

# Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales\*

*Daniel Ruiz Valencia*

*Cecilia López Pérez*

*Juan Carlos Rivera*

Las construcciones en tierra constituyen una parte fundamental del patrimonio construido de nuestro país. De la mano del adobe y de la tapia pisada se desarrolló la arquitectura urbana y residencial en Colombia durante cuatro siglos. De acuerdo con el listado de la Dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura, se han declarado 1.133 Monumentos Nacionales y 47 Centros Históricos, de los cuales el 80% se encuentra construido en tierra. Dentro de estos Centros Históricos se encuentra La Candelaria en Bogotá, Zipaquirá, Villa de Leyva, Popayán, Barichara, Salento, etc. Dentro de los Monumentos Históricos se puede nombrar la Casa de la Moneda, el Colegio Mayor del Rosario, el Colegio Helvetia, Hacienda Montes (Museo Antonio Nariño), el Convento del Santo Ecce Homo (Boyacá), entre otros.

En la actualidad este patrimonio se ve amenazado y deteriorado por diversos factores medio ambientales, destacándose entre ellos los procesos de deterioro por humedad y los eventos sísmicos. Con respecto a este último es importante mencionar que terremotos dentro del ámbito colombiano, el sismo del eje cafetero del 25 de enero de 1999, el sismo de Popayán de 1983, o el sismo de Cúcuta de 1875 (Figura 1) han ratificado la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en tierra.

Los terremotos pueden derrumbar en unos pocos segundos las edificaciones patrimoniales en tierra que llevan siglos de haber sido construidas. En relación a lo anterior es importante resaltar que el hecho de que algunas edificaciones lleven varios siglos en pie (como algunas del Barrio La Candelaria en Bogotá) no es garantía de que sean sismo resistentes. Prueba de ello es el sismo ocurrido en Irán a finales de 2003 (magnitud de 6.5 en la escala de Richter), el cual prácticamente destruyó Arg-é-Bam (véanse las fotografías de la Figura 2) que era patrimonio histórico de la humanidad según la UNESCO. Esta fortificación tenía más de 2.500 años de antigüedad y era la mayor construcción de adobe del mundo, colapsó en pocos segundos.

Con el fin de aportar a la solución del problema sísmico de las edificaciones en tierra, se han realizado investigaciones en algunas de las mejores universidades del país en torno al conocimiento de las propiedades de los materiales y del comportamiento de los sistemas estructurales en tierra ante fuerzas sísmicas. Ejemplo de esto son los estudios realizados por los grupos de investigación Estructuras (Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería) y GRIME de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) en conjunto con el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería (ECI), haciendo ensayos como los que se muestran en la Figura 3. Asimismo el grupo CIMOC de la Universidad de los

\* Cómo citar este artículo: Ruiz, D., López, C., Rivera, J.C. (2012). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. En: Apuntes 25 (2): 226 - 239.



Perfil lateral para instalación  
y tensión de las barras  
Fotografía:  
Cecilia López

# Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales en tierra

Proposed regulations for seismic rehabilitation of earthen heritage buildings

Regulamentação proposta para reabilitação sísmica de edifícios do património em terra

Daniel Ruiz Valencia

daniel.ruiz@javeriana.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana

Ingeniero Civil y Magíster en Ciencias de la Universidad de los Andes. Jefe del laboratorio de pruebas y ensayos, profesor asociado e investigador del Grupo de Estructuras y Construcción del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

Cecilia López Pérez

lopez.c@javeriana.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana

Arquitecta y Magíster en Restauración de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesora asistente, directora del grupo GRIME de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Departamento de Arquitectura, Pontificia Universidad Javeriana.

Juan Carlos Rivera

patrimoniointermedia@gmail.com

Ingeniero Civil y Magíster en Restauración de la Pontificia Universidad Javeriana.

## RESUMEN

Con el fin de aportar a la solución del problema sísmico de las edificaciones en tierra, se han realizado investigaciones en las mejores universidades de Colombia sobre las propiedades de los materiales y el comportamiento de los sistemas estructurales en tierra ante fuerzas sísmicas. Estas investigaciones han sido innovadoras y se han apoyado en estudios a nivel internacional. Sin embargo para que estos estudios tengan un real impacto deben incluirse en la norma sismo resistente (NSR-10), la cual actualmente no incluye apartados específicos sobre la manera de rehabilitar sísmicamente las construcciones en tierra. Por esta razón los autores, que han trabajado por más de una década en rehabilitación y restauración de edificaciones en tierra, presentan en este documento un borrador de propuesta de normativa para la rehabilitación de edificaciones en tierra para que sea incluida en las siguientes actualizaciones de la Norma Sismo Resistente de la República de Colombia.

El presente documento es un borrador de una propuesta de normativa que los autores quieren, en un futuro próximo, poner a consideración de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y de la Asociación Colombiana de Ingeniería Estructural para ser estudiada, analizada y trabajada como una base de desarrollo que reglamente la rehabilitación sísmica de las construcciones patrimoniales en tierra en Colombia. Asimismo, los autores desean agradecer a la Pontificia Universidad Javeriana y en especial a las Facultades de Arquitectura y Diseño e Ingeniería por el apoyo brindado para la realización de la presente propuesta.

**Palabras clave:** Rehabilitación sísmica, edificaciones en tierra, código sismo resistente

## ABSTRACT

With the purpose of contributing to the solution of the seismic problem of earthen constructions, investigations have been made in the best Colombian universities, focused on the properties of materials and the behavior of the structural earth systems when subject to seismic forces. These investigations have been innovating and have been based on international studies. Nevertheless, in order for these studies to have a real impact, they must be included in the earthquake Colombian resistant code (NSR-10), which at the moment does not include specific sections on how to rehabilitate earth constructions subjected to seismic forces. Therefore the authors, who have worked for more than one decade in rehabilitation and restoration of earth constructions, present in this document a draft proposal for the seismic rehabilitation of earth buildings in order to be included in the next update of the earthquake resistant code of the Republic of Colombia.

This document is a draft of a proposed rule that the authors want, in the near future, to present to the Colombian Association of Seismic Engineering, the Colombian Society of Engineers and the Colombian Association of Structural Engineering for it to be studied, analyzed and worked as a development basis regulating the seismic rehabilitation of patrimonial buildings on land in Colombia. The authors also wish to thank the Pontificia Universidad Javeriana and especially the Faculties of Architecture and Design and Engineering for their support for the implementation of this proposal.

**Keywords:** Seismic rehabilitation, earth buildings, earthquake resistant code

## RESUMO

Para contribuir para resolver o problema dos edifícios sísmicas em terra, têm sido investigadas nas melhores universidades da Colômbia sobre as propriedades do material e do comportamento de sistemas estruturais para as forças sísmicas em terra. Esta pesquisa tem sido inovadora e confiaram em estudos internacionais. No entanto, para esses estudos têm um impacto real deve ser incluído no padrão resistente sísmica (NSR-10), que atualmente não inclui seções específicas sobre como sísmicamente reabilitar os edifícios em terra. Por esta razão os autores, que trabalharam por mais de uma década na reabilitação e restauração de edifícios em terra, este documento apresenta um projecto de proposta legislativa para a reabilitação de edifícios em terrenos a serem incluídos nas seguintes atualizações padrão de Resistência sísmica da República da Colômbia.

Este documento é um projecto de norma proposta que os autores querem colocar em consideração da Sociedade Colombiana de Engenharia a ser estudado, analisado e trabalhado como uma base de desenvolvimento regular de construção em terra na Colômbia. Os autores também gostaria de agradecer a Pontificia Universidad Javeriana e, especialmente, para as Facultades de Arquitetura e Design de Engenharia Civil e para o seu apoio para a implementação desta proposta.

**Palavras-chave:** reabilitação sísmica, edifícios, terrenos código terremoto resistente

SICI: 1657-9763(2012)25:2<226:PNRSEP>2.0.TX;2-D

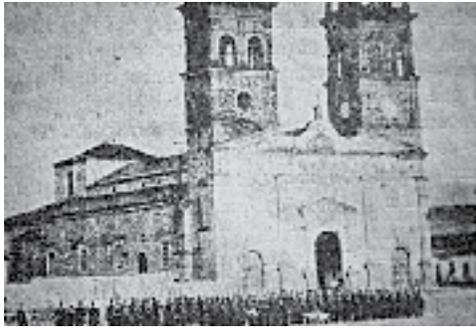
\* Los descriptores y key words plus están normalizados por la Biblioteca General de la Pontificia Universidad Javeriana.

Artículo de reflexión

El presente artículo es un borrador de propuesta de normativa para la rehabilitación de edificaciones en tierra para que sea incluida en las siguientes actualizaciones de la Norma Sismo Resistente de la República de Colombia.

Recepción: 10 de agosto de 2012

Aceptación: 12 de septiembre de 2012



**Figura 1:**  
*(Izquierda) Catedral de Cúcuta antes del sismo de 1875. (Derecha) Colapso estructural después del evento sísmico.*

**Fuente:**  
Archivo Fotográfico del Instituto Geofísico de la Pontificia Universidad Javeriana



**Figura 2:**  
*(Izquierda) Arg-é-Bam antes del sismo. (Derecha) Colapso estructural después del evento sísmico.*

**Fuente:**  
Earthquake Engineering Research Institute.

**Figura 3:**  
*Ensayo a escala real de un muro típico de las edificaciones monumentales colombianas.*

**Fuente:**  
Lopez, et al. , 2007



Andes (Uniandes) ha realizado investigaciones importantes al respecto.

Dentro de estas investigaciones se han propuesto diferentes alternativas de rehabilitación sísmica viables desde el punto de vista técnico y que consideran, en algunos casos, aspectos arquitectónicos. Todas estas alternativas han tenido el mismo objetivo: rehabilitar para preservar. Es así como se ha propuesto usar mallas metálicas, refuerzo con maderas de confinamiento, refuerzo con tensores de acero, contrafuertes, diversos tipos de vigas de coronación, etc. Sin embargo, en nuestro medio la norma sísmo resistente colombiana (NSR-10) no incluye apartados específicos sobre la manera de rehabilitar sísmicamente las construcciones vernáculas. Por esta razón los autores, que han trabajado por más de una década en rehabilitación y restauración de edificaciones en tierra, se dieron a la tarea de elaborar una propuesta (un borrador) de una futura normativa que sea incluida en las continuas actualizaciones que tiene la Norma Sísmo Resistente de la República de Colombia.

El documento se basa en los estudios de los grupos de investigación colombianos Estructuras, GIMECI y CIMOC, los cuales a su vez, iniciaron sus estudios con base en procesos desarrollados en el exterior. En este documento se presenta una primera aproximación que se espera sirva como semilla para una futura inclusión en la normatividad

## PROPUESTA DE NORMA

A continuación se presentan los principales apartados de la propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones en tierra patrimoniales.

### 1. PROPÓSITO

Los requisitos establecidos en este título, están dirigidos a lograr un comportamiento apropiado de las construcciones patrimoniales (como conjunto

estructural y en sus elementos) y su integridad estructural bajo las condiciones de carga vertical permanente o transitoria, bajo condiciones de fuerza lateral, de viento o de sismo y bajo estados ocasionales de fuerzas anormales.

## 2. ALCANCE

El presente título del reglamento establece los lineamientos generales para la intervención de Bienes de Interés Cultural (BIC) edificados en tierra. La intervención al patrimonio deberá además ceñirse a su nivel de protección y al tipo de intervención establecidas en la normativa vigente, emanada por las entidades encargadas de la protección del patrimonio. Con ellas se buscará no solo hacerlas menos vulnerables ante eventos sísmicos, protegiendo la vida de quienes la ocupan, sino además conservar el patrimonio construido, como memoria y aporte tecnológico apropiado a nuestro territorio.

Para efectos del presente capítulo se entiende por intervención lo determinado por la Ley General de Cultura 1185 de 2008:

Intervención. Por intervención se entiende todo acto que cause cambios al bien de interés cultural o que afecte el estado del mismo. Comprende, a título enunciativo, actos de conservación, restauración, recuperación, remoción, demolición, desmembramiento, desplazamiento o subdivisión, y deberá realizarse de conformidad con el Plan Especial de Manejo y Protección si este fuese requerido.

La intervención de un bien de interés cultural del ámbito nacional deberá contar con la autorización del Ministerio de Cultura o el Archivo General de la Nación, según el caso. Asimismo, la intervención de un bien de interés cultural del ámbito territorial deberá contar con la autorización de la entidad territorial que haya efectuado dicha declaratoria.

La intervención solo podrá realizarse bajo la supervisión de profesionales en la materia debidamente registrados o acreditados ante la respectiva autoridad.

La autorización de intervención que debe expedir la autoridad competente no podrá sustituirse, en el caso de bienes inmuebles, por ninguna otra clase de autoriza-

ción o licencia que corresponda expedir a otras autoridades públicas en materia urbanística.

Quien pretenda realizar una obra en inmuebles ubicados en el área de influencia o que sean colindantes con un bien inmueble declarado de interés cultural, deberá comunicarlo previamente a la autoridad que hubiera efectuado la respectiva declaratoria. De acuerdo con la naturaleza de las obras y el impacto que pueda tener en el bien inmueble de interés cultural, la autoridad correspondiente aprobará su realización o, si es el caso, podrá solicitar que las mismas se ajusten al Plan Especial de Manejo y Protección que hubiera sido aprobado para dicho inmueble.

El otorgamiento de cualquier clase de licencia por autoridad ambiental, territorial, por las curadurías o por cualquiera otra entidad que implique la realización de acciones materiales sobre inmuebles declarados como de interés cultural, deberá garantizar el cumplimiento del Plan Especial de Manejo y Protección si este hubiere sido aprobado (Ley 1185, 2008).

En caso de estar construidas con otros materiales diferentes a la tierra cruda, se regirán por lo determinado en el capítulo correspondiente de la NSR 10.

## 3. NOMENCLATURA

f'a = Resistencia a la compresión de piezas individuales de adobe en MPa

f'ma = Resistencia a la compresión de la mampostería de adobe en MPa

f'mt = Resistencia a la compresión de la tapia pisada MPa

$\gamma_a$  = Peso específico del adobe en kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_t$  = Peso específico de la tapia pisada en kN/m<sup>3</sup>

f<sub>ta</sub> = Resistencia a la tensión de la mampostería de adobe en MPa

f<sub>tt</sub> = Resistencia a la tensión de la tapia pisada en MPa

f<sub>va</sub> = Resistencia al corte de la mampostería de adobe en MPa

f<sub>vt</sub> = Resistencia al corte de la tapia pisada en MPa

E<sub>a</sub> = Módulo de elasticidad de la mampostería de adobe en MPa

Et = Módulo de elasticidad de la tapia pisada en MPa

Ga= Módulo de cortante de la mampostería de adobe en MPa

Gt= Módulo de cortante de la tapia pisada en MPa

#### 4. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

##### 4.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL CONSTITUTIVO DE LOS MUROS

Antes de iniciar un proceso de rehabilitación de edificaciones patrimoniales en tierra se deberá investigar las propiedades mecánicas mediante pruebas destructivas sobre los materiales que componen los muros de carga. Para ello se deberán extraer muestras de la mampostería con el fin de realizar pruebas de resistencia (mecánicas), físicas y químicas. Se deberán investigar las propiedades de al menos el 50 % de los muros de carga en el caso del adobe. Para cada muro se deberán extraer al menos dos muestras representativas del muro, donde el tamaño de cada muestra deberá ser el mínimo, se unos 5 cm o del tamaño de una pieza individual en el caso de muros de adobe. Asimismo, en el caso de muros de adobe se deberán extraer muestras suficientes de morteros de pega y de revoque para realizar una caracterización física y química en los términos definidos más adelante (si es posible se sugiere realizar pruebas mecánicas sobre el mortero de pega y revoque). A las muestras así extraídas se les deberá realizar una caracterización física, química y mecánica como se presenta a continuación:

##### 4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

A las muestras extraídas se les deberán realizar las siguientes pruebas de acuerdo con las normas técnicas de referencia:

1. INV E 123: Composición granulométrica: Granulometría por tamizado con lavado sobre tamiz No. 200, análisis granulométrico método del hidrómetro.
2. INV E 128: Peso específico: Peso específico de sólidos, método del picnómetro.
3. INV E 121: Contenido de materia orgánica, método ignición.
4. INV E 122: Determinación de la humedad.
5. INV E 125: Determinación del límite líquido

6. INV E 126: Determinación del límite plástico

##### 4.3 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Se deberán extraer suficientes muestras para realizar pruebas de compresión sobre los materiales. Si es posible, se deberán realizar las pruebas que permitan obtener los parámetros mecánicos de resistencia y flexibilidad indicados en la Tabla 1. Para el caso de la tapia pisada se deberán usar los valores indicados en la Tabla 1 en el caso de que haya imposibilidad demostrada de extraer muestras representativas para efectuar pruebas mecánicas de resistencia. En el caso de los muros de adobe, se debe extraer al menos un adobe por cada cuatro metros cuadrados de muro.

##### 4.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Para las muestras extraídas se deberán determinar los elementos químicos existentes en las muestras del material estructural (espectrofotometría por absorción atómica), también será necesario determinar patrones de dilución de los componentes químicos. El número de muestras lo determinará el especialista que tenga a su cargo dicho estudio.

##### 4.5 MORTEROS DE PEGA Y DE REVOQUE

A los morteros de pega y los morteros de revoque se les deberá realizar un estudio físico químico para determinar sus principales componentes.

##### 4.6 RANGOS DE PROPIEDADES PARA EL ADOBE Y LA TAPIA PISADA

De acuerdo con investigaciones realizadas a nivel nacional, en la Tabla 1 se presenta un resumen de los rangos de variación de algunas propiedades físicas y mecánicas del material en tierra. Estas propiedades corresponden a estructuras existentes y no consideran ningún tipo de adición o estabilizante.

Los nombres de las anteriores normas (adaptadas para ejecutar ensayos en tierra) se presentan a continuación:

1. ASTM C642 – 06. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete

**Tabla 1:**  
Lineamientos para las  
propiedades mecánicas  
de mampostería de  
adobe y tapia pisada

Fuente:  
Adaptado Rivera 2004.

Propiedad	Valor mínimo (MPa)	Valor máximo (MPa)	Procedimiento de ensayo
f'a	0.2	6.0	NTC 4017
f'ma	0.2	1.6	NTC 3495
f'mt	0.2	0.8	NTC 3495
ga	15	19	ASTM C 642
gt	19	19.5	ASTM C 642
Fta	0.0	0.02	NTC 4109
Ftt	0.0	0.02	NTC 4109
Fva	0.015	0.045	ASTM E 519
Fvt	0.015	0.045	ASTM E 519
Ea	70	200	NTC 3495
Et	70	110	NTC 3495
Ga	20	45	ASTM E 519
Gt	20	45	ASTM E 519

2. ASTM E519 / E519M – 10. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages
3. NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla
4. NTC 3495. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.
5. NTC 4109. Prefabricados de concreto, bordillos, cunetas, y topellantas de concreto (apartado de flexión).

#### 4.7 BLOQUES DE SUELO ESTABILIZADO

En el caso en que por deterioro o por solicitaciones estructurales se requiera reemplazar por completo piezas de adobe, se deberán usar bloques estabilizados los cuales deberán ser fabricados de acuerdo con la Norma NTC 5324.

#### 4.8 INVESTIGACIÓN DE LAS MADERAS DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES: CUBIERTAS Y ENTREPISOS

Para el caso de las maderas constitutivas de cubiertas y entrepisos se deberá realizar un estudio fitosanitario con el fin de establecer la tipología de madera, el estado de conservación de la madera, la sección remanente después del ataque físico, químico y biológico. Para ello el estudio lo deberá realizar un especialista en el área. El contenido del informe emitido por el especialista deberá incluir la sección remanente de los elementos de cubierta y entrepiso, la clasificación de las maderas y el rango de propiedades mecánicas de acuerdo con la NSR 10.

## 5. NIVELES DE INTERVENCIÓN

Los niveles de intervención son las pautas o criterios relacionados con la conservación de los valores del inmueble y su zona de influencia. De acuerdo a lo determinado por el Decreto 763 de 2009, artículo 20, los niveles de intervención, sin perjuicio de la facultad del Ministerio de reglamentar por vía general otros niveles de intervención para BIC del ámbito nacional y territorial son:

**I. Nivel 1. Conservación integral:** Se aplica a inmuebles del grupo arquitectónico de excepcional valor, los cuales, por ser irremplazables, deben ser preservados en su integralidad. En éstos, cualquier Intervención puede poner en riesgo sus valores e integridad, por lo que las obras deben ser legibles y dar fe del momento en el que se realizaron. Si el inmueble lo permite, se podrán realizar ampliaciones, en función de promover su revitalización y sostenibilidad.

En relación con los Inmuebles del Grupo Urbano debe garantizarse la preservación del trazado, manzanas, paramentos, perfiles, alturas, índices de ocupación, vías, parques, plazas y pasajes, entre otros. Se permite la modificación de los espacios internos del inmueble, siempre y cuando se mantenga la autenticidad de su estructura espacial: disposición de accesos, vestíbulos, circulaciones horizontales y verticales.

Tipos de obras permitidos en el Nivel 1: Restauración, reparaciones locativas, primeros auxilios, rehabilitación o adecuación funcional, reforzamiento estructural, reintegración, ampliación, consolidación y liberación.

**II. Nivel 2. Conservación del tipo arquitectónico.** Se aplica a Inmuebles del Grupo Arquitectónico con características representativas en términos de implantación predial (rural o urbana), volumen edificado, organización espacial y elementos ornamentales las cuales deben ser conservadas. Se permite la modificación de los espacios internos del inmueble, siempre y cuando se mantenga la autenticidad de su estructura espacial: disposición de accesos, vestíbulos, circulaciones horizontales y verticales.

Tipos de obras permitidos en el Nivel 2: Restauración, reparaciones locativas, primeros auxilios, rehabilitación o adecuación funcional, remodelación, reforzamiento estructural, reintegración, ampliación, consolidación y liberación.

**III. Nivel 3. Conservación contextual.** Se aplica a inmuebles ubicados en un Sector Urbano,

los cuales, aún cuando no tengan características arquitectónicas representativas, por su implantación, volumen, perfil y materiales, son compatibles con el contexto.

De igual manera, se aplica para inmuebles que no son compatibles con el contexto, así como a predios sin construir que deben adecuarse a las características del sector urbano.

Este nivel busca la recuperación del contexto urbano en términos del trazado, perfiles, paramentos, índices de ocupación y volumen edificado.

Tipos de obras permitidos en el Nivel 3: Demolición, obra nueva, modificación, remodelación, reparaciones locativas, primeros auxilios, reconstrucción, reforzamiento estructural, consolidación y ampliación (Decreto 763 de 2009, art. 20).

## 6. TIPOS DE OBRAS PERMITIDAS

Las obras permitidas dentro de los Bienes de Interés cultural, basadas con el Decreto 763 de 2009, artículo 41, previa autorización de la autoridad competente son:

**Primeros auxilios:** Obras urgentes a realizar en un inmueble que se encuentra en peligro de ruina, riesgo inminente, o que ha sufrido daños por agentes naturales o por la acción humana. Incluye acciones y obras provisionales de protección para detener o prevenir daños mayores, tales como: apuntalamiento de muros y estructuras, sobrecubiertas provisionales y todas aquellas acciones para evitar el saqueo de elementos y/o partes del inmueble, carpinterías, ornamentaciones, bienes muebles, etc.

**Reparaciones locativas:** Obras para mantener el Inmueble en las debidas condiciones de higiene y ornato sin afectar su materia original, su forma e integridad, su estructura portante, su distribución interior y sus características funcionales, ornamentales, estéticas, formales y/o volumétricas. Incluye obras de mantenimiento y reparación como limpieza, renovación de pintura, eliminación de goteras, remplazo de piezas en mal estado, obras de drenaje, control de humedades, contención de tierras, mejoramiento de materiales de pisos, cielorrasos, enchapes, y pintura en general. También incluye la sustitución, mejoramiento y/o ampliación de redes de instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas, ventilación, contra incendio, de voz y datos y de gas.

**Reforzamiento estructural:** Es la consolidación de la estructura de uno o varios inmuebles, con el objeto de acondicionarlos a niveles adecuados de seguridad sismo-resistente de acuerdo con los requisitos de la NSR10.

**Rehabilitación o adecuación funcional:** Obras necesarias para adaptar un inmueble a un nuevo uso, garantizando la preservación de sus características. Permiten modernizar las instalaciones, optimizar y mejorar el uso de los espacios.

**Restauración:** Obras tendientes a recuperar y adaptar un inmueble o parte de éste, con el fin de conservar y revelar sus valores estéticos, históricos y simbólicos. Se fundamenta en el respeto por su integridad y autenticidad.

**Obra Nueva:** Construcción de obra en terrenos no construidos.

**Ampliación:** Incremento del área construida de una edificación existente, entendiéndose por área construida la parte edificada que corresponde a la suma de las superficies de los pisos, excluyendo azoteas y áreas sin cubrir o techar.

**Consolidación:** Fortalecimiento de una parte o de la totalidad del inmueble.

**Demolición:** Derribamiento total o parcial de una o varias edificaciones existentes en uno o varios predios.

**Liberación:** Obras dirigidas a retirar adiciones o agregados que van en detrimento del inmueble ya que ocultan sus valores y características. El proceso de liberación de adiciones o agregados comprende las siguientes acciones:

1. Remoción de muros construidos en cualquier material, que subdividan espacios originales y que afecten sus características y proporciones.
2. Demolición de cuerpos adosados a los volúmenes originales del inmueble, cuando se determine que éstos afectan sus valores culturales.
3. Reapertura de vanos originales de ventanas, puertas, óculos, nichos, hornacinas, aljibes, pozos y otros. Retiro de elementos estructurales y no estructurales que afecten la estabilidad del inmueble.
4. Supresión de elementos constructivos u ornamentales que distorsionen los valores culturales del inmueble.

**Modificación:** Obras que varían el diseño arquitectónico o estructural de una edificación existente, sin incrementar su Área construida.

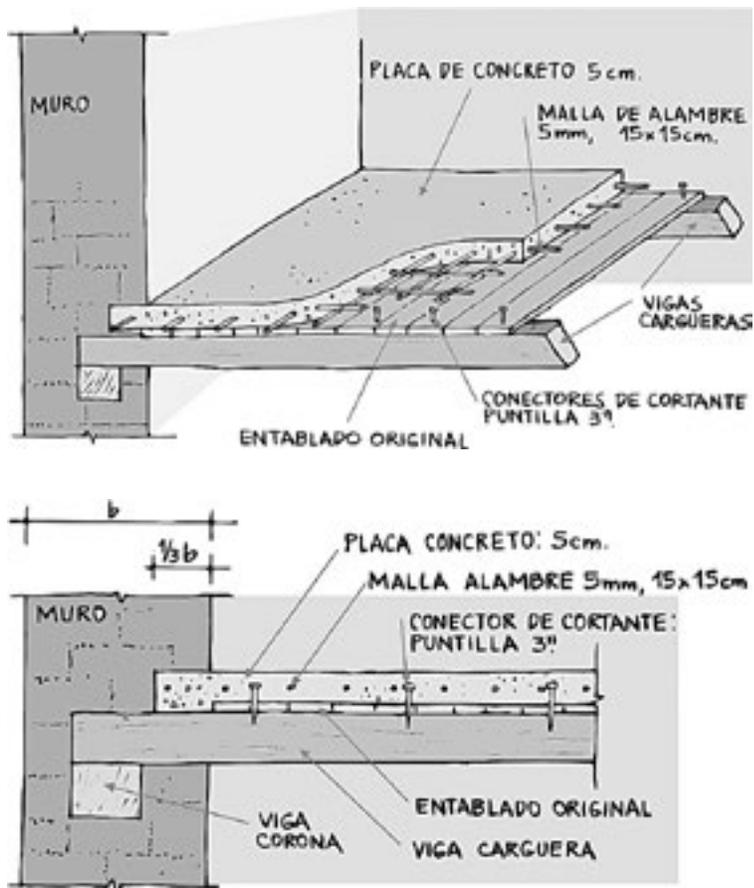


Figura 4 y 5.  
Plaqueta de concreto  
para mejoramiento  
de diafragma.  
Fuente:  
Tomado de la Asociación  
Colombiana de Ingeniería  
Sísmica (2004)

Reconstrucción: Obras dirigidas a rehacer total o parcialmente la estructura espacial y formal del inmueble, con base en datos obtenidos a partir de la misma construcción o de documentos gráficos, fotográficos o de archivo.

Reintegración: Obras dirigidas a restituir elementos que el Inmueble ha perdido o que se hace necesario reemplazar por su deterioro Irreversible.

Parágrafo. En el caso de inmuebles también son objeto de esta autorización las intervenciones en las áreas de influencia, bienes colindantes con dichos bienes y espacios públicos localizados en sectores urbanos declarados BIC e Identificados en el PEMP (Planes Especiales de Manejo y Protección). (Decreto 763 de 2009, art. 41).

## 7. ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN PARA MUROS Y DIAFRAGMA

Como alternativas de rehabilitación se presentan las estudiadas por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2004). Asimismo se presentan las alternativas estudiadas por los grupos GRIME, Estructuras y Construcción, y GIMECI re-

sumidas en el artículo de López et. al. (2007). Vale la pena aclarar que todos estos estudios están basados en propuestas nacionales e internacionales.

Las alternativas de rehabilitación propuestas tienen por objetivo disminuir el riesgo sísmico al que están sometidas las edificaciones en tierra. Se pretende evitar el colapso de la edificación durante el evento sísmico, o en lo posible, retardar dicho colapso para permitir la salida de los ocupantes y evitar con esto la pérdida de vidas humanas. Debe quedar claro que el objetivo de estas medidas de rehabilitación no están centradas en la protección de la propiedad ni en la minimización de los daños, ya que debido a las características mismas del adobe y la tapia pisada, es bastante improbable generar un nivel de seguridad similar al de una edificación nueva.

Las edificaciones de adobe y tapia presentan dos grandes deficiencias que las hacen altamente vulnerables ante la acción de los sismos. La primera de ellas es la falta de un diafragma rígido en el plano de los entrepisos y de la cubierta. La segunda deficiencia es la poca capacidad a flexión de los muros de tierra sin carga vertical. Con estas disposiciones las medidas de rehabilitación que se proponen se orientan principalmente a generar una estabilización de las edificaciones más que a un reforzamiento estructural. Por ello se propone lo siguiente:

1. Proporcionar un diafragma rígido en el plano con adecuadas conexiones y contactos a los muros perimetrales tratando de minimizar las sobrecargas asociadas.
2. Proporcionar capacidad a la flexión de los muros estructurales principales de la edificación, tanto en el plano del mismo como fuera del plano, tratando de garantizar así una cantidad mínima de muros en las dos direcciones principales de la edificación.
3. En el caso que no exista, ubicar una viga de coronación adecuadamente unida a los muros estructurales.
4. Disminuir la masa de las edificaciones de manera estratégica, ya que al ser el adobe y la tapia pisada materiales cohesivos friccionantes, se debe tener en cuenta la disminución del esfuerzo cortante resistente en la medida que se disminuye la fuerza axial.

A continuación se presentarán detalles de cada uno de estas alternativas:

### 7.1 DIAFRAGMAS RÍGIDOS

Independientemente de la alternativa de rigidización del diafragma que se utilice, se debe tener en cuenta que lo importante es garantizar una adecuada unión del diafragma con los muros de la edificación. Algunas alternativas para generar mecanismos de diafragma rígido se presentan a continuación.

#### Plaqueta de concreto

Construir una plaqueta de concreto de mínimo 8 cm de espesor (Véase la Figura 4) con una malla de refuerzo en las dos direcciones con alambrones de mínimo 5 mm de diámetro cada 15 cm. Se colocarán conectores de cortante conformados por pequeños tramos de varillas de refuerzo del No.2 al menos cada 40 cm a lo largo de las vigas principales de apoyo de manera que entren totalmente a la plaqueta de concreto y simultáneamente queden ancladas a los elementos principales del entrepiso. En los bordes laterales se deberán abrir regatas a los muros con el fin de que la plaqueta quede embebida en el muro y al menos exista un refuerzo longitudinal de la misma en la zona de la regata. El tamaño mínimo de la regata será de un tercio o 30 cm (la mayor de las dos) del espesor total del muro de apoyo.

#### Entablado complementario

En este caso se construye un entablado en las dos direcciones principales de la losa de entrepiso o en la dirección perpendicular en caso de que ya exista un entablado previo que se encuentre en buen estado. El entablado deberá ir adecuadamente conectado a los elementos de soporte mediante puntillas espaciadas, por lo menos cada 20 cm. Las puntillas de conexión deberán entrar a los elementos principales de soporte. El nuevo entablado deberá conectarse a los elementos perimetrales de madera o vigas corona existentes, en especial a las que van en dirección paralela a los elementos de entrepiso existentes. En caso de que no existan elementos de borde en madera, deberá de nuevo realizarse una regata en las bases de los muros y embeber allí un elemento de madera con dimensiones mínimas de 10 cm de altura por un

tercio ( $\frac{1}{3}$ ) del espesor del muro. Este elemento debe empotrarse en el muro mediante un mortero de pega. Estos elementos deberán prolongarse hasta las esquinas del muro, que se anclarán a los elementos de madera transversales existentes o se conformará un nuevo elemento de madera transversal para lograr un anclaje efectivo en la unión de los muros.

La madera a utilizar deberá ser mínimo de la clase ES4 según NSR 10 y deberá estar libre de defectos, fisuras, agrietamientos, acción de insectos o cualquier otro defecto o imperfección

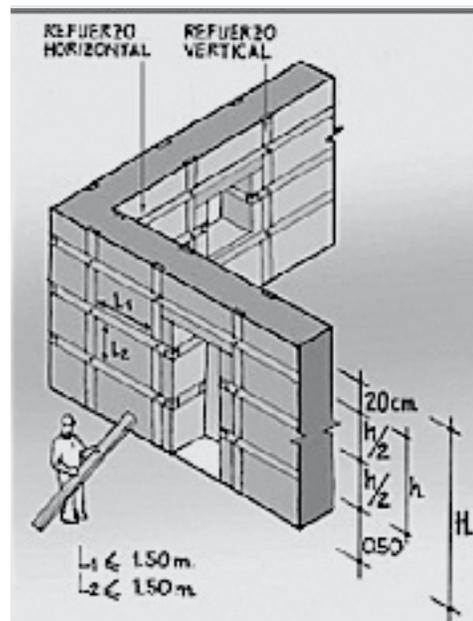
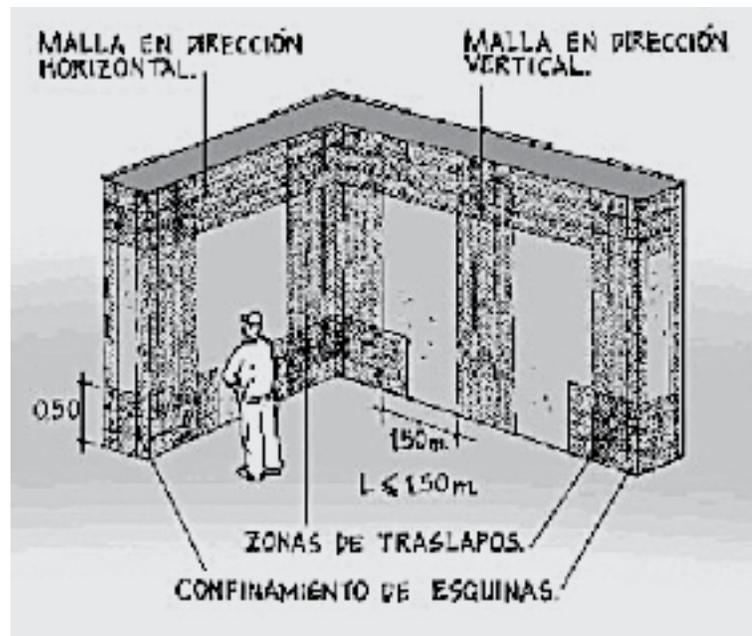


Figura 6. Esquema de reforzamiento en muro esquintero con mallas.

Fuente: Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2004)

Figura 7. Distribución de las maderas en los muros.

Fuente: Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2004)

que pueda afectar la función estructural que se le va a dar.

## 7.2 ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO DE MUROS

### Mallas con vena por franjas horizontales y verticales:

En las zonas críticas de los muros principales. Los tramos de malla se instalan en la cara interna y externa del muro en forma simultánea (Véase la Figura 6). Las mallas de las dos caras se interconectan con alambrones de 8 mm colocados en orificios previamente perforados, que se rellenan con mortero de cal y arena. El amarre del alambón y la malla se realiza únicamente en las venas de la malla. Los alambrones van espaciados cada 20 cm en promedio en las dos direcciones y los orificios previamente perforados se rellenan con mortero de cal y arena en proporción 1:2. Posteriormente la malla se recubre con mortero de cal y arena en proporción 1:2.

### Refuerzos horizontales y verticales en madera:

Esta alternativa pretende aumentar la resistencia a flexión de los muros y mantener la unidad de la estructura (Véase la Figura 7). Los elementos deben colocarse tanto por la cara externa como por la cara interna del muro. Los elementos horizontales de los muros se unen mediante platinas de acero, de manera que se pueda evitar la desarticulación de los diferentes muros y se mantenga siempre unida la edificación. En principio, no se pretende rigidizar los muros sino reforzarlos de manera que la sección del muro trabaje como una sección compuesta de tierra y madera. La compatibilidad de deformaciones entre los dos materiales se garantiza mediante pernos colocados cada 50 cm y mediante puntillas convencionales clavadas sobre las tablas utilizadas en el reforzamiento de manera que se proporcione una superficie de contacto rugosa. Los requerimientos mínimos de la alternativa de reforzamiento con maderas propuesta son los siguientes:

- Las tablas horizontales se instalarán a 50 cm medidos desde la viga de cimentación hasta arriba y a 20 cm medidos desde la viga corona de entrepiso hasta abajo. Se colocarán

tablas horizontales adicionales de manera que la separación vertical entre las mismas no exceda 1½ m.

- Las tablas verticales se instalarán a 10 cm de las esquinas. Se colocaran tablas verticales adicionales a separaciones de máximo 1½ m. Además se colocarán tablas verticales en los bordes de las aberturas de puertas o de ventanas y en las esquinas de intersección con otros muros contiguos.
- A nivel de los entresijos, las tablas verticales en ambas caras del muro se conectan con un tornillo, atravesando el muro al nivel de la viga corona de entrepiso. Igual procedimiento se seguirá en la parte superior de los muros, a nivel de las cubiertas, interconectando las tablas de madera mediante tornillos que atraviesan la viga corona correspondiente. Igualmente se colocará un perno de conexión a nivel de la viga de cimentación.
- El ancho de las tablas de madera confinante debe ser superior a la altura del muro dividida entre 15, nunca menos de 20 cm. Se deben utilizar tablas con espesor mínimo de 2 cm. Estas deben ser de buena calidad y deben estar libres de fisuras, grietas, desgarres, defectos o nudillos.
- El ancho de las platinas de esquina debe ser del orden de ¾ del ancho de la tabla de madera de refuerzo. El espesor de estas platinas debe ser de 1/4" o superior.
- Cuando se trate de muros de tapia pisada, los orificios de los mechinales se rellenan con una matriz de mortero de cal, arena y roca, o ladrillo. Para lograr un mejor llenado se recomienda clavar una cuña de madera en el orificio apenas unos minutos después de haberlo llenado.
- El espaciamiento máximo entre pernos de conexión a las tablas de madera debe ser de 50 cm.

### Barras de acero horizontales y verticales postensadas:

Se usan para generar una precompresión. Para generar una precompresión en los muros, tanto en la dirección vertical como en la horizontal y de esta forma mejorar el comportamiento esperado, tanto del muro como del conjunto de muros (Véanse las Figuras 8 y 9). Las barras deben instalarse a manera de anillos perimetrales (verticales y hori-

zontales) que controlan la flexión perpendicular al plano del muro con continuidad en las esquinas para mitigar la posibilidad de fisura por corte en esos sitios. El cable envuelve el muro verticalmente y cruza sobre la estructura de cubierta a la altura de la viga corona y se unen sus extremos con tensores de tornillo. Para la instalación de los tensores se hace una caja en el muro. Las fuerzas de tensión deben calcularse para que anulen o minimicen los esfuerzos de tensión ocasionados por las fuerzas sísmicas. Los tensores deberán llevarse como máximo hasta el 40% de su esfuerzo de fluencia y la fuerza de tensión deberá reaccionar contra perfiles metálicos cuya área de contacto deberá calcularse para evitar el aplastamiento del muro y/o la falta de los perfiles.

### 7.3 VIGA DE CORONACIÓN EN MUROS PRINCIPALES

Se debe instalar una viga 'corona' en la parte superior de todos los muros principales y alrededor de todo el perímetro de la edificación de adobe o de tapia pisada. Esta viga corona puede ser de madera o de concreto con una zona de transición entre el concreto y la tierra para evitar cambios bruscos de material. Asimismo, en caso de que la viga de coronación sea de concreto, puede ser necesario instalar elementos de borde en las esquinas de los muros con el fin de garantizar un mejor comportamiento. Esta alternativa va acompañada de elementos de confinamiento verticales embebidos en el muro.

## 8. SANCIONES

Para el efecto de sanciones y faltas contra los Bienes de interés cultural, se regirá de acuerdo con lo determinado por la Ley 1.185 de 2008, artículo 15, Numeral 2:

Si la falta consiste, ya sea por acción o por omisión, en la construcción, ampliación, modificación, reparación o demolición, total o parcial, de un bien de interés cultural, sin la respectiva licencia, se impondrán las sanciones previstas en el artículo 66 de la Ley 9ª de 1989 y en los artículos 103 y 104 de la Ley 388 de 1997, o en las normas que las sustituyan o modifiquen, aumentadas en un ciento por ciento (100%), por parte de la entidad competente designada en esa ley.



**Figura 8.**  
*Regatas para la ubicación de los tensores.*  
**Fotografía:**  
Cecilia Lopez et. al 2007

**Figura 9.**  
*Proceso de tensión de las varillas y estado final del muro antes de los ensayos. Detalle de uno de los 'strain gages' instalados.*  
**Fotografía:**  
Cecilia Lopez et. al 2007



### Numeral 4

Si la falta consiste en la intervención de un bien de interés cultural sin la respectiva autorización en la forma prevista en el numeral 2 del artículo 11 de este título, se impondrá multa de doscientos (200) a quinientos (500) salarios mínimos legales mensuales vigentes por parte de la autoridad que hubiera efectuado la respectiva declaratoria. En la misma sanción incurrirá quien realice obras en inmuebles ubicados en el área de influencia o colindantes con un inmueble de interés cultural sin la obtención de la correspondiente autorización.

También será sujeto de esta multa el arquitecto o restaurador que adelante la intervención sin la respectiva autorización, aumentada en un ciento por ciento (100%). La autoridad administrativa que hubiera efectuado la declaratoria de un bien como

de interés cultural podrá ordenar la suspensión inmediata de la intervención que se adelante sin la respectiva autorización, para lo cual las autoridades de policía quedan obligadas a prestar su concurso inmediato a efectos de hacer efectiva la medida que así se ordene. En este caso, se decidirá en el curso de la actuación sobre la imposición de la sanción, sobre la obligación del implicado de volver el bien a su estado anterior, y/o sobre el eventual levantamiento de la suspensión ordenada si se cumplen las previsiones de esta ley.

Lo previsto en este numeral se aplicará sin perjuicio de la competencia de las autoridades territoriales para imponer sanciones y tomar acciones en casos de acciones que se realicen sin licencia sobre bienes inmuebles de interés cultural en virtud de lo señalado en el numeral 2 del mismo. (Ley 1185, 2008)

## 9. COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA LAS CONSTRUCCIONES PATRIMONIALES Y CONSTRUCCIONES EN TIERRA

### 9.1 COMISIÓN ASESORA PERMANENTE

La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Patrimoniales y Construcciones en Tierra fue creada para la interpretación y aplicación de las normas sobre construcciones patrimoniales, estará adscrita al Ministerio de Desarrollo Económico y formará parte del Sistema Nacional para la Atención y Prevención de Desastres.

#### 9.1.1 Integración de la Comisión

La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Patrimoniales y Construcciones en Tierra estará conformada por tres ingenieros y tres arquitectos restauradores con reconocida experiencia en el ámbito del patrimonio con las siguientes características:

1. Título profesional
2. Experiencia certificada de más de diez años en estudios, investigación, consultoría o construcción de edificaciones patrimoniales.

Los miembros de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Patrimoniales y Construcciones en Tierra serán designados para períodos de un (1) año y podrán ser reelegidos hasta por dos periodos consecutivos.

#### 9.1.2 Funciones

La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Patrimoniales y Construcciones en Tierra, tendrá las siguientes funciones:

- Atender y absolver las consultas que le formulen las Entidades Oficiales y los particulares.
- Dirigir y supervigilar las investigaciones que se lleven a cabo sobre aspectos relacionados con la Ley y su desarrollo.
- Enviar las Comisiones de estudio que considere necesarias a las zonas del País que se vean afectadas por sismos o movimientos telúricos y publicar los resultados de tales estudios. Coordinar las investigaciones sobre las causas de fallas de estructuras y emitir conceptos técnicos.
- Coordinar y realizar seminarios y cursos de actualización sobre las normas de construcción sismo resistentes.
- Servir de Órgano Consultivo del Gobierno Nacional para efectos de sugerir las actualizaciones en los aspectos técnicos que demande el desarrollo de las normas sobre reforzamiento estructural de edificaciones patrimoniales.
- Fijar los procedimientos por medio de los cuales, periódicamente, se acrediten la experiencia, cualidades y conocimientos que deben tener los profesionales que realicen los diseños y las intervenciones a BIC.
- Las demás que le fije la Ley y las que le asigne el Gobierno Nacional, según su competencia.

La Comisión Asesora Permanente, para el Régimen de Construcciones Patrimoniales y construcciones en tierra será un cuerpo exclusivamente consultativo del Gobierno Nacional y no podrá asumir funciones que invadan la competencia constitucional que tienen los Distritos y Municipios en materia de vigilancia y control de las actividades relacionadas con la construcción.

## CONCLUSIONES

En el presente documento se han referenciado las principales investigaciones a nivel nacional sobre la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales y no patrimoniales en tierra. Con base en lo anterior se propuso el borrador del texto a incluir en las futuras actualizaciones de la Normativa Sismoresistente de la República de Colombia. Los capítulos que se incluyeron en la propuesta de normativa fueron: propósito, alcance, nomenclatura, caracterización de materiales, niveles de intervención, tipos de obras permitidas, alternativas de rehabilitación de muros y diafragmas.

Se propone la creación simultánea de la normativa en conjunto con una *Comisión asesora permanente para las construcciones patrimoniales y construcciones en tierra*. En la propuesta de normativa, se procuró vincular las investigaciones, a nivel nacional desde el punto de vista de la arquitectura y la ingeniería, con la Ley General de Cultura. Este documento se pone a disposición de la comunidad de arquitectos e ingenieros restauradores para recibir las críticas y aportes que permitan su futura inclusión en la Normativa Sismoresistente de la República de Colombia.

## Referencias

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2004). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en Adobe y Tapia Pisada. Originada en el Informe Final "Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada"*. Colombia: Red de solidaridad social de la

Presidencia de la República, y FOREC, Fondo para la reconstrucción y el desarrollo social del Eje Cafetero.

ASTM (2011). *American Standards for Testing Materials*. Pennsylvania, USA: ASTM

Decreto 763 del 2009. Por el cual se reglamentan parcialmente las leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificada por medio de la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material. (2009)

ICONTEC (2011). *Normas Técnicas Colombianas*. Bogotá D.C, Colombia: ICONTEC

INVIAS, Instituto Nacional de Vías. (2007) *Normas de Ensayos de Materiales para carreteras Vol I. y II*. Bogotá D.C, Colombia: INVIAS.

Ley 1185. Por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 –Ley General de Cultura– y se dictan otras disposiciones. (2008).

López C., Ruiz D., Jerez S., Quiroga P., Uribe J. (2007, julio-diciembre). Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero. *Revista Apuntes*, 20 (2), 304-317.

Rivera J. (2004) *Caracterización estructural para materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe*. (Monografía inédita de Magíster en Restauración de Monumentos Arquitectónicos). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Yamín L., Phillips C., Reyes J., Ruiz D. (2007 julio-diciembre). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Revista Apuntes*, 20 (2), 286-303.

