swisscontact

1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y ASPECTOS GENERALES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS VIVIENDAS POPULARES EN SECTORES VULNERABLES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Informe | Ing. Sergio G Valbuena Porras – Ing Milton Mena Serna

PROYECTO: PROMOCIÓN DE PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN SECTORES URBANOS VULNERABLES

Caracterización del sistema constructivo y aspectos generales de la construcción de las viviendas populares en sectores vulnerables de la ciudad de Bogotá según la información base actual de las entidades de Distrito Capital

INFORME

Bogotá D.C. diciembre de 2011

1 Contenido

2 Introducción 10
3 Descripción de las bases de datos utilizadas 11
3.1 Entidad: Universidad Distrital 11
3.2 Entidad: FOPAE 12
3.3 Entidad: Ingeniería y Proyectos de Infraestructura 13
3.4 Entidad: Departamento Administrativo de Planeación Distrital 13
3.5 Entidad: Fondo Local de Ciudad Bolívar 13
3.6 Consolidación General 14
4 Caracterización de la Vivienda en sectores Vulnerables en la Ciudad de Bogotá 15
4.1 Características de los Materiales en la vivienda 15
4.1.1 Mampuestos 15
4.1.2 Acero de refuerzo 16
4.1.3 Concretos 17
4.1.4 Morteros 19
4.2 Características de la Cimentación 19
4.2.1 Profundidad 20
4.2.2 Tipología 20
4.2.3 Estructuras de contención 20
4.3 Características Estructurales 23
4.3.1 Sistema estructural 24
4.3.2 Irregularidades 26
4.3.3 Columnas 28
4.3.4 Vigas 29
4.3.5 Muros o Mampostería 29
4.3.6 Escaleras 32
4.4 Cubiertas y Placas de entrepiso 33
4.4.1 Cubierta liviana 34
4.4.2 Placa de entrepiso 36

5 Vivienda tipo en los sectores vulnerables de la ciudad y normatividad técnica aplicable 38

6 Buenas prácticas constructivas 41

6.1 Objetivo General 41

6.2 Objetivo Específicos 41

6.3 Descripción de la fuente de información utilizada, para establecer las buenas prácticas constructivas, en vivienda informal. 41

6.4 Para la cimentación y sistema de contención de la vivienda, lo típico es: 41

6.5 Para las instalaciones hidráulicas, eléctricas, sanitarias y de gas, lo típico es: 42

6.6 Para la mampostería, lo típico es: 43

6.7 Para la estructura de carga (columnas y vigas), lo típico es: 47

6.8 Para las escaleras, lo típico es: 49

6.9 Para las cubiertas, lo típico es: 50

7 Alternativas de reforzamiento estructural de viviendas populares ante eventos sísmicos 53

7.1 Objetivo General 53

7.2 Objetivos Específicos 53

7.3 Modo de fallo de los muros de mampostería cerámicos no reforzados inducidos por cargas laterales ó movimientos sísmicos 53

7.3.1 Componentes estructurales y no estructurales típicos que conforman las viviendas populares de la ciudad de Bogotá 53

7.3.2 Aspectos que hacen sismo resistente a una vivienda 56

7.3.3 Alternativas de reforzamiento de estructuras 58

7.4 Detalles sobre las alternativas de reforzamiento y procedimiento constructivo . 60

7.4.1 Caso 1. Diagonales en acero para los pórticos: 60

7.4.2 Caso 2 y 3. Recrecido de sección de vigas y columnas 62

7.4.3 Caso 4. Mampostería reforzada externamente con fibras de vidrio ó carbono: 64

7.4.4 Caso 5. Mampostería externamente reforzada con malla de acero y pañete: 65

7.4.5 Caso 6. Mampostería reforzada malla de polipropileno: 67

7.4.6 Caso 7. Mampostería reforzada con bambú (aplicado en adobe) el bambú puede ir interno y externo: 71

7.4.7 Caso 8. Reforzamiento postensado con neumáticos de goma, platinas de acero y tornillos: 72

7.4.8 Caso 9. Adición de pórtico nuevo (viga - columnas) 73

7.4.9 Caso 10. Mampostería externamente reforzada con marco de madera: 74

7.4.10 Caso 11. Mampostería reforzada con inyección de lechada: 76

7.4.11 Caso 12. Mampostería reforzada con contrafuertes: 77

7.4.12 Caso 13. Mampostería reforzada con PET: 78

8 Criterios generales para seleccionar el método de reforzamiento apropiado a la necesidad de refuerzo que demande la vivienda según la vulnerabilidad estructural 80

9 Recomendaciones para la actualización y complementación en la Norma de Competencia Laboral del SENA 84

9.1 Recomendaciones en el sistema estructural 84

9.2 Voladizos 84

9.3 Ménsulas 84

9.4 Estructuras de contención 84

9.5 Errores en los muros 84

9.6 Errores de la colocación del refuerzo 84

9.7 Recomendaciones en placas y cubiertas 84

10 BIBLIOGRÁFIA 92

Lista de Figuras

Figura 1. Distribución geográfica registros finales 14

Figura 2. Número de pisos de la vivienda 15

Figura 3. Tipos de mampuestos utilizados en la vivienda 16

Figura 4. Tipos de acero en los elementos estructurales 17

Figura 5. Distribución de la resistencia del concreto 18

Figura 6. Resultados de la carbonatación en los elementos estructurales 19

Figura 7. Tipo de cimentación sin considerar estructuras de nivelación (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 20

Figura 8. Tipo de cimentación en viviendas incluyendo la nivelación (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 21

Figura 9. Presentación de elementos en el sistema estructural en la vivienda (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 25

Figura 10. Irregularidades presentadas en la vivienda (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 27

Figura 11. Tipo de mampuesto de las viviendas (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 29

Figura 12. Materiales de las escaleras (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 32

Figura 13. Tipo de cubierta en las viviendas (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 34

Figura 14. Factores de vulnerabilidad de las cubiertas (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 35

Figura 15. Tipos de placa encontrada (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB) 36

Figura 16. Componentes estructurales y no estructurales típicos que conforman una vivienda popular en la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia (algunas fotos son tomadas de la pagina web del FOPAE). 54

Figura 17. Fuerzas que actúan en los diferentes componentes no estructurales típicos que conforman una vivienda popular en la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia 54

Figura 18. Daño típico en el muro por excesiva flexión, fuerzas fuera del plano 55

Figura 19. Daño típico en un muro no estructural por Corte en X y deslizamiento del muro en la base. Fuente: Artículo sobre Terremoto predicción de respuesta. Zengyan Hiroyuki Watanabe. Canadá, Agosto 2004 55

Figura 20. Aspectos de simplicidad criterio básico de sismo resistencia, se observan los tipos de formas irreguales Fuente: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). 56

Figura 21. Aspectos de simetría estructural, criterio básico de sismo resistencia. Fuente: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). 56

Figura 22. Aspectos de continuidad estructural, criterio básico de sismo resistencia. Fuente: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). 57

Figura 23. Aspectos de continuidad estructural en la cimentación, criterio básico de sismo resistencia. Fuente: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). 57

Figura 24. Aspectos de uniformidad de materiales y buena calidad, criterio básico de sismo resistencia. Fuente: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). 58

Figura 25. Aspectos de uniformidad de materiales y buena calidad, criterio básico de sismo resistencia. Fuente: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). 58

Figura 26. Esquema básico de refuerzo con marcos metálicos en X y K. Fuente: EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América). 61

Figura 27. Esquema básico de refuerzo con marcos metálicos con el tipo de conexión directa e indirecta. La conexión indirecta permite el libre movimiento del marco, para disipar energía sísmica. Fuente: EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América). 61

Figura 28. Representación real del reforzamiento de un edificio con marcos metálicos en K (Japón). Fuente: EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América). Página 55. 62

Figura 29. Esquema básico de solución utilizando el método refuerzo estructural con recrecido de viga ó columna Fuente: Libros de Rehabilitación y mantenimiento de estructuras en concreto, Paulo Helene, Brasil. 63

Figura 30. Detalles constructivos de la solución utilizado en el método refuerzo con recrecido de viga ó columna. Fuente: Libros de Rehabilitación y mantenimiento de estructuras en concreto, Paulo Helene, Brasil 64

Figura 31. Ensayos realizados en la universidad de los Andes sobre reforzamiento con fibras de vidrio en muros de mampostería. Fuente: Universidad de los Andes 65

Figura 32. Detalles constructivos de la alternativa de solución propuesta reforzamiento con fibras de vidrio en muros de mampostería. Fuente: Cartilla publicada por Sika y la universidad de los Andes 65

Figura 33. Detalles constructivos de la alternativa de solución propuesta reforzamiento con malla electrosoldada y pañete Fuente: www.ingenieria.udea.edu.co 66

Figura 34. Detalles constructivos de la alternativa de solución propuesta reforzamiento con malla electrosoldada y pañete. Fuente: elaboración propia..... 67

Figura 35. Ensayos realizados a muretes de ladrillo con refuerzo de polipropileno y sin refuerzo. Se observa la gran cantidad de deformación medidas en (mm) que se gana cuando se suministra la malla de polipropileno al murete. Fuente: Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag (Sepal)..... 67

Figura 36. Ensayos realizados a muretes de ladrillo como alternativa de solución con malla polipropileno sin pañete. De otra parte, la gráfica permite observar la orientación de la malla y su influencia en la falla del murete. Fuente: Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag 68

Figura 37. Reforzamiento real de muros con malla polipropileno sin pañete, en comunidades de Nepal. Fuente: Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag..... 68

Figura 38. Distribución en planta de la ubicación de varios muros reforzados con malla polipropileno con ó sin pañete. Fuente: Ver pie de página. 69

Figura 39. Esquema general del proceso constructivo del reforzamiento de muros con malla polipropileno con y sin pañete. Fuente: Ver pie de página..... 69

Figura 40. Resultados del ensayo a cortante de los muros reforzados con malla polipropileno con pañete. Se observa que los mampuestos siguen en el lugar sin desprendimiento, aunque el muro falla en diagonal por corte excesivo. Fuente: Ver pie de página 69

Figura 41. Resultados del ensayo a cortante de los muros sin reforzamiento de malla polipropileno. Se observa la falla del muro en diagonal por corte excesivo y la posibilidad de presentarse desprendimiento de mampuestos. Fuente: Ver pie de página 70

Figura 42. Tipos de malla utilizada en el reforzamiento de muros de mampostería cerámica los cuales evitan el desprendimiento de mampuestos. Fuente: Tesis Doctoral. Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Daniel Albeiro Bedoya Ruiz. España. Septiembre de 2005. 70

Figura 43. Reforzamiento real de muros de adobe con bambú en comunidades de Perú. Fuente: Seismic protection of earthen buildings. 71

Figura 44. Reforzamiento externo con bambú de muros de adobe en comunidades de Perú. Año 2005. Fuente: A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures. 72

Figura 45. Detalles de la construcción del postensionado con bandas de neumático. Fuente: A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures. Andrew Smith & Thomas Redman. January 2009 73

Figura 46. Esquema general de los diferentes tipos de adición de elementos a un pórtico. Fuente: Paulo Helene y Fernanda Pereira 74

Figura 47. Ensayos de reforzamiento de muros cerámicos con listones de madera. Fuente: Universidad Javeriana, Colombia, año 2007. 75

Figura 48. Detalles sobre el proceso de instalación del anclaje para realizar el reforzamiento de muros cerámicos con listones de madera realizados en la universidad Javeriana Fuente: Universidad Javeriana, Colombia, año 2007 75

Figura 49. Esquema general de la aplicación de la lechada a una losa ó muro. Fuente: Articulo, una revisión crítica de los métodos de reforzamiento de estructuras de mampostería sin refuerzo 76

Figura 50. Esquema general de la aplicación de la lechada a una losa ó muro Fuente: Paulo Helene y Fernanda Pereira. 77

Figura 51. Esquema general de la construcción de un contrafuerte. Fuente: Recomendaciones simples y económicas de reforzamiento sísmico para estructuras típicas de América central. Noruega. Agosto 2009. 78

Figura 52. Esquema general del murete reforzado con PET. Fuente: Mauricio Serrano Torres, Universidad de los Andes. 2004. 79

Lista de Registros Fotográficos

Registro Fotográfico 1. Estructuras de contención o nivelación 22

Registro Fotográfico 2. Inconsistencias en el sistema estructural (Fuente: el mismo autor) 25

Registro Fotográfico 3. Ejemplo de ménsulas en viviendas (Fuente: el mismo autor) 27

Registro Fotográfico 4. Ejemplo de error por falta de apoyo en ménsulas (Fuente: el mismo autor) 27

Registro Fotográfico 5. Ejemplos de columnas en viviendas (Fuente: el mismo autor) 28

Registro Fotográfico 6. Ejemplos de tipos de unidades de mampostería utilizadas (Fuente: el mismo autor) 31

Registro Fotográfico 7. Ejemplos de la variabilidad en la mampostería (Fuente: el mismo autor) 31

Registro Fotográfico 8. Ejemplos de fallas en los amarres de los muros (Fuente: el mismo autor) 32

Registro Fotográfico 9. Ejemplos de tipos de escalera (Fuente: el mismo autor) 33

Registro Fotográfico 10. Ejemplos de cubierta liviana (Fuente: el mismo autor) 36

Registro Fotográfico 11. Ejemplo de Placas macizas (Fuente: el mismo autor) 37

Registro Fotográfico 12. Muros y columnas sin viga de confinamiento en la base 42

Registro Fotográfico 13. Sistema de contención sin confinamiento adecuado 42

Registro Fotográfico 14. Trazado inadecuado de instalaciones eléctricas, sanitarias y gas 43

Registro Fotográfico 15. Tuberías sanitarias embebidas en una zona inadecuada (interior de las columnas) 43

Registro Fotográfico 16. Muros divisorios y de fachada sin amarres 44

Registro Fotográfico 17. Vanos de ventanas y puertas sin refuerzo 44

Registro Fotográfico 18. Combinación inadecuada de mampuestos y materiales 45

Registro Fotográfico 19. Excesiva abertura en muros. 45

Registro Fotográfico 20. Fachada con mampuestos sin amarres 46

Registro Fotográfico 21. Fachada con muros de mampostería esbeltos 46

Registro Fotográfico 22. Muros de mampostería y zonas húmedas sin acabados adecuados 47

Registro Fotográfico 23. Muros de mampostería y zonas húmedas con acabados inadecuados 47

Registro Fotográfico 24. Pórticos incompletos 48

Registro Fotográfico 25. Concretos porosos 48

Registro Fotográfico 26. Columnas con refuerzo distribuido de forma inadecuada 48

Registro Fotográfico 27. Pórticos improvisados 49

Registro Fotográfico 28. Escaleras soportadas en muros de mampostería 49

Registro Fotográfico 29. Pasos de las escaleras construidas en materiales cerámicos 50

Registro Fotográfico 30. Soporte inadecuada de las cubiertas 50

Registro Fotográfico 31. Adición de masa en las cubiertas 51

Registro Fotográfico 32. Soporte de cubiertas con anclajes inadecuados..... 51

Registro Fotográfico 33. Soporte de cubiertas con anclajes inadecuados..... 51

Registro Fotográfico 34. Voladizo soportado con pie de amigo, debido a la falta de refuerzo en la parte superior de la losa. 52

Lista de Tablas

Tabla 1. Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada 16

Tabla 2. Características de cimentación evaluadas por metodología (Fuente: el mismo autor) 19

Tabla 3. Características de la estructura evaluada por las metodologías (Fuente: el mismo autor) 23

Tabla 4. Características de la estructura evaluada por las metodologías (Fuente: el mismo autor) 33

Tabla 5. Características de la vivienda tipo 38

Tabla 6. Análisis de la normatividad técnica aplicable 39

Tabla 7. Métodos de reforzamiento de viviendas populares. Fuente: Elaboración propia. Esta Tabla es el resultado de la revisión bibliográfica realizada durante la consultoría. 59

Tabla 8. Cuatro (4) variables, extraídas de métodos de reforzamiento de vivienda popular hallados en la revisión bibliográfica. Fuente: Adaptación realizada por los consultores del presente trabajo, del libro de Paulo Helene. Ver referencia completa según pie de página3. 60

Tabla 9. Reforzamiento en Cimientos 81

Tabla 10. Reforzamiento en muros 82

Tabla 11. Reforzamiento en Pórticos 83

2 Introducción

En la siguiente caracterización de la vivienda informal se puede considerar que el 60% de las viviendas informales en la ciudad corresponden a viviendas de uno y dos pisos construidas principalmente en bloque de perforación horizontal conformado un sistema estructural que se asemeja a la mampostería confinada.

Se encontró una deficiencia en la calidad del concreto elaborado en situ, dado que los agregados con los que se cuenta tienen una proporción de arena mas alta de lo deseado demandando mayor contenido de cemento y como consecuencia, una cantidad adicional de agua de amasado, esto justifica que en el 57% de los casos evaluados la resistencia es menor de 210Kg/cm2 y casi exclusivamente las placas superan con facilidad estos valores justificados principalmente por el uso extendido de los fundiplacas.

Uno de los aspectos adicionales encontrados en los elementos de concreto son los altos índices de carbonatación lo que perjudica los refuerzos de estos elementos que en muchas ocasiones tienen poco o nada de recubrimiento a la intemperie lo cual incrementado con un deficiente confinamiento en las zonas cerca a los nudos, aumenta la vulnerabilidad sísmica de las viviendas.

Una cimentación superficial (no mayor de 1,5m) es predominante en las viviendas informales, evidenciando en un 78% de los casos el uso de zapatas aisladas debajo de algunos elementos verticales (columnas o columnetas), sin embargo consideramos que el aspecto mas importante adicional a los tratados en los estudios son las estructuras de nivelación de las condiciones de ladera de las viviendas, las cuales se consideran de contención en casi todos los casos y en muchos de estos no podrán tener ese uso por su poca o ninguna posibilidad de soportar cargas horizontales.

Aun cuando el sistema estructural al cual mas se aproximan estas viviendas es la mampostería confinada, la falta de continuidad de elementos estructurales en los diferentes niveles es usual, sin importar que se vinculen físicamente los diversos pisos o incluso espacios de la vivienda.

Se puede observar que los voladizos en las viviendas en una forma de ganar espacio presentándose en un 20% de las viviendas pero genera uno de los mayores inconvenientes, dada la errónea disposición de los refuerzos los voladizos fallan en el apoyo y necesitan de ménsulas que apoyen esta deficiencia la cual en muchas ocasiones no se encuentran bien armadas.

Se podrán evidenciar características constructivas en la mampostería, escaleras y de los sistemas de cubiertas en las viviendas, todo con el fin que sirva como insumo y cambio para los currículos establecidos por el SENA a sus futuros maestros.

3 Descripción de las bases de datos utilizadas

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron varias bases de datos recogidas de los esfuerzos de diversas entidades del distrito capital orientadas principalmente al reconocimiento de las condiciones de las viviendas y la identificación de sus falencias estructurales o de habitabilidad.

3.1 Entidad: Universidad Distrital

La Universidad Distrital ha desarrollado una serie de estudios en los cuales se ha recopilado información sobre algunas viviendas en diversos sectores de la ciudad, para nuestro caso se utilizaron las bases de datos de descripción de las viviendas del Convenio No 006 de 2008 suscrito con Secretaria Distrital del Hábitat en la cual se recogen 80 registros de evaluaciones de vulnerabilidad de predios, la distribución geográfica de estos se puede observar en la ilustración 1. La información que se recoge de este proyecto corresponde a inspecciones de campo y la evaluación del formato de vulnerabilidad desarrollado por la Asociación de Ingenieros Sísmicos (AIS).

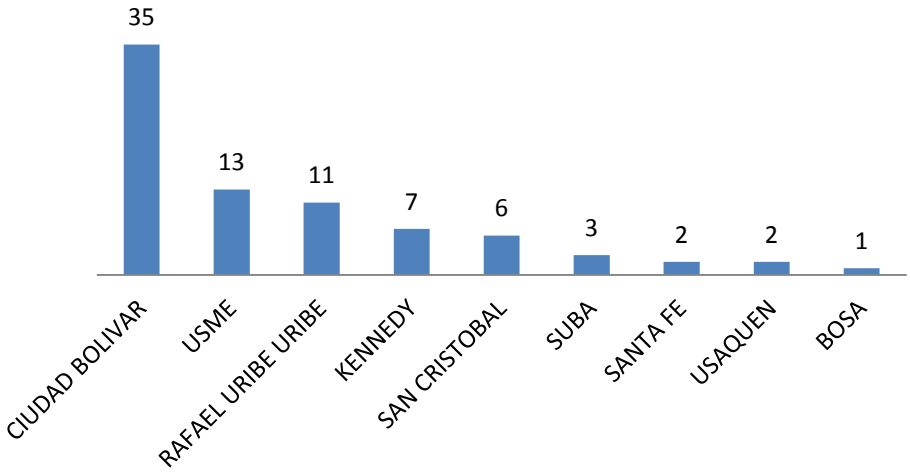


Ilustración 1. Distribución geográfica registros Convenio No006 de 2008

Del Convenio No 009 de 2007 suscrito con el Fondo de Desarrollo Local de Usme se evaluaron 137 predios el esa localidad, en la cual se inspecciono la vivienda para definir las condiciones actuales y lograr tener información puntual sobre las características constructivas de las viviendas, en la ilustración 2 se identifica las UPZ en la localidad de Usme que en las que se obtuvo la información.

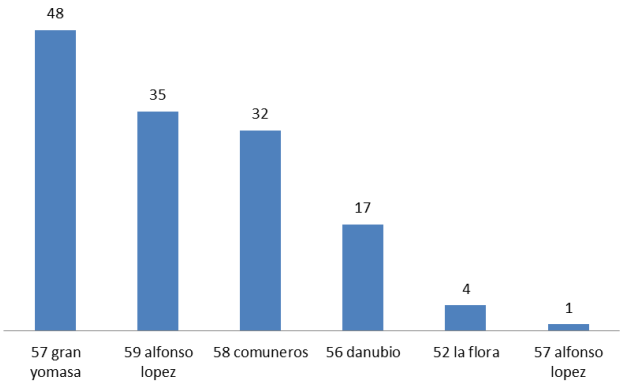


Ilustración 2. Distribución geográfica registros Convenio No009 de 2007

A su vez, del Convenio No 174 de 2007 suscrito con la Caja de la Vivienda Popular se evaluaron 185 predios en las mismas condiciones que el convenio anterior cuyo fin era generar estudios para desarrollar licencias de construcción, a diferencia del Convenio No 009 este convenio se desarrolló en toda la ciudad su distribución geográfica se puede observar en la ilustración 3.

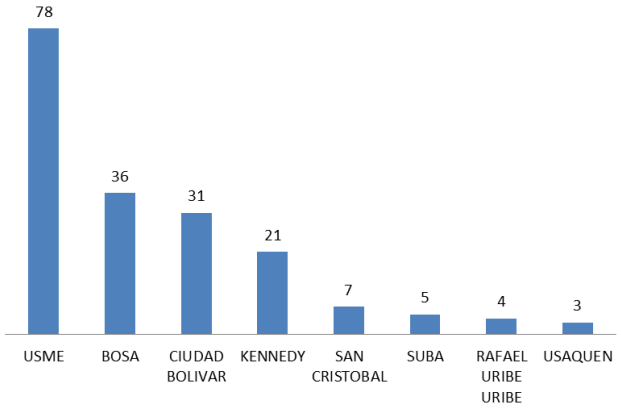


Ilustración 3. Distribución geográfica registros Convenio No174 de 2007

3.2 Entidad: FOPAE

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE) por medio del contrato de consultoría No 795-2008 desarrollo un estudio para la identificación de patologías constructivas y definición de lineamientos para la reducción de la vulnerabilidad física en los escenarios de ladera y aluvial en la ciudad de Bogotá, en esta se estudiaron 60 predios, la distribución geográfica de estos se encuentra en la ilustración 4.

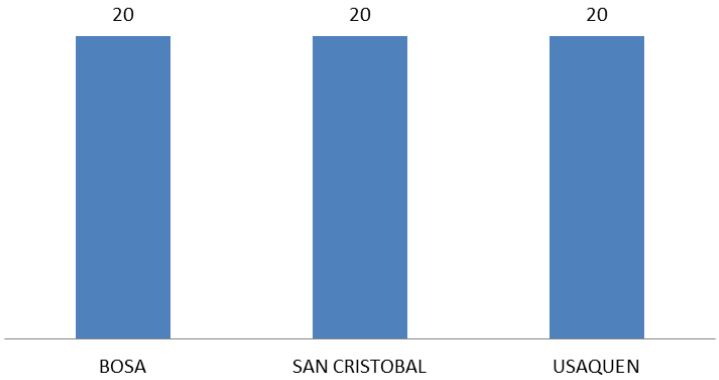


Ilustración 4. Distribución geográfica registros Consultoría 795 de 2008

3.3 Entidad: Ingeniería y Proyectos de Infraestructura

La empresa Ingeniería y Proyectos de Infraestructura desarrollo para la Caja de la Vivienda Popular un "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Construidas Informalmente en la Localidad de Ciudad Bolívar" en la cual se seleccionaron 85 viviendas en la Localidad de Ciudad Bolívar para el desarrollo del estudio.

Este proyecto identifico las características estructurales de cada vivienda y logro llegar a conclusiones de reforzamiento de fácil intervención sujeto a la norma.

3.4 Entidad: Departamento Administrativo de Planeación Distrital

En el año 2004 se desarrolló un estudio enmarcado en el Diseño del plan operativo e institucional para reconocer viviendas en UPZs tipo 1 del Programa de Mejoramiento Integral de Barrios, en el cual se evaluaba el CUMPLIMENTO DE LAS NORMAS EN VIVIENDAS CONSTRUIDAS EN BARRIOS LEGALIZADOS POR EL DAPD Y LOCALIZADOS EN UPZ TIPO 1.

En este estudio se evaluaron 382 viviendas en varias localidades de la ciudad con el fin de establecer el cumplimiento de la norma urbana, arquitectónica y estructural.

3.5 Entidad: Fondo Local de Ciudad Bolívar

El Fondo Local de Ciudad Bolívar desarrollo la evaluación de las condiciones de habitabilidad de 4500 viviendas de la localidad con esto se pretendía presentarlos ante la Secretaria Distrital del Hábitat con la aspiración de un subsidio de vivienda en condiciones de habitabilidad, para la inversión en Baños, Cocinas, Pisos y Cubiertas.

Aun cuando es significativa la cifra no representa una información clara para el tema estructural dado que su objetivo es evaluar las condiciones de saneamiento básico.

3.6 Consolidación General

Para la generación de la base de datos general, se establecieron una serie de variables generales con las que se podía describir las condiciones estructurales y constructivas de las viviendas y se integraron las bases de datos de aquellas consultorías o estudios que tenían parte de esta información.

Por lo cual los resultados de este proceso varían en la muestra para algunas de las preguntas realizadas aun cuando se trató de mantener la generalidad en las consideraciones evaluadas se reconoce un sesgo de la información, sin embargo consideramos que luego de los diversos estudios realizados y las conversaciones con las personas que trabajan este campo se puede reconocer un patrón en la estructura y en las consideraciones constructivas que las viviendas en sectores informales tienen, lo que se pretende en esa consultoría con base en lo ya documentado, reconocer estos patrones y concluir sobre la capacitación prioritaria a maestros de obra en el reconocimiento de las fallas y el cómo solucionarlas, en la figura se observa la distribución geográfica final de los predios involucrados (total 462).

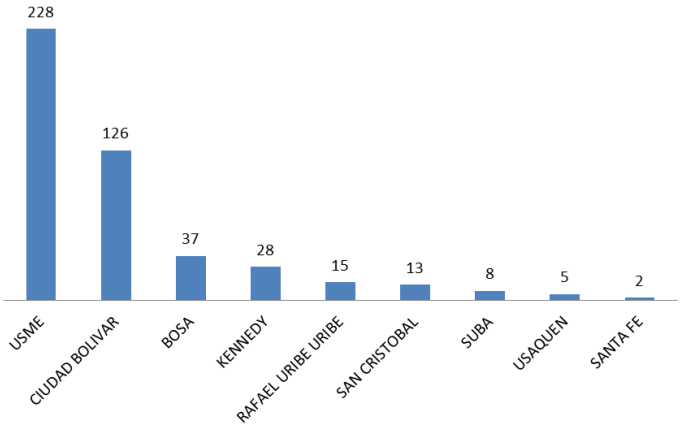


Figura 1. Distribución geográfica registros finales

4 Caracterización de la Vivienda en sectores Vulnerables en la Ciudad de Bogotá

Los resultados aquí consignados son productos de la estandarización de las bases de datos anteriormente mencionadas y las conclusiones que de ellas se puede extraer buscando lineamiento comunes que identifiquen cuales son las diferentes características de la vivienda en sectores vulnerables de la Ciudad.

Como aspecto general se puede considerar que la vivienda tipo en zonas vulnerables de la ciudad es de dos pisos principalmente y más del 60% de las viviendas se constituye en viviendas de uno y dos pisos.

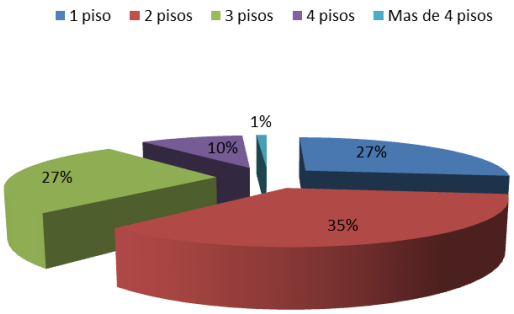


Figura 2. Número de pisos de la vivienda

EL 60% equivale a más de doscientos cuarenta mil predios (243.156) en la ciudad de Bogotá, por lo cual la población a atender que posiblemente tiene deficiencias en la construcción equivale a una localidad de Engativá o Kennedy.

4.1 Características de los Materiales en la vivienda

Los materiales utilizados y evaluados en la vivienda son generalmente cuatro: los mampuestos, el acero de refuerzo, el concreto y el mortero, estos cuatro elementos se han evaluado en varios estudios caracterizando calidad y uso de los mismos, en los párrafos siguiente se encuentra las conclusiones que se han encontrado.

4.1.1 Mampuestos

La arcilla, es el material predilecto para toda la construcción de muros, usándolo nuevo en su gran mayoría y en algunos casos de segunda calidad (unidades producto de la demolición de otra construcción), tanto tipo bloque (perforación horizontal) como macizo. El uso frecuente de las unidades de perforación horizontal (Bloque en arcilla), principalmente se ve por la economía y rapidez con que construyen los muros.

La resistencia de un muro con este tipo de mampostería (Bloque) está dentro de la exigencia que norma Sismo Resistente impone. Una resistencia mínima de 3 MPa (ver Tabla 1. Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada) y

según los estudios desarrollados en la Universidad Distrital se encuentran resistencias de la unidad de en promedio 3.5MPa. Sin embargo este tipo de mampuesto es recomendable solamente en la mampostería confinada según el capítulo D de la Norma Sismo Resistente de 2010.

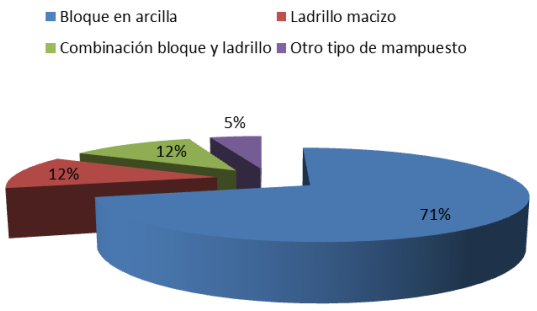


Figura 3. Tipos de mampuestos utilizados en la vivienda

Para la unidad de ladrillo macizo se encontró que su resistencia esta entre 21MPa y 22MPa superior al mínimo exigido por la norma el cual es de 15MPa, sin embargo es la unidad de mampostería menos utilizada en las viviendas informales.

Tabla 1. Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada

Tabla D.10.3-1
Resistencia mínima de las unidades
para muros de mampostería confinada

Tipo de unidad	f'_{cu} (MPa)
Tolete de arcilla	15
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5

Lo anterior considera que el 70% de los predios informales de la ciudad es decir 283.682 predios están desarrollados en bloque de perforación horizontal aceptado su uso en la NSR10 para muros confinados sin embargo como se detalla en la Tabla 1, no tiene la mejor resistencia posible. Tal como lo menciona el estudio de IPI "La sana costumbre de utilizar ladrillo macizo para los muros del primer piso, ha sido modificada para llegar a establecer la situación común, del uso de bloque de perforación horizontal en todos los muros de la vivienda" disminuyo la capacidad de resistencia de los muros de la vivienda.

4.1.2 Acero de refuerzo

El acero corrugado es el más usado según la información recopilada, pero todavía se utiliza acero liso, usualmente reciclado de construcciones antiguas demolidas lo que perjudica la calidad de la construcción existente.

El acero liso, se puede conseguir dentro del mercado pero su uso está permitido para los estribos, refuerzo de retracción y temperatura o espiral.

El uso del acero liso como refuerzo longitudinal esta limitado a las mallas electrosoldadas por lo que su uso como refuerzo principal en elementos como columnas o vigas no esta permitido.

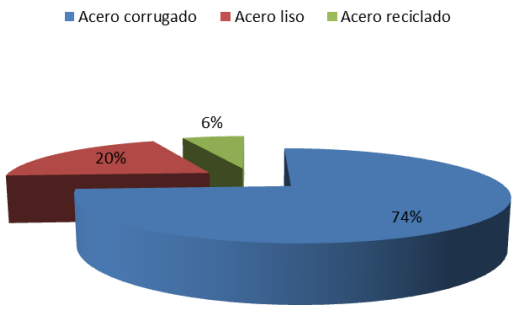


Figura 4. Tipos de acero en los elementos estructurales

En los estudios de campo como el desarrollado por IPI, en el cual se tomaron lecturas para establecer y/o confirmar los refuerzos en las secciones críticas de elementos estructurales representativos y se extrajeron muestras para ensayar los aceros que por lo general corresponden a las columnas y columnetas de confinamiento, concluyendo que se cumple con la resistencia prevista de 420 MPa.

Los ensayos realizados en el estudio de la FOPAE, se consideró la realización de probetas de acero No4 (1/2”) y No5 (5/8”) encontrando que la calidad de los mismos es adecuada según los resultados arrojados ya que cumplen las características de fluencia y rotura.

Las fluencias para las respectivas varillas corresponden a 444 MPa y 418.5 MPa respectivamente, las normas establecen un rango aceptable entre 420 y 540 MPa aunque la varilla de 5/8” está un tanto baja se puede aceptar dentro del rango.

Los esfuerzos de rotura son de 674 MPa y 690 MPa respectivamente y lo aceptado es de 550 MPa como mínimo, las características de elongación son aceptables para ambos tipos de refuerzos.

4.1.3 Concretos

Para el desarrollo del concreto se encuentra que en obra los cementos usados son en saco de las marcas usuales y que los agregados gruesos y finos se compran en una mezcla denominada como mixto.

Esta combinación de agregados se evalúo en el estudio del IPI concluyendo que la proporción de arena es más alta de lo deseado, demandando mayor contenido de cemento y como consecuencia, una cantidad adicional de agua de amasado ocasionando la baja resistencia y alta porosidad de los concretos.

La informalidad en las mezclas implica una aceptación o tolerancia del uso de los materiales y por ende una gran variabilidad en las mezclas utilizadas, lo que involucra un aumento de la dosificación y sobrecostos en la vivienda en el mejor de los casos o una pérdida de resistencia de los elementos estructurales.

Las pruebas de resistencias en los estudios evaluados corresponden a esclerometrias patronadas con ensayos de núcleos de los elementos estructurales en ellas se puede concluir la dispersión de los datos sin embargo más del 57% de ensayos se encuentran con una resistencia menor de 210Kg/cm2, la distribución de estos se puede observar en la gráfica siguiente.

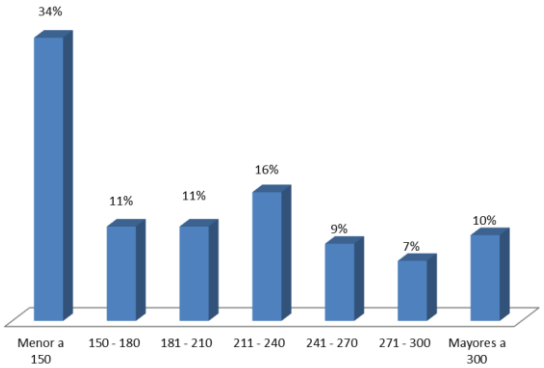


Figura 5. Distribución de la resistencia del concreto

A su vez se debe enfatizar lo encontrado por el estudio desarrollado por IPI en el cual la resistencia de las placas macizas aéreas presenta resultados que en su mayoría superaron los 210 kg/cm2.

La carbonatación[1], aun cuando es un problema para el refuerzo es una patología del concreto, se encontró la profundidad de este efecto alcanza el nivel del refuerzo dado que en la mayoría de mediciones realizadas por el estudio de IPI y de la FOPAE, indican que existe una carbonatación total en todos los recubrimientos.

La prueba realizada en general consistía en la realización de un orificio con una profundidad en promedio de 30mm, para el ensayo de carbonatación se encontró que en el 75% de los casos se entraba completamente carbonatado, esto disminuye la resistencia del acero generando desgaste y oxidación en el refuerzo, en el resto de los casos se encontró que la profundidad de la carbonatación varia entre 10mm y 20mm.

Aun cuando no se puede concluir que la carbonatación total del elemento implica una perdida total del refuerzo, estamos seguros que es un proceso paulatino cuyo resultado final pueda ser ese, para casi 300.000 predios.

[1] Proceso químico que consiste en la pérdida de pH del concreto que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral

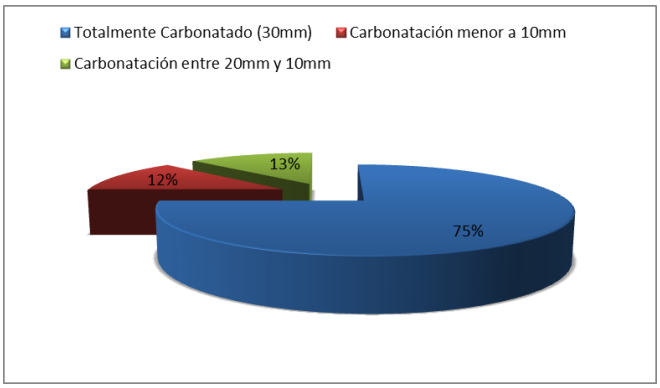


Figura 6. Resultados de la carbonatación en los elementos estructurales

Los estudios concluyen que el problema de la carbonatación es generalizado en la totalidad de las viviendas estudiadas, por lo que se deben dar recomendaciones constructivas para demorar este proceso.

4.1.4 Morteros

Aun cuando la recomendación según la NSR10 es la utilización de morteros con resistencias superiores de 12.5MPa, los estudios concluyen que se encontraron resistencias inferiores que se acercan a un mortero tipo N (7.5MPa) que solo es permitido en zonas de baja amenaza sísmica baja y en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico.

Se supone una deficiencia en la preparación y en la dosificación, también en la cantidad indiscriminada del agua de amasado que puede resultar excesivamente alta o baja provocando una plasticidad inadecuada en la mezcla y por ende una resistencia inadecuada.

Es concluyente que la baja resistencia de un mortero de pega otorga una baja resistencia al muro, por la deficiencia en la unión de unidades de mampostería, esto hace que un muro tenga una falla frágil cuando es exigido por cargas laterales, o cuando las cargas verticales son altas.

4.2 Características de la Cimentación

Aun cuando es una característica que en los diversos formularios es incluida dentro de las consideraciones estructurales de la vivienda se estable aparte por las implicaciones que en el tema de reforzamiento se tiene, entre lo evaluado se considera fundamentalmente lo consignado en la tabla 2.

Tabla 2. Características de cimentación evaluadas por metodología (Fuente: el mismo autor)

Cimentación	FOPAE-795-2008	CVP	UD	IPI
Profundidad		Superficial Semiprofunda Profunda		Superficial Semiprofunda Profunda
Tipología	Zapatas	Zapatas	Vigas de	Zapatas

	Losa corrida Vigas Pilotes	Vigas de amarre Cimiento corrido Cimiento ciclópeo Sobrecimientos	amarre No vigas de amarre	Vigas de amarre Cimiento ciclópeo Cimiento corrido Sobrecimientos
Estructuras de contención		Muro de contención		Estructura de contención
Material	Cto Ciclopeo Cto Reforzado Cto Reciclado Otro	Cto Concreto Cto Ciclopeo Sobrecimiento	Cto Ciclopeo Cto Reforzado	Depende de lo evaluado
Estado	Satisfactorio Fisurado Agrietado Flujo Asentamiento Socavado Colapso/peligro Manchas Descascarado	Bueno Regular Malo		Depende de lo evaluado

4.2.1 Profundidad

Generalmente son cimentaciones de poca profundidad, la profundidad no superan los 1,5m dadas las características del terreno.

4.2.2 Tipología

En cuanto al tipo de cimentación se encuentra que la zapata individual es la cimentación dominante en este tipo de viviendas con un 78% de frecuencia. Las vigas de cimentación se encuentran principalmente en zonas de ladera con el fin de configurar un sistema de cimentación adecuado, conectando los diversos niveles de las zapatas o de elementos estructurales verticales.

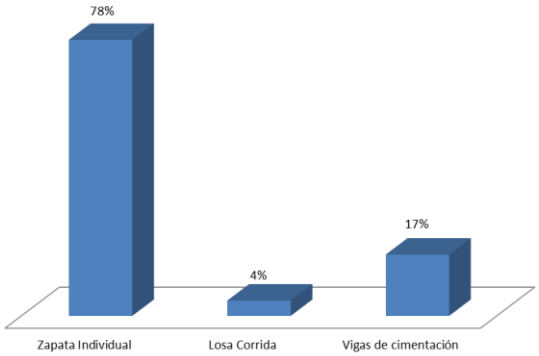


Figura 7. Tipo de cimentación sin considerar estructuras de nivelación (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

4.2.3 Estructuras de contención

Las estructuras de contención no existen en la vivienda informal y presenta un incremento en la vulnerabilidad de la vivienda ante eventos de remoción en masa. La estructura de

nivelación predominante en las diversas localidades es una serie de muros de piedra, pegados con mortero, sobre los cuales se inician los muros y en el mejor de los casos estos muros en piedra se coronan con vigas de concreto que terminan confinando el piso inicial o la placa aérea de un sótano cuando la pendiente o el desnivel es mayor a dos metros.

En la Figura 8. Tipo de cimentación en viviendas se puede identificar que la estructura de nivelación la encontramos en un 67% de los casos recopilados.

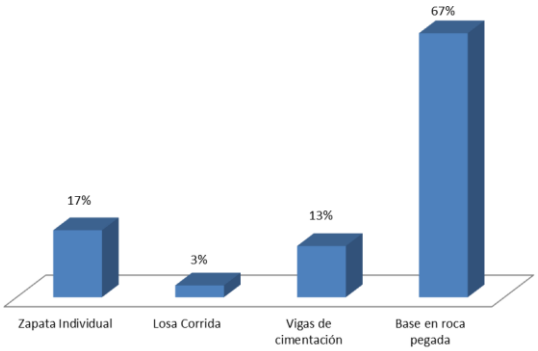


Figura 8. Tipo de cimentación en viviendas incluyendo la nivelación (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

En viviendas cuya diferencia de nivelación es menor a 1,60 aproximadamente, es frecuente el uso de rellenos en materiales sobrantes de construcción colocados de forma irregular sin ninguna compactación, solo en los últimos 20 o 30cm antes del piso terminado se compacta con un pisón de mano y se usa algún tipo de material mejorado. En alturas de nivelación superiores a 1,60mts usualmente no se llenan con ningún material, se habilitan como sótanos para diversos usos (habitación, almacenaje) por lo que se construyen placas aéreas para el primer piso y estructuras a porticadas que nivelen la vivienda.

Registro Fotográfico 1. Estructuras de contención o nivelación

El sistema de cimentación representa la mayor incertidumbre dentro de los diversos estudios dada la imposibilidad de determinar las condiciones de apoyo y construcción de los mismos por simple inspección y en la necesidad de realizar exploraciones de suelos e inspección de estas estructuras que incrementan cualquier costo en la construcción.

Con las actuales consideraciones viviendas en localidades como Ciudad Bolívar, Usme, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santa Fe, Suba y Usaquén aproximadamente el 47% de los predios informales en la ciudad, tienen una posibilidad alta de colapso si las

estructuras que soportan y nivelan sus viviendas no tienen la capacidad de resistir fuerzas horizontales.

4.3 Características Estructurales

En los diferentes estudios del distrito se consideran las características estructurales como parte fundamental de la evaluación de la vivienda, en la siguiente tabla se puede observar las condiciones evaluadas en los diversos estudios:

Tabla 3. Características de la estructura evaluada por las metodologías (Fuente: el mismo autor)

Estructuras	FOPAE-795-2008	CVP	UD	IPI
Sistema Estructural	Mam. Simple Mam confinada Port. Concreto Mixta	Viga – Columna Mam confinada Mam NO reforzada	Si hay combinación de sistema estructural Mam. Simple Mam confinada Mam reforzada Port. Concreto	Viga – Columna Mam confinada Mam NO reforzada
Irregularidades	Altura Planta		Planta Altura Cant muros por dirección	Planta Altura
Columnas	Material Tipología (rectangular, circular, triangular otra) Característica (Continua, reducción de sección, ménsulas, capiteles) Estado (Falla, desplome, grietas, descascarado, carbonatación, refuerzo visto, agregado visto, hormigonado, muy esbelta o sobre dimensionada)	Estado (bueno, regular o malo) Luces Dimensiones Concreto Tipo de Refuerzo Si confina o no	Mano de obra (deficiente, aceptable, buena) Materiales Área transversal Tipo de Refuerzo Ubicación de elementos	Dimensiones Luces Tipo de Refuerzo Si confina o no
Vigas	Material Tipología (Continua, redu de sección, Apoyadas muro, voladizo) Estado (Falla, desplome, grietas, descascarado,	Estado (bueno, regular o malo) Luces Dimensiones Concreto Tipo de Refuerzo Si confina o no	Mano de obra (deficiente, aceptable, buena) Materiales Área transversal Tipo de Refuerzo	Existencia o no

	carbonatación, refuerzo visto, agregado visto, hormigonado, muy esbelta o sobre dimensionada)			
Muros	Material Estado del muro (falla pega, falla piezas, desplome, humedad…)	Tipo de unidad Estado del muro (Bueno, regular o malo) Luces Dimensiones unidad Material Espesor de pega Refuerzo SI es confinado	Material de la unidad Perforación de la unidad Calidad y característica de la junta Calidad de la unidad y su traba Espesor de los muros Confinamiento de muros Tipo de anclaje	Estado o Apariencia Espesor de los muros Tipo de unidad Espesor de pega

4.3.1 Sistema estructural

En cuanto al sistema estructural en la información de las viviendas se presentaron sistemas combinados, por ejemplo en un mismo hogar, pueden existir algunas columnas, columnetas o sistemas confinados en algunos muros. De todas formas, cuando se tienen columnas desde la cimentación hasta el primer nivel de placa de la vivienda, no hay un criterio claro en continuarlas hasta el último nivel de construcción, pues se encuentra que en cada piso ó nuevo nivel, no hay vínculo por medio de estos elementos con el nivel anterior; en otras palabras, la intención que se percibe es que cada nivel de la vivienda, se construye independiente del nivel anterior, como si se tratara de una estructura donde solo se apilan los nuevos pisos sobre el anterior, sin importar que se vinculen físicamente por medio de elementos verticales, sean columnas ó columnetas.

Registro Fotográfico 2. Inconsistencias en el sistema estructural (Fuente: el mismo autor)

La presencia de elementos verticales estructurales (columnas o columnetas) en la vivienda constituye una predominante estructural, la cual se presenta el 60% de los casos según el estudio del FOPAE, sin embargo no es posible clasificar como sistema a porticado el sistema predominante en la vivienda dado que a pesar del uso de estos elementos como una costumbre generalizada, se encuentran deficiencias en su aplicación (No continuidad vertical, cambios en dimensiones, exposición del refuerzo, prolongaciones excesivas, asimetría en la ubicación, entre otras) tal como se observa en Registro Fotográfico 2. Inconsistencias en el sistema estructural.

En el estudio del FOPAE, se considero a su vez un sistema que lo denominaron hibrido, el cual corresponde a aquel, en el cual por el grado de combinación de elementos o técnicas de construcción es imposible determinar qué tipo de sistema estructural posee o a cual se aproxima. Sin embargo la posibilidad de adaptar un sistema de este tipo a la mampostería confinada, tal como lo expresado por el estudio de IPI, es fundamental para nosotros considerar la clasificación de este sistema en el tipo de mampostería confinada.

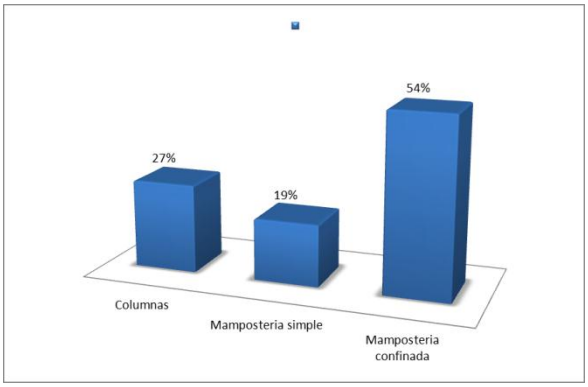


Figura 9. Presentación de elementos en el sistema estructural en la vivienda (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

Por lo anterior se observa en la Figura 9. Presentación de elementos en el sistema estructural en la vivienda, como el sistema predominante en la vivienda informal, la

mampostería confinada, configurando en casi 131.000 predios construidos con este sistema estructural.

La caracterización de una vivienda en el sistema estructural de mampostería confinada, no esta confirmando que el que el sistema cumple con las condiciones planteadas por la NSR10 o la NSR98 o el código de construcciones sismo resistente del 84, simplemente se opta por esta clasificación dado que en la vivienda se observa elementos que se asemejan mas a un sistema confinado que a los otros considerados, por lo cual se puede argumentar que casi en la totalidad de las viviendas el sistemas confinado no es completo y es mas fácil completar esta labor como lo considero el estudio de IPI.

La mejor recomendación para completar este sistema estructural concluida por el estudio de IPI es priorizar la conformación de muros en el sentido transversal de la vivienda, dado que de un 100% de muros totales de la vivienda, en el sentido transversal corresponde al 35% de los mismos y un 65% los muros longitudinales; evidenciando la necesidad de un reparto mas uniforme de la responsabilidad de resistir las fuerzas sísmicas.

4.3.2 Irregularidades

Las irregularidades usualmente consideradas son en altura y en planta, sin embargo las irregularidades en planta se presentan en un 13% de las viviendas evaluadas por los estudios. Estas no pueden ser solucionadas dado que los lotes de construcción son frecuentemente irregulares y como en este caso un 13% de las viviendas construidas en estos predios presentan una irregularidad que excede lo establecido en la Tabla A.3-6 Irregularidades en planta de la Norma Sismo Resistente de 2010.

La irregularidad en altura frecuentemente encontrada en este tipo de vivienda es el uso de voladizos excesivos (mayores de 60cm), incluso en ocasiones se presenta en el desarrollo en la vivienda una serie de voladizos sucesivos en cada piso, incrementando el problema que se ve agravado no solo por la distancia de avance del lote sino además por la incorrecta disposición de los refuerzos. Por desconocimiento de los maestros de obra y de los mismos propietarios, los refuerzos dispuestos para el voladizo de ubican en la parte inferior de la placa, es decir, la placa incluido el voladizo se arma únicamente con refuerzo en la zona inferior y en ningún caso se encontró el refuerzo del voladizo en la parte superior de la placa.

Una forma manera informal de solucionar el inconveniente generado por los voladizos es la utilización de ménsulas[2] aun cuando se desconoce si este procedimiento es anterior o posterior de la construcción del voladizo, se encontró en solo el 20% de aquellas viviendas que tenían voladizos.

[2] Miembro de arquitectura perfilado con diversas molduras, que sobresale de un plano vertical y sirve para recibir o sostener algo

Registro Fotográfico 3. Ejemplo de ménsulas en viviendas (Fuente: el mismo autor)

Registro Fotográfico 4. Ejemplo de error por falta de apoyo en ménsulas (Fuente: el mismo autor)

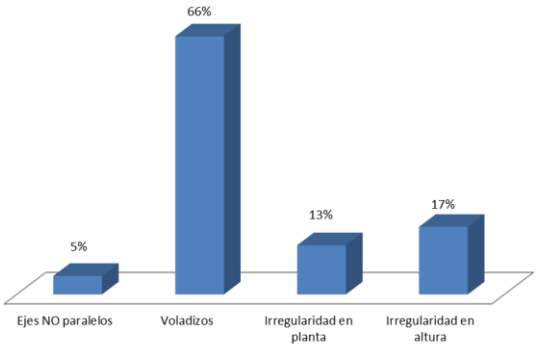


Figura 10. Irregularidades presentadas en la vivienda (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

Como práctica constructiva los voladizos son fácilmente modificables en las construcciones nuevas sin embargo el impacto generado por los voladizos en más de doscientos ochenta mil predios (283.682 predios) de las viviendas representa un factor de aumento de vulnerabilidad y origen de posibles colapsos de fachadas.

4.3.3 Columnas

"En las viviendas se construyen columnas de sección 0.25 m. x 0.25 m. y 0.20 m. x 0.20 m., generalmente en el perímetro de la construcción, con concretos que presentan una gran dispersión en su resistencia y con una disposición de refuerzo longitudinal y transversal que no cumple con los requerimientos de la Norma" según lo estableció la consultoría de la empresa IPI para la Caja de la Vivienda Popular en el año 2003 y estas condiciones se reafirman con las evaluaciones posteriores.

Registro Fotográfico 5. Ejemplos de columnas en viviendas (Fuente: el mismo autor)

Se identifica que en muchas ocasiones las columnas se funden directamente sobre los muros confinándolos y adicionalmente no existe la viga de amarre superior dada la tendencia de fundir este elemento embebido en la placa de entrepiso (construcción futura), por lo cual una de las más importantes conclusiones del estudio de IPI resulta en incorporar este un sistema de muros confinados.

Sobre el refuerzo utilizado disposición y cantidad, se puede evidenciar que la cantidad de refuerzo longitudinal es de cuatro barras No4 conservando lo recomendado en la Norma Sismo Resistente de 2010, sin embargo en cuanto al refuerzo transversal se utiliza barra No2 o No3 para los estribos pero distanciados entre 20cm o 25cm sin tener en cuenta zonas de confinamiento, fundamentales para soportar un sismo.

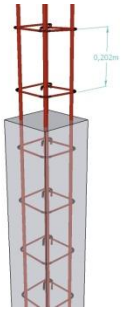


Ilustración 5. Diagrama de columna de 20cm*20cm tipo

4.3.4 Vigas

Para los propietarios de las viviendas las vigas de amarre superior o como elementos de confinamiento horizontal, carecen de importancia lo que acarrea que el sistema pierda la posibilidad de resistir las solicitudes de un sismo adecuadamente. Las personas consideran un gasto la construcción de las vigas dado que no se concibe este elemento como parte fundamental de cualquier sistema estructural y prefieren mantener un sistema estructural sin consolidar que garantizar la unidad del sistema cada vez que se suspende la construcción.

Muchas de las familias consideran que cuando se construya la placa de entrepiso se podrá confinar el sistema convenientemente, el inconveniente se presenta cuando la construcción de este elemento se posterga durante 5, 10 o 15 años de continuos desarrollos progresivos.

4.3.5 Muros o Mampostería

En el 70% de las viviendas los muros son en mampostería con ladrillo tipo bloque y en ladrillo macizo en el 12% de las viviendas, existiendo también algunos en bloque de mortero de cemento ó ladrillo tipo calicanto, se utilizan de tal manera que toman desde parte hasta la totalidad de las cargas verticales, que se transmiten a la cimentación.

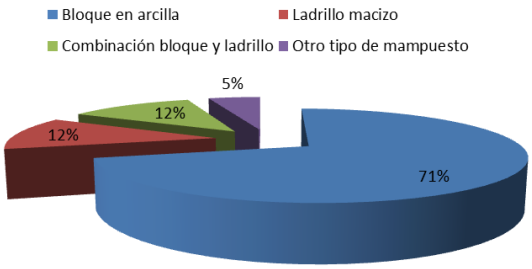
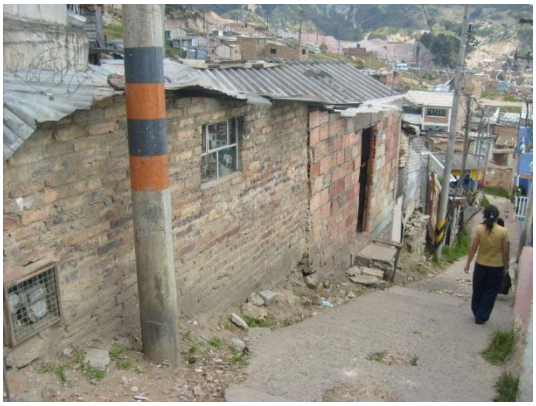


Figura 11. Tipo de mampuesto de las viviendas (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

Los dos mayores inconvenientes que se presentan en los muros es la combinación de diversos tipos de mampuestos en el mismo muro y la deficiencia de los amarres entre los muros perpendiculares o de los muros no estructurales con los estructurales.



Registro Fotográfico 6. Ejemplos de tipos de unidades de mampostería utilizadas (Fuente: el mismo autor)

La heterogeneidad de unidades de mampostería descrita en los formularios de diagnóstico es muy marcada y visible. En algunas la variabilidad es tanta, que una sola pared hay varios tipos de ladrillos o mampuestos en general, en otras las unidades de mampostería se presentan sectorizadas por ejemplo ladrillo macizo en la fachada y bloque en el resto de la edificación (ver Registro Fotográfico 7. Ejemplos de la variabilidad en la mampostería), afectando la rigidez del muro generando un comportamiento impredecible en un 30% de los casos.

Registro Fotográfico 7. Ejemplos de la variabilidad en la mampostería (Fuente: el mismo autor)

El espesor de los muros varía dependiendo de la unidad utilizada, sin embargo dado que existe la tendencia de la utilización de bloque de perforación horizontal, podemos concluir que para los muros estructurales o por lo menos aquellos que la familia considera de mayor importancia se construyen con bloque No5 el cual nos permite un espesor mínimo de 110mm, ajustando este tipo de muros a lo especificado en el titulo E de la norma sismo resistente de 2010 (NSR10).

El segundo inconveniente presentado es la falta de amarres o trabas de los muros (ver Registro Fotográfico 8. Ejemplos de fallas en los amarres de los muros) con los muros perpendiculares a sus planos, incrementando la vulnerabilidad de la vivienda dado que el

sistema pierde capacidad de disipación porque el comportamiento en conjunto no es el adecuado.

Registro Fotográfico 8. Ejemplos de fallas en los amarres de los muros (Fuente: el mismo autor)

En las viviendas también se presentan patologías constructivas como pegas excesivas, vanos mayores del 35% del área de los muros o la no utilización de dinteles sobre los vanos.

4.3.6 Escaleras

La evaluación de la escalera solo es considerada en por la FICHA TECNICA ESTRUCTURAL CTO. FOPAE-795-2008, en ella se evalúa el tipo de material en el cual se encuentra construida, el tipo de acabado de la misma, como se encuentra apoyada si en un muro una viga o una placa, se realiza un análisis del estado de la estructura (fisuras, manchas blancas, grietas, refuerzo a la vista, carbonatación, falla, descascaramiento, manchas blancas, ancho adecuado).

Dada esta evaluación se puede concluir que la ubicación de las escaleras, así como su método constructivo, varían de manera importante en su geometría, en los materiales que las conforman (el 81% de las escaleras son en concreto reforzado).

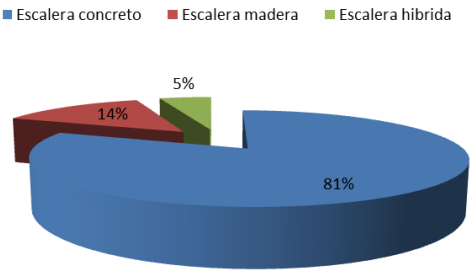


Figura 12. Materiales de las escaleras (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

Se presenta ausencia de un plano inicial o herramienta de diseño que implique la consideración de la cimentación para la escalera desde el inicio de la obra, el número de

pisos de la vivienda, la altura libre y las circulaciones para el acceso a cada uno de ellos, generando deficiencias en apoyo y amarre de la cimentación de la escalera a la estructura.

Registro Fotográfico 9. Ejemplos de tipos de escalera (Fuente: el mismo autor)

4.4 Cubiertas y Placas de entrepiso

En los diferentes estudios del distrito se consideran las características estructurales como parte fundamental de la evaluación de la vivienda, en la siguiente tabla se puede observar las condiciones evaluadas en los diversos estudios:

Tabla 4. Características de la estructura evaluada por las metodologías (Fuente: el mismo autor)

Cubiertas o Placas	FOPAE-795-2008	CVP	UD	IPI
Tipo de cubierta	Placa	Plana Inclinada Maciza Ligera		Se evalúan las dos
Sistema de apoyo		Vigas Correas Anclaje al muro	Existencia de vigas de amarre Evaluación del amarre de la cubierta. Apoyo de la placa	
Placas	Material (madera, concreto reforzado, concreto simple) Tipologia (Loza corrida, maciza o aligerada) Cargas (concentradas o		Peso de la losa (relación de espesores)	Espesor de la placa Tipo Maciza o aligerada Existencia de vigas descolgadas

	excesivas)		
Cubiertas	Estado de la Cubierta (Bueno, regular o malo) Amarre de la cubierta (Bueno, regular o malo)	Peso de la cubierta (liviana, mediana o pesada) Evaluación de la estructura y amarre	Existencia de vigas Materiales Elementos de amarre Anclaje de muros

El concepto de cubierta, en una vivienda de desarrollo progresivo en altura, es utilizar la última placa aérea construida como cubierta provisional (se encontró en el 42% de las viviendas), sometiéndola a un intemperismo severo, donde el concreto sufre procesos de carbonatación acelerados, dejando expuesto el acero de refuerzo a procesos de oxidación y posterior corrosión, comprometiendo la sanidad estructural y la durabilidad de estas viviendas. Para el resto de cubiertas (el 38% de cubiertas livianas y el 20% de cubiertas en teja de fibrocemento), se encuentra que obedecen también al manejo de la construcción por etapas, donde queda abierta la posibilidad de continuar el desarrollo de la vivienda en altura. Se suma a lo anterior, que las viviendas que presentan estas cubiertas livianas y de fibrocemento, carecen de vigas de amarre en los muros del último nivel (solo se encontraron 3% de las casas con vigas de coronación), por lo que el 97% de los predios informales de la ciudad carecen de vigas de coronación lo que equivale a 393.000 predios aproximadamente.

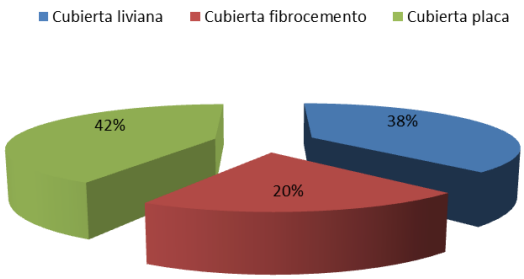


Figura 13. Tipo de cubierta en las viviendas (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

4.4.1 Cubierta liviana

Cuando las viviendas se encuentran con cubiertas livianas ó de fibro-cemento, las estructuras de soporte, sean de madera ó metálicas, presentan un anclaje deficiente a la mampostería del último piso, situación que se suma a la escasa presencia de amarres para sujetar las tejas a su estructura de soporte; para suplir el escaso amarre de las tejas a su estructura de soporte, frecuentemente se aplica el concepto de colocar elementos pesados sueltos y de forma caprichosa sobre la cubierta, para evitar que las corrientes de aire desprendan las tejas de su sitio, generando una condición insegura constituyendo un factor de vulnerabilidad para los habitantes y vecinos.

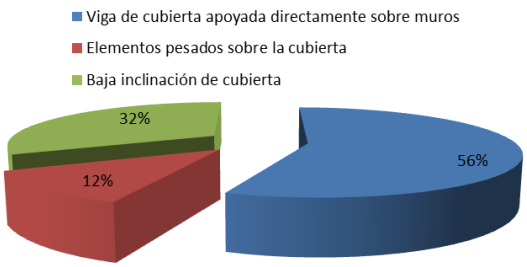


Figura 14. Factores de vulnerabilidad de las cubiertas (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

Registro Fotográfico 10. Ejemplos de cubierta liviana (Fuente: el mismo autor)

4.4.2 Placa de entrepiso

Las placas de segundo piso son macizas y fundidas en sitio sobre los muros de carga, con espesores mínimos y concretos de mejor apariencia que los de columnas y columnetas, y con una sola malla de refuerzo en la parte inferior de la losa.

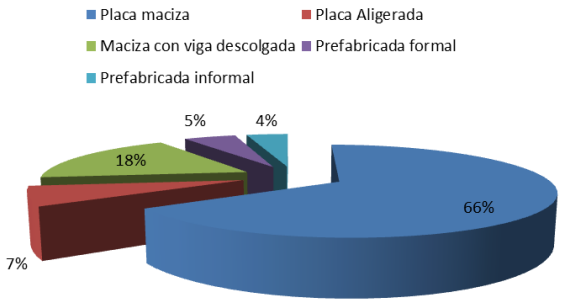


Figura 15. Tipos de placa encontrada (Fuente: FOPAE, CVP, UD y FDLCB)

Registro Fotográfico 11. Ejemplo de Placas macizas (Fuente: el mismo autor)

5 Vivienda tipo en los sectores vulnerables de la ciudad y normatividad técnica aplicable

Conforme a los análisis anteriormente presentados podemos estimar una vivienda tipo con el fin de enfocar las capacitaciones desarrolladas para los maestros de obra en estos sectores garantizando idoneidad y eficiencia.

Tabla 5. Características de la vivienda tipo

Característica	Observación
CIMENTACIÓN	Vivienda de dos pisos, con cimentaciones aisladas (zapatas)…
PROFUNDIDAD	…a una profundidad máxima de 1,5m…
ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN O/Y NIVELACION	… cuya estructura de nivelación, en ocasiones realiza labores de contención y corresponde a muros en piedra pegada.
SISTEMA ESTRUCTURAL	La vivienda típica no presenta un sistema estructural definido y se puede considerar un hibrido o una combinación de varios sistemas (mampostería simple, confinada o pórticos de concreto). Sin embargo luego de la evaluación se recomienda que estas viviendas se traten de asemejarse a un sistema de mampostería confinada dado el menor nivel de intervención en un reforzamiento.
COLUMNAS	La presencia de columnas y/o columnetas en la vivienda es innegable con un área transversal que varía entre 240cm2 y 625 cm2 en el mejor de los casos, con un refuerzo longitudinal de 4 barras No4 o de ½ pulgada y refuerzos transversales de barras No2 o No3 con distancias entre ellos de 20cm, 25cm o 30 cm.
VIGAS	Ocasionalmente se presenta vigas uniendo o integrando algunos elementos de la cimentación o como apoyo a algunos muros en la vivienda sin embargo carece de vigas de entrepiso o vigas cinta como soporte de la cubierta.
MUROS	Se identifica los muros en bloques de arcilla de perforación horizontal y principalmente en el sentido longitudinal aumentando la rigidez de esta dirección en la vivienda.
CUBIERTA y PLACA	La vivienda tiene una cubierta liviana apoyada en una estructura inestable y una placa de entrepiso maciza de 10cm a 15cm de espesor

Ahora dentro de los inconvenientes de esta vivienda descrita y sus características tendremos que evaluar cada una de las intervenciones para solucionar las siguientes inquietudes:

1. ¿Su intervención para reducir la vulnerabilidad implica que se sujeten a la norma?
2. ¿De ser afirmativa la anterior solicitud que norma se aplicaría, la Norma Sismo Resistente de 1998 (NSR98) o la Norma Sismo Resistente de 2010 (NSR10)

3. La siguiente decisión implicaría el costo que se está dispuesto a asumir por este criterio.

Para contextualizar lo anterior se necesita conocer las implicaciones de la norma para el sistema estructural en mampostería confinada dado que es el sistema dado el menor tipo de intervención que se requiere, por lo cual en la siguiente tabla se puede observar las implicaciones de este proceso:

Tabla 6. Análisis de la normatividad técnica aplicable

Característica	Intervención posible	NSR98	NSR10
CIMENTACIÓN	Se debe configurar anillos en planta en cualquier caso garantizando que la cimentación trabaje monolíticamente. Lo que implica la construcción de una viga de cimentación bajo la totalidad de los muros confinados estructurales.	Anillos rectangulares continuos en toda la planta de la edificación. Vigas de cimentación de 300mm*300mm.	Anillos rectangulares continuos en toda la planta de la edificación. Vigas de cimentación de 300mm*300mm.
PROFUNDIDAD	Actualmente se garantiza esta profundidad.	… la profundidad estimada es menor a 1m.	… la profundidad estimada es menor a 1m.
ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN O/Y NIVELACION	La estructura de nivelación y de contención elaborada no cumple con lo especificado en la NSR98 ni en la NSR10. Lo que implicaría construirlos nuevamente y dependiendo de la pendiente el diseñarlos.	No reporta	Para m>20% se desarrollan pilares en concreto de sección circular.
COLUMNETAS	El área transversal de las columnas o columnetas garantiza el mínimo requerido, el problema es la interacción de confinamiento con los muros y el espaciamiento del refuerzo transversal tanto en tercio central como en la zona de confinamiento, lo que implicaría rehacer la totalidad de estos elementos.	Área no inferior a 200cm2 con una resistencia de 17.5MPa o 2500PSI. Refuerzo longitudinal: 4 No3 y refuerzo transversal de barra No2 cada 20cm y cada 10cm en la zona de confinamiento. Ubicadas en los extremos de muros estructurales, en las intersecciones y a distancias no mayores de 4m o 35 veces en espesor del muro o 1.5 veces la altura libre del piso.	Área no inferior a 200cm2 con una resistencia de 17.5MPa o 2500PSI. Refuerzo longitudinal: 4 No3 y refuerzo transversal de barra No2 cada 20cm y cada 10cm en la zona de confinamiento. Ubicadas en los extremos de muros estructurales, en las intersecciones y a distancias no mayores de 4m o 35 veces en espesor del muro o 1.5 veces la altura libre del piso.
VIGAS	Dada la frecuente inexistencia de estos elementos su construcción es la intervención más	Área no inferior a 150cm2 con una resistencia de 17.5MPa o 2500PSI. Refuerzo longitudinal: 4	Área no inferior a 200cm2 con una resistencia de 17.5MPa o 2500PSI. Refuerzo longitudinal: 4

	sencilla de todas.	No3 y refuerzo transversal de barra No2 cada 20cm y cada 10cm en la zona de confinamiento. Ubicadas a nivel de cimentación, a nivel del sistema de entrepiso y a nivel de enrase de cubierta.	No3 y refuerzo transversal de barra No2 cada 20cm y cada 10cm en la zona de confinamiento. Ubicadas a nivel de cimentación, a nivel del sistema de entrepiso y a nivel de enrase de cubierta.
MUROS	A nivel longitudinal la vivienda no va a tener ningún inconveniente dado el exceso de muros en este sentido. En sentido transversal es el sentido en el cual se debe aumentar la rigidez para garantizar que sea soportado el sismo.	La cantidad de muros estructurales confinados en cada dirección, para las condiciones de las notas es de: 1er piso: 17m de muro confinado por dirección 2do piso: 6.8m de muro confinado por dirección Simetría: se recomienda pero no es un parámetro que modifique la intervención.	La cantidad de muros estructurales confinados en cada dirección, para las condiciones de las notas es de: 1er piso: 13m de muro confinado por dirección (25% menos que en la NSR98) 2do piso: 5.2m de muro confinado por dirección Simetría: se recomienda pero no es un parámetro que modifique la intervención. Simetría: se debe calcular según la ecuación E.3.6-2

Nota 1: Todas las consideraciones contempladas se analizan basándose en una vivienda de dos pisos y con las peores condiciones del terreno para la ciudad de Bogotá.

Nota 2: Se calcula el área de un predio típico para la ciudad de 6m*12m, 72m2 con un patio de 6m2.

Nota 3: El espesor asumido de los muros es de 12cm

6 Buenas prácticas constructivas

6.1 Objetivo General

En este capítulo se identifica, analiza y presenta las deficiencias constructivas que son típicas en la construcción de una vivienda informal, con el propósito de proponer soluciones técnicas a dicha situación.

6.2 Objetivo Específicos

Realizar una revisión fotográfica, con el propósito de identificar las diferentes deficiencias constructivas.

Establecer propuesta de solución a cada deficiencia encontrada.

6.3 Descripción de la fuente de información utilizada, para establecer las buenas prácticas constructivas, en vivienda informal.

Para el desarrollo de este capítulo se utilizaron varias bases de datos fotográficas recogidas de los esfuerzos de diversas entidades del distrito capital orientadas principalmente al reconocimiento de las condiciones de las viviendas y la identificación de sus falencias estructurales o de habitabilidad.

En especial se utilizo la información recopilada por la universidad Distrital durante las interventorías ejecutadas en los últimos cinco (5) años de gestión en las localidades como Usme, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar.

Para establecer las buenas prácticas constructivas, es necesario responder la siguiente pregunta ¿Qué son buenas prácticas constructivas? Y como respuesta podemos decir que es cuando la vivienda cumple los aspectos mínimos de sismo resistencia, contemplados principalmente en los títulos A,E,C,I, H, de la NSR – 10, dichos principios fueron presentados y explicados en el capítulo anterior (alternativas de reforzamiento de viviendas informales).

Otra pregunta que surge durante la consultoría es la siguiente ¿Cuáles son los errores constructivos más frecuentes en la ejecución de viviendas informales? Al responder esta pregunta, encontramos veintitrés (23) deficiencias constructivas típicas las cuales van en contra posición de los principios sismo resistente, ellas son:

6.4 Para la cimentación y sistema de contención de la vivienda, lo típico es:

Caso 1. Muros y columnas sin viga de confinamiento en la base: Esta práctica genera inestabilidad de la vivienda ante acciones sísmicas. Como acción correctiva se propone, construir vigas y columnas de confinamiento, según lo establecido en el título E de la NSR-10.

Registro Fotográfico 12. Muros y columnas sin viga de confinamiento en la base

Caso 2. Sistema de contención sin confinamiento adecuado: Esta práctica genera la caída del muro ante acciones sísmicas, producto del mal confinamiento del sistema. Como acción correctiva se propone, demoler y construir un sistema de contención adecuado, bajo lo supervisión de un ingeniero calculista.

Registro Fotográfico 13. Sistema de contención sin confinamiento adecuado

6.5 Para las instalaciones hidráulicas, eléctricas, sanitarias y de gas, lo típico es:

Caso 3. Trazado inadecuado de instalaciones (a la vista): Esta práctica aumenta la posibilidad de accidentes como: incendio, inundaciones, etc.

Como acción correctiva se propone, la realización de un trazado seguro de las instalaciones, canalizándolas de forma adecuada (sin intervenir los muros).

Registro Fotográfico 14. Trazado inadecuado de instalaciones eléctricas, sanitarias y gas

Caso 4. Tuberías embebidas en zonas inadecuadas: Esta práctica reduce la capacidad de la columna para absorber esfuerzos de compresión, corte y flexión.

Como acción correctiva se propone, realizar la suspensión inmediata de la tubería existente y cambiar el trazado, llenar el espacio con mortero o concreto.

Registro Fotográfico 15. Tuberías sanitarias embebidas en una zona inadecuada (interior de las columnas)

6.6 Para la mampostería, lo típico es:

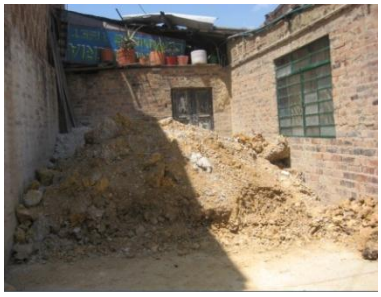
Caso 5. Muros divisorios y de fachada sin amarres adecuados: Esta práctica facilita la caída de los muros durante un sismo, debido a la falta de confinamiento y amarre de la estructura construida.

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de pañete reforzado (ver detalles del procedimiento en al capítulo reforzamiento de viviendas informales).

Registro Fotográfico 16. Muros divisorios y de fachada sin amarres

Caso 6. Vanos de ventanas sin dintel: Esta práctica aumentar la posibilidad de daño del muro por acciones sísmicas (cortante), ver el capítulo de reforzamiento de vivienda informal, donde se amplía el tipo de daño debido a estas acciones.

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de pañete reforzado (ver detalles del procedimiento en al capítulo reforzamiento de viviendas informales).



Registro Fotográfico 17. Vanos de ventanas y puertas sin refuerzo

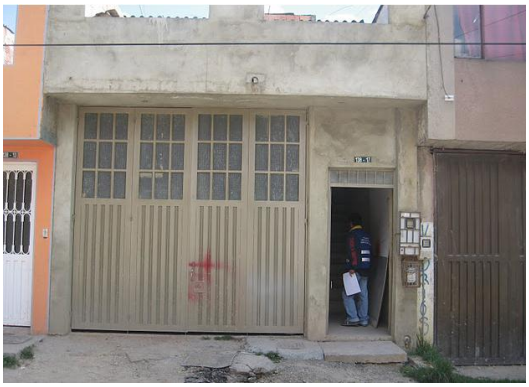
Caso 7. Combinación de mampuestos (calidades): Esta práctica es debida a la mezcla de materiales cerámicos, los cuales cambian la respuesta dinámica del muro ante acciones sísmicas.

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de pañete reforzado (ver detalles del procedimiento en al capítulo reforzamiento de viviendas informales).

Registro Fotográfico 18. Combinación inadecuada de mampuestos y materiales

Caso 8. Abertura excesiva en muros: Esta práctica genera una distribución inadecuada de muros en ambos sentidos, en consecuencia se obtiene pérdida de rigidez en el sentido de abertura excesiva.

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de adición de pórtico (ver detalles del procedimiento constructivo en el capítulo reforzamiento de viviendas informales).



Registro Fotográfico 19. Excesiva abertura en muros.

Caso 9. Fachadas con mampuestos sin amarre (sueltos): Esta práctica permite que los muros que conforman la fachada caigan fácilmente durante el evento sísmico, debido a la falta de confinamiento.

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de pañete reforzado (ver detalles del procedimiento constructivo en el capítulo reforzamiento de viviendas informales).

Registro Fotográfico 20. Fachada con mampuestos sin amarres

Caso 10. Muros esbeltos (relación alto / largo debe ser menor a 2): Esta práctica permite la caída libre del muro debido a la gran esbeltez del muro (relación alto / largo del muro mayor a 2).

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de adición de pórtico para dividir la zona esbelta.

Registro Fotográfico 21. Fachada con muros de mampostería esbeltos

Caso 11. Acabados inexistentes: Esta práctica propicia el ingreso de la humedad en la vivienda afectando la estética y en algunos casos afecta la función de los elementos estructurales.

Como acción correctiva se propone, el suministro e instalación acabados que eviten el ingreso de la humedad (enchapes).

Registro Fotográfico 22. Muros de mampostería y zonas húmedas sin acabados adecuados

Caso 12. Acabados inadecuados en zona húmeda: Esta práctica reduce la capacidad trabajo de los muros, debido a la excesiva humedad que reciben.

Como acción correctiva se propone, el suministro e instalación acabados que eviten el ingreso de la humedad (enchapes).

Registro Fotográfico 23. Muros de mampostería y zonas húmedas con acabados inadecuados

6.7 Para la estructura de carga (columnas y vigas), lo típico es:

Caso 13. Pórticos incompletos: Esta práctica genera zona de diferentes rigideces, por tanto permite que los muros se caigan fácilmente durante un sismo.

Como acción correctiva se propone, realizar el reforzamiento estructural con el método de adición de pórtico para cerrar y confinar los muros.

Registro Fotográfico 24. Pórticos incompletos

Caso 14. Segregación del concreto: Esta práctica reduce la capacidad de carga de los elementos estructurales.

Como acción correctiva se propone, reparar el concreto segregado, con suministro de concreto de similar rigidez.

Registro Fotográfico 25. Concretos porosos

Caso 15. Distribución inadecuada del refuerzo en las columnas: Esta práctica reduce la resistencia de la columna a cortante.

Como acción correctiva se propone, hacer reforzamiento estructural con el método encamisado de columna o viga. También se conoce como recalce.

Registro Fotográfico 26. Columnas con refuerzo distribuido de forma inadecuada

Caso 16. Pórticos improvisados: Esta práctica reduce la resistencia de la losa ante acciones sísmicas y cargas verticales (flexión excesiva).

Como acción correctiva se propone, hacer reforzamiento estructural con el método adición de pórtico (viga – columna).

Registro Fotográfico 27. Pórticos improvisados

6.8 Para las escaleras, lo típico es:

Caso 17. Escalera soportada en muros de mampostería cerámica: Es típico en viviendas informales, llevar las cargas verticales de las escaleras a los muros, los cuales no tienen la resistencia apropiada para soportar la escalera.

Como acción correctiva se propone, hacer reforzamiento estructural del muro, construyendo columnas en el interior del mismo, con el propósito de para aumentar la resistencia estructural del muro, estas columnas deben tener cimientos proporcionales a la cargas que les trasmite la columnas.

Registro Fotográfico 28. Escaleras soportadas en muros de mampostería

Caso 18. Pasos de escaleras construidas con materiales inadecuados (pasos en bloquelones cerámicos): Es típico en viviendas informales, construir los pasos en material cerámicos, los cuales no tienen la resistencia suficiente para soportar cargas verticales.

Como acción correctiva se propone, demoler la escalares existente, para construir una escalera nueva en materiales resistentes a las acciones verticales y sísmicas.

Registro Fotográfico 29. Pasos de las escaleras construidas en materiales cerámicos

6.9 Para las cubiertas, lo típico es:

Caso 19. Soporte de cubierta con materiales inadecuado: Esta práctica reduce la resistencia de la cubierta ante acciones sísmicas y cargas verticales (flexión excesiva).

Como acción correctiva se propone, hacer reforzamiento estructural de toda la cubierta, cambiar los elementos inadecuados por cerchas metálicas.

Registro Fotográfico 30. Soporte inadecuada de las cubiertas

Caso 20. Adición de masa a la placa de cubierta: Esta práctica reduce la resistencia de la placa ante acciones sísmicas y cargas verticales (flexión excesiva).

Como acción correctiva se propone, hacer reforzamiento estructural de la zona adicionada y de la losa en la parte inferior.

Registro Fotográfico 31. Adición de masa en las cubiertas

Caso 21. Cubierta con anclajes inapropiados: Esta práctica reduce la resistencia de la placa ante acciones sísmicas y cargas verticales (flexión excesiva).

Como acción correctiva se propone, hacer reforzamiento estructural de toda la cubierta, cambiar los elementos inadecuados por cerchas metálicas y anclajes internos.

Registro Fotográfico 32. Soporte de cubiertas con anclajes inadecuados

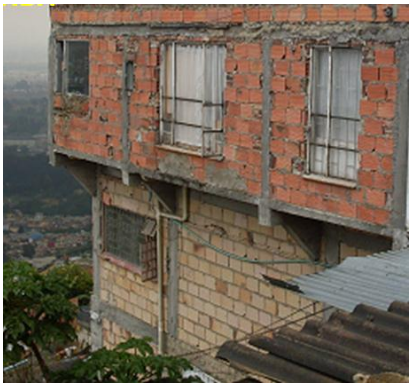
Caso 22. Cubierta con el refuerzo de acero expuesto: Esta práctica aumentar la posibilidad de daño de la losa por corrosión refuerzo.

Como acción correctiva se propone, recubrir el acero expuesto con mortero.

Registro Fotográfico 33. Soporte de cubiertas con anclajes inadecuados

Caso 23. Voladizo soportado con pie de amigo, debido a la falta de refuerzo en la parte superior de la losa: La falta de refuerzo en la parte superior de la losa en voladizo, obliga a utilizar pie de amigos para evitar la caída de la placa.

Como acción correctiva se propone, instalar pie de amigo o remplazo de los mismo por platinas metálicas, anclados en la columnas para absorver los esfuerzos que generan las cargas verticales a la losa.



Registro Fotográfico 34. Voladizo soportado con pie de amigo, debido a la falta de refuerzo en la parte superior de la losa.

7 Alternativas de reforzamiento estructural de viviendas populares ante eventos sísmicos

A continuación se presenta las diferentes alternativas de reforzamiento de viviendas populares, encontradas en la revisión bibliográfica realizada durante la consultoría contratada.

En el desarrollo de este trabajo se realizó la revisión, análisis e interpretación de 32 documentos de diferente origen como son: libros, artículos producto de investigación, tesis de grados de maestría y doctorado, entre otros.

Es necesario tener conciencia, que en cada caso se debe realizar un análisis y diseño particular dependiendo de las condiciones y limitaciones de la vivienda evaluada.

Por tanto, para facilitar la lectura de este documento, se proponen los siguientes objetivos.

7.1 Objetivo General

- El propósito de este capítulo es presentar el resultado de la revisión bibliográfica encontrada durante la realización de la consultoría contratada, sobre alternativas de reforzamiento de viviendas populares.

7.2 Objetivos Específicos

Organizar y presentar en forma de matriz, el hallazgo de la revisión bibliográfica sobre las alternativas de refuerzo de viviendas populares.

Establecer criterios generales que permitan seleccionar el método de refuerzo apropiado a la necesidad de la vivienda evaluada.

Describir brevemente el procedimiento constructivo de cada método de reforzamiento.

7.3 Modo de fallo de los muros de mampostería cerámicos no reforzados inducidos por cargas laterales ó movimientos sísmicos

7.3.1 Componentes estructurales y no estructurales típicos que conforman las viviendas populares de la ciudad de Bogotá

Antes de presentar el modo de falla de los muros de mampostería cerámicos no reforzados, es necesario nombrar los componentes estructurales y no estructurales típicos que conforman las viviendas populares de la ciudad de Bogotá, con el propósito de conocer donde actúan las fuerzas sísmicas, que elementos se pueden dañar y donde debemos reforzar ó mitigar para evitar la pérdida de vidas humanas.

Dichos elementos son los: Antepechos, aleros, muros Fachada, divisorios, vidrios, parapetos, muros culata, medianeros, columnas ó columnetas, vigas corona y vigas cintas para amarre de muros de culata, zapatas ó viga de cimentación, losas de entrepiso y cubierta entre otros

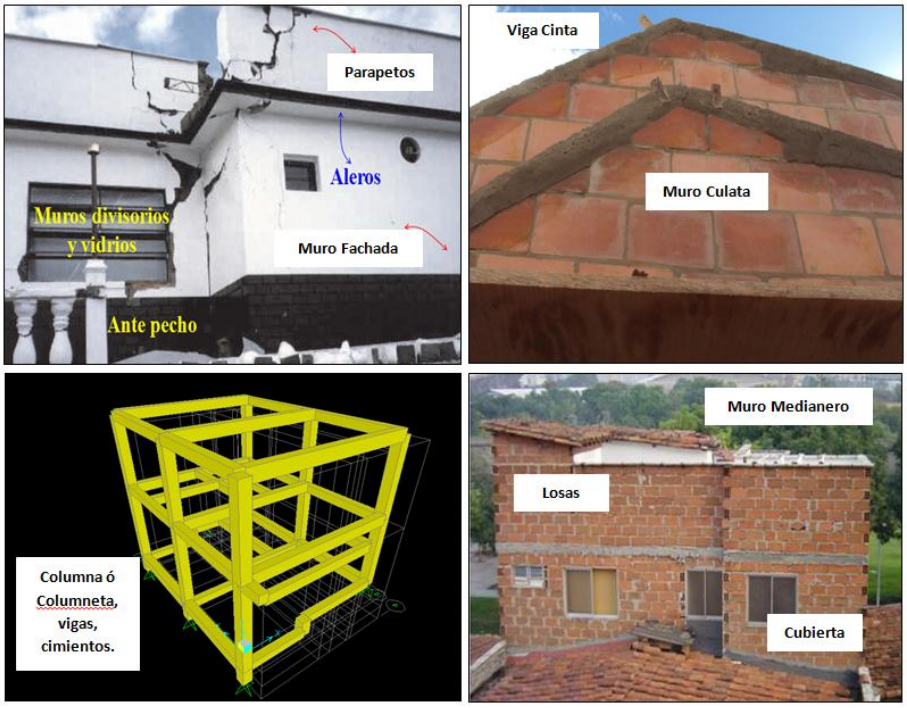


Figura 16. Componentes estructurales y no estructurales típicos que conforman una vivienda popular en la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia (algunas fotos son tomadas de la pagina web del FOPAE).

Ya tenemos claridad de los elementos que conforman la vivienda. Por tanto, se presenta en un esquema básico cuales son las fuerzas que actúan en los elementos no estructurales como es el caso de los muros divisorios, fachada, parapetos, entre otros.

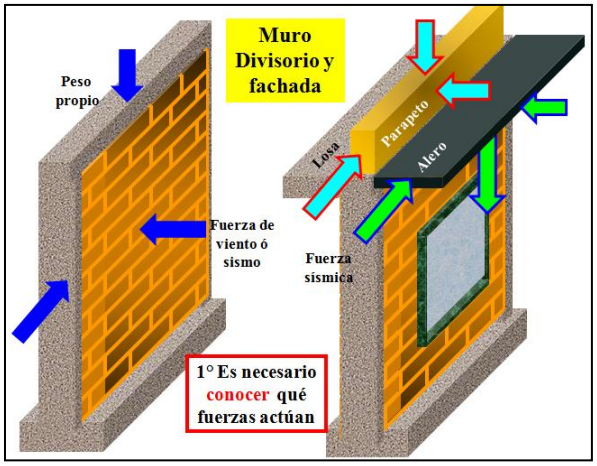


Figura 17. Fuerzas que actúan en los diferentes componentes no estructurales típicos que conforman una vivienda popular en la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia

Según varios estudios realizados[3], las acciones: sismo, viento y peso propio, generan (3) tres tipos de esfuerzos en el elemento no estructural (flexión, corte ó esfuerzos combinados).

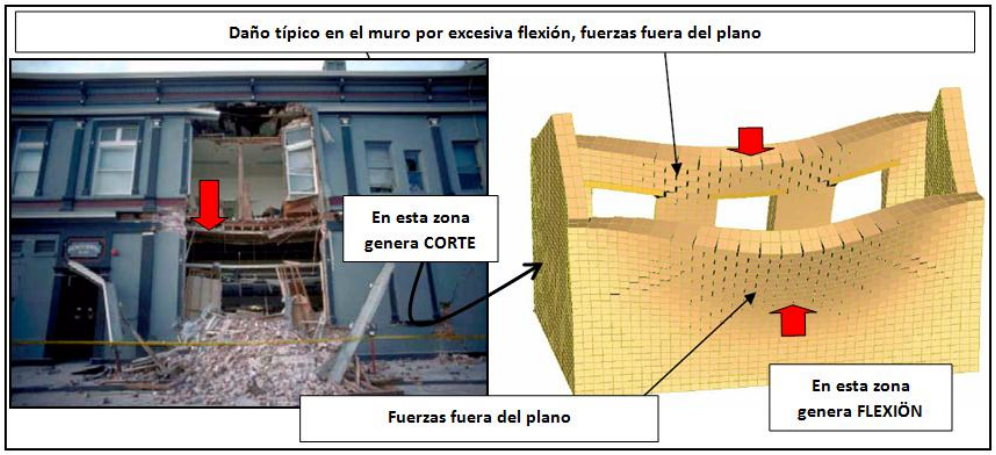


Figura 18. Daño típico en el muro por excesiva flexión, fuerzas fuera del plano

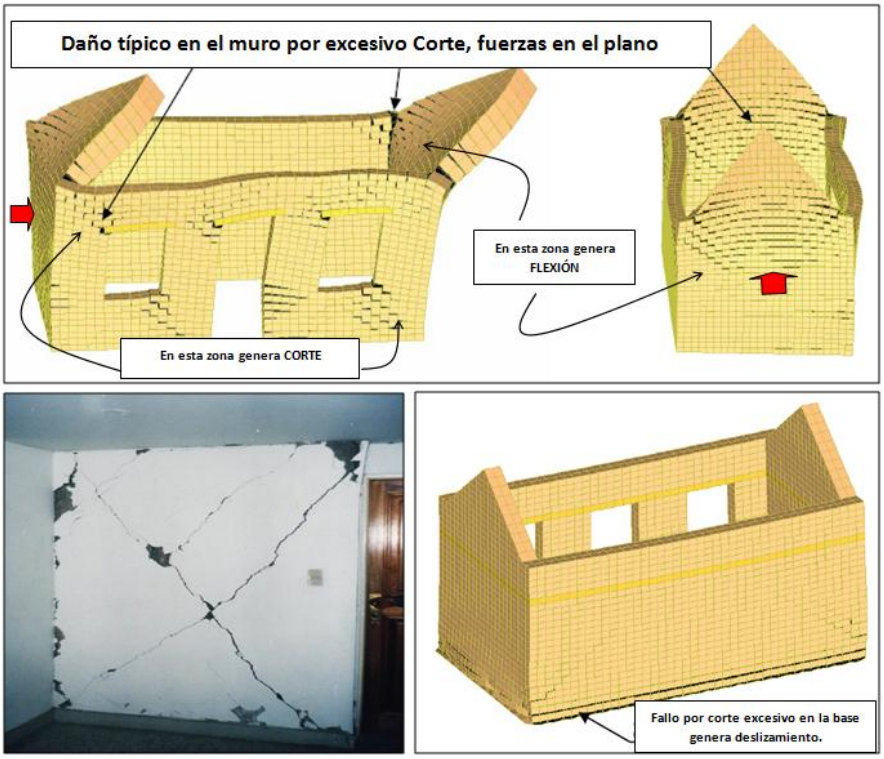


Figura 19. Daño típico en un muro no estructural por Corte en X y deslizamiento del muro en la base. Fuente**: Artículo sobre Terremoto predicción de respuesta. Zengyan Hiroyuki Watanabe. Canadá, Agosto 2004**

Por tanto, estos tres tipos de esfuerzos producen en general (4) cuatro grietas características en los muros de mampostería no reforzada por acciones sísmicas las cuales generan desprendimiento del mampuesto y accidentes a los residentes de las viviendas:

[3] Artículo sobre Terremoto predicción de respuesta. Zengyan Hiroyuki Watanabe. Canadá, Agosto 2004.

- Grietas por cortante en la Base (ver Figura 18).
- Grietas por cortante en el plano del muro (ver Figura 18).
- Grietas por flexión (ver Figura 17).
- Grietas por efectos combinados (el patrón de daño es todas las direcciones del muro).

7.3.2 Aspectos que hacen sismo resistente a una vivienda

Según el documento titulado Manual de Construcción, Evaluación, Rehabilitación de Viviendas de Mampostería publicado por la Asociación de Ingeniería Sísmica de Colombia, para que una vivienda sea sismo resistente debe cumplir como mínimo ocho (8) aspectos:

Simplicidad

Se apoya en los diseños sencillos que faciliten la distribución equitativa de muros, evitando la utilización de formas irregulares

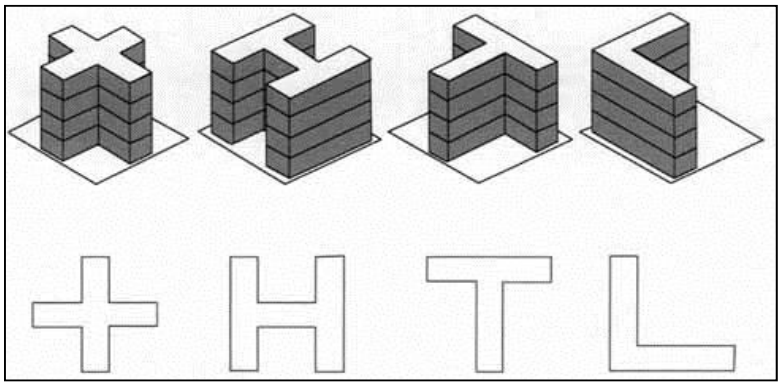


Figura 20. Aspectos de simplicidad criterio básico de sismo resistencia, se observan los tipos de formas irreguales Fuente**: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).**

Simetría

Se apoya en el cálculo y balance de la cantidad muros con relación a la distribución de los vanos, evitando el uso de bloques largos y angostos con longitudes mayores a 3 veces su ancho

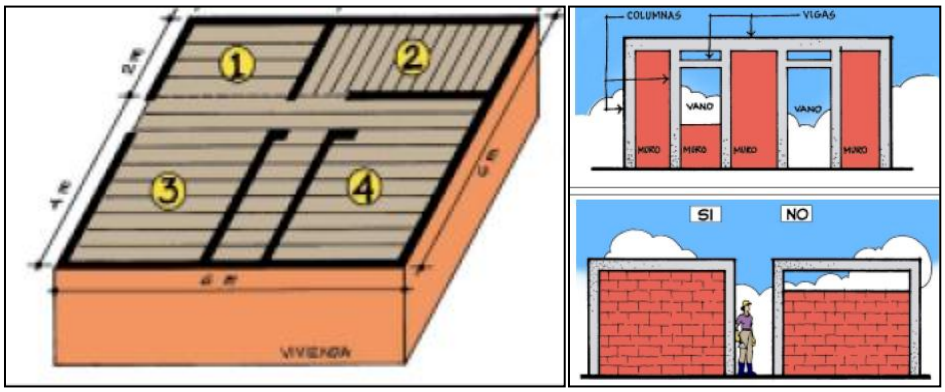


Figura 21. Aspectos de simetría estructural, criterio básico de sismo resistencia. Fuente**: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).**

Resistencia

Un material es resistente cuando tiene capacidad para soportar cargas, sin sufrir deformaciones y fisuras. Para que el sistema sea resistente, debe contemplarse el comportamiento homogéneo de los materiales que conforman la estructura.

Rigidez:

Es la relación existente entre la fuerza aplicada al elemento y su capacidad de soportar la deformación de manera adecuada.

Continuidad:

Corresponde a la correcta transmisión de carga de un elemento a otro sin verse afectado por ellas. Es decir manejar en forma adecuada el concepto de colinealidad de los elementos dentro del sistema.

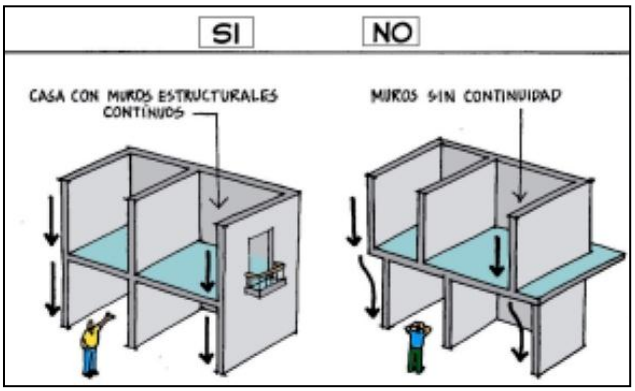


Figura 22. Aspectos de continuidad estructural, criterio básico de sismo resistencia. Fuente**: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).**

Suelo resistente, buena cimentación y adecuada localización de la vivienda:

Corresponde a las características que debe cumplir el terreno para que no se deforme de manera excesiva.

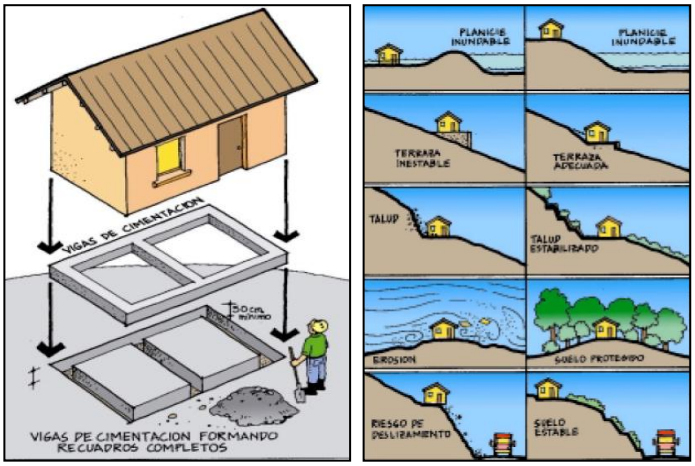


Figura 23. Aspectos de continuidad estructural en la cimentación, criterio básico de sismo resistencia. Fuente**: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).**

Uniformidad y buena calidad de materiales:

Se requiere materiales de buena calidad y que ofrezcan durabilidad en el tiempo. Es decir la capacidad que tienen los materiales de resistir agentes físicos, químicos, mecánicos, biológicos y ambientales. Además, que presente adecuada uniformidad en los materiales (se observa en la foto diferentes tipos de mampuestos).

Figura 24. Aspectos de uniformidad de materiales y buena calidad, criterio básico de sismo resistencia. Fuente**: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).**

Capacidad para disipar energía sísmica:

Esta capacidad está representada por la cantidad y distribución del acero en las columnas y vigas, lo cual le permite a la estructura soportar deformaciones sin daños graves en la mampostería no reforzada. Cuando una estructura No es dúctil se rompe facialmente, como es el caso de los muros construidos en unidades cerámicas cocidas

Figura 25. Aspectos de uniformidad de materiales y buena calidad, criterio básico de sismo resistencia. Fuente**: AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).**

7.3.3 Alternativas de reforzamiento de estructuras

En este documento presenta catorce (14) alternativas de reforzamiento estructural de viviendas populares ante eventos sísmicos, según los hallazgos realizados durante la revisión bibliográfica de la consultoría contratada.

Los métodos ó alternativas mostrados en la tabla 5, se organizan en orden de aparición según el hallazgo bibliográfico. Por tanto, su orden no obedece a un criterio especial.

Tabla 7. Métodos de reforzamiento de viviendas populares. Fuente: **Elaboración propia. Esta Tabla es el resultado de la revisión bibliográfica realizada durante la consultoría.**

Ítem	ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO DE VIVIENDAS POPULARES SEGÚN HALLAZGO BIBLIOGRÁFICO
1	Diagonales en Acero en pórticos para aumentar la rigidez del elemento
2	Recrecido de Vigas, para aumentar la capacidad de carga y rigidez
3	Recrecido de Columnas para aumentar la capacidad de carga y rigidez
4	Mampostería reforzada con fibras de vidrio externamente, para aumentar la rigidez
5	Mampostería externamente reforzada con malla de acero y pañete, para aumentar la rigidez
6	Mampostería reforzada malla de polipropileno, para aumentar la rigidez
7	Mampostería reforzada con Bambú (aplicado en Adobe) el bambú puede ir interno y externo
8	REFORZAMIENTO EN: Postensado con neumáticos de goma y platinas de acero y tornillos.
9	Adición de portico nuevo (Viga - Columnas) para aumentar la capacidad de carga y rigidez
10	Mampostería externamente reforzada con MARCO DE MADERA, para aumentar la rigidez
11	Mampostería reforzada con INYECCIÓN DE LECHADA, para aumentar la rigidez
12	Mampostería reforzada con CONTRAFUERTES, para aumentar la rigidez lateral de la vivienda
13	Mampostería reforzada con PET, para aumentar la rigidez
14	REFORZAMIENTO EN: Postensado barras de acero y platinas empotradas en la mampostería.

En los anexos del presente documento, el lector podrá encontrar información relacionados con los siguientes aspectos:

- Nombre del texto donde se extrae la información y fuente de la publicación.
- País, Año, Autor y Número de hojas del documento.
- Enfoque del texto analizado y utilidad para cumplir el propósito de nuestra investigación.
- Tipologías de reforzamiento sísmico encontrados en las publicaciones

Lo cual le permitirá ampliar su nivel de conocimiento al respecto.

De otra parte, al realizar un análisis detallado a la Tabla 5., se extraen (4) cuatro variables relevantes (ver la tabla 6.), la cual permite establecer los criterios generales para seleccionar el método de reforzamiento apropiado a la necesidad de refuerzo que demande la vivienda según los resultados del estudio de vulnerabilidad estructural.[4]

[4] **Tomado e interpretado de:** Helene, Paulo y Fernanda, Pereira. Tabla 9.1, página 410. Libro Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto. Sao Pablo, Brasil, año 2007.

Tabla 8. Cuatro (4) variables, extraídas de métodos de reforzamiento de vivienda popular hallados en la revisión bibliográfica. Fuente: **Adaptación realizada por los consultores del presente trabajo, del libro de Paulo Helene. Ver referencia completa según pie de página3.**

Cuatro (4) variables, extraídas de métodos de reforzamiento de vivienda popular hallados en la revisión bibliográfica.	
Según el elemento reforzado	Cubiertas
	Vigas
	Losas
	Columnas
	Muros
	Cimientos
Según la deficiencia estructural a reforzar:	Aumento de la capacidad a Tracción
	Aumento de la capacidad a Cortante
	Aumento de la capacidad a Compresión
	Aumento de la capacidad a Flexión
	Mejoramiento de las condiciones de Estabilidad
Según el método de refuerzo	Recrecido de secciones
	Construcción compuesta
	Reducción ó limitación de esfuerzos
	Postensado
	Incorporación de nuevos elementos
Según la técnica constructiva (materiales empleados)	Concreto armado
	Concreto proyectado
	Refuerzo en (acero, polímeros, madera, otros)
	Inyecciones (mortero, lechadas, etc)
	Adhesión de refuerzo externo

7.4 Detalles sobre las alternativas de reforzamiento y procedimiento constructivo

A continuación realizamos una descripción de las alternativas propuestas en tabla 5, los aspectos que son objeto de estudio en dicha descripción son los siguientes:

- Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple.
- Uso adecuado.
- Materiales básicos empleados.
- Procedimiento constructivo resumido.
- Limitaciones del método.

7.4.1 Caso 1. Diagonales en acero para los pórticos:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es disminuir el desplazamiento lateral de la estructura durante un sismo, es decir aumentar la rigidez de la vivienda. Además ayuda a corregir

problemas de efectos torsionales de toda la edificación debido a la irregularidad en planta y altura[5].

Los pórticos pueden ser reforzados con estructuras metálicas (riostras en X ó K) y su conexión con las vigas son de dos (2) tipos, directa e indirecta (ver Grafica 1 y 2) donde se explica y amplia él concepto.

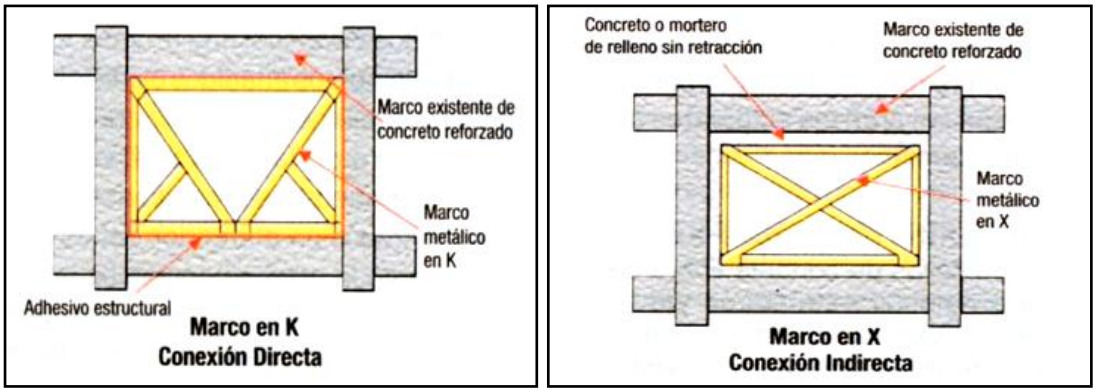


Figura 26. Esquema básico de refuerzo con marcos metálicos en X y K. Fuente: **EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América).**

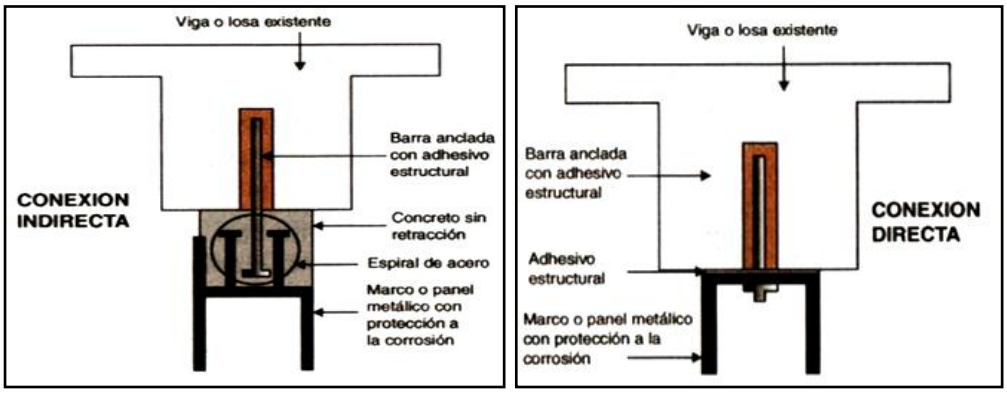


Figura 27. Esquema básico de refuerzo con marcos metálicos con el tipo de conexión directa e indirecta. La conexión indirecta permite el libre movimiento del marco, para disipar energía sísmica. Fuente: **EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América).**

Uso adecuado

Es una solución efectiva cuando tenemos grandes aberturas en fachadas, puede ser el caso de edificios de mampostería ó concreto reforzado con altura mayor a 3 pisos, además con fachada abierta. Es típico de centros comerciales, ó viviendas con grandes vanos.

[5] The Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Buildings with Masonry Infill Walls, EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América).

Figura 28. Representación real del reforzamiento de un edificio con marcos metálicos en K (Japón). Fuente: **EERI (Instituto de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos de Norte América). Página 55.**

Materiales básicos empleados

Perfiles I ó H en acero estructural laminados en caliente

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se apuntalan las vigas y losas aledañas a la zona de trabajo para redistribuir las cargas y evitar así que la estructura falla por inestabilidad del sistema. Se perfora las columnas existentes en la parte inferior y superior para instalar los pernos, se repite el mismo procedimiento con las vigas. Si es necesario se adecua la cimentación existente para soportar el peso del marco metálico

Limitaciones del método

El costo de la intervención es alto (comparado con el resto de alternativas) puesto que se trabaja con acero estructural. Por tanto, esta alternativa no es práctica para reforzar viviendas populares

7.4.2 Caso 2 y 3. Recrecido de sección de vigas y columnas

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la capacidad de carga del elemento estructural cuando hay daños en la zona de tracción de la viga, ver gráfica 3 en la parte inferior del presente documento, se muestra el tipo de refuerzo mencionado.

También es útil cuando las condiciones de arquitectura no permite adicionar elementos estructurales como vigas y columnas.

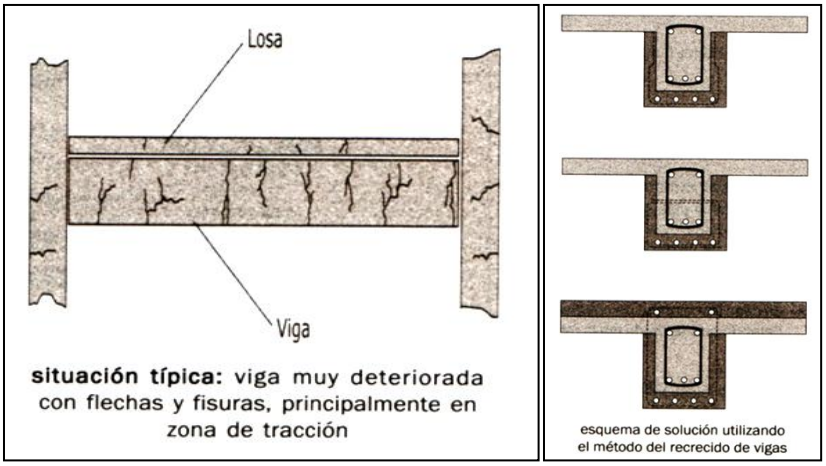


Figura 29. Esquema básico de solución utilizando el método refuerzo estructural con recrecido de viga ó columna Fuente: **Libros de Rehabilitación y mantenimiento de estructuras en concreto, Paulo Helene, Brasil.**

Uso adecuado:

Es una solución efectiva cuando tenemos limitación de espacio por la arquitectura y además cuando el estudio de vulnerabilidad estructural demuestra la necesidad de aumentar la capacidad de carga del conjunto. Esta alternativa permite reforzar uno ó varios elementos (vigas ó columnas) según los resultados obtenidos en el análisis y diseño estructural. Por tanto es práctico para reforzar viviendas populares

Materiales básicos empleados

Concreto reforzado de 21 Mpa de resistencia a compresión. El concreto debe ser auto nivelante con aditivo plastificante para garantizar la distribución adecuada del material en él encofrado. El tamaño máximo nominal de la grava es de ½ de pulgada (1.2 cm) y el acero de refuerzo longitudinal es de alta resistencia y tratado en caliente. Es necesario utilizar adhesivos químicos para garantizar la adherencia entre el concreto nuevo y antiguo.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se apuntalan las vigas y losas aledañas a la zona de trabajo para redistribuir las cargas y evitar así que la estructura falla por inestabilidad del sistema. Se escarifica ó desbasta cuidadosamente superficie de concreto de la viga ó columna (hasta llegar al refuerzo antiguo) para garantizar la adherencia entre el concreto nuevo y antiguo. Es importante que los materiales tenga similares módulos de elasticidad, es decir rigidez, para evitar el futuro desprendimientos de los dos concretos.

Se hace la perforación de las vigas ó columnas para anclar las barras nuevas. Se coloca el encofrado y se garantiza el curado de mínimo 7 días en la viga ó columna intervenida. La **Gráfica 5.** Presenta los detalles constructivos relevantes de esta alternativa de reforzamiento.

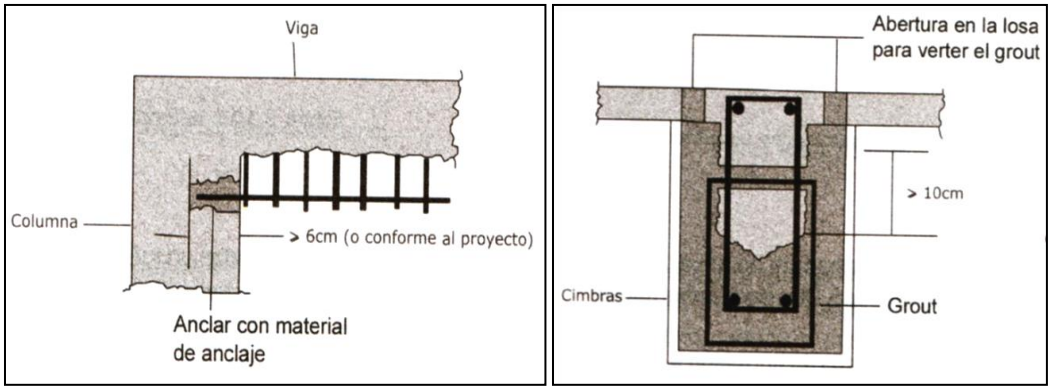


Figura 30. Detalles constructivos de la solución utilizado en el método refuerzo con recrecido de viga ó columna. Fuente: **Libros de Rehabilitación y mantenimiento de estructuras en concreto, Paulo Helene, Brasil**

Limitaciones del método

Esta alternativa no contempla la adición de elementos estructurales nuevos y completos, como es el caso de columnas y vigas.

7.4.3 Caso 4. Mampostería reforzada externamente con fibras de vidrio ó carbono[6]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la capacidad de carga del elemento estructural como son muros en mampostería, vigas y columnas ante la presencia de cargas verticales (vivas y muertas). Además es útil cuando las condiciones de arquitectura no permite realizar modificaciones sustanciales al espacio.

Uso adecuado

Es solución efectiva cuando queremos reforzar la mampostería de viviendas populares[7], también es aplicable a vigas y columnas.

Materiales básicos empleados

Fibra de vidrio resistente al álcalis y uso de adhesivos químicos para garantizar la adherencia del nuevo material al antiguo (en algunos casos se emplean fibras de carbono).

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se limpia la zona a intervenir, se escarifica ó desbasta (hasta llegar a una superficie sana, libre de fisuras ó grietas), se debe garantizar la adherencia entre el material nuevo y antiguo por medio de un adhesivo químico y luego se aplican los acabados. En este procedimiento no es necesario apuntalar ni descargar las vigas, losas y columnas.

[6] Reforzamiento con fibra de carbono. Colombia. 2009.

[7] A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures. Londres. Enero 2009.

Figura 31. Ensayos realizados en la universidad de los Andes sobre reforzamiento con fibras de vidrio en muros de mampostería. Fuente: Universidad de los Andes

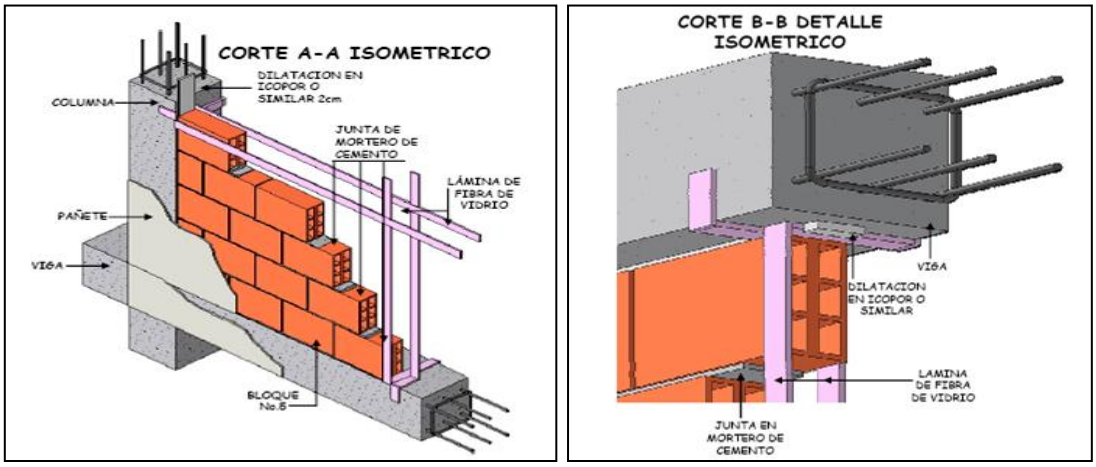


Figura 32. Detalles constructivos de la alternativa de solución propuesta reforzamiento con fibras de vidrio en muros de mampostería. Fuente: Cartilla publicada por Sika y la universidad de los Andes

Limitaciones del método

Es una alternativa costosa, puesto se debe garantizar la adherencia del material nuevo con el antiguo por medio de adhesivos químicos, los cuales incrementan el valor final de la intervención.

7.4.4 Caso 5. Mampostería externamente reforzada con malla de acero y pañete[8]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la rigidez del elemento estructural, como son muros en mampostería, vigas y columnas ante la presencia de cargas laterales ó sísmicas. Este es una de las alternativas de refuerzo de viviendas más utilizadas en el mundo[9] y en

[8] INFORMES TÉCNICOS: Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzada con malla de alambre soldado. CENAPRED. Colombia. Julio de 2004

[9] Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete. New Zealand. Enero de 2006.

Colombia, además la NSR – 10 (Norma Sismo Resistente) respalda el uso de esta técnica de refuerzo en el título D - 12.

Uso adecuado

Está solución efectiva cuando queremos reforzar la mampostería de viviendas populares, también es aplicable a vigas y columnas.

Materiales básicos empleados:

Malla electrosoldada y mortero para pañete dosificación 1:3 (cemento: arena), clavos de acero para fijar la malla a la mampostería existente.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se escarifica la superficie a intervenir ó desbasta hasta llegar a una zona sana, libre de fisuras ó grietas, de todos modos para realizar está intervención en necesario demoler parte del mortero existente para garantizar la adherencia del material nuevo con el antiguo y el espesor final del pañete.

Figura 33. Detalles constructivos de la alternativa de solución propuesta reforzamiento con malla electrosoldada y pañete Fuente: www.ingenieria.udea.edu.co

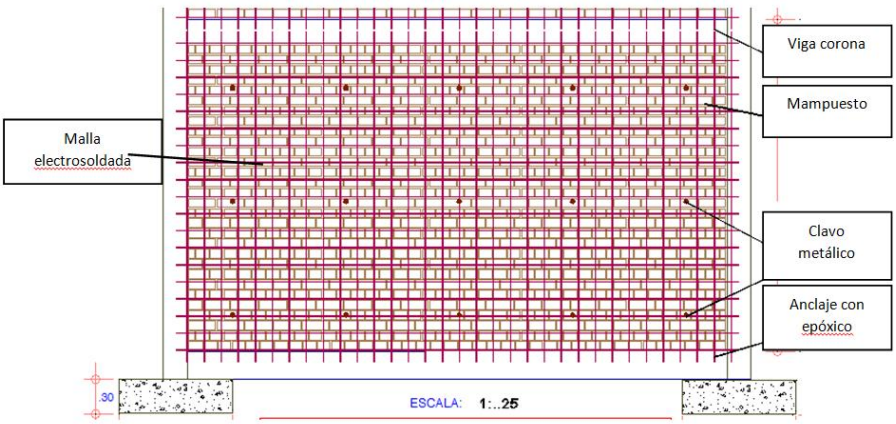


Figura 34. Detalles constructivos de la alternativa de solución propuesta reforzamiento con malla electrosoldada y pañete. Fuente: elaboración propia.

Limitaciones del método

Esta alternativa modifica la respuesta sísmica de la edificación. Esto significa que es necesario realizar análisis dinámicos de la vivienda. Por tanto, esta situación puede elevar los costos finales de la intervención.

7.4.5 Caso 6. Mampostería reforzada malla de polipropileno[10]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la capacidad de carga del muro mampostería y la rigidez del elemento estructural ante cargas laterales ó sísmicas. En la siguiente gráfica de esfuerzo deformación se observa cómo aporta ductilidad el refuerzo de polipropileno a un murete de mampostería cerámica.

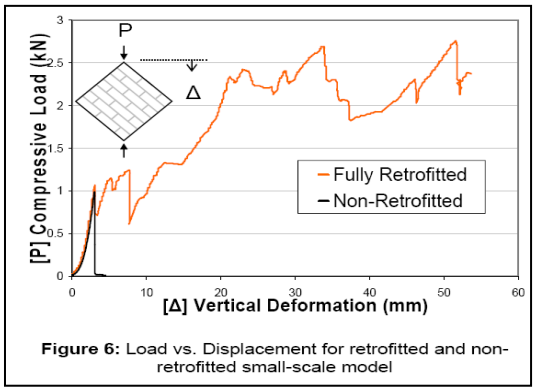


Figura 35. Ensayos realizados a muretes de ladrillo con refuerzo de polipropileno y sin refuerzo. Se observa la gran cantidad de deformación medidas en (mm) que se gana cuando se suministra la malla de polipropileno al murete. Fuente: **Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag (Sepal).**

[10] Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag (Difusión de las técnicas de reforzamiento sísmico a las comunidades rurales J. Macabuag).

Uso adecuado

Está solución es efectiva cuando queremos reforzar la mampostería de viviendas populares, este sistema es 30% más económico que la alternativa de reforzar con fibras de vidrio o carbono (ver caso 5 del presente documento).

Materiales básicos empleados

Malla de polipropileno y pañete dosificación 1:3 (cemento: arena) y acabados

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se prepara la superficie a intervenir y se suministra el refuerzo de polipropileno según especificaciones de diseño.

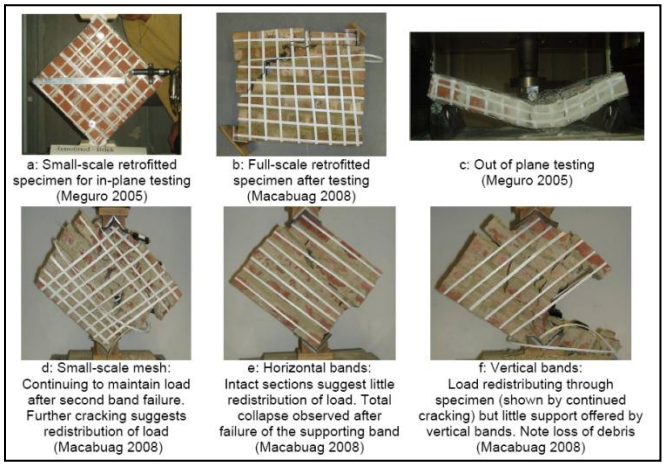


Figura 36. Ensayos realizados a muretes de ladrillo como alternativa de solución con malla polipropileno sin pañete. De otra parte, la gráfica permite observar la orientación de la malla y su influencia en la falla del murete. Fuente: **Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag**

Figura 37. Reforzamiento real de muros con malla polipropileno sin pañete, en comunidades de Nepal. Fuente: **Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities J. Macabuag**

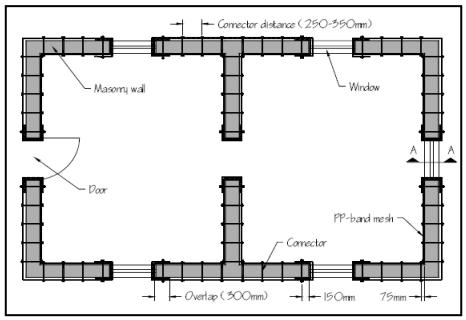


Figura 38. Distribución en planta de la ubicación de varios muros reforzados con malla polipropileno con ó sin pañete. Fuente: **Ver pie de página[11].**

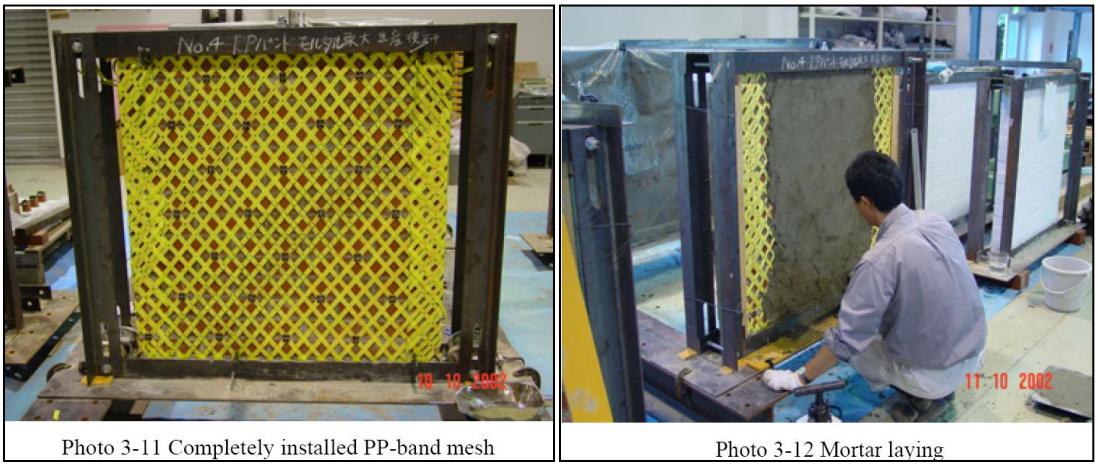


Photo 3-11 Completely installed PP-band mesh

Photo 3-12 Mortar laying

Figura 39. Esquema general del proceso constructivo del reforzamiento de muros con malla polipropileno con y sin pañete. Fuente: **Ver pie de página[8]**

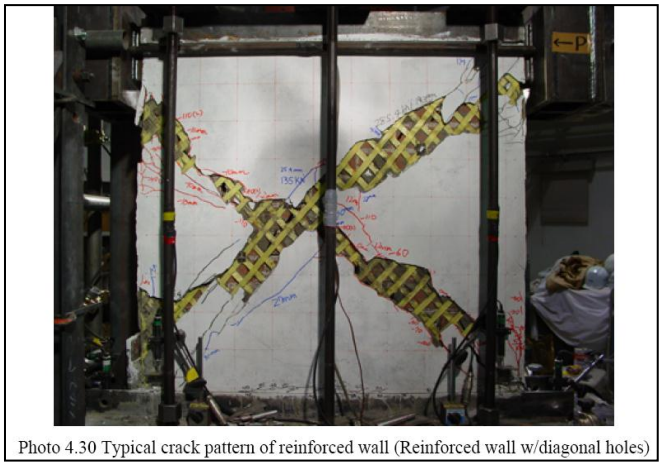


Photo 4.30 Typical crack pattern of reinforced wall (Reinforced wall w/diagonal holes)

Figura 40. Resultados del ensayo a cortante de los muros reforzados con malla polipropileno con pañete. Se observa que los mampuestos siguen en el lugar sin desprendimiento, aunque el muro falla en diagonal por corte excesivo. Fuente: **Ver pie de página[8]**

[11] Report on the state–of–the–art in the seismic retrofitting of unreinforced masonry houses by pp-band meshes. Paola Mayorca, Sathiparan Navaratnaraj and Kimiro Meguro. University of Tokyo July 2006

Figura 41. Resultados del ensayo a cortante de los muros sin reforzamiento de malla polipropileno. Se observa la falla del muro en diagonal por corte excesivo y la posibilidad de presentarse desprendimiento de mampuestos. Fuente: **Ver pie de página**[8]

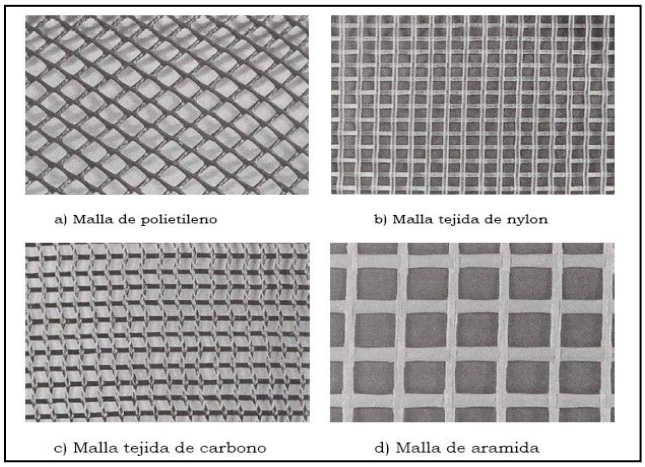


Figura 42. Tipos de malla utilizada en el reforzamiento de muros de mampostería cerámica los cuales evitan el desprendimiento de mampuestos. Fuente: **Tesis Doctoral. Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Daniel Albeiro Bedoya Ruiz. España. Septiembre de 2005.**

Limitaciones del método

Esta alternativa modifica la respuesta sísmica de la edificación. Esto significa que es necesario realizar análisis dinámicos de la vivienda, por tanto, esta situación eleva los costos finales de la intervención. Esta alternativa comparada con el caso 5 es un 30% más económica[12] ya que no requiere uso de acero estructural

[12] A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures. Londres. Enero 2009.

7.4.6 Caso 7. Mampostería reforzada con bambú (aplicado en adobe) el bambú puede ir interno y externo[13]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la rigidez del elemento estructural y la capacidad de carga de los muros de mampostería en especial de adobe.

Uso adecuado

Está solución efectiva cuando tenemos viviendas con muros en adobe

Materiales básicos empleados

Bambú como material de refuerzo.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos. Luego se prepara la superficie a intervenir y se suministra el refuerzo (bambú) los cuales pueden ser instalados internos (durante la construcción) ó externos (después de construida la vivienda).

Limitaciones del método

Esta alternativa es aplicada en especial a la mampostería de adobe. Por tanto, no es útil para estructuras de ladrillo cocido. Esta alternativa se menciona, puesto que hay una zona ubicada en el centro de la ciudad de Bogotá (Barrio de Candelaria) donde predominan este tipo de material constructivo[14].

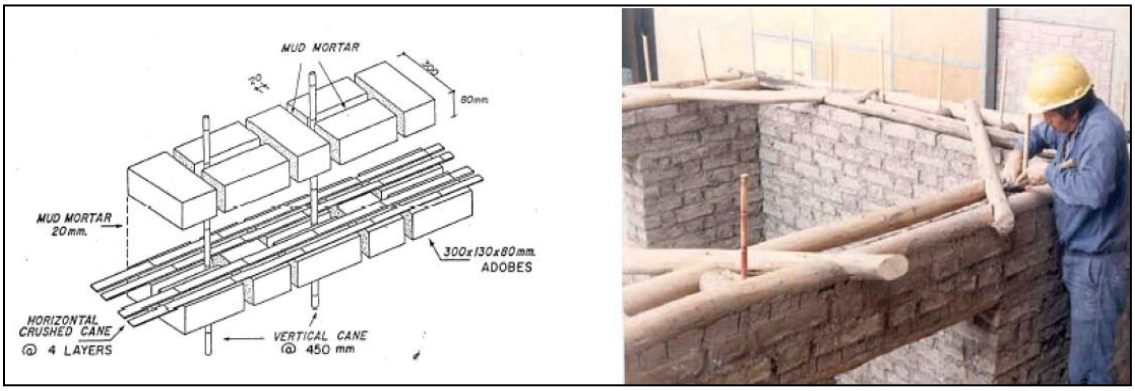


Figura 43. Reforzamiento real de muros de adobe con bambú en comunidades de Perú. Fuente: **Seismic protection of earthen buildings.**

[13] Seismic protection of earthen buildings.

[14] Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. Luis EduardoYamín Lacouture, Camilo Phillips Bernal, Juan Carlos Reyes Ortiz. Colombia. Año 2007.

Figura 44. Reforzamiento externo con bambú de muros de adobe en comunidades de Perú. Año 2005. Fuente: **A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures.**

7.4.7 Caso 8. Reforzamiento postensado con neumáticos de goma, platinas de acero y tornillos[15]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es dispar la energía sísmica de los muros evitando la caída del mismo.

Uso adecuado

Está solución es efectiva para evitar la caída de los ladrillos que conforman la mampostería, sin embargo solo ayuda a disipar la energía de muro ante el vuelco, pero el muro puede romperse y dañarse por efecto del cortante sísmico ya que la estructura no presenta refuerzo a corte.

Materiales básicos empleados

Neumáticos de goma de vehículos como material de refuerzo a la flexión, se utiliza platinas o barras de acero de 3/4 de pulgada y tornillos para garantizar el anclaje de las bandas (ver figura 29).

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se prepara la superficie a intervenir. En la parte superior del muro se dejar una cavidad que permita insertar en forma vertical cada 30 cm los neumático de goma, dicho neumático debe atravesar el muro esto con el propósito de evitar el vuelco de la mampostería, se anclan las bandas de neumático con tornillos de 10 cm de longitud como muestra la Figura 44.

[15] A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures (Una revisión crítica de los métodos de reforzamiento de estructuras de mampostería sin refuerzo).

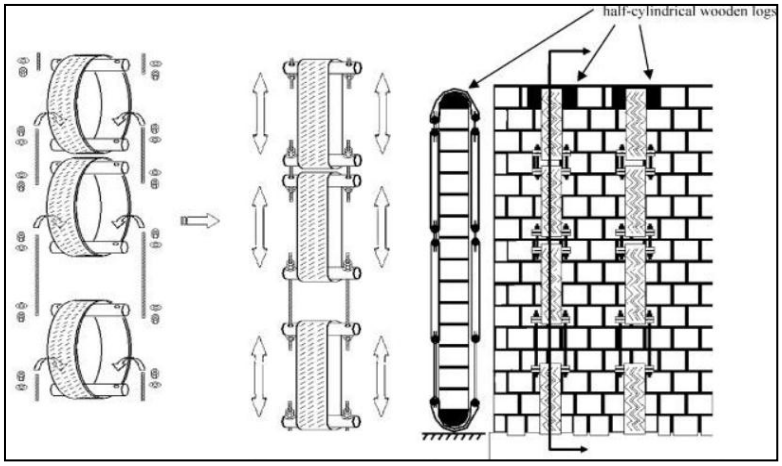


Figura 45. Detalles de la construcción del postensionado con bandas de neumático. Fuente: **A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures. Andrew Smith & Thomas Redman. January 2009**

Limitaciones del método

Esta alternativa es una variante del caso de pañete reforzado, pero el uso de material de acero como refuerzo aumenta los costos de la intervención además esta alternativa no presenta refuerzo efectivo a cortante

7.4.8 Caso 9. Adición de pórtico nuevo (viga - columnas)

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la capacidad de carga de la estructura y suministro de rigidez a todo el sistema estructural, ante la acciones de fuerzas sísmicas. Esta labor se logra por medio de la adición de pórticos (viga – columna) a un vano. Esta alternativa presenta algunas variaciones las cuales se pueden observar a continuación en la Figura 30.

Uso adecuado

Está solución es efectiva para reducir las esfuerzos en vigas y columnas por sobre cargas. El pórtico nuevo puede ser el remplazo de una parte ó la adición completa, se puede emplear en viviendas populares para reducir la vulnerabilidad general sistema.

Materiales básicos empleados

Concreto reforzado con máxima relación agua / cemento de 0.5, el tamaño máximo nominal de la grava de ½ pulgada, emplear cemento tipo 1, el agua debe estar limpia y en lo posible potable, la arena debe estar libre de materia orgánica y materiales extraños como arcillas y limos. El acero de refuerzo a flexión debe ser ½ pulgada como mínimo, y los flejes de 3/8 de pulgada como mínimo (ver Figura 30).

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con el diseño de planos estructurales y detalles constructivos. Se apuntalan las vigas y losas aledañas a la zona de trabajo para redistribuir las cargas y evitar así que la estructura falla por inestabilidad del sistema. Se construye la fundación ó cimientos del

nuevo pórtico. Se arman y funden las nuevas columnas y vigas acuñándolas contra la estructura existente. Se controla la retracción del concreto para evitar luces o espacios no deseados entre los dos pórticos. Se instala el encofrado para retirarlo como mínimo a los 3 días. Se debe garantizar un curado continuo durante 7 días.

Limitaciones del método

Esta alternativa es costosa (comparada con los casos anteriores), puesto que se requiere la construcción de un cimento para las columnas y el usos de equipos, medidas de seguridad industrial, entre otros los cuales aumentar los costos de la intervención. De otra parte, es necesario mejorar el acabado de la vivienda intervenida debido a la adición estructural.

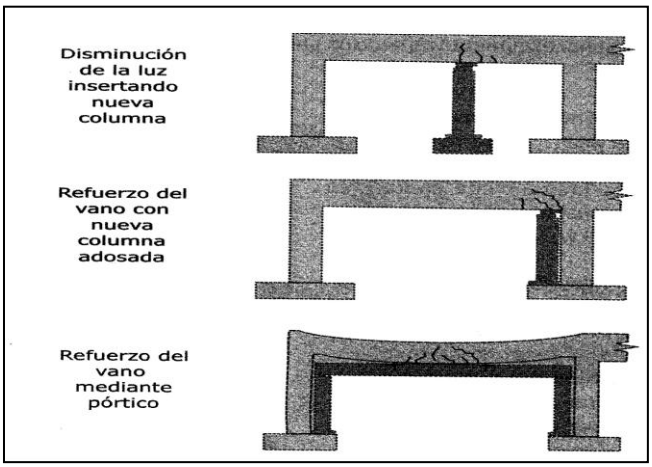


Figura 46. Esquema general de los diferentes tipos de adición de elementos a un pórtico. Fuente: **Paulo Helene y Fernanda Pereira**

7.4.9 Caso 10. Mampostería externamente reforzada con marco de madera[16]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la rigidez del elemento estructural (muro en mampostería) ante la acción de cargas laterales ó sísmicas. Además es útil cuando el costo de las otras alternativas son altas.

Uso adecuado

Está solución efectiva cuando queremos reforzar la mampostería de viviendas populares.

Materiales básicos empleados

Listones de madera (tipo C según NSR-10 título G), la madera debe ser tratada para resistir los agentes patógenos que la puedan degradar, como la humedad y los hongos.

[16] Estudio realizado por el CIMOC, Colciencias y Sika, con el propósito de conocer los materiales útiles para reforzar viviendas populares.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos. Luego se limpia la zona a intervenir, se escarifica ó desbasta hasta llegar a una superficie sana libre de fisuras ó grietas. Es necesario garantizar la adherencia de las franjas de madera a la estructura existente y se aplican acabados.

Limitaciones del método

Esta alternativa se afecta con la humedad y los hongos, es necesario tratar la madera y este tratamiento puede aumentar los costos de la intervención. Además comparado con otros materiales como los metálicos, la madera aporta poca ductilidad al sistema que se pretende reforzar.

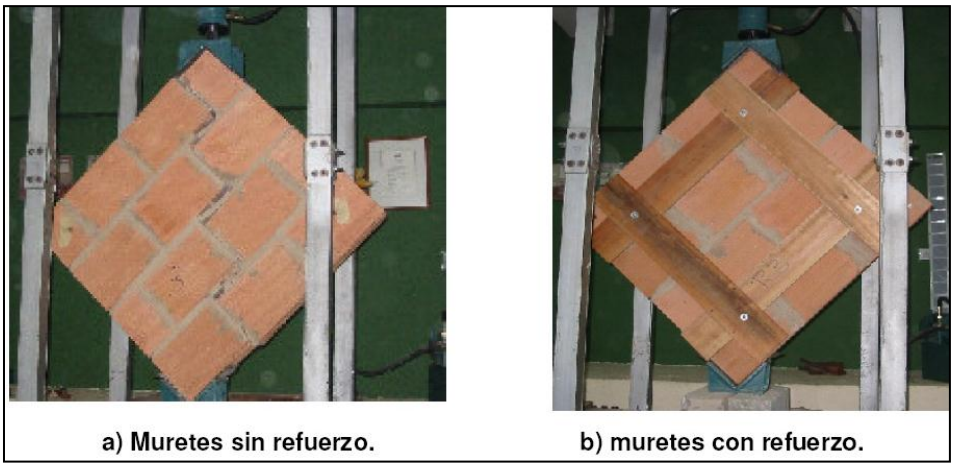


Figura 47. Ensayos de reforzamiento de muros cerámicos con listones de madera. Fuente: **Universidad Javeriana, Colombia, año 2007[17].**

Figura 48. Detalles sobre el proceso de instalación del anclaje para realizar el reforzamiento de muros cerámicos con listones de madera realizados en la universidad Javeriana Fuente: **Universidad Javeriana, Colombia, año 2007[18]**

[17] Rehabilitación sísmica de mampostería NO estructural mediante listones de madera, Andrea Serrano y María Angélica Molano, Universidad Javeriana, Colombia, año 2007.

7.4.10 Caso 11. Mampostería reforzada con inyección de lechada[19]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la rigidez de los muros de mampostería fisurado ó agrietado por las acciones de las fuerzas sísmicas.

Uso adecuado

Está solución es efectiva cuando queremos reforzar a bajo costo la mampostería en viviendas populares, que han sufrido daño por sismos pasados y el sistema de resistencia sísmica de la vivienda está intacto.

Materiales básicos empleados

Lechada de agua cemento con aditivos que mejoran la calidad del material cementante, además requiere el usos de equipos espaciales para la aplicación de la lechada, también es usual remplazar la lechada por resinas epóxicas.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con la limpieza de la superficie a intervenir, se escarifica – ó desbasta (hasta llegar a una superficie sana y libre de fisuras ó grietas), y se aplica la lechada de agua – cemento y aditivos, se realizan acabados.

Limitaciones del método

Esta alternativa requiere el uso de equipos espaciales para la aplicación de la lechada y una mano de obra calificada. En algunos casos se utilizan resinas epóxicas las cuales aumentan el costo de la intervención. En otros casos la lechada queda mal aplicada y se crean zonas de diferentes rigideces.

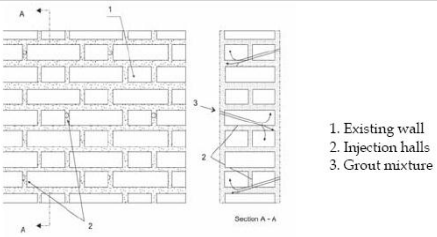
	 *Fig. 1.1 Aplicación de inyecciones de lechada*	
Eficiencia	En Plano	Fuera de Plano
	• Restaura la rigidez inicial • $F_r^1 \approx 0.8\text{-}1.4\ F_{ur}^2$	• Puede restaurar la rigidez inicial

Figura 49. Esquema general de la aplicación de la lechada a una losa ó muro. Fuente: **Articulo, una revisión crítica de los métodos de reforzamiento de estructuras de mampostería sin refuerzo**

[18] Rehabilitación sísmica de mampostería, Andrea Serrano y María Angélica Molano, Universidad Javeriana, 2007.

[19] A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures. Londres. Enero 2009.

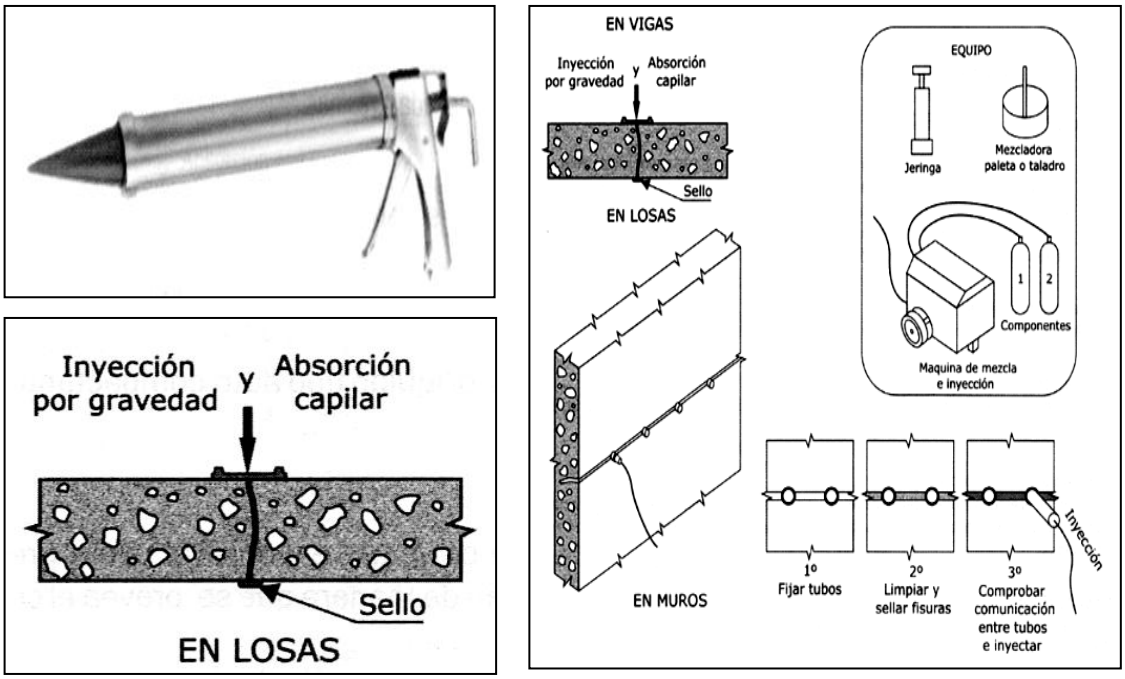


Figura 50. Esquema general de la aplicación de la lechada a una losa ó muro Fuente: **Paulo Helene y Fernanda Pereira.**

7.4.11 Caso 12. Mampostería reforzada con contrafuertes[20]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la rigidez lateral de los muros de mampostería que presentan gran altura (mayor a 3 metros) y muros largos (mayor a 4 metros).

Uso adecuado

Está solución es efectiva cuando queremos reforzar a bajo costo la mampostería en viviendas populares, que presentan muros esbeltos, este sistema mejora sustancialmente la estabilidad del muro.

Materiales básicos empleados

Estructuras de concreto reforzado o mampostería en forma de machones. El concreto debe tener resistencia mínima de 21 Mpa.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con la construcción del contrafuerte desde las esquinas hacia el interior de la vivienda con el propósito de confinar toda la estructura existente (ver Gráfica 21). Luego se debe garantizar que el nuevo muro quede conectado al sistema de mampostería antiguo. El contrafuerte se puede hacer con ladrillos cerámicos ó muro en concreto reforzado.

[20] Recomendaciones Simples y Económicas de Reforzamiento Sísmico para Estructuras Típicas de América Central. Noruega. Agosto 2009.

Limitaciones del método

Esta alternativa afecta la arquitectura de la vivienda. Además los costos se aumentan si el contrafuerte se hace en mampostería.

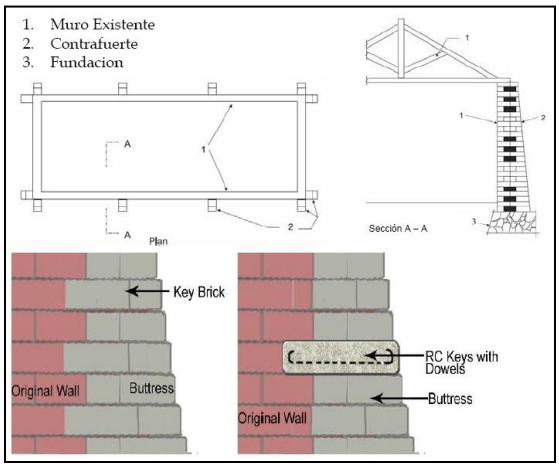


Figura 51. Esquema general de la construcción de un contrafuerte. Fuente: **Recomendaciones simples y económicas de reforzamiento sísmico para estructuras típicas de América central. Noruega. Agosto 2009.**

7.4.12 Caso 13. Mampostería reforzada con PET[21]:

Objetivo del reforzamiento y la relación que presenta con la deficiencia estructural que suple: El propósito principal es aumentar la rigidez del muro en mampostería ante la acción de cargas laterales ó sísmicas. También es útil cuando el costo de las otras alternativas son elevadas. Es un método que ayuda a la conservación del medio ambiente puesto que se apoya busca la reutilización del PET reciclado.

Uso adecuado

Está solución es efectiva cuando queremos reforzar la mampostería de viviendas populares, caso de muros divisorios.

Materiales básicos empleados

PET (Tereftalato de Polietileno) reciclado y en algunos casos un material adhesivo para garantizar la adherencia del PET con la estructura existe.

Procedimiento constructivo resumido

Se inicia con diseño de planos estructurales y detalles constructivos, luego se limpia la zona a intervenir, se escarifica ó desbasta hasta llegar a una superficie sana, libre de fisuras y grietas. Se debe garantizar la adherencia de las franjas de PET a la estructura existente y se luego aplican los acabados.

[21] Tesis de grado en la universidad de los Andes (Ingeniería Mecánica) Ing. Mauricio Serrano Torres.

Limitaciones del método

Esta alternativa según el autor del estudio (ver pie de página 18) el estudio concluye que el método no es muy eficiente para reforzar ante acciones de corte, puesto que hay poca adherencia entre el PET y la mampostería, sin embargo este método ayuda reduciendo el desprendimiento y caída de los ladrillos.

Figura 52. Esquema general del murete reforzado con PET. Fuente**: Mauricio Serrano Torres, Universidad de los Andes. 2004.**

8 Criterios generales para seleccionar el método de reforzamiento apropiado a la necesidad de refuerzo que demande la vivienda según la vulnerabilidad estructural

Para la selección y diseño de un refuerzo estructural apropiado, es necesario considerar al menos los siguientes aspectos.

1. Resultado del diagnóstico sobre el estudio de patología y vulnerabilidad estructural de la vivienda.
2. Condiciones arquitectónicas y operacionales.
3. Materiales, mano de obra disponible en el lugar.
4. Costos de la alternativa seleccionada.
5. Plazos de entrega de la obra.

Por tanto, no podemos establecer un método definitivo de intervención, es relevante observar cada caso y ajustarlo a la caracterización de la vivienda. Por tanto se sugiere las siguientes alternativas de reforzamiento según la caracterización realizada (ver las tablas anexas).

Tabla 9. Reforzamiento en Cimientos

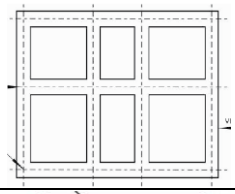
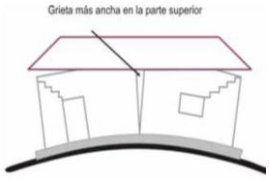
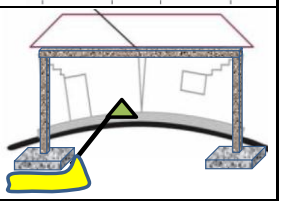
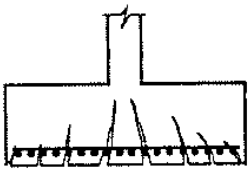
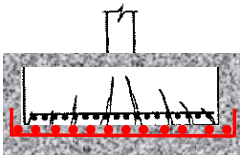
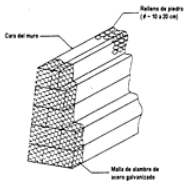
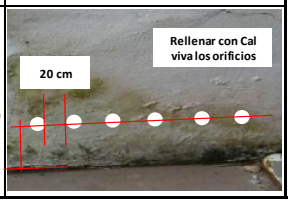
ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO PROPUESTA PARA VIVIENDAS INFORMALES				
ÍTEM	**DESCRIPCIÓN DE LA DEFICIENCIA CONSTRUCTIVA**	**FOTOGRAFÍA DEL DAÑO**	**DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PROPUESTA**	**ESQUEMA DEL REFORZAMIENTO**
DEFICIENCIAS CONSTRUCTIVAS EN EL SISTEMA DE CIMENTACIÓN				
1	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo en mampostería confinada y se identifica que no tiene un sistema de cimientos continuo y adecuado abajo de los muros.		Se recomienda la construcción de una viga de cimentación (conformando anillos cerrados y continuos) en la parte inferior de los muros de toda la vivienda, es importante revisar las recomedaciones técnicas establecidas en la NSR - 10 título E.	
2	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que las columnas y algunos muros tienen grietas ubicadas en sentido diagonal, causadas por el asentamiento diferencial de las zapatas y vigas de cimientos.		Se recomienda aplicar en la parte inferior del cimiento (zapata o viga) una lechada de mortero, para estabilizar el terreno, evitando que se asiente y aumente el daño en muros.	
3	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se requiere aumentar la capacidad de carga de las zapatas.		Se recomienda realizar un recalce en la parte inferior del cimiento (zapata o viga) utilizando concreto reforzado.	
4	Cuando la vivienda informal esta construida en ladera y se detecta que el sistema de contención presenta graves deficiencias constructivas reflejado en caida de sus componentes constructivos y inestabilidad lateral del terreno.		Se recomienda demoler el sistema de contención deficiente y construir uno nuevo, puede ser en gaviones, tierra armada (según estudio previo realiazo por ingenieros especialistas en el tema).	
5	Cuando la vivienda informal esta construida en zonas humedas y se detecta que alrededor de los pie de muro hay humedades mayores a 40 cm de altura.		Se recomienda hacer perforaciones en el muro espaciadas cada 20 cm a 20 cm del pie del muro, después se debe dejar airear durante 20 días para luego rellenar los orificios con cal viva para que la cal absorba el agua capilar.	

Tabla 10. Reforzamiento en muros

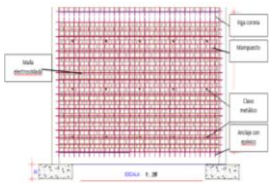
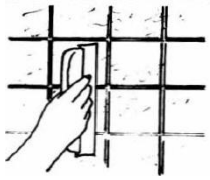
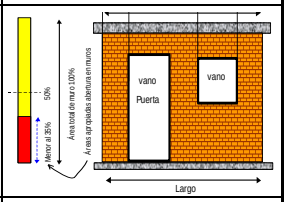
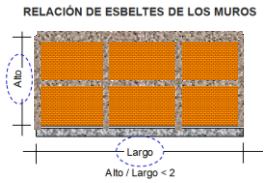
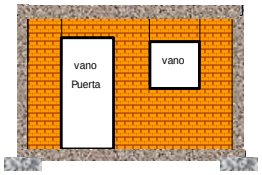
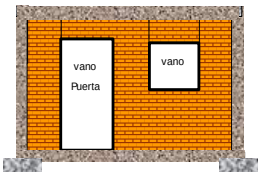
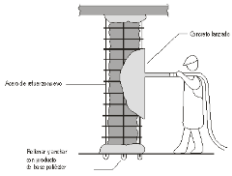
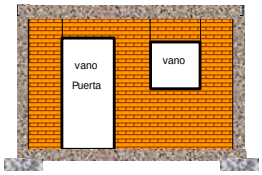
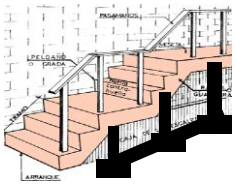
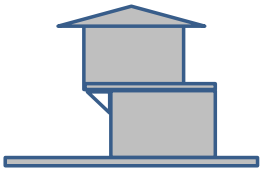
ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO PROPUESTA PARA VIVIENDAS INFORMALES				
ÍTEM	**DESCRIPCIÓN DE LA DEFICIENCIA CONSTRUCTIVA DETECTADA**	**ESQUEMA O FOTOGRAFÍA DEL DAÑO**	**DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PROPUESTA**	**ESQUEMA DEL REFORZAMIENTO**
DEFICIENCIAS CONSTRUCTIVAS EN LA MAMPOSTERÍA				
1	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que los muros de fachada y divisorios no tiene amarre ni confinamiento adecuado o presentan diferente tipo de calidad en los mampuestos		Se recomienda la construcción de un pañete reforzado, con el propósito de evitar la caída de los ladrillos sueltos, hay que garantizar el anclaje de toda la estructura nueva con la antigua en especial en las esquinas, con las vigas, columnas o a los mampuestos laterales.	
2	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que los muros de fachada y divisorios no tiene acabados adecuados.		Se recomienda suministrar a la construcción un acabado que garantice la imperabilización de los mampuestos sin hermetizarlo, para evitar el daño del mismo, o de lo contrario instalar cerámicas resistentes a la humedad.	
3	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que los muros de fachada tienen excesiva abertura mayor al 35% de área total del muro.		Se recomienda verificar que no existan aberturas excesivas (mayor al 35% del área total del muro) de lo contrario es necesario realizar un pañete reforzado.	
4	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que los muros de fachada o interno son esbeltos tienen una relación alto / largo menor a 2.		Se recomienda verificar que exista una relación alto/largo menor a 2, de lo contrario es necesario construir una pórtico para dividir la zona esbelta como se muestra en el esquema adjunto (crear muros cortos menors a 3 metros de largo y 2 metros de alto).	
5	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que algunos muros internos no tienen columnas que confine los muros.		Se recomienda la construcción de un pórtico (viga 25 * 30 cm - columnas 25 *25 cm) con sus respectivas zapatas de (80*80 cm) y viga de cimiento (25 *30 cm).	

Tabla 11. Reforzamiento en Pórticos

ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO PROPUESTA PARA VIVIENDAS INFORMALES				
ÍTEM	**DESCRIPCIÓN DE LA DEFICIENCIA CONSTRUCTIVA DETECTADA**	**ESQUEMA O FOTOGRAFÍA DEL DAÑO**	**DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PROPUESTA**	**ESQUEMA DEL REFORZAMIENTO**
DEFICIENCIAS CONSTRUCTIVAS EN EL SISTEMA DE (PÓRTICOS, LOSAS, VIGAS, ESCALERAS, CUBIERTAS)				
1	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que hay pórticos incompletos, tanto en la fachada como en los muros divisorios.		Se recomienda completar la construcción del pórtico (viga 25 * 30 cm - columnas 25 *25 cm) con sus respectivas zapatas de (80*80 cm) y viga de cimiento (25 *30 cm).	
2	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que las columnas no presentan un distribución adecuada de los flejes (refuerzo resistente al corte).		Se recomienda hacer un recalce de columna, suministrando concreto nuevo.	
3	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que hay pórticos improvisados.		Se recomienda construir un pórtico (viga 25 * 30 cm - columnas 25 *25 cm) con sus respectivas zapatas de (80*80 cm) y viga de cimiento (25 *30 cm).	
4	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que los muros de fachada o interno son esbeltos tienen uan relación alto / largo mayor a 2.		Se recomienda construir una columna (25 *25 cm) con sus respectiva zapata de (80*80 cm) en el muro para ayudar a soportar la escalera (las columnas se hacen cada 80 cm).	
5	Cuando la vivienda informal presenta un sistema constructivo hibrido (en mampostería y pórticos) y se detecta que la losa de entrepiso presenta fisuras debido a la falta de refuerzo en la parte superior del voladizo.		Se recomienda construir un pie de amigos en la parte inferior del voladizo, para ayudar a resistir la carga vertical, sin embargo esta acción afecta estetica de la vivienda intervenida. Otra solución es colocar platinas de acero de 5 mm de espesor, ubicada en la misma zona del pie de amigo.	

9 Recomendaciones para la actualización y complementación en la Norma de Competencia Laboral del SENA

Para el desarrollo de las recomendaciones para la actualización y complementación que se tengan en cuenta en el desarrollo de la Competencia Laboral del SENA "EVALUAR EL RIESGO DE CONSTRUIR SIN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CONOCER PROCEDIMIENTOS PARA ADELANTAR OBRAS EN VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS EN ZONAS URBANAS VULNERABLES", se analizó los mayores inconvenientes presentados en las viviendas que pueden ocasionar aumento en la vulnerabilidad y que por su frecuencia son de importancia para definir en una capacitación especifica en el sector.

Por lo cual, dada la capacitación se establecen las condiciones típicas de las viviendas que generan vulnerabilidad en el proceso, los siguientes son los puntos de mayores vulnerabilidades seleccionados:

9.1 Recomendaciones en el sistema estructural

9.2 Voladizos

9.3 Ménsulas

9.4 Estructuras de contención

9.5 Errores en los muros

9.6 Errores de la colocación del refuerzo

9.7 Recomendaciones en placas y cubiertas

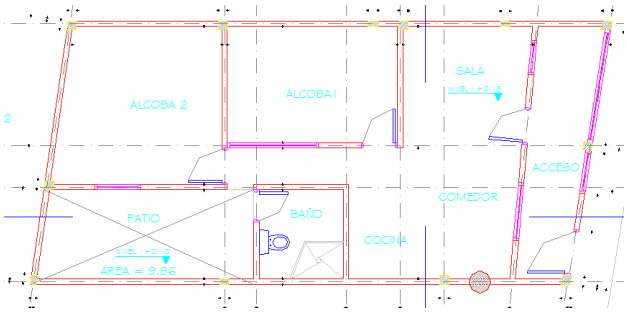
swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**1**

DEFICIENCIAS SISTEMA ESTRUCTURAL

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
100% de lo estudiado	405.260 predios

FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD

- Falta de una viga de amarre superior que cierre el sistema estructural
- Ubicación asimétrica de las columnas o columnetas.
- Combinación de sistemas estructurales en pisos diferentes o en el mismo nivel.
- Falta de continuidad vertical de elementos estructurales.
- Altas diferencias entre muros en las dos direcciones.



RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN

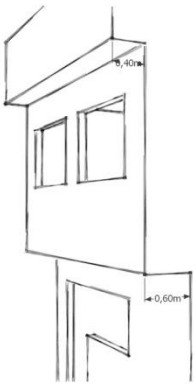
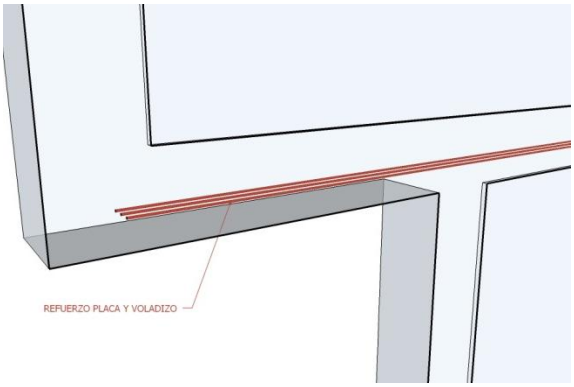
Aun cuando la capacitación del SENA realza todos estos aspectos es conveniente confirmar que de forma obligatoria se debe incluir:

- Cuales son los sistemas estructurales
- Que es continuidad vertical de elementos estructurales
- Instruir sobre la necesidad de rigidizar la vivienda en el sentido transversal, aumentando la cantidad de muros en este sentido o aumentando la rigidez de los mismos lo que se obtiene con los diferentes métodos de reforzamiento considerados.
- Instruir primordialmente en la mampostería confinada y como conformar lo existente a MAMPOSTERIA CONFINADA.

swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**2**

VOLADIZOS

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
70% de lo estudiado	283.682 predios

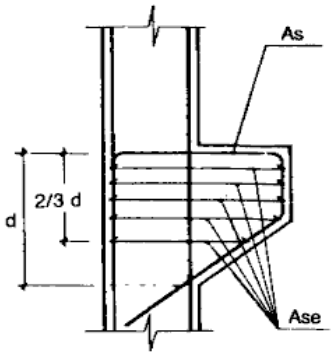
FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD	
	• Construcción de voladizos sucesivos • No ubicación del refuerzo en la zona superior de la placa. • La construcción de ménsulas sin las indicaciones adecuadas
	

RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN
• Incluir hacer énfasis sobre el incremento de vulnerabilidad aumentando el voladizo • Instruir de la Norma Urbanística que prohíbe el aumento del voladizo • Instruir de la Norma eléctrica RETIE que recomienda la máxima extensión • Dar claridad sobre el refuerzo y la ubicación del mismo en un voladizo.

swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**3**

MENSULAS

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
14% de lo estudiado	56.736 predios

FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD	
	• Construcción de ménsulas posterior a la fisura de la placa • Apoyo de ménsulas en zonas no aptas o que no cuentan con el refuerzo o capacidad adecuada. • Ménsulas mal dimensionadas excesivas o muy pequeñas. • Deficiente amarre de las mismas.
	

RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN
• Realizar recomendaciones de dimensionamiento • Recomendar como se ancla el refuerzo a la estructura existente • Recomendar la evaluación de cuando y en que momento debe construirse.

swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**4**

ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
47% de lo estudiado	190.472 predios

FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD	
	• Elaboración de muros de contención solo con piedra pegada que no garantizan la estabilidad • Utilización de sótanos en alturas superiores de 1,8mt • No adecuación del terreno para la construcción de estos elementos • Los altos costos para la construcción de elementos de contención debidamente diseñados.

RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN
• Instruir sobre el riesgo de colapso ante fuerzas horizontales • Hacer énfasis de la importancia de la construcción de vigas de cimentación que unan el sistema de cimentación. • Capacitar sobre el tipo de relleno a utilizar y la forma como se debe disponer en la vivienda para la nivelación. • Capacitar sobre el tipo (tamaño y forma) que debe tener la roca a utilizar en este tipo de estructura. • Instruir sobre la posibilidad de construir elementos de contención y soporte como los muros en gaviones que no distan mucho de la inversión actual.

swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**5**

ERRORES EN LOS MUROS

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
30% de lo estudiado	121.578 predios

FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD	
	• Combinación de diferentes mampuestos en el mismo muro o en el mismo piso. • Deficientes amarres entre los muros perpendiculares • Pegas excesivas entre las unidades de mampostería (mas de 1,5cm) • Las aberturas en los muros de fachadas • No utilización de dinteles sobre los vanos

RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN
Aun cuando en la capacitación debe existir un capitulo sobre mampostería, en él debe incluirse: • La importancia del mortero de pega (calidad de materiales y resistencia) • Instruir sobre el ancho mínimo y maximo del mortero de pega • Capacitar sobre el tipo de amarre entre los muros perpendiculares • Capacitar sobre los inconvenientes de rigidez de la combinación de mampuestos • Ilustrar sobre los dinteles como elemento estructural para evitar colapso en los vanos.

swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**6**

ERRORES EN EL REFUERZO

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
75% de lo estudiado	303.945 predios

FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD	
	• La falta de recubrimiento de la barra ocasiona oxidación y corrosión incrementada por la perdida de la alcalinidad generada por la carbonatación • Carbonatación total del concreto de recubrimiento • No existe una zona de confinamiento del refuerzo • Prolongaciones del acero de refuerzo sin recubrir por largos periodos de tiempo.

RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN
En el capitulo de la capacitación del tema de refuerzo, se debe incluir: • Manejo del refuerzo en obra • Métodos de recubrimiento para futuras construcciones • Características y recomendaciones de distancias mínimas de recubrimiento. • Capacitar sobre la zona de confinamiento del refuerzo transversal, el motivo y las consecuencias de no realizarla (foto)

swisscontact	**FICHA DE ACTUALIZACIÓN FORMACIÓN DE MAESTROS SENA**	**7**

PLACAS Y CUBIERTAS

FRECUENCIA ENCONTRADA	IMPACTO ESTIMADO EN LA CIUDAD
N/A	N/A

FACTORES QUE INCREMENTAN LA VULNERABILIDAD	
	• Las placas aligeradas tienen deficientes aligeramientos. • Mal apoyados en los elementos de borde esto aplica tanto para las lozas de concreto como para las cubiertas. • Elementos pesados sobre las cubiertas.

RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACIÓN
Aun cuando no es tan frecuente, las siguientes son recomendaciones que se deben incluir en la capacitación: • Instruir sobre el tipo de lozas de concreto (aligerada y maciza) • Aclarar sobre los tipos de aligeramiento en las lozas, pre dimensionar espacios y tipos de material. • Forma, tipo y ubicación del refuerzo mínimo que se requiere para desarrollar las lozas de concreto. • Tipo de apoyo y recomendaciones mínimas. • Instrucciones de colocación, amarre y construcción de la cubierta para los diferentes materiales.

10 BIBLIOGRÁFIA

PRINCIPAL:

Matriz de hallazgos bibliográficos, ver anexos.

Manual de Diseño, Muros Divisorios y de Fachada en Mampostería, (Detalles y Diseño para un buen Comportamiento Sísmico) Santa fe Ladrillera. Memorias de Clase. (2004)

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y Patología del Concreto. Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO 1ª Edición 2002 2ª reimpresión 2003. Bogotá. 219 Páginas. (2003).

YAMÍN, Luis Eduardo "Comportamiento Sísmico de Muros de Mampostería Confinada" Universidad de los Andes, Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica" 1994

AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica). Revista Internacional de Ingeniería Estructural Omar Darío Cardona. Estimación del Riesgo Sísmico relativo de Santa Fé de Bogotá Apéndice (A) Página 35 – 43.

AIS, 2010. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, Ley 400 de 1997, Decreto Ley 33 de 1998, Santa Fe de Bogotá.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Adición, Modificación y Remodelación del Sistema Estructural de Edificaciones Existentes antes de la Vigencia del Decreto 1400/84. Norma AIS-150-86. Bogotá, 1986.

SECUNDARIA:

REVISTA NOTICRETO – Revista de la Técnica y la Construcción ASOCRETO No. 74

Seguridad en la Construcción ¿Sólo Terremotos?

GALLEGO, Mauricio - Silva

Página 36 - 43

(Febrero – Abril 2005)

REVISTA NOTICRETO – Revista de la Técnica y la Construcción ASOCRETO No. 75

Sismos y Maremotos

SARRIA, Molina Alberto

Página 52 - 62

(Mayo – Julio 2005)

ARNOLD. Christopher, REITHENNAN. Robert, EISESSER. Eric, WHITACKER. Dianne. Configuración y Diseño Sísmico de Edificios. 1ª. Edición Editorial Limusa. México. 296 Páginas (1987).