

Revisó wasAprobó C.M.G.

## MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

DECRETO NÚMERO 2113 DE 2019

**25 NOV 2019**

*"Por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 – Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras disposiciones"*

## EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

En ejercicio de las facultades constitucionales y legales, en especial de las conferidas en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, la Ley 400 de 1997 y

**CONSIDERANDO:**

Que el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, faculta al Presidente de la República a ejercer la potestad reglamentaria, mediante la expedición de los decretos, resoluciones y órdenes necesarios para la cumplida ejecución de las leyes.

Que el artículo 4° de la Ley 397 de 1997, modificado por el Artículo 1° de la Ley 1185 de 2008, define el Patrimonio Cultural de la Nación como el constituido por todos los bienes y valores culturales que son expresión de la nacionalidad colombiana, tales como la tradición, las costumbres y los hábitos, así como el conjunto de bienes inmateriales y materiales, muebles e inmuebles, que poseen un especial interés histórico, artístico, estético, plástico, arquitectónico, urbano, arqueológico, ambiental, ecológico, lingüístico, sonoro, musical, audiovisual, fílmico, científico, testimonial, documental, literario, bibliográfico, museológico, antropológico y las manifestaciones, los productos y las representaciones de la cultura popular.

Que el artículo 5° de la Ley 397 de 1997, modificado por el artículo 2° de la Ley 1185 de 2008, establece que la política estatal en lo referente al patrimonio cultural de la Nación, tendrá como objetivo principal, la protección, conservación, rehabilitación y divulgación de dicho patrimonio, con el fin de servir como testimonio de la identidad cultural nacional, tanto en el presente como en el futuro.

Que el artículo 1° de la Ley 1185 de 2008, prevé que los bienes del patrimonio cultural de la Nación, así como los bienes de interés cultural pueden pertenecer, según el caso, a la Nación, a entidades públicas de cualquier orden o a personas naturales o jurídicas de derecho privado.

Que en los procesos relacionados con la formulación y evaluación de los proyectos de intervención, particularmente los relacionados con el reforzamiento estructural de Bienes de Interés Cultural, en su mayoría erigidos en sistemas constructivos tradicionales, como piedra, tapia pisada, adobe, bahareque, entre otros, se han detectado vacíos normativos que limitan las propuestas de reforzamiento estructural para inmuebles que hacen parte del patrimonio cultural, permitiendo la implantación de estructuras constituidas por sistemas industrializados que en muchos casos, son incompatibles con el

"Por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 – Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras disposiciones"

comportamiento estructural de los bienes de interés cultural y con los principios y criterios de conservación previstos en la Ley 397 de 1997 para la salvaguardia y protección de sus valores históricos, estéticos y simbólicos.

Que en este sentido se evidenció la necesidad de realizar una investigación técnica que estudiara las condiciones estructurales de los sistemas constructivos tradicionales, con el fin de generar para los bienes de interés cultural, opciones de reforzamiento estructural efectivas, coherentes y compatibles con su materialidad y sus condiciones constructivas, que dieran como resultado un documento técnico soportado en estudios internacionales para vincular y complementar el marco normativo vigente, representado por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, fomentando la conservación del patrimonio cultural construido y a su vez, la protección y continuidad de los saberes y prácticas constructivas que componen el patrimonio cultural inmaterial y hacen parte de las memorias de nuestros pueblos.

Que se han tenido significativos avances del trabajo conjunto entre el Ministerio de Cultura, el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural -IDPC- y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica -AIS-, con el fin de aunar esfuerzos institucionales, logísticos y técnicos para la realización de investigaciones y estudios sobre el comportamiento estructural de los sistemas constructivos tradicionales de los bienes de interés cultural, lo cual tuvo como resultado el documento denominado "AIS-610-EP-2017 – Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada", aprobado por el Consejo Nacional de Patrimonio Cultural y la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

Que en mérito de lo anterior,

**DECRETA:**

**Artículo 1º. Modificación.** Modifíquese el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, en las secciones, ordinales, numerales, literales, párrafos, notas y demás aspectos técnicos, según documento anexo, que hace parte del presente decreto.

**Artículo 2º. Vigencia.** El presente decreto rige a partir de la fecha de su publicación.

**PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE 25 NOV 2019**

Dado en Bogotá D.C., a los

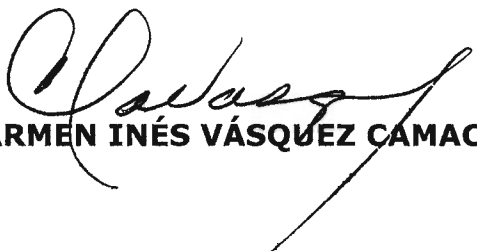
El Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio

  
JONATHAN TYBALT MALAGÓN GONZÁLEZ

*"Por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 – Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras disposiciones"*

**25 NOV 2019**

La Ministra de Cultura

  
**CARMEN INÉS VÁSQUEZ CAMACHO**

## ANEXO TÉCNICO

---

En todos los lugares donde diga "Resolución 0015 de 2015" se sustituye por "Resolución 0017 de 2017".

---

Se introduce la sección A.10.9.2.6, cuyo texto es el siguiente:

**A.10.9.2.6 — Edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada** — Cuando se trate de edificaciones declaradas como patrimonio histórico, de conservación arquitectónica o sectores y bienes de interés cultural de carácter nacional, departamental, municipal o distrital, de uno y dos pisos construidas con adobe y tapia pisada, el diseño de su reforzamiento deberá realizarse siguiendo los requisitos de la Norma AIS-610-EP-2017 "*Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada*" con el fin de garantizar un nivel de seguridad sísmica equivalente al que el Reglamento exige a una edificación nueva. Para el procedimiento de evaluación de la intervención se seguirá lo establecido en la Sección A.10.1.4 y una vez efectuado el reforzamiento bajo los requisitos de la Norma AIS-610-EP-2017, el supervisor técnico independiente, de conformidad con lo previsto en la sección A.10.1.6, al finalizar la intervención deberá indicar mediante concepto técnico si la vulnerabilidad ha sido resuelta y definir si se puede autorizar el acceso al público en general a la edificación.



**ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
DE  
INGENIERIA SISMICA**

**AIS 610-EP-17: EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE  
EDIFICACIONES PATRIMONIALES DE UNO Y DOS  
PISOS DE ADOBE Y TAPIA PISADA**

## **MINISTERIO DE CULTURA DE COLOMBIA**

**2017**

**Dra. Mariana Garcés Córdoba**  
Ministra

**Dra. Zulia Mena García**  
Viceministra

**Dr. Enzo Rafael Ariza Ayala**  
Secretario General

**Arq. Alberto Escovar Wilson-White**  
Director de Patrimonio

**Arq. Claudia Díaz Bojacá**  
Coordinadora Grupo de Intervención de BIC

**Ing. Diego Fernando Rozo Cristancho**  
Asesor Estructural Dirección de Patrimonio – Grupo de Intervención de BIC

**Ing. Oscar Humberto Medina Acero**  
Asesor Estructural Dirección de Patrimonio – Grupo de Protección de BIC

**2019**

**Dra. Carmen Inés Vásquez Camacho**  
Ministra

**Dr. David Melo Torres**  
Viceministro

**Dra. Claudia Isabel Victoria Niño**  
Secretaria General

**República de Colombia**  
**Ministerio de Cultura**  
Dirección de Patrimonio  
Carrera 8 N° 8 – 55  
Teléfono (57-1) 342 4100  
Bogotá, D.C.  
atencionalciudadano@mincultura.gov.co  
www.mincultura.gov.co  
**Ministerio de Cultura**

## **INSTITUTO DISTRITAL DE PATRIMONIO CULTURAL - IDPC**

**2017**

**Arq. María Eugenia Martínez Delgado**  
Directora General

**Arq. Miguel Hincapié Triviño**  
Subdirector General

**Arq. Dorys Patricia Noy Palacios**  
Subdirectora de intervención

**Arq. Miguel Angel Villamizar Vega**  
Supervisor

**2019**

**Arq. Mauricio Uribe González**  
Director General

**María Victoria Villamil Páez**  
Subdirectora General

**Arq. Carolina Fernández Borda**  
Subdirectora de intervención

**Arq. Miguel Angel Villamizar Vega**  
Supervisor

**Alcaldía Mayor De Bogotá**  
**Secretaría de Cultura, Recreación Y Deporte**  
Dirección sede principal  
Calle 8 N° 8 – 52  
Teléfono (57-1) 355 0800  
Bogotá, D.C.  
[atencionciudadania@idpc.gov.co](mailto:atencionciudadania@idpc.gov.co)  
[www.idpc.gov.co](http://www.idpc.gov.co)  
**IDPC**

## **ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA**

### **JUNTA DIRECTIVA - 2017**

**Ing. Juan Francisco Correal Daza**  
Presidente

**Ing. Ismael Santana Santana**  
Vicepresidente

**Ing. Sandra Rocío Jerez Barbosa**  
Secretaria

**Ing. Carlos Eduardo Bernal Latorre**  
Representante de los Socios

**Ing. Carlos Alberto Arteta Torrents**  
Suplente Representante de los Socios

**Ing. Eduardo Castell Ruano**  
Tesorero

**Ing. Zulma Stella Pardo**  
**Ing. Nancy Torres Castellanos**  
**Ing. Juan Andrés Oviedo Amézquita**  
**Ing. Gloria Alcira Becerra Samudio**  
**Ing. Alfredo Santander Palacios**  
Vocales

### **COMITÉ AIS 600 - 2017**

**Ing. Jairo Uribe Escamilla**  
Director

**Ing. Sandra Jerez Barbosa**  
Secretaria

**Ing. Elizabeth Acero Matallana**  
**Ing. José Joaquín Álvarez Enciso**  
**Ing. Jonathan José Cala Monroy**  
**Ing. Julián Carrillo León**  
**Ing. Francisco de Valdenebro Bueno**  
**Ing. Sandra Rocío Jerez**  
**Arq. Cecilia López Pérez**  
**Ing. José Gustavo Martínez Murcia**  
**Ing. Lila Gabriela Méndez**  
**Ing. Juan Carlos Reyes Ortiz**  
**Ing. Juan Carlos Rivera Torres**  
**Ing. Daniel Mauricio Ruiz Valencia**  
**Ing. Ismael Santana Santana**  
**Ing. Jairo Uribe Escamilla**  
Miembros

**Ing. Luis Fernando Velasco Angulo**  
**Arq. Lucía Garzón**  
Asesores



**Colaboradores en la redacción del documento:**

**Ing. Sandra Rocío Jerez Barbosa**

**Ing. Juan Carlos Reyes Ortiz**

**Ing. Juan Carlos Rivera Torres**

**Arq. Cecilia López Pérez**

**Ing. Daniel Mauricio Ruiz Valencia**

**Ing. Ismael Santana Santana**

**Ing. Jairo Uribe Escamilla**

## **INTRODUCCIÓN**

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 no contempla dentro de los materiales estructurales aceptados la tierra; sin embargo, en el país existen muchas construcciones en adobe y tapia pisada, tanto en el medio urbano como rural. Un número importante de edificaciones construidas con este material han sido declaradas a lo largo de la historia como Bienes Inmuebles de Interés Cultural (BIC). Por otro lado, la experiencia en varios sismos ha mostrado que los sistemas estructurales en tierra son altamente vulnerables a la ocurrencia de eventos sísmicos; por lo tanto, es importante tener recomendaciones sobre la evaluación e intervención de edificaciones en tierra.

El Ministerio de Cultura, el Instituto Distrital de patrimonio Cultural IDPC y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, conscientes de la vulnerabilidad sísmica de los sistemas estructurales en tierra y con el propósito de reducir la vulnerabilidad de estas construcciones y el riesgo para los ocupantes así como proteger el patrimonio cultural, han unido esfuerzos para desarrollar una normativa que llene el vacío existente y brinde a la ingeniería estructural así como a los expertos en la conservación y restauración de Bienes Inmuebles de Interés Cultural, una guía adecuada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, el diseño del reforzamiento estructural que se pueda requerir y la ejecución de las obras de reforzamiento. Mediante un contrato con el IDPC y un convenio interadministrativo con el Ministerio de Cultura, AIS desarrolló una investigación exhaustiva la cual incluyó un estudio del estado del arte a nivel mundial para el reforzamiento de construcciones en tierra, la revisión de normas y reglamentos para el reforzamiento de sistemas estructurales en tierra desarrollados por países como Nueva Zelanda, Chile y Perú y desarrolló un programa experimental para evaluar muros construidos en tierra tanto en adobe como en tapia pisada. Se diseñaron y ensayaron muros a escala natural, con alturas, espesores, longitudes y configuraciones similares a los de las construcciones existentes. Mediante ensayos cíclicos en muro de reacción y ensayos dinámicos en mesa vibratoria se comparó el comportamiento de los muros en tierra sin refuerzo con muros reforzados y a la vez se verificó la eficacia de cada una de las alternativas de reforzamiento aceptadas por esta norma.

Como fruto de este esfuerzo aunado, AIS, con el apoyo de su comité AIS 600 Construcciones de Tierra y Patrimoniales, desarrolló la presente norma AIS 610-EP-17: EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES DE UNO Y DOS PISOS DE ADOBE Y TAPIA PISADA. Aunque como su nombre lo dice, ha sido creada para la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales, puede ser utilizada para evaluar e intervenir edificaciones de uno y dos pisos construidas en adobe y tapia pisada sin necesidad que tengan la declaratoria de Bien Inmueble de Interés Cultural.

La norma AIS 610-EP-17 fue aprobada tanto por el Consejo Nacional de Patrimonio en su reunión N° 1 de fecha 17 de febrero de 2017 como por la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones en su reunión N° 140 de fecha 13 de julio de 2017. La Comisión Asesora Permanente recomienda al Sr. Presidente de la República a través del Ministro de Vivienda la decisión por medio de la cual se da el visto favorable que requiere el Artículo 49 de la Ley 400 de 1997 y se recomienda la expedición por parte del Gobierno Nacional de un Decreto que contenga las modificaciones al Reglamento NSR-10 aprobadas por la Comisión. Se incorporó la norma AIS 610-EP-17 al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 por medio del presente Decreto, con una modificación parcial al Capítulo A.10. AIS hace la salvedad que la presente norma no es aplicable para el diseño y construcción de edificaciones nuevas.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 REQUISITOS GENERALES</b> .....	<b>1</b>
1.1 — GENERAL .....	1
1.2 — PROPÓSITO Y ALCANCE .....	1
1.2.1 — PROPÓSITO .....	1
1.2.2 — ALCANCE .....	1
1.2.2.1 — Edificaciones no declaradas como bienes de interés cultural (BIC) .....	1
1.2.3 — EXCEPCIONES .....	1
1.3 — DISPOSICIONES LEGALES QUE REGULAN EL TRÁMITE DE INTERVENCIÓN .....	1
1.4 — PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE Y SU INTERVENCIÓN O REFORZAMIENTO .....	2
1.4.1 — INFORMACIÓN PRELIMINAR .....	2
1.4.2 — EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE .....	2
1.4.3 — INTERVENCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL .....	2
1.5 — CÁLCULOS, MEMORIAS Y PLANOS .....	3
1.5.1 EXPEDIENTE DE LA EDIFICACIÓN PATRIMONIAL .....	3
1.5.2 — MEMORIAS Y CÁLCULOS .....	3
1.5.3 — PLANOS .....	3
<b>CAPÍTULO 2 NOTACIÓN Y DEFINICIONES</b> .....	<b>5</b>
2.1 — NOTACIÓN .....	5
2.2 — DEFINICIONES .....	6
<b>CAPÍTULO 3 ESTUDIOS E INVESTIGACIONES MÍNIMAS REQUERIDAS PARA ABORDAR UNA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN UNA EDIFICACIÓN PATRIMONIAL</b> .....	<b>9</b>
3.1 — CONSIDERACIONES .....	9
3.2 — CRITERIOS DE PRESERVACIÓN DE EDIFICIOS PATRIMONIALES .....	9
3.2.1 — LA SEGURIDAD FÍSICA DE LAS PERSONAS .....	9
3.2.2 — LA SALVAGUARDA DE LOS VALORES DEL EDIFICIO .....	9
3.2.3 — EL USO ACTUAL Y FUTURO QUE SE LE DÉ A LA EDIFICACIÓN HISTÓRICA .....	9
3.3 — FUNDAMENTOS PARA LA CONSERVACIÓN ESTRUCTURAL .....	9
3.3.1 — EL CONOCIMIENTO Y ENTENDIMIENTO GLOBAL DEL EDIFICIO .....	9
3.3.2 — EL COMPORTAMIENTO ÍNTEGRO DE LA ESTRUCTURA .....	9
3.3.3 — LA IDENTIFICACIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS DE LOS DAÑOS Y ALTERACIONES PRESENTES EN LA EDIFICACIÓN .....	10
3.4 — CRITERIOS PARA LA INTERVENCIÓN DE ESTRUCTURAS PATRIMONIALES .....	10
3.5 — DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL .....	10
3.6 — FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN .....	10
3.6.1 — DURABILIDAD DE LA ESTRUCTURA / VIDA ÚTIL .....	10
3.6.2 — CAMBIO DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES .....	11

3.7 — ÁREAS DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS PATRIMONIALES.....	11
3.7.1 — EVOLUCIÓN HISTÓRICO-CONSTRUCTIVA .....	11
3.7.2 — INDAGACIÓN SOBRE INTERVENCIONES ANTERIORES.....	12
3.7.3 — DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO .....	12
3.7.4 — ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN Y SU ENTORNO .....	12
3.7.5 — CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES DE IMPLANTACIÓN DEL EDIFICIO .....	12
3.7.6 — DEFINICIÓN DE LA COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN .....	12
3.7.7 — IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	12
3.7.8 — CALIDAD DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO / CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES .....	12
3.7.9 — FACTORES QUE INCIDEN EN LA EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	12
3.8 — EXPEDIENTE DE LA EDIFICACIÓN .....	12
<b>CAPÍTULO 4 MATERIALES .....</b>	<b>15</b>
4.1 — INTRODUCCIÓN .....	15
4.2 — EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL CONSTITUTIVO DE LOS MUROS .....	15
4.2.1 — NUMERO MÍNIMO DE ENSAYOS .....	15
4.2.2 — CARACTERIZACIÓN FÍSICA .....	15
4.2.3 — CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNIDADES DE ADOBE .....	15
4.3 — EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA .....	16
4.3.1 — NÚMERO MÍNIMO DE ENSAYOS .....	16
4.3.2 — ENSAYO DE COMPRESIÓN .....	16
4.3.3 — RANGOS DE PROPIEDADES PARA LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE Y TAPIA PISADA .....	16
4.4 — EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE ESPECÍMENES A ESCALA REAL .....	17
4.4.1 — ENSAYO SOBRE MUROS .....	17
4.4.2 — ENSAYO SOBRE MACHONES.....	17
4.5 — EVALUACIÓN DE LAS MADERAS ESTRUCTURALES EXISTENTES .....	17
4.5.1 — CONSIDERACIONES DEL USO DE LA MADERA EN EDIFICACIONES DE TIERRA .....	17
4.5.2 — ESTUDIOS REQUERIDOS .....	17
4.6 — PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL REFORZAMIENTO .....	18
<b>CAPÍTULO 5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL .....</b>	<b>19</b>
5.1 — GENERAL .....	19
5.2 — SOLICITACIONES EQUIVALENTES .....	19
5.2.1 — MOVIMIENTOS SÍSMICOS PRESCRITOS .....	19
5.2.1.1 — Aceleración espectral para diseño.....	19
5.2.1.2 — Cortante sísmico en la base .....	19
5.2.2 — COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA, R' .....	19
5.2.3 — FUERZAS SÍSMICAS .....	19
5.2.4 — CARGAS DIFERENTES A LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS .....	19
5.2.5 —ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	19

***AIS 610-EP-17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada***

5.2.5.1 — Modelo tridimensional .....	19
5.2.5.2 — Modelo simplificado .....	19
5.2.6 — OBTENCIÓN DE LAS SOLICITACIONES EN LOS MUROS O MACHONES .....	20
5.3 — ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO .....	20
5.4 — RESISTENCIA .....	20
5.4.1 — RELACIÓN ENTRE DEMANDA Y CAPACIDAD .....	20
5.4.2 — RESISTENCIA EXISTENTE DE LOS ELEMENTOS .....	20
5.4.3 — RESISTENCIA EFECTIVA .....	20
5.4.4 — VALORES DE $\phi_{ec}$ .....	20
5.4.5 — VALORES DE $\phi_a$ .....	21
5.5 — RIGIDEZ .....	21
5.5.1 — INDICE DE FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA ACTUAL .....	21
5.5.2 — INDICE DE FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA INTERVENIDA .....	21
5.6 — DURABILIDAD .....	21
5.6.1 — PROTECCIÓN DE MUROS DE TIERRA .....	21
5.6.2 — PROTECCIÓN DE ELEMENTOS USADOS EN EL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....	21
5.6.3 — CRITERIO DE DURABILIDAD .....	21
<b>CAPÍTULO 6 EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE .....</b>	<b>23</b>
6.1 — CONSIDERACIONES GENERALES .....	23
6.2 — MODELO ESTRUCTURAL DE ANÁLISIS .....	23
6.3 — RESISTENCIA A CARGA AXIAL DE MUROS Y MACHONES .....	23
6.3.1 — COMPRESIÓN .....	23
6.3.2 — TENSIÓN VERTICAL .....	23
6.3.3 — TENSIÓN HORIZONTAL .....	23
6.4 — RESISTENCIA A CORTANTE DE MUROS Y MACHONES .....	24
6.5 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE HORIZONTAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL VERTICAL .....	24
6.5.1 — FUERZAS SISMICAS EN EL PLANO DEL MURO O MACHON .....	24
6.5.2 — FUERZAS SISMICAS FUERA DEL PLANO DEL MURO O MACHON .....	24
6.6 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE VERTICAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL HORIZONTAL .....	25
6.6.1 — RESISTENCIA A FLEXIÓN .....	25
6.6.2 — RESISTENCIA A COMPRESIÓN HORIZONTAL .....	26
6.7 — RESISTENCIA DE ELEMENTOS DIFERENTES A MUROS Y MACHONES .....	26
6.8 — PATRONES DE AGRIETAMIENTO Y MECANISMOS DE COLAPSO TÍPICOS .....	26
<b>CAPÍTULO 7 ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....</b>	<b>29</b>
7.1 — RECOMENDACIONES GENERALES .....	29
7.1.1 — REQUISITOS MÍNIMOS .....	29

7.1.2 — COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA Y APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE REFORZAMIENTO .....	29
7.2 — REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MUROS Y MACHONES .....	29
7.2.1 — ENTRAMADOS DE MADERA, ACERO, PLÁSTICO, O SIMILAR .....	29
7.2.1.1 — Requisitos generales .....	30
7.2.1.2 — Conexiones entre elementos verticales u horizontales .....	31
7.2.1.3 — Tensores horizontales y verticales .....	31
7.2.1.4 — Especificaciones mínimas y calidad de los materiales de los elementos de reforzamiento .....	32
7.2.1.5 — Excepciones .....	32
7.2.2 — TENSORES VERTICALES Y ANILLOS DE ZUNCHOS .....	32
7.2.2.1 — Requisitos generales .....	33
7.2.2.2 — Especificaciones mínimas y calidad de los materiales de los elementos de reforzamiento .....	33
7.2.2.3 — Tensores verticales .....	33
7.2.2.4 — Excepciones .....	33
7.2.3 — MALLAS DE ACERO O SINTÉTICAS .....	34
7.2.3.1 — Requisitos generales .....	35
7.2.3.2 — Dimensiones mínimas y calidad de los materiales de los elementos de reforzamiento .....	35
7.2.3.3 — Excepciones .....	35
7.2.4 — REFORZAMIENTO DE MUROS QUE CONTENGAN PINTURA MURAL .....	36
7.3 — DIAFRAGMAS .....	36
7.3.1 — PLAQUETA DE CONCRETO .....	36
7.3.2 — ENTABLADO COMPLEMENTARIO .....	36
7.3.3 — DIAGONALIZACIÓN .....	37
7.4 — CUBIERTAS .....	37
7.5 — ELEMENTOS ESTRUCTURALES ADICIONALES .....	38
7.6 — CIMENTACIONES .....	38
<b>CAPÍTULO 8 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....</b>	<b>39</b>
8.1 — CONSIDERACIONES GENERALES .....	39
8.2 — MODELO ESTRUCTURAL .....	39
8.3 — RESISTENCIA A COMPRESIÓN PURA .....	39
8.4 — RESISTENCIA A CORTANTE DE MUROS Y MACHONES .....	39
8.5 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE HORIZONTAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL VERTICAL .....	40
8.5.1 — FUERZAS SÍSMICAS EN EL PLANO DEL MACHÓN .....	40
8.5.2 — FUERZAS SÍSMICAS FUERA DEL PLANO DEL MURO O MACHÓN .....	40
8.6 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE VERTICAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL HORIZONTAL .....	41
8.6.1 — RESISTENCIA A FLEXIÓN .....	41
8.6.2 — RESISTENCIA A COMPRESIÓN HORIZONTAL .....	42
8.7 — RESISTENCIA DE ELEMENTOS DIFERENTES A MUROS Y MACHONES .....	42

<b>CAPÍTULO 9 REPARACIÓN PREVIA AL REFORZAMIENTO</b> .....	<b>43</b>
9.1 — EVALUACIÓN DE DAÑOS.....	43
9.1.1 — HUMEDAD.....	43
9.1.2 — PRESENCIA DE AGENTES BIOLÓGICOS Y ANIMALES.....	43
9.1.3 — ASENTAMIENTOS O DEFORMACIONES.....	43
9.1.4 — FISURAS, GRIETAS Y FRACTURAS.....	43
9.1.4.1 — Fisuras.....	43
9.1.4.2 — Grietas.....	43
9.1.4.3 — Fracturas.....	43
9.1.5 — DESPLOMES, ALABEOS, PANDEOS Y DESNIVELES.....	43
9.1.6 — DESVINCULACIÓN DE PIEZAS.....	43
9.1.7 — PÉRDIDA DE MATERIAL.....	43
9.1.8 — COLAPSO.....	43
9.1.9 — PÉRDIDA DE LA CONEXIÓN DE LA CUBIERTA CON LOS MUROS.....	43
9.2 — ACTIVIDADES PREVIAS A LA REPARACIÓN.....	43
9.2.1 — APUNTALAMIENTOS.....	43
9.2.2 — DEMOLICIÓN.....	44
9.2.3 — DESMONTE.....	44
9.3 — REPARACIÓN PREVIA AL REFORZAMIENTO.....	44
9.3.1 — CIMENTACIÓN.....	44
9.3.1.1 — Submuración, recalces o prótesis.....	44
9.3.1.2 — Consolidación de suelo.....	44
9.3.2 — PISOS Y/O ENTREPISOS.....	44
9.3.2.1 — Reparaciones.....	44
9.3.3 — MUROS.....	44
9.3.4 — CUBIERTAS.....	44
9.3.4.1 — Rehabilitación de cubiertas.....	44
9.3.4.2 — Preservación.....	44
9.3.4.3 — Reposición.....	44
9.3.5 — ACABADOS.....	44
9.3.5.1 — Rehabilitación de pañetes y revoques.....	44
9.3.5.2 — Preservación.....	44
<b>APÉNDICE A-1 NIVELES DE PROTECCIÓN Y TIPOS DE INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS PATRIMONIALES</b> ... 47	
A-1.1 — NIVEL 1. CONSERVACIÓN INTEGRAL.....	47
A-1.2 — NIVEL 2. CONSERVACIÓN DEL TIPO ARQUITECTÓNICO.....	47
A-1.3 — NIVEL 3. CONSERVACIÓN CONTEXTUAL.....	47
A-1.4 — TIPOS DE ACCIONES E INTERVENCIONES PARA BIENES DE INTERÉS CULTURAL, BIC, MUEBLES.....	48
A-1.4.1 — CONSERVACIÓN PREVENTIVA.....	48



A-1.4.2 — CONSERVACIÓN – RESTAURACIÓN .....	48
<b>APÉNDICE A-2 TIPOS DE OBRAS PERMITIDAS .....</b>	<b>49</b>
A-2.1 — OBRA NUEVA .....	49
A-2.2 — AMPLIACIÓN .....	49
A-2.3 — ADECUACIÓN .....	49
A-2.4 — MODIFICACIÓN .....	49
A-2.5 — RESTAURACIÓN .....	49
A-2.6 — REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....	49
A-2.7 — DEMOLICIÓN .....	49
A-2.8 — RECONSTRUCCIÓN .....	50
A-2.9 — CERRAMIENTO .....	50



## CAPÍTULO 1 REQUISITOS GENERALES

### 1.1 — GENERAL

El presente capítulo establece los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica e intervenir el sistema estructural de edificaciones patrimoniales de adobe y tapia pisada, de acuerdo con los niveles de intervención establecidos en el APÉNDICE A-1, a saber: conservación integral, conservación del tipo arquitectónico, conservación contextual y con los tipos de obras permitidas en el APÉNDICE A-2.

### 1.2 — PROPÓSITO Y ALCANCE

**1.2.1 — PROPÓSITO** — Este documento está dirigido a profesionales de la ingeniería civil y de la arquitectura y a todo aquel interesado en los sistemas estructurales de edificaciones en tierra cruda con el propósito de proyectar intervenciones adecuadas para lograr reducir su vulnerabilidad ante sollicitaciones de sismo u otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso. Se busca con ello lograr un comportamiento apropiado de las construcciones patrimoniales en tierra existentes, en todos los elementos estructurales involucrados, con el propósito de disminuir el riesgo para sus ocupantes y mantener su integridad estructural en la medida de lo posible, de acuerdo con lo establecido en las secciones 3.2 y 3.4 de este documento.

**1.2.2 — ALCANCE** — El presente capítulo del documento establece los lineamientos generales para la intervención de Bienes Inmuebles de Interés Cultural (BIC) cuyo sistema estructural está constituido en todo o en parte de adobe y tapia pisada. Este documento cubre únicamente edificaciones de uno y dos pisos. La intervención al patrimonio, y en particular la de cada edificación, deberá ceñirse al nivel de protección definido en la declaratoria correspondiente y al tipo de intervenciones establecidas en la normativa vigente, emanada de las entidades encargadas de la protección del patrimonio. Con esta intervención se buscará no sólo hacer los inmuebles menos vulnerables ante eventos sísmicos disminuyendo el riesgo de pérdida de vidas humanas, sino además conservar el patrimonio construido como memoria y aporte tecnológico apropiado a nuestro territorio.

**1.2.2.1 — Edificaciones no declaradas como bienes de interés cultural (BIC).** — Desde el marco de la legislación cultural, en el artículo 4 de la ley 397 de 1997 modificado por el artículo 1 de la Ley 1185 de 2008, se entiende que el patrimonio cultural de la nación está constituido por todos los bienes materiales, las manifestaciones inmateriales, los productos y las representaciones de la cultura que son expresión de la nacionalidad colombiana. Por lo tanto, los inmuebles que cuentan con una arquitectura patrimonial en tierra cuyo material y sistema estructural esté cubierto dentro del alcance del presente documento, pueden acoger estas disposiciones sin necesidad de tener una declaratoria de bien de interés cultural (BIC). Para el caso aquí mencionado, las recomendaciones son aplicables bien sea que haya obligatoriedad o no de realizar el reforzamiento sísmico, de acuerdo con lo establecido en la Ley 400 de 1997.

**1.2.3 — EXCEPCIONES** — Se exceptúan las construcciones relacionadas en la sección A.1.2.4 del Reglamento NSR-10 y las edificaciones especiales como iglesias, coliseos y estructuras cuyo comportamiento dinámico y respuesta ante los movimientos sísmicos de diseño difiera del presentado en este documento. Tampoco aplica para edificaciones nuevas.

### 1.3 — DISPOSICIONES LEGALES QUE REGULAN EL TRÁMITE DE INTERVENCIÓN

Para la obtención de la aprobación para intervenir un inmueble declarado como Bien de Interés Cultural, se debe tramitar la autorización por parte de las entidades asignadas para dicho fin en cada una de las regiones del país. Las disposiciones legales que regulan el trámite son:

- (a) Ley General de Cultura 397 de 1997 modificada y adicionada por la Ley 1185 de 2008.
- (b) Ley 400 de 1997 y sus Decretos Reglamentarios.
- (d) Decreto 1080 de 2015, "Único Reglamentario del Sector Cultura"
- (e) Resolución 0983 de 2010 del Ministerio de Cultura
- (f) Decreto 1077 de 2015, "Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio"
- (h) Decreto 1197 de 2016.
- (i) Decretos, resoluciones y normativa establecida por cada Departamento, Municipio, Distrito o Resguardo en donde se encuentre el BIC

( ) Plan especial de manejo y protección (PEMP) en el caso que exista

En todas las circunstancias, las disposiciones legales utilizadas para el trámite de intervención serán las vigentes.

## **1.4 — PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE Y SU INTERVENCIÓN O REFORZAMIENTO**

Las etapas para llevar a cabo la evaluación y la intervención o reforzamiento son:

### **1.4.1 — INFORMACIÓN PRELIMINAR**

***Etapas 1*** – Verificación del alcance de acuerdo con la sección 1.2.2.

***Etapas 2*** – Recopilación y estudio de la información mínima requerida de acuerdo con el Capítulo 3. En el caso de edificaciones que ya han sido intervenidas, debe recopilarse la información de esas modificaciones y deben hacerse exploraciones en la edificación; todo esto de acuerdo con el Capítulo 3.

***Etapas 3*** – Calificación del sistema estructural con respecto a la calidad de la estructura original, su sistema de cimentación y la calidad de la construcción, así como al estado de mantenimiento y conservación. Esta calificación debe hacerse de acuerdo con los requisitos del Capítulo 3 y debe expresarse en el valor del coeficiente  $\phi_{ec}$  descrito en la sección 5.4.4. Este coeficiente deberá compararse con el propio de la sollicitación asociada para cada elemento ( $\phi_a$ , sección 5.4.5) y deberá escogerse el menor de los dos para determinar la resistencia efectiva en la Etapa 8.

***Etapas 4*** – Reparación previa al reforzamiento. Si la edificación está deteriorada, antes de pasar a la siguiente etapa deberán seguirse los lineamientos del Capítulo 9 para su reparación y restauración. Una vez que la edificación sea restaurada, podrá adoptarse un coeficiente  $\phi_{ec}$  de acuerdo con el estado final después de la reparación. Así como en la Etapa 3, este coeficiente se comparará con el propio de la sollicitación ( $\phi_a$ , sección 5.4.5) y se tomará el menor de los dos para determinar la resistencia efectiva en la Etapa 8.

### **1.4.2 — EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE**

***Etapas 5*** – Cálculo de las sollicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de la sección 5.2.

***Etapas 6*** – Análisis elástico de la estructura, la cubierta, la cimentación, los sistemas de piso y los diafragmas, siguiendo lo establecido en la sección 5.2.5, para las sollicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 5.

***Etapas 7*** – Cálculo de la resistencia existente de la estructura siguiendo los lineamientos de la sección 5.4.2.

***Etapas 8*** – Cálculo de la resistencia efectiva de los elementos estructurales de acuerdo con las secciones 5.4.3 a 5.4.5.

***Etapas 9*** – Cálculo del índice de sobre esfuerzo de acuerdo con la sección 5.4.1. Adicionalmente, en los casos en que se utilice el modelo de análisis simplificado permitido en la sección 5.2.5, se debe reportar el valor del factor de seguridad al volcamiento de los muros y machones.

***Etapas 10*** – Cálculo de las derivas de la estructura, a partir de los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis de la Etapa 6.

***Etapas 11*** – Cálculo del índice de flexibilidad tanto por efectos horizontales como verticales, de acuerdo con la sección 5.5.1.

### **1.4.3 — INTERVENCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL**

***Etapas 12*** – Definición de la intervención estructural de acuerdo con el tipo de intervenciones establecidas en el APÉNDICE A-1 y con las alternativas y los requisitos establecidos en el Capítulo 7.

***Etapas 13*** – Análisis estructural y revisión de la edificación incluyendo la intervención propuesta; el reforzamiento debe diseñarse para las fuerzas y esfuerzos obtenidos en este nuevo análisis. El diseño geotécnico y

**AIS 610-EP-17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada**

estructural, así como la implementación de la intervención, deben llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos de los Capítulos 7 y 8.

## **1.5 — CÁLCULOS, MEMORIAS Y PLANOS**

**1.5.1 EXPEDIENTE DE LA EDIFICACIÓN PATRIMONIAL** — Debe elaborarse un reporte completo de los aspectos arquitectónicos, estructurales y patrimoniales de acuerdo con la sección 3.8.

**1.5.2 — MEMORIAS Y CÁLCULOS** — Se elaborará una memoria justificativa de cálculos que debe contener como mínimo los aspectos mencionados en la sección A.10.1.5 del Reglamento NSR-10.

**1.5.3 — PLANOS** — Los planos arquitectónicos, estructurales y de elementos no estructurales, que se presenten para la obtención de la licencia de construcción deben ser iguales a los utilizados en la construcción de la obra, y por lo menos una copia debe permanecer en archivo de la Curaduría, departamento administrativo o dependencia distrital o municipal encargada de expedir las licencias de construcción. La Curaduría Urbana o la dependencia municipal o distrital encargada de expedir las licencias de construcción, podrá solicitar una copia en medio magnético del proyecto estructural (planos y memorias), en los formatos digitales que ésta defina. En los proyectos que requieran supervisión técnica, de acuerdo con el presente Reglamento, se deberá cumplir adicionalmente con lo especificado en el Título I del Reglamento NSR-10 en relación con los planos finales de obra (planos *record*).

Los planos estructurales y arquitectónicos deben contener como mínimo lo establecido en la sección A.1.5.2.1 y A.1.5.2.2 del reglamento NSR-10.

## CAPÍTULO 2 NOTACIÓN Y DEFINICIONES

### 2.1 — NOTACIÓN

- $A_{s1}$  = Área de los elementos de refuerzo para flexión con respecto al eje horizontal perpendicular al plano del muro,  $\text{mm}^2$ .
- $A_{s2}$  = Área de los elementos de refuerzo para flexión con respecto al eje horizontal paralelo al plano del muro,  $\text{mm}^2$ .
- $A_{s3}$  = Área de los elementos de refuerzo para flexión con respecto al eje vertical del muro,  $\text{mm}^2$ .
- $A_v$  = Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva para diseño, de acuerdo con la sección A.2.2 del reglamento NSR-10.
- $A_{mx}$  = Área normal al eje x del muro o machón sin incluir el pañete,  $\text{mm}^2$ .
- $A_{mz}$  = Área normal al eje z del muro o machón sin incluir el pañete,  $\text{mm}^2$ .
- $A_t$  = Área de los tensores para flexión con respecto al eje horizontal del muro o machón,  $\text{mm}^2$ .
- $b_x$  = Ancho de la sección de muro o machón en la dirección x sin incluir los pañetes, mm.
- $b_z$  = Ancho de la sección de muro o machón en la dirección z sin incluir los pañetes, mm.
- $b_s$  = Separación entre los elementos de refuerzo vertical en el plano del muro, mm.
- $E$  = Módulo de elasticidad de la mampostería de adobe o tapia pisada, MPa.
- $f'_a$  = Resistencia a la compresión de piezas individuales de adobe, MPa.
- $f'_m$  = Resistencia a la compresión de la mampostería de adobe o de tapia pisada, MPa.
- $f_r$  = Módulo de rotura de la mampostería de adobe o de la tapia pisada, MPa.
- $f_s$  = Resistencia última a tracción del refuerzo, MPa.
- $f_t$  = Resistencia última a tracción de los tensores para flexión con respecto al eje horizontal del muro o machón, MPa.
- $f_v$  = Resistencia al cortante de la mampostería de adobe o de tapia pisada, MPa.
- $F_a$  = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, de acuerdo con la sección A.2.4 del reglamento NSR-10.
- $F_v$  = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, de acuerdo con la sección A.2.4 del reglamento NSR-10.
- $G$  = Módulo de cortante de la mampostería de adobe o tapia pisada, MPa.
- $h$  = Altura del muro o machón de tierra. Para machones adyacentes a ventanas, corresponde a la altura de la ventana. Para muros sin aberturas, corresponde a la altura libre entre pisos de la edificación, mm.
- $I$  = Coeficiente de importancia definido en la sección A.2.5.2 del reglamento NSR-10.
- $IP$  = Índice de plasticidad.
- $\ell_m$  = Longitud horizontal del muro o machón, mm.
- $M$  = Masa total de la estructura, kg.
- $M_{nx}$  = Resistencia nominal a flexión de la sección alrededor del eje "x" que corresponde al eje horizontal paralelo al plano del muro (Figura 6.5.1-1), N·mm.
- $M_{ny}$  = Resistencia nominal a flexión de la sección alrededor del eje "y" que corresponde al eje horizontal perpendicular al plano del muro (Figura 6.5.1-1), N·mm.
- $M_{nz}$  = Resistencia nominal a flexión de la sección alrededor del eje "z" que corresponde al eje vertical del muro (Figura 6.5.1-1), N·mm.
- $M_{ux}$  = Momento flector alrededor del eje "x" que corresponde al eje horizontal paralelo al plano del muro (Figura 6.5.1-1), obtenido del análisis estructural usando las combinaciones de carga de la sección B.2.4 de la NSR-10.
- $M_{uy}$  = Momento flector alrededor del eje "y" que corresponde al eje horizontal perpendicular al plano del muro (Figura 6.5.1-1), obtenido del análisis estructural usando las combinaciones de carga de la sección B.2.4 de la NSR-10.
- $M_{uz}$  = Momento flector alrededor del eje "z" que corresponde al eje vertical del muro (Figura 6.5.1-1), obtenido del análisis estructural usando las combinaciones de carga de la sección B.2.4 de la NSR-10.
- $P_{uz}$  = Fuerza axial sobre el muro o machón obtenida del análisis estructural usando las combinaciones de carga de la sección B.2.4 de la NSR-10; debe tomarse como positiva para compresión y negativa para tracción, N.
- $P_{nz}$  = Resistencia a compresión nominal de muros o machones sometidos a carga axial sin excentricidad, N.
- $R'$  = Coeficiente de capacidad de disipación de energía.
- $R_e$  = Coeficiente de reducción por excentricidad. Véase 6.5.1.
- $R_n$  = Resistencia existente de los elementos de la estructura.
- $R_o$  = Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico.
- $S_a$  = Máxima aceleración horizontal de diseño expresada como fracción de la gravedad, para un sistema con un

- período de vibración  $T$ .
- $S_u$  = Resistencia no drenada del suelo, kPa.
- $T$  = Período de vibración del sistema elástico, en segundos.
- $t$  = Espesor de la sección del muro o machón sin incluir los pañetes, mm.
- $T_0$  = Período de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones, s.
- $T_c$  = Período de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo.
- $t_s$  = Separación entre los elementos de refuerzo vertical en la dirección transversal del muro, mm.
- $t_t$  = Separación entre los tensores a flexión con respecto al eje horizontal del muro o machón, mm.
- $V_s$  = Cortante sísmico en la base, N.
- $V_n$  = Fuerza nominal resistente a cortante del muro o machón, N.
- $\gamma_a$  = Peso específico de la mampostería de adobe, N/mm<sup>3</sup>.
- $\gamma_t$  = Peso específico de la mampostería de tapia pisada, N/mm<sup>3</sup>.
- $\gamma_m$  = Peso específico de la mampostería de adobe o tapia pisada, N/mm<sup>3</sup>.
- $\phi$  = Coeficiente de reducción de resistencia. Véase la sección 5.4.3.
- $\phi_a$  = Coeficiente de reducción de resistencia por tipo de sollicitación. Véase la sección 5.4.5.
- $\phi_{ec}$  = Coeficiente de reducción de resistencia por estado de la edificación y calidad de la construcción. Véase la sección 5.4.4.
- $\psi_b$  = Coeficiente de incremento de capacidad por el reforzamiento estructural a flexión con respecto al eje vertical del muro o machón.
- $\psi_f$  = Coeficiente de incremento de capacidad por el reforzamiento estructural a flexión con respecto al eje horizontal del muro o machón.
- $\psi_v$  = Coeficiente de incremento de capacidad por el reforzamiento estructural a cortante del muro o machón.

## 2.2 — DEFINICIONES

Se presentan en esta sección unas definiciones propias de las estructuras en adobe y tapia pisada, adicionales a las establecidas en el Capítulo A -13 del Reglamento NSR-10.

**Adobe** — Masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros.

**Altura libre de muro** — Es la distancia vertical libre del muro o machón entre elementos horizontales de arriostre.

**Arcilla** — Terreno de sedimentación mecánica, constituyente de la corteza terrestre con partículas de un tamaño inferior a 0.004 mm.

**Argamasa** — Mortero hecho de cal, arena y agua, que se emplea en las obras de albañilería.

**Arriostre** — Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de un muro. Puede ser vertical u horizontal.

**Barro** — Masa que resulta de la mezcla de tierra y agua.

**BIC** — Bienes de interés cultural. Los BIC pueden ser de los ámbitos nacional, departamental, distrital, municipal, de los territorios indígenas o de las comunidades negras y su declaratoria debe hacerse mediante un acto administrativo. Son bienes de interés cultural del ámbito nacional los declarados como tales por la ley, el Ministerio de Cultura o el Archivo General de la Nación, en lo de su competencia, en razón del interés especial que el bien revista para la comunidad en todo el territorio nacional (Ley de Cultura 1185 de 2008, Artículo 8° y Decreto Reglamentario Único del Sector Cultura 1080 de 2015). Los BIC inmuebles son aquellos que contienen valores de orden histórico, estético o simbólico, que pertenecen a un territorio y que generan un sentido de identidad en una comunidad.

**BICNAL** — Bien inmueble de interés cultural del ámbito nacional.

**Capacidad** — Nivel de fuerza interna (fuerza axial, fuerza cortante, momento flector, momento de torsión) que soporta un elemento estructural de acuerdo con un nivel de desempeño. Es sinónimo de la "resistencia de diseño" en este documento. Ésta se calcula de acuerdo con la sección 5.4.2 de este documento.

**Cimentación** — Conjunto de elementos estructurales de una edificación que transmiten las cargas de la superestructura al suelo. En construcciones vernáculas pueden ser en piedra y argamasa.

**A#S 610-EP-17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada**

**Coeficiente de reducción de resistencia** — Es un coeficiente que tiene en cuenta las desviaciones inevitables entre la resistencia real y la resistencia nominal de un elemento y la forma y consecuencia de su tipo de falla. Es sinónimo del “factor de reducción de resistencia” utilizado en el Reglamento NSR-10. Se obtiene de la sección 5.4.5 de este documento.

**Combinaciones de carga** — Son las diferentes combinaciones de cargas que deben considerarse para determinar el efecto más desfavorable en la edificación, en su cimentación, o en el elemento estructural bajo consideración, para su diseño.

**Demanda sísmica** — Es el nivel de fuerzas internas (fuerza axial, fuerza cortante, momento flector, momento de torsión) o desplazamientos impuestos sobre cada elemento estructural por las cargas adecuadamente combinadas.

**Esbeltez** — Relación entre la altura libre del muro y su espesor.

**Esfuerzo** — Es la intensidad de fuerza (perpendicular o paralela) por unidad de área infinitesimal, en cada punto de un elemento estructural. Así se tienen esfuerzos normales (cuando la fuerza es perpendicular al área) y esfuerzos cortantes (cuando la fuerza es paralela al área).

**Estabilización** — Procedimiento de mejora de las características de la tierra fundamentalmente las relativas a propiedades como resistencia mecánica y durabilidad, mediante la adición de productos o el empleo de técnicas de compactación manuales o mecánicas

**Fibra** — Filamento, generalmente de origen natural, que se usa para disminuir la formación de las fisuras en la tierra causadas por retracción de fraguado.

**Fuerzas internas** — Solicitaciones generadas en los elementos estructurales que componen la edificación como consecuencia de la aplicación de cargas externas a la misma.

**Intervención** — Todo acto que cause cambios al bien de interés cultural o que afecte el estado de este. 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 éste fuese requerido” (Decreto 1080 de 2015, art. 2.4.1.1.7).

**Machón** — Segmento vertical de un muro estructural, limitado por sus costados por aberturas o por una abertura y un borde. Ejemplos de machones son los tramos de muros entre dos ventanas o entre una ventana y una puerta.

**Modelo tridimensional** — Es la idealización que se hace de la edificación, para la simulación por computador, en la que se considera la rigidez, las conexiones entre muros y en general todo elemento estructural que se encuentre en cualquier dirección de la edificación.

**Mortero de pega** — Material de unión de los adobes. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc.

**Muro** — Elemento estructural vertical que además de su peso propio, soporta otras cargas verticales provenientes del entrepiso y de la cubierta, soporta las fuerzas sísmicas, soporta los diafragmas horizontales de la edificación y transfiere las cargas a la cimentación.

**Nivel permitido de intervención** — Son las pautas o criterios relacionados con la conservación de los valores del inmueble y su zona de influencia (Decreto 1080 de 2015).

**Pañete** — Mortero de acabado para la superficie de un muro. También se denomina mortero de alisado o revoque.

**Patología** — Estudio para realizar el diagnóstico y establecer las causas de los deterioros que presenta una edificación. Su resultado son los planos de calificación del edificio.

**Plan especial de manejo y protección, PEMP** — Instrumento de planeación y gestión para la protección y conservación de los BIC declarados o que se pretenda declarar como tales. Por medio de él se establecen las acciones necesarias para garantizar su protección y sostenibilidad en el tiempo, en el marco de lo establecido por el Decreto 763 de 2009.

**Preservación** — Tratamiento para prevenir o contrarrestar la acción de organismos destructores.



**Reforzamiento** — Es la intervención de los elementos estructurales y no estructurales de un inmueble, con el objeto de acondicionarlo a niveles adecuados de seguridad sismo resistente de acuerdo con los requisitos del reglamento NSR-10.

**Revoque** — Capa exterior constituida por un mortero de tierra compuesto por agua, arena, arcilla, cal, fibras y aditivos que se aplica en la superficie de un muro. También se conoce como repello, pañete o enlucido.

**Rigidez** — En este documento, es una medida de la respuesta de un elemento estructural o de una estructura frente a las deformaciones elásticas producidas por las acciones sísmicas horizontales.

**Tapia pisada** — Muro de tierra encofrada y apisonada. También llamado tapial en algunos países.

**Tierra** — Roca sedimentaria propia de la superficie terrestre que constituye una materia desmenuzable de la que se compone buena parte del suelo natural. Nombre genérico con el que se denomina al tipo de construcción que emplea como materiales básicos los materiales naturales procedentes de la superficie terrosa del suelo, extraídos después de quitar la capa orgánica de éste.

**Volcamiento** — Es un fenómeno de pérdida de la estabilidad lateral de un elemento estructural (por ejemplo, un muro) como consecuencia de la acción de una fuerza horizontal.

## **CAPÍTULO 3**

# **ESTUDIOS E INVESTIGACIONES MÍNIMAS REQUERIDAS PARA ABORDAR UNA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN UNA EDIFICACIÓN PATRIMONIAL**

### **3.1 — CONSIDERACIONES**

Las edificaciones patrimoniales construidas con tierra, normalmente clasificadas como estructuras de muros de mampostería no reforzada, son sensibles a los movimientos sísmicos y pueden afectarse parcialmente o colapsar súbitamente durante un evento sísmico. Por esta razón, los sitios históricos construidos con tierra, ubicados en zonas sísmicas, se encuentran en riesgo de sufrir daños graves y en condición más desfavorable de ser destruidos.

El estudio e investigación del comportamiento de edificaciones patrimoniales construidas en tierra, con posterioridad o no a movimientos de origen sísmico, permite conocer sus propiedades sismo resistentes para plantear alternativas de intervención que busquen preservar substancialmente la autenticidad y materialidad de estas edificaciones.

El objetivo principal de la formulación y proyección de una propuesta de intervención estructural sismo resistente en edificaciones patrimoniales construidas en tierra, es aplicar en ella equipos, materiales y soluciones técnicas que proporcionen alternativas de reforzamiento sismo resistente, de tal manera que se mejore su comportamiento sísmico, se prolongue su vida útil, y se preserve el material y configuración patrimonial. Como principio y regla general para la conservación y restauración de edificaciones patrimoniales, la intervención en cualquiera de sus modalidades requiere considerar un enfoque multidisciplinario para la actuación sobre la edificación. El equipo de trabajo mínimo debe estar conformado por arquitectos restauradores, ingenieros civiles y profesionales de otras disciplinas de acuerdo con las diferentes áreas de actuación que requiera la edificación patrimonial.

### **3.2 — CRITERIOS DE PRESERVACIÓN DE EDIFICIOS PATRIMONIALES**

En el proceso de la Carta de Venecia (1964) y otras subsiguientes, ha sido reconocida la noción de patrimonio o bien cultural de edificios históricos; en éstos se incluye y reúne al patrimonio arqueológico, al artístico e histórico, al documental y bibliográfico y al ambiental y paisajístico. En todas estas áreas están presentes y representadas ejemplos de arquitectura construida en tierra. La presente sección define los criterios de preservación que rigen a los bienes inmuebles (edificios patrimoniales).

**3.2.1 — LA SEGURIDAD FÍSICA DE LAS PERSONAS** — La condición de preservación del edificio histórico debe velar, sin excepción, por la protección integral de cualquier usuario permanente o temporal en él.

**3.2.2 — LA SALVAGUARDA DE LOS VALORES DEL EDIFICIO** — Las razones que motivan la declaratoria de un bien inmueble como edificación patrimonial están referidas al conjunto de valores por los cuales se le reconoce como bien patrimonial. Por tanto, todas las posibles acciones y medidas previas de prevención, defensa y salvaguarda deben considerarse sobre el edificio.

**3.2.3 — EL USO ACTUAL Y FUTURO QUE SE LE DÉ A LA EDIFICACIÓN HISTÓRICA** — La condición física y material de un edificio patrimonial se ve transformada a lo largo de su vida, por lo que no es posible abstraer de ninguna forma el(los) uso(s) o función(es) para la que fue concebida; ni tampoco, los que haya tenido o esté cumpliendo.

### **3.3 — FUNDAMENTOS PARA LA CONSERVACIÓN ESTRUCTURAL**

La importancia al preservar la construcción original de una estructura de tierra varía con cada edificación y depende del tipo de tratamiento que resulte más apropiado para esta.

**3.3.1 — EL CONOCIMIENTO Y ENTENDIMIENTO GLOBAL DEL EDIFICIO** — El edificio se debe investigar al detalle a través del estudio de sus materiales, sistemas constructivos, patología, contexto físico y cultural, historia y alteraciones antes de plantear cualquier tipo de intervención. El edificio se debe examinar de forma integral dentro de su contexto y en relación con cada una de sus partes.

**3.3.2 — EL COMPORTAMIENTO ÍNTEGRO DE LA ESTRUCTURA** — El estricto enfoque de conservación se preocupa



por mantener la construcción y sus características más auténticas. Sin embargo, para dar cumplimiento a este precepto y plantear intervenciones necesarias, es imprescindible comprender el comportamiento estructural del edificio en todas sus partes, componentes y sistemas, dentro de su contexto histórico-constructivo y situación previa a las intervenciones posibles.

**3.3.3 — LA IDENTIFICACIÓN DE LAS POSIBLES CAUSAS DE LOS DAÑOS Y ALTERACIONES PRESENTES EN LA EDIFICACIÓN** — En el caso de edificios patrimoniales que presenten daños o procesos de deterioro o degradación en todo o en parte de sus componentes estructurales, se hace necesario identificar y evaluar las causas primarias y los factores que aportan en el proceso de degradación, activo o no, que se haya detectado.

### **3.4 — CRITERIOS PARA LA INTERVENCIÓN DE ESTRUCTURAS PATRIMONIALES**

El proceso de degradación en las edificaciones históricas construidas en muros de adobe o tapia pisada, o una combinación de ambos, está asociado a la fragilidad de la tierra como material estructural, a la falta de mantenimiento, a la acción de eventos sísmicos, entre otros agentes; estos procesos conducen a daños irreparables y en algunos casos a la destrucción de la edificación o parte de esta, sin que pueda ser reparada. Resulta imprescindible que las estructuras históricas que aún existen sean protegidas tanto por daños o destrucción a causa de terremotos, como también contra los efectos y daños ocasionados por la aplicación de medidas de intervención inapropiada. Es necesario entonces considerar que: i) cuando se realice un cambio de uso o funcionalidad se deben tener en cuenta de forma rigurosa las exigencias de conservación y las condiciones de seguridad; y ii) no deben emprenderse intervenciones sin evaluar antes sus posibles beneficios y perjuicios sobre el Bien de Interés Cultural (BIC), excepto cuando se requieran medidas urgentes de protección para evitar el avance en el deterioro o colapso inminente de la estructura.

Los criterios para la intervención de las estructuras de edificios patrimoniales deben estar orientados a lograr:

- (a) Reducir el riesgo para la vida e integridad física de sus ocupantes.
- (b) Resistir con daños menores los movimientos sísmicos de intensidad leve.
- (c) Limitar los daños en elementos estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- (d) Limitar al mínimo los daños en los muros y demás elementos del sistema estructural durante sismos intensos. Si se producen daños sobre los elementos de reforzamiento, éstos deben poder repararse o reemplazarse.

### **3.5 — DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL**

Con el fin de calificar el estado del sistema estructural debe seguirse la metodología establecida en la sección A.10.2 del Reglamento NSR-10. Así mismo deben seguirse las consideraciones de las secciones 3.6 a 3.8 del presente documento.

### **3.6 — FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN**

La comprensión del sistema estructural de una edificación patrimonial, así como de sus componentes, deberá ser cuidadosa y específica en identificar los factores que pueden afectar su comportamiento estructural. A partir de los conceptos de durabilidad de la estructura y cambio de propiedades de materiales estructurales se visualizan aspectos que permitirán entender y profundizar las particularidades del funcionamiento estructural de cada edificio.

**3.6.1 — DURABILIDAD DE LA ESTRUCTURA / VIDA ÚTIL** — Las estructuras de edificaciones patrimoniales fueron construidas para un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de comportamiento, de estabilidad y de seguridad, y no siempre de manera consciente, para un período de tiempo. El período de tiempo constituye la vida prevista o proyectada para el uso de la edificación. Esto último, y para el tipo de edificaciones que comprende el conjunto de las recomendaciones de este documento, no implica que al cumplirse un período de vida en servicio la edificación tenga que ser demolida por obsoleta. Por el contrario, como se mencionó en la sección 3.2, el estudio estructural en un edificio patrimonial debe garantizar la seguridad física de los usuarios, la salvaguarda de los valores y el uso continuo de la edificación.

El concepto de durabilidad de los materiales estructurales (que abarca este documento y que se encuentran especificados en el Capítulo 4) se define como la capacidad de éstos para resistir la acción medio ambiental en su entorno, la acción de agentes químicos o biológicos, el desgaste y en general cualquier proceso de deterioro. Los criterios de durabilidad aplicables a este tipo de edificaciones se relacionan en la sección 5.6. Son determinantes de la

### **ANS 610-EP-17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada**

durabilidad de la estructura de una edificación construida en tierra: el diseño, la geometría, la composición material, la práctica constructiva y los procedimientos de protección.

En consecuencia, la durabilidad de la estructura y su vida útil, serán consideradas y evaluadas a partir del estudio de los siguientes factores:

- (a) Modificación de las cargas de servicio.
- (b) Cambios en la posición de la aplicación de las cargas de servicio.
- (c) Movimientos diferenciales en los suelos de soporte.
- (d) Cambios de uso de la edificación.
- (e) Metamorfosis del entorno de la edificación.
- (f) Deformaciones impuestas debido a efectos de cargas.
- (g) Deformaciones impuestas en los materiales.
- (h) Acciones no previstas sobre el edificio, de orden natural: sísmicas, eólicas y térmicas.
- (i) Otras acciones externas.

**3.6.2 — CAMBIO DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES** — La tierra como material estructural presenta un proceso de envejecimiento y deterioro de mayor severidad que otros materiales estructurales. Esta situación se ve reflejada en el cambio de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales y de los componentes estructurales presentes en el edificio patrimonial. En consecuencia, como factores que afectan el comportamiento estructural de estas edificaciones, deben ser considerados y analizados los siguientes factores:

- (a) Degradación fisicoquímica de los materiales estructurales.
- (b) Influencia de la calidad de los materiales estructurales.
- (c) Ciclos de humedad en los materiales.
- (d) Agentes biológicos en convivencia.
- (e) Cambios de temperatura con incidencia directa sobre el material.

## **3.7 — ÁREAS DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS PATRIMONIALES**

Las estructuras y sistemas constructivos presentes en edificaciones patrimoniales, por su peculiaridad y complejo proceso de cambio y transformación, el cual no obedece a ninguna disposición o proceso predecible, requieren de una organización igualmente específica para su estudio, investigación y análisis incluyendo los siguientes pasos: inspección inicial, identificación de las causas del daño y el deterioro, selección de las medidas correctivas, y control de la eficacia de las intervenciones efectuadas. Por lo tanto, será necesario abordar las áreas de estudio de forma interdisciplinar.

El estado del edificio deberá ser documentado en la formulación del proyecto de intervención estructural. Los materiales y métodos de intervención utilizados para la conservación de las estructuras siempre deberán ser documentados. Cualquier intervención deberá ser orientada por el máximo respeto hacia la integridad estética, histórica y física del bien patrimonial.

El proyecto de intervención estructural deberá estructurarse en diferentes fases, iniciando con la investigación y estudio de la edificación que incluye: estudios históricos, inspección arquitectónica y estructural y otras investigaciones como se detalla en las siguientes secciones.

**3.7.1 — EVOLUCIÓN HISTÓRICO-CONSTRUCTIVA** — Este estudio corresponde a una investigación documental y de archivo, de estudios anteriores y datos escritos y gráficos que proporcionen información sobre el inmueble. Éste busca identificar los elementos de valor patrimonial por los cuales fue declarado como BIC. Se tomarán como criterios de valoración los valores históricos, simbólicos y estéticos.

El estudio implica la obtención de todo tipo de documentación gráfica o escrita; entrevistas con los moradores o usuarios de la edificación; informes de diagnósticos anteriores; licencias de construcción, intervención u órdenes de demolición; apuntalamientos u obras de protección temporal; fecha de aparición o periodicidad de daños; usos de la edificación; fecha de construcción e intervención y toda aquella información histórica-constructiva sobre el inmueble.

En cuanto al BIC con su contexto inmediato, se busca determinar la relación con la ciudad o territorio, donde se encuentra ubicado, identificando los problemas y potenciales de inserción en el entorno, evolución del ambiente que circunda el BIC y su incidencia en éste, desde su asentamiento hasta la actualidad.

**3.7.2 — INDAGACIÓN SOBRE INTERVENCIONES ANTERIORES** — Corresponde al estudio de carácter cualitativo, basado en la indagación de las características del BIC comparando su estado actual con su condición original. Esta fase de reconocimiento del BIC debe incluir:

- (a) Información sobre la estructura en su estado original y en las diferentes etapas identificables.
- (b) Alteraciones sufridas y sus efectos.

**3.7.3 — DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO** — La descripción arquitectónica busca identificar las características esenciales del BIC por las cuales se le declara como tal; período de construcción, programa arquitectónico, elementos de diseño, funcionalidad, espacios, aspectos bioclimáticos, morfología y elementos estéticos; así como, todos aquellos aspectos adicionales que se consideren primordiales para determinar las características formales y morfológicas del edificio.

**3.7.4 — ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN Y SU ENTORNO** — Deben realizarse las exploraciones y estudios geotécnicos establecidos en el Reglamento NSR-10 para el sitio de implantación de la edificación y su entorno.

**3.7.5 — CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES DE IMPLANTACIÓN DEL EDIFICIO** — El entorno y las condiciones medioambientales y de implantación de la edificación es determinante para la definición de su comportamiento integral.

**3.7.6 — DEFINICIÓN DE LA COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN** — Con el fin de estudiar la particularidad estructural de BIC de manera adecuada, se deben escoger métodos de documentación que permitan comprender con precisión la configuración estructural y la conexión entre los elementos y componentes estructurales que se identifiquen en la edificación. Los métodos de documentación usualmente empleados para este fin son:

- (a) Fichas de inspección estructural desarrolladas para documentar las condiciones y configuraciones estructurales, realizadas generalmente por observación visual;
- (b) Investigaciones de campo;
- (c) Calas, apiques y/o exploraciones, planificadas en áreas específicas del edificio (ver Capítulo 4).

**3.7.7 — IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO** — Corresponde a un estudio gráfico referente al estado del sistema constructivo y estructural incluyendo: análisis de los materiales empleados en la construcción; análisis de los sistemas constructivos empleados en el planteamiento geométrico y estático del edificio y técnicas que se emplearon en la construcción.

**3.7.8 — CALIDAD DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO / CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES** — Se refiere tanto a la identificación de los materiales estructurales que forman parte de cada elemento del sistema estructural, como a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas que definen sus calidades y los caracterizan como material estructural. Se deberán considerar las condiciones y parámetros definidos en la sección 4.2.

**3.7.9 — FACTORES QUE INCIDEN EN LA EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA ESTRUCTURAL** — Esta área de investigación busca detectar, identificar y analizar los fenómenos más comunes o recurrentes que son causa del deterioro de los materiales que componen el edificio y de la pérdida de material en su estructura. En la obtención de la información relativa deberán tenerse en cuenta los factores de deterioro e identificarse los efectos sobre la estructura a partir de su origen:

- (a) De origen intrínseco a la estructura: Estabilidad estructural de la mampostería en tierra, incluyendo la estabilidad del sistema de soporte (suelos – cimentación); proceso constructivo en cada técnica de tierra; composición y dosificación del material; detalles técnicos inadecuados; práctica constructiva; y otros relativos.
- (b) De origen extrínseco a la estructura: Provocados por agentes naturales (causas climáticas, biológicas, físicas o químicas), causados por agentes relativos a humedad o provocados por agentes humanos u otros organismos vivos.

## **3.8 — EXPEDIENTE DE LA EDIFICACIÓN**

Es imprescindible adoptar un enfoque integral en la conservación de edificios patrimoniales. Esto será posible al crear estrategias de intervención respetuosas de la edificación original si se cuenta con información específica sobre su construcción, así como sobre sus características arquitectónicas e históricas; por tanto, es necesario identificar

**A/S 610-EP-17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada**

detalladamente y dejar registrado por escrito dichas características, cualidades y particularidades.

Toda la información acopiada a lo largo del estudio conforma el expediente de la edificación. Éste comprenderá todos los estudios e investigaciones realizadas como parte de las fases de investigación que se lleven a cabo en el edificio: recolección y procesamiento de documentación.

## **CAPÍTULO 4 MATERIALES**

Las Secciones 4.1 a 4.4 de este capítulo tienen como fin dar las recomendaciones para la realización de ensayos sobre materiales y elementos estructurales cuando el profesional a cargo o el propietario así lo determinen. Cuando no se lleven a cabo ensayos, se tomarán los valores mínimos establecidos para las propiedades, consignados en las Tablas 4.3.4-1, 6.3.1-1 y 7.2.1.1-1 de este documento. Las secciones 4.5 y 4.6 son de obligatorio cumplimiento.

### **4.1 — INTRODUCCIÓN**

El número mínimo de muestras dependerá de la propiedad a evaluar y de las características y tamaño de la edificación. En cualquier caso, este número deberá ser como mínimo el especificado en todas las secciones de este Capítulo. Para la caracterización de la mampostería de adobe o tapia pisada en las Secciones 4.3 y 4.4, será necesario construir especímenes para los ensayos que sean representativos del tamaño real y que observen las mismas características constructivas (trabe, dimensiones de pega, etc.) de los muros y machones evaluados. Así mismo, será necesario investigar si el material de los especímenes de ensayo es representativo del material de los muros que componen la edificación. Para este fin se deberán realizar los ensayos de la sección 4.2 de este Capítulo sobre muestras extraídas de la edificación en estudio y sobre muestras del material de los especímenes. Las normas de referencia (adaptadas a especímenes de tierra) que se utilizarán en los ensayos sobre especímenes descritos en este Capítulo se enuncian en la Tabla 4.1-1.

**Tabla 4.1-1**  
**Normas indicadas para la caracterización de los especímenes objeto de este documento.**  
**Se utilizará la actualización vigente en cada caso.**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
NTC 5653	Determinación de la gravedad específica, absorción y vacíos en el concreto endurecido.
NTC 4017	Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.
NTC 3495	Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.
NTC 4109	Prefabricados de concreto, bordillos, cunetas, y topellantas de concreto (apartado de flexión).

Cuando se usen los requisitos de las Secciones 4.3 y 4.4 para determinar las propiedades físico - mecánicas de materiales, muros y machones, los valores de diseño se determinan como el mínimo de los siguientes:

- (a) El valor mínimo de los ensayos experimentales.
- (b) El máximo de la Tabla 4.3.4-1 para los parámetros **E**, **G** y  $\gamma$
- (c) El doble de los valores de resistencia presentados en la Tabla 6.3.1-1.

### **4.2 — EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL CONSTITUTIVO DE LOS MUROS**

**4.2.1 — NUMERO MÍNIMO DE ENSAYOS** — Se debe realizar al menos un ensayo sobre cada tipo de elemento estructural de diferente material (muro o machón), con un mínimo de 3 muestras por ensayo. El tamaño de cada muestra será como mínimo 5 cm o el de una pieza individual en el caso de muros de adobe. Así mismo, en el caso de muros de adobe se extraerán igual número de muestras de morteros de pega y de revoque para realizar una caracterización física y mecánica en los términos definidos en esta sección.

**4.2.2 — CARACTERIZACIÓN FÍSICA** — A las muestras de material se les realizarán las pruebas indicadas en la Tabla 4.2.2-1, de acuerdo con las normas técnicas de referencia. Se muestran en esta tabla las normas técnicas colombianas NTC y sus equivalentes en normas del Instituto Nacional de Vías, Invías, INV.

**4.2.3 — CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNIDADES DE ADOBE** — Se realizarán ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión de acuerdo con las normas NTC 4017 y NTC 4109, adaptadas para unidades de adobe.

Tabla 4.2.2-1  
Ensayos de caracterización física de materiales

Norma NTC	Descripción	Norma INVIAS	Descripción
NTC 1522	Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.	INV E 123	Granulometría por tamizado con lavado sobre tamiz No. 200, análisis granulométrico método del hidrómetro.
NTC 1974	Métodos de ensayo para peso específico de sólidos de suelo con picnómetro de agua.	INV E 128	Peso específico de sólidos, método del picnómetro.
NTC 1886	Determinación de humedad, cenizas y materia orgánica	INV E 121	Contenido de materia orgánica, método de ignición.
NTC 1495	Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas	INV E 122	Determinación de la humedad.
NTC 4630	Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.	INV E 125	Determinación del límite líquido
		INV E 126	Determinación del límite plástico

### 4.3 — EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA

**4.3.1 — NÚMERO MÍNIMO DE ENSAYOS** — Para los ensayos relacionados a continuación se requieren como mínimo tres muestras por piso y por tipo de material. En cualquier caso, no menos de un ensayo por cada 140 m<sup>2</sup> de superficie de muros.

**4.3.2 — ENSAYO DE COMPRESIÓN** — Con el fin de determinar la resistencia a compresión  $f'_m$ , y el módulo de elasticidad de la mampostería  $E$ , se deberán realizar ensayos de compresión sobre muretes de acuerdo con la norma NTC 3495. El tamaño de los muretes será de 500 mm × 500 mm × 250 mm en el caso de tapia pisada y de aproximadamente 500 mm × 500 mm × 250 mm para la mampostería de adobe, en función del tamaño de los adobes y de las pegas.

**4.3.3 — RANGOS DE PROPIEDADES PARA LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE Y TAPIA PISADA** — De acuerdo con investigaciones realizadas a nivel nacional, la Tabla 4.3.4-1 presenta un resumen de los rangos de variación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Estas propiedades corresponden a estructuras existentes y no consideran ningún tipo de adición o estabilizante.

Tabla 4.3.4-1.  
Rangos para las propiedades mecánicas de mampostería de adobe y tapia pisada  
(Adaptado de Ruiz et al., 2012)

Propiedad	Valor mínimo	Valor máximo	Procedimiento de ensayo
$\gamma$ para adobe (kN/m <sup>3</sup> )	15	19	NTC 5653
$\gamma$ para tapia pisada (kN/m <sup>3</sup> )	19	20	NTC 5653
$E$ para adobe (MPa)	70	200	NTC 3495
$E$ para tapia pisada (MPa)	70	110	NTC 3495
$G$ para adobe (MPa)	20	45	-
$G$ para tapia pisada (MPa)	20	45	-



## **4.4 — EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE ESPECÍMENES A ESCALA REAL**

Con el fin de evaluar el comportamiento de los muros en el plano y fuera de él se podrán hacer ensayos sobre especímenes a escala real, conservando por lo menos su espesor y altura. La caracterización del comportamiento sísmico se hace en términos de las tres propiedades más relevantes en este caso: rigidez, ductilidad y resistencia. El número mínimo de ensayos será de 3

**4.4.1 — ENSAYO SOBRE MUROS** — Los ensayos requeridos sobre muros son:

- (a) Ensayos cíclicos o dinámicos en el plano que permitan estimar la ductilidad y la resistencia al corte de los muros completos, así como establecer relaciones entre las propiedades determinadas a partir de ensayos sobre muretes y las observadas en los especímenes a escala real. El ensayo debe ser controlado por desplazamiento, aplicando una carga horizontal en el extremo superior, siguiendo el protocolo descrito en el documento FEMA 461. Estos ensayos deben representar suficientemente las condiciones reales del muro dentro de la edificación tales como las cargas verticales y las aberturas.
- (b) Ensayos estáticos o dinámicos fuera del plano, que permitan valorar la resistencia de los muros frente a solicitaciones perpendiculares al plano.

**4.4.2 — ENSAYO SOBRE MACHONES** — Los machones corresponden a segmentos verticales de un muro, limitados en sus costados por aberturas o por una abertura y un borde. Los especímenes a ensayar deben representar tramos de muros entre dos ventanas o entre una ventana y una puerta, y deben estar restringidos a la rotación en sus extremos inferior y superior. El ensayo debe ser controlado por desplazamiento, aplicando una carga horizontal en el extremo superior, siguiendo el protocolo descrito en el documento FEMA 461. Los ensayos requeridos sobre machones son:

- (a) Ensayos cíclicos en el plano que permitan estimar la ductilidad y la resistencia al corte de los machones.
- (b) Ensayos cíclicos fuera del plano que permitan valorar la resistencia de los machones frente a solicitaciones perpendiculares al plano.

## **4.5 — EVALUACIÓN DE LAS MADERAS ESTRUCTURALES EXISTENTES**

**4.5.1 — CONSIDERACIONES DEL USO DE LA MADERA EN EDIFICACIONES DE TIERRA** — Con el fin de evaluar el comportamiento de la madera existente en la edificación deben estudiarse los siguientes aspectos (Rojas, 2016):

- (a) Origen e identificación.
- (b) Transformación como materia prima.
- (c) Procesos de alistamiento y puesta a punto para su uso como material estructural.
- (d) Uso y compromiso en diversos elementos estructurales.
- (e) Agentes de deterioro, condiciones físicas y ambientales.
- (f) Deterioro, clasificación, calificación e intensidad del grado de afectación, incluyendo criterios de aceptación o rechazo.
- (g) Ensayos de laboratorio para su evaluación.
- (h) Protección para la conservación.

**4.5.2 — ESTUDIOS REQUERIDOS** — Los edificios patrimoniales presentan la madera como material estructural en las áreas constitutivas de entramados de entrepiso y cubierta. Para la evaluación de ésta, se debe realizar un estudio fitosanitario con el fin de establecer la tipología de madera existente, su estado de conservación y la sección remanente después del ataque físico, químico y biológico. El estudio lo debe realizar un especialista en el área. El contenido del informe emitido por el especialista incluirá: i) la sección remanente de los elementos de cubierta y entrepiso, ii) la clasificación de las maderas y, iii) el rango de propiedades mecánicas de acuerdo con el Reglamento NSR 10 definidas en el Título G.

En el estudio fitosanitario, se deberán considerar y evaluar por lo menos los siguientes aspectos:

- (a) Inventario y levantamiento físico de todos los elementos que componen el entramado de cada nivel estructural.
- (b) Inspección detallada de todos los componentes con el fin de identificar causas de afecciones e intensidad de daños.
- (c) Determinación del estado de humedad de componentes representativos de los entramados.
- (d) Identificación de agentes externos que puedan actuar sobre la madera estructural de la edificación.

#### 4.6 — PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL REFORZAMIENTO

Los materiales utilizados en el reforzamiento deben cumplir los requisitos del Capítulo 7 de este documento. Las propiedades mínimas requeridas se encuentran en las Tablas 7.2.1.1-1, 7.2.2.2-1 y 7.2.3.2-1. Para los ensayos, se deberán seguir los siguientes criterios:

- (a) Para materiales cuyas propiedades nominales estén certificadas de acuerdo con el Reglamento NSR-10, podrán utilizarse estas propiedades en los cálculos de los capítulos siguientes.
- (b) Cuando no se cuente con la certificación mencionada en el literal a), se deben realizar al menos seis ensayos para la propiedad requerida sobre probetas representativas, utilizando las normas NTC o ASTM aplicables.



## **CAPÍTULO 5**

### **CRITERIOS DE EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL**

#### **5.1 — GENERAL**

Debe determinarse si la edificación en su estado actual cumple con los requisitos de estabilidad al volcamiento, resistencia, rigidez y durabilidad establecidos en este Capítulo. En aquellos casos en que no se cumplan estos requisitos, es necesario intervenir la edificación hasta el punto en el que se logre el cumplimiento de todos ellos. La durabilidad de los materiales usados en la intervención debe cumplir con la sección 5.6.

#### **5.2 — SOLICITACIONES EQUIVALENTES**

**5.2.1 — MOVIMIENTOS SÍSMICOS PRESCRITOS** — Para efectos de la evaluación e intervención de las construcciones objeto de este documento, los movimientos sísmicos de diseño son los especificados en las secciones A.10.4.2.1 y A.10.4.2.2 del Reglamento NSR-10, para el lugar en el que se encuentre la edificación y para el grupo de uso que va a tener una vez se lleve a cabo la intervención.

**5.2.1.1 — Aceleración espectral para diseño** — La aceleración espectral,  $S_a$ , para calcular el cortante sísmico en la base expresada como fracción de la gravedad, se calculará con la ecuación para la meseta del espectro de aceleraciones, definida por la ecuación A.2.6-3 del Reglamento NSR-10.

**5.2.1.2 — Cortante sísmico en la base** — El cortante sísmico en la base  $V_s$ , equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio, se obtiene por medio de la ecuación A.4.3-1 del capítulo A.4 del reglamento NSR-10.

**5.2.2 — COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA,  $R'$**  — Se considerará para efectos de la evaluación un coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R'$  igual a 1.0 si la edificación no ha sido objeto de una intervención estructural previa. Cuando ésta haya sido intervenida estructuralmente siguiendo los lineamientos del Capítulo 8, el valor de  $R'$  se calculará usando la ecuación presentada en la sección A.3.3.3 del Reglamento NSR-10 para calcular  $R$ . En este caso, los valores de  $R_o$  corresponden a los presentados en la Tabla 7.1-1.

**5.2.3 — FUERZAS SÍSMICAS** — Para el cálculo de las fuerzas sísmicas  $F_s$ , puede utilizarse el método de la fuerza horizontal equivalente, de acuerdo con el Capítulo A.4 del Reglamento NSR-10. Cuando lo exija el Artículo A.3.4.2.2 del Reglamento NSR-10 según la zona de amenaza sísmica, grupo de uso o existencia de irregularidades, se realizará un análisis dinámico siguiendo todos los requisitos del Capítulo A.5 del Reglamento NSR-10.

**5.2.4 — CARGAS DIFERENTES A LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS** — La determinación de otras cargas como las muertas y vivas, debe hacerse de acuerdo con la sección A.10.4.2.6 del Reglamento NSR-10.

**5.2.5 — ANÁLISIS ESTRUCTURAL** — Para determinar las fuerzas y esfuerzos internos en los elementos, se llevará a cabo un análisis estructural utilizando uno de los siguientes modelos, siempre y cuando no haya indicios de daños producidos por sismos anteriores, separación de elementos, etc.:

**5.2.5.1 — Modelo tridimensional** — Para la evaluación estructural de los muros y machones de tierra, la edificación debe ser modelada, analizada y evaluada como un modelo linealmente elástico tridimensional. Se deben incluir los momentos torsionales causados por posibles irregularidades geométricas o de distribución de masa. Si se utiliza la consideración de diafragma rígido, se debe verificar que la conexión de los muros al diafragma resista las fuerzas sísmicas y que el diafragma tenga la rigidez y resistencia necesaria para funcionar como tal. Dada la escasa capacidad de la zona de conexión entre muros longitudinales y transversales, se puede considerar que estos trabajan independientemente, es decir los muros longitudinales y transversales pueden no conectarse entre sí. Si se utiliza el método de análisis dinámico, se deben cumplir todos los requisitos del Capítulo A.5 del Reglamento NSR-10.

**5.2.5.2 — Modelo simplificado** — Se permite el uso de un modelo simplificado donde los muros perpendiculares a la dirección de la fuerza sísmica se revisan por volcamiento de acuerdo con la sección 5.3 y los muros paralelos se revisan por rigidez y resistencia en su plano de acuerdo con las secciones 5.4 y 5.5. En este caso, las fuerzas cortantes y cargas axiales de muros y machones se calculan a la mitad de la altura de entrepiso. Para edificaciones con distribución simétrica de muros en planta, la fuerza cortante en el plano de cada muro o machón

es proporcional a su longitud en la dirección de análisis. Los momentos flectores en los extremos de los machones se calculan como su fuerza cortante multiplicada por la mitad de su altura ( $h/2$ ). La evaluación estructural debe incluir el cálculo de solicitaciones sobre diafragmas, cubiertas y cimentaciones. Se debe comprobar que ningún muro de la edificación en su estado actual sea inestable al volcamiento por cargas sísmicas fuera de su plano. Mediante este método, la repartición de las fuerzas horizontales a cada uno de los elementos verticales de resistencia sísmica se hará en proporción a su masa, considerando que los muros actúan como elementos individuales (separados de los muros perpendiculares).

**5.2.6 — OBTENCIÓN DE LAS SOLICITACIONES EN LOS MUROS O MACHONES** — Las solicitaciones sobre muros y machones, expresadas como fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos, se obtendrán de uno de los modelos de análisis descritos en la sección 5.2.5.

### **5.3 — ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO**

Cuando se utilice el modelo simplificado presentado en 5.2.5.2, es necesario revisar la estabilidad al volcamiento de los muros de acuerdo con los siguientes lineamientos:

- (a) Para verificar la estabilidad al volcamiento de muros sin reforzar es válido despreciar los muros paralelos a la dirección de la fuerza sísmica.
- (b) En el análisis de volcamiento se deben considerar las cargas sísmicas sin reducir, provenientes de la masa del sistema de piso, de la cubierta y de los muros.
- (c) El factor de seguridad al volcamiento, calculado como la relación entre el momento resistente y el momento actuante fuera del plano para las combinaciones de carga de la sección B.2.3, debe ser mayor a 1.50. Si la edificación ha sido intervenida estructuralmente con los sistemas presentados en el Capítulo 7, la comprobación de la estabilidad se reemplaza por verificaciones de resistencia y rigidez de las secciones 5.4 y 5.5.

### **5.4 — RESISTENCIA**

**5.4.1 — RELACIÓN ENTRE DEMANDA Y CAPACIDAD** — Se evaluará la relación entre demanda y capacidad a través de los índices de sobre esfuerzo, que permiten definir la capacidad de la estructura existente para soportar y responder adecuadamente ante las solicitaciones equivalentes definidas en la sección 5.2. La determinación de estos índices se hará de acuerdo con las secciones A.10.4.3.1 y A.10.4.3.2 del Reglamento NSR-10, para las combinaciones de carga de la sección B.2.4 del mismo Reglamento y la capacidad se calculará de acuerdo con las secciones 5.4.2 a 5.4.5. Los índices de sobre esfuerzo para las cubiertas, suelos de cimentación y otros componentes donde se usen esfuerzos de trabajo se calculan como el cociente entre las solicitaciones obtenidas para las combinaciones de carga de la sección B.2.3 y los esfuerzos admisibles definidos de acuerdo con el material en el Reglamento NSR-10.

**5.4.2 — RESISTENCIA EXISTENTE DE LOS ELEMENTOS** — La resistencia existente,  $R_n$ , corresponde a los valores que se obtienen al aplicar los modelos de resistencia que se prescriben en los Capítulos 6 y 7 para la estructura en su estado actual o reforzada, respectivamente.

**5.4.3 — RESISTENCIA EFECTIVA** — Se calculará la resistencia efectiva de los elementos como el producto entre la resistencia existente  $R_n$  y el coeficiente de reducción de resistencia  $\phi$ , obtenido como el menor entre  $\phi_{ec}$  definido en la sección 5.4.4 y  $\phi_a$  definido en la sección 5.4.5, por lo tanto:

$$\text{Resistencia efectiva} = \phi R_n \quad (5.4.2-1)$$

**5.4.4 — VALORES DE  $\phi_{ec}$**  — Los coeficientes de reducción de resistencia por estado de la edificación y calidad de la construcción deben ser los mostrados en la Tabla 5.4.3-1. Antes de realizar el reforzamiento estructural, es necesario reparar todos los daños presentes en la edificación, de acuerdo con el Capítulo 9 de este documento, de tal forma que se pueda usar un coeficiente  $\phi_{ec}=1.0$ .

**Tabla 5.4.3-1**  
Valores de  $\phi_{ec}$

	Estado de la edificación y calidad de la construcción		
	Buena	Regular	Mala
$\phi_{ec}$	1.0	0.8	0.6

**5.4.5 — VALORES DE  $\phi_a$**  — Los coeficientes de reducción de resistencia deben ser los siguientes:

- (a) Compresión.....  $\phi = 0.75$
- (b) Flexión.....  $\phi = 0.80$
- (c) Cortante.....  $\phi = 0.75$

Estos coeficientes de reducción de resistencia tienen en cuenta que los valores recomendados de las capacidades de los elementos son estimados de manera conservadora.

**5.5 — RIGIDEZ**

**5.5.1 — INDICE DE FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA ACTUAL** — Para edificaciones en su estado actual, debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas de un análisis lineal utilizando un valor de módulo de elasticidad  $E = 70 \text{ MPa}$  y una deriva máxima permitida (en el plano y fuera del plano) de 0.50%. Igualmente, debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos verticales como el máximo cociente entre las deflexiones verticales medidas en la edificación y las deflexiones permitidas por el Reglamento NSR-10, dependiendo del material del sistema de piso, a menos que se realicen los ensayos de la norma NTC 3495 pero en ningún caso se superarán los valores máximos de la Tabla 4.3.4-1.

**5.5.2 — INDICE DE FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA INTERVENIDA** — Para edificaciones intervenidas usando los sistemas presentados en el Capítulo 7, se puede utilizar una deriva máxima permitida (en el plano y fuera del plano) del 1.0% en el cálculo del índice de flexibilidad por efectos horizontales.

**5.6 — DURABILIDAD**

**5.6.1 — PROTECCIÓN DE MUROS DE TIERRA** — El mantenimiento rutinario de edificaciones en adobe y tapia pisada debe incluir la reparación de daño o deterioro de la superficie de los muros y los elementos usados en el reforzamiento estructural eliminando la exposición de los muros a fuentes de humedad tales como: agua lluvia, filtraciones, etc.

**5.6.2 — PROTECCIÓN DE ELEMENTOS USADOS EN EL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL** — Los elementos usados en el reforzamiento estructural de edificaciones de adobe y tapia pisada deben ser protegidos para que cumplan con los requisitos de protección contra el fuego de los capítulos J y K del Reglamento NSR-10 y con el criterio de durabilidad de la sección 5.6.3. Todos los elementos de acero incluyendo pernos, tuercas, platinas, etc. deben ser galvanizados o estar protegidos de su deterioro por corrosión. Los pernos de acero embebidos en muros de tierra deben colocarse dentro de ductos plásticos y las perforaciones se deben inyectar con morteros de baja contracción.

**5.6.3 — CRITERIO DE DURABILIDAD** — Los elementos usados en el reforzamiento estructural cumplen con el requisito de durabilidad si su espesor no decrece en más del 5% o de 30 mm (el que sea menor) y su resistencia no se reduce en más del 5% durante la vida útil de la estructura.

## CAPÍTULO 6 EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

### 6.1 — CONSIDERACIONES GENERALES

La evaluación de la estructura existente debe hacerse utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales y los métodos constructivos utilizados.

Las combinaciones que se deben utilizar para el análisis son las descritas en la sección B.2.4.2 del Reglamento NSR-10.

La evaluación de la estructura existente consiste en los siguientes aspectos:

- (a) Determinación de índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos de la edificación incluyendo muros, machones, diafragmas, cubiertas y cimentación de acuerdo con los criterios presentados en la sección 5.4 y las capacidades presentadas en este capítulo. Los índices de sobreesfuerzo se deben calcular para todas las combinaciones de carga de la sección B.2.4 del Reglamento NSR-10 y deben incluir verificaciones dentro y fuera del plano de muros y machones.
- (b) Obtención de factores de seguridad al volcamiento de muros y machones para los casos en que se utilice el modelo de análisis simplificado permitido en la sección 5.3.
- (c) Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en los criterios presentados en la sección 5.5.

Las formulaciones presentadas en este capítulo se basan en ecuaciones convencionales de fuerzas resistentes; alternativamente, se permite el uso de formulaciones con base en principios de energía.

### 6.2 — MODELO ESTRUCTURAL DE ANÁLISIS

El modelo estructural de análisis debe cumplir con lo especificado en las secciones 5.2.5.1 y 5.2.5.2.

### 6.3 — RESISTENCIA A CARGA AXIAL DE MUROS Y MACHONES

**6.3.1 — COMPRESIÓN** — La resistencia a compresión de muros o machones sometidos a carga axial sin excentricidad se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_{nz} = 0.80f'_m A_m R_e \quad (6.3.1-1)$$

donde  $f'_m$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4, y  $R_e$  se presenta en la primera columna de la Tabla 6.5.1-1 y está dado por la siguiente ecuación:

$$R_e = 1.18 - 0.03 \frac{h}{t} \leq 1.0 \quad (6.3.1-2)$$

**Tabla 6.3.1-1**  
Resistencia de muros de tierra sin reforzamiento

Propiedad	Unidades	Adobe	Tapia pisada
$f'_m$	MPa	0.80	0.50
$f_v$	MPa	0.0019	0.0024
$f_r$	MPa	0.04	0.06

**6.3.2 — TENSIÓN VERTICAL** — La capacidad a tensión de muros o machones de tierra sometidos a fuerzas axiales verticales se considera despreciable.

**6.3.3 — TENSIÓN HORIZONTAL** — La capacidad a tensión de muros o machones de tierra sometidos a fuerzas axiales horizontales sin excentricidad se puede calcular como:

$$P_{nx} = f_r A_{mx} \quad (6.3.3-1)$$

donde  $f_r$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4 y  $A_{mx}$  es el área vertical del muro en  $\text{mm}^2$  usando una altura de 1000 mm como se muestra en el detalle 1 de la figura 6.6.1-1.

#### 6.4 — RESISTENCIA A CORTANTE DE MUROS Y MACHONES

La resistencia de muros o machones sometidos a fuerza cortante en el plano o fuera del plano se calcula a la mitad de la altura del elemento usando la siguiente expresión:

$$V_{nx} = f_v A_{mz} + 0.30 P_{uz} \quad (6.4.1-1)$$

donde  $f_v$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4 y  $P_{uz}$  es la fuerza axial a la mitad de la altura del muro o machón para las combinaciones de carga de la sección B.2.4 del Reglamento NSR-10;  $P_{uz}$  debe tomarse como positiva para compresión y negativa para tracción.

Alternativamente, la resistencia a cortante se puede calcular usando la siguiente expresión (Reyes et al., 2018):

$$V_{nx} = A_{mz} \sqrt{f'_m} \left[ 0.33 \left( \frac{P_{uz}}{A_{mz} f'_m} \right) - 0.005 \right] \left( \frac{h}{l_m} \right)^{-0.26} \quad (6.4.1-2)$$

donde  $f'_m$  corresponde a la resistencia a la compresión del adobe o tapia pisada en MPa,  $h$  es la altura del muro o machón en mm y  $l_m$  es la longitud del muro o machón en mm.

#### 6.5 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE HORIZONTAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL VERTICAL

**6.5.1 — FUERZAS SISMICAS EN EL PLANO DEL MURO O MACHON** — La resistencia a flexión y axial de muros y machones sometidos a flexión con respecto al eje horizontal perpendicular al plano del muro combinada con fuerza axial vertical está dada por las ecuaciones 6.5.1-1 y 6.5.1-2:

$$M_{ny} = \frac{P_{uz} b_x}{3\phi} \quad (6.5.1-1)$$

$$P_{nz} = 0.8 f'_m A_{mz} R_e \quad (6.5.1-2)$$

en donde  $f'_m$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4,  $R_e$  se obtiene de la Tabla 6.5.1-1 (se permite interpolación lineal para valores intermedios) y  $P_{uz}$  es la fuerza axial;  $P_{uz}$  debe tomarse como positiva para compresión y cero para tracción. Esta condición de esfuerzos se puede generar por fuerzas en el plano del muro o machón como se muestra en el detalle 1 (a) la Figura 6.5.1-1. La ecuación 6.3.1-1 corresponde a los valores de  $R_e$  para  $M_{uy}/(P_{uz}t) \leq 0.05$ . La resistencia a flexión y axial de muros y machones sometidos a flexión alrededor del eje horizontal combinada con fuerza axial vertical en tensión se considera despreciable.

**6.5.2 — FUERZAS SISMICAS FUERA DEL PLANO DEL MURO O MACHON** — La resistencia a flexión de muros y machones sometidos a flexión con respecto al eje horizontal paralelo al plano del muro combinada con fuerza axial vertical está dada por la siguiente ecuación:

$$M_{nx} = \frac{P_{uz} t}{3\phi} \quad (6.5.2-1)$$

en donde  $P_{uz}$  es la fuerza axial;  $P_{uz}$  debe tomarse como positiva para compresión y cero para tracción. Esta condición de esfuerzos se puede generar por fuerzas fuera de plano del muro o machón como se muestra en el detalle 1 (b) de la Figura 6.5.1-1. La resistencia a compresión está dada por ecuación 6.5.1-2.

Tabla 6.5.1-1  
 Coeficientes  $R_e$  para varios valores de  $h/r$  y  $M_{uy}/(P_{uz}t)$   
 (Adaptada de Standards New Zealand NZS 4297, 1998)

h/t	$M_{uy}/(P_{uz}t)$				
	$\leq 0.05$	0.10	0.20	0.30	0.33
$\leq 6$	1.00	0.78	0.56	0.38	0.32
8	0.94	0.73	0.54	0.34	0.29
10	0.88	0.67	0.49	0.31	0.25
12	0.82	0.62	0.45	0.27	0.22
14	0.76	0.56	0.40	0.23	0.18
16	0.70	0.51	0.35	0.20	0.15
18	0.64	0.45	0.31	0.16	0.11

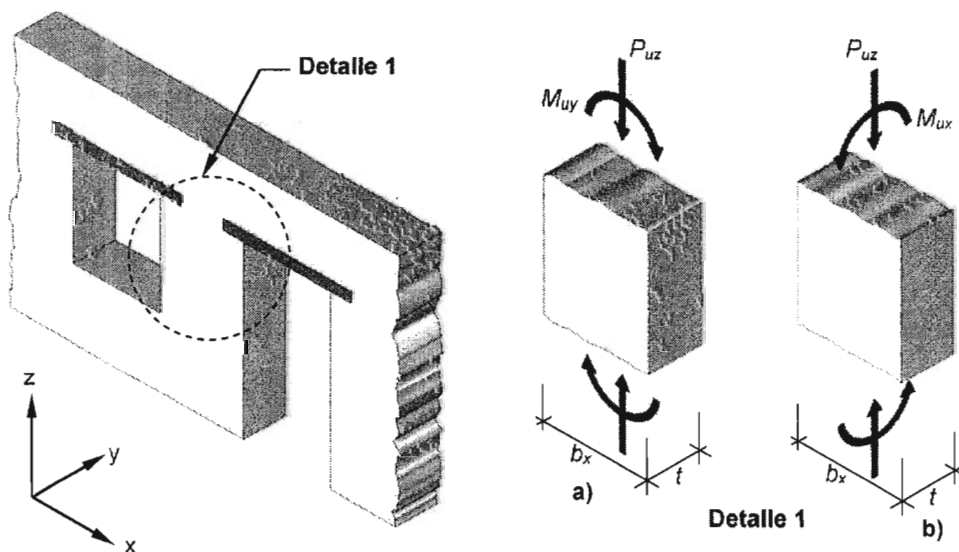


Figura 6.5.1-1. Flexión con respecto al eje horizontal combinada con fuerza axial vertical

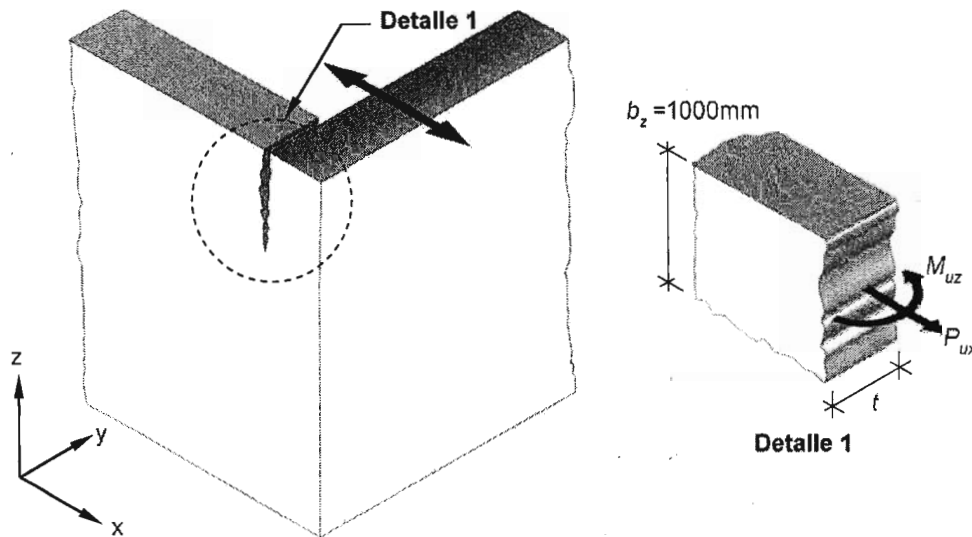
## 6.6 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE VERTICAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL HORIZONTAL

6.6.1 — RESISTENCIA A FLEXIÓN — La resistencia a flexión de zonas de muros sometidos a momentos flectores alrededor del eje vertical combinados con fuerzas axiales se calcula usando la siguiente expresión:

$$M_{nz} = \frac{b_z t^2}{6} \left( f_r + \frac{P_{ux}}{A_{mx}} \right) \quad (6.6.1-1)$$

en donde  $f_r$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4,  $b_z$  se puede tomar igual a 1000 mm y  $P_{ux}$  es la fuerza axial;  $P_{ux}$  debe tomarse positiva para compresión y negativa para tracción. Esta condición de esfuerzos se puede generar en las zonas de conexión entre muros cuando estos son sometidos a fuerzas sísmicas fuera del plano (Figura 6.6.1-1).





**Figura 6.6.1-1. Flexión con respecto al eje vertical combinada con fuerza axial horizontal**

**6.6.2 — RESISTENCIA A COMPRESIÓN HORIZONTAL** — La resistencia a compresión horizontal de zonas de muros sometidos a momentos flectores con respecto al eje vertical combinados con fuerzas axiales horizontales en compresión se calcula usando la siguiente expresión:

$$P_{nx} = 0.8f'_m A_{mx} - \frac{6M_{uz}}{t} \tag{6.6.2-1}$$

en donde  $f'_m$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4. Dada la escasa capacidad de la zona de conexión entre muros longitudinales y transversales, se puede considerar que estos trabajan independientemente, es decir los muros longitudinales y transversales pueden no conectarse entre sí. En estos casos, se debe comprobar que ningún muro de la edificación en su estado actual sea inestable al volcamiento por cargas sísmicas fuera de su plano de acuerdo con los requisitos de la sección 5.3.

**6.7 — RESISTENCIA DE ELEMENTOS DIFERENTES A MUROS Y MACHONES**

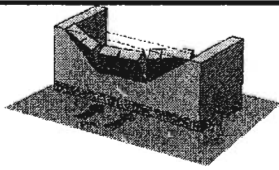
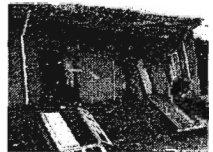
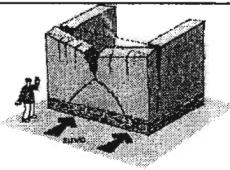

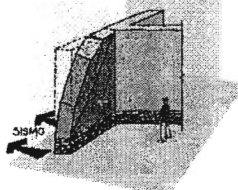
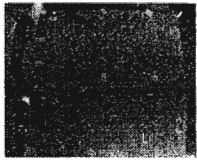
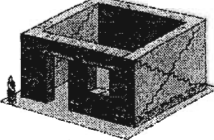

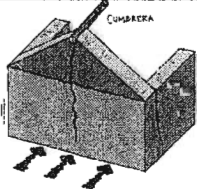



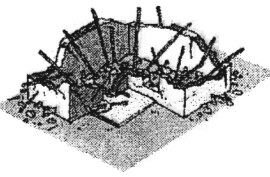

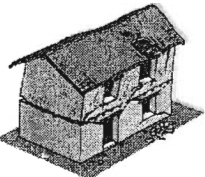
Los índices de sobreesfuerzo para las cubiertas, suelos de cimentación y otros componentes donde se usen esfuerzos de trabajo, se calculan como el cociente entre las solicitaciones obtenidas para las combinaciones de carga B.2.3 y los esfuerzos admisibles definidos según el material en el Reglamento NSR-10.

La resistencia y rigidez de los diafragmas y sus conexiones con los muros de la edificación se debe calcular utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales y los métodos constructivos utilizados.

**6.8 — PATRONES DE AGRIETAMIENTO Y MECANISMOS DE COLAPSO TÍPICOS**

En sismos previos se ha observado que las edificaciones construidas en mampostería de adobe y tapia pisada presentan patrones de agrietamiento y mecanismos de colapso que pueden ser agrupados en los ocho tipos básicos mostrados en la Tabla 6.8.1-1.

Tabla 6.8.1-1  
Patrones de agrietamiento y mecanismos de colapso típicos de construcciones en tierra

Tipo	Descripción	Esquema	Fotografía <sup>1</sup>
1	Falla por flexión con respecto al eje horizontal con agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia de muros y machones. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en muros largos con aberturas sin restricciones transversales sometidos a fuerzas fuera del plano.		
2	Falla por flexión con respecto al eje vertical combinada con fuerza axial en tensión con agrietamiento vertical en la zona central y en la conexión del muro con los muros perpendiculares. Este tipo de falla se presenta principalmente en muros altos y cortos o muros largos con restricciones laterales poco espaciadas.		
3	Falla por flexión con respecto al eje vertical combinada con fuerza axial en tensión en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en muros no conectados efectivamente con los muros transversales.		
4	Falla por cortante en el plano del muro o machón. Este mecanismo es frecuente en los machones de muros con aberturas correspondientes a puertas y ventanas.		
5	Combinación de dos o más de los mecanismos anteriores		
6	Caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda por encontrarse mal apoyada sobre los muros o porque los muros presentan cualquiera de las deficiencias anteriores.		
7	Falla generalizada de la cubierta por ausencia de un apoyo adecuado o por mala estructuración de la misma. Usualmente, la cubierta falla hacia el interior de la estructura, rompiendo la parte superior de los muros portantes. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones con cubiertas muy pesadas, mal concebidas estructuralmente o con alto grado de deterioro a causa del ataque de insectos o cambios de humedad.		
8	Falla que se presenta por mala conexión de los muros del primer piso con los del segundo; el entrepiso rompe los muros principales en forma casi horizontal, generando la inestabilidad del segundo piso. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones de dos o más pisos, con conexiones deficientes en los muros principales y la ausencia de un diafragma rígido en el entrepiso.		

<sup>1</sup> Véanse las referencias de estas fotografías en la bibliografía.



## CAPÍTULO 7 ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

### 7.1 — RECOMENDACIONES GENERALES

**7.1.1 — REQUISITOS MÍNIMOS** — El reforzamiento estructural de construcciones en tierra debe ser integral y debe incluir como mínimo los siguientes aspectos:

- (a) Mantenimiento y reparación de daños, grietas, humedades, goteras, etc. presentes en los componentes de la edificación. Las intervenciones deben garantizar que el estado de la estructura reforzada se califique como "bueno" de acuerdo con los criterios del Capítulo 3.
- (b) Reforzamiento estructural de todos los muros y machones de la estructura de acuerdo con los sistemas presentados en la Tabla 7.1.2-1.
- (c) Reforzamiento de las conexiones entre los muros (o machones) y los sistemas de piso y cubiertas.
- (d) Reforzamiento estructural de los diafragmas y cubiertas para garantizar como mínimo su estabilidad durante el sismo de diseño.
- (e) Construcción de elementos estructurales adicionales si los muros reforzados no son suficientes para resistir las fuerzas sísmicas de diseño o la flexibilidad de la estructura es excesiva.

**7.1.2 — COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA Y APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE REFORZAMIENTO** — La Tabla 7.1.2-1 presenta los rangos de aplicación de algunos sistemas de reforzamiento de muros y machones que han demostrado un adecuado comportamiento estructural y mejoran la estabilidad, rigidez y resistencia de las construcciones en tierra. Se permite el uso de opciones de reforzamiento diferentes a los prescritos en la Tabla 7.1.2-1, siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia experimental que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia, especialmente sísmica.

**Tabla 7.1.2-1**  
**Coefficientes de disipación de energía y usos permitidos de los sistemas de reforzamiento de muros y machones (Con base en AIS, 2016 y Universidad de los Andes, 2016)**

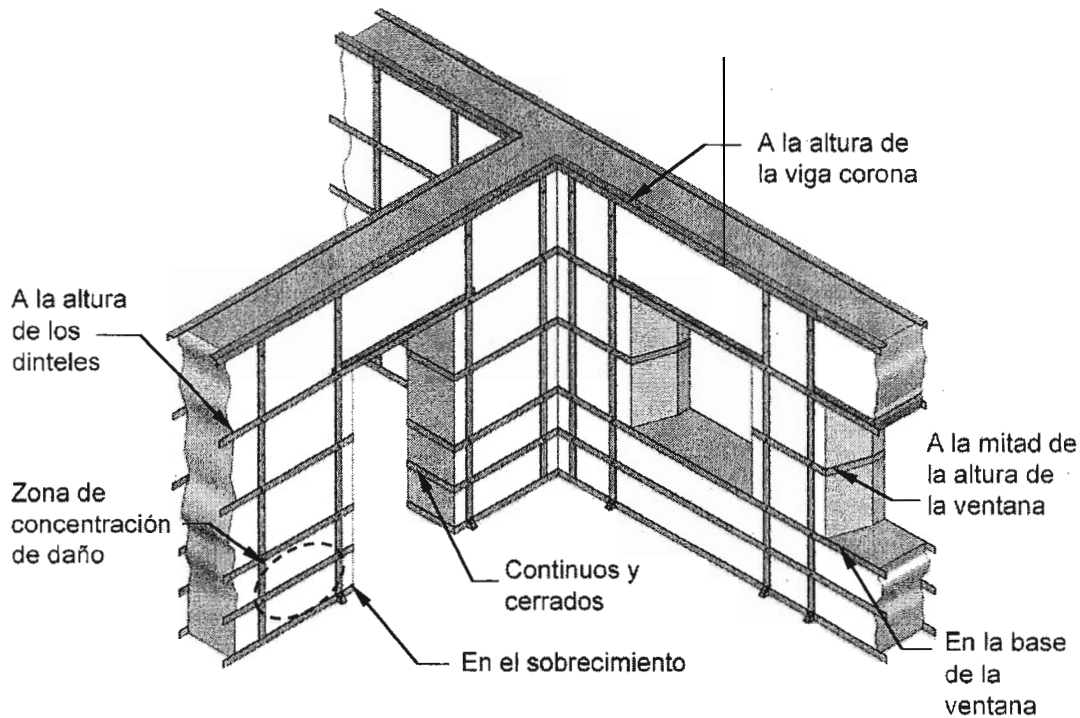
Sistema de reforzamiento de muros y machones	$R_o$	$\Omega_o$	Amenaza sísmica		
			Alta	Intermedia	Baja
Ninguno	1.0	2.0	-	-	-
Entramados de madera, acero, plástico, o similar.	2.5	2.0	Permitido	Permitido	Permitido
Entramados de madera, acero, plástico, o similar y tensores internos o externos.	2.5	2.0	Permitido	Permitido	Permitido
Tensores verticales y anillos de zunchos	2.5	2.0	Permitido	Permitido	Permitido
Mallas de acero o sintéticas	2.0	2.0	No permitido	Solo se permite para Grupo de uso I y para Grupo de uso II con valores de $S_a < 0.5$	Permitido

Nota: Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_o$  debe multiplicarse por  $\phi_a$ ,  $\phi_p$  y  $\phi_r$ , para obtener el valor de  $R' = \phi_a \phi_b \phi_r R_o$ , de acuerdo con la sección A.3.3.3 del Reglamento NSR-10.

### 7.2 — REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MUROS Y MACHONES

**7.2.1 — ENTRAMADOS DE MADERA, ACERO, PLÁSTICO, O SIMILAR**— Con esta alternativa se busca aumentar la rigidez y resistencia a flexión, cortante y axial de muros y machones, tanto en el plano como fuera del plano. Los elementos de reforzamiento se deben colocar por ambas caras del muro (véase la Figura 7.2.1-1). Los muros se

refuerzan para que trabajen en acción compuesta parcial de tierra y madera, limitando su deformación y minimizando los daños en caso de un sismo. La compatibilidad de deformaciones entre los dos materiales se garantiza mediante pernos pasantes colocados en las intersecciones de los elementos horizontales con los verticales y mediante el contacto directo de los elementos del reforzamiento estructural con los muros o machones de tierra.



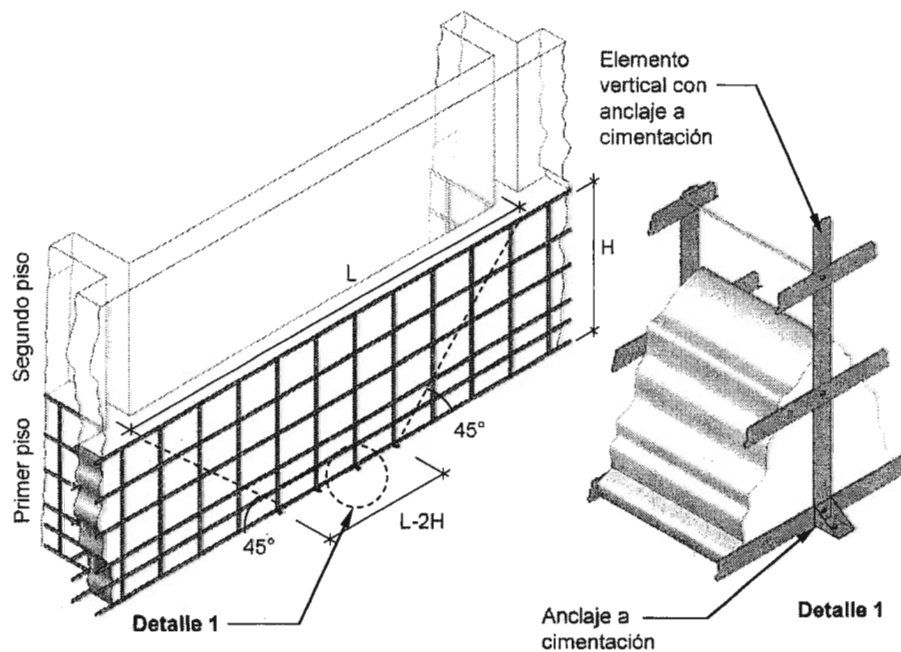
**Figura 7.2.1-1. Sistema de reforzamiento con entramados de madera, acero, plástico o similar.**

**7.2.1.1 — Requisitos generales** — Los requisitos generales de esta alternativa de reforzamiento estructural son:

- (a) Los elementos horizontales de reforzamiento deben formar anillos alrededor de todos los muros y machones de la edificación. En las esquinas, estos elementos se deben unir mediante platinas y pernos o mediante soldadura para darles continuidad.
- (b) El esquema de reforzamiento se debe implementar para todos los muros y machones de la edificación. Las únicas excepciones posibles son las presentadas en la sección 7.2.1.5.
- (c) En ningún caso, la separación entre ejes de anillos horizontales debe exceder 1000 mm.
- (d) Deben existir anillos de reforzamiento en la base de los muros, a una distancia de 500 mm medida a partir de la base, en la base de las ventanas, a la mitad de la altura de las ventanas, a la altura del dintel y al nivel de la viga corona. Los ejes de tres primeros anillos de abajo hacia arriba deben estar separados como máximo 500 mm (véase la Figura 7.2.1-1).
- (e) Los elementos de reforzamiento verticales se deben ubicar a 100 mm de los bordes de puertas y ventanas.
- (f) La distancia entre ejes de elementos de reforzamiento vertical no debe exceder 1200 mm.
- (g) Cada intersección de refuerzo horizontal con vertical debe llevar un perno pasante para interconectar el refuerzo presente en ambas caras del muro. Si el espesor de los elementos de reforzamiento es menor que 20 mm, se recomienda colocar un perno pasante adicional en la mitad de la distancia entre intersecciones de refuerzo horizontal con vertical. En todos los casos, la distancia entre pernos pasantes debe ser mayor que la mitad del espesor del muro.
- (h) Los elementos de refuerzo vertical presentes en la zona central de muros con longitudes libres (en planta) superiores a dos veces su altura se deben anclar a bloques o muertos de concreto diseñados para tomar los momentos de volcamiento en la base del muro. La longitud en planta de la zona central del muro se define como su longitud libre menos dos veces su altura, como se muestra en la Figura 7.2.1.1-1. Para efectos de garantizar la integridad del sistema y para ayudar en caso de aceleraciones verticales importantes, se recomienda no solo generar este anclaje sino proporcionar un confinamiento y amarre adecuado entre la cimentación, el sobrecimiento y el muro mismo.

**AIS 610-EP-17: Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada**

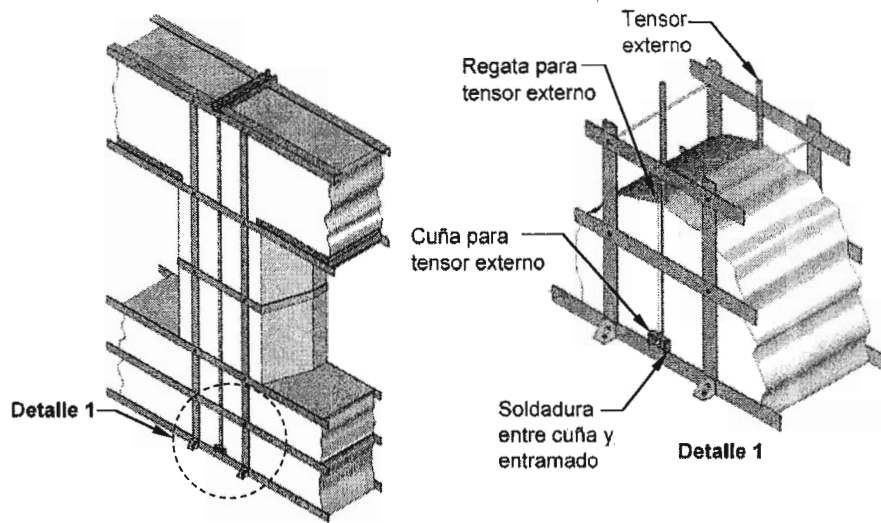
- (i) En los casos en los cuales el espesor de los elementos de reforzamiento supere el espesor del pañete, se recomienda realizar regatas en los muros y machones para alojarlos. El pañete puede consistir en mortero de cal y arena en proporción 1:2. Los elementos de reforzamiento se deben recubrir con mallas para garantizar una adecuada adherencia con el mortero y evitar el agrietamiento de estas zonas.



**Figura 7.2.1.1-1. Sistema de anclaje de elementos de refuerzo vertical para entramados de madera, acero, plástico o similar.**

**7.2.1.2 — Conexiones entre elementos verticales u horizontales** — La conexión entre elementos verticales y horizontales debe ser resistente a momento y debe soportar una deriva de entrepiso del 1% de la altura del muro.

**7.2.1.3 — Tensores horizontales y verticales** — Los tensores horizontales y verticales son un complemento a los reforzamientos en base a entramados y pueden ser internos o externos, horizontales o verticales. Si no se requiere anclaje a la cimentación, los tensores pueden ir instalados como se muestra en la Figura 7.2.1.3-1 y se deben tensionar a máximo el 40% de su resistencia a la tracción. Las dimensiones mínimas y calidades de los materiales deben cumplir con la Tabla 7.2.1.4-1. Los tensores son opcionales y debe evaluarse en cada caso su conveniencia, especialmente constructiva.



**Figura 7.2.1.3-1 Tensores verticales externos sin anclaje a la cimentación.**

**7.2.1.4 — Especificaciones mínimas y calidad de los materiales de los elementos de reforzamiento** — Los elementos usados en el reforzamiento deben cumplir con las dimensiones y resistencias mínimas especificadas en la Tabla 7.2.1.4-1. Todos los elementos de acero incluyendo pernos, tuercas, platinas, etc. deben ser galvanizados o estar protegidos de su deterioro por corrosión. Los pernos de acero embebidos en muros de tierra deben colocarse dentro de ductos plásticos y las perforaciones se deben inyectar con morteros de baja contracción (véase la sección 5.6). La madera a utilizar como reforzamiento debe cumplir con los requisitos mínimos especificados en la sección G.1.3 del Reglamento NSR-10.

**Tabla 7.2.1.4-1**

**Especificaciones mínimas de los elementos de reforzamiento para el sistema de entramados de madera, acero, plástico o similar**

Elementos de reforzamiento	Resistencia mínima a la tensión	Dimensiones mínimas
Elementos horizontales o verticales del entramado en madera	La especificada para madera grupo ES6	40 mm×180 mm
Elementos horizontales o verticales del entramado en acero	248 MPa	6 mm×100 mm
Elementos horizontales o verticales del entramado en plástico	40 MPa	40 mm×130 mm
Platinas usadas en las conexiones	248 MPa	Espesor ≥ 6 mm
Soldadura acanalada de penetración completa	413 MPa	Espesor de la parte conectada
Pernos pasantes	420 MPa	Diámetro ≥ 9.5 mm
Tensores horizontales o verticales (tensionar a máximo 0.40 de su resistencia a la tracción).	420 MPa	Diámetro ≥ 12.7 mm

**7.2.1.5 — Excepciones** — Se permiten dimensiones o materiales diferentes a los prescritos en la Tabla 7.2.1.4-1, siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia experimental que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia, especialmente sísmica.

**7.2.2 — TENSORES VERTICALES Y ANILLOS DE ZUNCHOS** — Esta alternativa consiste en la instalación de tensores verticales, anillos de acero localizados en el sobrecimiento y la parte superior del muro, y anillos horizontales y verticales de zunchos (véase la Figura 7.2.2-1).

**7.2.2.1 — Requisitos generales** — Los requisitos generales de esta alternativa de reforzamiento estructural son:

- (a) El esquema de reforzamiento se debe implementar para todos los muros y machones de la edificación. Las únicas excepciones posibles son las presentadas en la sección 7.2.4.
- (b) Los tensores verticales pueden ser internos o externos y su separación no debe exceder 1000 mm. Si se usan tensores externos, estos se deben colocar en ambas caras del muro. Si se usan tensores internos, estos se deben colocar en zigzag como se muestra en la Figura 7.2.2-1(a).
- (c) Debe existir un anillo de reforzamiento en acero en la base de los muros y al nivel de la viga corona. Estos anillos se pueden usar como parte del sistema de anclaje de los tensores verticales. El anillo en la base puede consistir en una platina perimetral con las dimensiones presentadas en la Tabla 7.2.1.4-1.
- (d) Se deben colocar anillos horizontales y verticales de zunchos. Se deben hacer perforaciones en sentido horizontal y vertical en el plano del muro, espaciadas máximo 1000 mm. Las perforaciones deben ser protegidas mediante la instalación de un tubo plástico. Cada anillo se coloca entre dos perforaciones dejando una perforación de por medio como se muestra en la Figura 7.2.2-1(b). Las perforaciones de la parte interna de la esquina deben ir en el borde del muro.
- (e) Los zunchos se deben tensar a una carga igual al 40% de su resistencia a tracción y su sellado se debe hacer utilizando soldadura por fricción.
- (f) Los anillos de zunchos horizontales en las esquinas se deben instalar como se muestra en la Figura 7.2.2-1(b).
- (g) Deben existir anillos horizontales de zunchos a 500 mm medidos a partir de la base, en la base de las ventanas, a la mitad de la altura de las ventanas, a la altura del dintel y al nivel de la viga corona. Los ejes de los tres primeros anillos de abajo hacia arriba deben estar separados como máximo 500 mm.
- (h) Los zunchos verticales se deben ubicar a 100 mm de los bordes de puertas y ventanas.
- (i) En las zonas de contacto de los zunchos con los bordes del muro se pueden instalar ángulos plásticos para evitar su daño local.
- (j) Los tensores presentes en la zona central de muros con longitudes libres (en planta) superiores a dos veces su altura se deben anclar a bloques o muertos de concreto diseñados para tomar los momentos de volcamiento en la base del muro transmitidos por los tensores. La zona central del muro tiene una longitud en planta igual a la longitud libre del muro menos dos veces su altura. Para efectos de garantizar la integridad del sistema y para ayudar en caso de aceleraciones verticales importantes, se recomienda no solo generar este anclaje sino proporcionar un confinamiento y amarre adecuado entre la cimentación, el sobrecimiento y el muro mismo.
- (k) En los casos en los cuales se usen tensores externos, se recomienda realizar regatas en los muros y machones para alojarlos. El pañete puede consistir en mortero de cal y arena en proporción 1:2.

**7.2.2.2 — Especificaciones mínimas y calidad de los materiales de los elementos de reforzamiento** — Los elementos usados en el reforzamiento deben cumplir con las dimensiones y resistencias mínimas especificadas en la Tabla 7.2.2.2-1. Todos los elementos de acero incluyendo pernos, tuercas, platinas, etc. deben ser galvanizados o estar protegidos de su deterioro por corrosión. Los tensores de acero embebidos en muros de tierra deben colocarse dentro de ductos plásticos y las perforaciones se deben inyectar con morteros de baja contracción (véase la sección 5.6).

**7.2.2.3 — Tensores verticales** — Los tensores verticales se deben tensionar a máximo el 40% de su resistencia a la tracción. Las especificaciones mínimas y calidades de los materiales deben cumplir con la Tabla 7.2.2.2-1.

**7.2.2.4 — Excepciones** — Se permiten dimensiones o materiales diferentes a los prescritos en la Tabla 7.2.2.2-1, siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia experimental que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia, especialmente sísmica.

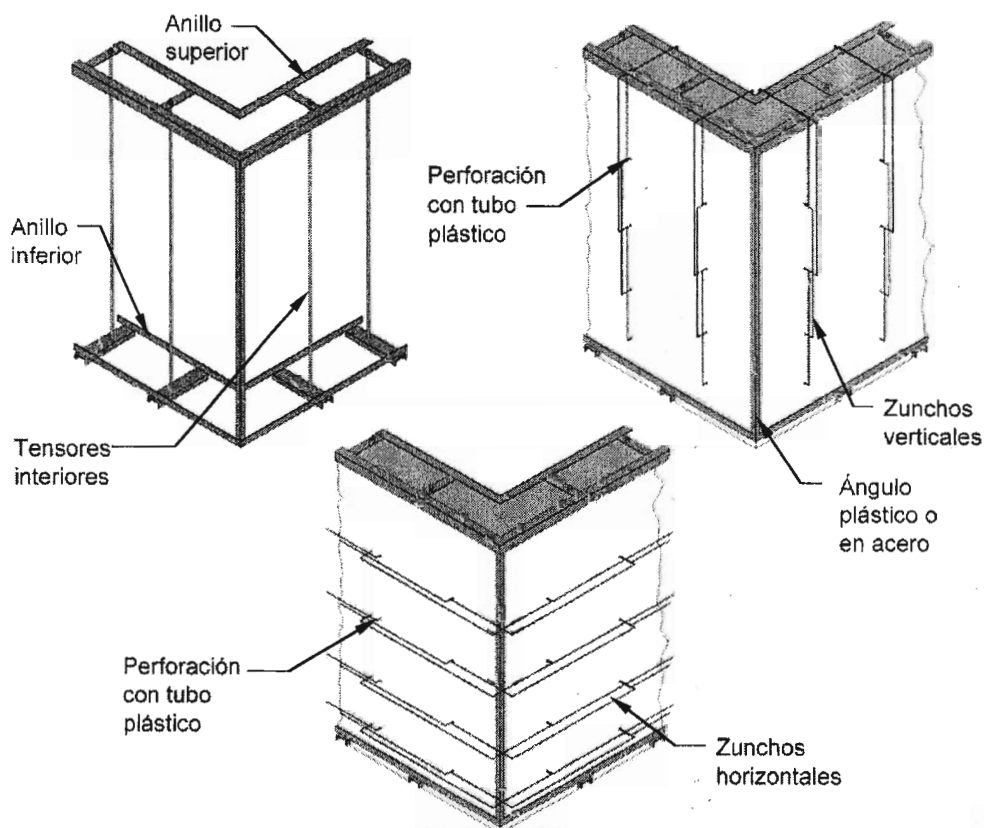


Figura 7.2.2-1. Sistema de reforzamiento con tensores verticales y anillos de zunchos.

Tabla 7.2.2.2-1  
Especificaciones mínimas de los elementos de reforzamiento para el sistema de tensores verticales y anillos de zunchos

Elementos de reforzamiento	Mínima en resistencia a la tensión	Dimensiones mínimas
Zunchos plásticos	300 MPa	1 mm×19 mm
Tensores verticales (tensionar a máximo 0.40 de su resistencia a la tracción).	420 MPa	Diámetro ≥ 25.4 mm
Anillo superior en acero estructural	248 MPa	Aleta ≥ 10 mm Espesor ≥ 6 mm
Anillo inferior en acero estructural	248 MPa	6 mm×100 mm
Platinas usadas en las conexiones	248 MPa	Espesor ≥ 6 mm
Soldadura acanalada de penetración completa	413 MPa	Espesor de la parte conectada
Tubos plásticos para protección de agujeros	40 MPa	Diámetro exterior ≥ 50 mm Espesor ≥ 4 mm
Ángulos plásticos	-	Aleta ≥ 50 mm Espesor ≥ 2 mm

**7.2.3 — MALLAS DE ACERO O SINTÉTICAS** — Las mallas se instalan en la cara interna y externa del muro en forma simultánea y se encuentran ancladas a una viga de cimentación construida para tal fin. Las mallas de las dos caras se interconectan con pernos pasantes colocados en orificios previamente perforados (véase la Figura 7.2.3-1).



**7.2.3.1 — Requisitos generales** — Los requisitos generales de esta alternativa de reforzamiento estructural son:

- (a) El esquema de reforzamiento se debe implementar para todos los muros y machones de la edificación. Las únicas excepciones posibles son las presentadas en la sección 7.2.3.3.
- (b) Las mallas se deben instalar en ambas caras del muro.
- (c) Las mallas deben ir ancladas a la cimentación de manera continua. Esto requiere la construcción de una viga de cimentación de concreto reforzado en la base de todos los muros de la edificación.
- (d) Las mallas deben ir ancladas en la parte superior del muro al diafragma o a un anillo horizontal de reforzamiento.
- (e) Las mallas de las dos caras se deben conectar con pernos pasantes separados a distancias iguales al espesor del muro, pero no mayores a 600 mm. Los extremos de los pernos pasantes deben estar rígidamente unidos a las mallas mediante platinas, pernos, soldaduras, o cualquier otro método que garantice una adecuada transmisión de fuerzas. No se requiere que haya mortero entre la superficie del muro y la malla.
- (f) En las intersecciones entre muros, se deben colocar ángulos en las aristas internas unidos a platinas externas mediante pernos pasantes, como se muestra en el detalle de la Figura 7.2.3-1. Los pernos pasantes deben estar separados verticalmente una distancia máxima de 1000 mm.
- (g) El pañete colocado sobre la malla puede consistir en mortero de cal y arena en proporción 1:2.

**7.2.3.2 — Dimensiones mínimas y calidad de los materiales de los elementos de reforzamiento** — Los elementos usados en el reforzamiento deben cumplir con las dimensiones y resistencias mínimas especificadas en la Tabla 7.2.3.2-1. Todos los elementos de acero incluyendo pernos, tuercas, platinas, etc. deben ser galvanizados o estar protegidos de su deterioro por corrosión. Los pernos de acero embebidos en muros de tierra deben colocarse dentro de ductos plásticos y las perforaciones se deben inyectar con morteros de baja contracción (véase la sección 5.6).

**7.2.3.3 — Excepciones** — Se permiten dimensiones o materiales diferentes a los prescritos en la Tabla 7.2.3.2-1, siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia experimental que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia, especialmente sísmica.

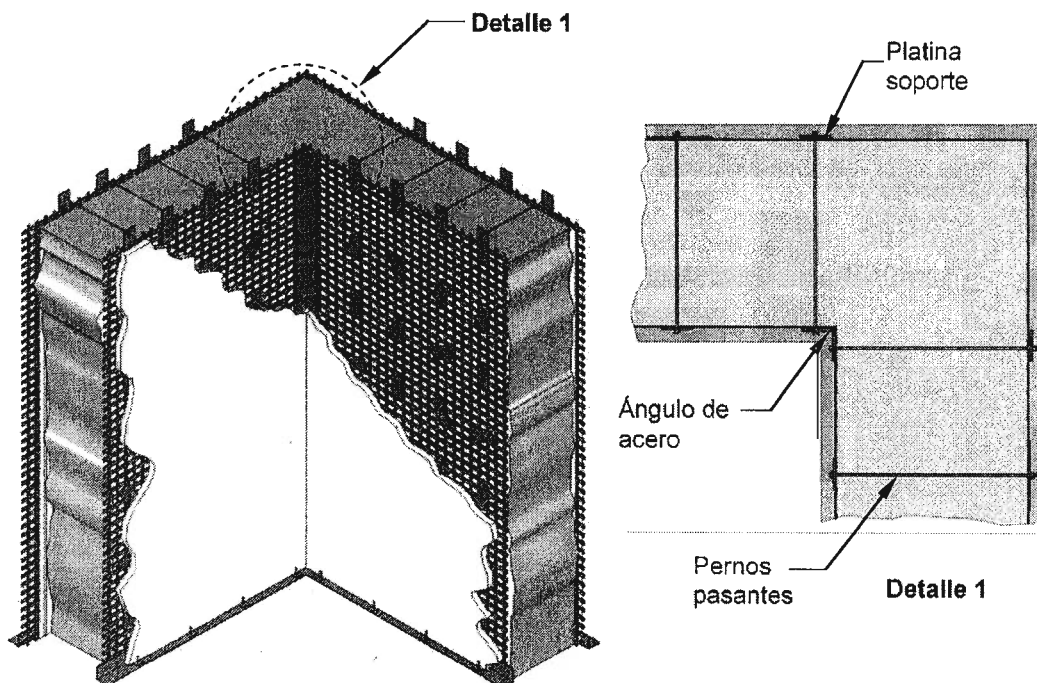


Figura 7.2.3-1. Sistema de reforzamiento con mallas de acero o sintéticas



Tabla 7.2.3.2-1

Especificaciones mínimas de los elementos de reforzamiento para el sistema de mallas de acero o sintéticas

Elementos de reforzamiento	Mínima en resistencia a la tensión	Dimensiones mínimas
Mallas de acero	420 MPa	Espesor $\geq$ 5 mm Celdas $\leq$ 150 mm
Mallas sintéticas	12 kN/m	Celdas $\leq$ 150 mm
Platinas y ángulos usados en las conexiones	248 MPa	Espesor $\geq$ 6 mm

**7.2.4 — REFORZAMIENTO DE MUROS QUE CONTENGAN PINTURA MURAL** — En los casos en que una o las dos caras de un muro de tierra no se puedan intervenir por la presencia de pintura mural, se debe garantizar la estabilidad del muro mediante la colocación de anillos horizontales de madera, acero, plástico o similar en la base y en la parte superior del muro y tensores internos horizontales y verticales combinados con reforzamiento externo en la cara del muro donde sea posible; adicionalmente, se deben colocar amarres del muro a la cimentación y los diafragmas adyacentes.

### 7.3 — DIAFRAGMAS

El aumento de la rigidez del diafragma en su plano se puede lograr mediante la adición de una plaqueta de concreto, un entablado complementario o diagonales de acero. Debe considerarse en cualquier caso que el aumento en la masa o cargas verticales actuantes generan mayor fuerza sísmica. Independientemente de la alternativa que se utilice para aumentar la rigidez del diafragma, se debe garantizar una adecuada unión del diafragma con los muros de la edificación.

**7.3.1 — PLAQUETA DE CONCRETO** — Una opción posible de reforzamiento del diafragma consiste en fundir una plaqueta de concreto sobre el entramado de madera existente (Figura 7.3.1-1). Se debe generar una conexión efectiva entre la plaqueta y las vigas cargueras principales y entre la plaqueta y los muros perimetrales. Se debe verificar la resistencia de la madera y colocar apuntalamientos temporales mientras el concreto fragua. Los requisitos mínimos de la alternativa son los siguientes:

- (a) La plaqueta de concreto debe tener mínimo 50 mm de espesor con una malla de refuerzo en 2 direcciones con mínimo alambres de 5 mm cada 150 mm.
- (b) Se deben colocar conectores de cortante mediante anclajes de barras de refuerzo No. 2 al menos cada 400 mm 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 sistema de piso.
- (c) Se deben abrir regatas horizontales en la base de los muros apoyados en el entramado de madera existente con el fin de que la plaqueta quede embebida en el muro. El tamaño mínimo de la regata será de un tercio (1/3) del espesor total del muro, de tal manera que al menos una varilla de refuerzo quede embebida dentro del muro.
- (d) Los elementos de reforzamiento de los muros y machones deben quedar conectados al diafragma mediante conexiones que garanticen la transferencia de fuerzas sísmicas.

**7.3.2 — ENTABLADO COMPLEMENTARIO** — En este caso se construye un entablado en las dos direcciones principales del sistema de piso o en la dirección perpendicular en caso de que ya exista un entablado previo que se encuentre en buen estado (Figura 7.3.2-1). El entablado debe tener las siguientes características:

- (a) La madera utilizada debe ser mínimo clase ES5 según el Reglamento NSR-10.
- (b) El entablado deberá ir adecuadamente conectado a los elementos de soporte mediante puntillas espaciada al menos cada 150 mm.
- (c) 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.
- (d) En caso de que no existan elementos de borde en madera, deberá realizarse una regata en la base de los muros y embeber allí un elemento de madera con dimensiones mínimas de 100 mm de altura por un tercio (1/3) del espesor del muro, el cual debe empotrarse en el muro mediante un mortero de pega al menos de Tipo S según el Título D de la NSR-10. Estos elementos se deben prolongar hasta las esquinas del muro, en la cual se deben anclar a los elementos en madera transversales existentes o se conformará un nuevo elemento de madera transversal para lograr un anclaje efectivo en la unión de los muros.

**7.3.3 — DIAGONALIZACIÓN** — Cuando sea posible, se puede plantear la alternativa de adicionar diagonales en cada uno de los vanos en estudio mediante perfiles metálicos livianos, los cuales deben cumplir con los siguientes requisitos:

- (a) El perfil a utilizar en la diagonal debe ser mínimo un ángulo de 76 mm×76 mm×6.35 mm.
- (b) Las diagonales deben complementarse con elementos perimetrales debidamente adosados a los muros, preferiblemente por la parte externa, anclados mediante platinas. Si se colocan en el perímetro interno de los muros se deben colocar adicionalmente anclajes de al menos 6.35 mm de diámetro espaciados cada 500 mm atravesando los muros, de tal manera que permitan un trabajo conjunto de ambos materiales.

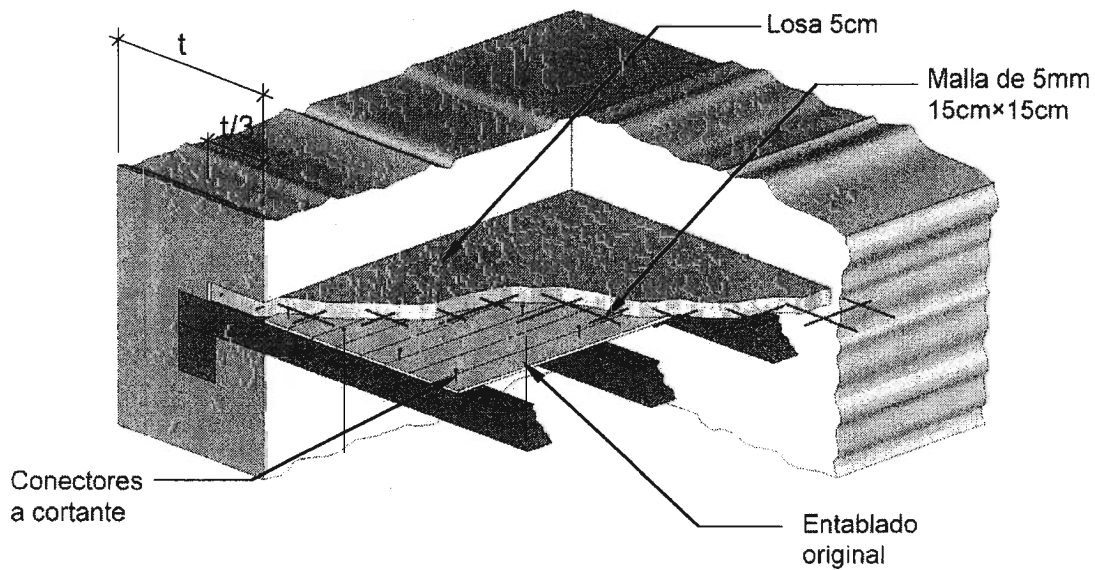


Figura 7.3.1-1. Reforzamiento de diafragma mediante construcción de plaqueta de concreto

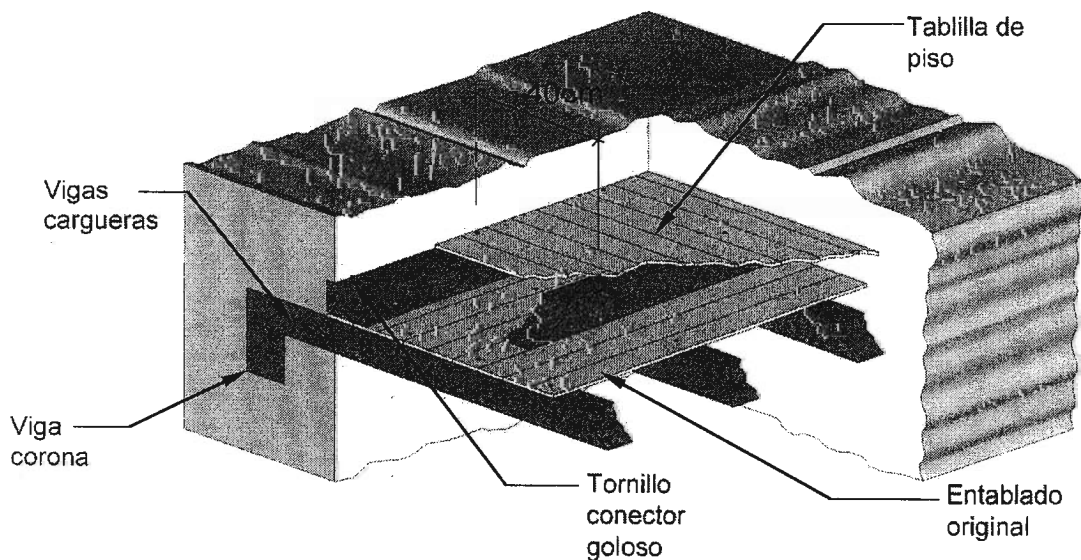


Figura 7.3.2-1. Reforzamiento de diafragma mediante entablado complementario

## 7.4 — CUBIERTAS

La cubierta se debe conectar a los muros y machones mediante conexiones que garanticen su estabilidad y la

transferencia adecuada de fuerzas sísmicas. Si se requiere, la cubierta debe reconstruirse utilizando elementos de madera o guadua que estén en buen estado y debidamente inmunizados. Se debe generar un adecuado arriostramiento en la estructura de cubierta, para mejorar el comportamiento ante las cargas verticales y horizontales. Se puede utilizar teja de barro sobre una capa de papel asfáltico para separar la teja de la madera. Las tejas deben estar adecuadamente amarradas para impedir el deslizamiento de las mismas durante un evento sísmico.

## **7.5 — ELEMENTOS ESTRUCTURALES ADICIONALES**

Si los muros reforzados no son suficientes para resistir las fuerzas sísmicas de diseño o la flexibilidad de la estructura es excesiva, se deben construir elementos estructurales adicionales en alguno de los materiales y sistemas permitidos por el Reglamento NSR-10 para la zona de amenaza sísmica donde se encuentre ubicada la edificación. Los muros y machones de tierra existentes se deben reforzar (de acuerdo con la sección 7.2) y conectar a la estructura nueva con el fin de garantizar su estabilidad. La resistencia, rigidez y estabilidad de la estructura nueva no debe depender de la estructura existente. Los elementos estructurales adicionales deben tener su propio sistema de cimentación.

## **7.6 — CIMENTACIONES**

El grado de intervención de la cimentación depende de la alternativa de reforzamiento implementada. Las recomendaciones mínimas de reforzamiento se encuentran incluidas en cada una de las secciones anteriores.

## CAPÍTULO 8

# ANÁLISIS Y DISEÑO DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

### 8.1 — CONSIDERACIONES GENERALES

El análisis y diseño del reforzamiento de estructuras de tierra debe hacerse utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales y los métodos constructivos utilizados. El diseño debe hacerse para la combinación que produzca el efecto más desfavorable en la edificación, o en el elemento estructural bajo consideración. Se deben utilizar las combinaciones de carga descritas en la sección B.2.4.2 del Reglamento NSR-10.

Las formulaciones presentadas en este capítulo están basadas en ecuaciones convencionales de fuerzas resistentes. El grado de precisión de las ecuaciones presentadas en este capítulo es muy bajo debido a la incertidumbre asociada al material y a la escasa información experimental parametrizada. Se procura en todos los casos que las ecuaciones presentadas conduzcan a resultados conservadores. Los límites superiores incluidos en todas las ecuaciones mediante el uso de los coeficientes  $\psi_v$ ,  $\psi_f$  y  $\psi_b$  han sido inferidos a partir de información experimental. Se permite el uso de ecuaciones diferentes a las presentadas en este capítulo siempre y cuando éstas estén basadas en evidencia experimental.

### 8.2 — MODELO ESTRUCTURAL

El modelo estructural utilizado para realizar el diseño del reforzamiento debe incluir el efecto de todas las modificaciones a las que serán sometidos los diafragmas, cubiertas, muros, machones y cimentación existente, así como también la presencia de nuevos elementos estructurales y conexiones.

### 8.3 — RESISTENCIA A COMPRESIÓN PURA

Conservativamente, la resistencia a compresión pura de muros y machones reforzados se puede calcular usando las ecuaciones de la sección 6.3.

### 8.4 — RESISTENCIA A CORTANTE DE MUROS Y MACHONES

La resistencia de muros o machones sometidos a fuerza cortante en el plano o fuera del plano se calcula a la mitad de la altura del elemento usando la siguiente expresión:

$$V_{nx} = \psi_v (f_v A_{mz} + 0.30 P_{uz}) \quad (8.4.1-1)$$

en donde  $f_v$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6.3.1-1 o a los valores permitidos en el Capítulo 4,  $P_{uz}$  es la fuerza axial a la mitad de la altura del muro o machón para las combinaciones de carga de la sección B.2.4 del Reglamento NSR-10 y  $\psi_v$  esta dado en la Tabla 8.4-1;  $P_{uz}$  debe tomarse como positiva para compresión y negativa para tracción.

Tabla 8.4-1  
Coeficientes de incremento de capacidad por el reforzamiento estructural

Sistema de reforzamiento	Cortante $\psi_v$	Flexión-axial (eje horizontal) $\psi_f$	Flexión-axial (eje vertical) $\psi_b$
Entramados de madera, acero, plástico, o similar.	1.5	2.0	1.5
Entramados de madera, acero, plástico, o similar y tensores internos o externos.	1.5	2.0	1.5
Tensores verticales y anillos de zunchos	1.3	1.5	1.3
Mallas de acero o sintéticas	1.0	1.5	1.0

**8.5 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE HORIZONTAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL VERTICAL**

**8.5.1 — FUERZAS SÍSMICAS EN EL PLANO DEL MACHÓN** — La resistencia a flexión de machones reforzados sometidos a flexión con respecto al eje horizontal perpendicular al plano del muro, combinada con fuerza axial vertical está dada por las ecuaciones 8.5.1-1 (véase la Figura 8.5-1, detalle 1a):

$$M_{ny} = 0.30A_{s1}f_s b_s \leq \psi_b \frac{P_{uz} b_x}{3\phi} \tag{8.5.1-1}$$

en donde  $A_{s1}$  es el área en mm<sup>2</sup> de los elementos de refuerzo para flexión con respecto al eje horizontal perpendicular al plano del muro,  $f_s$  es la resistencia última a tracción en MPa de los elementos de refuerzo,  $b_s$  corresponde a la separación en mm entre los elementos de refuerzo vertical,  $b_x$  es el ancho del muro o machón en dirección x y  $P_{uz}$  es la fuerza axial en N; esta ecuación sólo es válida para  $P_{uz}$  positivo (compresión). Si el sistema de reforzamiento considera tensores verticales,  $P_{uz}$  debe incluir la fuerza de postensado. La parte izquierda de la ecuación 8.5.1-1 no considera el aporte en resistencia proporcionado por posibles tensores verticales; sin embargo, si hay dos o más tensores por machón, estos se pueden considerar. La resistencia a compresión está dada por ecuación 6.5.1-2. Si el sistema de reforzamiento está conformado por mallas de acero o sintéticas, el área  $A_{s1}$  se puede tomar igual al área de mallas presente en ambas caras del muro en una distancia igual a  $b_x/2$  y  $b_s$  se puede tomar igual a  $b_x/2$ . La Figura 8.5-1 presenta los parámetros más relevantes de la ecuación 8.5.1-1.

**8.5.2 — FUERZAS SÍSMICAS FUERA DEL PLANO DEL MURO O MACHÓN** — La resistencia a flexión de muros y machones sometidos a flexión con respecto al eje horizontal paralelo al plano del muro, combinada con fuerza axial vertical está dada por la siguiente ecuación (véase la Figura 8.5-1, detalle 1b):

$$M_{nx} = 0.30(A_{s2}f_s t_s + A_t f_t t_t) \leq \psi_b \frac{P_{uz} t}{3\phi} \tag{8.5.2-1}$$

en donde  $A_{s2}$  y  $A_t$  son las áreas en mm<sup>2</sup> de los elementos de refuerzo o tensores para flexión con respecto al eje horizontal paralelo al plano del muro,  $f_s$  y  $f_t$  son las resistencias últimas a tracción en MPa de los elementos de refuerzo o tensores,  $t_s$  y  $t_t$  corresponde a la separación en mm entre los elementos de refuerzo vertical o tensores y  $P_{uz}$  es la fuerza axial;  $P_{uz}$  debe tomarse como positiva para compresión y cero para tracción. Si el sistema de reforzamiento considera tensores verticales,  $P_{uz}$  debe incluir la fuerza de postensado. La resistencia a compresión está dada por la ecuación 6.5.1-2. La evaluación de resistencia para muros se puede hacer por metro de longitud. Si el sistema de reforzamiento está conformado por mallas de acero o sintéticas, el área  $A_{s2}$  se puede tomar igual al área de mallas presente en una de las caras del muro en una longitud igual a 1m y  $t_s$  se puede tomar igual a  $t$ . La Figura 8.5-1(b) presenta los parámetros más relevantes de la ecuación 8.5.2-1.

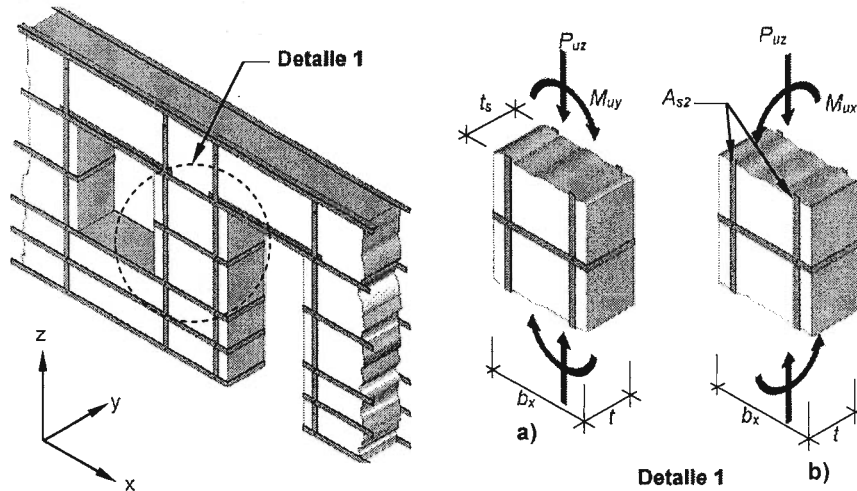


Figura 8.5-1. Flexión con respecto al eje horizontal combinada con fuerza axial vertical

## 8.6 — RESISTENCIA A FLEXIÓN CON RESPECTO AL EJE VERTICAL COMBINADA CON FUERZA AXIAL HORIZONTAL

8.6.1 — RESISTENCIA A FLEXIÓN — La resistencia a flexión de zonas de muros sometidos a momentos flectores con respecto al eje vertical combinados con fuerzas axiales en tensión se calcula usando la siguiente expresión (véase la Figura 8.6.1-1):

$$M_{nz} = 0.30 A_{s3} f_s t_s \leq \psi_f \frac{b_z t^2}{6} \left( f_r + \frac{P_{ux}}{A_m} \right) \quad (8.6.1-1)$$

en donde  $A_{s3}$  es el área en  $\text{mm}^2$  de los elementos de refuerzo para flexión con respecto al eje vertical del muro,  $f_s$  es la resistencia última a tracción en MPa de los elementos de refuerzo,  $t_s$  corresponde a la separación en mm entre los elementos de refuerzo horizontal,  $b_z$  se puede tomar igual a 1000 mm,  $f_r$  corresponde a los valores presentados en la Tabla 6-1 y  $P_u$  es la fuerza axial en N;  $P_u$  debe tomarse como positiva para compresión y cero para tracción. La ecuación 8.6.1-1 no considera el aporte en resistencia proporcionado por posibles tensores horizontales. La resistencia a compresión está dada por ecuación 6.5.1-2. Si el sistema de reforzamiento está conformado por mallas de acero o sintéticas, el área  $A_{s3}$  se puede tomar igual al área de mallas presente en una cara del muro dentro de una distancia igual a  $b_z$  y  $t_s$  se puede tomar igual a  $t$ . La Figura 8.6.1-1 presenta algunos de los parámetros usados en la ecuación 8.6.1-1.

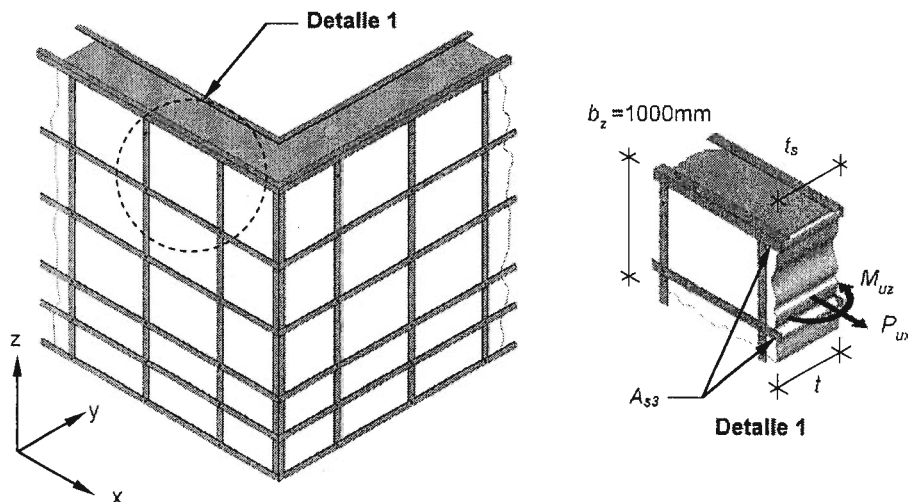


Figura 8.6.1-1. Flexión con respecto al eje vertical combinada con fuerza axial horizontal



**8.6.2 — RESISTENCIA A COMPRESIÓN HORIZONTAL** — La resistencia a compresión horizontal de muros o machones sometidos a momentos flectores con respecto al eje vertical combinados con fuerzas axiales horizontales en compresión se calcula usando la ecuación 6.6.2-1.

### **8.7 — RESISTENCIA DE ELEMENTOS DIFERENTES A MUROS Y MACHONES**

El aumento de rigidez y resistencia obtenidos como resultado del reforzamiento de cubiertas, diafragmas, conexiones y sistema de cimentación se debe calcular utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales y los métodos constructivos utilizados.



## **CAPÍTULO 9**

### **REPARACIÓN PREVIA AL REFORZAMIENTO**

Este Capítulo establece los lineamientos para llevar a cabo la reparación y restauración de la edificación con el fin de llevarla a un estado aceptable en términos de integridad y estabilidad, previo al reforzamiento. Así, el procedimiento descrito en este Capítulo es necesario antes de la intervención estructural cuando el estado de deterioro de la estructura sea significativo.

#### **9.1 — EVALUACIÓN DE DAÑOS**

Con el propósito de establecer el alcance de la reparación y/o restauración que se debe realizar como actividad previa a la implementación del reforzamiento estructural es necesario realizar un registro detallado de daños que puedan afectar el correcto comportamiento estructural del BIC. Dentro de estos se cuentan: humedades, presencia de agentes biológicos y animales, asentamientos y deformaciones, fisuras y grietas, desplomes y desniveles, desvinculación de piezas, pérdida de material o colapso parcial de elementos.

**9.1.1 — HUMEDAD** — Cantidad excesiva de agua que impregna un cuerpo o elemento estructural, propiciando modificaciones físicas como roturas, alabeos o aplastamientos.

**9.1.2 — PRESENCIA DE AGENTES BIOLÓGICOS Y ANIMALES** — De acuerdo al piso térmico en el cual se encuentre el inmueble se deben identificar los insectos xilófagos, hongos, mohos, líquenes, musgos y agentes abióticos o animales que debiliten o dañen la estructura.

**9.1.3 — ASENTAMIENTOS O DEFORMACIONES** — Determinación de desniveles y asentamientos en muros o componentes que conforman el sistema estructural y que puedan generar fallas locales e inestabilidad.

**9.1.4 — FISURAS, GRIETAS Y FRACTURAS** — Entendidas como aquellas lesiones mecánicas que afectan los elementos estructurales. Éstas se clasifican como:

**9.1.4.1 — Fisuras** — Aberturas que en general tienen un ancho inferior al milímetro y que afectan sólo a la superficie del material.

**9.1.4.2 — Grietas** — Aberturas de más de un milímetro de ancho que afectan a todo el espesor del material o del elemento constructivo.

**9.1.4.3 — Fracturas** — Separación superior a dos centímetros que deja ver al otro lado e indican grave daño.

**9.1.5 — DESPLOMES, ALABEOS, PANDEOS Y DESNIVELES** — Identificación de los desplazamientos producidos por empujes horizontales que comprometen el adecuado funcionamiento de la estructura.

**9.1.6 — DESVINCULACIÓN DE PIEZAS** — Causada por la deficiencia de una adecuada conexión entre muros o continuidad de los mismos. Puede inducir inestabilidad de los elementos verticales ante cargas perpendiculares al plano.

**9.1.7 — PÉRDIDA DE MATERIAL** — Pérdida de la cohesión entre los componentes de un muro induciendo la pérdida de capacidad portante y disminución de la vida útil del BIC.

**9.1.8 — COLAPSO** — Falla generalizada de la estructura portante por alto grado de deterioro, ataque biológico o humedad.

**9.1.9 — PÉRDIDA DE LA CONEXIÓN DE LA CUBIERTA CON LOS MUROS** — Como la pérdida de apoyo de la estructura de cubierta sobre los muros por ausencia de elementos de anclaje.

#### **9.2 — ACTIVIDADES PREVIAS A LA REPARACIÓN**

De manera previa a la reparación y a la intervención se deben realizar las siguientes actividades:

**9.2.1 — APUNTALAMIENTOS** — Se procederá a sostener provisionalmente la construcción o terreno, de forma que no presente riesgos, transfiriendo en forma temporal las cargas a zonas seguras hasta concluir la intervención.

**9.2.2 — DEMOLICIÓN** — Se retirarán los elementos o secciones estructurales que tengan riesgo de colapso o que representen algún tipo de peligro para la seguridad de quienes las habitan, recuperando los elementos constructivos que así lo ameriten.

**9.2.3 — DESMONTE** — Entendida como la acción de desarmar y retirar los elementos que revisten un carácter valioso para la recuperación del BIC.

### **9.3 — REPARACIÓN PREVIA AL REFORZAMIENTO**

La reparación busca una reestructuración integral que permita obtener una integridad equivalente a la que tenía la edificación recién construida. Durante esta etapa se tratarán las diferentes partes de la edificación de acuerdo con los siguientes lineamientos.

#### **9.3.1 — CIMENTACIÓN**

**9.3.1.1 — Submuración, recalces o prótesis** — Entendidos como aquellos elementos que ayudan a reforzar una cimentación permitiendo la transmisión de carga de forma adecuada al suelo.

**9.3.1.2 — Consolidación de suelo** — Estabilización del suelo para obtener una superficie firme que evite las fallas por sobrepeso, excesiva resequedad, mal drenaje del terreno, tuberías defectuosas y fallas por disgregación.

#### **9.3.2 — PISOS Y/O ENTREPISOS**

**9.3.2.1 — Reparaciones** — Entendidas como aquellas acciones necesarias para garantizar un correcto funcionamiento de los elementos estructurales horizontales, reemplazando vigas, cabezales y elementos horizontales deteriorados.

**9.3.3 — MUROS** — En el caso en el que por deterioro o por sollicitaciones estructurales se requiera reemplazar por completo piezas de adobe, será necesario usar bloques estabilizados, fabricados de acuerdo con la Norma NTC 5324.

#### **9.3.4 — CUBIERTAS**

**9.3.4.1 — Rehabilitación de cubiertas** — Reconstrucción de cubierta utilizando elementos en buen estado con un adecuado arriostramiento para mejorar el comportamiento ante las cargas verticales y horizontales, que eliminen fallas por rajaduras, descomposición y torceduras.

**9.3.4.2 — Preservación** — Son aquellas acciones encaminadas al mantenimiento de la cubierta en buen estado; las cuales, incluyen limpieza de azoteas, bajantes y canales.

**9.3.4.3 — Reposición** — Instalación de faltantes necesarios para el buen funcionamiento de cubierta.

#### **9.3.5 — ACABADOS**

**9.3.5.1 — Rehabilitación de pañetes y revoques** — Recuperación de pañetes o acabados faltantes en la construcción producidos por agrietamiento o pérdida de superficie, fallas en el muro, fallas en el pañete o debido a causas biológicas.

**9.3.5.2 — Preservación** — Acciones encaminadas a revisar, limpiar, reponer y mantener de forma adecuada la superficie de acabado de una construcción en tierra.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS (2016). Informe final del Convenio 2454-15 celebrado entre el Ministerio de la Cultura y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Incluye fase experimental AIS – Universidad de los Andes, ensayos experimentales para caracterizar el comportamiento sísmico de elementos estructurales en adobe y tapia pisada con reforzamiento sísmico.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS (2016). Informe final del Contrato No. 270 de 2014, celebrado entre el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Incluye fase experimental AIS – Universidad de los Andes, ensayos experimentales para caracterizar el comportamiento sísmico de elementos estructurales en adobe y tapia pisada con reforzamiento sísmico.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS (2002). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.
- II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos – (1964). Carta de Venecia – Denominada también Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos y Sitios. Venecia, Italia, 1964. [http://ipce.mcu.espdfs/1964\\_Carta\\_Venecia.pdf](http://ipce.mcu.espdfs/1964_Carta_Venecia.pdf)
- Presidencia de la República de Colombia - (2002). Decreto 52 de 2002. Modificaciones al Capítulo E.7 - Bahareque encementado.
- Ministerio de Cultura de Colombia (1999). Decreto 1126 de 1999. Orientación del ejercicio de las funciones que competen a sus entidades adscritas y vinculadas al Ministerio de Cultura.
- Ministerio de Cultura de Colombia (2015). Decreto 1080 de 2015. Único Reglamentario del Sector Cultura.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015). Decreto 1077 de 2015. Decreto único reglamentario del sector de vivienda, ciudad y territorio (compilatorio entre otros del Decreto 1469 de 2010 y sus modificaciones: en especial el Decreto 1197 de 2016).
- Ministerio de Cultura de Colombia (2015). Decreto 1080 de 2015. Decreto único reglamentario del sector Cultura.
- Ley General de Cultura 397 de 1997 modificada y adicionada por la Ley 1185 de 2008.
- ICOMOS (2011). Principios de documentación del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, ICOMOS, Paris, 2011. Véase el texto traducido en Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, segunda serie, N° 111, 1ª coedición, 2015, realizada en conjunto con ICOMOS Chile: [http://www.monumentos.cl/consejo/606/articles-55372\\_doc\\_pdf](http://www.monumentos.cl/consejo/606/articles-55372_doc_pdf)
- PROTERRA. Red Iberoamericana de Arquitectura y Construcción con Tierra. Glosario internacional sobre terminología en técnicas de construcción en tierra cruda.
- Ministerio de Cultura de Colombia (2010). Resolución 0983 de 2010. Lineamientos técnicos y administrativos con el propósito de apoyar la ejecución de la Ley 1185 de 2008 y del decreto 763 de 2009, en lo que corresponde al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material.
- REYES, J.C., YAMÍN, L.E., HASSAN, W.M., SANDOVAL, J.D., GONZÁLEZ, C.D. and GALVIS, F.A. (2018) – Shear behavior of adobe and rammed earth walls of heritage structures. Eng. Struct. 174: 526-537. doi:10.1016/j.engstruct.2018.07.061.
- ROJAS, H. (2016) – La madera en las construcciones con tierra: Adobe y tapia.
- RUIZ, D., LOPEZ, C. y RIVERA, J.C. (2012) - Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. Revista Apuntes N° 25-2, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2012.
- Standards New Zealand (1998). NZS 4297 - Engineering Design of Earth Buildings.

- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (2016). Contrato UA-0110-15. Consultoría para el diseño, ejecución e interpretación de ensayos experimentales para caracterizar el comportamiento sísmico de elementos estructurales de adobe y tapia pisada con reforzamiento sísmico.

**REFERENCIAS DE FOTOGRAFÍAS – Tabla 6.8.8-1**

- Fotografía No. 1 – Terremoto de Chile. 2010.  
<http://terremoto-tsunami-2010.blogspot.com.co/2010/03/el-terremoto-de-88-grados-en-chanco.html>.
- Fotografía No. 2 - Terremoto de Coquimbo, Chile, 2015.  
<http://www.biobiochile.cl/noticias/2015/09/22/mas-de-500-replicas-se-han-sentido-desde-el-terremoto-en-la-region-de-coquimbo.shtml>
- Fotografía No. 3 - Ensayo muro de adobe. Escala real – Universidad de los Andes (2016).
- Fotografía No. 4 - Terremoto San Baltazar, Oaxaca México, 2012.  
<http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/837028.html>
- Fotografía No. 5 - Terremoto Valle Central de Catamarca, Argentina, 2004.  
<http://contenidos.inpres.gov.ar/terremotos/2004-Da%C3%B1o%20casa%20adobe>
- Fotografía No. 6 - Terremoto de Chile, 2010.  
<http://mapio.net/s/26433759/>
- Fotografía No. 7 - Terremoto de Chile, 2010.  
<http://www.puroperiodismo.cl/?p=9190>

## **APÉNDICE A-1**

### **NIVELES DE PROTECCIÓN Y TIPOS DE INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS PATRIMONIALES**

Los niveles de intervención son las pautas o criterios relacionados con la conservación de los valores del inmueble y su zona de influencia. Los niveles de intervención, sin perjuicio de la facultad del Ministerio de Cultura para reglamentar por vía general otros niveles de intervención para BIC del ámbito nacional y territorial, son:

#### **A-1.1 — 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 intervención 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; como se definen en el Decreto 1080 de 2015, art. 2.4.1.1.7.

#### **A-1.2 — 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 intervención 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. (Decreto 1080 de 2015, art. 2.4.1.1.7).

#### **A-1.3 — NIVEL 3. CONSERVACIÓN CONTEXTUAL**

Se aplica a inmuebles ubicados en un Sector Urbano, los cuales, aun 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 1080 de 2015, art. 2.4.1.1.7).



## **A-1.4 — TIPOS DE ACCIONES E INTERVENCIONES PARA BIENES DE INTERÉS CULTURAL, BIC, MUEBLES**

Las diferentes acciones o intervenciones que se pueden efectuar en BIC muebles, de acuerdo con el nivel de conservación integral y previa autorización de la autoridad competente, son las siguientes:

**A-1.4.1 — CONSERVACIÓN PREVENTIVA** — Se refiere a estrategias y medidas de orden técnico y administrativo dirigidas a evitar o minimizar el deterioro de los bienes y, en lo posible, las intervenciones directas. Comprende actividades tales como almacenamiento, manipulación, embalaje, transporte, control de condiciones ambientales, planificación de emergencias, capacitación del personal y sensibilización del público. (Decreto 1080 de 2015, art. 2.4.1.4.5)

**A-1.4.2 — CONSERVACIÓN – RESTAURACIÓN** — Acciones directas sobre los bienes, orientadas a asegurar su preservación a través de la estabilización de la materia. Se realizan a partir de la formulación del proyecto de restauración. Incluye acciones urgentes en bienes cuya integridad física y/o química se encuentra en peligro y/o riesgo inminente, como resultado de los daños producidos por agentes naturales o la acción humana, acciones provisionales de protección para detener o prevenir daños mayores, así como acciones periódicas y planificadas dirigidas a mantener los bienes en condiciones óptimas.

Dentro de las acciones se encuentran: Limpieza superficial, limpieza profunda, desinfección, desinsectación, desalinización, desacidificación, recuperación de plano, refuerzos estructurales, unión de rasgaduras o de fragmentos, consolidación, fijado, injertos, restitución de partes y/o faltantes, remoción de material biológico, remoción de intervenciones anteriores y/o de materiales agregados, resanes y reintegración cromática, entre otros. (Decreto 1080 de 2015, art. 2.4.1.4.5)

## **APÉNDICE A-2**

### **TIPOS DE OBRAS PERMITIDAS**

Las obras permitidas dentro de los Bienes Inmuebles de Interés Cultural, con base en el Decreto 1077 de 2015, Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, previa autorización de la autoridad competente, son:

#### **A-2.1 — OBRA NUEVA**

Es la autorización para adelantar obras de edificación en terrenos no construidos o cuya área esté libre por autorización de demolición total. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

#### **A-2.2 — AMPLIACIÓN**

Es la autorización para incrementar el 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. La edificación que incremente el área construida podrá aprobarse adosada o aislada de la construcción existente, pero en todo caso, la sumatoria de ambas debe circunscribirse al potencial de construcción permitido para el predio o predios objeto de la licencia según lo definido en las normas urbanísticas. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

#### **A-2.3 — ADECUACIÓN**

Es la autorización para cambiar el uso de una edificación o parte de ella, garantizando a permanencia total o parcial del inmueble original. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

#### **A-2.4 — MODIFICACIÓN**

Es la autorización para variar el diseño arquitectónico o estructural de una edificación existente, sin incrementar su área construida. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

#### **A-2.5 — RESTAURACIÓN**

Es la autorización para adelantar las 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. Esta modalidad de licencia incluirá las liberaciones o demoliciones parciales de agregados de los bienes de interés cultural aprobadas por parte de la autoridad competente en los anteproyectos que autoricen su intervención. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

#### **A-2.6 — REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL**

Es la autorización para intervenir o reforzar 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 Ley 400 de 1997, sus decretos reglamentarios, o las normas que los adicionen, modifiquen o sustituyan y el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente y la norma que lo adicione, modifique o sustituya. Esta modalidad de licencia se podrá otorgar sin perjuicio del posterior cumplimiento de las normas urbanísticas vigentes, actos de legalización y/o el reconocimiento de edificaciones construidas sin licencia, siempre y cuando en este último caso la edificación se haya concluido como mínimo cinco (5) años antes de la solicitud de reforzamiento y no se encuentre en ninguna de las situaciones previstas en el artículo 65 del presente decreto. Cuando se tramite sin incluir ninguna otra modalidad de licencia, su expedición no implicará aprobación de usos ni autorización para ejecutar obras diferentes a las del reforzamiento estructural. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

#### **A-2.7 — DEMOLICIÓN**

Es la autorización para derribar total o parcialmente una o varias edificaciones existentes en uno o varios predios y deberá concederse de manera simultánea con cualquiera otra modalidad de licencia de construcción. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)



No se requerirá esta modalidad de licencia cuando se trate de programas o proyectos de renovación urbana, del cumplimiento de orden judicial o administrativa, o de la ejecución de obras de infraestructura vial o de servicios públicos domiciliarios que se encuentren contemplados en el Plan de Ordenamiento Territorial o en los instrumentos que lo desarrollen y complementen.

Tratándose de predios ubicados en área de influencia de un Sector Urbano declarado Bien Inmueble de Interés Cultural, esta modalidad se deberá otorgar con la modalidad de cerramiento. Las demás modalidades de licencia de construcción solo se podrán expedir cuando se aporte el anteproyecto de intervención aprobado por la autoridad competente.

### **A-2.8 — RECONSTRUCCIÓN**

Es la autorización que se otorga para volver a construir edificaciones que contaban con licencia o con acto de reconocimiento y que fueron afectadas por la ocurrencia de algún siniestro. Esta modalidad de licencia se limitará a autorizar la reconstrucción de la edificación en las mismas condiciones aprobadas por la licencia original, los actos de reconocimiento y sus modificaciones. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7)

### **A-2.9 — CERRAMIENTO**

Es la autorización para encerrar de manera permanente un predio de propiedad privada. (Decreto 1077 de 2015, Art.2.2.6.1.1.7).