conjunto de bienes materiales e inmateriales heredados del pasado, que se viven en el presente y se transmiten a las futuras generaciones.

El patrimonio cultural es fundamental para la identidad de los pueblos por distintas razones (Colmenares, D. M., 2023):

- **Preservación de la identidad cultural:** funciona como un vínculo entre las generaciones pasadas y presentes, ayudando a las comunidades a comprender su historia y tradiciones.
- **Diversidad cultural:** fomenta el respeto y la tolerancia hacia otras culturas al promover el conocimiento y la valoración de las tradiciones de otros pueblos.
- **Desarrollo económico:** es un motor para el turismo cultural, generando ingresos y empleo en las comunidades locales.
- **Cohesión social:** fortalece los lazos comunitarios al ofrecer a las personas un sentido de pertenencia y orgullo por su cultura compartida

2. Conceptos clave

a. Rehabilitación

La rehabilitación arquitectónica trata de adaptar los edificios antiguos a nuevos usos por medio de conceptos contemporáneos y mejores materiales para brindar un mayor confort y eficiencia energética (Terán, J., 2004).

b. Restauración

Al igual que la rehabilitación la restauración busca reparar deficiencias en la construcción sin embargo lo hace respetando las condiciones originales del edificio. Es decir, busca devolver el edificio a su estado original manteniendo su autenticidad. Tareas que se incluyen dentro de ello pueden ser la limpieza de superficies, consolidación de estructuras, y la reparación de elementos dañados (Terán, J., 2004).

c. Conservación

Comprende varias acciones destinadas al mantenimiento del estado actual del edificio y sus materiales. Puede incluir también el uso de técnicas y materiales compatibles con los originales para garantizar la integridad del patrimonio (Terán, J., 2004).

d. Reconstrucción

Cuando la estructura ha sufrido daños o se ha destruido se busca replicar el diseño original. Aunque se suele utilizar materiales similares, hay mayor libertad que en la restauración puesto que frecuentemente se basa en una interpretación del diseño original (Terán, J., 2004).

3. Normas relevantes

a. Carta de Venecia

- Define los principios básicos sobre la restauración y conservación de monumentos históricos.
- Dicta que los monumentos deben permanecer en su espacio y tiempo.
- Se debe conservar el valor estético e histórico de monumento.
- Estudios arqueológicos e históricos deben preceder la restauración.
- Las agregaciones deben integrarse adecuadamente al mismo tiempo que se distinguen de los elementos originales (EneroArquitectura, 2018).

b. Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural

- Aprobada en París en 1972, se enfoca en la protección del patrimonio cultural y natural del mundo.
- Los países conformantes se comprometen a conservar los sitios del patrimonio.

- Establece el uso del Fondo para la Protección del Patrimonio Mundial y las condiciones de asistencia financiera internacional.
- Los estados conformantes deben reportar regularmente sobre la conservación de los bienes inscritos.
- Se insta la sensibilización del público sobre el valor del patrimonio a través de programas de educación e información (Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación., s.f.).

B. Metodologías de restauración y conservación

1. Técnicas históricas de restauración

Reintegración anastilosis: por anastilosis se entiende la técnica de reconstrucción de elementos arquitectónicos o arqueológicos que se encuentran derruidos, utilizando los propios materiales que se encuentran en el suelo, después de un estudio metódico de su ajuste entre ellos. Las partes perdidas que impidan la reconstrucción con los materiales propios pueden ser sustituidas por rellenos con otros (Calvo Manuel, A., 2018).

La consolidación es una intervención de reparación y de restauración destinada a la adición de un material para la mejora de la cohesión interna o de la estabilidad mecánica (AENOR, 2012).

La reconstrucción “Es la intervención que tiene por objeto volver a construir partes desaparecidas o perdidas [de un monumento]. En la reintegración hablamos de elementos deteriorados o mutilados, en la reconstrucción, de partes perdidas [...] La reconstrucción supone el empleo de materiales nuevos y no la reutilización de elementos pertenecientes a la construcción original ya perdida.” (Carlos Chanfón Olmos. Problemas Teóricos... op. cit. p. 5 y 6. 1979).

2. Materiales tradicionales y modernos en la restauración

a. Cal

La cal es uno de los materiales más antiguos utilizados en la construcción, y su importancia se extiende también al campo de la restauración de monumentos. Gracias a

sus propiedades únicas, la cal se ha convertido en un elemento esencial para la conservación del patrimonio arquitectónico. Su capacidad para mantener la integridad de los materiales originales, al mismo tiempo que permite la transpiración y el control de la humedad, la hace ideal para la restauración de edificios históricos (ANFACAL, s. f.)

b. Piedra

La restauración de piedra en edificios históricos es un proceso fundamental para preservar y mantener la estructura original de estos monumentos arquitectónicos. La piedra es un material duradero y resistente, pero con el paso del tiempo y la exposición a los elementos, puede deteriorarse y perder su aspecto original. La restauración de piedra en edificios históricos implica la reparación de grietas, la limpieza de la suciedad acumulada, la consolidación de la piedra y la reintegración de elementos que hayan sido dañados o perdidos. Este proceso requiere de un equipo de expertos en conservación y restauración de piedra, que utilicen técnicas y materiales especializados para garantizar que la intervención sea lo más respetuosa posible con la estructura original (Armas Luján, 2024).

c. Ladrillo

El ladrillo es un material que forma parte de las construcciones históricas. En la actualidad se sigue utilizando por su versatilidad en la arquitectura y sus buenas propiedades mecánicas. En cuanto a la restauración es importante analizar la porosidad entre otros aspectos de composición para asegurar una integración adecuada a la estructura original. La elección de morteros es importante también (AGTecno, 2018).

d. Materiales modernos

Los materiales y técnicas empleados en la restauración actual comprenden una amplia variedad de opciones. Entre los materiales de construcción modernos se incluyen concreto, acero y estructuras metálicas, en el ámbito químico se utilizan ácidos, solventes, hidróxidos y otros compuestos. Además, destacan los productos orgánicos, como las resinas sintéticas, que desempeñan un papel crucial en los procesos de restauración. Estas resinas se aplican principalmente como adhesivos, consolidantes, aditivos, impermeabilizantes y capas protectoras, ofreciendo soluciones eficaces para preservar y reforzar las estructuras (Terán, J., 2004).

3. Enfoques contemporáneos

La metodología BIM en el contexto del patrimonio histórico evoluciona al HBIM o *Historic Building Information Modeling*, que permite lidiar con las estructuras antiguas. El uso de esta metodología es una ventaja puesto que permite documentar con mayor precisión el estado actual del edificio y planificar las intervenciones que se realizarán sobre este de una manera más respetuosa.

La aplicación conlleva una mezcla entre técnicas tradicionales con herramientas modernas como lo son las siguientes:

- HBIM y modelado preciso: el cual consiste en la digitalización de las estructuras para crear modelos digitales que proyecten el estado físico y geométrico del edificio.
- Escaneo láser y fotogrametría: tecnología que captan puntos de datos para crear nubes de puntos generando un modelo tridimensional representando formas complejas y deterioro en la estructura.
- Software especializado: dibujo computarizado, software de modelado y simulación para el análisis de los modelos (Pablovaz, 2025).

C. Gestión del patrimonio cultural

1. Marcos legal y normativo en Antigua Guatemala: leyes locales y directrices internacionales

De acuerdo con la Constitución Política de la República de Guatemala Decreto Numero 26-97 Ley para la Proteccion del Patrimonio Cultural de la Nacion: Artículo 1.* Objeto. La presente ley tiene por objeto regular la protección, defensa, investigación, conservación y recuperación de los bienes que integran el patrimonio cultural de la Nación. Corresponde al Estado cumplir con estas funciones por conducto del Ministerio de Cultura y Deportes.

De acuerdo con la Constitución Política de la República de Guatemala Decreto Numero 60-69 Ley Protectora de la Ciudad de la Antigua Guatemala: Artículo 1° - Se declara de utilidad pública y de interés nacional la protección, conservación y restauración de La

Antigua Guatemala y áreas circundantes que integran con ella una sola unidad de paisaje, cultura y expresión artística.

Directrices Internacionales: Antigua Guatemala se adhieren a las recomendaciones de la UNESCO, lo que incluye la implementación de políticas que favorezcan la conservación y el uso sostenible del patrimonio cultural (UNESCO, s.f.).

2. Modelos de gestión pública y privada

- El Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG) es el principal responsable de la conservación.
- El sector privado juega un papel importante en la inversión en proyectos de restauración y mantenimiento de bienes patrimoniales (hoteles, restaurantes, centros culturales, etc.).
- ONGs y organizaciones culturales también colaboran en proyectos específicos de conservación y educación comunitaria.
- Instituto de Antropología e Historia. El IDAEH ha dirigido los esfuerzos por salvaguardar el patrimonio cultural y promover la investigación de los bienes históricos de Guatemala (Larios, B. 2021).
- Aunque el Instituto de Antropología e Historia de Guatemala (IDAEH) tiene un mandato nacional para la protección del patrimonio cultural, el Decreto 60-69 asigna al CNPAG la autoridad principal en asuntos relacionados con la conservación y restauración en Antigua Guatemala.

D. Riesgos en edificaciones históricas

1. Sismos

Los sismos son desplazamientos de la corteza terrestre que causan daños devastadores. La percepción en la intensidad del sismo depende de factores como la distancia al epicentro y las condiciones de los suelos. Las edificaciones históricas especialmente las construidas con materiales tradicionales como lo son el adobe y la mampostería son altamente propensas a daños y colapso (Sánchez, S, 2018).

a. Diseño de estructuras sismorresistentes

El diseño estructural sismorresistente es un área de estudio de la ingeniería enfocada en los requerimientos para alcanzar la resistencia esperada ante acciones laterales, niveles adecuados de disipación de energía y ductilidad relacionada a la capacidad de deformaciones en el rango inelástico. Toma mayor importancia en las regiones del mundo en donde existe una mayor amenaza sísmica respecto a las edificaciones y a la vida de sus habitantes.

En la actualidad existe un desempeño sísmico insatisfactorio de ciertas estructuras que han sido construidas con base en reglamentos modernos. Es a partir de las grandes pérdidas materiales y económicas que ha iniciado una mayor preocupación por el estudio del tema. Los materiales que se suelen emplear en este tipo de estructuras son: la mampostería, concreto armado, y acero estructural (Sánchez, S, 2018).

2. Vulnerabilidades estructurales

La vulnerabilidad en las edificaciones históricas se debe a múltiples factores. Entre ellos (Feilden, B., 1987):

- Materiales desactualizados: muchas de las edificaciones históricas fueron construidas con técnicas y materiales que no poseen el mismo estándar de resistencia que el moderno. Siendo más susceptibles al deterioro.
- Condiciones climáticas: exposición constante a climas adversos que afectan la condición de las estructuras.
- Mantenimiento escaso: cuando no se realiza el mantenimiento regular de las estructuras la degradación acumulada puede llevar a fallas estructurales considerables.

3. Desastres naturales

Este término hace referencia a las pérdidas tanto humanas como materiales a causa de fenómenos naturales, como inundaciones, sismos, deslizamientos de tierra y otros.

En cuanto a la prevención de desastres naturales, las medidas que suelen tomarse tienen como propósito disminuir la pérdida de vidas humanas y los efectos en las actividades

económicas. Tanto el Gobierno como la población deben remarcar la necesidad de un sistema de previsión de los desastres naturales.

a. Mitigación de desastres naturales en Guatemala

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) (s. f.) en Guatemala implementa distintas estrategias para mitigar los efectos de los desastres naturales, algunos se enlistan a continuación:

- Educación: campañas para informar sobre los riesgos y medidas de prevención de los desastres naturales.
- Alerta temprana y monitoreo para detectar desastres naturales y alertar a la gente lo antes posible.
- Planificación: la CONRED genera planes de ordenamiento territorial y uso que consideran el riesgo de un desastre natural.
- Infraestructura: con el fin de tener estructuras más resilientes, se sugiere utilizar las normas y los códigos de construcción relevantes.
- Capacitación: entrenamiento a las comunidades y autoridades locales para responder ante un desastre natural.

4. Estrategias de mitigación del riesgo

a. Refuerzo estructural

El refuerzo de construcciones históricas tiene como objetivo corregir las posibles insuficiencias estructurales del edificio o mejorar su respuesta estructural. Sin embargo, cualquier acción de refuerzo causar algunas pérdidas en los valores intrínsecos de la estructura, por ejemplo, un cambio en los materiales originales y las características estructurales. Debido a esto, siempre será mejor dar un adecuado y continuo mantenimiento a la estructura que hacer grandes obras de intervención (Peña Mondragón & Lourenço, 2012).

La selección de una técnica de refuerzo debe estar basada en los principios de conservación y los criterios modernos para el análisis y restauración de estructuras históricas (ICOMOS, 2003). Cabe notar que cualquier técnica de refuerzo produce normalmente alguna pérdida del valor cultural, puesto que implica un cierto cambio en los

materiales y elementos originales. Debido a esto, cada técnica se debe juzgar con base en su posible costo (pérdida del valor intrínseco) y beneficio (incremento de la vida útil, aumento en su capacidad sísmica, reducción de la probabilidad del daño parcial o total tanto de la estructura como de su contenido artístico). Por lo que es responsabilidad del profesional encargado elegir la solución que proporcione la mejor relación costo - beneficio (Lourenço et al., 2007).

Así mismo, la selección de la técnica de refuerzo dependerá de la forma en que se quiera mejorar el comportamiento sísmico del edificio histórico. El comportamiento sísmico de una estructura se puede mejorar si se reduce la demanda sísmica, si se aumenta su capacidad o mediante una combinación de ambas acciones (EECCP, 2006).

b. Planes de emergencia

Los planes de emergencia son esenciales para resguardar la integridad de las personas y las edificaciones históricas frente a situaciones de riesgo.

Constan principalmente de (Ministerio de Cultura de España, & Carrión Gútiez, A., 2015):

- Identificar los peligros: son de carácter natural o antrópico.
- Prevención: mantenimiento, cumplimiento de normas de seguridad y actualización de las instalaciones acorde, capacitación del personal.
- Protocolos de respuesta: procedimientos definidos para la actuación inmediata, se incluye por ejemplo la evacuación del sitio y protección de los bienes.
- Inventario: evaluación de los daños posterior a la emergencia.
- Recuperación: plan de restauración de los bienes afectados.

c. Monitoreo continuo

Consiste en observar y registrar de forma periódica la integridad de una estructura, esto con el fin de que puedan continuar siendo utilizadas por sus usuarios sin peligro, así como para identificar problemas potenciales y áreas que demanden mantenimiento o reparación. Se puede llevar a cabo por medio de inspecciones visuales, instrumentación, estudios, geotécnicos y análisis de datos.

En edificios históricos implica el uso de sensores y sistemas que evalúan la integridad de los cimientos, el suelo, y los componentes estructurales. El monitoreo para este contexto suele ser (Ministerio de Cultura de España, & Carrión Gútiez, A., 2015):

- Asentamiento y desplazamiento de los cimientos: se procura controlar el movimiento en los cimientos de un edificio para evitar daños en su estructura.
- Monitoreo estructural: revisión del estado de los componentes estructurales del edificio como muros, columnas, vigas, y losas que puedan presentar algún daño.
- Estabilidad del suelo: monitorear el estado del suelo para detectar riesgos que repercutan en la estabilidad del edificio.
- Monitoreo sísmico: controlar la respuesta de la estructura ante la actividad sísmica.

V. Metodología

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, exploratorio y descriptivo, centrado en el análisis y la comprensión de los métodos de conservación y restauración aplicados en edificaciones históricas del mundo y específicamente Antigua Guatemala. El objetivo es identificar estrategias y enfoques que puedan ser adaptados al contexto guatemalteco, considerando los materiales, técnicas constructivas, y metodologías empleadas. Asimismo, se valora el impacto de los fenómenos naturales que influyen en la conservación del patrimonio.

A. Fase 1: análisis de intervenciones en Antigua Guatemala

Se investigan las intervenciones recientes realizadas en edificaciones históricas de la ciudad de Antigua Guatemala, a partir del análisis de las memorias de labores y bitácoras generales del Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala (CNPAG) del período comprendido entre los años 2019 y 2023. Esto permite identificar técnicas empleadas localmente, su efectividad, y los principales retos técnicos encontrados.

B. Fase 2: evaluación del riesgo por desastres naturales

En esta fase se realiza una revisión preliminar del riesgo sísmico, volcánico y climático en la región de Antigua Guatemala, enfocado en cómo estos factores impactan la conservación del patrimonio edificado. Se busca entender la relación entre vulnerabilidad estructural y técnicas de intervención.

C. Fase 3: recolección de datos

Esta fase se centra en la recopilación de información relevante a través de la búsqueda bibliográfica y documental:

Se realiza una revisión de textos especializados, incluyendo artículos académicos, manuales técnicos, guías de restauración y literatura científica sobre conservación arquitectónica. Los documentos seleccionados incluyen normativas internacionales como la Carta de Venecia y la Convención de Patrimonio Mundial de la UNESCO, además de los lineamientos de organismos como el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS). Asimismo, se consultan las normativas y leyes nacionales que regulan la protección de edificaciones patrimoniales en Guatemala. Para la investigación de los métodos de conservación se aprovecha el acceso a bases de datos académicas y repositorios en línea, informes y estudios técnicos publicados, páginas web, y casos de uso e información de las empresas involucradas en el sector.

D. Fase 4: registro y organización de datos

La información recopilada se clasifica con el fin de realizar un análisis estructurado. El estudio se organiza en tres ejes principales:

- Técnicas de conservación: métodos empleados para preservar y restaurar edificaciones, identificando enfoques contemporáneos de carácter técnico.
- Materiales utilizados: materiales tradicionales como la cal y la mampostería, y modernos.
- Metodologías de estudio e intervención.

E. Fase 5: discusión

La última fase de la metodología está enfocada en reflexionar sobre los hallazgos obtenidos a lo largo de la investigación, vinculando el análisis técnico con el contexto específico de Antigua Guatemala. A partir del estudio de las técnicas de conservación y restauración recopiladas en la fase bibliográfica y documental, se presenta una breve discusión luego de cada técnica descrita, evaluando de forma general su uso dentro del entorno patrimonial de la ciudad. Se incluye además un cuadro resumen final que sintetiza la información discutida, buscando integrar el conocimiento adquirido a lo largo del trabajo.

VI. Resultados y discusión

A. Guatemala en contexto

1. Marco legal

De acuerdo con el reglamento de construcción e intervención en la ciudad de Antigua Guatemala, áreas circundantes y zona de influencia. Emitido por el Consejo nacional para la protección de la Antigua Guatemala. En el Título II, Normas Generales De Construcción, Capitulo V, Artículo 54 se especifica que:

Las intervenciones de conservación y restauración de las partes que conformen un bien patrimonial con valor cultural, quedan sujetas a los principios y criterios de la Ley Protectora de la ciudad de La Antigua Guatemala, sus reglamentos y los tratados y convenios internacionales, así como criterios emanados de UNESCO y otras instituciones afines en materia de conservación y restauración de Patrimonio Cultural; debiendo siempre justificar el uso del bien patrimonial y todos sus elementos.

2. Postura de las instituciones

Desde el ámbito institucional, el enfoque del CNPAG y del Ministerio de Cultura y Deportes se ilustra en trabajos como el de Julio Sánchez Montúfar (2009), presentado en el Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, titulado *A mayor y mejor conservación, menor restauración: criterios de conservación integral aplicados al patrimonio cultural y natural de Guatemala*.

a. Particularidades de la conservación en la Antigua Guatemala

- Las medidas de conservación para Antigua Guatemala pueden ser muy variables por encontrarse en una zona altamente sísmica.
- El concreto reforzado es un criterio que puede llegar a ser justificable en la reestructuración de edificios históricos en países altamente sísmicos. Por eso es

- un reto plantear los criterios de conservación que respeten el edificio patrimonial por la pérdida del material original que ocurre al reestructurar.

b. Caso: Templo de San José El Viejo

Se destaca la siguiente propuesta innovadora del CNPAG: empleo de un cable postensado para reestructurar el arco (con riesgo de colapso), donde se apoya el coro del Templo de San José El Viejo. La pérdida de material original fue mínima: más o menos 2 o 3” de diámetro por el largo total del arco, espacio suficiente para introducir y postensar un cable, que vino a resolver problemas estructurales en el arco y coro del edificio (Sánchez, J. 2009).

Figura 1. Cable postensado utilizado para reestructurar el arco donde se apoya el coro del Templo de San José el Viejo.



Nota. Adaptada de Sánchez (2009).

c. Caso: Templo de Santa Clara

Otros trabajos incluyen la elaboración de soleras corona en los muros testero, este, y oeste del Templo de Santa Clara. Las particularidades fueron que parte de la solera quedo expuesta para evitar dañar la mampostería original y en el caso de los muros este y oeste fue dejar la armadura expuesta para amarrarla con una reestructuración previa realizada en el sur del templo.

d. Otras consideraciones técnicas

- Otra consideración es el revestimiento de muros siempre y cuando se tenga evidencia de ellos. Sin importar si la mampostería es original o nueva. Porque si no

los trabajos de reestructuración se deterioran más rápido. Sirven entonces como protección de trabajos nuevos, pero también elementos originales de los edificios.

- Se recomienda estucar las cabezas de los muros para evitar filtraciones e impedir crecimientos de flora y microflora. De esta forma se puede sacrificar el material nuevo en vez del original.
- Prever la conexión para amarrar/conectar armaduras en los trabajos de refuerzo y reconstrucción.

e. Criterio de gestión patrimonial

En cuanto a la gestión del patrimonio parece que el CNPAG prioriza la conservación de edificios a los cuales se les puede dar uso y con cubiertas.

B. Labores del Consejo para la Protección de la Antigua Guatemala

1. Introducción

La rehabilitación y conservación del patrimonio arquitectónico de Antigua Guatemala ha sido un esfuerzo continuo del CNPAG, el cual ha desarrollado intervenciones en diversos monumentos. Estas intervenciones han incluido consolidación estructural, integración de materiales homogéneos, restauración de fachadas, refuerzo estructural con acero y madera, impermeabilización de superficies, restauración de bóvedas, integración de molduras y reestructuración de arcos.

Con el fin de fortalecer el análisis de las intervenciones desarrolladas en Antigua Guatemala, se realizaron gestiones directas con el CNPAG. En este proceso, el Arq. Marvin Arroyo, del Departamento de Restauración, recomendó el uso de las memorias de labores como una fuente útil para comprender las metodologías generales aplicadas en los proyectos de conservación.

También se solicitó acceso a las bitácoras de trabajo, pudiendo obtener los registros correspondientes a los monumentos del Templo de La Concepción, Santa Clara y Santa Teresa de Jesús. Aunque estos documentos no contienen descripciones técnicas detalladas, ofrecen evidencia valiosa sobre la secuencia de actividades, los criterios de intervención y el enfoque adoptado en campo, lo cual aporta datos significativos para esta investigación.

A partir de estas fuentes, se presenta a continuación una síntesis de las principales técnicas, materiales y metodologías identificadas en los procesos de conservación y restauración desarrollados por el CNPAG en los últimos cinco años, 2019 al 2023.

2. Técnicas de rehabilitación aplicadas en los monumentos históricos

a. Consolidación de muros y estructuras

Las edificaciones en Antigua Guatemala presentan muros de mampostería de piedra y ladrillo unidos con mortero de cal, los cuales han requerido intervenciones de consolidación debido a fracturas, pérdida de material y degradación por la humedad. Se realizaron trabajos de consolidación de muros, arcos y bóvedas, extrayendo material en mal estado y sustituyéndolo por materiales compatibles con el original. Las técnicas utilizadas incluyeron:

- **Liberación de material suelto:** eliminación de secciones debilitadas en muros y bóvedas antes de la integración de nuevos materiales (Memoria de labores 2019).
- **Apuntalamientos temporales** con estructuras de madera y metálicas para evitar colapsos durante la intervención (Memoria de labores 2022).
- **Inyección de consolidantes** en grietas y fisuras utilizando mezclas a base de cal (Memoria de labores 2021).
- **Refuerzo con soleras de amarre** en bóvedas y muros empleando varillas de acero corrugado Ø3/4” y Ø5/8” con estribos de Ø3/8” (Memoria de labores 2022).
- **Integración de materiales homogéneos** en grietas y fracturas con ladrillo de barro cocido y piedra (Memoria de labores 2019).

Figura 2. Apuntalamiento del dintel de la ventana del muro sur del templo, con la colocación de puntales metálicos y de madera para proseguir con los trabajos de integración de materiales tales como piedra y ladrillo de barro artesanal, Templo del Carmen.



Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

Ejemplo de aplicación:

- En la Sacristía del Templo de la Concepción (2023), se llevó a cabo la consolidación del muro poniente, aplicando integración de piedra y ladrillo para reforzar su estructura. (Memoria de labores 2023)

Figura 3. Consolidación e integración de piedra en el muro poniente lado externo de la sacristía, Templo de la Concepción.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

b. Integración de arcos, bóvedas y molduras

Se ejecutaron trabajos en varios monumentos para restaurar elementos estructurales faltantes o deteriorados:

- **Construcción de nuevos arcos** con ladrillo de barro cocido artesanal y aplicación de cimbras provisionales (Memoria de labores 2021).
- **Integración de bóvedas con ladrillo de barro**, replicando dimensiones y técnicas constructivas originales (Memoria de labores 2023).
- **Restauración de molduras** en fachadas y cornisas mediante el tallado manual de ladrillos para replicar diseños originales (Memoria de labores 2022).

Figura 4. Cimbra provisional con block pómez ocupando el grosor del arco, Santa Clara.



Nota. Adaptada de CNPAG (2021).

Figura 5. Tallado manual de ladrillo, Santa Clara.



Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

Ejemplo de aplicación:

- En el Monumento de San Agustín (2021), se llevó a cabo la reintegración de un arco de tres puntos utilizando ladrillo de barro cocido y soportado con cimbra temporal (Memoria de labores 2021).

Figura 6. Integración de solera de amarre en bóveda y muros, sector oriente, San Agustín.



Nota. Adaptada de CNPAG (2021).

c. Restauración y refuerzo de muros

Las intervenciones en muros incluyeron:

- **Integración de cajuelas de ladrillo** en columnas estructurales para reforzar muros de carga (Memoria de labores 2019).
- **Aplicación de repellos de cal** para proteger la mampostería original y consolidar los aplanados existentes (Memoria de labores 2023).
- **Uso de soleras de amarre** en cabezas de muros para mejorar la estabilidad estructural (Memoria de labores 2022).

Figura 7. Integración de repello a base de cal en diferentes áreas de la sacristía, Templo de la Concepción.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

Figura 8. Integración de solera de amarre conformado por varillas de acero, Templo de la Concepción.



Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

d. Restauración y protección de fachadas

Las fachadas han sido intervenidas para preservar su estabilidad estructural y mejorar su resistencia a la intemperie.

3. Técnicas empleadas

- **Limpieza de fachadas** con cepillos de cerdas plásticas y agua para eliminar costras de líquenes y hongos (Memoria de labores 2022).

- **Integración de molduras y elementos ornamentales** con ladrillo de barro cocido, respetando los vestigios originales (Memoria de labores 2023).
- **Consolidación de aplanados originales y aplicación de repellos de cal** para evitar la degradación de los muros (Memoria de labores 2023).

Figura 9. Limpieza de los muros externos del altar mayor para el proceso de consolidación, Dolores del Cerro.



Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

Figura 10. Integración de repellos a base de cal y consolidado de los aplanados originales, Nuestra Señora de los Remedios.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

Ejemplo de aplicación:

- Iglesia de Santa Clara: se realizó la restauración de la fachada principal mediante la integración de molduras con ladrillo de barro cocido y la consolidación de los aplanados originales con repellos a base de cal (Memoria de labores 2022).

Figura 11. Molduras integradas.



Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

4. Materiales utilizados en la restauración

Los materiales empleados en la rehabilitación de los monumentos históricos han sido seleccionados con base en su compatibilidad con las técnicas constructivas originales:

a. Materiales tradicionales

- **Ladrillo de barro cocido artesanal:** utilizado en la integración de muros, molduras y bóvedas (Memoria de labores 2023).
- **Piedra cantera:** empleada en refuerzos estructurales, integración de muros y consolidaciones (Memoria de labores 2022).
- **Mezcla de cal y arena amarilla:** utilizada en la restauración de muros, repellos y consolidaciones (Memoria de labores 2019).
- **Madera de ciprés y pino:** empleada en apuntalamientos, cimbras y restauración de elementos de carpintería (Memoria de labores 2023).

Figura 12. Liberación de material disgregado (tapial) para posteriormente integrar piedra cantera más ladrillo de barro cocido artesanal como integración de repellos faltantes.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

Figura 13. Integración de puertas y ventanas con marco de ciprés y hojas de cedro.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

b. Materiales modernos

- **Varillas de acero corrugado Ø3/4" y Ø5/8"**: utilizadas en refuerzos estructurales (Memoria de labores 2019).

- **Concreto armado:** aplicado en soleras de amarre y en algunos refuerzos estructurales justificados por condiciones sísmicas (Memoria de labores 2021).
- **Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV):** utilizado en la construcción de cúpulas reversibles en Santa Clara (Memoria de labores 2023).
- **Impermeabilizantes a base de cal:** aplicados en bóvedas y pisos tipo baldosa (Memoria de labores 2022).

Figura 14. Armado de solera en Templo de la Concepción.



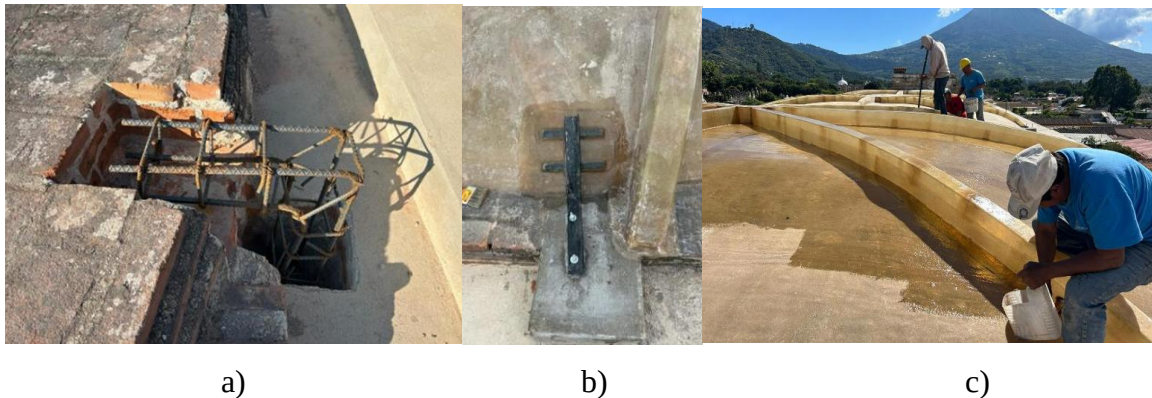
Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

En las memorias de labores 2023 del CNPAG para septiembre y diciembre se detalla la integración de cúpulas reversibles en templo.

Este proyecto se realizó por medio de un evento de cotización pública No.04-2023 con NOG 20858973 y según contrato administrativo 050-2023, por medio de la empresa ejecutora, Constructora Cujantre y a través del servicio 171 – mantenimiento de edificios. El proyecto consiste en la elaboración e instalación de 4 cúpulas de forma elíptica, auto portantes y reversibles de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio); cada cúpula con 8 vigas con peralte de 0.20m del mismo material para aportar resistencia al aplastamiento y compresión, con un anillo de compresión o domo final en la cúspide montado sobre las vigas perimetrales de PRFV y un anillo de recepción de PRFV montado en el brocal de ladrillo de barro artesanal existente, cada cúpula fue fijada a 8 anclajes de concreto

armado (elaborados por el Depto. de Restauración de este Consejo) y posteriormente, por un angular de 2"x1/4" en un extremo fijado con tornillos hilti de 1/2"x4" al anclaje de concreto armado y en el otro extremo fijado con pegadura de PRFV más pegadura de PRFV en todo el perímetro de cada cúpula al brocal de ladrillo (CNPAG, 2023).

Figura 15. Integración de cúpulas reversibles en Santa Clara.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023). a) Elaboración de anclajes de concreto armado. b) Fijación de las cúpulas a los anclajes de concreto por medio de angulares. c) Como acabado final se realizó el lijado, pulido, lavado y aplicación de una capa final de resina en el extradós de todas las cúpulas.

5. Metodologías de intervención

a. Fase de diagnóstico

- **Limpieza y remoción de micro y macro flora:** se eliminaron líquenes, hongos y vegetación de muros y bóvedas (Memoria de labores 2021).
- **Exploración de grietas y fisuras:** se realizaron estudios arqueológicos y estructurales antes de proceder a intervenciones mayores (Memoria de labores 2021).

Figura 16. Excavaciones para la investigación arqueológica, Monumento de Dolores del Cerro.



Nota. Adaptada de CNPAG (2021).

b. Fase de intervención

- **Apuntalamiento de estructuras:** se instalaron cimbras temporales para evitar colapsos.
- **Integración de materiales homogéneos:** se aplicaron ladrillos de barro cocido y piedra en áreas deterioradas.
- **Refuerzos estructurales con acero:** se implementaron soleras de amarre y anclajes verticales en muros críticos (Memoria de labores 2023).

c. Fase de protección y conservación

- **Aplicación de impermeabilizantes** en techos, bóvedas y muros para evitar filtraciones de agua (Memoria de labores 2022).
- **Consolidación de aplanados originales** para prevenir el deterioro de los materiales históricos (Memoria de labores 2019).

Figura 17. Limpieza con cepillo de cerdas plásticas y agua del ladrillo integrado en la sección del muro faltante y cajuela para aplicar impermeabilizante (Hidrostop) con brocha, Santa Clara.



Nota. Adaptada de CNPAG (2019).

6. Ejemplos de intervención por proyecto

a. Templo de la Concepción (2023)

- Integración de base de pilastra con ladrillo de barro cocido.

Figura 18. Integración de base de pilastra, Templo de la Concepción.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

- Restauración de ventanas octogonales y bóvedas.

Figura 19. Integración de material faltante en marcos de ventanas, Templo de la Concepción.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

b. Proyecto de Restauración en Santa Clara (2021-2023)

- Integración de arcos con ladrillo de barro cocido.
- Construcción de cúpulas reversibles en PRFV.
- Consolidación de muros y molduras históricas.

Figura 20. Recepción de trabajos, Santa Clara.



Nota. Adaptada de CNPAG (2023).

c. Monumento de San Agustín (2020-2022)

- Restauración de bóveda de cañón corrido con integración de ladrillo.
- Aplicación de solera de amarre en muros.

Figura 21. Tallado de la parte interna (intradós) de la bóveda oriente.



Nota. Adaptada de CNPAG (2022).

d. Monumento de Dolores del Cerro (2021-2022)

- Reestructuración de gradas de caracol.

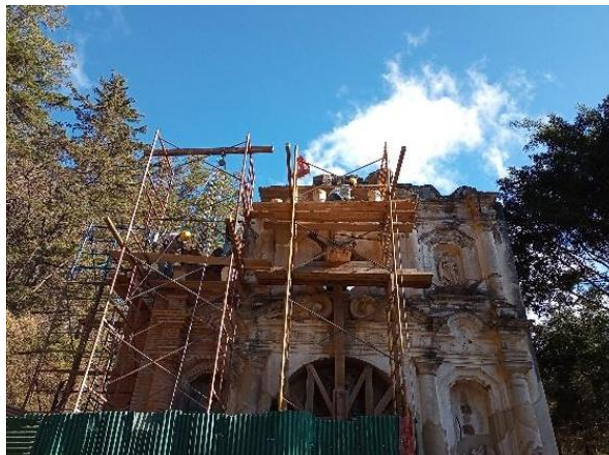
Figura 22. Finalización de gradas de caracol.



Nota. Adaptada de CNPAG (2021).

- Integración de fachada con piedra y ladrillo.

Figura 23. Proceso de integración del segmento faltante de la elevación principal, integración.



Nota. Adaptada de CNPAG.

7. Conclusión

Las técnicas empleadas han priorizado el uso de materiales tradicionales, combinándolos con refuerzos modernos para garantizar la estabilidad estructural y la durabilidad de las intervenciones. Estas metodologías han permitido la recuperación de elementos históricos sin comprometer en gran medida la autenticidad de los monumentos.

C. Modelo de gestión con enfoque en buenas prácticas de conservación

De acuerdo con la guía para la conservación preventiva de las edificaciones religiosas integrantes del patrimonio cultural de la nación del Ministerio de Cultura del Perú, 2023.

1. Identificación del deterioro en edificaciones religiosas

- Factor climático: lluvia, humedad, asolamiento, entre otros.
- Acción humana: el no accionar en cuanto al mantenimiento, uso y adaptaciones no supervisadas por un profesional.
- Desastres naturales: inundaciones, sismos, entre otros.
- Animales y vegetación: roedores y aves; pasto, plantas, y árboles.

El deterioro puede ser mecánico, físico, y/o químico. En el caso de las edificaciones religiosas integrantes del patrimonio cultural en Perú el deterioro suele ser más común en las siguientes partes de las edificaciones:

- Cimentación
- Muros
- Revestimientos
- Pintura
- Carpintería de madera y metálica
- Cubiertas
- Entrepisos

“La falta de mantenimiento de estas edificaciones religiosas integrantes del Patrimonio Cultural de la Nación, así como el accionar negligente o sin conocimiento, son mayormente las causas que provocan su deterioro.” (Ministerio de Cultura del Perú, 2023).

Por ello la importancia de la conservación preventiva de las edificaciones. La conservación tiene como fin detener el deterioro de una edificación, sus servicios, y componentes. La conservación preventiva como tal tiene como fin mitigar en mayor medida futuros deterioros.

2. Acciones específicas para la conservación preventiva de las edificaciones religiosas del patrimonio cultural de Perú

En Perú utilizan el enfoque “cuidar – prevenir – actuar”.

Acciones clave para el cuidado:

- Sensibilizar al personal de mantener el estado de la edificación.
- Designar responsabilidades.
- Revisión periódica.
- Protocolos de limpieza adecuados.
- Actualizar inventario de bienes muebles e inmuebles.
- Contar con los protocolos y equipos necesarios en caso de emergencia.
- Contar con sistemas de seguridad.
- Sistemas contraincendios habilitados.

Acciones clave de prevención:

- Elaborar un plan de mantenimiento anual.
- Detener a tiempo alguna lesión imprevista.
- Ahuyentar la presencia de aves y roedores.
- Aislar las piezas de madera infectadas por insectos xilófagos.
- Detección de las filtraciones de agua.
- No realizar conexiones eléctricas precarias.
- Vigilar el área de encendido de velas.

Acciones clave de actuación:

- Limpiar todos los espacios de la edificación.

- Limpiar anualmente altares, balaustradas, torres y fachadas con personal calificado. Se prefiere limpiar en seco, es decir con, métodos de limpieza que no usen agua como cepillos y aspiradoras.
- Ordenar y limpiar los espacios utilizados como depósitos de materiales.
- Reintegrar anualmente revestimientos y pinturas desgastadas.
- Reponer acabados desgastados con material similar u original.
- Corregir o mejorar servicios con proyectos integrales.
- Mantenimiento periódico de las áreas verdes.
- Utilizar productos de limpieza adecuados por material.
- No retirar o agregar elementos que alteren el carácter del inmueble.

El modelo de conservación de Perú presenta una estructura metodológica y organizacional más formal en términos de protocolos y responsabilidades claramente establecidos. Este enfoque podría aportar elementos valiosos al contexto de Antigua Guatemala, en especial en cuanto a la formalización de planes anuales, protocolos claros para el manejo preventivo y emergencias, y programas de sensibilización sistematizados. Por ello, una recomendación clave para el contexto guatemalteco sería incorporar un esquema formal de gestión preventiva similar al propuesto por Perú, lo cual reforzaría el mantenimiento constante y permitiría una mejor prevención ante problemas estructurales y ambientales recurrentes.

D. Técnicas, materiales, y metodologías

A continuación, se detallan algunas de las técnicas empleadas en la rehabilitación de edificios históricos. Este listado pretende apoyar la labor en la conservación del patrimonio histórico de Antigua Guatemala puesto que hasta ahora la fuente principal de información ha sido la misma experiencia de los profesionales involucrados, a través de la documentación de sus labores.

La rehabilitación incluye la reparación o refuerzo de la estructura sin embargo como se podrá observar a continuación la mayoría de estas técnicas son de refuerzo.

1. Técnicas de reparación

Son los procesos que se enfocan en la preservación estética de un edificio antes que estructural. Los procedimientos más comunes son la reparación de morteros dañados, el sellado de grietas, y el remplazo de unidades dañadas. Para ello se suele priorizar las técnicas y materiales más similares a los originales.

En cuanto a la reparación de morteros dañados y remplazo de unidades dañadas, se debe considerar una variación de la resistencia, color, y deformación del material original ante el nuevo. Para conllevar este problema se suele utilizar un proceso de humedad inducida o tratamiento químico que tienen como fin dar un aspecto más viejo y reducir la resistencia. A través de esto además de garantizar un aspecto más homogéneo, lo principal es que se pueda evitar una concentración de esfuerzos.

Bajo estas condiciones los morteros empleados con frecuencia son de polímeros con agregados de fibras naturales, así reduciendo su resistencia, además de que proponen una mejor compatibilidad de materiales.

Otro aspecto importante que vale la pena mencionar es el uso de productos químicos para limpiar la suciedad y humedad de los materiales por causas naturales y contaminación. Sin embargo, recientemente se ha optado por el uso de productos biodegradables que alteran en menor medida a los materiales originales y dotan a las construcciones de su color original (Pacheco. L, 2022).

Las técnicas mencionadas en este apartado, como el uso de morteros de polímeros con fibras naturales y tratamientos de envejecimiento inducido, representan soluciones adecuadas desde el punto de vista técnico por garantizar compatibilidad y evitar concentraciones excesivas de esfuerzos. En Antigua Guatemala, el CNPAG ha implementado procedimientos similares, destacando el uso de mezclas a base de cal y ladrillo artesanal, asegurando la reversibilidad y mínima intervención en los materiales originales. Es esencial enfatizar el empleo de productos biodegradables y métodos de limpieza en seco con cepillos de cerdas plásticas, lo cual refleja criterios técnicos de conservación internacionalmente reconocidos, recomendables para intervenciones futuras en la región.

2. Técnicas de refuerzo en edificios de adobe

Las construcciones en adobe, fundamentales en el patrimonio arquitectónico, presentan vulnerabilidades estructurales, especialmente en zonas sísmicas. Por ello, se han desarrollado diversas técnicas de refuerzo que buscan mejorar su estabilidad sin alterar su valor histórico. A continuación, se analizan intervenciones aplicadas en edificaciones de adobe, con énfasis en los métodos utilizados tras el terremoto de Maule, Chile en 2010, según el estudio de Torres Gilles y Jorquera Silva (2018).

“A nivel internacional existen investigaciones relevantes de propuestas de refuerzo estructural para construcciones en adobe, ensayadas en laboratorio y/o modeladas con elementos finitos, realizadas en importantes centros de investigación”. (Torres Gilles C.; Jorquera Silva N., 2018).

De manera general se busca brindar estabilidad a las construcciones de adobe por medio de la incorporación de mallas y elementos de madera, así restringiendo el desplazamiento de los muros. Aquí resalta la importancia de otorgar ductilidad al muro.

En el contexto de la conservación no se suele distinguir entre la intervención del patrimonio en zona sísmica y zona no sísmica, sin embargo, referentes importantes en el sector aluden a que habrá que optar por las técnicas, tradicionales o modernas, que mejor se adecúen a la realidad del caso siempre respetando el trabajo original. En el tema de la conservación y restauración de patrimonio histórico se emplean los términos: reconstrucción, refuerzo, y consolidación. Por lo tanto, las intervenciones que se realicen sobre estas edificaciones se podrán agrupar en esas tres categorías. A continuación, se detallan y analizan las intervenciones que tuvieron lugar en edificios de adobe, religiosos y viviendas particulares, posteriores al terremoto de Maule del año 2010 en Chile refiriéndonos al estudio de Torres Gilles C.; Jorquera Silva N., 2018.

a. Reconstrucción

1) Albañilería confinada de adobes

En este caso se refiere a la albañilería o mampostería tradicional de adobe que es confinada por elementos resistentes a las flexiones y esfuerzos de corte axial provocados por el movimiento sísmico. Tal como se indica en el estudio científico a continuación “la

inserción de elementos de madera dentro de las albañilerías, es un método de refuerzo adecuado, ya que las excelentes propiedades de tracción a lo largo del muro permiten constituir planos de deslizamiento, que tanto vertical como horizontalmente, amortiguan los esfuerzos ayudando a disipar cantidades importantes de energía” (Ortega, J.; Vasconcelos, G. & Correia, M., 2015).

Figura 24. Propuesta de albañilería armada en una vivienda ubicada en Pichidegua.



Nota. Adaptada de Torres & Jorquera (2018).

b. Refuerzo

1) Aplicación de refuerzos externos

Mediante el refuerzo de muros con mallas electrosoldadas se incrementa la resistencia del muro, se controla el desplazamiento y se pospone el colapso. Esta técnica ha sido probada en laboratorio, así como en proyectos piloto, sin embargo, las viviendas en que se ha implementado son de dimensiones pequeñas así que la aplicación se limita a las zonas más críticas de una estructura, como esquinas y contornos de vanos.

En Chile porque los edificios suelen ser de espesores grandes y los muros altos, se aconseja el aplicar el confinamiento de malla en toda la extensión de estos. Esta técnica en particular funciona brindando resistencia frente a las tracciones producidas por empujes horizontales perpendiculares al plano de los muros al generarse esfuerzos de flexión en la albañilería. Los esfuerzos son mayores en la base así que es importante asegurar las mallas desde los cimientos de los muros. Las mallas envuelven ambas caras penetrando por lo menos 60 cm, en los extremos se insertan barras de acero para lograr el amarre con la malla. En vanos de puertas y ventanas la malla se traslapa por ser la zona más vulnerable a las

deformaciones y agrietamientos. Con el fin de proteger a la malla de la humedad en algunos casos se aplica pintura antioxidante a esta, se puede aplicar pintura a la cal, y en otros casos pintura asfáltica para lograr una mejor adherencia con el mortero de recubrimiento.

Cabe mencionar que en el terremoto del 2010 en Chile el uso de morteros de recubrimiento a base de cemento contra el mortero de tierra demostró no ser adecuado principalmente por el peso excesivo del material e incompatibilidad mecánica. No obstante, puede ser que químicamente la malla pueda corroerse por la arcilla así que esta técnica se utiliza más en viviendas que en monumentos nacionales, considerando el bajo costo de ellas.

Figura 25. Aplicación de malla electrosoldada como refuerzo en muros de adobe. Recuperación de viviendas en Vichuquén.



Nota. Adaptada de Torres & Jorquera (2018).

Por otro lado, existe el refuerzo con geomalla que aumenta la capacidad de deformación y ductilidad frente al sismo en los muros de albañilería de adobe. Evitando los colapsos y desprendimientos de material. Cabe mencionar que esta técnica ha sido probada en laboratorio con muros de un espesor menor a 40 cm, por lo que el desempeño en muros de mayor masa puede ser menos exitoso. Esta técnica es más recomendada en la categoría de monumentos importantes por ser altamente compatible con el material de origen, pues al estar compuesta de polímeros no requiere una protección adicional frente al revoque y se aplica directamente. Sin embargo, es importante considerar que es un material más costoso.

Figura 26. Refuerzo de muros de adobe con geomalla en recuperación de monumentos.



Nota. Adaptada de Torres & Jorquera (2018).

c. Consolidación

1) Consolidación con exoesqueleto de madera

Este sistema de refuerzo por lo general se emplea en muros aplomados y que no presentan lesiones graves. El exoesqueleto integra piezas verticales y horizontales proporcionando mayor resistencia y rigidez a la albañilería de adobe frente a las flexiones y esfuerzo de corte generados por el sismo. Esta técnica es más atractiva en términos de conservación por ser de mínima intervención y ser reversible. Las piezas se instalan por ambas caras, para no aumentar demasiado la sección del muro y proponer un trabajo mecánico colaborativo. Se debe realizar un pequeño rebaje en el muro en dónde insertar las piezas de uno de los dos sentidos, en el otro sentido actúa como soporte para las capas de revoque de tierra. Las uniones se trabajan con pasadores metálicos galvanizados.

Figura 27. Sistema de consolidación de muros de adobe con exoesqueleto de madera.



Nota. Adaptada de Soledad. Torres, Valdivia, (2016).

Las técnicas expuestas para el refuerzo estructural en edificaciones de adobe, como la albañilería confinada, las mallas electrosoldadas, geomallas y exoesqueletos de madera, ofrecen alternativas efectivas para mejorar la respuesta sísmica sin comprometer el valor patrimonial. En Antigua Guatemala, donde predominan estructuras históricas de espesores considerables, la aplicación de geomallas y exoesqueletos de madera resulta especialmente adecuada, dada su alta compatibilidad, reversibilidad y bajo impacto visual. Además, se recomienda evitar morteros a base de cemento por incompatibilidad mecánica y peso adicional, priorizando mezclas a base de tierra o cal que son más compatibles estructuralmente con el adobe original. Estas soluciones permiten garantizar un comportamiento adecuado en zonas sísmicas y preservar la integridad estructural y patrimonial del adobe.

3. Técnicas de refuerzo en mampostería de piedra y ladrillo

Aunque el adobe sí fue utilizado en los edificios religiosos de Antigua Guatemala, más que todo en muros o edificaciones anexas, lo que mayor predominó en este tipo de edificios fue la mampostería de piedra y ladrillo.

a. Refuerzo con acero postensado, con mallas electrosoldadas, y concreto reforzado.

El refuerzo con acero postensado en edificaciones históricas se ha consolidado como una técnica eficaz para mejorar el desempeño sísmico y estructural. Estos sistemas combinan la resistencia del acero, ofreciendo soluciones reversibles y compatibles con materiales tradicionales. Entre los sistemas externos se encuentran los cables o barras de acero instalados en el exterior de muros y estructuras, anclados con sistemas que permiten ajustar la tensión. Asimismo, el acero se puede utilizar como un refuerzo integrado con los materiales tradicionales y modernos.

Algunas ventajas del acero en intervenciones de inmuebles patrimoniales son las siguientes (Gerdau Corsa, s. f.):

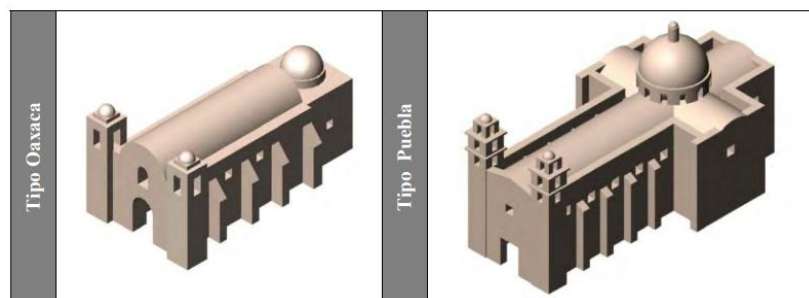
- **Reversibilidad:** un tema importante en la restauración, ya que por medio del uso de uniones y conexiones atornilladas resulta factible modificar o eliminar la intervención.

- Compatibilidad con otros materiales: lo versátil del material permite generar soluciones estructurales compatibles con los materiales tradicionales.
- Montaje rápido: la ligereza de los elementos facilita el transporte y montaje de los proyectos, además de que minimiza la carga estructural que incide sobre la edificación existente. Cuando la intervención es urgente la velocidad de montaje es una clara ventaja.

Los modelos físicos en particular son una herramienta útil que sirven para estudiar el comportamiento estructural de un edificio. El ensayo más común al que se puede poner a prueba un modelo físico es el de la mesa vibradora. Chávez. M, 2010 desarrolla un importante trabajo sobre la validación experimental de modelos analíticos para el estudio del comportamiento sísmico de estructuras históricas. En su estudio elabora un modelo de escala 1:8 basado en un templo colonial típico de la zona centro de México sobre una mesa vibradora.

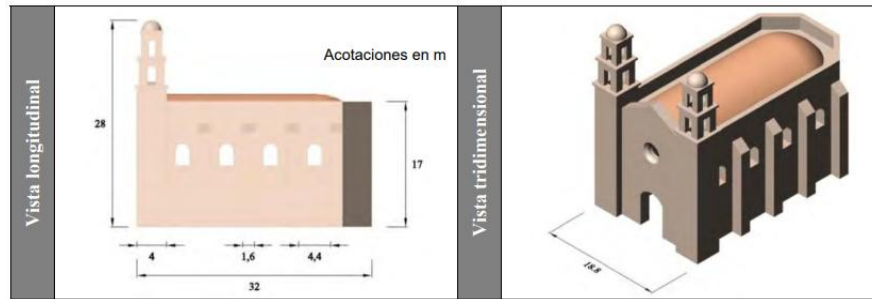
Al igual que las iglesias de Antigua Guatemala, las construcciones religiosas en Puebla y Oaxaca fueron diseñadas bajo principios arquitectónicos que buscaban responder a la amenaza sísmica, lo que llevó al uso de muros gruesos, contrafuertes y materiales tradicionales como piedra y mortero de cal.

Figura 28. Templos típicos coloniales de la región sudoeste de México.



Nota. Adaptada de Chávez (2010).

Figura 29. Prototipo simplificado del templo típico del estado de Puebla, México.



Nota. Adaptada de Chávez (2010).

El prototipo se compone de la nave principal, una bóveda de ladrillo en forma de cañón, dos campanarios altos y esbeltos, y los contrafuertes; las paredes son de mampostería de piedras aglutinadas con un mortero de cal y arena. Se realizaron tres ensayos en la mesa vibradora a diferentes intensidades de movimiento sísmico con condiciones constructivas distintas. El primer escenario fue el modelo original no reforzado, en el segundo se reforzaron los campanarios con malla electrosoldada y la nave con tensores de acero puestos en dirección transversal. En el tercer escenario se reforzaron las torres con un sistema de postensado vertical y se colocó una cadena de concreto perimetral en la bóveda.

El primer ensayo dio como resultado una resistencia al movimiento del 60%, equivalente a 0.4 g de aceleración horizontal y 0.37 g en vertical. En resumen, los daños significativos fueron el colapso de la parte superior de ambos campanarios, el agrietamiento de la bóveda y de la fachada.

En el segundo escenario como se indicó anteriormente se colocaron barras de acero postensadas a la altura de arranque de la bóveda para confinar la nave y reducir la apertura de la bóveda. Para evitar el colapso de los campanarios se colocó malla electrosoldada en su interior. Ambas técnicas son ampliamente utilizadas en este tipo de estructuras ya que se considera que no alteran en un grado relevante la originalidad de los edificios de acuerdo con lo que suelen demandar los reglamentos de restauración en monumentos históricos. Por ejemplo, la malla electrosoldada para este caso solo ha penetrado 20 cm del cuerpo principal de las torres.

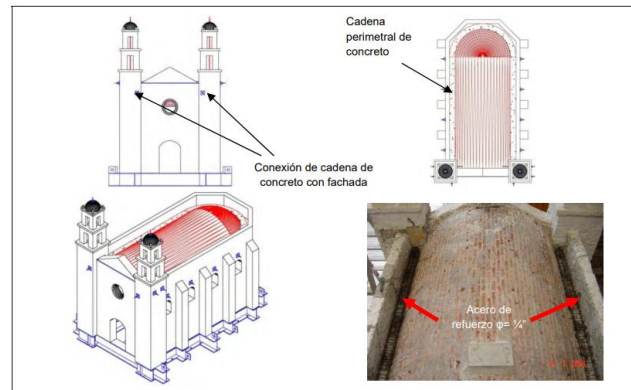
En este segundo ensayo la intensidad resistida del modelo fue del 80% equivalente a una aceleración de 0.56g y solo en la dirección horizontal. Los campanarios no sufren daño a excepción de sus bases en donde no se ubicó la malla estructural. Los muros y fachada sí presentaron agrietamientos diagonales.

En el tercer escenario el enfoque de refuerzo es el mismo, pero más completo, además se repararon los daños provocados en el ensayo anterior, inyectando lechada cementante en las grietas y se llevó a cabo una reconstitución de los elementos dañados con el mismo tipo de material. Luego se procedió a reforzar las torres con acero vertical desde su base a la parte superior del campanario, para ello fue necesario construir una losa de concreto en la parte superior de los campanarios para poder amarrar la barra de acero a este elemento. Con el fin de mejorar la conectividad de los elementos de la nave se colocó una cadena de concreto reforzado en la parte exterior a la altura de arranque de la bóveda. Los extremos de la cadena se anclaron al cuerpo de los campanarios a través de una barra de acero sujeta por una placa y tuerca del otro extremo de la torre. De forma similar se realizó el sistema para conectar con la fachada.

En este tercer escenario la máxima intensidad de movimiento fue del 120%, horizontal 0.89g, vertical 0.81g. Los daños se mostraron a un 80%, principalmente en el ábside en la parte posterior, los campanarios no sufrieron daños.

La investigación de Chávez facilita la comparación del desempeño estructural en su estado original y después de ser reforzado, evidenciando que las técnicas aplicadas lograron una mejora significativa en su resistencia.

Figura 30. Características del sistema de refuerzo aplicado al modelo.



Nota. Adaptada de Chávez (2010).

Las técnicas descritas para reforzar estructuras históricas de mampostería con acero postensado, mallas electrosoldadas y concreto reforzado, han mostrado resultados efectivos y cuantificables en términos de desempeño estructural ante eventos sísmicos. EL uso del acero postensado no embebido se destaca por su capacidad para mejorar la resistencia sin afectar considerablemente la autenticidad patrimonial, dada su reversibilidad y bajo impacto visual. El estudio experimental presentado por Chávez (2010) demuestra cómo en este caso combinaciones estratégicas de acero postensado, mallas electrosoldadas y una cadena perimetral de concreto incrementan significativamente la capacidad sísmica de estructuras históricas similares a las existentes en Antigua Guatemala. Tales soluciones técnicas, que integran elementos modernos con métodos tradicionales, son recomendables para contextos locales debido a su eficiencia comprobada en laboratorio y compatibilidad estructural con las técnicas constructivas originales.

4. Acero

Los tipos de intervención con acero varían significativamente según las necesidades específicas del edificio histórico, abarcando desde la consolidación hasta la rehabilitación.

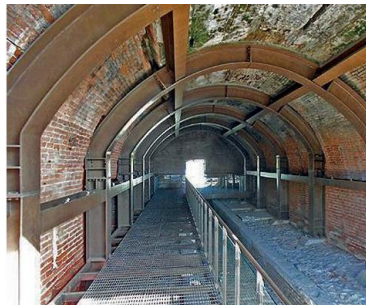
El apuntalamiento, una intervención de consolidación, se emplea principalmente de forma temporal durante la construcción de un nuevo edificio adyacente o entre dos estructuras preexistentes para garantizar la seguridad. También se utiliza para rigidizar fachadas, ya sea como una solución temporal o permanente.

Figura 31. Almacén de pólvoras de la anterior Cárcel de Valparaíso en Chile, con vigas, pasarelas y refuerzos estructurales.



Nota. Adaptada de Gerdau (s. f.).

Figura 32. Almacén de pólvoras de la anterior Cárcel de Valparaíso en Chile, con vigas, pasarelas y refuerzos estructurales.



Nota. Adaptada de Gerdau (s. f.).

El refuerzo, por otro lado, se clasifica como una intervención de rehabilitación. Su objetivo principal es aumentar la capacidad estructural del edificio, ya sea para adaptarse a un cambio de uso, incrementar la superficie habitable o corregir defectos estructurales existentes. El refuerzo puede aplicarse a elementos estructurales específicos o a todo el edificio mediante sistemas de arriostramiento (marcos concéntricos o excéntricos) o encamisados de refuerzo a columnas (Gerdau Corsa, s. f.).

Las intervenciones con acero, como el apuntalamiento y el refuerzo estructural mediante arriostramientos o encamisados, constituyen métodos sólidos y adaptables a un contexto de conservación. En Antigua Guatemala, el CNPAG ha aplicado intervenciones similares, empleando estructuras temporales de apuntalamiento con madera y acero durante los trabajos de consolidación, y soleras armadas para reforzar elementos estructurales

específicos. Sin embargo, técnicas como el arriostramiento metálico o los encamisados en columnas podrían ampliar y fortalecer el trabajo técnico actual del CNPAG, dado su bajo impacto en la autenticidad y su capacidad comprobada para mejorar la respuesta sísmica y estructural en contextos similares internacionales. Estas soluciones podrían implementarse de forma controlada y reversible para potenciar la conservación estructural en Antigua Guatemala.

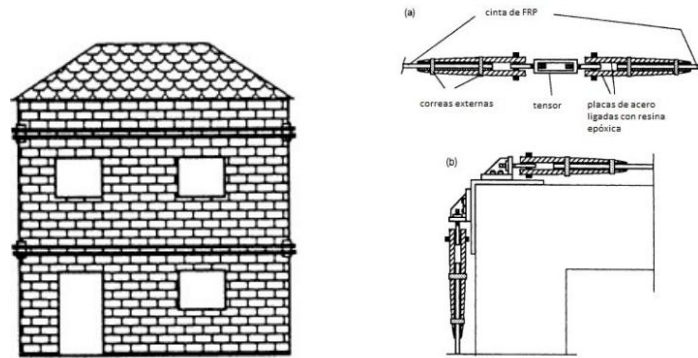
5. Confinamiento de presfuerzo

Para construcciones históricas de mampostería, se puede llevar a cabo un confinamiento exterior con materiales compuestos o de acero. Los tendones unidireccionales de polímeros de fibras reforzadas (FRP) aportan resistencia y rigidez, además de que son ligeros y no se corroen. Por otra parte, ha sido comprobado que son durables con un bajo costo de mantenimiento y logística. Es por ello se puede encontrar este material en el refuerzo de concreto, madera, y mampostería; en este caso, para la confección de tendones presforzados. Aunque el FRP es un material que ofrece múltiples ventajas mecánicas, también es susceptible a diferentes fenómenos naturales como la humedad y la irradiación, así como ataques químicos (Triantafillou y Fardis, 1997).

Estos tendones se ubican sobre la parte externa del edificio fijándose en los extremos de la estructura y son postensados para proveer confinamiento horizontal. Cabe mencionar que su resistencia a compresión y a cortante son bajas de compararse con su alta resistencia a la tensión por las propiedades innatas del material.

Los tendones pueden ser utilizados en estructuras circulares como bóvedas o domos, al igual que en edificios con esquinas.

Figura 33. Aplicación externa de las correas.



Nota. a) anclaje propuesto para estructuras circulares; b) anclaje propuesto para esquinas de edificios de mampostería. Adaptada de Triantafillou y Fardis (1997).

El confinamiento mediante tendones de polímeros reforzados con fibra (FRP) destaca como una solución atractiva y técnica para reforzar estructuras históricas, debido a su ligereza, resistencia a tensión y facilidad de instalación. En Antigua Guatemala, técnicas de confinamiento han sido utilizadas por el CNPAG con soleras de acero y concreto. La implementación de FRP podría representar una alternativa complementaria en casos específicos, considerando especialmente su reversibilidad, menor impacto visual y resistencia a la corrosión. Sin embargo, para adaptarse correctamente al contexto local, es clave evaluar cuidadosamente la susceptibilidad del material a condiciones ambientales propias de Antigua Guatemala, como lo son la humedad elevada y exposición solar, estableciendo protocolos adecuados de mantenimiento y protección.

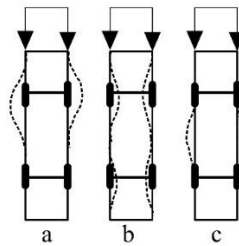
6. Confinamiento con placas de acero

Comúnmente utilizada en muros y columnas para mejorar la capacidad última de estos elementos. La ventaja de las placas de acero es que pueden ser removidas si se requiere en cualquier momento siendo atractivas por su reversibilidad. El funcionamiento se basa en que al comprimir el elemento en una o más direcciones transversales a la dirección de la carga aplicada, se genera un esfuerzo de compresión multiaxial en vez de uniaxial brindando mayor resistencia a la compresión del elemento (Modena et al, 2005),

Cuando el elemento está confinado en una sola dirección se pueden dar tres tipos de fallas:

- La barra de acero fluye cuando la relación entre el área de la placa y la longitud del elemento es un valor alto.
- Colapso por aplastamiento en el área confinada cuando las placas de acero utilizadas son pequeñas.
- Colapso por tensión y cortante en las áreas no confinadas cuando la distancia entre placas es considerable.

Figura 34. Falla de un elemento confinado en una sola dirección.



Nota. Elaboración propia.

El confinamiento con placas de acero representa una técnica efectiva para incrementar la resistencia a compresión en elementos estructurales como columnas o muros. Su principal ventaja es la reversibilidad lo que permite preservar la integridad histórica de las edificaciones intervenidas. En comparación con las técnicas aplicadas por el CNPAG, que suelen incluir refuerzos con soleras y armaduras de acero embebidas, las placas externas podrían ofrecer una alternativa complementaria, especialmente atractiva en situaciones donde es esencial mantener expuestos los elementos constructivos originales. Sin embargo, es fundamental realizar una evaluación estructural previa, considerando adecuadamente la geometría y distribución de las placas para evitar fallas por tensión o aplastamiento en las zonas no confinadas.

7. Refuerzo con FRP (*fiber reinforced polymers*)

a. Vendas

Además de los tendones unidireccionales de polímeros de fibras reforzadas también se puede implementar este material en modo vendaje para mejorar columnas, conexiones entre vigas y columnas, y el refuerzo de bóvedas y arcos.

Proceso de aplicación:

- Reparación de la superficie de aplicación para eliminar irregularidades, para lo cual se puede aplicar una capa de mortero. Aplicar un fijador epóxico.
- Aplicación de una resina sintética y un solvente.
- Aplicación de las bandas de FRP con rodillo. Mover el rodillo en dirección de las fibras y aplicar una ligera presión, evitando burbujas de aire.

En términos de compatibilidad tanto la mampostería como los FRP son materiales anisotrópicos, sin embargo, el comportamiento de la mampostería no es lineal mientras que el de los FRP sí es lineal. Su combinación es deseable con el fin de evitar fallas frágiles (Grazzini, Alessandro & Agnetti, Stefano, 2019).

Figura 35. Soluciones para el confinamiento de mampostería, bóvedas, y arcos.

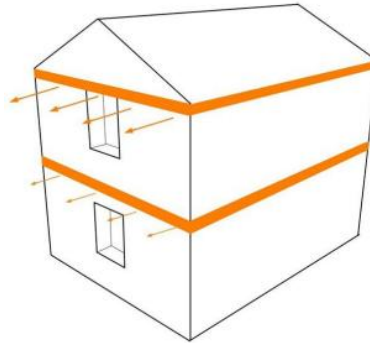


Nota. Adaptada de Grazzini & Agnetti (2019).

Además del refuerzo de la superficie de elementos, también se puede utilizar en la estabilidad de elementos como torres y muros de una edificación. En el caso de una torre se envolvería el vendaje en su perímetro. Para un muro la intervención consiste en fijar los

refuerzos de FRP en sentido horizontal en la parte superior del edificio a modo de amarrar la fachada al cuerpo del edificio como se observa en la imagen inferior.

Figura 36. Soluciones para el confinamiento de mampostería en fachada.



Nota. Adaptada de Grazzini & Agnetti (2019).

- El vértice debe ser limpio, de encontrarse columnas en los extremos de la fachada, aplicar el vendaje al contorno de la columna podría resultar en una elevación de esfuerzos de tracción.
- También se debe confinar por completo la construcción de mampostería para lograr la mayor eficacia.

b. Cables

Este mismo material también puede combatir otro fenómeno común que puede surgir en edificios históricos. La fluencia lenta puede darse cuando una carga ha sido aplicada durante un largo tiempo, aun cuando esta es menor a la que podría soportar el material de manera nominal. En este caso se puede utilizar un refuerzo de barras de acero o de FRP. Actúan reduciendo la propagación de grietas y expansión del elemento. Por ejemplo, en una mampostería de ladrillo el refuerzo de acero o FRP se aplicaría entre las uniones de mortero y posteriormente se cubrirían de nuevo con mortero (Pacheco, L., 2022).

- En vez de FRP para esta práctica es preferible utilizar CFRP, polímeros de fibras reforzadas de carbono por ser menos invasivas y aportan una mayor resistencia.
- Al considerar ambos materiales, el acero suele resultar mejor porque pese a que las bandas de CFRP aportan mayor resistencia porque son elementos de menos

espesor se puede llegar a obtener una distribución de esfuerzos diferencial en la zona ubicada del refuerzo.

El refuerzo mediante polímeros reforzados con fibra (FRP) aplicado en forma de vendajes y CFRP para cables presenta una solución atractiva para mejorar el desempeño estructural de elementos históricos como columnas, bóvedas, arcos y muros. Su principal ventaja está en su ligereza, alta resistencia a tensión, y capacidad para integrarse más discretamente sin afectar tanto la apariencia visual del edificio. En comparación con las técnicas actuales del CNPAG, que han utilizado principalmente acero y concreto reforzado, la implementación de FRP ofrecería beneficios adicionales en ser menos invasivos y reducir el peso estructural añadido. Se debe prestar atención a la preparación previa de la superficie y la aplicación cuidadosa para lograr una distribución uniforme de esfuerzos, especialmente al utilizar CFRP, cuya elevada resistencia podría generar concentraciones locales de tensión.

8. Aislamiento sísmico

El uso de aisladores sísmicos es igualmente una técnica atractiva para los edificios históricos ya que no modifican directamente su estructura, respetando su integridad y valor. Los aisladores sísmicos se utilizan para desacoplar al edificio del movimiento del suelo en el evento de un sismo para reducir la respuesta ante este. Estos elementos reducen en gran medida el daño estético como estructural.

En edificaciones históricas los dos sistemas comúnmente utilizados son los cojinetes de elastómeros a base de caucho o neopreno, y los deslizadores de teflón y acero inoxidable. Los elastómeros proporcionan flexibilidad para absorber la energía sísmica. Las placas de anclaje conectan el aislador a la subestructura y superestructura. Su funcionamiento se base en que las capas de caucho se comprimen o estiran permitiendo que la estructura se mueva sin transmitir fuerzas destructivas, actúan también como elementos de amortiguamiento para la absorción de energía y reducción de vibraciones. Ventajas clave de esta tecnología son la reducción en vibraciones y deformaciones, y un menor daño en elementos no estructurales permitiendo la operatividad post-sismo. (CDV Ingeniería Antisísmica, s.f.).

Figura 37. Amortiguador, Museo de Nueva Zelanda Te Papa Tongarewa, Wellington, Nueva Zelanda.



Nota. Adaptada de Lange (2017).

Los deslizadores de superficie curva constan de una placa cóncava, un deslizador articulado y una placa albergadora. Están diseñados para desplazarse de manera horizontal en cualquier dirección, permitiendo que la estructura se desplace libremente durante un sismo. Gracias a los materiales de baja fricción, similares al Teflón, el sistema reduce las fuerzas laterales que podrían causar deformaciones en el edificio. Además, la curvatura de la superficie genera un efecto de recentrado, haciendo que la estructura vuelva a su posición original una vez que cesa el movimiento sísmico (Pacheco, L, 2022).

Este ajuste incorpora la función de recentrado y la capacidad de limitar fuerzas horizontales, que son aspectos clave de este tipo de aislamiento sísmico.

Qué tipo de dispositivo resulta más adecuado para una estructura depende de las propiedades dinámicas de la estructura para la cual se requiere instrumentación sísmica a través del uso de los métodos de vibración ambiental y forzada.

La técnica de aislamiento sísmico, mediante elastómeros y deslizadores de superficie curva, ofrece una solución estructuralmente avanzada y muy respetuosa con la integridad de un edificio histórico, ya que desacopla efectivamente la estructura del movimiento sísmico, reduciendo notablemente el daño en elementos estructurales y no estructurales. Comparado con las intervenciones más comunes del CNPAG, que son basadas en refuerzos directos con acero o concreto, esta metodología representa una alternativa más avanzada y

que mejor preserva la autenticidad histórica. Es importante resaltar la necesidad de estudios dinámicos específicos (instrumentación sísmica y análisis de vibración) previos a la implementación, para asegurar la selección del aislador más adecuado según las características particulares de cada monumento en Antigua Guatemala.

9. Soluciones a los asentamientos diferenciales

Se entiende un asentamiento diferencial como la variación de asiento entre dos puntos cuales sean de una cimentación. Las causas se deben a las condiciones del terreno o construcción del proyecto.

Los hundimientos del suelo tienden a provocar que las edificaciones modifiquen su configuración vertical original, conduciéndolos a desplazarse de manera diferencial en distintos puntos de su configuración espacial, lo cual a su vez produce movimientos desiguales entre los diferentes elementos estructurales (Torres Montes de Oca, C., 2019).

a. Subexcavación

Consiste en la extracción de forma controlada de pequeños volúmenes de suelo con el fin de generar asentamientos que disminuyan la deformación acumulada en una estructura. Por ejemplo, en la catedral metropolitana de la ciudad de México esta técnica se ha desarrollado constantemente porque bien puede ser una técnica preventiva o correctiva, y temporal o permanente. Se puede llevar a cabo de forma manual o con herramientas como el hidrotopo, con gato hidráulico, o con rotor. La más efectiva de ellas es el rotor, que es una perforadora ligera de una alta velocidad de rotación que se complementa del hidrotopo (Santoyo, s.f.).

Un uso exitoso de la técnica de la subexcavación se realizó en la catedral metropolitana de la ciudad de México:

La primera parte del programa tuvo como objetivo la corrección parcial de las diferencias de nivel en distintos puntos de la base del edificio. Se inició con la extracción de suelo de la capa arcillosa superior, desde donde se realizaron 50 perforaciones radiales que penetraron en el suelo de 6 a 22 m en cada lumbrera. El propósito no solo fue eliminar parte de los hundimientos diferenciales, sino también

producir movimientos que favorecieran la estabilidad estructural del edificio (Jiménez, P., 2013).

Su aplicación debe ser evaluada cuidadosamente, considerando las condiciones del subsuelo, los materiales constructivos originales y las posibles afectaciones al patrimonio arquitectónico. En este sentido, el uso de tecnologías complementarias, como monitoreo geotécnico y análisis de deformaciones mediante escaneo láser, podría mejorar la precisión y seguridad de estas intervenciones en contextos históricos.

b. Cimentación profunda

Otra técnica que evita el asentamiento de un edificio es por medio de la inserción de elementos de cimentación profunda como los son pilotes y micropilotes por debajo de la estructura.

Los pilotes in situ son elementos de construcción muy efectivos y con una gran variedad de usos en cimentación e ingeniería civil. Son elementos estructurales formados por hormigón armado de gran longitud comparada con su sección transversal y que transmiten las cargas a niveles profundos del terreno.

Los micropilotes son elementos de cimentaciones profundas, de sección circular y pequeño diámetro, de hasta 250 mm, con una alta capacidad portante a compresión, que transfieren las cargas al terreno en profundidad (Keller Cimentaciones, s.f.).

Pacheco, L. 2022 comenta en su trabajo de Rehabilitación estructural de edificios históricos que la principal ventaja que tienen los micropilotes es la manera en la que funcionan y cómo se relacionan con la cimentación antigua: al principio los micropilotes no trabajan y la cimentación ya existente es la que se encarga de soportar toda la carga, pero a medida que la estructura se asienta son exigidos, consiguiendo a largo plazo tomar la carga total de una determina deformación. Un ejemplo la implementación de esta técnica lo podemos observar en el templo de Corpus Christi, en la CDMX, donde se instalaron 87 micropilotes para combatir los asentamientos diferenciales.

Las soluciones para mitigar asentamientos diferenciales, como la subexcavación controlada y el uso de cimentaciones profundas, son estrategias especializadas que integran criterios estructurales y geotécnicos. El caso exitoso de la Catedral Metropolitana de Ciudad de México, donde se ejecutó un programa de subexcavación con más de 50 perforaciones radiales, evidencia cómo una técnica bien planificada puede corregir deformaciones acumuladas sin intervenir directamente en la superestructura. Esta experiencia es valiosa para Antigua Guatemala, considerando suelos con condiciones variables y edificaciones de considerable tamaño y de alto valor patrimonial. Para el CNPAG estas técnicas podrían ser aplicables en casos puntuales donde se evidencien desplazamientos verticales significativos. La incorporación de micropilotes, como en el templo de Corpus Christi, permite integrar la cimentación original con sistemas modernos, activándose progresivamente sin generar esfuerzos iniciales en estructuras históricas frágiles. Su implementación en Antigua Guatemala podría marcar un avance sustancial en la rehabilitación de estructuras que enfrentan problemas de inestabilidad profunda, siempre que se acompañe de estudios geotécnicos y monitoreo estructural continuo.

10. Gemelo digital

Libelium publicó un artículo importante llamado: Gemelos digitales: La clave para proteger el patrimonio arquitectónico de la UNESCO. Libelium es una empresa líder en el diseño de productos y soluciones integrales de IoT.

El término IoT hace referencia al internet de las cosas, una red colectiva de dispositivos conectados y al uso de la tecnología que facilita la comunicación entre los dispositivos y estos a la nube (Amazon Web Services, s.f.).

El patrimonio arquitectónico que se ha heredado en Génova afronta múltiples amenazas: contaminación, turismo masivo, y el cambio climático hacen que su deterioro sea más pronto. *Le Strade Nuove* y los *Palazzi dei Rolli*, ambos sitios declarados patrimonio de la humanidad por la Unesco en 2006 están en riesgo. Son palacios renacentistas y barrocos que se construyeron entre los siglos XVI y XVII. Actualmente sus piedras se han oscurecido a raíz del carbono negro del tráfico vehicular, las fachadas se han desgastado por la lluvia ácida, y las estructuras comprometidas por el tráfico humano y los cambios

repentinos de temperatura. Por estas razones el gobierno de la ciudad de Génova está en busca de una solución para preservar el pasado viendo hacia el futuro, proteger el patrimonio sin ahogar el turismo. Los Gemelos digitales se presentan como una solución ante ellos.

Los gemelos digitales son réplicas virtuales de los edificios históricos, dependiendo de las necesidades del modelo pueden combinar datos en tiempo real de la calidad del aire, las condiciones meteorológicas, y otros factores ambientales. Los modelos digitales además de monitorear el estado actual del edificio también pueden prevenir su futuro deterioro, habilitando que las intervenciones realizadas se lleven a cabo de manera preventiva en vez de reactiva. La solución para Génova que ha brindado Libelium son sensores de IoT que junto con tecnología satelital y algoritmos predictivos brindan una información detallada del estado de los edificios históricos.

La prevención del deterioro contribuye al ahorro de costos implicados en la conservación patrimonial. También contribuye a la salud de los ciudadanos ya que la contaminación y hongo de los edificios tras emanar al medio podría perjudicar la salud de las personas.

Los dispositivos empleados por la empresa se han ubicado en puntos clave de los monumentos, en el *Palazzo Reale* y *Palazzo Tursi*. Estos aparatos captan datos ambientales como lo son los:

- Gases contaminantes: SO₂, O₃, NO₂
- Partículas en suspensión: PM1, PM2.5, PM10
- Carbono negro, humedad y temperatura
- Pluviometría con el sistema *Smart Rainfall System* (SRS) para medir el impacto de la lluvia en la erosión de los materiales.

Por otro lado, se han generado mapas de la calidad del aire en tiempo real para visualizar cómo la contaminación afecta a los edificios. A través de la integración con los algoritmos satelitales y meteorológicos se pueden seguir patrones y prevenir amenazas futuras. De este modo las entidades responsables de los edificios pueden observar en tiempo real el efecto de la contaminación sobre los bienes. En ese sentido Génova no tendría que esperar a tomar

medidas correctivas después del daño, sino que se puede anticipar y tomar medidas preventivas.

Para la conservación histórica de Génova a través de esta tecnología se han producido los siguientes beneficios:

- Sensibilización ciudadana y turística
- Gestión turística mejorada
- Estrategia de conservación más eficientes.
- Compromiso en sostenibilidad y conservación al alinearse al Plan de Acción Génova 2050.

“Este primer proyecto en Europa demuestra el potencial de los gemelos digitales como herramienta fundamental para la protección del patrimonio histórico”. (Libelium, 2025)

Figura 38. Proyecto Enheritage.



Nota. Adaptada de Libelium (2025).

Este es un modelo replicable en otras ciudades con patrimonio histórico. Génova ha demostrado ser parte del inicio de una revolución tecnológica, pues los gemelos digitales en combinación con IoT (internet de las cosas) tienen el potencial de ser implementados en ciudades con un valioso patrimonio arquitectónico.

De acuerdo con Libelium (2025) es un sistema implementado en los siguientes lugares:

- Ciudades con sitios UNESCO, como Venecia, Praga o Toledo, donde el turismo y la contaminación amenazan sus monumentos.
- Ciudades con alta presión turística, donde la afluencia masiva puede acelerar el deterioro de edificios históricos.
- Regiones vulnerables al cambio climático, donde fenómenos extremos como lluvias torrenciales pueden dañar infraestructuras patrimoniales.

Esta solución en particular es tan innovadora y eficiente que, como parte del proyecto Enheritage, lo potenció a quedar en los finalistas del *World Smart City Awards 2023* bajo la categoría de *Enabling Technology*.

El uso de gemelos digitales como herramienta de conservación patrimonial representa un avance innovador en la gestión preventiva del deterioro de edificaciones históricas. El caso de Génova demuestra cómo la integración de sensores IoT, monitoreo ambiental en tiempo real y algoritmos predictivos permite intervenir antes de que ocurran daños estructurales o superficiales, optimizando recursos y preservando el valor cultural de los inmuebles. En el contexto de Antigua Guatemala, esta tecnología sería útil frente a factores como la contaminación por turismo, la humedad y los cambios de temperatura raíz del clima tropical. Aunque el CNPAG ha desarrollado intervenciones efectivas con recursos convencionales, la incorporación de gemelos digitales permitiría modernizar el enfoque técnico, especialmente al facilitar la toma de decisiones basadas en datos y el seguimiento a largo plazo sin necesidad de inspecciones intrusivas. Su implementación no solo fortalecería la sostenibilidad técnica del proceso de conservación, sino que también abriría nuevas oportunidades para la educación patrimonial digitalizada.

11. Metodologías de estudio

En la rehabilitación de edificios históricos, es necesario realizar una evaluación estructural con el fin de identificar las acciones necesarias para la reparación o refuerzo del edificio. Al hablar de un edificio histórico se trata con la conservación o restauración de elementos, por lo que la evaluación estructural considera sus valores intrínsecos del edificio. A continuación, se mencionan algunos métodos para estimar las propiedades

mecánicas de los materiales y también ideas sobre el monitoreo de una estructura con el fin de generar modelos que mejor representen el comportamiento de la estructura ante la exposición a diferentes situaciones de carga. Cabe mencionar que los métodos más avanzados requieren más recursos. Por consiguiente, con frecuencia, se acude a los métodos simplificados, no obstante, estos funcionan como un punto de partida y justifican el requerimiento de un método de estudio más avanzado.

a. Propiedades mecánicas de los materiales

Uno de los principales desafíos en la evaluación estructural de edificaciones históricas es la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales, debido a su naturaleza heterogénea. Además, la extracción de muestras para análisis se encuentra limitada, lo que puede generar incertidumbre en la modelación y derivar en interpretaciones incorrectas del comportamiento estructural.

La literatura ofrece poca información sobre las propiedades mecánicas de estos materiales. Un estudio relevante en este ámbito es el realizado por Meli R (1998), en el cual se presenta una tabla con los materiales más comúnmente empleados en construcciones históricas, junto con sus principales propiedades mecánicas (figura 39).

Figura 39. Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos.

Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos.				
Material	Peso Volumétrico t/m ³	Resistencia a compresión	Resistencia a cortante	Módulo de elasticidad
Adobe	1.8	2-5	0.5	3 000
Bloques de tepetate con mortero de cal	1.8	5-10	0.5	5 000
Ladrillo con mortero de lodo	1.6	5-10	1.0	5 000
Ladrillo con mortero de cal	1.6	15-20	2.0	10 000
Mampostería de piedra irregular con mortero de cal	2.0	10-15	0.5	5 000
Mampostería de piedra de buena calidad	2.0	30	2.0	20 000
Resistencias y módulos, en kg/cm ² Las propiedades indicadas representan valores conservadores entre los encontrados en la literatura.				

Nota. Adaptada de Meli (1998).

A continuación, se mencionan algunos métodos para estimar las propiedades reales, que pueden ser tanto destructivas como no.

b. Técnicas no destructivas

Permiten realizar una evaluación in-situ de los edificios históricos, los objetivos al utilizar estas técnicas son los siguientes:

- Detección de elementos estructurales ocultos.
- Categorización de los materiales.
- Evaluación del daño mecánico.
- Evaluación de humedad.
- Evaluación de propiedades físicas y mecánicas.
- Determinación de desprendimiento de superficies.

1) Termografía o termovisión

Basada en los principios de transmisión de calor, a través de la transmisión emitida por un objeto y por medio de un termograma se pueden identificar diferencias en la temperatura de un objeto. Por consiguiente, permite identificar anomalías estructurales, detección de materiales distintos, sistemas hidráulicos, y presencia de humedad (Pacheco, L., 2022).

2) Ultrasonido

Basado en el principio de la generación de un impulso sónico, esta metodología consiste en la generación de una onda elástica recogida por un receptor con el fin de medir el recorrido en términos de tiempo y distancia entre el punto de transmisión y recepción. A través de ello se puede detectar huecos y defectos sobre una superficie (Rodríguez C., et al, 2011).

3) Georradar

Más prometedora en los últimos años sin embargo requiere de una gran cantidad de investigaciones y sus resultados son difíciles de interpretar. Se basa en la propagación de impulsos electromagnéticos por medio de una antena bipolar apuntada al material. Se mide el tiempo entre la emisión de la onda y el eco para conocer la profundidad de un obstáculo

en un elemento. Entre sus aplicaciones se encuentra la ubicación de vacíos, presencia de humedad, y morfología de secciones a través de las capas que las componen (Pacheco, L., 2022).

c. Técnicas que sí son destructivas

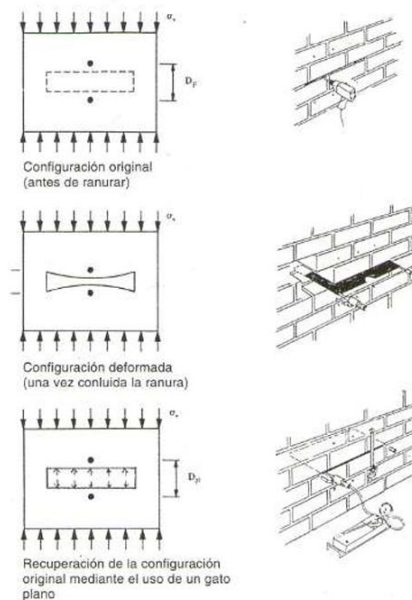
1) Extracción de material

Se debe realizar mediante un taladro rotatorio con punta de diamante. Aunque es un proceso simple es limitante en el sentido de que el material extraído suele perder su unidad. Por otro lado, se puede insertar una cámara dentro de un agujero con el fin de identificar la estratigrafía de una sección

2) Prueba del gato plano

Con el fin de determinar los estados de esfuerzo in-situ de la mampostería se realiza un pequeño corte y se inserta un gato plano en el elemento que se desea analizar. Entonces el esfuerzo de compresión actuante se determina por medio de la presión que fue necesaria aplicar al gato para recuperar la distancia original en el elemento (Meli R.,1998).

Figura 40. Técnica del gato plano.



Nota. Adaptada de Meli (1998).

La incorporación de metodologías de estudio estructural, tanto destructivas como no destructivas, es esencial en la rehabilitación técnica de edificaciones históricas, ya que permite una caracterización más precisa de los materiales sin comprometer a los edificios. En el contexto de Antigua Guatemala, donde los edificios presentan materiales heterogéneos y restricciones para la toma de muestras, las técnicas no destructivas como la termografía, el ultrasonido o el georradar se perfilan como herramientas fundamentales para realizar diagnósticos confiables y diseñar refuerzos adecuados.

Si bien el CNPAG ha documentado intervenciones exitosas en términos constructivos y estructurales, la incorporación sistemática de estas metodologías mejoraría la capacidad de evaluación previa y posterior a las intervenciones. Destaca, por ejemplo, el potencial del gato plano como técnica semidestructiva para evaluar esfuerzos in situ en mampostería tradicional, permitiendo tomar decisiones basadas en parámetros reales. La adopción progresiva de estas herramientas, junto a modelos analíticos, podría hacer más robusta la ingeniería aplicada a la conservación de Antigua Guatemala, avanzando hacia prácticas más técnicas, documentadas y replicables.

12. Métodos de análisis avanzados

En la rehabilitación de edificaciones históricas, los modelos avanzados de análisis estructural permiten una evaluación más precisa del comportamiento de los materiales y la estructura ante diversas condiciones de carga. Estos modelos incorporan estrategias de simulación detalladas que, al considerar la interacción entre los elementos constructivos y sus propiedades mecánicas, facilitan la identificación de vulnerabilidades y la planificación de intervenciones adecuadas.

Entre los enfoques más utilizados se encuentran el Método de Elementos Finitos (MEF), el Análisis de Bloques Rígidos (ALBR) y el Método de Elementos Rígidos (MER). El MEF es especialmente útil para modelar estructuras complejas, ya que permite representar la distribución de esfuerzos y deformaciones con un alto grado de detalle. Por su parte, el ALBR y el MER son ampliamente empleados en estructuras de mampostería, ya que

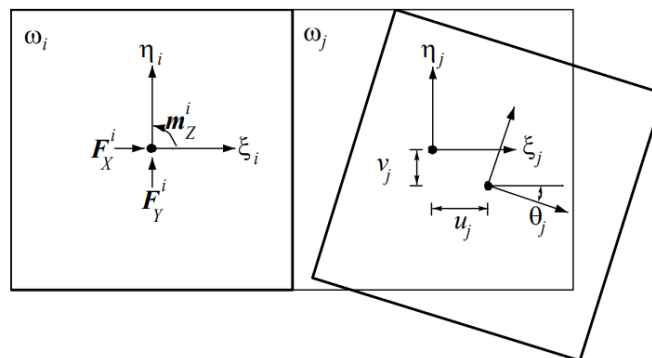
facilitan la simulación del comportamiento ante cargas externas, incluyendo la formación de grietas y los posibles mecanismos de colapso.

Si bien la implementación de estos modelos requiere una mayor inversión en recursos y datos precisos, su aplicación permite desarrollar estrategias de conservación y restauración más eficientes, asegurando la estabilidad y durabilidad de las edificaciones patrimoniales. A continuación, se presentan los enfoques más relevantes para la generación de modelos avanzados en estructuras históricas.

a. Elementos finitos

Permite representar cualquier tipo de geometría, en dos o tres dimensiones. Se pueden definir adecuadamente las características de los materiales y las solicitaciones. La formulación es mejor conocida. Es importante considerar que este método demanda una gran cantidad de recursos computacionales. También puede ser que los parámetros necesarios para identificar las propiedades inelásticas de los materiales no son fáciles de poder de analizar. Este método se basa en la teoría de plasticidad, conceptos de agrietamiento distribuido, y mecánico del daño continuo. Es a partir de ecuaciones de flujo inelástico que demuestran cómo se encuentra el medio en el nuevo estado ocasionado por el daño (Orduña, A., Roeder, G., y Peña, F., 2007).

Figura 41. Fuerzas y desplazamientos de los elementos rígidos.



Nota. Adaptada de Orduña, Roeder y Peña (2007).

b. Elementos rígidos

Este es un método eficaz para un estudio dinámico no lineal porque aún para geometrías complejas se requiere de pocos elementos. Se debe considerar que solo permite el análisis en dos dimensiones y la formulación no es ampliamente conocida. En el contexto de estructuras históricas en este tipo de modelación se pueden apreciar partes agrietadas o en colapso ya que este tipo de estructuras a base de mampostería suelen fallar mediante la formación de macro-bloques. A diferencia del método de elementos finitos este se emplea en medios discontinuos sin embargo podría también ser empleado en un medio semi-continuo (Orduña A, Roeder G y Peña F, 2007).

c. Bloques rígidos

Mediante este método se puede determinar las capacidades de carga lateral y las condiciones de falla en direcciones predefinidas del sismo. Para este método se supone que la estructura es un conjunto de bloques que son infinitamente rígidos que interactúan entre sí a través de interfaces, similar al método de elementos rígidos los bloques cuentan con tres grados de libertad uno en rotación y dos en traslación, transmiten esfuerzos en tensión y compresión mas no soportan esfuerzos de compresión. Es importante considerar que como aspecto positivo para este método basta con definir los parámetros de resistencia del material para su realización (Orduña A, Roeder G y Peña F, 2007).

La aplicación de modelos de análisis estructural como el Método de Elementos Finitos (MEF), Elementos Rígidos (MER) y Análisis de Bloques Rígidos (ALBR) permite estudiar el comportamiento de edificaciones históricas con mayor profundidad, especialmente frente a cargas sísmicas o estados de deterioro acumulado. El MEF es adecuado para representar geometrías complejas y analizar la evolución del daño estructural, mientras que el MER y el ALBR se adaptan mejor a estructuras de mampostería, donde es frecuente la formación de grietas y el comportamiento por bloques. En el caso de Antigua Guatemala, donde predominan edificaciones masivas construidas con sistemas tradicionales de piedra y ladrillo, estos métodos podrían convertirse en un recurso técnico de apoyo para evaluar intervenciones más sensibles, especialmente en inmuebles que ya han sufrido procesos de restauración o presentan fragilidad estructural. Su uso no requiere ser generalizado, pero sí puede establecerse como referente en intervenciones complejas que demanden mayor

respaldo técnico en la toma de decisiones, reforzando la sostenibilidad estructural del patrimonio sin comprometer tanto su integridad histórica.

E. Fenómenos naturales en la conservación de las edificaciones históricas en la Antigua Guatemala

Antigua Guatemala está expuesta a múltiples riesgos naturales que amenazan su patrimonio arquitectónico. Los principales factores identificados son la actividad sísmica, las erupciones volcánicas, y las lluvias e inundaciones.

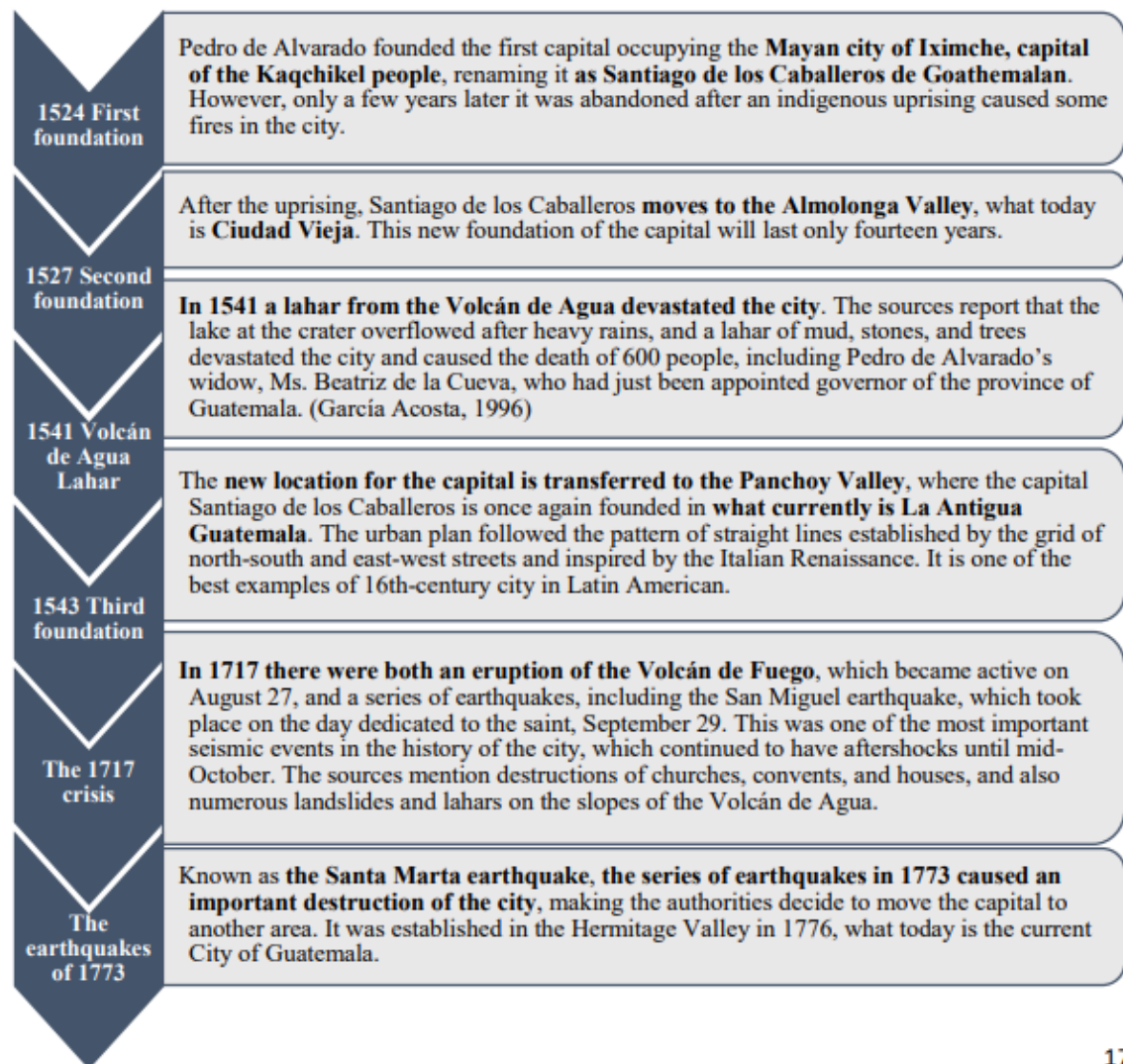
Mientras que los eventos naturales como lo son los sismos o erupciones volcánicas no pueden ser mitigados sí son recurrentes. En ese sentido las evaluaciones de riesgo son importantes para prevenir o mitigar el riesgo de desastre en la mayor medida posible y estar preparados para actuar en caso de emergencia.

Los desastres han marcado la historia de Antigua Guatemala desde su fundación, trayéndola como el legado que es hoy —Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO desde 1979— y al mismo tiempo manteniéndola bajo constante amenaza. Evaluar la situación de la ciudad a través de una perspectiva de gestión del riesgo de desastres (GRD) del patrimonio cultural es fundamental para preservarla en el futuro (World Bank, 2019).

1. Evolución histórica

Como bien se mencionó múltiples desastres han afectado a la ciudad desde su fundación, la actual Antigua Guatemala es el tercer establecimiento de la capital de Guatemala luego de ser trasladada a raíz de eventos de destrucción. Los desastres naturales han marcado la historia de la ciudad, obligando a su reubicación en distintas ocasiones debido a terremotos, erupciones volcánicas y deslizamientos. Estos eventos han determinado no solo su ubicación, sino también la forma en que se ha desarrollado a lo largo del tiempo. La siguiente línea del tiempo resume los principales desastres que han influido en su traslado y transformación.

Figura 42. Evolución histórica de la Capitanía General de Guatemala.



17

Nota. Adaptada de World Bank (2019).

Guatemala es un país ampliamente afectado por eventos climáticos y fenómenos geofísicos. Guatemala se ubica dentro del cinturón de fuego entre los océanos pacífico y atlántico. Con frecuencia el país se ve afectado por sismos, deslaves, erupciones volcánicas, lluvias e inundaciones. De acuerdo con El *Global Climate Risk Index* del 2018, Guatemala se posiciona en el puesto 11 de países en el mundo más afectados por eventos relacionados con el clima.

2. Geología

La ciudad de Antigua Guatemala se asienta sobre el Valle de Panchoy, una cuenca geológica formada por depósitos piroclásticos asociados a la actividad de los volcanes de Agua, Fuego y Acatenango. Esta composición de origen volcánico genera una estratigrafía compleja y altamente variable, lo que representa un reto tanto para el diseño estructural como para la conservación del patrimonio edificado.

Los suelos predominantes están compuestos por materiales sueltos de ceniza volcánica, lapilli, tobas y pómez, caracterizados por su alta porosidad, baja cohesión y susceptibilidad a deformaciones diferenciales. Estas propiedades hacen que, en condiciones de humedad o eventos sísmicos, puedan presentarse fenómenos como licuefacción o colapsos locales, particularmente en áreas con suelos no consolidados (MAGA, 2013).

Según el Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sacatepéquez, Guatemala, MAGA (2013), en la zona se identifican perfiles como el *Cumulic Haplustolls* de la Consociación Antigua, perteneciente al orden Molisol. Estos suelos se describen como de textura francosa gruesa, con alta capacidad de retención de humedad y actividad superactiva, lo cual indica una buena fertilidad, pero también lo hace sensible a cambios de humedad. El régimen isotérmico que presentan, junto a su evolución sobre materiales volcánicos, los vuelve suelos heterogéneos y con comportamiento que puede ser variable ante cargas estructurales.

Adicionalmente, la zona presenta clima húmedo tropical, lo cual favorece la infiltración de agua y, en presencia de horizontes arcillosos, provoca fenómenos de expansión-retracción que pueden afectar la integridad de estructuras antiguas (AGIES, 2019). Si bien no se ha encontrado documentación sobre asentamientos diferenciales en edificaciones coloniales, la descripción de suelos heterogéneos, de origen volcánico y con propiedades variables sugiere un comportamiento potencialmente inestable ante cargas irregulares, especialmente en zonas intervenidas con rellenos antrópicos antiguos de baja compactación.

Dada la naturaleza sísmica de la región, enmarcada en el Cinturón de Fuego del Pacífico, la normativa estructural nacional (NSE 2.1-10) exige la ejecución de estudios geotécnicos

específicos y microzonificaciones sísmicas, recomendando el uso de pruebas como el SPT (*Standard Penetration Test*) para determinar parámetros de diseño seguros (AGIES, 2019).

3. Erupciones volcánicas

Un evento reciente en la historia de Antigua Guatemala fue la erupción del 3 de junio del 2018 en donde las partículas de ceniza provenientes del volcán de fuego envistieron a la ciudad. Durante este suceso se debe considerar el impacto que tiene la ceniza sobre los monumentos que más bien son ruinas expuestas a la intemperie. Además del daño físico en las estructuras se debe tomar en cuenta el efecto que esto tuvo en el tráfico de turismo.

Aunque la ciudad de Antigua Guatemala no fue expuesta a material piroclástico y lava como sí lo fueron otras áreas circundantes sí hubo otros problemas. La caída de ceniza sobre las calles y edificios empeoró tras las persistentes lluvias durante este tiempo. La combinación de ceniza y agua puede causar goteras y en edificios históricos por el alto contenido mineral en la ceniza se crea un ambiente apto para el crecimiento de vegetación sobre las cubiertas, lo cual lleva a un problema de mantenimiento, además este material puede tapar las tuberías, lo que causaría su colapso.

El proceso de limpieza demoró alrededor de un mes. No todos los edificios históricos se pudieron limpiar por la falta de recursos y la falta de un sistema de limpieza o guía para atender el patrimonio histórico. De acuerdo con inspecciones del CNPAG, los elementos más afectados fueron techos, patios con baldosas de barro, las calles empedradas, monumentos en proceso de ser restaurados, fuentes, canaleteas de lluvia (World Bank, 2019).

4. Inundaciones

En 2017, fuertes lluvias provocaron inundaciones y daños en viviendas de Antigua Guatemala. Según González (2017), el colapso del sistema de drenaje generó la acumulación de agua en las calles, la cual ingresó a algunas viviendas sin que se reportaran personas heridas. Asimismo, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) asoció la intensidad de las lluvias con condiciones propias de la época, señalando que ya se percibían indirectamente los efectos de la tormenta tropical Franklin.

Por su parte, los Bomberos voluntarios confirmaron que el nivel del agua en las calles superó los 30 centímetros, aunque el impacto en las viviendas fue limitado.

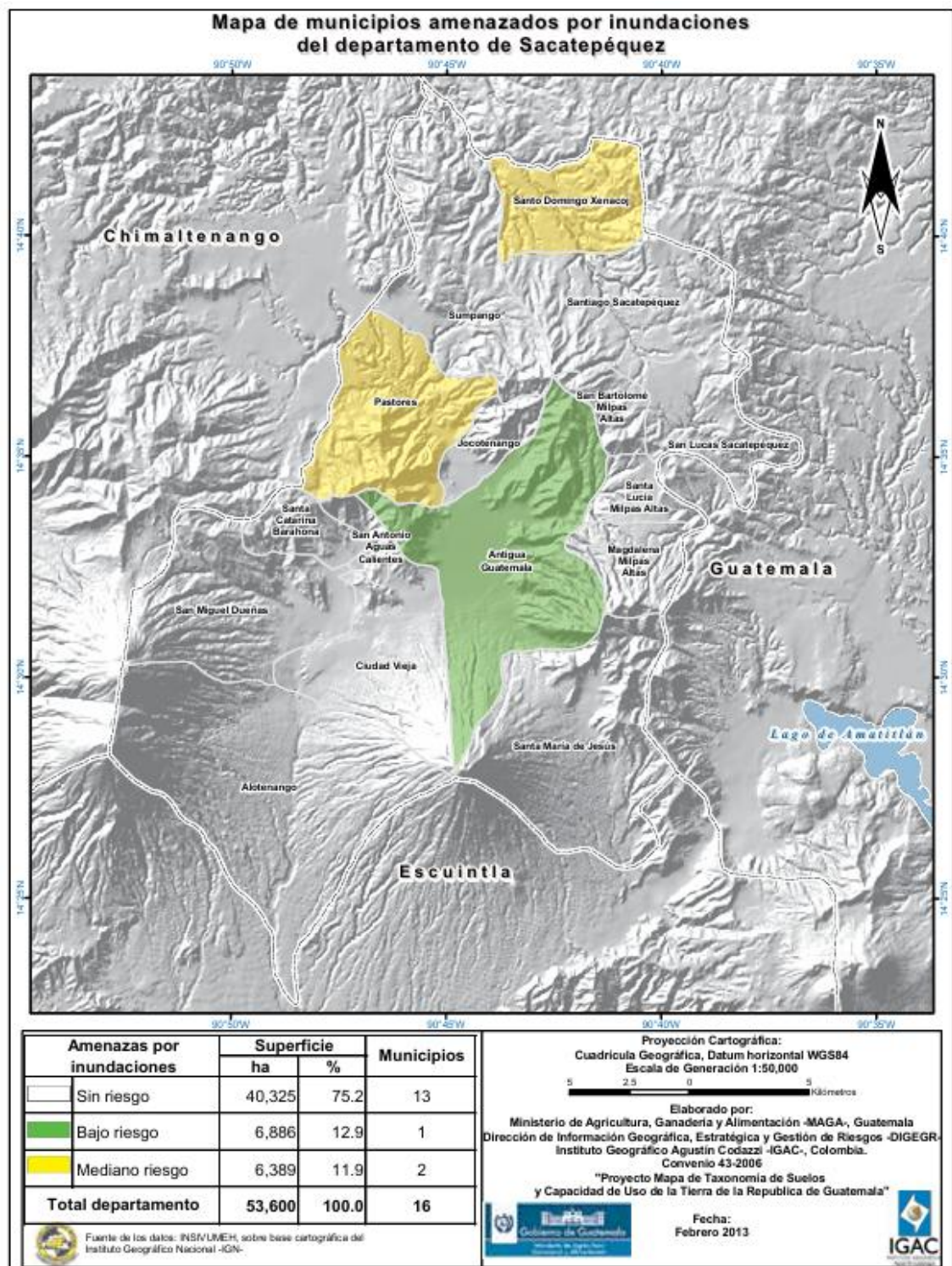
Figura 43. Inundación de la calle cancha de los herreros en Antigua Guatemala.



Nota. Foto Prensa Libre: Cortesía (2017).

Según el estudio de suelos del departamento de Sacatepéquez del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el municipio de Antigua Guatemala se clasifica como una zona de bajo riesgo por inundaciones, abarcando aproximadamente 6,886 hectáreas, es decir, 12.8 % del área total del departamento. Aunque este nivel de riesgo es menor en comparación con otros municipios, eventos puntuales como el ocurrido en 2017 evidencian que el sistema de drenajes pluviales de la ciudad puede colapsar ante lluvias intensas. Esto sugiere que existen condiciones locales como la urbanización desordenada, la impermeabilización del suelo y el deficiente mantenimiento de la infraestructura que pueden aumentar la vulnerabilidad ante inundaciones repentinas.

Figura 44 Mapa de municipios amenazados por inundaciones del departamento de Sacatepéquez.



Nota. Adaptada de MAGA (2013).

5. Sismos

El 22 de junio del 2017 el Departamento de Restauración del CNPAG realizó una inspección en diferentes monumentos de la ciudad en donde pudo observar múltiples desprendimientos de material en muros y fachadas, aunque no observó un daño estructural significativo. Posteriormente en el 2018 distintos sismos generaron grietas en algunas de las fachadas principalmente aquellas que no habían recibido mantenimiento. El sismo del 22 de junio de 2017 fue de una magnitud de 6.9 (World Bank, 2019).

6. Conclusiones

A lo largo del siglo XX y XXI, Antigua Guatemala ha enfrentado diversos desastres naturales que han puesto en riesgo su patrimonio arquitectónico. Aunque la ciudad logró preservar su trazado renacentista del siglo XVI gracias a su parcial abandono en 1776 y a las restricciones impuestas en la reparación y construcción de edificios, los eventos sísmicos y climáticos han representado constantes desafíos para su conservación.

Entre los eventos más significativos se encuentran los terremotos de 1942 (M8.3) y 1976 (M7.5), que ocasionaron daños estructurales en numerosos edificios históricos. Además, los huracanes Mitch en 1998 y Stan en 2005, así como la tormenta tropical Agatha y los deslizamientos de lodo del Volcán de Agua en 2010, generaron inundaciones y afectaciones en la infraestructura patrimonial. Más recientemente, las erupciones del Volcán de Fuego en 2017 y 2018, junto con actividad sísmica recurrente, han intensificado el deterioro de las edificaciones antiguas.

Estos eventos han evidenciado la necesidad de contar con estrategias más efectivas de gestión del riesgo de desastres aplicadas al patrimonio cultural. La falta de recursos para la restauración inmediata y la ausencia de protocolos específicos para la protección del patrimonio han dificultado la recuperación tras cada evento (World Bank, 2019).

Tabla 1. Resumen sobre técnicas.

Técnica analizada	Descripción	Aplicabilidad sugerida en Antigua Guatemala
Técnicas de reparación general	Incluye limpieza, integración de materiales compatibles, consolidación de muros y repellos, siguiendo principios de mínima intervención.	Pertinente para intervenciones básicas en monumentos con deterioro superficial. Favorece la preservación material y puede replicarse con facilidad.
Refuerzo en edificios de adobe	Uso de geomallas, mallas electrosoldadas y estructuras de madera como exoesqueleto para mejorar la respuesta sísmica de muros de adobe.	Puede ser útil en edificios anexos o viviendas históricas de menor tamaño donde persiste el uso del adobe. Permite una mejora estructural sin alterar el carácter original.
Refuerzo en mampostería de piedra y ladrillo	Esta técnica incluye métodos de refuerzo como el uso de acero postensado, mallas electrosoldadas y cadenas de concreto armado, diseñados para mejorar el comportamiento sísmico de estructuras construidas con materiales tradicionales. Ensayos con modelos físicos demuestran en la capacidad sísmica de las estructuras reforzadas.	Relevante, ya que los muros de piedra y ladrillo predominan en los edificios de Antigua Guatemala. Su refuerzo mediante estas técnicas puede implementarse de forma compatible con los métodos ya aplicados por el CNPAG, siempre que se acompañe de evaluación estructural y seguimiento técnico especializado.
Uso de acero	El acero se emplea en intervenciones temporales (apuntalamientos) como permanentes (refuerzos estructurales). Entre las técnicas destacan los sistemas de arriostramiento metálicos, marcos concéntricos o excéntricos, y el encamisado de columnas, que aumentan la capacidad estructural sin alterar significativamente al edificio.	Su aplicación es viable en edificaciones con condiciones estructurales críticas o donde se prevean cambios de uso. Técnicas como el apuntalamiento y las soleras armadas ya son empleadas por el CNPAG, pero se podría ampliar el uso de refuerzos con acero en elementos clave para optimizar la conservación estructural.

Técnica analizada	Descripción	Aplicabilidad sugerida en Antigua Guatemala
Confinamiento de presfuerzo	Incorpora tendones unidireccionales de FRP para proveer confinamiento horizontal que refuerza elementos como arcos o bóvedas en riesgo de colapso. Así como fachadas con vértices limpios.	Específicamente útil para reforzar arcos, bóvedas, o fachadas de valor patrimonial. Su aplicación puede justificarse al permitir conservar mayor parte del material original.
Confinamiento con placas de acero	Consiste en colocar placas de acero en muros o fachadas vulnerables para mejorar la capacidad última de estos. Brinda mayor resistencia a compresión al elemento y son atractivas por su reversibilidad.	Aplicable en muros o fachadas en zonas de alto riesgo sísmico. Se sugiere su uso con criterios técnicos estrictos para evitar posibles fallas como el colapso por aplastamiento, o por tensión y cortante.
Refuerzo con polímeros (FRP)	Aplicación de polímeros de fibras reforzadas y fibras reforzadas de carbono (CFRP) en forma de vendajes y cables para reforzar bóvedas, arcos, muros y columnas. Se adhieren con resinas epóxicas tras preparación superficial. Son ligeros, resistentes y compatibles con estructuras patrimoniales.	Ofrece una solución discreta y menos invasiva frente al refuerzo con acero. Requiere supervisión técnica y cuidados en la distribución de esfuerzos para evitar concentraciones de tensión al considerar cables.
Aislamiento sísmico	Se basa en la instalación de dispositivos que aíslan la estructura del terreno, reduciendo la transmisión de ondas sísmicas. Cojinetes de elastómeros y deslizadores de superficie curva.	Es una medida preventiva que puede considerarse en proyectos de restauraciones mayores. Su implementación requiere estudios dinámicos detallados y selección precisa del tipo de aislador. Alternativa más sofisticada para minimizar significativamente los daños sísmicos.
Soluciones a asentamientos diferenciales	Aplicación de técnicas para corregir o estabilizar desplazamientos diferenciales mediante nivelación o consolidación del terreno.	Puede aplicarse en sectores con daños por humedad o movimientos del subsuelo. Requiere diagnóstico geotécnico y planificación cuidadosa.
Gemelo digital	Uso de modelos digitales con información geométrica, histórica y estructural del edificio para su análisis, documentación y gestión.	Sumamente valioso para planificar intervenciones y preservar el conocimiento técnico de los edificios. Apoya la gestión a largo plazo del patrimonio.

Técnica analizada	Descripción	Aplicabilidad sugerida en Antigua Guatemala
Metodologías de estudio	Aplicación de pruebas mecánicas, caracterización de materiales, escaneo de estructuras y levantamientos técnicos.	Base necesaria para toda intervención técnica. Favorece decisiones bien fundamentadas y evita intervenciones excesivas o mal dirigidas.
Métodos de análisis avanzados	Simulaciones numéricas como el Método de Elementos Finitos para modelar el comportamiento estructural ante cargas o sismos.	Permite evaluar la efectividad de posibles soluciones antes de intervenir. Su uso mejora la seguridad estructural y la eficiencia en la conservación.

Nota. Elaboración propia.

VII. Conclusiones

- La conservación del patrimonio arquitectónico de Antigua Guatemala requiere una visión técnica integral, capaz de incorporar tanto técnicas tradicionales como soluciones modernas de refuerzo estructural. La evidencia obtenida de intervenciones recientes del CNPAG demuestra que hay oportunidades de mejora en documentación técnica y planificación preventiva.
- El análisis de técnicas internacionales refuerza la utilidad de estrategias, como el confinamiento con FRP, el refuerzo con geomallas o la implementación de monitoreo estructural no invasivo, que podrían ser adaptadas a los monumentos de Antigua Guatemala. Estas metodologías ofrecen soluciones reversibles, con bajo impacto visual y alto desempeño estructural, lo que las convierte en opciones viables ante amenazas sísmicas y condiciones geológicas complejas.
- La vulnerabilidad de las edificaciones ante amenazas naturales, como sismos, lluvias intensas y erupciones volcánicas, se ve agravada por limitaciones en infraestructura preventiva, como sistemas de drenaje pluvial. Este diagnóstico justifica la necesidad de reforzar medidas de conservación preventiva e incorporar tecnologías de mitigación sísmica como el aislamiento sísmico o la mejora de cimentaciones.
- Contar con una visión estructural rigurosa sobre la conservación patrimonial permite evaluar con mayor precisión la estabilidad de los inmuebles, definir intervenciones acordes a sus condiciones físicas y contribuir a una conservación sostenible en el tiempo.
- El análisis complementario del claustro circular de Capuchinas, desarrollado mediante levantamiento 3D y modelación estructural en SAP2000, evidencia que la incorporación de un aro metálico de amarre en coronación mejora la rigidez global del conjunto, reduce las tensiones fuera del plano y disminuye los desplazamientos radiales y tangenciales registrados. Estos resultados confirman

que intervenciones discretas y compatibles pueden aumentar la estabilidad sísmica de estructuras históricas sin alterar su configuración original, constituyendo un apoyo técnico útil para comprender el comportamiento de la mampostería y reforzar criterios de conservación preventiva.

VIII. Recomendaciones

- Es recomendable que el CNPAG y otras entidades responsables formalicen la recopilación técnica de datos sobre cada intervención, incluyendo técnicas empleadas, materiales utilizados, criterios estructurales y justificaciones técnicas. Esta información facilitaría el seguimiento, la mejora continua y la trazabilidad de futuras decisiones.
- Las acciones correctivas predominan sobre las preventivas. Se sugiere establecer programas periódicos de mantenimiento, inspección visual y control de humedad y microflora que puedan anticipar deterioros mayores, especialmente en estructuras expuestas a la intemperie.
- Se sugiere la implementación gradual de sensores, escaneo láser o termografía para identificar condiciones ocultas de deterioro sin alterar las estructuras. Estas tecnologías podrían integrarse a sistemas de gestión digital del patrimonio como parte de una estrategia de conservación a largo plazo.
- Se sugiere ampliar el estudio de metodologías aplicables a la conservación patrimonial, especialmente aquellas que combinan modelado estructural, simulación sísmica y compatibilidad de materiales. Estas investigaciones aportarían significativamente al campo de conservación y restauración de edificaciones históricas.

IX. Referencias

- AGTecno. (25 de abril de 2018). *Utilización del ladrillo en la época medieval en Sevilla*. Fabricación de Ladrillos AGTecno-3. <https://www.ladrillostecno3.com/utilizacion-del-ladrillo-en-la-epoca-medieval-en-sevilla/>
- Amazon Web Services. (s.f.). *¿Qué es IoT (Internet de las cosas)?* AWS. <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/>
- Armas Luján, A. (11 octubre de 2024). *La restauración del patrimonio histórico*. labrArte - Maestro Artesano de la Piedra. <https://shorturl.at/RAMIY>
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2020). *UNE-EN 15898 - Conservación del patrimonio cultural – Principales términos generales y definiciones*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064615>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). (2019). *Norma de diseño sísmico para edificaciones – NSE 2.1-10*. <https://www.agies.org/wp-content/uploads/2019/02/agies-nse-2.1-10.pdf>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL). (s. f.). *Uso de la cal en la restauración de monumentos*. <https://anfocal.com/uso-de-la-cal-en-la-restauracion-de-monumentos/>
- Ayuntamiento de Toledo. (2014). *Estrategia Toledo 2020*. https://www.toledo.es/wp-content/uploads/2016/12/plan-estrategico-2020-_-plan-de-accion.pdf?
- Calvo Manuel, A. M., García Fernández-Villa, S., García Fernández, I. M., Miguel, M., María, A., Valle Gutiérrez, A. D., ... y Cardeira, L. (2018). *Terminología básica de conservación y restauración del Patrimonio Cultural 3. Español-Inglés-Francés-*

Italiano-Alemán-Portugués.

Docta

Complutense.

<https://hdl.handle.net/20.500.14352/17413>

Catálogo de Patrimonio Cultural. (s. f.). Portal de Cultura de Castilla-La Mancha.

<https://cultura.castillalamancha.es/patrimonio/catalogo-patrimonio-cultural>

CDV Ingeniería Antisísmica. (s.f.). *Aisladores sísmicos elastoméricos EMP.* CDV

Ingeniería Antisísmica <https://www.cdvperu.com/aisladores-sismicos-elastomericos-emp-cdv/>

Chanfón Olmós, C. (1979). *Problemas Teóricos en la Restauración (Paquete didáctico).*

México, México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía “Manuel del Castillo Negrete”, INAH.

Chávez, M. (2010). *Validación experimental de modelos analíticos para el estudio del comportamiento sísmico de estructuras históricas*, Tesis de doctorado, Instituto de

Ingeniería, UNAM.

https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000663312/3/0663312_A1.pdf

Colmenares, D. M. (20 abril de 2023). *La importancia del patrimonio cultural.* Ceupe.

<https://www.ceupe.com/blog/importancia-del-patrimonio-cultural.html>

Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (s.f.). CONRED

Historia.. <https://conred.gob.gt/historia/>

Consejo nacional para la protección de la Antigua Guatemala. (2023). *Plan Estratégico Institucional* 2022-2030.

https://siplan.segeplan.gob.gt/documentos/4900_36000_PLAN%20ESTRATEGICO%202022-2030.pdf

Cordis, C. (15 de enero de 2024). *Alerta rápida de daños estructurales en edificios históricos.* CORDIS | Comisión Europea.

<https://cordis.europa.eu/article/id/448443-early-warning-of-structural-damage-in-historic-buildings/es>

Economic Cross Cultural Programme (EECCP). (2006). *Identification of strengthening strategies*. <http://www.civil.uminho.pt/eu-india>

Enero Arquitectura. (20 de julio de 2018). *La carta de Venecia*. Enero Arquitectura. <https://www.eneroarquitectura.com/la-carta-de-venecia/>

Experto Supermastick. (21 diciembre de 2023). *Construyendo el futuro desde el pasado: el arte de la restauración arquitectónica*. <https://expertosupermastick.com/construccion/restauracion-arquitectonica/>

Feilden, Bernard M. (1987). *Entre dos terremotos: los bienes culturales en zonas sísmicas*. Roma, Italia; Marina del Rey, CA: ICCROM; Getty Conservation Institute. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/between_two_spanish

Gerdau Corsa. (s. f.). *La presencia del acero en intervenciones de inmuebles históricos*. <https://url-shortener.me/N7SD>

González E. (7 de agosto de 2017). *Lluvias causan inundaciones y dañan vivienda en Antigua Guatemala*. <https://www.prensalibre.com/ciudades/sacatepequez/lluvias-causan-inundaciones-y-vivienda-colapsada-en-antigua-guatemala/>

Grazzini, Alessandro & Agnetti, Stefano. (2019). *Post-seismic effectiveness of the strengthening work carried out with FRP applied to historical masonry buildings: the case study of the Spoleto Cathedral*. Composite Materials Research. 7. DOI: [10.18282/cmr.v7i1.524](https://doi.org/10.18282/cmr.v7i1.524).

Jiménez, P. (2013). *Catedral Metropolitana, hundimiento y rescate*. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-02-4647-0. <https://www.iingen.unam.mx/esmx/AlmacenDigital/Libros/Documents/LibroCatedral.pdf>

Keller Cimentaciones. (s.f.). *Micropilotes*. <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/micropilotes>

- Keller Cimentaciones. (s.f.). *Pilotes in situ*.
<https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/pilotes-situ>
- Larios, A. (23 de junio de 2021). *Instituto de Antropología e Historia, 75 años de preservar el patrimonio cultural*. Agencia Guatemalteca de Noticias - AGN.
<https://agn.gt/instituto-de-antropologia-e-historia-75-anos-de-preservar-el-patrimonio-cultural/>
- Libelium. (13 de febrero de 2025). *Gemelos digitales: La clave para proteger el patrimonio arquitectónico de la UNESCO*.
<https://www.libelium.com/es/libeliumworld/gemelos-digitales-clave-para-proteger-patrimonio-arquitectonico-unesco/>
- Lourenço, P B, P Roca, F Peña, D V Oliveira y F Casarin. (2007). *Repair and strengthening techniques for ancient masonry constructions in seismic zones*. Fifth International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación – MAGA. (2018). Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sacatepéquez, Guatemala. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos – DIGEGR - <https://www.maga.gob.gt/download/suelos-sac.pdf>
- Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación. (s. f.). *Convención de 1972*.
<https://www.exteriores.gob.es/RepresentacionesPermanentes/unesco/es/Organismo/Paginas/Convenciones/Convenci%C3%B3n-de-1972.aspx>
- Ministerio de Cultura de España, & Carrión Gútiérrez, A. (2015). *Plan nacional de emergencias y gestión de riesgos en patrimonio cultural*. En Ministerio de Cultura de España (N.o 030-16-420-6). <https://www.cultura.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:7271e79b-5637-4cff-8a51-9baf9aedadc5/13-maquetado-emergencias.pdf>
- Ministerio de Cultura del Perú. (2023). *Guía para la conservación preventiva de las edificaciones religiosas integrantes del patrimonio cultural de la nación*. Ministerio de Cultura del Perú. <https://url-shortener.me/N7SV>

- Meli, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos*. ISBN 968-7508 46-
- Modena C., Lourenço P, y Roca P. (2005). *Structural analysis of historical constructions: possibilities of numerical and experimental techniques*. International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction.
- Orduña, A., Roeder, G. y Peña, F. (2007). “*Evaluación sísmica de construcciones históricas de mampostería: comparación de tres modelos de análisis*”. Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS, No. 77, pp. 71-88.
- Pablovaz. (1 febrero de 2025). *Noticia de EUDE Business School para la fecha 02/01/2025*. Eude Business School. <https://www.eude.es/blog/bim-en-la-restauracion-de-edificios-historicos-casos-de-uso/>
- Pacheco Martín Luis Gerardo. (2022). *Rehabilitación estructural de edificios históricos*, Tesis de licenciatura, Instituto de Ingeniería, UNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/jspui/bitstream/20.500.14330/TES01000823410/3/0823410.pdf>
- Peña Mondragón, Fernando, & Lourenço, Paulo B. (2012). *Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas*. Ingeniería sísmica, (87), 47-66. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2012000200003&lng=es&tlng=es
- Proyecto de Innovación Docente. (abril 2024). *Recomposición, anastilosis*. Glosario de términos. Cabinet: Fichero Cibernético para la Conservación del Patrimonio Cultural. Universidad Complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/fichero-cibernetico/recomposicion-anastilosis>
- Rodríguez C., Morales M., Rubio P., Pérez F. (2011). *Inspección mediante técnicas no destructivas de un edificio histórico: Oratorio San Felipe Neri (Cádiz)*. Informes de la Construcción, 63(521), pp. 13-22. <https://doi.org/10.3989/ic.10.032>
- Sánchez, S; González-Díaz, L; Calderín-Mestre, F; Sánchez-Zamora, Y. (2018). *Consideraciones acerca del diseño sismorresistente de edificios de acero en Cuba*. Ciencia en su PC. vol. 1, núm. 4, pp. 11-26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358509002>

- Sánchez Montúfar. (2009, julio). *A mayor y mejor conservación, menor restauración: Criterios de conservación integral aplicados al patrimonio cultural y natural de Guatemala*. En XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008 (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía), pp.133-150. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital). https://www.asociaciontikal.com/wp-content/uploads/2017/01/010_-_Sanchez.08.pdf
- Santoyo Villa, Enrique, director de TGC Geotecnia y TGC Ingeniería. (s.f.) *Subexcavación de edificios inclinados*. <https://www.scribd.com/document/475478803/Lectura-6-Subexcavacion-en-edificios-inclinados>
- Sisgeo S.r.l. (18 diciembre de 2024). *EDIFICIOS y PATRIMONIO HISTÓRICO - SISGEO*. Sisgeo. <https://sisgeo.com/es/aplicaciones/edificios-y-patrimonio-historico/>
- Terán Bonilla, J. A. (2004). *Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica*. Conserva. <https://www.cncr.gob.cl/sites/www.cncr.gob.cl/files/2023-01/7.%20Consideraciones%20restauraci%C3%B3n%20arquitect%C3%B3nica.pdf>
- Torres, C., Valdivia, S. (2016). *Criteria and intervention techniques for seismic resistant recovery of a religious adobe building*. En Congreso Euroamericano REHABEND 2016, Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio, Universidad de Burgos, España.
- Torres Gilles C.; Jorquera Silva N. (2018). *Técnicas de refuerzo sísmico para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe*. Informes de la Construcción, 70(550): e252. <https://doi.org/10.3989/ic.16.128>
- Torres Montes de Oca, C. A. (2019). *Deterioro estructural del patrimonio arquitectónico por efectos inducidos debido a la extracción del manto freático*. Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 6(12), 37–43. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/595/5952961025/html/>

- Triantafillou T. y Fardis M. (1997) *Strengthening of historic masonry structures with composite materials*, *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, pp. 486+496. <https://doi.org/10.1007/BF02524777>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (s. f.). *Patrimonio mundial*. UNESCO. <https://url-shortener.me/N7SX>
- Webmaster. (24 julio de 2024). *Restauración de edificios históricos y del patrimonio arquitectónico*. Seguros Construcción Galia. <https://www.segurosconstruccion.com/restauracion-de-edificios-historicos-y-del-patrimonio-arquitectonico/>
- World Bank. (2019). *Guatemala study on disaster risk management of cultural heritage: The case of Antigua Guatemala*. World Bank. <https://hdl.handle.net/10986/32013>

X. Anexos

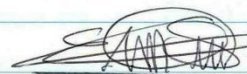
Como parte de los anexos, se incluye la bitácora de trabajo correspondiente al templo de la Concepción en Antigua Guatemala, abarcando el período entre 2019 y 2023. Además, el Departamento de Restauración del Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG) facilitó también las bitácoras de los monumentos de Santa Clara y Santa Teresa de Jesús. No obstante, debido a la considerable extensión de estos documentos, no se han incluido en esta sección. Es importante destacar que, tras realizar gestiones con la institución, únicamente se logró obtener acceso a estas tres bitácoras de trabajo, lo cual evidencia tanto las limitaciones en la disponibilidad documental como el esfuerzo realizado para acceder a fuentes primarias de carácter técnico, fundamentales para el desarrollo de esta investigación.



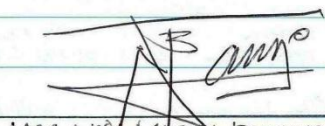
07

SEPTIMO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.


MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO


ERWIN SANCHEZ

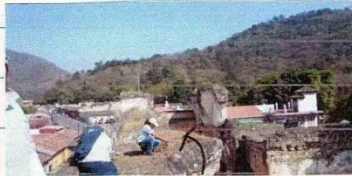
ACTA No. 5. LUNES 21 DE ENERO DEL 2019, REUNIDOS EN LA 4TA. CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, PROYECTO RESTAURACION DEL TEMPLO DE LA CONCEPCION, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACION, EL SUPERVISOR DE PROYECTO ERWIN SANCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO. PRIMERO: SE VERIFICARON LOS PLANOS Y LAS METAS A TRABAJAR DURANTE EL AÑO EN CURSO SEGUNDO: EL PERSONAL OPERATIVO REGRESO DEL PERIODO DE VACACIONES, DESPUES SE LES INDICO EL AREA Y LOS TRABAJOS A REALIZAR DURANTE LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE EN EL AÑO EN CURSO. TERCERO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.


MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO

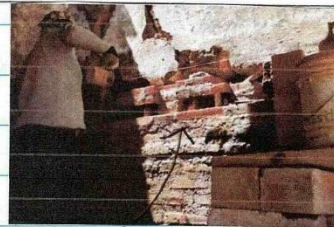

ERWIN SANCHEZ

ACTA No. 6 LUNES 17 DE JUNIO DEL 2019, REUNIDOS EN LA 4TA. CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, PROYECTO RESTAURACION DEL TEMPLO DE LA CONCEPCION, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACION, EL SUPERVISOR DE PROYECTO ERWIN SANCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO. PRIMERO: SE REALIZARON LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA GENERAL DEL MONUMENTO, REMOCION

DE CUBIERTA VEGETAL, LIBERACIÓN E INTEGRACIÓN DE MATERIAL EN FACHADA NORTE, EN LOS MESES DE ENERO A JUNIO SEGÚN LA PROGRAMACIÓN DE METAS SEGUNDO: LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA CONSISTIERON EN LIBERACIÓN DE MICRO Y MACRO FLORA, EN CABEZAS DE MUROS Y EN LA PARTE INFERIOR DEL MISMO UTILIZANDO HERBICIDAS, TERCERA: LA LIBERACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL SE HIZO DE FORMA MANUAL TERCERO: SE REALIZARON LOS TRABAJOS DE LIBERACIÓN E INTEGRACIÓN DE MATERIAL EN FACHADA NORTE ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA EXPLORACIÓN DE GRIETAS, SE INTEGRO MATERIAL COMPOSITIVO COMPUESTO POR LADRILLO DE BARRO COCIDO, SE PROCEDE A DEJAR PUNTO DE $\frac{3}{4}$ " PARA REALIZAR LA INYECCIÓN DE MATERIAL EN DIFERENTES GRIETAS EN DISTINTOS SECTORES DEL MURO. CUARTO: SE ADJUNTAN FOTOGRAFÍAS DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

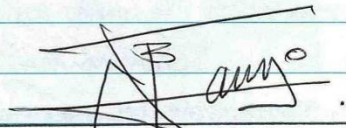


LIMPIEZA GENERAL EN CABEZA DE MUROS



LIBERACIÓN E INTEGRACIÓN DE MATERIAL COMPOSITIVO

QUINTO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.


MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO


EDWIN SANCHEZ.

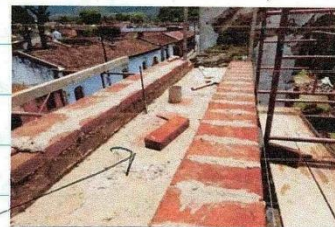
ACTA NO. 7 LUNES 9 DE DICIEMBRE DEL 2019, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA PROYECTO RESTAURACIÓN DEL TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN EL

Msc. ARQ. MARVIN KERRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR DE PROYECTO EDWIN SÁNCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO: PRIMERO: SE CONTINUARON CON LOS TRABAJOS DE LIBERACIÓN E INTEGRACIÓN DE MATERIALES EN LA FACHADA NORTE. SEGUNDO: SE INICIARON LOS TRABAJOS DE ARMADO DE CAJUELA PARA SOLERA LOS WAJES CONSISTIERON EN LA INTEGRACIÓN DE LADRILLO ESPECIAL DE $0.05 \times 0.17 \times 0.32$ MTS. EN EL ANCHO DE LA CABEZA DEL MURO NORTE, POSTERIORMENTE SE REALIZO UNA NIVELACIÓN CON LADRILLO PARA LOGRAR UN MISMO NIVEL TERCERO: COLOCACIÓN DE ARMADURA (TACOS) ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA PERFORACIÓN DE 2 AGUJEROS PARA LOS TACOS DE ANCLAJE VERTICAL, LUEGO SE PROCEDIO EL ANCLAJE DE 6 VARILLAS DE ACERO CORRUGADO DE $\varnothing 1"$ EN CADA TACO, SE APUCO UNA MEZCLA DE CEMENTO LIQUIDO PARA QUEDAR ANCLADOS HACIA LOS AGUJEROS DEL MURO PERFORADO, PARA EL REFUERZO SE UTILIZO ESTRIBOS DE $3/8"$ - CUARTO: SE REALIZO EL TRAZO DE ESTRIBOS CON HIERRO $3/8"$, LUEGO SE PROCEDIO A VERIFICAR EL ARMADO CON 6 VARILLAS DE ACERO CORRUGADO $\varnothing 3/4"$ LEGITIMO, ESTRIBOS @ 0.10 DISTRIBUIDOS EN TOTA SU LONGITUD DE LA SOLERA. QUINTO: FUNDICIÓN DE SOLERA Y TACOS DE ANCLAJES, SE PROCEDIO A REALIZAR LA FUNDICIÓN CON EL CONCRETO REFORZADO (CEMENTO, ARENA, PIEDRIN, MOWITON/AGUA SEXTO: SE ADJUNTAN FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO:

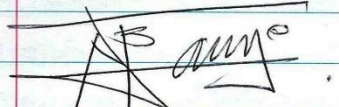


INTEGRACIÓN DE ARMADURA DE SOLERA

INTEGRACIÓN DE CONCRETO REFORZADO

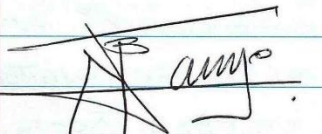


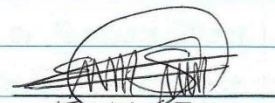
SEPTIMO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES _____


MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO


EDWIN SÁNCHEZ

ACTA NO. 8 LUNES 20 DE ENERO DEL 2020, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEL TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN, EL MSC ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR DE PROYECTO EDWIN SÁNCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO, PRIMERO: SE TIENE A LA VISTA EL CUADRO DONDE INDICAN LOS TRABAJOS Y EL AVANCE DE LA OBRA, PLANOS A TRABAJAR DURANTE EL AÑO EN CURSO SEGUNDO: EL PERSONAL OPERATIVO REGRESO DEL PERIODO DE VACACIONES, DESPUES SE LE INDICO EL AREA DE TRABAJO A REALIZAR DE LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE EN EL AÑO EN CURSO TERCERO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES _____


MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO


EDWIN SÁNCHEZ

ACTA NO. 9 LUNES 14 DE DICIEMBRE DEL 2020, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEL TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN, EL MSC ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR DE PROYECTO EDWIN SÁNCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO, PRIMERO:



SE DAN POR INICIADO LOS TRABAJOS EN EL MES DE SEPTIEMBRE NUEVAMENTE DEBIDO POR LA PANDEMIA QUE SE INICIO EN EL MES DE MARZO, SE CONTINUARON LOS TRABAJOS QUE CONSISTIERON EN INTERVENCIÓN, CONSOLIDACIÓN, INTEGRACIÓN DE MATERIAL HOMOGÉNEO, INTEGRACIÓN DE CAJUELA DE LADRILLO Y SOLERA DE MARRERO EN EL MURO DE LA ELEVACIÓN NORTE EXTERIOR E INTERIOR.

SEGUNDO: LOS TRABAJOS DE LIBERACIÓN E INTEGRACIÓN DE MATERIAL CONSISTIERON EN LA EXPLORACIÓN DE GRIETAS Y FISURAS SE INTEGRO MATERIAL COMPOSITIVO COMPUESTO POR LADRILLO DE BARRO COCIDO, PIEDRA Y UNA MEZCLA A BASE DE CAL, EN ALGUNOS SECTORES SE PROCESO A DEJAR POLVICO PARA REALIZAR LA INYECCIÓN DE MATERIAL EN DIFERENTES ÁREAS.

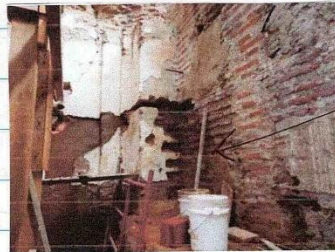
TERCERO: SE INICIARON LOS TRABAJOS DE ARMADO DE CAJUELA PARA LA SOLERA LOS CUALES CONSISTIERON EN LA INTEGRACIÓN DE LADRILLO ESPECIAL DE 0.05X0.17X0.32 MTS, EN EL ANCHO DE LA CABEZA DEL MURO NORTE.

CUARTO: COLOCACIÓN DE ARMADURA (TACOS) ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA PERFORACIÓN DE 1 AGUJERO PARA EL TACO DE ANCLAJE VERTICAL, LUEGO SE PROCESO EL ANCLAJE DE 6 VARRILLAS CORRUGADAS DE $\phi 1"$, SE APLICO UNA MEZCLA DE CEMENTO LIQUIDO PARA QUEDAR ANCLADOS HACIA LOS AGUJEROS DEL MURO PERFORANDO PARA EL REFUERZO SE UTILIZO ESTRIBOS DE ACERO CORRUGADO DE $3/8"$ A CADA 0.20 QUINTO. SE REALIZO EL TRAZO DE ESTRIBOS CON VARRILLAS DE ACERO CORRUGADO DE $3/8"$, LUEGO SE PROCESO A VERIFICAR EL ARMADO CON 6 VARRILLAS DE ACERO CORRUGADO DE $3/4"$ LEGITIMOS, ESTRIBOS @ 0.10 DISTRIBUIDOS EN TODA SU LONGITUD DE LA SOLERA.

SEXTO: FUNDACIÓN DE SOLERA Y TACO DE ANCLAJE, SE PROCESO A REALIZAR LA FUNDACIÓN CON CONCRETO REFORZADO (CEMENTO) ARENA, PIEDRIN, MOWITON, AGUA.

SEPTIMO: SE ADJUNTAN

FOTOGRAFIAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

INTEGRACION DE
LADRILLO Y PIEDRAINTEGRACION
DE CAJUELA DE
LADRILLO +
ARMADURA DE
SOLERA DE
ANCLARE

OCTAVO: LOS TRABAJOS PROYECTADOS DURANTE EL AÑO 2020 NO SE EJECUTARON A SU TOTALIDAD DEBIDO A LA PANDEMIA DEL COVID-19 NOVENO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.

MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO

EDWIN SANCHEZ

ACTA NO. 10 LUNES 25 DE ENERO DEL 2021, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA PROYECTO DE RESTAURACION DEL TEMPLO DE LA CONCEPCION, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACION, EL SUPERVISOR DE PROYECTO EDWIN SANCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO, PRIMERO: SE TIENE A LA VISTA EL CUADRO DONDE INDICAN LOS TRABAJOS Y EL AVANCE DE LA OBRA, PLANOS A TRABAJAR DURANTE EL AÑO EN CURSO SEGUNDO: EL PERSONAL OPERATIVO REGRESO DEL PERIODO DE VACACIONES, DESPUES SE LES INDICO EL AREA DE TRABAJO A REALIZAR DE LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE EN EL AÑO EN CURSO TERCERO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.



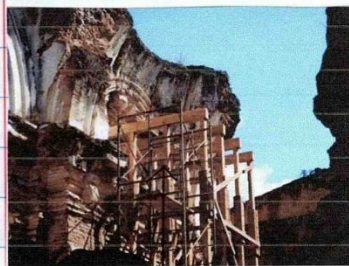
13

MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO.

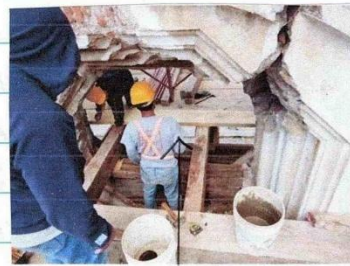
ERWIN SANCHEZ.

ACTA NO. 11 MARTES 14 DE DICIEMBRE DEL 2021, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, PROYECTO DE RESTAURACION DEL TEMPLO DE LA CONCEPCION, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACION, EL SUPERVISOR DE PROYECTO ERWIN SANCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO, PRIMERO: SE VERIFICAN EL AVANCE DE LOS TRABAJOS HASTA EL MES DE DICIEMBRE SEGUNDO: TRABAJOS DE LIMPIEZA GENERAL DEL MONUMENTO, REMOCION DE CUBIERTA VEGETAL LIBERACION DE MICRO Y MACRO FLORA EN CABEZAS DE MUROS Y EN LA PARTE INFERIOR DEL MISMO UTILIZANDO HERBICIDAS TOTA LA LIBERACION SE HIZO DE FORMA MANUAL TERCERO: LIMPIEZA EN MURO NORTE INTERIOR ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA LIMPIEZA EN LAS AREAS A TRABAJAR PARA REMOVER MANCHAS NEGRAS POR LA SUCIEDAD ACUMULADA EN LA SUPERFICIE, EL TRABAJO SE REALIZO CON CEPILLO DE CERDAS PLASTICAS Y AGUA CUARTO: EXPLORACION DE FISURAS, GRIETAS Y FRACTURAS SE PROCEDE A LA LIBERACION Y EXPLORACION DE GRIETAS, SE INTEGRO MATERIAL COMPOSITIVO COMPUESTO POR LADRILLO DE BARRO COCIDO, PIEDRA Y MEZCLA A BASE DE CAL, PREVIO A LOS TRABAJOS SE REALIZO LIMPIEZA EN LAS AREAS A TRABAJAR QUINTO: INTEGRACION DE REPELCO EN FACHADA NORTE (MURO EXTERIOR E INTERIOR) ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LIMPIEZA EN LAS AREAS A TRABAJAR PARA REMOVER LA SUCIEDAD ACUMULADA EN LA

SUPERFICIE, LIBERACIÓN DE MATERIAL SUELTO Y REPOSICIÓN DEL MISMO EN LAS ÁREAS DONDE EL MATERIAL SE DESPRENDIÓ AL MOMENTO DE LAVAR, SE APLICÓ UN REPELLO EN LAS ÁREAS INTERVENIDAS MURO Y MOLDURAS BASÁNDOSE EN EL PLOMO DE LOS VESTIGIOS ENCONTRADOS. SEXTO: TRABAJOS DE APUNTALAMIENTO (OBRA FALSA CON PIEZAS DE MADERA UTILIZADAS PARA ESTABILIZAR LA VENTANA OCTOGONAL EN EL MURO NORTE. SÉPTIMO: INTEGRACIÓN DE CAJUELA PARA SOLERA ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA INTEGRACIÓN DE LADRILLO ESPECIAL $0.05 \times 0.17 \times 0.32$ MTS. EN EL ANCHO DE LA CABEZA DEL MURO NORTE, COLOCACIÓN DE ARMADURA PARA SOLERA, ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN TRAZO DE LOS ESTRIBOS Y LA REALIZACIÓN DE LOS MISMOS CON VÁRILLAS DE ACERO CORRUGADO DE $\varnothing 3/8"$, LUEGO SE PROCEDIÓ A VERIFICAR EL ARMADO CON 6 VÁRILLAS DE ACERO CORRUGADO $\varnothing 3/4"$, ESTRIBOS @ 0.15 DISTRIBUIDOS EN TODA SU LONGITUD DE LA SOLERA OCTAVO: INTEGRACIÓN DE CONCRETO REFORZADO UTILIZANDO (CEMENTO, ARENA, PIEDRIN, MOLITON AGUA) NOVENO: SE AGREGAN FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO:



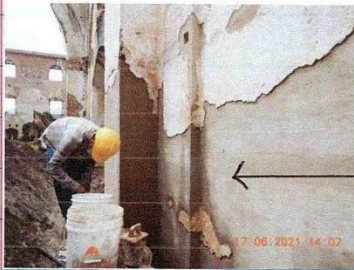
ELABORACIÓN DE
OBRA FALSA CON
MADERA EN VENTANA OCTOGONAL.



APUNTALAMIENTO
EN VENTANA
OCTOGONAL.



15



INTEGRACIÓN
DE REPELLO
EN MUROS Y
MOLDURAS



PRIMERO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.

MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO

ERWIN SANCHEZ

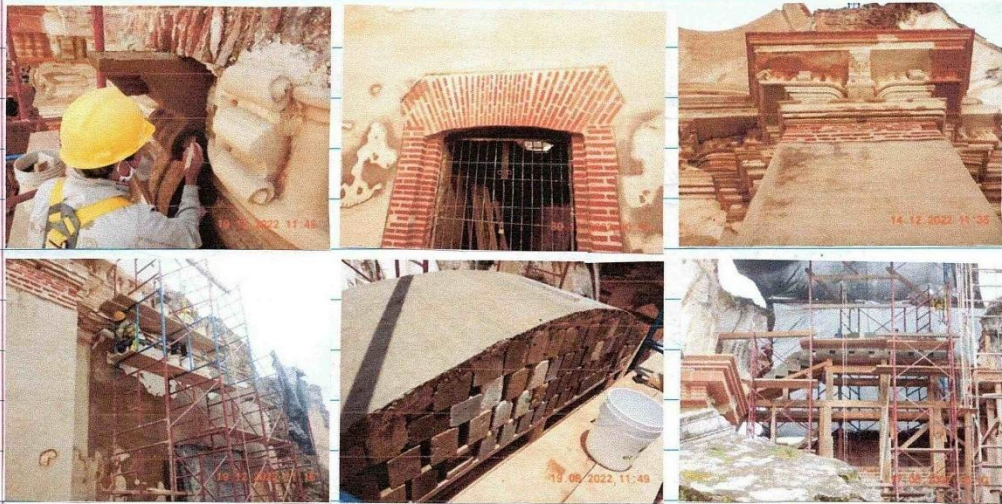
ACTA NO. 12 LUNES 24 DE ENERO DEL 2022, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEL TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR DE PROYECTO ERWIN SANCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO, PRIMERO: SE TIENE A LA VISTA EL CUADRO DONDE INDICAN LOS TRABAJOS DE LA OBRA, PLANOS A TRABAJAR DURANTE EL AÑO EN CURSO, SEGUNDO: EL PERSONAL OPERATIVO REGRESO DEL PERIODO DE VACACIONES, DESPUES SE LES INDICO EL AREA DE TRABAJO A REALIZAR DE LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE EN EL AÑO EN CURSO TERCERO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.

MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO

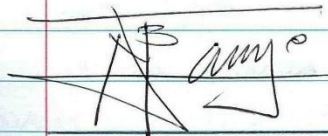
ERWIN SANCHEZ

ACTA No. 13 MARTES 13 DE DICIEMBRE DEL 2022
REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA
ANTIGUA GUATEMALA, PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEL TEMPLO
DE LA CONCEPCIÓN, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRERO, JEFE
DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR
DE PROYECTO ERWIN SÁNCHEZ PARA VERIFICAR LOS
TRABAJOS EN DICHO PROYECTO PRIMERO: SE VERIFICAN
EL AVANCE DE LOS TRABAJOS HASTA EL MES DE
DICIEMBRE SEGUNDO: LIMPIEZA GENERAL DEL MONU-
MENTO ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LIMPIEZA Y
LIBERACIÓN DE MICRO Y MACRO FLORA, EN CABEZAS
DE MUROS Y EN LA PARTE INFERIOR DEL MISMO UTILI-
ZANDO HERBICIDAS TERCERO: INTEGRACIÓN Y LIBERACIÓN
DE MATERIALES HOMOGÉNEOS EN ELEVACIÓN SUR Y
SOLERA DE AMARRE ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON
EN LA LIBERACIÓN Y EXPLORACIÓN DE GRIETAS, SE
INTEGRO MATERIAL COMPOSITIVO COMPUESTO POR
LADRILLO DE BARRO COCIDO, PIEDRA Y MEZCLA A
BASE DE CAL, PREVIO A LOS TRABAJOS SE REALIZO
LIMPIEZA EN LAS AREAS A TRABAJAR, PREVIO A
LOS TRABAJOS DE LIBERACIÓN E INTEGRACIÓN SE
REALIZO UNA OBRA FALSA DE MADERA EN LA CUAL
CONSISTE EN ARUNTALAMIENTO CON PIEZAS DE MADERA
DE DIFERENTES SECCIONES. CUARTO: INTEGRACIÓN DE MURO
TESTERO ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LIMPIEZA
EN CABEZA DE MURO Y NIVELACIÓN EN AREAS A
TRABAJAR, LIBERACIÓN DE MATERIAL SUELO Y REPO-
SICIÓN DEL MISMO EN LAS AREAS DONDE EL
MATERIAL SE DESPRENDIO AL MOMENTO DE
LAVAR, INTEGRACIÓN DE MATERIAL HOMOGÉNEO

PIEDRA Y LADRILLO, PREVIO A LOS TRABAJOS SE REALIZO EL ARMADO DE MODULOS DE ANDAMIOS PARA PODER TRABAJAR EN EL MURO TESTERO QUINTO: INTEGRACION DE APUNTALAMIENTO PARA ARCO, SE PROCEDE A REALIZAR LOS TRABAJOS PRELIMINARES QUE CONSISTE EN LA UNION DE PIEZAS DE MADERA DE DIFERENTES SECCIONES Y COLOCACION DE PERNOS, ARMADO DE MODULOS DE ANDAMIOS PARA LA COLOCACION DE APUNTALAMIENTO PARA EL ARCO SEXTO: INTEGRACION DE ARCO Y SOQUERA DE AMARRA ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA INTEGRACION DE LADRILLO ESPECIAL 0.05X0.17X0.32 MTS, EN LOS EXTREMOS DEL ARCO, POSTERIORMENTE SE REALIZO UNA NIVELACION CON LADRILLO DE BARRO COCIDO PARA LOGRAR UN MISMO NIVEL SEPTIMO: SE ADJUNTAN FOTOGRAFIAS DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.



OCTAVO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES. —

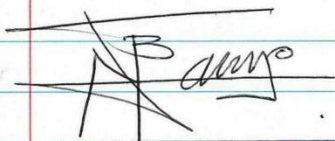


Msc. Arq. MARVIN BORRAYO



EDWIN SANCHEZ

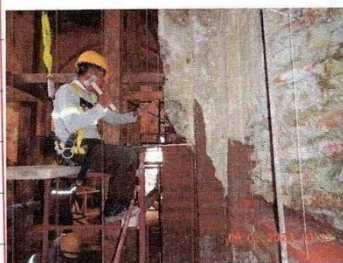
ACTA No. 14 LUNES 23 DE ENERO DEL 2023, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE No. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEL TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR DE PROYECTO ERWIN SÁNCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO PRIMERO: SE TIENE A LA VISTA EL CUADRO DONDE INDICAN LOS TRABAJOS DE LA OBRA, PLANOS, A TRABAJAR DURANTE EL AÑO EN CURSO SEGUNDO: EL PERSONAL OPERATIVO REGRESO DE SU PERIODO DE VACACIONES, DESPUES SE LES MURCO EL AREA DE TRABAJO A REALIZAR EN LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE EN EL AÑO EN CURSO TERCERO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.


MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO

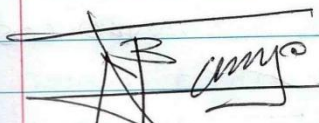

ERWIN SÁNCHEZ

ACTA No. 15 LUNES 18 DE SEPTIEMBRE DE 2023, REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE No. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEL TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN, EL MSC. ARQ. MARVIN BORRAYO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RESTAURACIÓN, EL SUPERVISOR DE PROYECTO ERWIN SÁNCHEZ PARA VERIFICAR LOS TRABAJOS EN DICHO PROYECTO PRIMERO: SE VERIFICAN LOS TRABAJOS Y EL AVANCE AL MES DE SEPTIEMBRE SEGUNDO: TRABAJOS DE CONSERVACIÓN E INTEGRACIÓN DE MATERIALES HOMOGÉNEOS A

MURO (ELEVACION NORTE DE SACRISTIA) ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN LA LIBERACION Y EXPLORACION DE GRIETAS / SE INTEGRO MATERIAL COMPOSITIVO COMPUESTO POR LADRILLO DE BARRO Y PIEDRA MAS MEZCLA A BASE DE CAL TERCERO. APUNTALAMIENTO EN BOVEDA EN SACRISTIA ESTOS TRABAJOS CONSISTIERON EN COLOCAR Y ARMAR TORRES DE ANDAMIOS PARA VERIFICAR ACTURAS Y ASI PODER UNIR LAS PIEZAS DE MADERA QUE CONFORMARAN LA OBRA FALSA DE APUNTAMIENTO DE LAS BOVEDAS DE LA SACRISTIA CUARTO: SE ADJUNTAN FOTOGRAFIAS DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

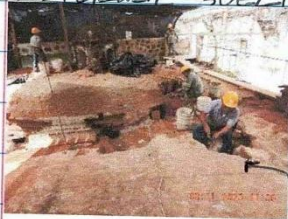


QUINTO: SE CIERRA LA PRESENTE ACTA EN EL MISMO LUGAR DE APERKTURA FIRMADO POR LOS PRESENTES.

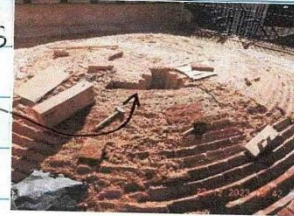

ASOR ARQ. MARVIN BOULAYO


EDWIN SANCHEZ

ACTA NO. 16 VIERNES VEINTIDOS DE DICIEMBRE DE DOS MIL VEINTITRÉS (22/12/2023) ESTANDO REUNIDOS EN LA 4TA CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, EN EL PROYECTO DE RESTAURACIÓN "TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN" EL SEÑOR BUENAVENTURA LÓPEZ Y EL ARQ. MARVIN BORRAYO, HACEN CONSTAR LO SIGUIENTE: PRIMERO: CONTINUAN CON LOS TRABAJOS EN LA PARTE EXTERNA DE LAS BÓVEDAS DE SACRISTIA, REALIZANDO LA LIBERACIÓN DE MATERIAL SUELTO DEBIDO A GRIETAS



SE OBSERVA UN ESPACIO CON LIBERACIÓN DE MATERIALES DEBIDO A GRIETAS



SEGUNDO: POSTERIOR A LA LIBERACIÓN SE REALIZA LA INTEGRACIÓN DE MATERIALES HOMÓGENEOS COMO LADRILLO DE BARZO COCIDO. TERCERO: SE REALIZA LIMPIEZA EN LA LINTERNILLA DE LA BÓVEDA, ASÍ MISMO SE REALIZA LA CONSOLIDACIÓN DE MOLDEZAS Y REPELOS.



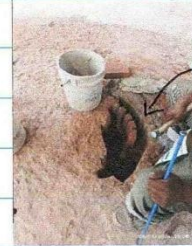
INTEGRACIÓN DE MATERIALES HOMÓGENEOS

CUARTO: NO HABIENDO MÁS QUE AGREGAR SE CIERRA LA PRESENTE ACTA, FIRMANDO LOS PRESENTES.

ARQ. MARVIN BORRAYO

BUENAVENTURA LÓPEZ

ACTA No. 17 VIERNES OCHO DE MARZO DE DOSMIL VEINTITRÉS (08/03/2024) ESTANDO REUNIDOS EN LA 9TA. CALLE ORIENTE NO. 45 ESQUINA, LA ANTIGUA GUATEMALA, EN EL PROYECTO DE RESTAURACIÓN, "TEMPLO DE LA CONCEPCIÓN", EL SEÑOR BUENAVENTURA LÓPEZ Y EL ARQUITECTO MARVIN BORRERO, HACEN CONSTAR EN BITACORON LO SIGUIENTE: PRIMERO: SE CONTINUA TRABAJANDO EN LAS ÚLTIMAS GRIETAS EN LA BÓVEDA CENTRAL DE LA SACRISTÍA, AUN LIBERANDO MATERIALES E INTEGRANDO LADRILLO DE BARRO COCIDO. SEGUNDO: REDUZON



TRABAJO
EN
GRIETAS

LOS DESNIVELES EN LOSA PARA CONDUCIR EL AGUA DE LLUVIA A LAS BAJADAS PLUVIALES. SIENDO ESTAS DOS, UNA EN EL LADO NORTE DE SACRISTÍA Y UNA DEL LADO SUR DE SACRISTÍA TERCERO: SE



INICIA CON LA APLICACIÓN DE ACABADOS EN EL EXTERIOR DE DOS DE LAS BÓVEDAS, PARA ESTO COLOCAN VARILLAS DE ACERO DISPUESTAS DE FORMA RADIAL, SOBRE ESTO SE APLICA UN CERNIDO GRUESO Y POSTERIORMENTE UN ALISADO QUE SERVIRÁ PARA SELLAR.

CUARTO: INICIAN CON LA RESTAURACIÓN DE LA PILASTRA DEL MURO SUR DEL TEMPLO, CONFORMANDO LA BASE DE LADRILLO Y EL CENTRO CON PIEDRA, REFORZANDO LA ESTRUCTURA CON CUATRO



VARILLAS DE ACERO DE 1" Y OCHO VARILLAS DE 3/4", CON ETRIBOS DE " @ ENTRE ELLOS, QUINTO:

22

NO HABIENDO MÁS QUE AGREGAR SE
CIERRA LA PRESENTE.

DR. MARVIN BORRERO BUENAVENTURA LÓPEZ

A. Visita y análisis del ex-convento de Nuestra Señora del Pilar de Zaragoza (Capuchinas)

Se desarrolló un modelo analítico en SAP2000 v26 a partir del levantamiento 3D realizado con un iPad Pro 2020 y la aplicación Polycam en el claustro circular del convento de Capuchinas. El objetivo fue comprender, de forma conceptual, la respuesta del muro curvo ante acciones sísmicas y evaluar el efecto de un elemento de amarre metálico en la coronación. El ejercicio busca ilustrar la utilidad de la ingeniería y el uso de herramientas científicas y tecnológicas como apoyo de la conservación.

En cuanto al modelado de materiales en SAP2000 v26, para la mampostería de piedra con mortero de cal, se tomaron propiedades típicas de literatura definidas en la Figura 52 con base en la Figura. 39: $E = 3.0 \text{ GPa}$, $\nu = 0.20$ y $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$. El espesor medido en campo fue $t = 0.60 \text{ m}$ y la altura, $H = 2.95 \text{ m}$. Inicialmente, se modeló un sector de 45° , con base empotrada y condiciones de borde radiales en los cortes laterales que simulan la continuidad circular. Luego, se decidió ampliar el modelo al anillo completo para representar una interacción más representativa del claustro.

Las acciones consideradas fueron el peso propio y una aceleración horizontal uniforme aplicada en dos direcciones: tangencial (en plano) y radial (fuera de plano). Se utilizó como nivel de amenaza sísmica 1.50 g , de acuerdo con la Tabla 4.

Figura 45. Recorrido por el paso del patio principal al patio oeste.



Nota. Elaboración propia.

Figura 46. Recorrido por el coro alto.



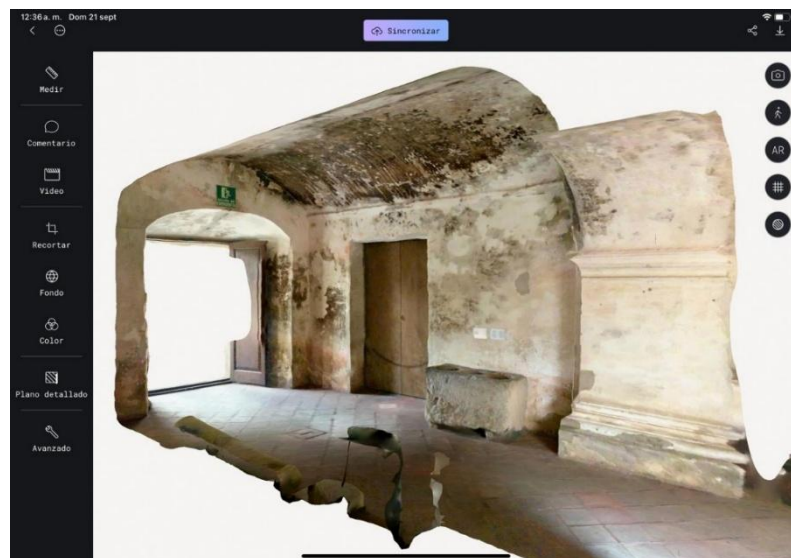
Nota. Elaboración propia.

Figura 47. Vista del atrio del convento antes del ingreso.



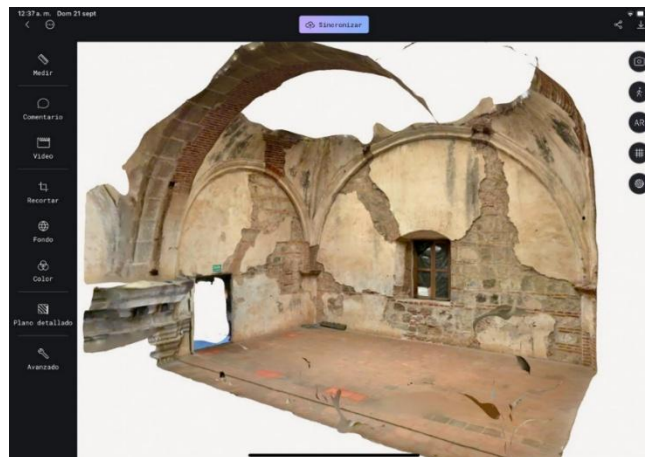
Nota. Elaboración propia.

Figura 48. Levantamiento 3D en el paso del patio principal al patio al oeste.



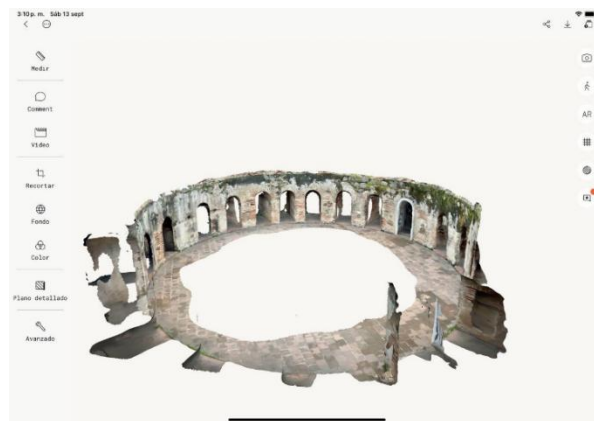
Nota. Elaboración propia.

Figura 49. Levantamiento 3D en coro alto.

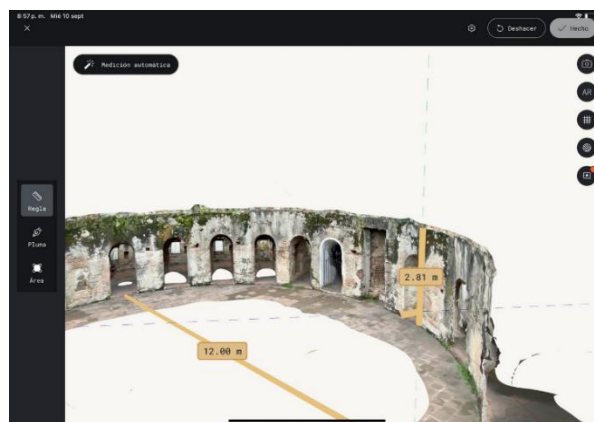


Nota. Elaboración propia.

Figura 50. Levantamiento del claustro circular.



a)



b)

Nota. a. vista general b. vista enfocada. Elaboración propia.

Figura 51. Definición de la grilla en software de análisis.

System Name CC

R Grid

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	6	Primary	Yes	End	
B	6.5	Primary	Yes	End	

T Grid

Grid ID	Angle (deg)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	0	Primary	Yes	End	
2	10	Primary	Yes	End	
3	20	Primary	Yes	End	
4	30	Primary	Yes	End	
5	40	Primary	Yes	End	
6	50	Primary	Yes	End	

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc
Z1	0	Primary	Yes	End
Z2	1.95	Primary	Yes	End
Z3	2.95	Primary	Yes	End

Grid Lines
Quick Start...

Display Grids as
☒ Ordinates ☐ Spacing

☐ Hide All Grid Lines
☐ Glue to Grid Lines

Bubble Size 1.125

Reset to Default Color
Reorder Ordinates
Locate System Origin...

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

Figura 52. Definición de material.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color Mamposteria_PiedraCal

Material Type Other

Material Grade

Material Notes Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume 19

Mass per Unit Volume 1.9375

Units
KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E 294199.5

Poisson, U 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A 1.170E-05

Shear Modulus, G 122583.12

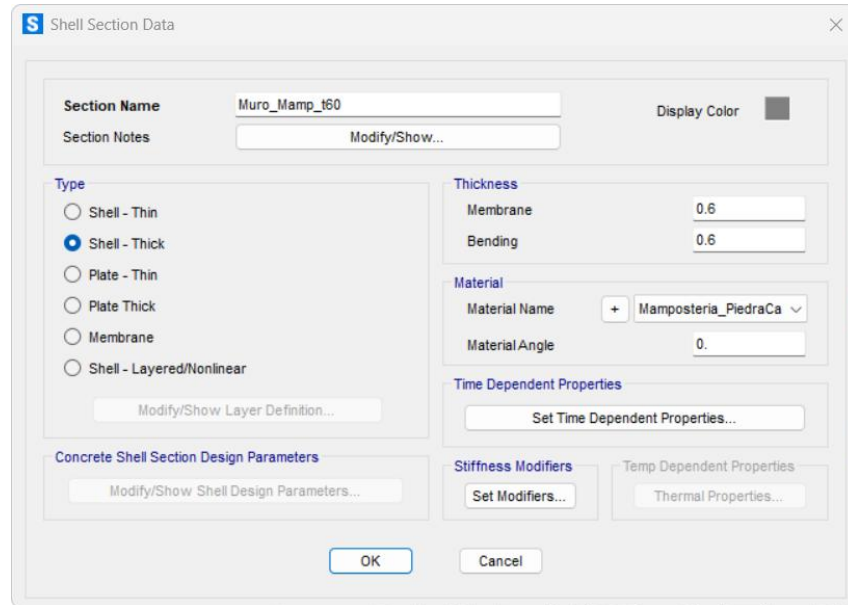
☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

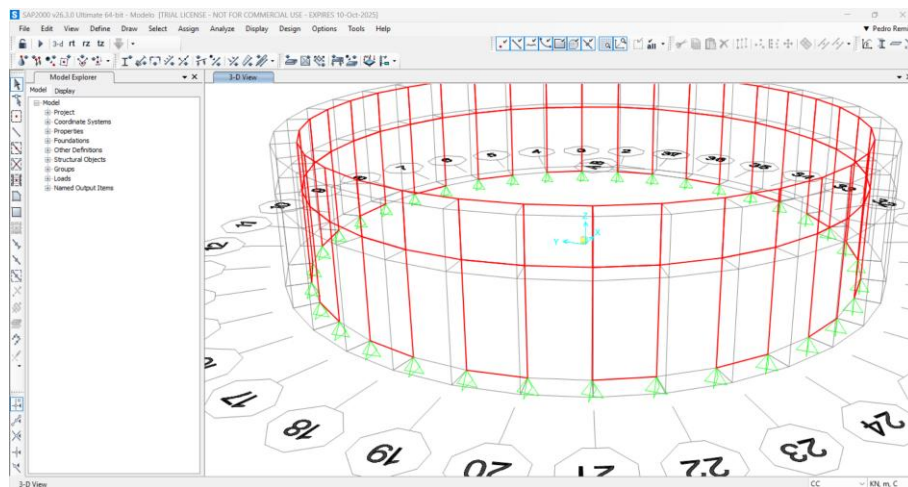
Las propiedades para la definición de este material hacen referencia a la Figura. 39. Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos.

Figura 53. Definición de la sección del área



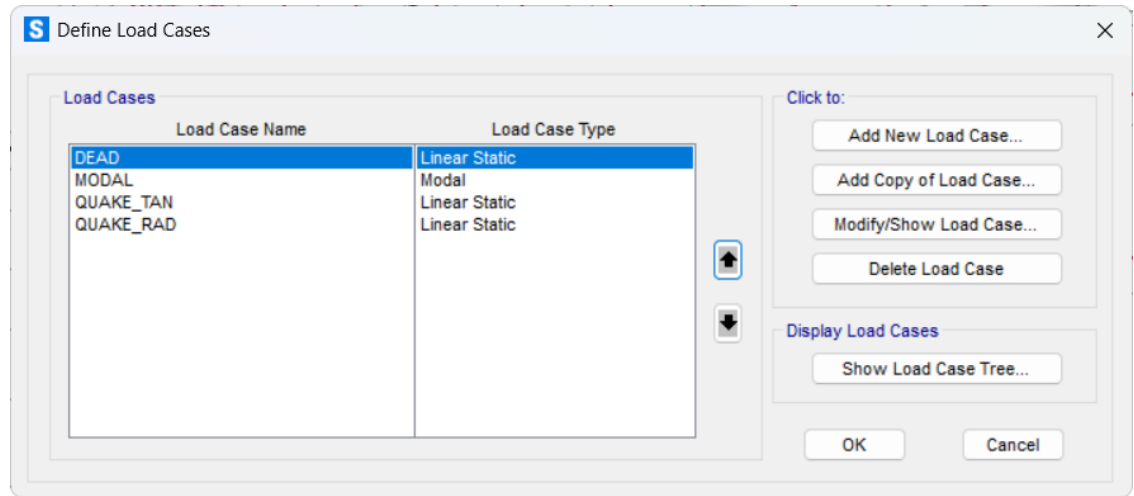
Nota. Elaboración propia.

Figura 54. Modelado idealizado de la torre circular.



Nota. Elaboración propia.

Figura 55. Definición de los *load cases*.



Nota. Elaboración propia.

Figura 56. Factores K_d de acuerdo al nivel de sismo.

Nivel de sismo	Factor K_d
Sismo ordinario — 10% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.66
Sismo severo — 5% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.80
Sismo extremo — 2% probabilidad de ser excedido en 50 años	1.00
Sismo mínimo — condición de excepción	0.55

Nota. Adaptada de NSE 2 Edición 2018.

Figura 57. Listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipio para la República de Guatemala.

No.	Municipio	Departamento	Amenaza sísmica			Velocidad básica del viento (kph)
			I_o	S_{cr}	S_{1r}	
7	Antigua Guatemala	Sacatepéquez	4.2	1.50 a	0.55 a	100

Nota. Adaptada de NSE 2 Edición 2018.

Cálculo del coeficiente sísmico horizontal del suelo:

$$S_{cd} = k_d * S_{cr}$$

$$AMS_d = 0.40 * S_{cd}$$

$$A_m = (1.45 - AMS_d) * AMS_d$$

$$k_h = 0.50 * A_m$$

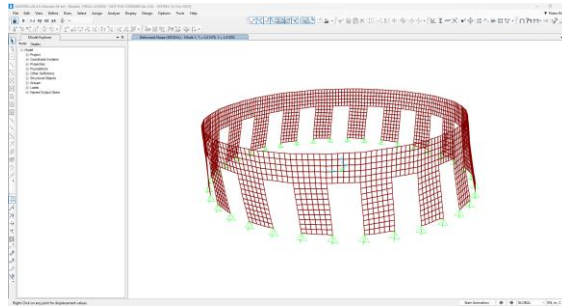
$$S_{cd} = 0.80 * 1.5 = 1.2$$

$$AMS_d = 0.40 * 1.2 = 0.48$$

$$A_m = (1.45 - 0.48) * 0.48 = 0.4656$$

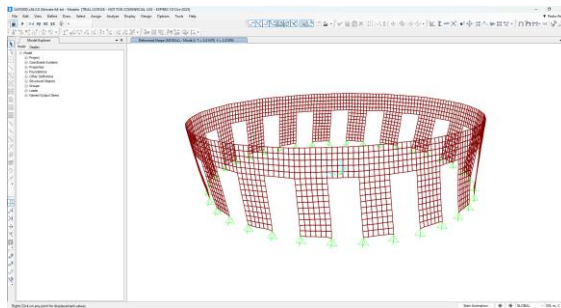
$$k_h = 0.50 * 0.4656 = 0.2328$$

Figura 58. Modal, período y frecuencia para el modo 1 del modelo base.



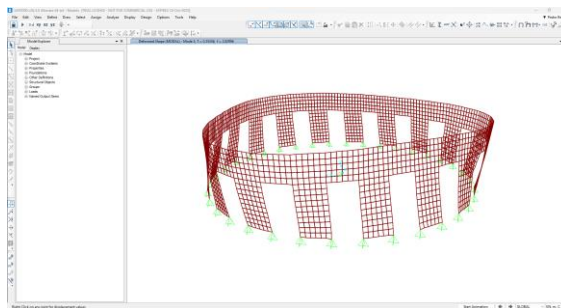
Nota. Elaboración propia.

Figura 59. Modal, período y frecuencia para el modo 2 del modelo base.



Nota. Elaboración propia.

Figura 60. Modal, período y frecuencia para el modo 3 del modelo base.



Nota. Elaboración propia.

Figura 61. Modal, períodos y frecuencias del modelo base.

Modal Periods And Frequencies

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	0.414778	2.41092573...	15.1482931...	229.470784...
	MODAL	Mode	2	0.414778	2.41092573...	15.1482931...	229.470784...
	MODAL	Mode	3	0.353362	2.82996016...	17.7811641...	316.169796...
	MODAL	Mode	4	0.353362	2.82996016...	17.7811641...	316.169796...
	MODAL	Mode	5	0.324802	3.07879772...	19.3446566...	374.215739...
	MODAL	Mode	6	0.324802	3.07879772...	19.3446566...	374.215739...
	MODAL	Mode	7	0.251647	3.97381336...	24.9682057...	623.411297...
	MODAL	Mode	8	0.251647	3.97381336...	24.9682057...	623.411297...
	MODAL	Mode	9	0.208941	4.78604195...	30.0715884...	904.300434...
	MODAL	Mode	10	0.193866	5.15819183...	32.4098751...	1050.40000...
	MODAL	Mode	11	0.179776	5.56248775...	34.9501413...	1221.51237...
	MODAL	Mode	12	0.179776	5.56248775...	34.9501413...	1221.51237...
	MODAL	Mode	13	0.133892	7.46868814...	46.9271515...	2202.15755...
	MODAL	Mode	14	0.133892	7.46868814...	46.9271515...	2202.15755...

Record: << < 1 > >> of 20 Double-click row header to view row details. Add Tables... Done

Nota. Elaboración propia.

Figura 62. Modal, participating mass ratios del modelo base.

Modal Participating Mass Ratios

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.414778	3.051E-16	1.868E-16	1.335E-15	3.051E-16	1.868E-16	1.335E-15	8.633E-15
	MODAL	Mode	2	0.414778	4.145E-16	1.399E-16	7.829E-16	7.196E-16	3.267E-16	2.118E-15	3.91E-15
	MODAL	Mode	3	0.353362	2.426E-16	3.576E-15	6.951E-17	9.622E-16	3.903E-15	2.188E-15	1.169E-14
	MODAL	Mode	4	0.353362	5.299E-17	4.785E-17	2.342E-16	1.015E-15	3.95E-15	2.422E-15	2.941E-16
	MODAL	Mode	5	0.324802	0.79362	9.647E-05	1.518E-15	0.79362	9.647E-05	3.941E-15	1.627E-06
	MODAL	Mode	6	0.324802	9.647E-05	0.79362	1.359E-16	0.79372	0.79372	4.076E-15	0.01338
	MODAL	Mode	7	0.251647	3.023E-17	7.115E-18	3.076E-17	0.79372	0.79372	4.107E-15	2.528E-15
	MODAL	Mode	8	0.251647	1.514E-16	1.088E-16	4.769E-16	0.79372	0.79372	4.584E-15	1.502E-15
	MODAL	Mode	9	0.208941	1.93E-15	2.648E-17	1.969E-15	0.79372	0.79372	6.553E-15	6.732E-14
	MODAL	Mode	10	0.193866	4.565E-17	1.415E-16	0.00048	0.79372	0.79372	0.00048	1.7E-18
	MODAL	Mode	11	0.179776	1.164E-14	4.354E-15	2.396E-15	0.79372	0.79372	0.00048	1.779E-13
	MODAL	Mode	12	0.179776	6.163E-15	5.629E-15	3.499E-16	0.79372	0.79372	0.00048	2.042E-13
	MODAL	Mode	13	0.133892	7.915E-14	9.849E-15	2.344E-16	0.79372	0.79372	0.00048	2.46E-17

Record: << < 1 > >> of 20 Double-click row header to view row details. Add Tables... Done

Nota. Elaboración propia.

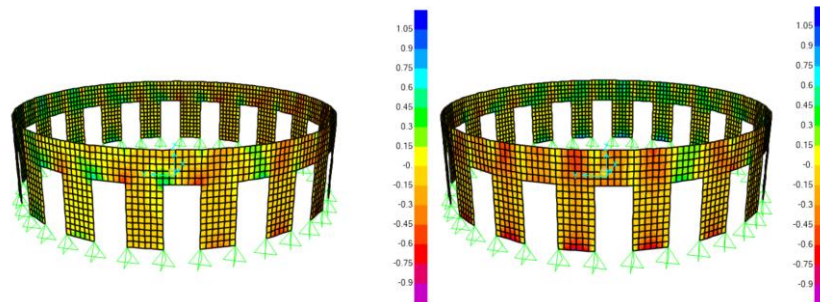
1. Análisis modos

En el modelo base, el primer modo de vibración corresponde principalmente a un movimiento fuera del plano en la dirección radial, lo que confirma que el muro curvo presenta su mayor vulnerabilidad ante esfuerzos perpendiculares al anillo. El segundo modo refleja deformaciones tangenciales, es decir, esfuerzos a lo largo de la curvatura, y el tercer modo muestra un comportamiento torsional por su geometría circular. Esta secuencia de modos es coherente con la tipología del edificio, ya que el muro actúa como un anillo continuo con rigidez variable entre sus muros y los vanos.

Al incorporar el aro metálico de amarre en la coronación, los períodos modales disminuyeron de aproximadamente 0.415 s a 0.380 s, lo que indica un incremento en la rigidez global del conjunto. El primer modo mantuvo su carácter fuera del plano, pero con una frecuencia mayor, lo que refleja una mejor capacidad para resistir deformaciones radiales.

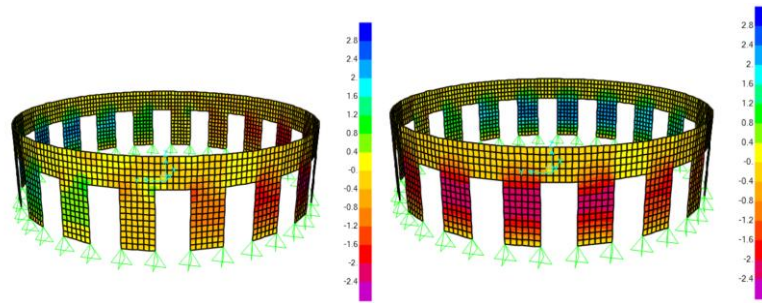
Los participating mass ratios se alinean a esto considerando que la masa traslacional acumulada (SumUX) aumentó de aproximadamente 0.79 a 0.85, lo que significa que los primeros modos concentran más movimiento total del sistema y que la respuesta global se vuelve más representativa de los modos principales. Es decir que el aro permitió que el conjunto trabaje de forma más uniforme, reduciendo la dispersión modal y mejorando el comportamiento general sin alterar la configuración original del claustro.

Figura 63. Sismo tangencial y radial en M11 del modelo base.



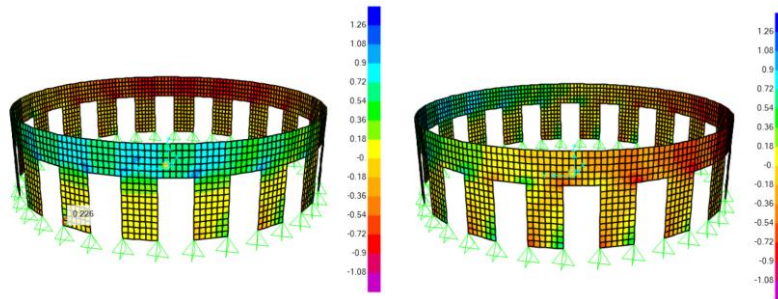
Nota. Elaboración propia.

Figura 64. Sismo tangencial y radial en M22 del modelo base.



Nota. Elaboración propia.

Figura 65. Sismo tangencial y radial en M12 del modelo base.



Nota. Elaboración propia.

2. Análisis momentos

En las figuras 58 a 60 se muestran los resultados del modelo base, mientras que las figuras 64 a 66 corresponden al modelo intervenido con aro metálico de amarre en coronación. En todas las figuras, la vista izquierda representa el sismo tangencial y la derecha el sismo radial. En el modelo base, los diagramas de M11 y M22 (Figuras 58 y 59) evidencian que las tensiones son más elevadas bajo el sismo radial, donde la envolvente de colores más cálidos cubre la mayor parte del anillo. Esto indica que los empujes perpendiculares al muro generan flexión fuera del plano, condición más desfavorable para este tipo de estructuras. Las zonas críticas se concentran en los arranques de los muros, las esquinas de los vanos y el borde superior, donde se esperaría la aparición de fisuras y desprendimientos locales. Por otro lado, el sismo tangencial produce tensiones más distribuidas y de menor magnitud, ya que el muro resiste mejor las demandas en su propio

plano. El diagrama de M12 representa la interacción entre las direcciones tangencial y radial, es decir, la distorsión o acoplamiento torsional del muro. En el modelo base, los valores más altos de M12 se concentran alrededor de los vanos, lo que refleja una deformación combinada producto de la pérdida de continuidad estructural entre muros y aberturas.

En el modelo intervenido (Figuras 64 a 66), las mismas combinaciones muestran una reducción evidente de tensiones y una mayor uniformidad en la distribución de colores. El aro metálico en coronación actúa limitando la apertura del anillo y restringiendo la flexión fuera del plano, lo que se refleja en valores de M11 y M22 notablemente menores. En particular, los tonos rojos intensos desaparecen en gran parte de la superficie, quedando confinados a zonas puntuales. Asimismo, la magnitud de M12 disminuye de forma significativa, evidenciando una menor distorsión general y un mejor comportamiento estructural del conjunto. Aunque los desplazamientos globales se mantienen en el rango de milímetros, la diferencia en los patrones de color entre ambos modelos demuestra que el refuerzo metálico logra una disminución significativa de la demanda de tensión, mejorando la rigidez global y reduciendo el riesgo de daño por flexión fuera del plano.

Tabla 2. *Joint displacements* del modelo base.

campo	tipo	Utan may	Urad may
Joint	Text	~2353	~2215
OutputCase	Text	QUAKE_RAD	QUAKE_RAD
CaseType	Text	LinStatic	LinStatic
U1	m	-0.000083	-9.747E-06
U2	m	-4.775E-06	0.00000504
U3	m	0.000014	0.000031
R1	Radians	-3.302E-06	0.00018
R2	Radians	-0.000393	-0.000307
R3	Radians	0.00000492	0.00000767
R	$\text{SQRT}(X^2+Y^2)$	8.3137E-05	1.0973E-05
X/R	radial	-0.99834924	-0.88827534
Y/R	radial	-0.05743515	0.45931135
"-Y/R"	tangencial	0.05743515	-0.45931135
"X/R"	tangencial	-0.99834924	-0.88827534
Urad	"K4*G4+L4*H4"	2.5869E-05	-0.0003009
Utan	"M4*G4+N4*H4"	0.00039216	0.00019002
Uvert	I4	0.00000492	0.00000767
Urad	mm	0.02586856	-0.30089815
Utan	mm	0.3921616	0.19002449
Uvert	mm	0.00492	0.00767
Urad	mm	0.02586856	0.30089815
Utan	mm	0.3921616	0.19002449

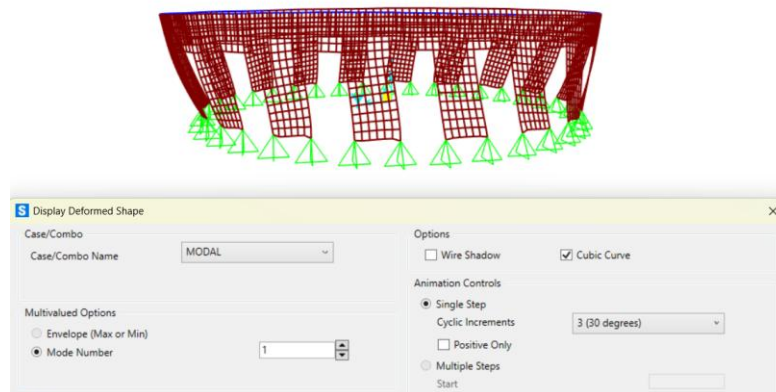
Nota. Elaboración propia.

3. Análisis joint displacements

En el modelo base, el máximo desplazamiento tangencial (U_{tan}) alcanza aproximadamente 0.392 mm, mientras que el máximo radial (U_{rad}) es de 0.301 mm. Tras la incorporación del aro metálico en coronación, ambos componentes disminuyen: el desplazamiento tangencial se reduce a un 18 %, alcanzando 0.321 mm, y el desplazamiento radial disminuye aproximadamente un 22 %, llegando a 0.236 mm. Los desplazamientos verticales permanecen del orden de 0.005 - 0.008 mm.

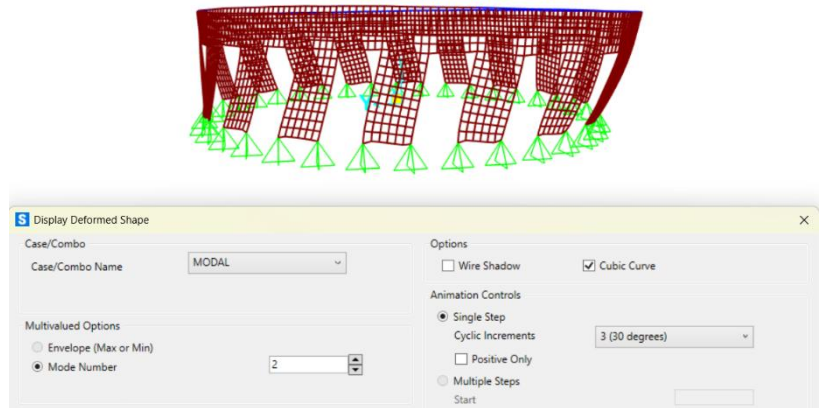
Esta respuesta es coherente con el efecto esperado del amarre: el aro restringe la apertura fuera del plano y mejora la continuidad circunferencial del anillo, logrando una reducción general de la deformación y una redistribución más uniforme del esfuerzo. Como resultado, las tensiones y curvaturas observadas en los diagramas M11, M22 y M12 también disminuyen, reflejando un comportamiento global más estable. En estructuras de mampostería, donde el daño suele iniciarse por flexión y corte fuera del plano, la reducción de los desplazamientos radiales y tangenciales representa una mejora significativa en términos de resistencia sísmica y conservación preventiva. Aunque las magnitudes absolutas se mantienen en milímetros, los porcentajes de reducción evidencian que el refuerzo contribuye efectivamente a mantener el comportamiento dentro del rango elástico, disminuyendo la vulnerabilidad del muro ante demandas extremas.

Figura 66. Modal, período y frecuencia para el modo 1 del modelo intervenido.



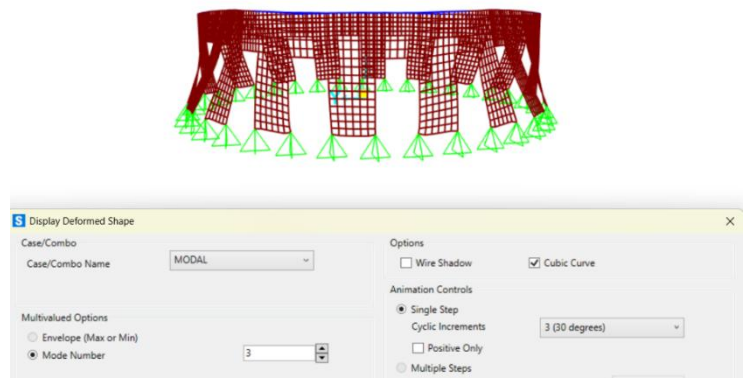
Nota. Elaboración propia.

Figura 67. Modal, período y frecuencia para el modo 2 del modelo intervenido.



Nota. Elaboración propia.

Figura 68. Modal, período y frecuencia para el modo 3 del modelo intervenido.



Nota. Elaboración propia.

Figura 69. Modal, período y frecuencia del modelo intervenido.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.380337	2.62924678...	16.5200447...	272.911878...
MODAL	Mode	2	0.380337	2.62924678...	16.5200447...	272.911878...
MODAL	Mode	3	0.322883	3.09709880...	19.4596457...	378.677811...
MODAL	Mode	4	0.322883	3.09709880...	19.4596457...	378.677811...
MODAL	Mode	5	0.285549	3.50202122...	22.0038482...	484.169339...
MODAL	Mode	6	0.285549	3.50202122...	22.0038482...	484.169339...
MODAL	Mode	7	0.220023	4.54498501...	28.5569830...	815.501281...
MODAL	Mode	8	0.220023	4.54498501...	28.5569830...	815.501281...
MODAL	Mode	9	0.212152	4.71359934...	29.6164181...	877.132225...
MODAL	Mode	10	0.153599	6.51047766...	40.9065375...	1673.34481...
MODAL	Mode	11	0.153599	6.51047766...	40.9065375...	1673.34481...
MODAL	Mode	12	0.11783	8.50123191...	53.4148154...	2853.14251...
MODAL	Mode	13	0.11428	8.75046906...	54.9808186...	3022.89042...
MODAL	Mode	14	0.11428	8.75046906...	54.9808186...	3022.89042...

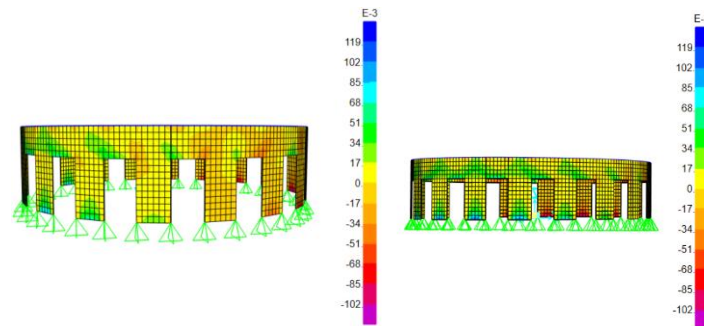
Nota. Elaboración propia.

Figura 70. Modal, participating mass ratios del modelo intervenido.

Modal Participating Mass Ratios											
Units: As Noted											
Filter:											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
MODAL	Mode	1	0.380337	2.886E-17	3.668E-17	1.148E-14	2.886E-17	3.668E-17	1.148E-14	3.543E-17	
MODAL	Mode	2	0.380337	1.938E-18	8.069E-19	3.001E-16	3.08E-17	3.749E-17	1.148E-14	7.433E-17	
MODAL	Mode	3	0.322883	4.722E-17	1.169E-16	4.632E-16	7.801E-17	1.544E-16	1.195E-14	2.305E-16	
MODAL	Mode	4	0.322883	3.451E-18	5.865E-17	1.745E-17	8.147E-17	2.131E-16	1.196E-14	4.061E-16	
MODAL	Mode	5	0.285549	0.41547	0.43048	6.137E-15	0.41547	0.43048	2.01E-14	0.00741	
MODAL	Mode	6	0.285549	0.43048	0.41547	1.048E-15	0.84595	0.84595	2.115E-14	0.00715	
MODAL	Mode	7	0.220023	5.019E-18	4.185E-18	3.055E-18	0.84595	0.84595	2.115E-14	2.627E-18	
MODAL	Mode	8	0.220023	5.479E-18	2.846E-17	4.247E-17	0.84595	0.84595	2.119E-14	7.964E-16	
MODAL	Mode	9	0.212152	2.585E-20	1.578E-17	2.057E-17	0.84595	0.84595	2.121E-14	8.689E-17	
MODAL	Mode	10	0.153599	1.053E-15	6.766E-16	8.249E-16	0.84595	0.84595	2.204E-14	1.124E-14	
MODAL	Mode	11	0.153599	2.471E-16	4.89E-17	1.882E-16	0.84595	0.84595	2.223E-14	2.696E-14	
MODAL	Mode	12	0.11763	1.891E-15	3.023E-16	0.00335	0.84595	0.84595	0.00335	5.554E-16	
MODAL	Mode	13	0.11426	1.056E-14	1.088E-14	1.081E-16	0.84595	0.84595	0.00335	2.992E-16	

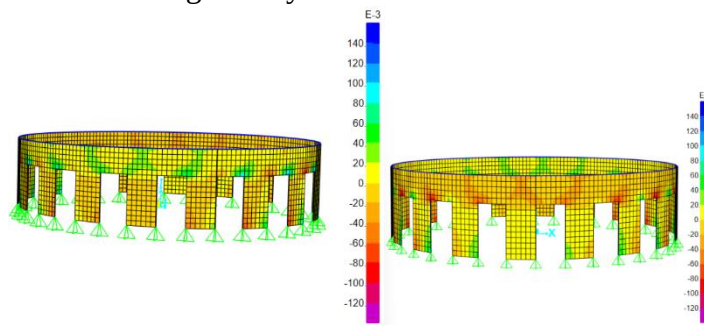
Nota. Elaboración propia.

Figura 71. Sismo tangencial y radial en M11 del modelo intervenido.



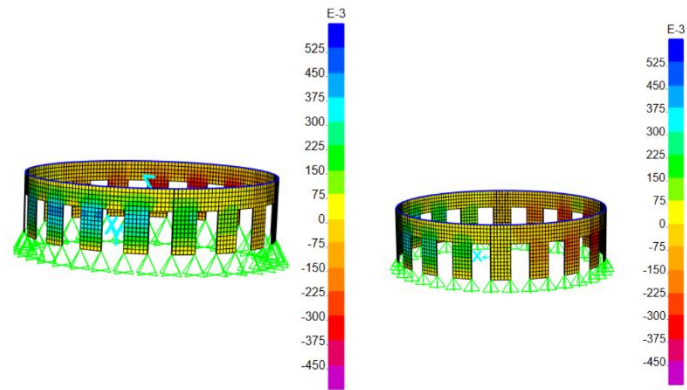
Nota. Elaboración propia.

Figura 72. Sismo tangencial y radial en M22 del modelo intervenido.



Nota. Elaboración propia.

Figura 73. Sismo tangencial y radial en M12 del modelo intervenido.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 3. *Joint displacements* del modelo intervenido.

campo	tipo	Utan may	Urad may
Joint	Text	~186	~449
OutputCase	Text	QUAKE_RAD	QUAKE_RAD
CaseType	Text	LinStatic	LinStatic
U1	m	-0.00007	-0.000013
U2	m	-3.901E-06	-5.095E-06
U3	m	-0.000015	-0.000037
R1	Radians	-0.000011	-0.000178
R2	Radians	-0.000322	-0.000192
R3	Radians	-6.324E-06	0.000011
R	$\text{SQRT}(X^2+Y^2)$	7.0109E-05	1.3963E-05
X/R	radial	-0.99845077	-0.93104716
Y/R	radial	-0.05564224	-0.36489887
"-Y/R"	tangencial	0.05564224	0.36489887
"X/R"	tangencial	-0.99845077	-0.93104716
Urad	" $K4*G4+L4*H4$ "	2.89E-05	0.00023579
Utan	" $M4*G4+N4*H4$ "	0.00032089	0.00011381
Uvert	l4	-6.324E-06	0.000011
Urad	mm	0.02889976	0.23578698
Utan	mm	0.32088908	0.11380906
Uvert	mm	-0.006324	0.011
Urad	mm	0.02889976	0.23578698
Utan	mm	0.32088908	0.11380906

Nota. Elaboración propia.

Figura 74. Visita y recorrido.



Nota. Elaboración propia.