



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**ESPECIALIZACION EN DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
Y EDIFICACIONES**

**GUÍA PARA LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES
CONSTRUIDAS EN MUROS EN BAHAREQUE.**

**CASO DE ESTUDIO CENTRO AGROEMPRESARIAL Y MINERO DEL MUNICIPIO DE SAN
JACINTO – BOLIVAR**

ELABORADO POR:

Ing. Carlos Eliecer Argote Indapiz
Ing. Carlos Eduardo Forero Buenaventura

BOGOTÁ D.C
2024

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	6
2	ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y NORMATIVOS.....	7
3	JUSTIFICACIÓN.....	9
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
5	OBJETIVOS.....	12
5.1	Objetivo general.....	12
5.2	Objetivos específicos.....	12
6	MARCO TEÓRICO.....	12
6.1	Importancia del patrimonio edificado:.....	13
6.1.1	Testimonio histórico:.....	14
6.1.2	Análisis del Estado del Arte en la Restauración.....	14
6.1.3	Valor cultural:.....	16
6.1.4	Impacto socioeconómico:.....	16
6.1.5	Sostenibilidad ambiental:.....	17
6.2	Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones patrimoniales.....	17
6.2.1	Características constructivas:.....	18
6.2.2	Deterioro:.....	18
6.2.3	Entorno urbano:.....	18
6.2.4	Falta de información:.....	19
6.2.5	Importancia de la evaluación y el reforzamiento sismorresistente de las edificaciones patrimoniales:.....	19
6.2.6	Cómo abordar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones patrimoniales:.....	19
7	METODOLOGÍA.....	20
7.1	Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes	
	Titulo A.1.3.4 NSR-10 Tabla A.1.3-1.....	21
7.1.1	Fase 1: Recopilación de información:.....	21
7.1.2	Fase 2: Inspección visual:.....	21
7.1.3	Fase 3: Ensayos no destructivos y destructivo:.....	21
7.1.4	Fase 4: Análisis estructural:.....	22

7.1.5	Fase 5: Informe de evaluación:.....	22
7.2	Patrones de diseño de reforzamiento al momento de realizar una intervención:.....	22
7.2.1	Principios generales:.....	22
7.2.2	Técnicas de reforzamiento:.....	22
7.2.3	Materiales y sistemas de reforzamiento:.....	23
7.2.4	Tipologías de edificaciones patrimoniales.....	23
7.2.5	Revisión bibliográfica.....	24
7.2.6	Consulta con expertos.....	25
8	DEFINICIONES.....	27
8.1	Características de las edificaciones patrimoniales:.....	41
8.1.1	Materiales y sistemas constructivos:.....	42
8.1.2	Tipologías estructurales:.....	42
8.1.3	Elementos ornamentales:.....	43
8.2	Amenazas sísmicas.....	43
8.2.1	Peligro sísmico:.....	43
8.2.2	Vulnerabilidad sísmica.....	44
8.2.3	Riesgo sísmico.....	44
9	CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS EDIFICACIONES.....	45
9.1	Inspección visual.....	45
9.2	Revisión documental:.....	45
9.3	Inspección exterior:.....	46
9.4	Inspección interior:.....	46
9.5	Registro de los daños:.....	46
9.6	Evaluación del estado de conservación:.....	47
9.7	Informe de inspección:.....	47
9.8	Ensayos no destructivos.....	47
9.8.1	Ultrasonidos:.....	47
9.8.2	Radiografía:.....	48
9.8.3	Termografía:.....	48
9.8.4	Georradar:.....	48

9.8.5	Endoscopia:.....	48
9.9	Principios generales.....	49
9.9.1	Incrementar la capacidad resistente:	49
9.9.2	Mejorar la ductilidad:.....	49
9.9.3	Confirmar la integridad del sistema:.....	49
9.9.4	Minimizar la intervención:.....	49
9.9.5	Considerar el contexto:	50
9.10	Técnicas de reforzamiento.....	50
9.10.1.1	Técnicas de intervención puntual:.....	50
9.11	Materiales y sistemas de reforzamiento	51
9.11.1	Materiales:.....	52
9.11.2	Sistemas:.....	52
9.12	Patrones de diseño de reforzamiento.....	53
9.12.1	Reforzamiento de elementos estructurales	53
9.12.2	Reforzamiento de elementos no estructurales	55
9.13	Ejemplo Aplicación de Materiales y sistemas de reforzamiento	56
10	EJEMPLO DE APLICACIÓN	59
11	CONCLUSIONES.....	60
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

TABLA DE IMÁGENES

IMAGEN 1 Barras de acero para refuerzo de concreto	56
IMAGEN 2 Mallas electrosoldadas para refuerzo de mampostería	56
IMAGEN 3 Perfiles de acero para refuerzo de estructuras	57
IMAGEN 4 Placas de acero para refuerzo de estructuras	57
IMAGEN 5 Láminas de FRP para refuerzo de estructuras	57
IMAGEN 6 Barras de FRP para refuerzo de estructuras	58
IMAGEN 7 Piezas de madera laminada para refuerzo de estructuras.....	58
IMAGEN 8 Paneles de concreto prefabricado para refuerzo de estructuras.....	59
IMAGEN 9 Sistemas de postensado para refuerzo de estructuras.....	59

1 INTRODUCCIÓN

Las edificaciones de uso patrimonial representan un legado invaluable de nuestra historia y cultura y por ende, algunos los proyectos de renovación urbana que en la actualidad se vienen ejecutando en la mayoría de las ciudades principales del país, requieren la intervención de grandes superficies construidas previamente, tal intervención abarca procesos de demolición, movimiento de tierras, renovación de redes secas y húmedas y nuevas construcciones, así como el reforzamiento estructural y renovación de edificaciones de uso patrimonial. Este tipo de estructuras generan un campo de acción nuevo y poco explorado hasta el momento para los profesionales de la construcción, lo cual nos conlleva a mostrar un nuevo mundo de posibilidades, diseños y procedimientos técnicos constructivos que despertarían la atención de todo el gremio constructor. Aunado a lo anterior, estas estructuras también son vulnerables a los sismos y otros eventos generadores de riesgo en su integridad estructural y la seguridad de las personas que las visitan y/o habitan. Esta propuesta presenta una herramienta práctica para que los profesionales de la ingeniería puedan evaluar y diagnosticar de forma inicial este tipo de edificaciones. La herramienta proporciona una metodología clara y precisa para realizar la evaluación estructural, así como los posibles métodos y procedimientos prácticos para llevar a cabo el reforzamiento estructural, si fuera necesario. Conservando materiales como la tierra y madera, como recursos principales en la construcción de edificaciones de uso patrimonial, y juntos, conforman el abobe, se convirtió en una época la técnica principal utilizada en esta industria.

2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y NORMATIVOS

La construcción en adobe y tapia pisada ha sido una tradición ancestral en Colombia y América Latina. Sin embargo, estas técnicas constructivas, aunque adaptadas a las condiciones climáticas y materiales locales, presentan ciertas limitaciones estructurales, especialmente frente a eventos sísmicos.

A lo largo de los años, se han registrado numerosos eventos sísmicos que han afectado a edificaciones patrimoniales, evidenciando la necesidad de establecer criterios técnicos para su evaluación y refuerzo. Ante esta problemática, diversos estudios e investigaciones se llevaron a cabo con el objetivo de comprender el comportamiento sísmico de estas construcciones y desarrollar estrategias de intervención adecuadas.

La importancia del Decreto 1401 de 2023

La promulgación del Decreto 1401 de 2023 marcó un antes y un después en la aplicación de la Norma AIS 610 EP 2017. Este decreto incorporó la norma al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), otorgándole un carácter obligatorio para la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos construidas en adobe y tapia pisada.

Principales objetivos de la norma y el decreto

- **Reducir la vulnerabilidad sísmica:** Mediante la evaluación y refuerzo de las edificaciones patrimoniales, se busca disminuir el riesgo de colapso ante eventos sísmicos, salvaguardando la vida de las personas y el patrimonio cultural.
- **Promover la conservación del patrimonio:** La norma establece criterios técnicos que permiten realizar intervenciones respetuosas con las características originales de las edificaciones, garantizando su conservación a largo plazo.

- **Establecer un marco normativo claro:** Tanto la norma como el decreto proporcionan un conjunto de requisitos y procedimientos claros para la evaluación, diagnóstico y diseño de las intervenciones, facilitando el trabajo de los profesionales involucrados.

En conclusión, la Norma AIS 610 EP 2017 y el Decreto 1401 de 2023 representan un avance significativo en la protección del patrimonio edificado en Colombia. Estos instrumentos normativos brindan las herramientas necesarias para garantizar la seguridad estructural de las edificaciones patrimoniales, contribuyendo a su preservación para las futuras generaciones.

3 JUSTIFICACIÓN

El patrimonio arquitectónico, compuesto por edificaciones y estructuras que representan un valor histórico, cultural y social, se erige como un testimonio tangible de nuestro pasado y un elemento fundamental para la identidad de las comunidades. Sin embargo, este legado se encuentra en riesgo debido a diversos factores, como el paso del tiempo, el abandono, la falta de conocimiento y la ausencia de estrategias adecuadas para su conservación.

En este contexto, la elaboración de una guía práctica sobre la conservación del patrimonio arquitectónico se convierte en una necesidad imperiosa. Esta herramienta permitiría no solo abordar el desconocimiento existente en torno a este tema, sino también ofrecer un marco de acción claro y conciso para las comunidades, profesionales y autoridades involucradas en su preservación.

La carencia de una guía práctica se traduce en la implementación de acciones inadecuadas de intervención, poniendo en riesgo la integridad y autenticidad de las edificaciones patrimoniales. A su vez, la falta de claridad sobre los criterios para la clasificación como patrimonio cultural genera incertidumbre y dificulta la protección efectiva de estos bienes.

Es importante destacar que existen diversos estudios e investigaciones que avalan la importancia de la conservación del patrimonio arquitectónico. Por ejemplo, la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural de la UNESCO (1972) establece que este patrimonio "tiene un valor excepcional para la humanidad" y debe ser protegido y conservado para las generaciones presentes y futuras.

Asimismo, en países como España, Italia y México, existen normativas y políticas públicas robustas para la conservación del patrimonio arquitectónico, reconociendo su papel fundamental en el desarrollo cultural, social y económico de las naciones.

Por todo lo anterior, vale la pena preguntarnos: ¿si los procedimientos para reforzamiento estructural de construcciones en adobe y tapia pisada encontrados y establecidos en la Norma AIS 610 EP 2017 para edificaciones patrimoniales, Decreto 1401 de 25 de agosto de 2023 y otros; son aplicables en todos los casos; o si por el contrario tales procedimientos de reforzamiento son variables en algunos casos de acuerdo a lo que la exploración en sitio y la experiencia del profesional determinen.?

En definitiva, la elaboración de una guía práctica para la conservación del patrimonio arquitectónico se convierte en una herramienta indispensable para garantizar la preservación de este legado cultural invaluable. Esta guía permitiría no solo abordar el desconocimiento existente, sino también establecer un marco de acción claro y conciso para las comunidades, profesionales y autoridades involucradas en su protección.

Es hora de actuar para salvaguardar nuestro patrimonio arquitectónico y garantizar que las futuras generaciones puedan disfrutar y aprender de este testimonio tangible de nuestra historia y cultura.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las construcciones patrimoniales en Colombia son un tesoro invaluable que representa la memoria histórica y cultural del país. Es crucial preservar estas edificaciones, no solo por su valor histórico, sino también por su importancia social y económica.

Actualmente, en Colombia existen diversas normas y leyes que regulan la construcción y modificación de edificaciones, incluyendo aquellas de uso patrimonial. Sin embargo, no existe una guía específica para la evaluación y el reforzamiento sismorresistente de estas estructuras.

La falta de una guía adecuada para la evaluación de edificaciones patrimoniales, la falta de una cátedra universitaria donde se ahonde sobre esta problemática, y la falta de conocimiento en la normativa vigente frente a los procesos de intervención y reforzamiento, las pone en riesgo ante la ocurrencia de sismos, lo que podría ocasionar pérdidas de vidas humanas y daños irreparables al patrimonio cultural.

La creación de una guía para la evaluación y el reforzamiento sismorresistente de edificaciones patrimoniales permitiría a los profesionales tomar decisiones informadas sobre la intervención de estas estructuras, asegurando su seguridad y preservación.

La guía debe ser una herramienta práctica y accesible para profesionales de la construcción, arquitectos, ingenieros, arqueólogos, historiadores y otros expertos involucrados en la conservación del patrimonio cultural.

La colaboración entre profesionales de diversas disciplinas es fundamental para garantizar la seguridad y la preservación del valor patrimonial de las edificaciones, tomando en cuenta su importancia histórica, cultural y social.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Elaborar una guía para la rehabilitación estructural de edificaciones patrimoniales construidas en muros en bahareque.

5.2 Objetivos específicos

- Identificar los patrones de diseño y construcción más comunes en las edificaciones de uso patrimonial.
- Evaluar las diferentes técnicas para determinar el estado en que se encuentran las edificaciones de uso patrimonial.
- Establecer los criterios de diseño estructural para el reforzamiento de este tipo de edificaciones y que cumplan la normatividad vigente.

6 MARCO TEÓRICO

En Colombia, existe un número significativo de edificaciones patrimoniales construidas en tierra, las cuales son vulnerables a sismos. Sin embargo, el Reglamento Colombiano de

Construcción Sismo Resistente NSR-10 no contempla una metodología para su evaluación e intervención.

A mediados de la década de 1990 se expidió la Ley 400 y posteriormente se complementó con decretos adicionales para regular las construcciones sismo resistentes. Sin embargo, estas normas no abordan la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales en tierra.

La creación de una guía para la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales en tierra permitiría:

- Identificar y caracterizar los patrones de diseño y construcción más comunes en este tipo de estructuras.
- Recopilar información sobre técnicas de reforzamiento sismorresistente efectivas para estas edificaciones.
- Contribuir a la preservación del patrimonio cultural colombiano.

El Ministerio de Cultura y el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural de Bogotá han expresado su interés en crear esta guía, la cual sería un valioso aporte para la protección de las edificaciones patrimoniales de tierra en Colombia.

Para enmarcar lo anteriormente dicho; se destacan los siguientes conceptos:

6.1 Importancia del patrimonio edificado:

El patrimonio edificado, compuesto por las construcciones que han heredado las sociedades del pasado, posee una **gran relevancia** por diversos motivos; tales como:

6.1.1 Testimonio histórico:

Las edificaciones patrimoniales son testigos tangibles de la historia, reflejando los estilos arquitectónicos, las técnicas constructivas y las formas de vida de las sociedades del pasado, como principales características encontramos:

- **Evidencia tangible del pasado:** El patrimonio edificado nos permite conocer de primera mano cómo se construían, habitaban y organizaban las sociedades en diferentes épocas.
- **Memoria colectiva:** Las edificaciones patrimoniales son un recordatorio de la historia y la identidad de una comunidad, fortaleciendo el sentido de pertenencia y cohesión social.
- **Fuente de conocimiento:** Constituyen un invaluable recurso para comprender la evolución de las técnicas constructivas, los estilos arquitectónicos y las formas de vida a lo largo del tiempo.

6.1.2 Análisis del Estado del Arte en la Restauración

La Norma AIS 610 EP 2017 y el Decreto 1401 de 2023 han marcado un hito en la conservación y restauración de edificaciones patrimoniales en Colombia, especialmente aquellas construidas en bahareque. Estos instrumentos normativos han proporcionado un marco técnico y legal sólido para abordar la evaluación, diagnóstico y reparación de este tipo de construcciones, impulsando así una evolución significativa en el estado del arte de la restauración.

6.1.2.1 Avances significativos

- **Enfoque integral:** La norma y el decreto promueven un enfoque integral en la restauración, considerando no solo los aspectos estructurales, sino también los históricos, arquitectónicos y sociales de las edificaciones.

- **Establecimiento de criterios técnicos:** Se han definido criterios claros para la evaluación del estado de conservación, la selección de materiales y técnicas de intervención, y el control de calidad de las obras.
- **Promoción de la investigación:** La norma incentiva la investigación continua en el campo de la restauración del bahareque, fomentando el desarrollo de nuevas técnicas y materiales.
- **Articulación con otras disciplinas:** Se reconoce la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre arquitectos, ingenieros, historiadores, artesanos y otros profesionales involucrados en la restauración.

6.1.2.2 Desafíos y oportunidades

- **Aplicación práctica:** A pesar de los avances normativos, aún persisten desafíos en la aplicación práctica de la norma, como la falta de profesionales especializados y la disponibilidad de materiales tradicionales.
- **Costos de restauración:** Los costos elevados de la restauración pueden limitar el acceso a estos beneficios para muchos propietarios de edificaciones patrimoniales.
- **Balance entre conservación y uso:** Es necesario encontrar un equilibrio entre la conservación del patrimonio y la adaptación de las edificaciones a los usos contemporáneos, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

6.1.2.3 Tendencias futuras

- **Uso de tecnologías:** Se espera una mayor integración de tecnologías como los sistemas de información geográfica, los modelos 3D y los drones para la documentación y el monitoreo de las edificaciones.

- **Desarrollo de materiales sostenibles:** La investigación se centrará en el desarrollo de materiales de construcción sostenibles y compatibles con el bahareque, reduciendo el impacto ambiental de las intervenciones.
- **Formación especializada:** Se requiere una mayor inversión en la formación de profesionales especializados en la restauración del bahareque, a través de programas académicos y de capacitación continua.

6.1.3 Valor cultural:

Constituye un elemento fundamental de la identidad cultural de una comunidad, reflejando sus valores, creencias y tradiciones; como prueba de ello, encontramos que una sociedad culturalmente se define como el hacer y sentir de un pueblo donde tenemos:

- **Expresión de la identidad cultural:** Las edificaciones patrimoniales son una representación tangible de la cultura, tradiciones y valores de una comunidad.
- **Diversidad cultural:** Reflejan la riqueza y variedad de las culturas del mundo, promoviendo el respeto por la diferencia y el diálogo intercultural.
- **Símbolo de identidad:** Son un elemento fundamental para la construcción de la identidad local y nacional, fortaleciendo el orgullo y el sentido de pertenencia.

6.1.4 Impacto socioeconómico:

Las edificaciones patrimoniales son un importante atractivo turístico, generando ingresos económicos y dinamizando la economía local; entre las cuales tenemos:

- **Desarrollo local:** El patrimonio edificado puede ser un motor de desarrollo económico al atraer turismo, generar empleos y fomentar la inversión en las comunidades locales.

- **Mejora de la calidad de vida:** Las zonas con patrimonio edificado conservado suelen tener una mayor calidad de vida, con espacios públicos más agradables y una mayor cohesión social.
- **Valorización del patrimonio:** La conservación del patrimonio edificado genera conciencia sobre su importancia y fomenta la participación de la comunidad en su cuidado.

6.1.5 Sostenibilidad ambiental:

La preservación del patrimonio edificado evita la demolición y reconstrucción de edificios, reduciendo el consumo de recursos y el impacto ambiental.

Muchas edificaciones patrimoniales incorporan principios de arquitectura sostenible, como la ventilación natural y la captación de agua de lluvia, que son relevantes en la actualidad. También se aplican otros conceptos tales como; la **Eficiencia energética** que trata de las técnicas tradicionales de construcción, presentes en muchas edificaciones patrimoniales, suelen ser más eficientes energéticamente que las modernas; también encontramos los **Materiales durables** Los cuales hacen referencia a aquellos materiales tradicionales empleados en la construcción patrimonial suelen ser más durables y sostenibles que los materiales modernos y por ultimo a la **Reutilización y adaptación** cuyo principal objetivo es hacer que El patrimonio edificado puede ser reutilizado y adaptado para nuevas funciones, evitando la construcción de nuevas estructuras y la generación de residuos.

6.2 Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones patrimoniales

Las **edificaciones patrimoniales** son particularmente **vulnerables a los sismos** por diversas razones.

6.2.1 **Características constructivas:**

Las características constructivas más relevantes en este tipo de edificaciones son:

- **Materiales y técnicas tradicionales:** Muchos de estos edificios se construyeron con materiales y técnicas tradicionales que no son tan resistentes a las fuerzas sísmicas como los materiales modernos.
- **Diseño pre-sísmico:** La mayoría de las edificaciones patrimoniales se diseñaron y construyeron antes de que se desarrollaran las normas sismorresistentes modernas.
- **Elementos ornamentales:** Los elementos ornamentales, como fachadas, cornisas y torres, pueden ser particularmente vulnerables a los sismos.

6.2.2 **Deterioro:**

El deterioro se caracteriza por:

- **Envejecimiento:** El paso del tiempo y la falta de mantenimiento pueden debilitar la estructura de las edificaciones patrimoniales.
- **Patologías:** Las patologías estructurales, como grietas, humedades y deformaciones, pueden aumentar la vulnerabilidad sísmica.
- **Intervenciones inadecuadas:** Intervenciones realizadas sin un conocimiento adecuado de la estructura y los materiales originales pueden debilitar la edificación.

6.2.3 **Entorno urbano:**

La conformación de los entornos urbanos se debe a:

- **Densidad urbana:** Las edificaciones patrimoniales ubicadas en zonas con alta densidad urbana pueden estar más expuestas a los efectos de un sismo.

- **Interferencia con otras estructuras:** Las edificaciones patrimoniales adyacentes a otras estructuras pueden verse afectadas por la interacción sísmica entre ellas.

6.2.4 Falta de información:

Debido a la falta de información podemos encontrar diversos aspectos:

- **Documentación incompleta:** En muchos casos, no se dispone de información precisa sobre los materiales, las técnicas constructivas y la historia de las intervenciones en las edificaciones patrimoniales.
- **Estudios insuficientes:** La falta de estudios específicos sobre la vulnerabilidad sísmica de estas edificaciones dificulta la toma de decisiones para su protección.

6.2.5 Importancia de la evaluación y el reforzamiento sismorresistente de las edificaciones patrimoniales:

Proteger la vida humana y los bienes materiales.

Preservar el valor cultural e histórico de estas edificaciones.

Garantizar la transmisión de este patrimonio a las generaciones futuras.

6.2.6 Cómo abordar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones patrimoniales:

- Realizar estudios específicos para evaluar su estado y su comportamiento ante un sismo.
- Desarrollar proyectos de reforzamiento sismorresistente que sean compatibles con el valor patrimonial de la edificación.
- Promover la formación de profesionales especializados en la conservación del patrimonio construido.

- Sensibilizar a la sociedad sobre la importancia de proteger el patrimonio edificado frente a los riesgos sísmicos.

7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener en cuenta en el marco teórico diferentes aspectos, parámetros y procedimientos que servirán como guía para el cumplimiento y el alcance de los objetivos propuestos.

Se sugieren los siguientes pasos enmarcados dentro de la ley y las normas actuales del estado colombiano, para desarrollar la intervención de estructuras patrimoniales:

7.1 Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes Titulo

A.1.3.4 NSR-10 Tabla A.1.3-1

7.1.1 Fase 1: Recopilación de información:

- Identificar y registrar la información documental y gráfica disponible sobre la edificación.
- Realizar un levantamiento arquitectónico y fotográfico.
- Identificar y caracterizar los materiales y las técnicas constructivas.
- Evaluar el estado de conservación de la edificación.

7.1.2 Fase 2: Inspección visual:

- Realizar una inspección visual detallada de la edificación.
- Identificar y registrar las patologías presentes.
- Evaluar la gravedad de las patologías.

7.1.3 Fase 3: Ensayos no destructivos y destructivo:

- Realizar ensayos no destructivos para complementar la información obtenida en las fases anteriores. Para el caso en estudio se llevó a cabo el ensayo de esclerometría.
- Realizar ensayos destructivos en aquellos elementos que sean de nuestra consideración; con el objetivo de determinar la composición y resistencia de los elementos estructurales que conforman la edificación. Para el caso en estudio se realizaron ensayo de extracción de núcleos con sus respectivos ensayos de compresión de cada cilindro.
- Determinar las propiedades mecánicas de los materiales.

- Identificar y evaluar las deficiencias estructurales.

7.1.4 Fase 4: Análisis estructural:

- Realizar un análisis estructural de la edificación.
- Evaluar la capacidad resistente de la edificación frente a las acciones sísmicas.
- Identificar los elementos estructurales más vulnerables.

7.1.5 Fase 5: Informe de evaluación:

- Elaborar un informe de evaluación que documente los resultados de las fases anteriores.
- Presentar las conclusiones y recomendaciones de la evaluación.

7.2 Patrones de diseño de reforzamiento al momento de realizar una intervención:

Los patrones de diseño de reforzamiento sismorresistente son una herramienta importante para proteger a las personas y las propiedades de los daños causados por los terremotos. Al implementar estos patrones, podemos construir estructuras más seguras y resistentes que puedan soportar incluso los terremotos más fuertes. Entre estos encontramos Algunos de los patrones de diseño de reforzamiento sismorresistente más comunes.

7.2.1 Principios generales:

- Mínima intervención.
- Reversibilidad.
- Compatibilidad con los materiales y las técnicas constructivas originales.
- Respeto del valor patrimonial de la edificación.

7.2.2 Técnicas de reforzamiento:

- Reforzamiento de elementos estructurales. Para el caso en estudio los elementos estructurales se reforzaron mediante la utilización de perfiles y columnas

metálicas; las cuales reciben y distribuyen las cargas generadas de las losas de entrepiso a un sistema de cimentación directo e independiente al existente

- Reforzamiento de elementos no estructurales. Dadas las condiciones de la edificación se recomendó el remplazo total de los elementos no estructurales.
- Aislamiento sísmico. Las condiciones de la edificación y el tipo de reforzamiento empleado, hacen innecesario que se implemente técnicas de reforzamiento con aislamiento sísmico.

7.2.3 Materiales y sistemas de reforzamiento:

- Materiales compatibles con los materiales originales.
- Sistemas de reforzamiento reversibles.
- Sistemas de reforzamiento con bajo impacto visual.

7.2.4 Tipologías de edificaciones patrimoniales

A continuación, se presenta una tabla que resume las tipologías de edificaciones patrimoniales, sus características principales, y algunos patrones de diseño de reforzamiento sismorresistente:

Tipología	Características	Patrones de diseño de reforzamiento sismorresistente
Monumentos históricos	* Materiales: Piedra, ladrillo, madera, adobe. * Sistemas constructivos: Muros de carga, bóvedas, arcos, techumbres de madera. * Elementos ornamentales: Fachadas, esculturas, retablos, pinturas.	* Refuerzo de muros de carga con técnicas como cosido de mampostería, encamisado o inyección de grout. * Consolidación de bóvedas y arcos mediante cosido, gunitado o FRP. * Anclaje de elementos ornamentales a la estructura principal. * Refuerzo de techumbres de madera mediante la adición de elementos de acero o madera.
Edificaciones con valor arquitectónico	* Estilos arquitectónicos: Gótico, barroco, neoclásico, modernista, etc. * Materiales: Diversidad de materiales, incluyendo hierro, hormigón armado, vidrio. * Sistemas constructivos: Nuevos sistemas constructivos como estructuras metálicas y de hormigón armado. * Elementos ornamentales: Diversidad de elementos ornamentales según el estilo arquitectónico.	* Refuerzo de estructuras metálicas mediante la adición de perfiles de acero o la aplicación de técnicas de FRP. * Refuerzo de elementos de hormigón armado mediante la adición de hormigón, acero o FRP. * Consolidación de elementos ornamentales con técnicas compatibles con el material original.
Edificaciones con valor testimonial	* Tipologías: Viviendas tradicionales, fábricas, escuelas, hospitales, etc. * Materiales: Materiales tradicionales de la región. * Sistemas constructivos: Sistemas constructivos tradicionales. * Valor patrimonial: Testimonio de formas de vida, procesos históricos o actividades económicas.	* Refuerzo de muros de carga con técnicas compatibles con los materiales y sistemas constructivos tradicionales. * Refuerzo de techumbres tradicionales mediante la adición de elementos de madera o acero. * Consolidación de estructuras de madera mediante la aplicación de técnicas tradicionales o modernas.
Sitios arqueológicos	* Tipos de sitios: Yacimientos arqueológicos, ciudades antiguas, monumentos funerarios, etc. * Materiales: Diversidad de materiales dependiendo del período histórico. * Estructuras: Restos de estructuras arquitectónicas, murallas, tumbas, etc. * Valor patrimonial: Información sobre culturas y civilizaciones del pasado.	* Protección y estabilización de los restos arqueológicos mediante técnicas de excavación y consolidación. * Refuerzo de estructuras arqueológicas mediante técnicas compatibles con el valor patrimonial del sitio. * Implementación de medidas de control de vibraciones para minimizar el impacto de los sismos.

Es importante destacar que esta tabla es solo una referencia general. La selección de los patrones de diseño de reforzamiento sismorresistente debe realizarse en cada caso particular por un profesional especializado en patrimonio edificado. Se deben considerar las características específicas de la edificación, los materiales y las técnicas constructivas originales, el valor patrimonial y el nivel de riesgo sísmico. La aplicación de la guía debe ser flexible y adaptable a la diversidad de tipologías y características de las edificaciones patrimoniales existentes.

7.2.5 Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica debe incluir una amplia selección de publicaciones relevantes sobre el tema del reforzamiento sismorresistente de edificaciones patrimoniales.

7.2.5.1 La revisión bibliográfica debe enfocarse en los siguientes aspectos:

- Las técnicas de reforzamiento sismorresistente más utilizadas para edificaciones patrimoniales.
- Los criterios de selección de las técnicas de reforzamiento.

- Las ventajas y desventajas de cada técnica.
- Los estudios de casos que ilustren la aplicación de las técnicas de reforzamiento.

Es importante que la revisión bibliográfica sea crítica y analice la calidad y confiabilidad de la información.

7.2.5.2 La información obtenida en la revisión bibliográfica debe ser utilizada para:

- Informar el diseño de las soluciones de reforzamiento sismorresistente.
- Seleccionar las técnicas de reforzamiento más adecuadas para cada edificación patrimonial.
- Justificar las decisiones tomadas en el proceso de diseño.

7.2.6 Consulta con expertos

La consulta con expertos en el tema del reforzamiento sismorresistente de edificaciones patrimoniales es fundamental para asegurar la calidad y la eficacia de las soluciones de diseño.

7.2.6.1 Los expertos pueden aportar su conocimiento y experiencia en las siguientes áreas:

- Evaluación del estado de conservación de la edificación.
- Selección de las técnicas de reforzamiento más adecuadas.
- Diseño de las soluciones de reforzamiento.
- Supervisión de las obras de reforzamiento.
- Monitoreo de la edificación después de la intervención.

Los expertos pueden ser consultados de forma individual o colectiva, a través de talleres, seminarios o grupos de trabajo. Es importante que los expertos tengan experiencia en el reforzamiento sismorresistente de edificaciones patrimoniales y que estén familiarizados con las normas y regulaciones locales.

7.2.6.2 La consulta con expertos puede ayudar a:

- Evitar errores en el proceso de diseño y ejecución de las obras de reforzamiento.
- Asegurar la compatibilidad de las soluciones de reforzamiento con el valor patrimonial de la edificación.
- Optimizar el uso de los recursos disponibles.
- Reducir el riesgo de daños a la edificación en caso de un sismo.

7.2.6.3 Algunos ejemplos de expertos que pueden ser consultados:

Ingenieros estructurales con experiencia en el reforzamiento sismorresistente de edificios patrimoniales.

- Arquitectos especializados en la conservación del patrimonio edificado.
- Arqueólogos con experiencia en la excavación y el análisis de estructuras antiguas.
- Historiadores especializados en la arquitectura y la construcción de la época en que se construyó la edificación.
- Especialistas en materiales de construcción y técnicas de construcción tradicionales.

7.2.6.4 Normativa y guías de consulta

- manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado
- manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada
- Manual-de-Evaluación-y-Reforzamiento-Min vivienda en Colombia
- Madera estructural reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)

Es importante que la consulta con expertos sea un proceso continuo a lo largo del proyecto de reforzamiento sismorresistente.

8 DEFINICIONES

Con el ánimo de involucrar a los diferentes profesionales en este ámbito y hacer más extensivo el conocimiento; es fundamental conocer el léxico y lenguaje técnico referentes al tema objeto de esta guía. Por eso hemos decidido incluir las siguientes definiciones:

- **Patrimonio edificado:** Se define una edificación patrimonial como aquella que posee un valor cultural e histórico significativo, lo que la hace merecedora de protección y conservación.
- **Valor patrimonial:** Se deben tener en cuenta las características y valores patrimoniales de la edificación durante todo el proceso de evaluación y reforzamiento.
- **Riesgo sísmico:** Se realiza un análisis estructural para evaluar la capacidad resistente de la edificación frente a las acciones sísmicas.
- **Evaluación del estado de las edificaciones:** Se define como el proceso de análisis y diagnóstico de las condiciones físicas y estructurales de una edificación patrimonial.
- **Reforzamiento sismorresistente:** Se definen como las soluciones técnicas y estrategias de intervención para mejorar la capacidad sísmica de las edificaciones patrimoniales, respetando su valor patrimonial.
- **ADOBE:** El adobe es un tipo de ladrillo sin cocer, elaborado a partir de una mezcla de barro (principalmente arcilla y arena), a la que se suele añadir materiales orgánicos como paja o estiércol para darle mayor resistencia. Esta mezcla se moldea en forma de ladrillo y se seca al sol.

Características principales del adobe:

- **Natural y sostenible:** Al estar hecho de materiales naturales y locales, el adobe es una opción ecológica y sostenible.
 - **Aislante térmico:** Las construcciones de adobe suelen ser muy agradables, ya que mantienen una temperatura interior estable, fresca en verano y cálida en invierno.
 - **Acústico:** El adobe también tiene buenas propiedades acústicas, reduciendo el ruido exterior.
 - **Breathable:** Permite que las paredes "respiren", regulando la humedad interior.
 - **Durable:** Con una construcción adecuada y mantenimiento, las edificaciones de adobe pueden durar muchos años.
- **APAREJO DE MUROS DE ADOBE:** el aparejo de muros de adobe se refiere a la forma en que los adobes se colocan y unen entre sí para formar una estructura sólida y resistente. La elección del aparejo dependerá de varios factores, como el tipo de adobe, el espesor de los muros, las condiciones climáticas y las cargas que soportará la construcción.

Tipos de Aparejos Comunes en Muros de Adobe

- **Aparejo a sogá:** Los adobes se colocan de forma horizontal, como si fueran hiladas de una cuerda. Es un aparejo sencillo y común.
- **Aparejo a tizón:** Los adobes se colocan de canto, es decir, de forma vertical. Este aparejo proporciona mayor resistencia a la compresión.
- **Aparejo holandés:** Combina hiladas de adobes colocados a sogá y a tizón, alternándose. Ofrece una buena resistencia tanto a la compresión como a la flexión.
- **Aparejo inglés:** Similar al holandés, pero con una mayor proporción de adobes colocados a tizón, lo que aumenta la resistencia.
- **Aparejo de cabezada:** Se utilizan adobes de menor tamaño colocados perpendicularmente a las hiladas principales, lo que refuerza las esquinas y los encuentros entre muros.

- **CIELO RASO:** Un cielo raso, también conocido como falso techo o plafón, es una superficie plana y lisa que se instala a una cierta distancia del techo original de un edificio. Esta estructura, generalmente suspendida, crea un espacio entre ella y el techo que permite ocultar instalaciones como tuberías, cables eléctricos, sistemas de ventilación o iluminación.

Funciones principales de un cielo raso:

- **Ocultar elementos:** Disimula elementos estructurales o instalaciones que no se desean mostrar a la vista.
 - **Aislamiento:** Puede mejorar el aislamiento acústico y térmico del ambiente.
 - **Iluminación:** Se pueden incorporar luces empotradas o colgantes para crear diferentes ambientes.
 - **Decoración:** Ofrece una superficie lisa y uniforme que permite aplicar diversos acabados y texturas.
 - **Acústica:** Ayuda a controlar la reverberación del sonido, mejorando la calidad acústica de un espacio.
 - **Protección:** En algunos casos, puede proteger el techo original de humedades o daños.
- **CIMENTACION:** La cimentación es el conjunto de elementos estructurales de un edificio que tienen como función principal transmitir las cargas de la construcción al suelo de forma segura y estable. Es decir, es la base sobre la cual se apoya toda la estructura y que garantiza su estabilidad y durabilidad.

¿Por qué es importante la cimentación?

- **Distribución de cargas:** Reparte el peso de la construcción sobre una superficie mayor, reduciendo la presión sobre el suelo.
- **Estabilidad:** Evita asentamientos diferenciales y garantiza que la estructura no se deforme o se dañe.

- **Resistencia:** Soporta las cargas verticales y horizontales, como el viento o los sismos.
- **CUCHILLA:** es una prolongación vertical del muro no portante de fachada. Esta prolongación, que puede tener una forma similar a la de una cuchilla o culata, se extiende hacia arriba para servir de apoyo a las cerchas del techo.

FUNCIONAMIENTO: Al prolongar el muro de fachada, se crea un elemento estructural adicional que ayuda a distribuir las cargas del techo y a mejorar la estabilidad de la construcción. Las cerchas, que son estructuras triangulares que soportan el peso de la cubierta, se apoyan sobre estas cuchillas, transfiriendo así las cargas hacia los muros de carga principales.

Materiales y Construcción:

- **Materiales:** Generalmente, las cuchillas se construyen con el mismo material que el muro de fachada. Esto garantiza una mayor homogeneidad y continuidad en la estructura.
- **Espesor:** En el caso específico de construcciones de adobe, es común utilizar un espesor menor para las cuchillas en comparación con el muro de fachada inferior. Esto se debe a que las cuchillas no soportan las mismas cargas que el muro principal y, por lo tanto, no requieren una sección tan grande.
- **ENTECHADO:** es una técnica de construcción tradicional, especialmente común en regiones rurales y de clima cálido, que consiste en cubrir un espacio con un techo hecho a base de materiales naturales. El entechado más común implica la utilización de:

- **Caña:** Varas o tallos de plantas acuáticas, como el carrizo o el bambú, que se entrelazan formando una estructura resistente y flexible.
 - **Fibra natural:** Material vegetal como el ixtle o el maguey, utilizado para amarrar y asegurar las cañas entre sí, creando una capa sólida.
 - **Tierra:** Una capa de tierra se coloca sobre la estructura de cañas para proporcionar mayor peso y aislamiento térmico.
 - **Teja de barro cocido:** Las tejas se colocan directamente sobre la capa de tierra, protegiendo el interior de la construcción de la lluvia y el sol.
- **GUADUA:** es un tipo de bambú que crece en América Latina y se ha utilizado tradicionalmente como material de construcción debido a sus excelentes propiedades mecánicas y su abundancia en ciertas regiones.

Características de la Guadua como Material de Construcción:

- **Resistencia y Flexibilidad:** La guadua combina una gran resistencia a la tracción y compresión con una notable flexibilidad, lo que la hace ideal para construir estructuras resistentes a terremotos y otros eventos naturales.
 - **Sostenibilidad:** Es un material renovable y de rápido crecimiento, lo que la convierte en una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente.
 - **Aislamiento térmico y acústico:** La guadua proporciona un buen aislamiento térmico y acústico, lo que contribuye a crear ambientes interiores más confortables.
 - **Versatilidad:** Se puede utilizar para construir una amplia variedad de elementos estructurales, desde vigas y columnas hasta paneles y techos.
 - **Estética:** Su aspecto natural y cálido le confiere un valor estético adicional, permitiendo crear construcciones con un diseño único y atractivo.
- **MUROS CARGUEROS:** Un muro carguero, también conocido como muro portante o muro de carga, es una pared que forma parte integral de la estructura de un edificio y cumple la función de soportar las cargas que se generan en la

construcción. Esto significa que soporta el peso de los pisos superiores, techos, y otros elementos estructurales, transmitiéndolo hacia los cimientos.

Características de los Muros Cargueros

- **Función estructural:** Su principal función es la de soportar cargas y mantener la estabilidad de la edificación.
 - **Material:** Pueden construirse con diversos materiales, como ladrillo, bloque de concreto, piedra, o incluso concreto reforzado.
 - **Espesor:** Generalmente son más gruesos que los muros no portantes, ya que necesitan mayor resistencia para soportar las cargas.
 - **Ubicación:** Se encuentran en posiciones estratégicas dentro de la estructura, formando un esqueleto que sostiene el edificio.
- **MUROS DIVISORIOS:** Un muro divisorio es una pared interior que se utiliza para dividir un espacio en áreas más pequeñas. A diferencia de los muros cargueros, que soportan el peso de la estructura, los muros divisorios no tienen una función estructural primaria.

Características de los Muros Divisorios

- **Función:** Su principal función es separar ambientes, creando diferentes espacios dentro de un mismo lugar.
- **Material:** Pueden construirse con una amplia variedad de materiales, como:
 - **Yeso:** Es uno de los materiales más comunes, ya que es ligero y fácil de trabajar.
 - **Bloque de concreto:** Ofrece mayor resistencia y aislamiento acústico.
 - **Madera:** Se utiliza para crear ambientes más cálidos y rústicos.
 - **Paneles prefabricados:** Son ligeros y fáciles de instalar, ideales para reformas rápidas.

- **Espesor:** Generalmente son más delgados que los muros cargueros, ya que no necesitan soportar grandes cargas.
 - **Ubicación:** Se pueden ubicar en cualquier parte de una edificación, siempre y cuando no interfieran con la estructura principal.
- **MUROS SUPERIORES EN BAHAREQUE:** Los muros superiores en bahareque son aquellos que se construyen por encima de la planta baja de una edificación realizada con esta técnica tradicional. A diferencia de los muros inferiores, que suelen estar en contacto directo con el suelo y cumplen funciones de cimentación, los muros superiores se levantan sobre estos y conforman las paredes de los pisos altos.

Características y Construcción

- **Estructura:** Generalmente, se construyen sobre un entramado de madera o bambú, que actúa como esqueleto. Este entramado se rellena con una mezcla de tierra, arena, estiércol y otros elementos orgánicos, formando así un muro de gran espesor.
- **Revestimientos:** Para proteger el muro de la humedad y mejorar su apariencia, se suelen aplicar revestimientos internos y externos. Estos pueden ser a base de barro, cal, yeso o incluso materiales más modernos como pinturas o revestimientos acrílicos.
- **Aislamiento:** Los muros de bahareque ofrecen un buen aislamiento térmico y acústico, gracias a los materiales naturales utilizados en su construcción.
- **Resistencia:** Aunque son resistentes, los muros superiores de bahareque requieren de cuidados especiales, como evitar el exceso de humedad y protegerlos de golpes.

- **MUROS EN BAHAREQUE:** Los muros de bahareque son una técnica constructiva ancestral que consiste en levantar paredes a base de un entramado de madera o bambú, relleno con una mezcla de tierra, arena y otros elementos orgánicos como estiércol o fibras vegetales. Esta técnica ha sido utilizada durante siglos en diversas culturas, especialmente en zonas rurales, debido a su bajo costo y a la disponibilidad de los materiales en el entorno.

Características y Construcción

- **Estructura:** El entramado de madera o bambú proporciona la estructura principal del muro, soportando el peso de la construcción y distribuyéndolo hacia los cimientos.
 - **Relleno:** La mezcla de tierra, arena y otros elementos orgánicos se introduce en el entramado, creando un muro de gran espesor. Esta mezcla debe tener la humedad adecuada para que se compacte y adquiera resistencia.
 - **Revestimientos:** Para proteger el muro de la humedad y mejorar su apariencia, se suelen aplicar revestimientos internos y externos. Estos pueden ser a base de barro, cal, yeso o incluso materiales más modernos como pinturas o revestimientos acrílicos.
 - **Aislamiento:** Los muros de bahareque ofrecen un buen aislamiento térmico y acústico, gracias a los materiales naturales utilizados en su construcción.
- **NUDILLOS:** Un nudillo, en el contexto de la construcción, es una pieza horizontal de madera que se coloca entre dos pares (vigas inclinadas) de una cubierta. Su función principal es reforzar la estructura, evitando que los pares se comben o pandeen bajo el peso de la cubierta.

¿Cómo funciona un nudillo?

- **Refuerzo estructural:** Al unir los pares a una distancia determinada de la cumbrera, el nudillo crea una especie de triangulación que rigidiza la estructura, distribuyendo las cargas de manera más eficiente.
 - **Prevención de deformaciones:** Evita que los pares se doblen hacia abajo, lo que podría comprometer la estabilidad de la cubierta.
 - **Optimización de materiales:** Al reducir la luz entre los pares, se pueden utilizar piezas de madera de menor sección, lo que resulta en un ahorro de material.
- **PARES:** Un par, en el contexto de la construcción, es una viga inclinada que forma parte fundamental de una cubierta. Junto con otros elementos como los nudillos y las correas, los pares conforman la estructura que soporta el techo y distribuye las cargas hacia los muros.

¿Cuál es la función de un par?

- **Soporte:** Los pares soportan el peso de la cubierta, incluyendo tejas, aislante, y cualquier otra carga adicional.
 - **Inclinación:** Al estar inclinados, permiten que el agua de lluvia escurra fácilmente, evitando filtraciones.
 - **Formación de la estructura:** Junto con otros elementos, los pares forman una estructura triangular que aporta rigidez y estabilidad a la cubierta.
- **SISTEMA DE CIMENTACION EN MUROS DE BAHAREQUE:** El sistema de cimentación en muros de bahareque es la base sobre la cual se construye toda la estructura. Dada la naturaleza del material y la carga que soportará, este sistema debe ser diseñado y construido de manera cuidadosa para garantizar la estabilidad y durabilidad de la edificación.

Características de la Cimentación en Bahareque

- **Adaptación al suelo:** La cimentación debe adaptarse a las características del suelo donde se construirá, considerando su tipo, capacidad de carga y nivel freático.
 - **Materiales naturales:** Se suelen utilizar materiales naturales como piedra, madera o bambú, que son fáciles de encontrar en las zonas donde se construyen edificaciones de bahareque.
 - **Profundidad:** La profundidad de la cimentación dependerá de la altura de los muros y de las cargas que deban soportar.
 - **Ancho:** El ancho de la cimentación debe ser suficiente para distribuir las cargas y evitar asentamientos diferenciales.
- **SOBRECIMENTOS:** Los sobrecimientos son elementos estructurales que se construyen encima de los cimientos para transmitir las cargas de la estructura. Cumplen la función de aislar la construcción de la humedad del terreno y dar un nivel horizontal a la fundación.

Características:

- **Material:** Generalmente se construyen de hormigón armado, aunque también pueden ser de hormigón ciclópeo o ladrillo adobito.
- **Ubicación:** Se colocan sobre los cimientos, a una altura determinada para evitar el contacto directo de los muros con el suelo húmedo.
- **Función:** Distribuyen las cargas de la estructura sobre los cimientos de manera uniforme, evitando asentamientos diferenciales.
- **Aislamiento:** Actúan como barrera contra la humedad ascendente del suelo, protegiendo los muros y los acabados de la construcción.
- **Nivelación:** Proporcionan una superficie horizontal y nivelada para la construcción de los muros, garantizando la estabilidad de la estructura.

- **SOLERAS:** Una solera es una capa de hormigón que se vierte sobre una superficie de suelo o grava compactada. Actúa como una base sólida y nivelada, distribuyendo de manera uniforme el peso de la estructura que se construirá sobre ella.

¿Para qué sirven las soleras?

- **Base sólida:** Proporcionan una plataforma estable y resistente sobre la cual construir.
 - **Distribución de cargas:** Reparten el peso de la construcción de manera uniforme, evitando asentamientos diferenciales.
 - **Aislamiento:** Actúan como barrera contra la humedad ascendente del suelo.
 - **Nivelación:** Crean una superficie plana y horizontal para iniciar la construcción.
- **TAPIA PISADA:** La tapia pisada es una técnica de construcción ancestral que consiste en levantar muros utilizando tierra arcillosa húmeda compactada a mano. Esta técnica ha sido utilizada durante siglos en diversas culturas, especialmente en zonas rurales, debido a la abundancia de tierra y a la sencillez de su ejecución.

¿Cómo se construye una pared de tapia pisada?

- **Preparación de la tierra:** Se selecciona una tierra arcillosa con la humedad adecuada para poder compactarla.
- **Encofrado:** Se construye un encofrado de madera, generalmente de tablas, que delimitará el espesor y la altura de cada tramo de muro.
- **Relleno y compactación:** El encofrado se rellena con capas de tierra, las cuales se compactan golpeando con un pisón de madera. Este proceso se repite hasta alcanzar la altura deseada.
- **Retiro del encofrado:** Una vez que la tierra está suficientemente compactada, se retira el encofrado y se coloca un nuevo tramo.

- **TIRANTES:** Un tirante es un elemento estructural, generalmente una barra metálica o de madera, que se utiliza para resistir fuerzas de tracción. Es decir, los tirantes soportan cargas que tienden a estirarlos.

¿Cuál es la función de un tirante?

- **Estabilización:** Los tirantes se utilizan para estabilizar estructuras, evitando que se deformen o colapsen bajo la acción de fuerzas externas como el viento o el peso propio.
 - **Refuerzo:** Pueden reforzar elementos estructurales existentes, como vigas o columnas, aumentando su capacidad de carga.
 - **Contención:** Se emplean para contener elementos que tienden a expandirse, como los arcos o las bóvedas.
 - **Suspensión:** En ocasiones, los tirantes se utilizan para suspender elementos, como techos o puentes colgantes.
- **UNIONES DE VIGAS CORONA-VIGA CARGUERA:** Las uniones de viga corona - viga carguera son los puntos críticos donde se conectan dos elementos estructurales fundamentales en un sistema constructivo tradicional. Estas uniones son responsables de transmitir las cargas de las vigas cargueras (que soportan el peso del entrepiso o cubierta) hacia las vigas corona (que a su vez distribuyen esas cargas a los muros).

¿Qué son las vigas corona y las vigas cargueras?

- **Vigas corona:** Son elementos estructurales que se colocan sobre los muros cargueros y sirven como apoyo directo a las vigas cargueras. Transmiten tanto cargas verticales como horizontales a los muros.
- **Vigas cargueras:** Se extienden entre los muros cargueros y soportan el peso del entrepiso o cubierta.

- **UNIONES ENTRE VIGAS CORONA EN ESQUINAS:** Las uniones entre vigas corona en esquinas son los puntos donde dos vigas corona se encuentran y conectan, formando un ángulo de 90 grados o más. Estas uniones son cruciales para la estabilidad y rigidez de toda la estructura, ya que transmiten las cargas de una viga a otra y ayudan a resistir fuerzas laterales como el viento o los sismos.

Importancia de las Uniones en Esquinas

- **Transmisión de cargas:** Las uniones en esquinas deben ser capaces de transmitir las cargas de una viga a otra de manera eficiente y segura.
 - **Rigidez:** Estas uniones contribuyen a la rigidez general de la estructura, evitando deformaciones excesivas.
 - **Resistencia a fuerzas laterales:** Ayudan a la estructura a resistir fuerzas laterales, como el empuje del viento o las fuerzas sísmicas.
- **VIGAS CARGUERAS DE ENTREPISO:** Una viga carguera de entrepiso es un elemento estructural horizontal, generalmente de madera, acero o concreto, diseñado para soportar las cargas que se generan en un piso. Estas cargas pueden ser el peso propio del piso, el mobiliario, las personas que circulan por él, y cualquier otra carga adicional como equipos o maquinaria.

¿Cuál es su función principal?

- **Distribuir las cargas:** Las vigas cargueras recogen las cargas que se generan en el piso y las distribuyen hacia los elementos estructurales verticales, como columnas o muros, que soportan el edificio.
- **Formar el esqueleto del piso:** Junto con las vigas corona y los elementos de relleno (losas, bovedillas, etc.), las vigas cargueras conforman el esqueleto del piso, brindándole rigidez y resistencia.

- **VIGAS CORONA DE ENTREPISO:** Las vigas corona de entrepiso son elementos estructurales horizontales que se colocan en la parte superior de los muros, formando una especie de cinturón que rodea toda la edificación. Su función principal es recibir las cargas de las vigas cargueras y transmitir las a los muros, asegurando así la estabilidad y resistencia del entrepiso.

¿Cuál es su función principal?

- **Recibir cargas:** Las vigas corona reciben las cargas provenientes de las vigas cargueras, que a su vez soportan el peso del entrepiso y las cargas vivas (personas, mobiliario, etc.).
 - **Distribuir cargas:** Las cargas recibidas se distribuyen a lo largo de la viga corona y se transmiten a los muros, reduciendo las tensiones en puntos específicos.
 - **Formar un diafragma rígido:** Junto con las vigas cargueras y los elementos de relleno, las vigas corona forman un diafragma rígido que ayuda a la estructura a resistir fuerzas laterales como el viento o los sismos.
- **VIGAS CORREAS:** Las vigas correas son elementos estructurales horizontales que, junto con las vigas principales, forman el esqueleto de un entrepiso. Su función principal es distribuir las cargas que se generan en el piso hacia las vigas principales, las cuales a su vez las transmiten a los elementos estructurales verticales como columnas o muros.

¿Cuál es su función principal?

- **Distribución de cargas:** Las vigas correas recogen las cargas que se generan en el piso (peso propio, cargas vivas, etc.) y las distribuyen a las vigas principales, disminuyendo la distancia entre puntos de apoyo y reduciendo las deflexiones.

- **Aumento de la rigidez:** Al trabajar en conjunto con las vigas principales, aumentan la rigidez del entrepiso, mejorando su comportamiento frente a cargas laterales como el viento o los sismos.
 - **Soporte para elementos de relleno:** Sirven de apoyo para los elementos de relleno del piso, como losas, bovedillas o paneles prefabricados, que conforman la superficie del piso.
- **VIGAS CUMBRERA:** Una viga cumbrera es un elemento estructural horizontal que se ubica en la parte superior de un techo, a lo largo de su línea más alta. Actúa como la columna vertebral del techo, soportando las cargas provenientes de la cubierta y transmitiéndolas a las paredes o muros exteriores.

Funciones Principales de una Viga Cumbrera:

- **Soporte de la cubierta:** La viga cumbrera es el elemento principal que soporta el peso de la cubierta, incluyendo tejas, láminas o cualquier otro material utilizado para cubrir el techo.
- **Distribución de cargas:** Las cargas que recibe la cubierta se distribuyen a lo largo de la viga cumbrera y se transmiten a las paredes o muros, asegurando así la estabilidad de toda la estructura.
- **Rigidez:** La viga cumbrera contribuye a la rigidez del techo, ayudando a resistir fuerzas laterales como el viento o los sismos.
- **Estética:** En algunos casos, la viga cumbrera puede tener una función estética, formando parte del diseño arquitectónico del edificio.

8.1 Características de las edificaciones patrimoniales:

Las características que distinguen a una edificación patrimonial son diversas y dependen de cada caso particular. Sin embargo, algunas de las características más comunes son.

8.1.1 Materiales y sistemas constructivos:

Las edificaciones patrimoniales suelen estar construidas con materiales y técnicas tradicionales. Estos materiales y técnicas pueden ser específicos de una región o época determinada, y pueden tener un valor cultural e histórico en sí mismos.

8.1.2 Tipologías estructurales:

A continuación, se describen algunas de las tipologías estructurales más comunes en las edificaciones patrimoniales:

8.1.2.1 Muros de carga:

- Sistema predominante en la antigüedad y la Edad Media.
- Los muros soportan el peso de la edificación y la cubierta.
- Materiales: piedra, adobe, ladrillo, tapial.
- Ejemplos: templos griegos, iglesias románicas, casas rurales.

8.1.2.2 Entramado de madera:

- Sistema utilizado principalmente en Europa desde la Edad Media hasta el siglo XIX.
- Estructura de madera que soporta el peso de la cubierta.
- Muros no portantes, generalmente de ladrillo o yeso.
- Ejemplos: casas de entramado de madera, graneros, iglesias góticas.

8.1.2.3 Bóvedas:

- Elemento estructural que cubre espacios de forma curva.
- Tipos: de cañón, de arista, gallonadas, etc.
- Materiales: piedra, ladrillo, hormigón.
- Ejemplos: iglesias romanas, palacios renacentistas, catedrales góticas.

8.1.2.4 Arcos:

- Elementos estructurales curvos que soportan el peso de la edificación.
- Tipos: de medio punto, apuntados, peraltados, etc.
- Materiales: piedra, ladrillo, madera.
- Ejemplos: puentes romanos, acueductos, catedrales góticas.

8.1.2.5 Sistemas de pilares y vigas:

- Sistema utilizado principalmente en la arquitectura moderna.
- Los pilares soportan el peso de la edificación y las vigas transmiten la carga a los pilares.
- Materiales: hormigón, acero, madera.
- Ejemplos: edificios de oficinas, rascacielos, naves industriales

8.1.3 Elementos ornamentales:

Los elementos ornamentales son una parte integral de las edificaciones patrimoniales, ya que enriquecen su estética y aportan información sobre su época de construcción, estilo arquitectónico, función original y contexto cultural. Estos elementos pueden ser de diversos tipos y materiales, y se encuentran tanto en el exterior como en el interior de las edificaciones.

8.2 Amenazas sísmicas

Las edificaciones patrimoniales se encuentran en una situación de mayor vulnerabilidad frente a los sismos en comparación con las construcciones modernas.

8.2.1 Peligro sísmico:

Esto se debe a varios factores

- **Grietas y daños estructurales:** Los sismos pueden provocar grietas en las paredes, techos y otros elementos estructurales, debilitando la edificación.

- **Colapsos parciales o totales:** En sismos de gran magnitud, las edificaciones patrimoniales pueden sufrir colapsos parciales o totales.
- **Daños a los elementos ornamentales:** Los elementos ornamentales como esculturas, frisos o vidrieras pueden ser especialmente vulnerables a los daños por sismos.

8.2.2 Vulnerabilidad sísmica

- **Análisis histórico:** Estudio de la historia de la edificación, sus modificaciones y reformas.
- **Análisis estructural:** Evaluación de la capacidad resistente de la edificación frente a las acciones sísmicas.
- **Análisis del terreno:** Estudio de las características del terreno donde se encuentra la edificación.

8.2.3 Riesgo sísmico

- **La intensidad sísmica de la zona:** Las zonas con mayor actividad sísmica representan un mayor peligro para las edificaciones patrimoniales.
- **Las características del terreno:** Las edificaciones ubicadas en terrenos inestables o con riesgo de licuefacción son más vulnerables a los sismos.
- **Las características de la edificación:** Las edificaciones con mayor antigüedad, materiales más frágiles o diseños menos resistentes son más vulnerables a los sismos.

9 CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS EDIFICACIONES

9.1 Inspección visual

Es importante realizar inspecciones visuales periódicas para detectar y evaluar los daños en su fase inicial, evitando así su progresión y la necesidad de intervenciones más costosas.

La inspección visual debe ser complementada con otros métodos de evaluación, como ensayos no destructivos, análisis estructurales y estudios históricos.

La combinación de diferentes métodos de evaluación permite obtener una imagen completa del estado de conservación de la edificación y tomar decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias.

A continuación, se presentan algunos consejos para realizar una inspección visual efectiva:

- Utilizar una buena iluminación.
- Observar la edificación desde diferentes ángulos.
- Prestar atención a los detalles.
- Tomar fotografías de los daños y deterioros.
- Registrar la información de forma precisa.
- Ser objetivo en la evaluación.

9.2 Revisión documental:

La revisión documental nos permitirá conocer a fondo las modificaciones a través del tiempo, entre las más usuales tenemos.

- Se revisa la documentación histórica de la edificación, como planos, fotografías e informes de inspección anteriores.

- Esta información permite conocer la historia de la edificación, sus modificaciones y reformas, y su estado de conservación en el pasado.

9.3 Inspección exterior:

En la inspección visual exterior podemos evaluar el estado actual que se encuentran los diferentes tipos de fachadas, entre los cuales podemos observar.

- Se observa la fachada de la edificación, incluyendo los muros, las ventanas, las puertas, los elementos ornamentales y la cubierta.
- Se buscan daños como grietas, fisuras, desprendimientos, deformaciones, humedades, etc.

9.4 Inspección interior:

Al igual que la inspección exterior también se realiza una inspección interior que no permite evaluar el estado actual de la estructura, pudiendo evaluar

- Se observan los muros, los techos, los suelos, las escaleras, las columnas, las vigas y otros elementos estructurales.
- Se buscan daños como grietas, fisuras, desprendimientos, deformaciones, humedades, pudrición de la madera, etc.

9.5 Registro de los daños:

Al registrar los daños nos permite tener información organizada para caso observado en el estado de la edificación tales como.

- Se documentan los daños y deterioros observados mediante fotografías, dibujos y descripciones detalladas.
- Se debe indicar la ubicación, la magnitud y la gravedad de cada daño.

9.6 Evaluación del estado de conservación:

La evaluación de los daños nos va a permitir realizar una propuesta de reforzamiento que no comprometa la integridad de la edificación; se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Se analiza la información recopilada para determinar el estado de conservación de la edificación.
- Se clasifican los daños según su gravedad y se establecen las prioridades de intervención.

9.7 Informe de inspección:

- Se elabora un informe que describe los daños y deterioros observados, las causas probables de los daños y las recomendaciones para la intervención.

9.8 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos (END) son un conjunto de técnicas que permiten evaluar las propiedades y el estado de conservación de los materiales de una edificación sin causar daños a la misma.

Los ensayos más utilizados para este tipo de edificaciones son los siguientes:

9.8.1 Ultrasonidos:

- Se basa en la emisión y recepción de ondas ultrasónicas para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, como la elasticidad, la densidad y la resistencia.
- Se utiliza para detectar grietas, delaminaciones, huecos y otros defectos en materiales como el hormigón, la piedra y la madera.

9.8.2 Radiografía:

- Se basa en la emisión de rayos X para obtener imágenes del interior de los materiales.
- Se utiliza para detectar defectos internos como grietas, huecos, inclusiones y corrosiones en materiales como el hormigón, la piedra y el metal.

9.8.3 Termografía:

- Se basa en la medición de la temperatura superficial de los materiales para detectar diferencias de temperatura que pueden indicar la presencia de defectos o problemas estructurales.
- Se utiliza para detectar humedades, fugas de aire, problemas de aislamiento térmico y otros problemas en materiales como el hormigón, la piedra y la madera.

9.8.4 Georradar:

- Se basa en la emisión de ondas electromagnéticas para obtener imágenes del subsuelo.
- Se utiliza para detectar cimientos, estructuras enterradas, arqueología, etc.

9.8.5 Endoscopia:

- Se basa en la introducción de una cámara miniatura en el interior de los materiales para obtener imágenes de las zonas inaccesibles.
- Se utiliza para detectar grietas, delaminaciones, huecos y otros defectos en materiales como el hormigón, la piedra y la madera.

9.9 Principios generales

Los principios generales que rigen los patrones de diseño de reforzamiento sismorresistente son:

9.9.1 Incrementar la capacidad resistente:

- Aumentar la resistencia de los elementos estructurales como las columnas, las vigas y los muros.
- Agregar elementos de refuerzo como arriostramientos, diagonales y contrafuertes.
- Utilizar materiales de alta resistencia como el hormigón armado o el acero.

9.9.2 Mejorar la ductilidad:

- Permitir que la estructura se deforme en cierta medida antes de fallar.
- Utilizar materiales dúctiles como el acero o el hormigón con fibras.
- Diseñar detalles constructivos que permitan la disipación de energía en caso de un sismo.

9.9.3 Confirmar la integridad del sistema:

- Asegurar que todos los elementos de la estructura trabajen juntos para resistir las fuerzas sísmicas.
- Conectar adecuadamente los elementos nuevos a los existentes.
- Considerar la interacción entre la estructura y el terreno.

9.9.4 Minimizar la intervención:

- Utilizar técnicas de reforzamiento que sean reversibles y que no afecten el valor patrimonial de la edificación.
- Priorizar la intervención en los elementos más críticos para la seguridad estructural.

- Seleccionar materiales y técnicas compatibles con los materiales originales de la edificación.

9.9.5 Considerar el contexto:

- Adaptar el diseño del reforzamiento a las características específicas de la edificación como su tipología estructural, su antigüedad y su estado de conservación.
- Tener en cuenta las condiciones del terreno y la amenaza sísmica de la zona.
- Considerar las necesidades de los usuarios y el uso previsto de la edificación.

9.10 Técnicas de reforzamiento

Las técnicas de reforzamiento en edificaciones patrimoniales son un conjunto de estrategias y soluciones que se implementan para mejorar la capacidad estructural de estas construcciones frente a las acciones de carga y los sismos, sin afectar su valor histórico y cultural.

Las técnicas de reforzamiento se pueden clasificar en dos categorías principales que se mencionaron

9.10.1.1 Técnicas de intervención puntual:

- **Inyección de grietas:** Se inyectan materiales especiales en las grietas para consolidar la estructura.
- **Confinamiento de muros:** Se instalan elementos de refuerzo como bandas de acero o fibra de carbono para aumentar la resistencia de los muros.
- **Refuerzo de cimientos:** Se mejora la capacidad de carga de los cimientos para evitar el hundimiento de la edificación.

- **Reemplazo de elementos puntuales:** Se reemplazan elementos estructurales dañados por nuevos elementos con mayor capacidad resistente.

9.10.1.2 Técnicas de intervención global:

- **Instalación de aisladores sísmicos:** Se instalan dispositivos que absorben las vibraciones sísmicas y protegen la edificación.
- **Adición de arriostramientos:** Se instalan elementos diagonales para mejorar la rigidez lateral de la estructura.
- **Refuerzo de la conexión entre los elementos estructurales:** Se mejora la conexión entre las columnas, las vigas y los muros para asegurar que la estructura funcione como un sistema único.
- **Aumento de la sección transversal de elementos:** Se aumenta el tamaño de las columnas, vigas o muros para mejorar su capacidad resistente.

Es importante que las técnicas de reforzamiento sean:

- **Compatibles con los materiales originales:** Se deben utilizar materiales que sean compatibles con los materiales originales de la edificación para evitar daños o deterioros a largo plazo.
- **Reversibles:** Las técnicas de reforzamiento deben ser reversibles en la medida de lo posible para permitir la restauración de la edificación a su estado original en caso de ser necesario.
- **Respetuosas con el valor patrimonial:** Las técnicas de reforzamiento no deben afectar el valor histórico y cultural de la edificación.

9.11 Materiales y sistemas de reforzamiento

A continuación, se presentan algunos de los materiales y sistemas de reforzamiento más utilizados en las edificaciones patrimoniales

9.11.1 *Materiales:*

- **Fibra de carbono:** Se utiliza para el confinamiento de muros y el refuerzo de vigas y columnas. Es un material ligero, resistente y flexible que no afecta la estética de la edificación.
- **Acero:** Se utiliza para la instalación de bandas de refuerzo, arriostramientos y otros elementos estructurales. Es un material resistente y durable que puede ser compatible con diferentes tipos de estructuras.
- **Morteros especiales:** Se utilizan para la inyección de grietas y la consolidación de estructuras de mampostería. Estos morteros tienen propiedades de alta resistencia y adhesión.
- **Madera:** Se utiliza para la reparación de elementos estructurales de madera, como vigas y pilares. Es un material tradicional que puede ser compatible con las estructuras existentes.

9.11.2 *Sistemas:*

- **Aisladores sísmicos:** Se instalan en la base de la edificación para absorber las vibraciones sísmicas y protegerla de los efectos de un sismo.
- **Amortiguadores de vibraciones:** Se instalan en elementos estructurales específicos para disipar la energía sísmica y reducir el riesgo de daños.
- **Sistemas de arriostramiento:** Se instalan para mejorar la rigidez lateral de la estructura y aumentar su capacidad para resistir las fuerzas sísmicas.

La selección y aplicación de los materiales y sistemas de reforzamiento debe ser realizada por profesionales especializados en ingeniería sísmica y en la conservación del patrimonio edificado. Los cuales se basan en el estudio previo de la edificación para determinar los materiales y sistemas de reforzamiento más adecuados y asegurar que las intervenciones

sean compatibles con los materiales originales y respetuosas con el valor patrimonial de la edificación.

9.12 Patrones de diseño de reforzamiento

Los patrones de diseño de reforzamiento son soluciones estandarizadas y probadas que se utilizan para fortalecer y mejorar el comportamiento estructural de elementos de concreto armado, metálicas, madera, adobe, bahareque, roca en proyectos de construcción. Estos patrones proporcionan una guía valiosa para los ingenieros y diseñadores al momento de abordar desafíos estructurales comunes y garantizar la seguridad y confiabilidad de las estructuras.

9.12.1 Reforzamiento de elementos estructurales

- **Refuerzo longitudinal:** Se colocan barras de acero longitudinales a lo largo del eje de la columna para resistir las cargas axiales y los momentos flectores.
- **Refuerzo transversal:** Se colocan aros o espirales de acero alrededor de la columna para confinar el concreto y evitar su pandeo.
- **Refuerzo de arranque:** Se colocan barras de acero adicionales en la base de la columna para transferir las cargas a la cimentación.
- **Refuerzo flexional:** Se colocan barras de acero longitudinales a lo largo del eje de la viga para resistir los momentos flectores causados por las cargas.
- **Refuerzo cortante:** Se colocan barras de acero transversales, como estribos o diagonales, para resistir las fuerzas cortantes que actúan sobre la viga.
- **Refuerzo de anclaje:** Se colocan barras de acero adicionales en los extremos de la viga para transferir las cargas a los soportes.

- **Refuerzo positivo:** Se colocan barras de acero en la parte inferior de la losa para resistir los momentos flectores positivos causados por las cargas.
- **Refuerzo negativo:** Se colocan barras de acero en la parte superior de la losa para resistir los momentos flectores negativos causados por las cargas.
- **Refuerzo de borde:** Se colocan barras de acero adicionales alrededor del perímetro de la losa para controlar las grietas y mejorar la rigidez.
- **Refuerzo vertical:** Se colocan barras de acero verticales para resistir las cargas axiales y los momentos flectores.
- **Refuerzo horizontal:** Se colocan barras de acero horizontales para distribuir las cargas y controlar las grietas.
- **Refuerzo de borde:** Se colocan barras de acero adicionales alrededor del perímetro del muro para mejorar la rigidez y controlar las grietas.
- **Refuerzo de base:** Se colocan barras de acero en la base de la cimentación para distribuir las cargas y controlar las grietas.
- **Refuerzo de vigas de cimentación:** Se colocan barras de acero en las vigas de cimentación para resistir los momentos flectores y las fuerzas cortantes.
- **Refuerzo de zapatas:** Se colocan barras de acero en las zapatas para distribuir las cargas y controlar las grietas.
- **Placas de refuerzo:** Se utilizan placas de acero adicionales que se soldan o atornillan a la estructura metálica existente para aumentar su sección transversal y su capacidad de carga.
- **Perfiles tubulares:** Se pueden incorporar perfiles tubulares de acero dentro de los elementos existentes o como elementos adicionales para reforzar zonas críticas de la estructura.

- **Refuerzos con barras de acero:** Se colocan barras de acero adicionales soldadas o atornilladas a la estructura metálica para aumentar su resistencia a la tensión, la compresión o el corte.
- **Refuerzos con mallas de alambre:** Se emplean mallas de alambre de acero soldadas a la estructura metálica para controlar las grietas y mejorar la adherencia entre el concreto y el acero en estructuras compuestas.
- **Refuerzos con fibra de carbono:** Los refuerzos con fibra de carbono, en forma de láminas o barras, ofrecen alta resistencia, rigidez y peso ligero, siendo una alternativa eficaz para el refuerzo de estructuras metálicas.

9.12.2 Reforzamiento de elementos no estructurales

- **Anclajes:** Se utilizan anclajes metálicos para fijar los elementos no estructurales a la estructura principal de la edificación, mejorando su capacidad de resistir las cargas y evitando su desprendimiento.
- **Refuerzos con barras de acero:** Se colocan barras de acero dentro de los elementos no estructurales, como mampostería o paneles de yeso, para aumentar su resistencia a la flexión, el corte y la compresión.
- **Refuerzos con fibra de carbono (FRP):** Las láminas o tejidos de fibra de carbono se adhieren a la superficie de los elementos no estructurales con resinas epoxi, aumentando su resistencia a la flexión, el corte y la tracción.
- **Refuerzos con madera laminada:** Se utilizan piezas de madera laminada, compuestas por varias capas de madera unidas con adhesivos, para reemplazar o reforzar elementos no estructurales de madera existentes.
- **Refuerzos con mallas de alambre:** Se emplean mallas de alambre de acero soldadas a los elementos no estructurales para controlar las grietas y mejorar la adherencia entre el concreto y el acero en estructuras compuestas.

9.13 Ejemplo Aplicación de Materiales y sistemas de reforzamiento

- **Barras de acero:** Se utilizan para reforzar el concreto, aumentando su resistencia a la tracción y la compresión.

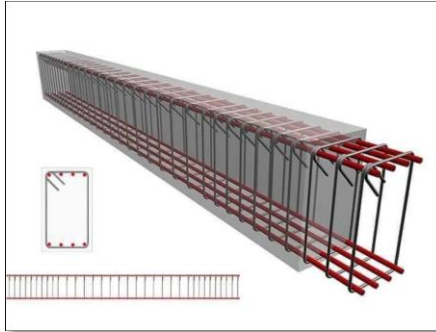


IMAGEN 1 Barras de acero para refuerzo de concreto

- **Mallas electrosoldadas:** Controlan las grietas en el concreto y el mortero mejorando la adherencia entre el concreto, mortero y el acero.



IMAGEN 2 Mallas electrosoldadas para refuerzo de mampostería

- **Perfiles de acero:** Se emplean para reforzar estructuras, aumentando su resistencia a la flexión, el corte y la compresión.



IMAGEN 3 Perfiles de acero para refuerzo de estructuras

- **Acero en losas de concreto:** Se utilizan para reforzar estructuras de concreto reforzado y metálicas, aumentando su capacidad de carga y rigidez.



IMAGEN 4 Placas de acero para refuerzo de estructuras

- **Láminas de FRP:** Se adhieren a la superficie de estructuras de hormigón armado, madera o metálicas, aumentando su resistencia a la flexión, el corte y la tracción.



IMAGEN 5 Láminas de FRP para refuerzo de estructuras

- **Barras de FRP:** Se utilizan como alternativa a las barras de acero en estructuras de concreto reforzado, ofreciendo mayor resistencia a la corrosión y menor peso.



IMAGEN 6 Barras de FRP para refuerzo de estructuras

- **Piezas de madera laminada:** Se utilizan para reemplazar o reforzar elementos estructurales de madera existentes, aumentando su resistencia y rigidez.



IMAGEN 7 Piezas de madera laminada para refuerzo de estructuras

- **Paneles de concreto prefabricado:** Se utilizan para construir muros, losas y otras estructuras, ofreciendo rapidez de construcción y alta resistencia.



IMAGEN 8 Paneles de concreto prefabricado para refuerzo de estructuras

- **Tendones de acero:** Se tensan después del vaciado del hormigón, comprimiendo el concreto y aumentando su capacidad de carga.



IMAGEN 9 Sistemas de postensado para refuerzo de estructuras

10 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Ver documento adjunto a este texto donde se presenta una guía.

11 CONCLUSIONES

En el ámbito de la edificación patrimonial, la evaluación y el reforzamiento estructural constituyen pilares fundamentales para garantizar la conservación y el uso seguro de estas valiosas estructuras. A través de un enfoque integral que abarca desde la inspección visual hasta el análisis estructural detallado, se puede determinar con precisión las intervenciones necesarias para preservar el legado histórico y arquitectónico, adaptándolo a las demandas actuales y futuras.

La presente investigación ha puesto de manifiesto la importancia de considerar diversos patrones de diseño en el proceso de reforzamiento estructural. El dimensionamiento adecuado en los ejes X, Y y alturas, en concordancia con el Título E de la NSR-10, resulta crucial para garantizar la estabilidad y resistencia de la edificación. La inspección visual, por su parte, permite identificar indicios de deterioro y posibles áreas de intervención, sentando las bases para un diagnóstico preciso del estado físico de la estructura.

Esta propuesta de guía para la rehabilitación estructural de edificaciones patrimoniales construidas en muros en bahareque es una herramienta valiosa para:

- Destacar la importancia de preservar el valor patrimonial de estas edificaciones, lo cual implica encontrar soluciones que garanticen su estabilidad sin alterar su carácter original.
- Reconocer la importancia de estar al día con las últimas novedades en el campo de la ingeniería estructural.
- Ofrece una introducción clara y accesible al tema del refuerzo estructural en edificaciones de bahareque para Estudiantes y profesionales.
- Proporciona lineamientos prácticos para la aplicación de técnicas de reforzamiento.

- Ayuda a comprender las particularidades del bahareque y a encontrar soluciones que combinen seguridad y respeto por la tradición a los Conservadores del patrimonio.

En definitiva, podríamos concluir que la evaluación y el reforzamiento estructural de la edificación patrimonial representan un desafío que exige un enfoque multidisciplinario y especializado. La aplicación de metodologías rigurosas, técnicas de vanguardia y materiales adecuados permite conjugar la conservación del patrimonio con las necesidades actuales y futuras, garantizando la seguridad y el disfrute de estas valiosas estructuras para las generaciones venideras.

Con el desarrollo de esta guía esperamos contribuir de manera didáctica y practica la forma como se deben intervenir las edificaciones de uso patrimonial para la debida conservación arquitectónica, histórica y cultural que tienen incidencia en la sociedad; de tal manera que se cumpla con normativa vigente y con las técnicas que exige la norma NSR-10. Sobre todo, lograr crear conciencia sobre la importancia que tiene el buen uso y la conservación de este tipo de edificaciones.

Los resultados de los ensayos aportan información crucial para evaluar la condición de la estructura y tomar decisiones informadas sobre su seguridad y durabilidad. A continuación, se detalla cómo cada resultado contribuye a esta evaluación:

Martillo de rebote en viga aérea:

- Indicador de la calidad del concreto: Un valor de rebote inferior al mínimo establecido indica que el concreto de la viga aérea presenta una baja densidad y/o una alta porosidad. Esto puede ser consecuencia de una mala mezcla, curado inadecuado o la presencia de agregados de baja calidad.

- **Riesgo de deterioro:** La baja densidad y porosidad del concreto lo hacen más susceptible a la penetración de agua, lo cual puede acelerar procesos de corrosión de las armaduras y deterioro del concreto por carbonatación.

Núcleos a compresión simple en viga de cimentación:

- **Resistencia a compresión:** Un valor de resistencia a compresión inferior al mínimo establecido indica que la viga de cimentación no tiene la capacidad de resistir las cargas a las que está sometida. Esto puede deberse a una mala dosificación del concreto, curado inadecuado, sobrecarga o deterioro por algún tipo de ataque químico.
- **Estabilidad de la estructura:** La baja resistencia de la viga de cimentación puede comprometer la estabilidad de toda la estructura, especialmente en zonas sísmicas.

muestras de suelos a los muros en bahareque:

Se ha encontrado que los muros de bahareque analizados presentan un alto contenido de caliza y materia orgánica. El Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado nos proporciona las herramientas para comprender las implicaciones de estos hallazgos.

- **Reemplazo del Material:** Se recomienda reemplazar el material de relleno afectado por uno que cumpla con los requisitos establecidos en el manual, es decir, un material limpio, sin presencia de impurezas como caliza y materia orgánica.
- **Refuerzo Estructural:** Si el daño es localizado, se pueden considerar soluciones de refuerzo como la aplicación de mallas de refuerzo o la colocación de elementos estructurales adicionales.

- **Monitoreo Continuo:** Es fundamental realizar un monitoreo continuo de la estructura para detectar a tiempo cualquier signo de deterioro y tomar las medidas correctivas necesarias.
- **Diseño Adecuado:** En caso de construir nuevos muros de bahareque, es esencial seguir las recomendaciones del manual y utilizar materiales de calidad para garantizar la durabilidad y resistencia de la estructura.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ICOMOS: <https://www.icomos.org/en>: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios
- UNESCO: <https://www.unesco.org/en>: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
- World Heritage Convention: <https://whc.unesco.org/en/convention/>: Convención del Patrimonio Mundial
- ICCROM: <https://www.iccrom.org/>: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales
- Getty Conservation Institute: <https://www.getty.edu/conservation/>: Instituto de Conservación Getty
- World Seismic Safety Initiative: <https://www.globalquakemodel.org/>: Iniciativa Mundial de Seguridad Sísmica

Libros:

- "Seismic Design of Monuments and Historic Buildings" de John A. Blume y Robert L. Sharpe (1994)
- "Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings" de **James R. Griffith y James L. MacRae (1997)**
- "The Getty Conservation Institute's Seismic Retrofit Manual for Historic Buildings" (2011)
- Dibam, Memoria, cultura y creación. Lineamientos políticos. Documento, Santiago, 2005 pagina 6 de este documento

Artículos en revistas científicas:

- "Seismic Retrofitting of Heritage Buildings: A State-of-the-Art Review" de A.K. Chopra y R.T. D'Souza (2014)
- "Principles and Practice of Seismic Retrofitting of Existing Buildings" de S.K. Jain y A.K. Jain (2016)
- "Recent Advances in Seismic Retrofitting of Reinforced Concrete Buildings" de M.J.N. Priestley y G.M. Calvi (2017)

Informes técnicos:

- "Guidelines for Seismic Retrofitting of Existing Buildings" de la International Association for Earthquake Engineering (IAEE) (2007)
- "Recommendations for the Seismic Assessment of Existing Buildings" del European Committee for Standardization (CEN) (2010)
- "Technical Guidance for the Seismic Assessment and Retrofit of Heritage Buildings" del New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE) (2017)

Guías y normas.

- manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado
- manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada
- Manual de Evaluación y Reforzamiento-Min vivienda en Colombia
- Manual de madera estructural aplicando el método de los esfuerzos admisibles ing. Basilio j.
- Norma sismo resistente NSR-10