

**TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES PATRIMONIALES PARA MAMPOSTERÍAS DE ADOBE PARA UNA CORRECTA INTERVENCIÓN**  
**STRUCTURAL REINFORCEMENT TECHNIQUES IN HERITAGE BUILDINGS FOR ADOBE MASONRY FOR A CORRECT INTERVENTION**

**Ángel Silva Cascante<sup>1</sup>**

Colegio de Arquitectos, Ecuador

([angelsilvac@hotmail.com](mailto:angelsilvac@hotmail.com)) (<https://orcid.org/0000-0002-7600-1320>)

**Guadalupe del Rosario Uría Cevallos**

Colegio de Arquitectos, Ecuador

([guadalupeuriac@gmail.com](mailto:guadalupeuriac@gmail.com)) (<https://orcid.org/0000-0002-1814-1632>)

---

**Información del manuscrito:**

**Recibido/Received:** 22/04/2024

**Revisado/Reviewed:** 24/09/2024

**Aceptado/Accepted:** 18/02/2025

---

**RESUMEN**

**Palabras claves:**

morteros, mucilago, cal, llaves, inyecciones.

Esta investigación muestra un procedimiento de reforzamiento estructural aplicable a edificaciones patrimoniales con muros de adobe afectados por fisuras, la intervención se realiza mediante el uso de materiales y técnicas tradicionales como: cal, barro, paja de monte y mucilago de nopal para morteros e inyecciones. La metodología que se aplicó tiene un enfoque cuantitativo que se focaliza en un diseño experimental y se aplicó en este reforzamiento estructural para recuperar los mampuestos afectados por fisuras producidas por asentamientos, movimientos sísmicos o fatiga de los materiales en el muro, provocando que este pierda su capacidad de resistencia mecánica, como: la compresión, flexión y tracción, esto indica que se debe devolver las características mecánicas originales del mampuesto. Para este reforzamiento estructural se realizaron los siguientes pasos: verificar el daño que afecta al muro, luego se investigó la presencia o no de pintura mural sobre los enlucidos, en este caso no se encontró pintura de valor, lo que permitió retirar el aplanado para determinar el tipo de afectación, se localizó una fisura que cortó todo el ancho del muro, debiéndose verificar su longitud y profundidad. Luego se identificaron los materiales con los que está construida la estructura. Estos pasos determinaron el tipo de intervención y materiales que se utilizaron para realizar el reforzamiento estructural; en este caso se procedió a ejecutar el descosido y cosido de la mampostería, inyección de mortero y colocación de llaves de madera reforzadas con varillas de acero. Bajo estos parámetros se ejecutó un correcto reforzamiento de la

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia.

---

mampostería afectada, cumpliéndose una apropiada restauración arquitectónica.

---

**ABSTRACT**

**Keywords:**

mortars, mucilage, lime, wooden staples, mud injection.

This research presents a structural reinforcement method suitable for heritage structures featuring adobe walls compromised by fissures. The intervention involves the employment of traditional materials and techniques including: lime, clay, wild grass, and nopal mucilage for mortars and grouting. The applied methodology follows a quantitative approach, focusing on an experimental design, and was implemented in this structural reinforcement to restore masonry affected by cracks caused by settlements, seismic movements, or material fatigue within the wall, leading to a reduction in its mechanical resistance properties, such as compressive, flexural, and tensile strength. This indicates the need to restore the original mechanical properties of the masonry. The structural reinforcement was carried out following these steps: damage assessment of the wall, including an investigation to determine the presence of any mural paintings on the plaster. As no valuable paintings were present, the plaster was removed to expose the underlying damage, revealing a crack traversing the entire width of the wall. The crack's dimensions were measured, and the materials comprising the structure were identified. The preceding steps informed the choice of intervention and materials for the structural reinforcement. The work involved the disassembly and reassembly of the masonry, injection of mortar, and installation of wooden dowels reinforced with steel rods. Following these parameters, the result was a successful strengthening of the damaged masonry, achieving a faithful architectural restoration.

---

## **Introducción**

Este estudio busca tipificar métodos y sistemas de reforzamientos estructurales para edificaciones patrimoniales. La importancia de esta investigación radica en el establecimiento de la viabilidad del uso correcto de métodos y técnicas para recuperar las estructuras y realizar una adecuada intervención. Para realizar las técnicas de intervención se utilizan materiales tradicionales que sean similares a los originales. Se usan además técnicas tradicionales de construcción para que, en lo posible, ayuden a mantener los valores propios de la edificación patrimonial.

Los métodos y técnicas de reforzamiento analizados en esta investigación han sido aplicados en estructuras que se encuentran en Quito; ciudad que tiene un Centro Histórico de gran importancia, con una extensión de 376 hectáreas y en donde se asienta gran parte de su arquitectura colonial como las edificaciones de la calle La Ronda (Fig.1). Hay alrededor de 130 edificios monumentales. En cuanto a las edificaciones religiosas se contabilizan 40 iglesias y capillas, 16 conventos y monasterios como el convento del Carmen Bajo (Fig.2), además existen construcciones civiles como palacios y edificaciones que poseen un estilo que se puede admirar, desde el barroco al gótico más clásico (Universidad de Las Américas, 2016).

**Figura 1**

*Imagen de la calle La Ronda - Quito*



**Figura 2**

*Imagen convento Carmen Bajo, vista fachada Principal*



La ciudad de Quito fue declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1978. El Centro Histórico, el más grande de América, posee una inigualable riqueza arquitectónica colonial. En cada una de sus piedras se encuentra escrita la historia de la ciudad.

El inicio de la actividad de restauración en la ciudad de Quito data de 1988, debido a varios movimientos telúricos que produjeron daños estructurales en los grandes monumentos religiosos. Los daños estructurales fueron causados, principalmente, por el terremoto de marzo de 1987. Este desastre natural de grandes proporciones se originó por una sucesión de sismos, cuyos epicentros estuvieron ubicados en las inmediaciones del volcán Reventador. (Cajas, 2016)

Los sismos dañaron gravemente el patrimonio histórico y, en menor gravedad, afectaron a edificaciones construidas con materiales contemporáneos. Las afectaciones fueron de diferente índole, en la mayoría de casos se produjo el fisuramiento de mampuestos y rotura de los mismos, también se evidenció el desprendimiento de aleros y recubrimientos.

Se puede determinar en estas construcciones coloniales que en ciertos aspectos de su composición los materiales están fatigados y estructuralmente presentan el riesgo de que en el futuro puedan colapsar. Para mantener la seguridad de los habitantes y la arquitectura intacta, estas edificaciones deben ser sometidas a un reforzamiento estructural sin alterar su composición, es decir, se deberá utilizar materiales y técnicas constructivas tradicionales para salvaguardar el patrimonio.

Esta investigación pretende explicar el uso correcto de materiales y técnicas constructivas tradicionales que se deben utilizar para la correcta recuperación del patrimonio, de esta manera se dará paso a la recuperación del saber de los beneficios y particularidades de los materiales tradicionales (cal, barro, piedra, madera, paja de monte y mucilago de nopal). Con ello se mostrará la eficacia de estos elementos para ser utilizados en los reforzamientos estructurales que se deben aplicar en el campo de la restauración del patrimonio edificado.

Pacají Ruiz et al. (2015) manifestaron que el patrimonio cultural inmaterial se caracteriza por conservar su integridad y autenticidad de las expresiones culturales y costumbres.

Por ello es importante conservar y rescatar los saberes sobre las técnicas constructivas tradicionales. En este caso, para los reforzamientos estructurales es necesario utilizar las expresiones, conocimientos y técnicas vinculadas con las edificaciones ancestrales, esto como parte del uso y capacitación de mano de obra especializada. Es decir, de esta forma se impulsa el rescate de la memoria social, el oficio y los conocimientos de los sistemas y materiales constructivos ancestrales.

## **Metodología**

Esta investigación tiene como soporte las experiencias propias de los trabajos de campo que se han realizado en diferentes intervenciones de restauración arquitectónica. Se pretende difundir los diferentes tipos afectaciones e intervenciones de reforzamiento en las edificaciones de adobe, lo que servirá como base para posteriores análisis y clasificación.

De estas intervenciones se registran imágenes de los tipos de daños que se han producido en las diferentes clases de mampuestos, y se han establecido los grados de degradación. Estos se pueden determinar por fatiga de sus elementos, por procesos de fallo estructural y por fenómenos de carácter sismológicos. Por otra parte, esto a su vez indica el tipo de intervención que se debe aplicar en las partes afectadas.

### ***Diseño de la investigación***

La metodología utilizada es de tipo investigativo, con esta se pretende establecer métodos de reforzamiento estructurales para estructuras de carácter colonial. En estos reforzamientos se caracteriza el uso de materiales tradicionales que son compatibles con los componentes originales de las estructuras que se intervienen, es decir, se rescata el uso de técnicas y materiales tradicionales tales como adobe, ladrillo, piedra y madera y, como elementos de junta para morteros e inyección de reforzamiento, la cal, barro y mucilago<sup>2</sup> de nopal.

---

<sup>2</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

En el Centro Histórico se puede evidenciar edificaciones que aún mantienen las técnicas vernáculas de construcción que caracterizan a las construcciones coloniales. Por su temporalidad y por la clase de materiales utilizados, estas sufrieron daños estructurales producidos, en ciertos casos, por la fatiga de sus componentes, el tiempo y por los movimientos sísmicos soportados por las estructuras, situación que incita a que estas sean recuperadas, gracias a su compatibilidad, con el uso de materiales tradicionales.

### ***Tipos de afectaciones***

Con el propósito de verificar y clasificar las afectaciones que han deteriorado principalmente las estructuras de adobe, que podrían llegar a un estado de colapso, se mencionan: grietas de corte longitudinal que afectan generalmente a las cabezas de muro (Fig. 3), grieta producida por flexión que pueden afectar a los arcos de un muro (Fig.4), grietas horizontales, grietas verticales, grietas diagonales, grietas entre muros, desplome de muros y fatiga de las cabezas de muros (Achig et al., 2013).

Por otro lado, entre los principales tipos de afectaciones que generalmente han sufrido las edificaciones patrimoniales del Centro Histórico de la ciudad de Quito, se pueden establecer varios tipos de degradación de los mampuestos, que han sido producidos por diferentes agentes que los desencadenan, como: agentes atmosféricos, deterioro del adobe por fatiga de los materiales (Fig.5) y por los movimientos sísmicos sufridos, los mismos que contribuyeron en los procesos de fallas estructurales que producen fisuramientos en los mampuestos (Fig.6) de los monumentos patrimoniales.

#### **Figura 3**

*Imagen de fisura longitudinal en la cabeza  
Capilla de la Tercera Orden  
Franciscana*



#### **Figura 4**

*Imagen de fisura afectación en arcos de muro  
(riñón) iglesia del Hospital Psiquiátrico  
Corazón de Jesús*



**Figura 5**

*Imagen de la fatiga de la cabeza del Casa de las Velas*



**Figura 6**

*Imagen de fisura vertical de muro Casa de las velas*



En consecuencia, estas afectaciones nos indican el tipo de intervención que se debe realizar para un correcto reforzamiento de la estructura, con el fin de garantizar su permanencia en el tiempo a través de la restauración y recuperación de los edificios monumentales afectados y que están en un proceso de degradación y destrucción.

### ***Descripción de la estructura y propiedades de los materiales***

En la recuperación y rehabilitación arquitectónica, una de las principales actividades es el reforzamiento estructural de las edificaciones patrimoniales. En este caso, en las edificaciones intervenidas los mampuestos están conformados primordialmente de adobe. Son mampuestos con un ancho promedio de 70 cm y una altura aproximada de 3 a 4 m de altura. Estas edificaciones tienen un sistema entrepisos y cubiertas principalmente constituidas de madera.

Los materiales con los que están compuestos los mampuestos, principalmente las edificaciones patrimoniales, se conforman de adobe y, en ciertas partes de los muros, se combinan con ladrillo o piedra. Así también, cabe mencionar que las cubiertas y entrepisos son de madera de eucalipto como se puede evidenciar (Figura 7).

En su mayoría, los muros se asientan sobre cimentaciones de piedra; que es el elemento que está en contacto con el suelo. Esta cimentación es la que se encarga de transmitir las fuerzas mecánicas resultantes directamente al suelo.

**Figura 7**

*Imagen del muro de adobe Capilla de la Tercera Orden Franciscana*



### ***Degradación que presentan los muros***

Entre los principales factores que pueden generar deterioros en una estructura en tierra constan:

- Ataque directo de los fenómenos atmosféricos, como por ejemplo la humedad que absorbe el muro por capilaridad<sup>3</sup> hacia el interior del mismo y va degradando gradualmente.
- La acción erosiva causada por el viento y la lluvia que generan daños en los paramentos<sup>4</sup> de la edificación.
- Daños de carácter estructural causados por su propio peso, modificación en los originales, factores que provocan fisuramientos que pueden provocar el colapso mismo de la estructura.

Es decir, de estos parámetros nace la importancia de utilizar sistemas de reforzamiento estructural que protejan y refuercen los muros de adobe, para que las fábricas se puedan conservar y mantenerse indefinidamente en el tiempo.

En este caso es indispensable el uso de técnicas constructivas como el cocido y descosido del muro en la parte afectada con materiales tradicionales como adobe y ladrillo y reforzando con inyecciones en base a cal, arena, tierra y mucilago<sup>5</sup>. Esta técnica de reparación estructural es adaptable a otras edificaciones de iguales características y diferentes zonas geográficas.

### ***Selección de los materiales tradicionales para ser utilizados en los reforzamientos***

Para realizar un buen reforzamiento estructural y alcanzar una buena restauración de la edificación es indispensable utilizar materiales tradicionales que sean compatibles con los elementos que conforman la edificación, esto exige el conocimiento de métodos y técnicas de aplicación que aseguren una buena intervención, es decir, requiere el análisis de ensayos analíticos físico-químicos del material, también es indispensable realizar una investigación de los componentes tradicionales que fueron empleados para su construcción.

Como expresa Ontiveros (2006) lo ideal es realizar los estudios previos para identificar los materiales originales que se pretendan utilizar.

Sin embargo, para realizar esta investigación se han tomado en cuenta los saberes tradicionales que se transfieren las ideas de forma oral, estos han sido adquiridos de forma tanto académica y oral, como por las experiencias en intervenciones que se han realizado. De aquí, el punto de partida para realizar una buena intervención implica que el maestro mayor, en conjunto con el profesional especializado en restauración, transmitan sus conocimientos a las nuevas generaciones; también hay que considerar que el maestro de obra no conserva escritos con los cuales pueda realizar su difusión.

### ***Reforzamientos estructurales en mamposterías***

Peña y Lourenco (2012) indican que en las intervenciones estructurales, los profesionales especializados, sean estos arquitectos o ingenieros, han manejado una variedad de técnicas de reparación o soporte para optimizar la solución estructural de las edificaciones históricas. Varias de las técnicas de ejecución han sido específicamente efectuadas para ayudar y mejorar la capacidad portante de las estructuras antiguas para resistir un nuevo acontecimiento inclemente de la naturaleza. Estas técnicas que se utilizan sobre las estructuras originales no deben afectar la integridad y la autenticidad

---

<sup>3</sup> Acción o movimiento que puede realizar un líquido para ser absorbido por medio de materiales porosos.

<sup>4</sup> Elemento vertical que en arquitectura conforma el muro.

<sup>5</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

de los materiales originales y las características estructurales, razón por la cual se deben utilizar materiales compatibles con los materiales originales de la edificación.

La intervención estructural de edificios históricos es y debe ser multidisciplinaria, por lo que son indispensables disciplinas aparentemente independientes como: Arqueología, Arquitectura, Historia, Ingeniería, restauradores de Arte, etc. Sin embargo, la falta de integración provoca que, en varios casos, un proyecto estructural no se adapte a los lineamientos básicos de la conservación de edificios patrimoniales.

### ***Métodos de reforzamiento estructural***

Los procesos de restauración y rehabilitación son el conjunto de métodos y técnicas de intervención que se aplican para la rehabilitación de las estructuras afectadas, estas sirven para recuperar su eficacia, disminuida a causa de algún fenómeno físico natural (Garabito et al., 2015).

Para alcanzar una buena intervención es indispensable utilizar diferentes métodos de reforzamiento, según cada tipo de estructura y material del cual están compuestos los mampuestos.

Así, se puede indicar que los métodos utilizados en los distintos reforzamientos son:

- Descosido y cosido de las mamposterías.
- Anclaje de madera con barras de acero.
- Inyecciones de lechada<sup>6</sup> de cal, aditivo y arena.

Estas técnicas de reforzamiento han permitido corregir las afectaciones de los elementos estructurales, para este efecto se consideró la compatibilidad de los materiales originales de la edificación, estos no dañarán los originales y se mantendrán en el tiempo garantizando la seguridad y durabilidad.

### ***Metodología de reforzamientos estructurales en muros***

Con respecto a los trabajos de reforzamiento estructural, estos se realizaron en diferentes mamposterías de las edificaciones que se intervinieron. Los mampuestos están contruidos de diversos materiales, como: piedra, ladrillo o adobe; los daños que se presentaron en estos muros fueron principalmente fisuramientos, estos se exteriorizaron de forma vertical y afectaron a los muros, incluso hasta cortarlos totalmente en el espesor del paramento, afectándolos estructuralmente. Igualmente, entre otros casos, las fisuras causaron daño en arcos de naves laterales, además, los muros fueron afectados en su composición, lo que provocó deterioro en su interior, factor que llevó a ejecutar un reforzamiento por medio de inyección de lechada de morteros que permitiera recuperar estructuralmente los muros por fatiga de sus componentes, como por ejemplo del adobe. De esta forma se restablece su estabilidad mecánica, lo que evita que su daño continúe deteriorando la estructura de los muros portantes.

Dentro de los trabajos de *reforzamiento estructural de los muros*, se explica la intervención sobre mampuestos que se vieron afectados estructuralmente, estos trabajan a manera de muros portantes. Para la investigación se toma como ejemplo la edificación patrimonial del Monasterio del Carmen Bajo.

---

<sup>6</sup> Técnica de albañilería para mezclar varios materiales sólidos con líquido, con lo que se obtiene un fluido semilíquido para inyectar en los muros.

En primer lugar, se explicará sobre un muro afectado en planta baja que presenta una fisura vertical que lo corta en todo su espesor de 1.10 m, con una altura aproximada de 3.00 m.

Para realizar el reforzamiento estructural sobre las mamposterías fisuradas se siguió un procedimiento metodológico que respeta los cánones establecidos por los procesos de restauración:

- Primero se localizaron los sectores donde había la presencia de fisuras.
- Luego se procedió a realizar calas<sup>7</sup> de prospección sobre la pintura existente (Figura 8).
- Verificación de la existencia o no de pintura mural sobre los enlucidos de barro (Figura 9).

**Figura 8**

*Imagen de calas que se realizan sobre la pintura, no se ve la presencia de pintura mural*



**Figura 9**

*Imagen de retiro del enlucido de barro detectando el tipo de fisura que afecta al mampuesto*



Una vez verificada la inexistencia de pintura mural, se realizaron calas sobre los enlucidos para comprobar el tipo de fisura que se presenta en el mampuesto. De esta forma, se obtuvo un primer diagnóstico sobre el tipo de afectación que perjudica a la estructura. Con ello se puede verificar el tipo de material con el cual está conformado el mampuesto, lo que permitió definir el tipo de reforzamiento que se debe aplicar en la estructura (Figura 10).

Comprobado el tipo de fisura presente en la mampostería en el lado exterior y el ancho de la abertura, se confirma que esta grieta corta el muro en todo su ancho. Esto determina el tipo de reforzamiento que se debe realizar en esa grieta. Luego, se efectúa la medición de la profundidad de la fisura, Por otro lado, es importante verificar la longitud de la grieta, para este fin se procede a retirar el enlucido<sup>8</sup>, siguiendo la dirección de la misma (Figura 11).

<sup>7</sup> Técnica de retiro de capas de pintura existente sobre un muro

<sup>8</sup> Capa de revestimiento que se coloca sobre las paredes para obtener una superficie lisa

**Figura 10**

*Imagen de calas que se realizan sobre la pintura, no se ve la presencia de pintura mural*



**Figura 11**

*Imagen de retiro del enlucido de barro detectando el tipo de fisura que afecta al mampuesto*



Cabe indicar que este proceso de verificación de la presencia de fisuras por medio del método de las calas sobre los muros se debe repetir en todos los mampuestos que van a ser sometidos a un proceso de reforzamiento.

Por otro lado, una vez comprobado que la fisura atraviesa el muro, se procede a repetir el proceso en la otra cara del mismo. Luego se determina el tipo de material con el cual está construido el mampuesto. En este caso hay presencia de adobe y piedra con juntas de mortero en barro.

En esta fisura, que corta todo el ancho del muro, para realizar su consolidación y reforzamiento, debido a su complejidad, se utilizaron diferentes métodos de intervención. Los métodos utilizados fueron:

- Descosido y cosido de las mamposterías.
- Anclaje de madera o barras de acero.
- Inyecciones de lechada de cal, aditivo y arena.

Para el tratamiento de esta fisura de 2.00cm promedio de abertura y una altura de 3.00m aproximadamente que además a toda la sección del muro y verificado los materiales que conforman el mampuesto (piedra, adobe y ladrillo), se estableció que debe ser intervenido, primero con el método del descosido y cosido en el sector de la fisura, ya que sus elementos se encuentran cortados y pueden afectar la capacidad de los elementos para trabajar estructuralmente, pero esto no compromete a la estructura para que dejen de realizarlo por completo. La mampostería debe ser intervenida por los dos lados el exterior y el interior.

### ***Procedimiento de reforzamiento de la mampostería***

*Descosido y cosido* del muro: se procedió a retirar los adobes que sufrieron la rotura para que estos sean remplazados por un nuevo elemento, en este caso por ladrillo mambrón, que es un material compatible con el adobe y el mortero de junta de cal y arena. Es indispensable que este proceso se inicie desde la parte inferior del muro, por tramos de 4 o 5 hiladas por día, esto para evitar que el mampuesto se llegue a asentar y se produzcan nuevas fisuras. Los nuevos ladrillos se colocan uno en sentido horizontal y el siguiente en de forma transversal, con la finalidad de que los nuevos elementos tengan un mejor anclaje al muro original (Figura 12).

Este procedimiento se repite en todo el largo de la fisura, un tramo por día, con la finalidad que la nueva intervención se consolide y no se produzca un asentamiento y

nuevas fisuraciones, los morteros utilizados se prepararon con materiales tradicionales de iguales características que los morteros originales de junta (barro, cal y mucilago<sup>9</sup>), este proceso se repite hasta intervenir en toda la fisura, este procedimiento de intervención se realiza en el lado interno y externo del muro (Fig.13).

**Figura 12**  
*Imagen de cosido y descosido de fisura lado exterior*



**Figura 13**  
*Imagen del proceso de cosido de fisura*



Un dato importante que se debe conocer es la resistencia a la compresión del adobe original del mampuesto que se está interviniendo, el ensayo se realizó en el laboratorio de materiales PUCE<sup>10</sup> (Tabla 1), con la finalidad de establecer la nueva resistencia del mampuesto después de haber realizado el proceso de inyectar los morteros hidráulicos en el mampuesto intervenido.

**Tabla 1**

*Tabla de resultados de ensayos de resistencia a la compresión del adobe original*

<b>Resultados de Ensayos de Compresión</b>		
Adobe original		
Resistencia (Mpa)		
Muestra N 1	Muestra N 2	Muestra N 3
<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>
Resistencia promedio (Mpa)		
<b>0.70</b>		

\*Factor de conversión: 1 Mpa = 10.2 kg/cm<sup>2</sup>

*Nota.* Laboratorio de materiales PUCE, 2021

<sup>9</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

<sup>10</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Además, se debe indicar que, durante el proceso del descosido y cosido, a cada 20 o 30cm de separación se colocaron mangueras plásticas de ½ pulgada, las mismas que fueron conectadas a fisuras internas del muro (conocidas como riñón). Esto para consolidar totalmente la estructura con inyecciones de lechadas en el agrietamiento interno. La disposición de las mangueras debe ser colocada en toda el área intervenida, para luego inyectar morteros a base de cal.

Según Lanas y Alvarez (2006) el mortero de cal tiene menor cantidad de sales solubles, lo que permite que no se produzcan daños en el sistema portante de las edificaciones; además, las mezclas de cal tienen mayor compatibilidad con los materiales tradicionales, que son parte de la edificación y se relacionan con lo químico, lo estructural y lo mecánico. Además, estas argamasas, en el caso de la presencia de nuevas fisuras, tienen la capacidad de auto repararse mediante un proceso de autosellado, por la humedad que conserva debido a los cambios de temperatura y humedad ambiental existentes que son absorbidos por los mampuestos.

**Figura 14**

*Imagen del proceso de descosido y cosido de la mampostería afectada*



Peñaranda (2011) plantea que para una buena rehabilitación frente a la aparición de fisuras que afecten a los muros de una edificación patrimonial, se deben utilizar “*llaves de madera*”. Estas son indispensables para disminuir el riesgo sísmico al que está sometido el mampuesto afectado de la construcción. Con la aplicación de este sistema se procura evitar el colapso de la edificación frente a nuevos fenómenos de la naturaleza inclemente (terremotos o movimientos sísmicos).

Esta técnica de reforzamiento se fundamenta en la instalación de tablas o listones de madera dispuestas de forma horizontal y vertical, en la cara exterior e interior de los muros, aseguradas entre ellas por medio de un tensor, con el fin de incrementar la resistencia de los mampuestos y mantener la consistencia y unidad de la estructura.

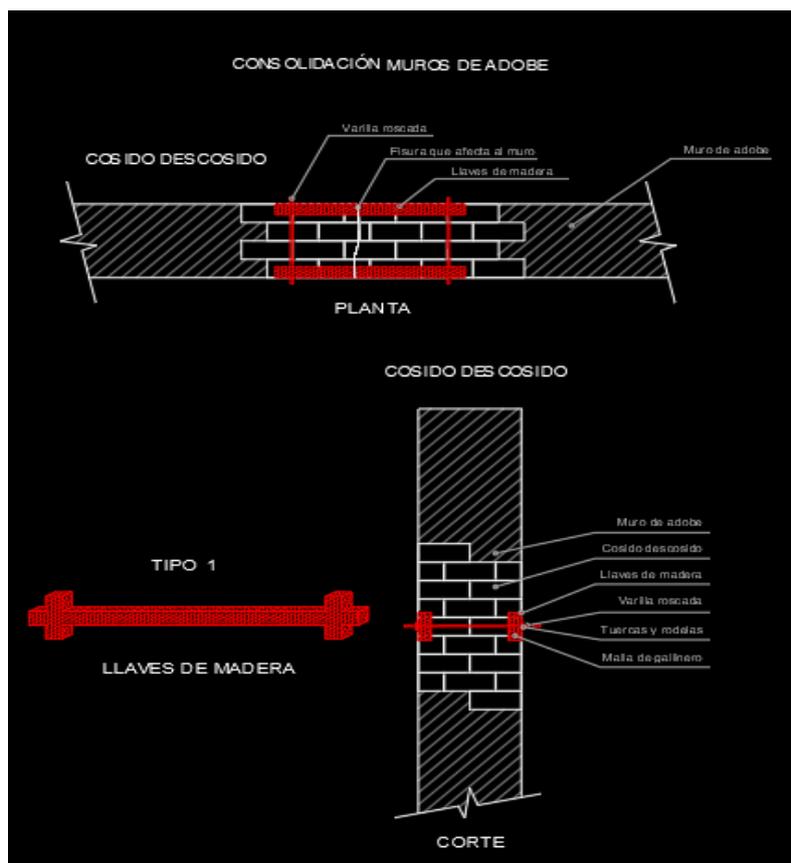
Con estas consideraciones y el tipo de fisura que se intervino, se procedió a la colocación de las *llaves de madera*. Estos elementos tienen la función de afianzar al muro para evitar que la fisura se vuelva a activar. Las llaves de madera fueron colocadas en los tercios tanto inferior como superior de la fisura. Estos elementos fueron elaborados en madera de colorado y las medidas utilizadas en este caso fueron 7x7x120cm. En los extremos de cada llave, desplazado unos 10cm hacia el interior, se colocaron en el sentido vertical piezas de 30cm de longitud. Estas se colocan a media madera, van encoladas y en el centro del cruce se perforan para asegurar las llaves internas con las externas por

medio de un tensor regulable para poder dar la tensión que requiera este elemento para fijar el sistema.

Para la colocación de las llaves se perforo el muro para empotrar los módulos de madera. Luego, estos se fijaron con una varilla roscada a manera de tensor y se colocaron en cada uno de sus extremos tuercas de ajuste, para asegurar las llaves del lado exterior con el módulo del lado del interior del muro, de esta manera la fisura quedó abrazada mejorando su resistencia mecánica a la compresión.

Figura 15

Representación gráfica del reforzamiento estructural – colocación de llaves de madera



Estas llaves, para ser colocadas fueron curadas con *quimocide*<sup>11</sup>, para evitar que sean atacadas por termitas<sup>12</sup>, luego se procedió a pintarlas con pintura asfáltica para proteger estos nuevos maderos de la humedad que absorben los muros y lo eliminan por condensación.

El anclaje de estas llaves se realizó con varilla de acero de 12mm. Estas barras de acero están colocadas a lo largo de todo el espesor del muro y se las ancló en cada uno de los extremos de los listones con arandelas plana y de presión aseguradas con tuerca a cada lado (Fig.16 y 17).

Además, estos nuevos elementos de madera, que van empotrados en el muro, también fueron protegidos con malla de tumbado<sup>13</sup> para que se adhiera el **nuevo enlucido**

<sup>11</sup> Químico para curado de madera contra los xilófagos.

<sup>12</sup> Las *termitas* se alimentan de madera y llegan a causar daño significativo a las estructuras de madera.

<sup>13</sup> Malla de acero que se expande y se utiliza en la construcción para revestir estructuras y otros elementos

elaborado con materiales tradicionales: barro / cal / mucilago<sup>14</sup> / paja. Este mortero se colocó en toda el área intervenida del reforzamiento estructural del muro afectado.

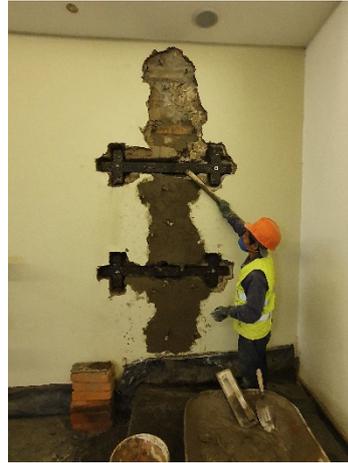
**Figura 16**

*Imagen de perforación del muro para anclaje de las llaves de madera*



**Figura 17**

*Imagen de llave de madera protegida con pintura asfáltica y envuelta con malla de tumbado. Anclaje con varilla de acero*



Una vez concluido el cosido y descosido, se colocaron las llaves de madera. A continuación, se trabajó los enlucidos para sellar la mampostería y luego realizar la consolidación del muro con el proceso de inyección de morteros.

Arriola (2009) manifiesta que el mortero es un elemento constructivo de la edificación y es aproximadamente un 15% del volumen total de un mampuesto. Es una parte básica que ayuda a absorber la resistencia a compresión; ya que son diseñados para resistir este tipo de esfuerzos. Los *morteros* en los muros ayudan a soportar la flexo-compresión y de corte, causados por las fuerzas de viento o sismos (frecuentes en nuestro medio). Cuando esto sufre la mampostería, el mortero juega un papel significativo, ya que el mortero de enlucido se encarga de trabajar como un elemento estructural compacto, razón por la cual se debe prestar mucho cuidado en la elaboración del mismo. En el caso de la restauración es muy importante trabajar con materiales tradicionales compatibles con los originales que conforman la edificación, de esta manera se evitan futuros daños con la degradación de los mampuestos originales.

Para edificaciones de carácter monumental, en esta intervención se utilizó el *enlucido de materiales tradicionales*; sus componentes fueron: cal apagada, barro, paja, mucilago<sup>15</sup> y agua (Barbero, 2011). El espesor del enlucido varía entre 1 a 3 cm. Para ser aplicado este mortero, se requiere primero que la superficie sea humedecida con mucilago (también se puede humedecer con hidróxido de calcio) (Fig.18), esto con la finalidad de que este proceso ayude a una mejor adherencia del nuevo mortero e incluso se lleguen a sellar las posibles micro fisuras que se produzcan por el proceso de secado de la mampostería intervenida (Figura 19).

<sup>14</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

<sup>15</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

**Figura 18**  
*Imagen de mampostería humedecida con mucilago para recibir el mortero*



**Figura 19**  
*Imagen de enlucido de mampostería*



Vargas-Neumann et al. (2010) indicaron que el procedimiento de aplicación de inyecciones radica en insertar en el riñón (interior del muro) del mampuesto afectado un mortero fluido con iguales características que la de los materiales originales que conforman la mampostería. Es decir, con las mismas características químicas, físicas y mecánicas, con el propósito de consolidar los muros afectados para reestablecer las características mecánicas originales. Las inyecciones en los muros permiten la consolidación del mismo e incrementan su resistencia a la compresión para mejorar su estabilidad y mejorar su capacidad mecánica de trabajo del mampuesto intervenido. Se establece el uso de las inyecciones para conseguir la cohesión de los muros y conseguir que estos regresen a trabajar de forma conjunta

Como siguiente paso, una vez concluido los enlucidos, se continua con el proceso de inyección en las mamposterías intervenidas, para consolidar interiormente los muros por medio de las *inyecciones de mortero* hidráulico de cal. Esto debido a que las mamposterías son de adobe y ladrillo. Este mortero para las inyecciones se preparó con los siguientes materiales y proporciones: cal hidratada 3, puzolana roja o café 1, arena de río lavada 2, agua 3, aditivo estabilizador 2% del peso de la puzolana (Instituto Metropolitano de Patrimonio [IMP], especificaciones técnicas para ejecución de obras, 2021).

Así, todos estos materiales se colocaron en una tina grande, primero la arena, luego se mezcló con cal hidratada, posteriormente se agregó la puzolana con el aditivo estabilizador y se mezclaron en seco, finalmente se añadió el agua para realizar el batido total de los materiales y para obtener una mezcla homogénea, el batido se realizó de forma mecánica, luego, una vez que el mortero tuvo la fluidez óptima, se lo somete a un tamizado utilizando una malla fina con la finalidad de retirar los áridos gruesos. Esta mezcla ya filtrada se la colocó en otro recipiente donde se depositó el mortero a ser utilizado para inyectar en los muros.

Luego de separado los agregados gruesos, el mortero se deposita en el tanque tipo cilindro (equipo de inyectado), donde se conectarán las mangueras para inyectar el mortero por medio de la presión de un compresor. Este sistema trabaja con el aire que ingresa al recipiente donde se encuentra el mortero a inyectarse y, por medio de una

manguera, llega a la pistola de inyección que se coloca en las mangueras que se instalaron en la mampostería.

El proceso de llenado se inicia con las mangueras inferiores y conforme se van llenando se continúa hacia las mangueras superiores, una vez llenas, se las tapa provisionalmente con papel para evitar que el fluido de la inyección salga, al día siguiente se repite el proceso de inyectado para que con este nuevo llenado se complete algún vacío que se pudo haber producido por asentamiento del fluido (Figura 20).

**Figura 20**

*Imagen de proceso de inyectado de mortero con la utilización de pistola de inyectado*



Cabe indicar que estos morteros de inyección utilizados para el reforzamiento estructural se sometieron a pruebas mecánicas de laboratorio de la PUCE<sup>16</sup>, con la finalidad de medir la resistencia a la compresión. Los valores que se obtienen permiten valorar las cualidades mecánicas del mortero ensayado.

En la siguiente tabla se puede verificar los resultados de Resistencia a la Compresión de los morteros que se inyectaron en el muro, aquí se evidencia que al paso de los días su resistencia va en incremento y se logra la adherencia del material nuevo con el antiguo, esto por su compatibilidad; así, según el resultado se tiene la resistencia en Mega Pascales (MPA<sup>17</sup>) donde 1 Mpa= 10.2 kg/cm<sup>2</sup> que es el factor de conversión para tener la resistencia del mortero en el interior del muro, como por ejemplo:

- Resistencia a los 28 días:  $1.30 \times 10.20 \text{ kg/cm}^2 = 13.26 \text{ kg/cm}^2$

<sup>16</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador

<sup>17</sup> Mega Pascal factor de conversión

**Tabla 2**

*Tabla de resultados de ensayo de los morteros Resistencia a la Compresión*

<b>Resultados de Ensayos de Compresión de los nuevos morteros</b>					
Muestra N 1		Muestra N 2		Muestra N 3	
Edad (días)	Resistencia Promedio (Mpa)	Edad (días)	Resistencia Promedio (Mpa)	Edad (días)	Resistencia Promedio (Mpa)
14	0.34	14	0.96	14	1.29
21	0.34	21	1.02	21	1.32
28	0.39	56	1.08	56	1.22

<b>Resistencia a la compresión promedio (Mpa)</b>		
Edad (Días)	Edad (Días)	Edad (Días)
14	21	28
<b>0.36</b>	<b>1.00</b>	<b>1.30</b>

\*Factor de conversión: 1 Mpa = 10.2 kg/cm<sup>2</sup>

*Nota.* Laboratorio de materiales PUCE<sup>18</sup>, 2021

Para finalizar el proceso de reforzamiento de la mampostería intervenida, se corta el sobrante de las mangueras utilizadas para las inyecciones, esto con el propósito de realizar el pastado de la mampostería, para lo cual se utilizó cal apagada. Para que la pared no quede totalmente lisa la cal apagada se aplica con una paleta de esponja, de esta forma el acabado queda ligeramente irregular y su apariencia es similar al original, esto tiene como finalidad no alterar las características originales de los enlucidos antiguos. Una vez que el estuco se seca totalmente, se prepara la mampostería lijando y sellándola con agua resina. El acabado final se realizó con pintura tradicional de color blanco, esta se preparó con: mucilago<sup>19</sup>1/2u + cal 1u + sal en grano 1/10u+ leche1/2u, por ser una restauración se optó el uso de una pintura en base a cal, la sal y la leche se incluye porque que proporcionan consistencia y resistencia al producto final una vez aplicado sobre el mampuesto. (Abrajan, 2008)

## **Resultados y discusión**

La aplicación del procedimiento que se debe seguirse para realizar un reforzamiento estructural de un mampuesto fisurado en una edificación patrimonial, debe sustentarse con pruebas de resistencia mecánicas a la Compresión realizadas en laboratorio, esto con la finalidad establecer técnicamente su mejoramiento y la estabilidad de la estructura. Con la aplicación y seguimiento del método establecido se evita daños a otros elementos que pueden ser parte de la mampostería, así se indica que al realizar calas como primera actividad sobre el muro afectado se evita daños a una posible pintura mural existente sobre el enlucido. Verificado el estado del enlucido se

<sup>18</sup> PUCE – Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<sup>19</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

comprueba el estado de la fisura, esto indica el tipo de procedimiento a utilizar en el reforzamiento, donde se establece el uso de materiales y técnicas tradicionales, con lo que se rescatan los saberes ancestrales. Según pruebas realizadas a los morteros de inyección, se demostró que se mejoraron las características mecánicas de los muros afectados. Según la metodología planteada en la intervención, se obtuvieron resultados de resistencia y mejoramiento de los muros, estos resultados se obtuvieron en diferentes edades: 14, 21 y 28 días. Según los tiempos establecidos de ensayo del mortero se pudo establecer que la dosificación presenta un comportamiento ascendente, aumentando el muro su resistencia en relación a la edad del ensayo.

En resumen, la metodología utilizada: verificación de las fisuras, calas de prospección, descosido y cosido del muro, colocación de llaves de madera, inyección de morteros de cal, enlucido y pintura, permitió que se realice un correcto reforzamiento estructural para mejorar la estabilidad del muro, que tiene un sistema mixto de construcción de adobe y piedra. Para su cosido se utilizaron ladrillo mampuesto de características artesanales, morteros de cal, barro y mucilago<sup>20</sup>, debido a su compatibilidad con los materiales originales. Por otro lado, el uso de las técnicas y materiales tradicionales permite la continuidad y mejoramiento de sus características mecánicas, con lo que se mejoran las características físicas de la estructura intervenida. Así, la dosificación del mortero de inyección en proporciones de unidad fue: cal hidratada 3, puzolana roja o café 1, arena de río lavada 2, agua 3, aditivo estabilizador 2% del peso de la puzolana, que incrementa la estabilidad del muro reforzado. (Silva & Uría, 2024)

## **Conclusiones**

Una vez concluido el reforzamiento estructural con base en una metodología de ejecución, se puede concluir con ello que es factible determinar el tipo de intervención necesario para no afectar a la edificación patrimonial. Así también, una metodología adecuada permite que se definan los materiales que deben ser utilizados. En efecto, este método permitió utilizar materiales similares y compatibles con los componentes originales del muro, lo que se tradujo en una correcta intervención.

Por otro lado, la metodología sirvió para determinar la calidad de los adobes del muro fisurado. Esto se realizó con pruebas mecánicas a la compresión. Mediante estas pruebas, que fueron efectuadas en laboratorio, se estableció que los elementos ya no tienen una buena calidad. Debido a su antigüedad, presentaron una fatiga en su composición, con resultados bajos en las pruebas de laboratorio.

El tipo de intervención, la calidad de los materiales y la naturaleza de la fisura, que afectó al muro, indicaron que este mampuesto debe ser consolidado. En este caso se utilizó un mortero hidráulico de cal con la finalidad de regresar la capacidad de resistencia a la compresión del muro. Los resultados de rotura en el laboratorio realizados a los 14, 21 y 28 días mostraron que el aumento progresivo de resistencia va mejorando la calidad del mampuesto.

Con esta intervención basada en la elaboración de una metodología de ejecución se pretende instaurar pautas de uso de técnicas y materiales tradicionales en un reforzamiento estructural de los mampuestos. Estas técnicas son aplicadas en los procedimientos de restauración patrimonial para evitar el uso de materiales contemporáneos que alteran y dañan las edificaciones patrimoniales. Por otro lado, esta

---

<sup>20</sup> Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma que se extrae del nopal.

metodología puede establecer una base general para la utilización de materiales y técnicas tradicionales para realizar una correcta restauración y recuperación del patrimonio arquitectónico.

## Referencias

- Abrajan, M. (2008). *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (opuntia ficus-indica) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia].
- Achig, M., Zúñiga, M., Van-Balen, K., & Abad, L. (2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *Maskana, Revista Científica*, 4(2), 71-84. <https://doi.org/10.18537/mskn.04.02.06>
- Arriola, J. (2009). *Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Barbero, M. (2011). *Mejora del comportamiento térmico de los morteros de cal aditivados y su empleo en la rehabilitación de inmuebles* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].
- Cajas, V. (2016). *Análisis de las intervenciones patrimoniales en Quito (Ecuador). Los casos de las iglesias de San Francisco y de la Compañía de Jesús*. [Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques II].
- Garabito, J., Rodríguez, A., Junco, C., & Garabito, J. (2015). Intervenciones en cubiertas históricas de madera: ¿Restaurar o reconstruir? *Anales de Edificación*, 1(3), 16-22. <https://doi.org/10.20868/ade.2015.3035>
- Instituto Metropolitano de Patrimonio. (2021). *Presupuesto, rubros y especificaciones 2021* [Documento técnico no publicado].
- Lanas, J., & Álvarez, J. (2006). Preparación y ensayos de morteros de cal de nueva factura para su empleo en restauración del patrimonio. *Departamento de Química y Edafología, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra*. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/94340d9a-f6df-43f3-87bc-fb65aaaed5fb>
- Ontiveros, E. (2006). *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles (PH cuadernos 19)*. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.
- Pacají Ruiz, G., Tapia Chocho, W., & Bustamante, I. (2015). Recuperación de técnicas constructivas tradicionales de la Parroquia Chuquiribamba, Ecuador. In *15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (pp. 704-713). SIACOT - Ecuador.
- Peña, F., & Lourenço, P. (2012). Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 47, 47-66. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61825179003>
- Peñaranda, L. (2011). *Manual para la conservación del patrimonio arquitectónico habitacional de Sucre*. U.M.M. Patrimonio Histórico – PRAHS.
- Universidad de Las Américas. (2016). *Quito, patrimonio de la humanidad*. <https://www.udla.edu.ec/2016/09/08/quito-patrimonio-de-la-humanidad/>
- Silva, A., & Uría, G. (2024). *Recuperación de morteros de la época colonial para su aplicación en la restauración*. Editorial El Conejo.
- Vargas-Neumann, J., et al. (2010). Uso de grouts de barro líquido para reparar fisuras estructurales en muros históricos de adobe. En *La arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación. Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2004/2009* (pp. 281-288). Cátedra Juan de Villanueva, Universidad de Valladolid. [http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010\\_9788469345542\\_p281-288\\_vargasneumann.pdf](http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p281-288_vargasneumann.pdf)