

**MONOGRAFÍA: ESTUDIO DE ELEMENTOS DE BORDE EN MUROS DE
MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.**

**RICARDO ORTIZ RAMÍREZ
LUIS CARLOS CALDERON CARDOZO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2016

**MONOGRAFÍA: ESTUDIO DE ELEMENTOS DE BORDE EN MUROS DE
MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.**

AUTORES:

**RICARDO ORTIZ RAMÍREZ
LUIS CARLOS CALDERON CARDOZO**

Trabajo De Grado Presentado Como Requisito Para Optar Al Título De
Especialista En Estructuras

DIRECTOR: Ing. Phd. ÁLVARO VIVIESCAS JAIME

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2016

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	
1 OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2 PLANTEAMIENTO DEL TEMA.....	14
3 JUSTIFICACION DE LA PROBLEMÁTICA.....	15
4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	16
5 LOS ELEMENTOS DE BORDE (EB).....	17
6 PRUEBAS Y ENSAYOS DE RESISTENCIA.....	18
7 NORMATIVIDAD Y REGLAMENTACIONES VIGENTES.....	20
7.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RELEVANTE ENCONTRADA EN NORMAS EXTRANJERAS.....	21
7.1.1 Europa: “Design Of Masonry Structures Part 1-1: General Rules For Reinforced And Unreinforced Structures”. Eurocodigo.....	21
7.1.2 Nueva Zelanda: “Design Of Reinforced Concrete Masonry Structures”.....	21
7.1.3 Colombia: “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)”.....	22
7.1.4 Perú: “Norma Técnica Albañilería”.....	24
7.1.5 Estados Unidos: “Masonry Standards Joint Committee”.....	24
7.2 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS CON ELEMENTOS DE BORDE EN LA NSR-10.....	25
7.2.1 Metodología Del Estado Límite De Resistencia.....	25
7.2.2 Metodología De Los Esfuerzos De Trabajo.....	26
8 MECANISMOS DE FALLA.....	27
8.1 FALLA POR CORTANTE.....	28
8.2 FALLO POR FRICCIÓN CORTANTE.....	29
8.3 FALLO POR TENSIÓN DIAGONAL.....	29
8.4 FALLA A COMPRESIÓN.....	30
8.5 FALLO POR FLEXIÓN.....	30
9 DOCUMENTOS DISPONIBLES.....	32

9.1 TÍTULO: MUROS DE MAMPOSTERÍA BAJO CARGAS COMBINADAS, CONDICIONES DE BORDE EN EDIFICIOS COMUNES Y PROPUESTA PARA UN MÉTODO DE ENSAYO. Autores: Detleff Schermer, Wolfgang Scheufler, Andreas Maurial.	32
9.2 TÍTULO: COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CON ELEMENTOS DE BORDE Y CONFINADOS CON PLATINA EN EL MORTERO DE PEGA. Autor: Joselyn Augusto Torres Rodriguez.	32
9.3 TÍTULO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS DE BORDE EN LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL CON LADRILLOS DE ALTA RESISTENCIA. Autores: Juan Carlos Restrepo Mejia, Caori Patricia Takeuchi Tam.	33
9.4 TÍTULO: METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL NSR-98. Autor: AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.	35
9.5 TÍTULO: ENSAYE DE DOS MUROS DE MAMPOSTERÍA CON REFUERZO INTERIOR PARA EL ESTUDIO DEL TRASLAPE DE LAS BARRAS VERTICALES. Autores: Leonardo E. Flores Corona, Jose A. Mendoza Zalmoran.	36
9.6 TÍTULO: SHEAR BEHAVIOUR OF MASONRY WALLS STRENGTHENED BY EXTERNAL BONDED FRP AND TRC. Autores: Thi-Loan Bui, A. Si Larbi, N. Reboul, E. Ferrier.	38
9.7 TÍTULO: FUERZA Y DESPLAZAMIENTO BASADOS EN PARÁMETROS DE DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MUROS ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA REFORZADOS CON ELEMENTOS DE BORDE. Autores: Bennett R. Banting, Wael W. El-Dakhakhni. Año 2012.	39
9.8 TÍTULO: CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL REFORZADOS CON ELEMENTOS DE BORDE. Autores: Bennett R. Banting, Wael W. El-Dakhakhni. Año 2014.	40
10 PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN EN OBRA DE LOS ELEMENTOS DE BORDE EN MAMPOSTERÍA REFORZADA.	43
10.1 ELEMENTOS DE BORDE CONFINADOS CON PLATINA EN EL MORTERO DE PEGA.	43
10.2 MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADO POR COMPUESTOS DE TRC Y FRP.	45
10.3 MUROS CON ELEMENTOS DE BORDE BASADOS EN PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE ALBAÑILERÍA CONVENCIONALES CON O SIN UNIDADES DE BLOQUE DE ALTA RESISTENCIA.	47
11 CONCLUSIONES.	49
BIBLIOGRAFÍA.	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Norma o código nacional o internacional par mamposterías estructural	20
Tabla 2. Normativas que incluyen requisitos para el análisis y construcción de los elementos de borde en MR.....	21

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquemmatización del armado y distribución de esfuerzos en la unidad</i>	18
Figura 2 Confinamientos con platinas en zona potencial a rótula plástica	22
<i>Figura 3 falla por cortante</i>	28
<i>Figura 4. Falla por fricción cortante.</i>	29
<i>Figura 5. Fallo Por Tensión Diagonal.</i>	29
<i>Figura 6. Falla A Compresión.</i>	30
<i>Figura 7. Falla Por Flexión.</i>	31
<i>Figura 8. RM confinamiento en elemento de borde.</i>	40
Figura 9. Muros con diferente relación de aspecto.	41
<i>Figura 10 Elemento de borde convencionales</i>	42
Figura 11. Prueba de muros, a) isométrico del muro, b) vista de elevación del muro.	42
Figura 12. Platina De Refuerzo Y Elemento De Borde.	44
<i>Figura 13. Muro reforzado con fibras (FRP)</i>	45
Figura 14. Muro reforzado con textil (TRC).	46
Figura 15. Elemento De Borde Con Dos Filas De Barras Y Estribos Cerrados. <i>Fuente:Bennett R. Banting y Wael W. El-Dakkakhni, J. Struct. Eng., 2012, 138(12): 1477-1491.</i>	47

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE ELEMENTOS DE BORDE EN MUROS DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.

AUTOR: ING. LUIS CARLOS CALDERÓN CARDOZO**
ING. RICARDO ORTIZ RAMÍREZ**

PALABRAS CLAVES: Mampostería reforzada; Muro estructural; Muro confinado, Desempeño sísmico; Muro; Mampostería.

DESCRIPCIÓN

El documento contiene la recopilación y análisis de las investigaciones desarrolladas en el reforzamiento de los muros de mampostería estructural con elementos de borde observando su comportamiento ante unas determinadas sollicitaciones similares a las generadas por los eventos sísmicos o cargas laterales.

El sistema de construcción en mampostería se basa en la unión de elementos repetitivos mediante un material de pega rígida. Los elementos de borde en mampostería estructural se ubica en las zonas extremas de los muros y con desarrollo parcial o total en la altura del muro, el refuerzo se logra con barras de acero longitudinal y estribos transversales de confinamiento.

El objeto de utilizar los elementos de borde es el de mejorar la capacidad a flexión (tracción-compresión) y compresión axial, y a su vez dotar al muro con un nivel de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, según los establecidos en el reglamento vigente colombiano.

Las normativas más relevantes, en diseño y recomendaciones sobre los elementos de borde en mampostería reforzada son mencionadas a continuación: Building code requirement for masonry structures (**ACI 530-11**), Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced structures (**EC-6**), Design of reinforced concrete masonry structures (**NZC 4230**), Norma Técnica Albañilería (**E.070**), Norma colombiana sismo resistente (**NSRr-10**), Masonry Standards Joint Committee (**TMS 402-11/ACI 530-11/ASCE 5-11**).

Se puede concluir en el presente trabajo, que la opción más viable para la construcción de los elementos de borde en mampostería estructural reforzada en la actualizada es aquella que tiene por nombre **“Muros con elementos de borde basados en prácticas de construcción de albañilería convencionales con o sin unidades de bloque de alta resistencia.”**

** Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, Director: Viviecas Jaime, Álvaro.

ABSTRACT

TITLE: STUDY ON EDGE ELEMENTS STRUCTURAL MASONRY WALLS.

AUTHOR: ING. LUIS CARLOS CALDERÓN CARDOZO**
ING. RICARDO ORTIZ RAMÍREZ**

KEYWORDS: Reinforced masonry; Structural walls; Wall confinement; Seismic performance, Cyclic loads; Walls; Masonry.

DESCRIPTION:

This work is to collect and analyze the research developed in the reinforcement of masonry walls with edge elements, and observe its behavior in a certain stresses generated by seismic events or lateral loads.

The masonry construction system is based on the union of repetitive elements by a rigid material paste. The edge elements in structural masonry is located in the end zones of the walls with partial or full development in the height of the wall, the reinforcement bars is achieved with longitudinal and transverse steel stirrups confinement.

The objective of using boundary elements is to improve the ability to flex and axial compression, and in turn provide to the wall with a level of dissipation of energy in the inelastic range as those set out in Colombian current regulations.

The most relevant standards in design and recommendations on boundary elements reinforced masonry are listed below: Building code requirement for masonry structures **(ACI 530-11)** Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced structures **(EC-6)**, Design of reinforced concrete masonry structures **(NZC 4230)** Technical Standard Masonry **(E.070)**, Norma Colombian earthquake resistant **(NSR-10)** Masonry Standards Joint Committee **(TMS 402-11 / ACI 530- 11 / ASCE 5-11)**.

It can conclude in the actual work, that the most viable option for construction of boundary elements in structural masonry reinforced is one that is named "**walls with edge elements based building practices with or without conventional masonry block units high strength.**"

** Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, Director: Viviescas Jaime, Álvaro.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en recopilar y analizar las investigaciones desarrolladas en el reforzamiento de los muros de mampostería estructural con elementos de borde, y observar su comportamiento ante unas determinadas sollicitaciones generadas por los eventos sísmicos.

La mampostería hace parte de los materiales con mayor incidencia empleados en la construcción debido a su fácil consecución, por lo tanto se busca ampliar su uso más allá de un elemento no estructural divisorio y adaptarlo como parte del marco que brinda la resistencia y rigidez que requiere toda estructura.

Cabe recalcar, que este documento se realiza con una metodología compilativa, en la cual la información es explícitamente de carácter educativo y los resultados arrojados aquí deberán ser validados a quien le interese.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- ✚ Estudiar a partir de la literatura científica existente el comportamiento de los muros de mampostería estructural contruidos con elementos de borde ante las sollicitaciones sísmicas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Identificar las principales contribuciones científicas sobre el comportamiento sísmico de la mampostería estructural con elementos de borde.
- ✚ Clasificar mecanismos de daños en mampostería estructural con elementos de borde ante carga cíclicas y monotónicas laterales en el plano del muro.
- ✚ Identificar las normativas y/o recomendaciones a nivel nacional e internacional para los elementos de borde en mampostería estructural.
- ✚ Elaborar una propuesta alternativa para la construcción de los elementos de borde en mampostería estructural, a partir del análisis de los puntos anteriores.

2 PLANTEAMIENTO DEL TEMA.

El presente trabajo consiste en recopilar y analizar las investigaciones desarrolladas en el reforzamiento de los muros de mampostería estructural con elementos de borde, y observar su comportamiento ante unas determinadas sollicitaciones generadas por los eventos sísmicos.

La mampostería hace parte de los materiales con mayor incidencia empleados en la construcción debido a su fácil consecución, por lo tanto se busca ampliar su uso más allá de un elemento no estructural divisorio y adaptarlo como parte del marco que brinda la resistencia y rigidez que requiere toda estructura.

3 JUSTIFICACION DE LA PROBLEMÁTICA.

La mampostería estructural es aún uno de los sistemas de construcción más ampliamente utilizados en Colombia, el cual se ha mantenido en el mercado por su fácil consecución. Desde su aparición e implementación se le encuentra como estructura de soporte para edificaciones de uno y dos pisos, actualmente se ha desarrollado técnicamente y avalado en normas y códigos, a tal punto de ser permitido como sistema estructural en edificaciones de mucho más de dos niveles.

Ante las exigentes condiciones de servicio a las que se ven sometidas las estructuras a medida que incrementan su altura, se han venido desarrollando procedimientos de análisis y pruebas experimentales, con el objeto de controlar los efectos adversos que en la mampostería conlleva la construcción en altura, entre los que destaca la capacidad nula a tensión de las unidades de mampostería y los sobreesfuerzos a compresión y cortante.

Actualmente se ha venido proponiendo la implementación de elementos de borde, consistentes en varillas de acero de refuerzo embebidas en las unidades (extremas) de la mampostería, confiriendo una mayor rigidez y resistencia al conjunto.

4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA.

El sistema de construcción en mampostería se basa en la unión de elementos repetitivos mediante un material de pega rígida, y dependiendo de las características de estos componentes y de otros aditamentos que se pueden embeber se logran propiedades mejoradas del conjunto de la mampostería. En este caso el sistema se compone en su mayoría de unidades de perforación vertical unidas con mortero de pega, en la cual algunas celdas (verticales) pueden contener refuerzo (barras de acero) y a su vez estar rellenas con un concreto fluido tipo grouting.

Los muros así armados constituyen uno de los varios tipos de sistemas estructurales en mampostería, aprobados en reglamentos de construcción internacionales, entre los que para nuestro caso, destaca mencionar las “Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10–Título D)”.

La capacidad de disipación de energía para este sistema estructural en rangos inelásticos, esta categorizado para disipaciones de energía especial (DES), moderada (DMO) o mínima (DMI).

Para efectos del objeto de este documento enfocaremos la atención en los refuerzos que se concentran en los extremos de los muros y gremialmente se identifican como elementos de borde (EB).

5 LOS ELEMENTOS DE BORDE (EB).

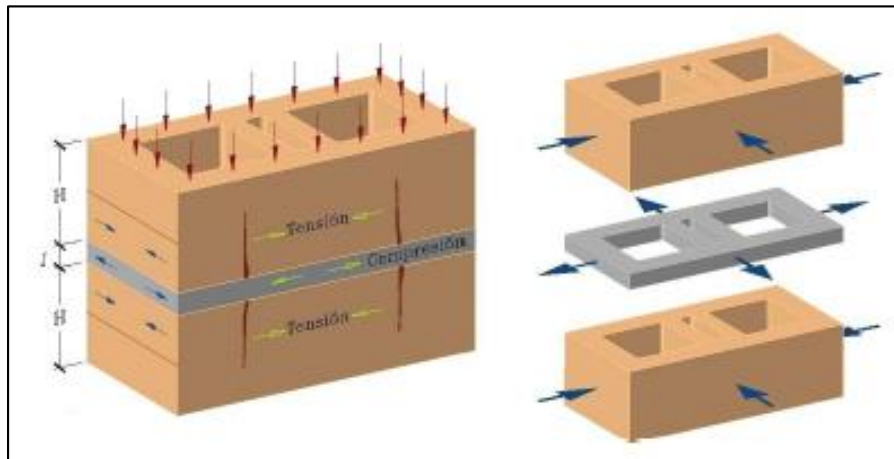
El EB se ubica en las zonas extremas de los muros y con desarrollo parcial o total en la altura del muro, el refuerzo se logra con barras de acero longitudinal y estribos transversales de confinamiento.

El objeto de utilizar los elementos de borde es el de mejorar la capacidad a flexión (tracción-compresión) y compresión axial, y a su vez dotar al muro con un nivel de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, según los establecidos en el reglamento.

6 PRUEBAS Y ENSAYOS DE RESISTENCIA.

La reglamentación vigente de diseño especifica la ejecución de pruebas en muros de mediana altura identificados como prismas o muretes, con el objeto de determinar valores de resistencia a la compresión de la mampostería, denominada como “ $f'm$ ”. El procedimiento consiste en construir muretes, empleando para ello los mismos materiales tanto en unidades de mampostería, mortero de pega o “grouting” el que se contemple en la construcción de los muros; inclusive debería emplearse la misma mano de obra, ya que esta tiene influencia en los resultados numéricos de la prueba de resistencia.

Figura 1. Esquematización del armado y distribución de esfuerzos en la unidad de mampostería.



Fuente: Martínez Rubiano, Ariel.

Con el ensayo además de obtener valores de resistencia a la compresión, también sirve para establecer la relación esfuerzo–deformación de la mampostería y referenciar su módulo de elasticidad. Las relaciones y requerimientos geométricos del murete de ensayo, estado de los materiales, curado del murete y demás, están estandarizados y definidos en el numeral D.3.7.2 de la NSR10, así como en la norma NTC 3495 (ASTM E447).

La resistencia a compresión de la mampostería depende de las propiedades mismas de las unidades, del mortero de pega y del mortero de relleno, “grouting”. Generalmente la resistencia a la compresión de la mampostería, $f'm$, es mayor que la carga de falla uniaxial del mortero de pega f'_{cp} , e igualmente la resistencia a compresión uniaxial de la unidad, f'_{cu} , es mayor que la del prisma.

Los valores de resistencia de cada pieza que compone el murete no son una medida directa de la resistencia de cada material dentro del muro, dado que la

combinación de materiales permite obtener un comportamiento de conjunto con propiedades direccionales distintas a las individuales, que afectan su comportamiento y el modo de falla.

7 NORMATIVIDAD Y REGLAMENTACIONES VIGENTES.

Al respecto se han formulado regulaciones al análisis y diseño de este tipo de estructuras en varios países

En la actualidad, existen países que han generado normativas que regulan el análisis y diseño de estructuras con mampostería, y la incluyen como sistema estructural con capacidad para disipar energía.

Al respecto, los mayores avances se han realizado en países tales como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Canadá y Japón.

En el siguiente cuadro se tabulan algunas de las normas más relevantes y vigentes en sus respectivos países:

Norma O Código, Procedencia, Siglas E Identificación.

Tabla 1 Norma o código nacional o internacional par mamposterías estructural.

Nombre	Procedencia	Sigla
Building code requirement for masonry structures	USA	ACI 530
Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced structures	EUROPA	EC 6
Design of reinforced concrete masonry structures	Nueva Zelanda	NZC 4230
Design of masonry structures	Canadá	CSA S304.1
Uniform Building Code	Internacional	UBC
Architectural Institute of Japan	Japón	IAJ
Albañilería Armada - Requisitos para el diseño y Cálculo	Chile	NCh1928
Normas Técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería	México	M
Norma Técnica Albañilería	Perú	E.070
Masonry Standards Joint Committe	USA	TMS 402-11/ACI 530-11/ASCE 5-11

Ahora, la necesidad de llevar la mampostería estructural reforzada a niveles de capacidad de disipación de energía altos, es decir; grandes deformaciones sin ocurrir falla prematura, ha hecho de los elementos de borde un requisito indispensable.

Información relevante al análisis, diseño y construcción de los elementos de borde es escasa y en las normativas e investigaciones actuales, apenas se está abordando el tema.

Las normas que cubren el tema de diseño y recomiendan aspectos relevantes sobre los elementos de borde en la mampostería reforzada se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Normativas que incluyen requisitos para el análisis y construcción de los elementos de borde en MR.

Nombre	Procedencia	Sigla
Building code requirement for masonry structures	USA	ACI 530-11
Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced structures	EUROPA	EC 6
Design of reinforced concrete masonry structures	Nueva Zelanda	NZC 4230
Norma Técnica Albañilería	Perú	E.070
Norma colombiana sismo resistente	Colombia	NSR-10
Masonry Standards Joint Committe	USA	TMS 402-11/ACI 530-11/ASCE 5-11

7.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RELEVANTE ENCONTRADA EN NORMAS EXTRANJERAS.

7.1.1 Europa: “Design Of Masonry Structures Part 1-1: General Rules For Reinforced And Unreinforced Structures”. Eurocodigo.

Normativa que abarca el diseño a cortante y a flexión de la mampostería reforzada y otros tipos de mampostería, mas no hace énfasis en el análisis de los elementos de borde excepto por el numeral 6.8.2 (verificación de miembros), donde se hace énfasis en los límites de esfuerzos a compresión y tensión en elementos de borde.

Los límites de esfuerzo a compresión en los bordes de la mampostería reforzada se limitan a: $\epsilon_u = -0.0035$.

7.1.2 Nueva Zelanda: “Design Of Reinforced Concrete Masonry Structures”.

En la normativa neozelandesa encontramos principios y requerimientos para el diseño de estructura usando un límite de ductilidad o una filosofía de diseño sísmico dúctil.

Esta se basa en un sistema de compatibilidad por medio del cual se evalúan los esfuerzos en las fronteras del muro y el esfuerzo a compresión se lleva hasta obtener una: $\epsilon_u = 0.008$.

En el numeral 7.4.6.4, la norma plantea platinas de confinamiento para la zona o región de rótula plástica en el muro, esto con el fin de incrementar la ductilidad muro, para ello se debe satisfacer los siguientes requerimientos:

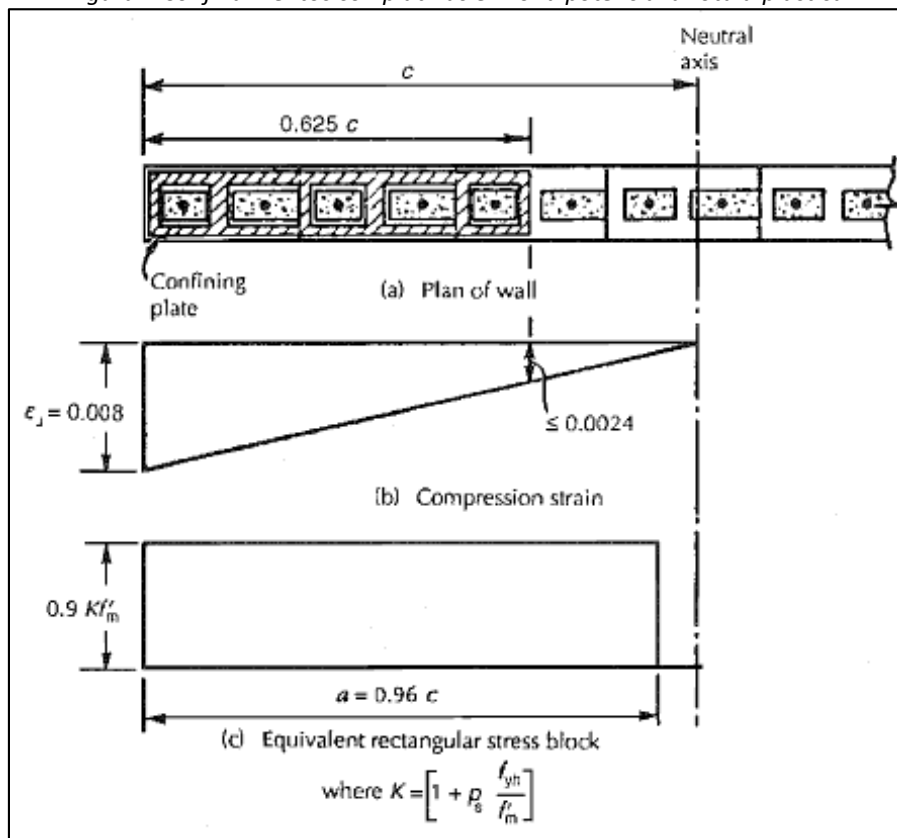
- a) Estar construida de acero inoxidable o de acero galvanizado con los requisitos de durabilidad de esta Norma.

- b) Tener área mínima efectiva de la placa de confinamiento en cada dirección horizontal cortada por una sección vertical del área.

$$A_p = 0.004 * S_h h''$$

- c) Proporcionar el confinamiento de la sección crítica para una altura no inferior a la medida de la zona potencial de rótula plástica definida por 7.4.3 y para una distancia horizontal no menos de 600 mm o 0.625c, lo que sea mayor, a partir de la fibra de compresión extrema.
- d) El espaciamiento vertical dentro de la zona potencial de rótula plástica no debe exceder $S_h = 200 \text{ mm}$

Figura 2 Confinamientos con platinas en zona potencial a rótula plástica



7.1.3 Colombia: “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)”

El Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, en el título D se encuentra todo lo concerniente a la mampostería estructural: clasificación, usos, normas, nomenclatura, definiciones, entre otras.

La calidad de los materiales de construcción de la mampostería estructural, se encuentran regulados en el capítulo D.3. De la NSR-10, a su vez en este capítulo se citan documentos de las normas técnicas colombianas (NTC) del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) y de la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), las cuales hacen parte de la normativa general de la NSR-10.

En el capítulo D.5, se encuentran los requisitos generales de análisis y diseño para la mampostería estructural, además, en el numeral D.5.8.3 específicamente, se encuentran los requisitos para el análisis y diseño de los elementos de borde.

Cabe mencionar, que aun cuando la normativa colombiana vigente proporciona ciertos requisitos para el análisis y diseño de los elementos de borde, esta no proporciona una manera clara y explícita para detallarlos en la construcción.

El reglamento de construcción actual, NSR-10, menciona que el análisis y diseño de la mampostería estructural debe realizarse: “... *utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales componentes, los métodos constructivos utilizados y el comportamiento individual y en conjunto del sistema estructural.*”. Actualmente se reconoce de parte del reglamento dos metodologías para el análisis y diseño, que son el método de estado límite de resistencia y el método de los esfuerzos de trabajo.

El reglamento en el literal “**D.5.8.5 — Elementos De Borde —**” especifica que: “*Se deben utilizar elementos de borde en los muros de mampostería de unidades de perforación vertical y de mampostería de cavidad reforzada, cuando el modo de falla del muro sea en flexión y el esfuerzo de compresión de la fibra extrema en condiciones de cargas mayoradas exceda $0.20f'_m$ para mampostería de cavidad reforzada como se define en D.2.1.1 y para mampostería reforzada como se define en D.2.1.2, y cuando exceda $0.30f'_m$ para mampostería parcialmente reforzada como se define en D.2.1.3. Deben cumplirse además los siguientes requisitos:*

- a) *Los elementos de borde se pueden suspender a partir de la sección en la que el esfuerzo de compresión sea inferior a $0.20f'_m$, pero no deben suspenderse antes de llegar a una altura igual a l_w , medida desde la base del muro.*
- b) *Los esfuerzos se calculan para las fuerzas mayoradas, utilizando un modelo linealmente elástico y considerando la sección como no fisurada.*

- c) *Los elementos de borde deben tener estribos de confinamiento de diámetro N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm), separados verticalmente a 200 mm, o su equivalente, dentro del espacio inyectado con mortero de relleno. Las celdas deben tener como mínimo 100 mm x 100 mm.*
- d) *En muros de cavidad reforzada, los elementos de borde deben cumplir con lo especificado para muros de concreto en C.21.9.6."*

7.1.4 Perú: "Norma Técnica Albañilería".

Actualmente, la normativa técnica de albañilería del Perú, ofrece unos pasos a seguir en el análisis y diseño de los elementos de borde, más no ofrece un proceso o forma constructiva para el mismo.

Dentro de estas recomendaciones encontramos la necesidad de verificar si requiere o no confinamiento de los extremos libres del muro, y para ello encontramos:

- a) Se verificará la necesidad de confinar los extremos libres (sin muros transversales) comprimidos, evaluando el esfuerzo de compresión último (σ_u) con la fórmula de flexión compuesta:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u * y}{I}$$

En la que P_u es la carga total del muro, considerando 100% de sobrecarga y amplificada por 1,25.

- b) Toda la longitud del muro donde se tenga $\sigma_u \geq 0.3Ff'm$ deberá ser confinada. El confinamiento se hará en toda la altura del muro donde los esfuerzos calculados con Artículo 28, sean mayores o iguales al esfuerzo límite indicado.
- c) Cuando se utilice confinamiento, el refuerzo vertical existente en el borde libre deberá tener un diámetro $D_v \geq S/13$, donde "S" es el espaciamiento entre elementos de confinamiento.

7.1.5 Estados Unidos: "Masonry Standards Joint Committee".

El Comité Conjunto de Código Normas de Albañilería (MSJC) prescribe actualmente la posible utilización de tales elementos de contorno para la categoría de muros de corte de mampostería especial. Sin embargo, el MSJC no ofrece ninguna guía que detalle el diseño o construcción de los mismos, dejando a la responsabilidad en el diseñador, el cual debe especificar un adecuado detallamiento para asegurar el rendimiento deseado.

7.2 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS CON ELEMENTOS DE BORDE EN LA NSR-10.

De parte del reglamento se identifican dos metodologías para el análisis y diseño, que son el método de estado límite de resistencia y el método de los esfuerzos de trabajo.

7.2.1 Metodología Del Estado Límite De Resistencia.

El método considera que el muro se encuentra bajo la acción de cargas de gravedad, cortante y momento inducidos por efectos de sismo. La carga por gravedad se considera que siempre actúa, mientras que la fuerza horizontal (cortante) se origina ocasionalmente durante un evento de sismo (efecto inercial) o de alguna otra fuente con un efecto similar, a esta fuerza lateral se le asocia el momento inducido por sismo. A su vez durante el sismo la carga lateral puede repetirse e invertir su dirección en repetidas ocasiones, en razón a este tipo de sollicitaciones se han recomendado los elementos de borde, y para lo cual la NSR-10 menciona lo siguiente en el artículo D.5.8.5.:

“Elementos de borde: Se deben utilizar elementos de borde en los muros de mampostería de unidades de perforación vertical y de mampostería de cavidad reforzada, cuando el modo de falla del muro sea en flexión y el esfuerzo de compresión de la fibra extrema en condiciones de cargas mayoradas exceda 0.20f'm para mampostería de cavidad reforzada como se define en D.2.1.1 y para mampostería reforzada como se define en D.2.1.2, y cuando exceda 0.30f'm para mampostería parcialmente reforzada como se define en D.2.1.3.” Además se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. *“Los elementos de borde se pueden suspender a partir de la sección en la que el esfuerzo de compresión sea inferior a 0.15f'm, pero no deben suspenderse antes de llegar a una altura igual a lw , medida desde la base del muro.*
- b. *Los esfuerzos se calculan para las fuerzas mayoradas, utilizando un modelo linealmente elástico y considerando la sección como no fisurada.*
- c. *Los elementos de borde deben tener estribos de confinamiento de diámetro N°3 (3/8”) ó 10M (10mm), separados verticalmente a 200mm, o su equivalente, dentro del espacio inyectado con mortero de relleno. Las celdas deben tener como mínimo 100mmx100mm.*
- d. *En muros de cavidad reforzada, los elementos de borde deben cumplir con lo especificado para muros de concreto en C.21.9.6.”*

La NSR10 contempla implícitamente en el análisis de los elementos de borde por la metodología de los estados límites de resistencia un enfoque basado en desplazamientos C.21.9.6.2. Los métodos por deformaciones son basados en la

suposición de una respuesta inelástica del muro dominado por la falla a flexión y fluencia de la sección.

7.2.2 Metodología De Los Esfuerzos De Trabajo.

Con este procedimiento la norma establece en el apéndice D.1. *“D-1.1.2. Se permite el diseño de estructura de mampostería por el método de los esfuerzos de trabajo...”*. *“D.1.5.1. Generalidades – los esfuerzos máximos calculados en los elementos de estructuras de mampostería bajo cargas de servicio, no deben exceder los valores establecidos en esta sección, utilizando las características dimensionales y en los materiales especificados”*.

8 MECANISMOS DE FALLA

Utilizando la clasificación dada en la tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña "Vulnerabilidad y riesgo sísmico de Edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza sísmica alta y moderada", elaborada por el Ing. Ricardo León Bonett Díaz, y la tesis de pregrado de la Universidad Nacional de Bogotá "Comportamiento De Muros De Mampostería Con Elementos De Borde Confinados Con Platinas En El Mortero De Pega", elaborada por el Ing. Joselyn Augusto Torres Rodríguez, donde a partir de una gran cantidad de ensayos tanto pseudo-dinámicos como dinámicos, se llegó a la conclusión de que existen básicamente dos tipos de fallo: por cortante y por flexión.

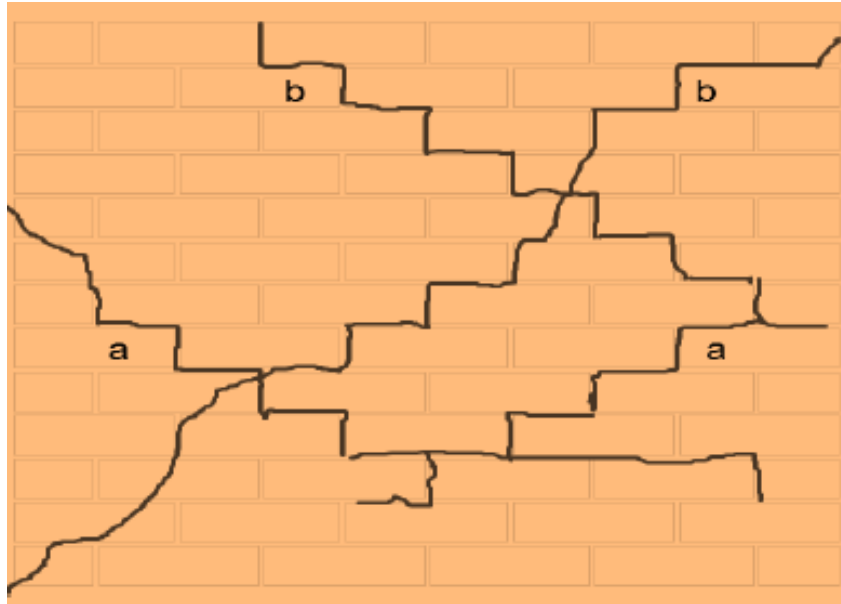
La mayoría de las fallas observadas han sido por cortante, y las explicaciones que dan los autores son:

- La mayoría de las veces los muros son de baja altura, pues su relación de aspecto (longitud/altura) es grande, y por lo tanto poseen una gran inercia. En el primer entrepiso predomina la distorsión angular por fuerza cortante, con baja curvatura por flexión. Es un comportamiento similar a las vigas de gran altura. Esta distorsión angular es la que origina esfuerzos principales de tracción diagonal en la mampostería, originando grietas en forma de "X". Este agrietamiento aparece cuando se alcanza una distorsión del orden de $1/800$ (.00125). (La norma NSR-98 limita esta distorsión a .005, lo que implica que existirán agrietamientos en los muros antes sismos relativamente pequeños.)
- Si se tiene en cuenta el efecto de muros ortogonales (no es el caso de las pruebas hechas, pero si de una construcción real), al flectarse el muro, éste deberá levantar al muro perpendicular, lo cual es difícil de lograr. Esto disminuye los efectos de flexión.
- Los experimentos muestran que la resistencia a cortante crece más lentamente con el incremento de la carga axial que la resistencia a flexión y, en los muros esbeltos, la resistencia a cortante disminuye en proporción a la relación altura-longitud.

8.1 FALLA POR CORTANTE

Este tipo de falla se presenta principalmente en muros con una relación longitud/altura grande, y con una fuerza precompresiva alta. La falla se manifiesta mediante grietas diagonales y longitudinales cuando la carga es aproximadamente el 62% de la máxima, como la grieta *a* de la figura. Posteriormente, aparece una grieta diagonal, como la *b*, típica del fallo por cortante, cuando se alcanza el valor de la carga máxima. Al realizar ensayos cíclicos se produce una rápida degradación de la resistencia.

Figura 3 falla por cortante.



Fuente: Joselyn Augusto Torres, Tesis UNAL, 2009.

La mampostería es un material con un comportamiento influenciado por muchas variables, como la mano de obra, el mortero, la unidad, los espesores de las juntas, el refuerzo, etc. Dentro de esos efectos, dos muy importantes son:

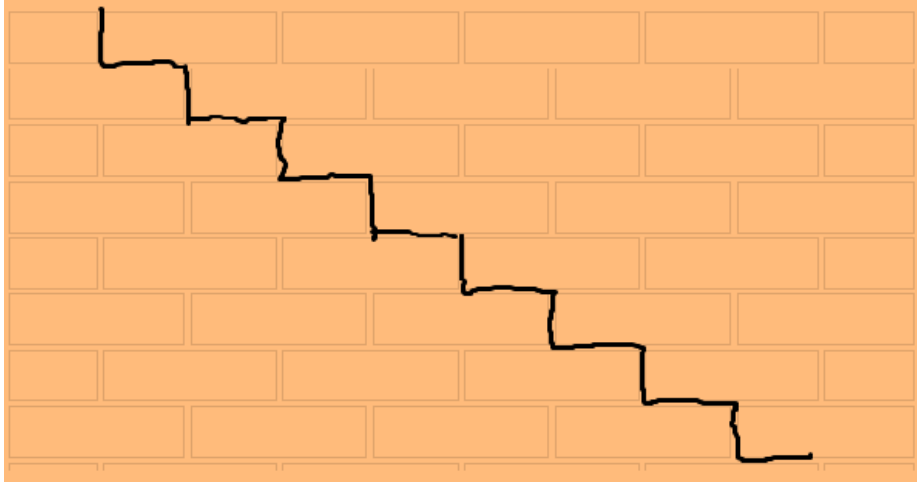
- El comportamiento frágil de las unidades a tracción.
- La debilidad inducida por las juntas de mortero.

Los modos de fallo resultan de una combinación de grietas de tensión diagonal atravesando las unidades, y grietas a lo largo de las juntas de mortero. Pueden ocurrir varios tipos de fallos, de acuerdo a la magnitud relativa de los esfuerzos normales (en dirección perpendicular a las juntas horizontales) y de los esfuerzos de corte. Resultan entonces tres tipos de fallo:

8.2 FALLO POR FRICCIÓN CORTANTE.

Ocurre para esfuerzos de compresión bajos, y se presenta por las juntas, dando lugar a esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales.

Figura 4. Falla por fricción cortante.

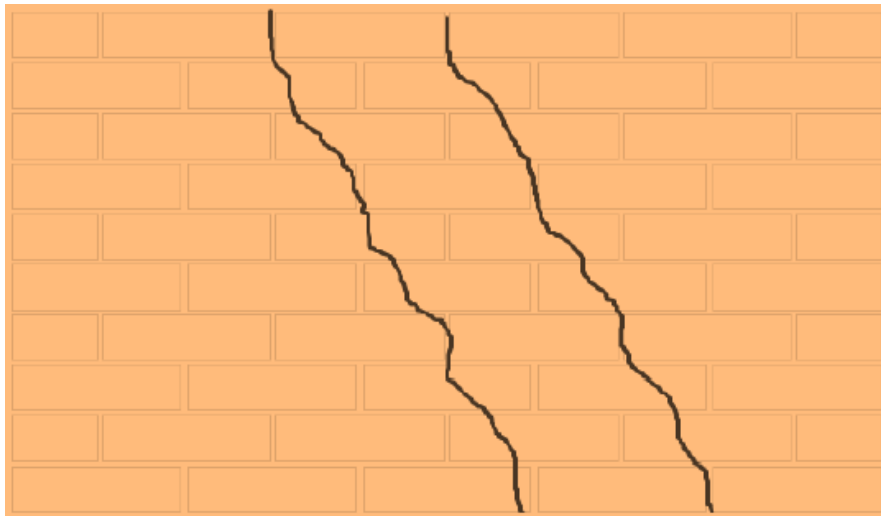


Fuente: Joselyn Augusto Torres, Tesis UNAL, 2009.

8.3 FALLO POR TENSIÓN DIAGONAL.

Se produce para esfuerzos de compresión moderados. La resistencia a cortante de las juntas se incrementa, debido a las fuerzas de compresión. Por ello las grietas se presentan en las unidades, como resultado de los esfuerzos de tracción inducidos por la combinación de los esfuerzos de compresión y cortante que actúan en el muro.

Figura 5. Fallo Por Tensión Diagonal.

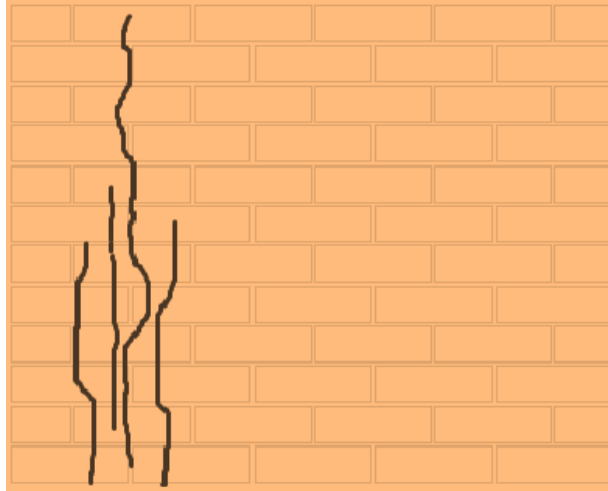


Fuente: Joselyn Augusto Torres, Tesis UNAL, 2009.

8.4 FALLA A COMPRESIÓN.

Se presenta cuando la carga vertical produce esfuerzos de compresión σ muy altos, comparados con los esfuerzos cortantes τ . El fallo es similar al que se produce en un ensayo de compresión directa, aunque el esfuerzo cortante disminuye la resistencia a la compresión de la mampostería.

Figura 6. Falla A Compresión.



Fuente: Joselyn Augusto Torres, Tesis UNAL, 2009.

8.5 FALLO POR FLEXIÓN

Se manifiesta con la aparición de grietas horizontales en la parte inferior del muro, sobre la junta horizontal más cercana al apoyo interior. La longitud de dicha grieta es del orden de las dos terceras partes de la longitud del muro (grieta *a*). Si la fuerza es reversible, la grieta se vuelve a presentar en el lado opuesto, pero continua a lo largo del muro (grieta *b*).

En mampostería no reforzada, la capacidad resistente del muro está determinada por la magnitud de la carga vertical: A mayor carga, mayor es la resistencia a flexión de la estructura.

9 DOCUMENTOS DISPONIBLES.

9.1 TÍTULO: MUROS DE MAMPOSTERÍA BAJO CARGAS COMBINADAS, CONDICIONES DE BORDE EN EDIFICIOS COMUNES Y PROPUESTA PARA UN MÉTODO DE ENSAYO. Autores: Detleff Schermer, Wolfgang Scheufler, Andreas Maurial.

El artículo tiene por objeto presentar un procedimiento de análisis y ensayo en laboratorio, que permita definir el comportamiento de un muro de mampostería bajo cargas combinadas (fuerzas axiales, momentos flectores y fuerzas cortantes).

De destacar del artículo se encuentra una conclusión en la que refieren, que bajo cargas combinadas los efectos del empotramiento por las losas de concreto son decisivos para el estado límite último, caso de ejemplo bajo los efectos de sismo.

Los análisis de fundamentación de la investigación, se ejecutaron para edificios de 3 y 4 pisos y 4 planos diferentes. Como conclusiones se descubrió que la distribución de la carga cortante a los muros depende en forma significativa de la intensidad de la carga. En los muros cortos y bajo niveles de carga altos, presentaron un empotramiento significativo que llegó hasta un empotramiento completo. Para la uniformización de los ensayos bajo cargas combinadas, basaron su ejecución bajo esta premisa.

En el desarrollo de la temática, se presenta una recomendación para el montaje del ensayo con muros de mampostería a escala natural y consideraciones para precisar las condiciones de borde en forma más realista.

9.2 TÍTULO: COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CON ELEMENTOS DE BORDE Y CONFINADOS CON PLATINA EN EL MORTERO DE PEGA. Autor: Joselyn Augusto Torres Rodriguez.

El objetivo general de este documento de tesis de grado fue: “Mejorar el comportamiento de los elementos de borde de muros en mampostería estructural mediante confinamiento transversal con platinas de acero en el mortero de pega, bajo fuerza horizontal monotónica.”.

Elementos de borde conformados con platinas en el mortero de pega fueron efectivos para mejorar la ductilidad del muro y aumentar su resistencia. Se identificó que los elementos de borde se protegieron y las fallas predominantes fueron por cortante.

Como se observa en el diagrama del análisis de resultados, el momento resistente fue mayor al momento esperado, razón por la cual la carga horizontal fue mayor de la esperada, presentándose la falla por corte.

Aunque los ensayos fueron monotónicos, se aprecia que el comportamiento de los muros con elementos de borde es diferente del comportamiento de muros convencionales, aumentando su resistencia de una manera importante.

En el presente trabajo, los muros presentaron una falla por corte, pero los elementos de borde no sufrieron daño apreciable.

La mano de obra es un aspecto fundamental en el comportamiento de los muros de mampostería. En otras investigaciones realizadas en la Universidad Nacional, usando los mismos materiales, se han obtenido valores muy diferentes de f_m . Esto hace ver la importancia que se debe dar a la supervisión de los materiales usados y a la ejecución de la mampostería.

El comportamiento de los elementos de borde utilizados en este trabajo puede catalogarse de bueno, pero hay que evaluar los aspectos económicos y de facilidad de ejecución a la hora de determinar el tipo de elemento de borde a utilizar.

Los elementos de borde proporcionan rigidez al muro y, debido a que el muro no tenía refuerzo para cortante, era de esperarse una falla de ese tipo. Si se quiere que la viga falle por flexión, debería colocarse el respectivo refuerzo en unidades especiales. Aunque la falla por corte es la que comúnmente se presenta en edificaciones de mediana altura, es importante buscar que la falla no sea súbita y total. Para ello se deben limitar los desplazamientos, mediante una adecuada cantidad y localización de muros.

La colocación de elementos de borde utilizando platinas dentro del mortero de pega demostró ser una buena solución técnica para mejorar el comportamiento de la mampostería.

9.3 TÍTULO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS DE BORDE EN LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL CON LADRILLOS DE ALTA RESISTENCIA. Autores: Juan Carlos Restrepo Mejía, Caori Patricia Takeuchi Tam.

Objetivo(s): estudiar el comportamiento de muros de mampostería estructurales construidos con elementos de borde en ambos extremos, y sin ningún elemento, al ser solicitados ante cargas laterales monotónicas y cíclicas.

Resumen y/o introducción: Esta investigación tuvo por objeto estudiar el comportamiento de muros de mampostería estructurales construidos con elementos de borde en ambos extremos, y sin ningún elemento, al ser solicitados ante cargas laterales monotónicas y cíclicas.

Los muros se diseñaron por resistencia última, siguiendo las recomendaciones de las Normas Colombianas de Diseño y construcción Sismo Resistente (NSR-98), con la excepción del refuerzo a corte. Se encontraron también las curvas de capacidad carga axial-momento flector y curvas momento-curvatura, empleando el software XTRACT.

Por cada tipo de muro se realizaron un ensayo monotónico y dos cíclicos. Con los ensayos de los muros y a partir de las curvas de carga lateral-desplazamiento se determinó la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico (factor de reducción de fuerzas sísmicas R) y la ductilidad de desplazamientos y curvatura. En los ensayos se halló que las fallas presentadas en los muros sin elementos de borde fueron por corte con deformación de grietas en escalerilla. Los muros con elementos de borde fallaron por cortante en el panel central con formación de grietas en escalerilla y por compresión, con presencia de grietas verticales en la parte inferior del muro y en el contacto entre el panel central y los elementos de borde.

Al comparar los resultados de este estudio con otras investigaciones realizadas en la Universidad Nacional se encontró que el comportamiento fue similar entre todos los muros ensayados ante cargas cíclicas, sin importar la resistencia de la unidad de arcilla. Los valores obtenidos del factor R , para los dos tipos de muros ensayados fueron inferiores a los valores recomendados por la NSR-98. Los muros con elementos de borde presentaron una mayor ductilidad de desplazamiento respecto de los muros sin elementos de borde.

Resultados y/o conclusiones:

El comportamiento de las curvas de interacción carga-momento son similares utilizando la modelación con el software XTRAXT y el procedimiento manual basado en la resistencia última.

Se encontró que dependiendo de la fluidez del mortero de inyección, este, al ser inyectado y vibrado dentro de celdas verticales migra hacia las juntas de las unidades, contribuyendo a tener una mayor área neta de contacto de mampostería.

La falla que se presentó en los muros Tipo I, sin elementos de borde, fue de cortante, presentando fisuración en diagonal.

La falla que se detectó en los muros Tipos II, con elementos de borde, fue de cortante, con fisuras en escalerillas en “X” siguiendo las pegadas de mortero (por la aplicación de carga en ambas direcciones de empuje y tirar); el refuerzo horizontal colocado fue aproximadamente el 75% al requerido por diseño con el fin de identificar el comportamiento dúctil o no dúctil de los muros. Con esta cantidad de acero de refuerzo para cortante se detectaron fisuras verticales entre la unión del panel central del muro con los elementos de borde y aplastamiento de las unidades en los extremos de los empotramientos del muro.

Los muros sin elementos de borde presentaron una menor ductilidad de desplazamiento y curvatura con respecto a los muros con elementos de borde, esto significa aparentemente que los muros con elementos de borde tienen una mayor capacidad de disipación de energía en el rango inelástico.

Como la ductilidad por desplazamiento y curvatura fue determinada según las recomendaciones del FEMA 306 y del FEMA 307, se puede indicar que los muros construidos con y sin elementos de borde presentan un nivel de daño intermedio para una ocupación inmediata.

9.4 TÍTULO: METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL NSR-98. Autor: AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Objetivo(s): Presentar la metodología para el diseño de edificaciones en mampostería estructural, haciendo énfasis en las propiedades de sus componentes, la respuesta bajo diferentes sollicitaciones de carga y los requisitos constructivos más representativos según la NSR-98.

Resumen y/o introducción: La construcción en mampostería estructural es un sistema constructivo muy antiguo, que a pesar de los años, todavía en muchos lugares se diseña y construye de forma inadecuada. Aún más, el no saber cómo deben ser las propiedades de sus componentes y cómo se comporta el conjunto ante cualquier sollicitación de carga, ponen de manifiesto un problema que se refleja en el diseño y construcción de las edificaciones en mampostería estructural.

Basados en estos antecedentes se busca dar un apoyo para el conocimiento del comportamiento de los muros de mampostería estructural sujetos a diferentes tipos de carga; y para resolver el problema de diseño de muros de mampostería se propuso una metodología basada en la Norma Colombiana de Diseño, NSR-98.

La metodología consiste en unos pasos lógicos que permiten diseñar muros de mampostería reforzada, parcialmente reforzada, confinada y cavidad reforzada. Esta metodología está basada en el método de estado límite de resistencia.

Resultados y/o conclusiones:

En el diseño de muros de mampostería estructural no es tan crítico el chequeo por carga axial como el chequeo por flexión, la razón es que las cargas axiales producto del peso de los elementos y las cargas vivas son pequeñas y el cortante producto de las fuerzas horizontales genera un momento considerable, que pone a trabajar el muro a flexión.

La propiedad física más importante del mortero de pega, dada las características sísmicas de nuestro país, es la adherencia. Ya que, como se mencionó anteriormente el mortero tiende a desarrollar esfuerzos de tracción producidos por las cargas de la estructura, el terreno, los sismos y el viento; cambio de volumen de las unidades y los cambios de temperatura.

La resistencia a la compresión del mortero de pega, f'_{cp} , por si sola, no influye notablemente en el valor de la resistencia a compresión del muro de mampostería, pero sí en sus propiedades de deformabilidad y adherencia, ya que ejerce un efecto de restricción de la deformación lateral de la unidad.

La deformabilidad del mortero de pega, resulta importante en la relación j/h y por tanto en la resistencia de los muros de mampostería. Entre más bajo sea el valor de j/h , menores son las tracciones en la unidad y la resistencia a compresión del muro es casi igual a la de las unidades de mampostería.

9.5 TÍTULO: ENSAYE DE DOS MUROS DE MAMPOSTERÍA CON REFUERZO INTERIOR PARA EL ESTUDIO DEL TRASLAPE DE LAS BARRAS VERTICALES. Autores: Leonardo E. Flores Corona, Jose A. Mendoza Zalmoran.

Objetivo(s): El estudio del traslape de las barras verticales.

Resumen y/o introducción: Se estudió experimentalmente la longitud de traslape de barras de refuerzo dentro de celdas de piezas de mampostería rellenas con mortero mediante el ensaye de 61 probetas, variando el tipo de pieza, tamaño del relleno, diámetro de barra y longitud de traslape. En una segunda etapa se construyeron dos muros de 124x250 cm con piezas huecas de arcilla, uno con el acero continuo en su altura y el otro con un traslape en la sección media y se probaron ante momento flexionante puro aplicado en forma cíclica creciente hasta la falla.

Se verificó que para piezas pequeñas con barras grandes el requisito de 50 diámetros como longitud de traslape es insuficiente

Resultados y/o conclusiones:

A mayor longitud de traslape mayor resistencia de los traslapes.

Se verificó también que la resistencia de los traslapes está en función del tipo de pieza, pero más específicamente del tamaño de la celda que es rellena de mortero alrededor del traslape. Así los bloques de concreto, debido a su mayor tamaño, proporcionaron condiciones de resistencia de los traslapes muy superiores a los mismos contruidos en piezas de arcilla debido al reducido tamaño de sus celdas

Para las series de probetas con traslape en prismas de mortero (sin piezas de mampostería), se pudo verificar las tendencias encontradas en la primera etapa (con pilas de mampostería), confirmándose, para la calidad de mortero usada (tipo I), que las barras pueden desarrollar su resistencia a la fluencia y sobrepasarla dependiendo de la sección de mortero que las rodea.

La anterior conclusión implica que, para dimensiones comunes de piezas de mampostería en México, no sería posible desarrollar los traslapes adecuados para piezas de mampostería de reducidas dimensiones (10 y 12 cm de ancho) con barras de diámetro grande (no. 5 en adelante), más que para longitudes de traslape excesivas para la práctica constructiva actual. Mientras que para secciones con dimensiones grandes (bloques de 15 cm de ancho y superior), sí es factible desarrollar traslapes para todos los tipos de barras estudiados en esta investigación.

Lo anterior permite concluir que el tamaño del mortero alrededor del traslape junto con el tipo de pieza son fundamentales en el cálculo de su resistencia por lo que no se pueden dar requisitos independientes de estas características, a menos que se fueran excesivamente conservadoras para algunos casos.

Conclusiones del estudio de dos muros sometidos a momento puro

Para la etapa del estudio consistente en el ensaye de dos muros a escala natural, reforzados con barras del no. 3 (9.5 mm), uno con el acero continuo y el otro usando traslapes de 50db a media altura, se concluyó lo siguiente:

El modelo de comparación presentó un mecanismo plástico lográndose la fluencia del acero, sin embargo, debido a las grandes deformaciones ocurridas y a limitaciones en el sistema de carga del laboratorio no fue posible llevarlo al mecanismo de colapso por flexión (llegando al aplastamiento de la zona de compresión).

El espécimen con los traslapes mostró un comportamiento idéntico al modelo de control hasta después de la fluencia del acero, cuando los traslapes fallaron por extracción. Esto limitó la capacidad de deformación inelástica del modelo.

La predicción de resistencia y rigidez fue adecuada aplicando las hipótesis de flexión estipuladas en los reglamentos. El cálculo con propiedades nominales de resistencia del acero fue ligeramente conservador.

9.6 TÍTULO: SHEAR BEHAVIOUR OF MASONRY WALLS STRENGTHENED BY EXTERNAL BONDED FRP AND TRC. Autores: Thi-Loan Bui, A. Si Larbi, N. Reboul, E. Ferrier.

Resumen y/o introducción: Este estudio experimental se centra en el comportamiento de los muros de mampostería de ladrillo de hormigón hueco, especialmente paredes reforzadas con materiales compuestos bajo condiciones de carga en el plano. Este trabajo es un paso hacia la definición de soluciones de fortalecimiento sísmicas fiables. De hecho, en Francia, son más estrictos los requerimientos de diseño sísmicos para la construcción de estructuras se han considerado con la sustitución de los viejos códigos de diseño.

Por lo tanto, un programa experimental se ha realizado a escala de laboratorio. Seis muros se han presentado para las pruebas de cizallamiento por compresión - cinco muros están reforzadas por (1) - de polímero (FRP) tiras de fibra reforzada el uso de E-vidrio y tejidos de carbono y / o (2) un hormigón con refuerzo textil (TRC), y el último muro actúa como una de referencia. Se observa que las tiras de material compuesto están anclados mecánicamente en los cimientos de los muros para mejorar su eficiencia. Todos los muros comparten la misma frontera y condiciones de carga de compresión, que son representativos de una sollicitación sísmica. Sin embargo, el rendimiento de los muros de mampostería y la eficiencia de anclaje sólo se evalúan bajo cargas laterales monotónicas.

Un estudio comparativo sobre el comportamiento global y en los mecanismos locales se lleva a cabo y, en particular, pone de relieve que la mecánica sistemas de anclaje juegan un papel importante en la mejora del comportamiento de muros reforzadas (por FRP y TRC) y que las soluciones para el fortalecimiento de TRC permiten la actualización de la ductilidad de los muros con una fuerza menor en comparación con las soluciones con FRP.

Resultados y/o conclusiones:

El presente estudio experimental se ha centrado en muros de mampostería reforzado por compuestos de TRC y FRP que están sujeto carga monotónica en el

plano combinado pruebas cizalla-compresión. Los principales hallazgos son los siguientes:

El reforzamiento, independientemente de su naturaleza y el adoptar el diagrama de diseño (a condición de que la relación de refuerzo es suficiente), nos permitirá ampliar el campo de integridad estructural de los muros de mampostería.

El reforzamiento con TRC conducen a más bajos niveles de rendimiento que el reforzamiento con FRP en términos de capacidad de resistencia lateral, pero ellos aumentan significativamente su capacidad de ductilidad.

TRC y GFRP parecen ser más apropiado que CFRP en términos de la capacidad de desplazamiento final.

Una baja relación de reforzamiento de TRC solo modifica marginalmente global el rendimiento de muros de mampostería.

Los sistemas de anclaje son adecuados (y tecnológicamente posible), para mejorar el rendimiento en el plano de armado de muros de mampostería.

Diseño de refuerzo está limitada por la resistencia a la compresión de bloques huecos de hormigón.

9.7 TÍTULO: FUERZA Y DESPLAZAMIENTO BASADOS EN PARÁMETROS DE DESEMPEÑO SÍSMICO PARA MUROS ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA REFORZADOS CON ELEMENTOS DE BORDE. Autores: Bennett R. Banting, Wael W. El-Dakhkhni. Año 2012.

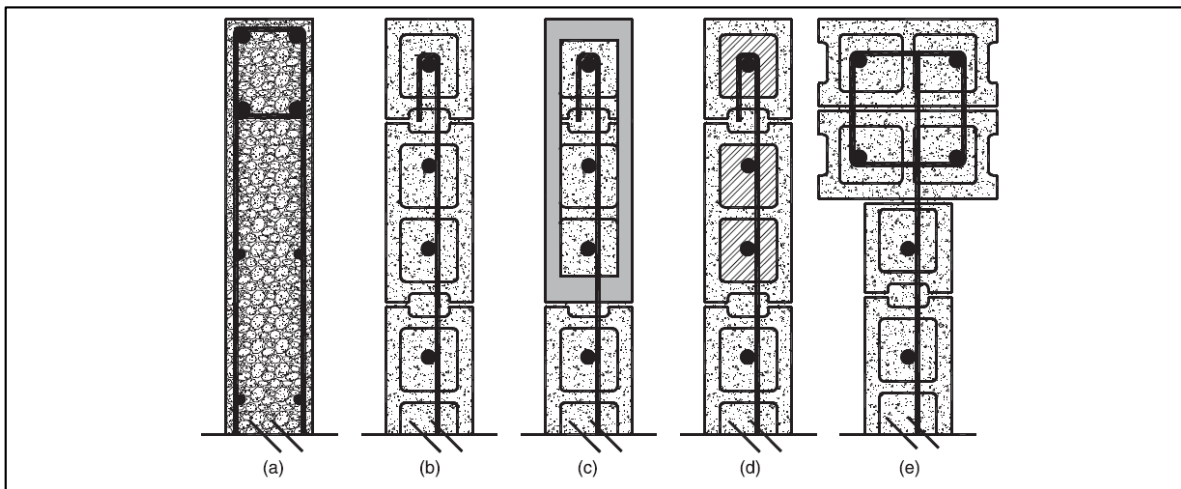
El estudio experimental presentado forma parte de una investigación en curso sobre la respuesta de carga cíclica y comportamiento sísmico esperado de los muros estructurales RM con elementos de contorno. Ciclos inversos de desplazamiento aplicados en el extremo superior de los muros se aplicaron para derivar las características que son importantes tanto en la fuerza de diseño sísmico como en el desempeño.

La mampostería reforzada de un sistema de muros estructurales que incorpora elementos de borde de confinamiento en la región de rotulación plástica, actualmente carecen del respaldo técnico de diseño especificado en los códigos de diseño como es el Masonry Standards Joint Committee (MSJC) y en el Canadian Standards Association S304.1. A esto se suma el comité del FEMA 445 en el cual los sistemas de mampostería estructural reforzada son omitidos de los proyectos de desarrollo de nuevas metodologías de diseño basados en el desempeño sísmico.

El desarrollo del artículo presenta los resultados de experimentación con cuatro (4) tipos de muros de mampostería estructural reforzadas sometidas a ciclos completos de desplazamiento y carga controlada, los resultados también incluyen las pruebas en un muro de un estudio previo para propósitos de comparación. El diseño y detallado de los muros representan un rango de parámetros de los que se espera variar de bajo a medio riesgo.

Los resultados de este programa experimental indican que los elementos de borde retrasan la aparición del pandeo en el refuerzo vertical y reducen el impacto del astillamiento del plano del muro y de la rigidez general. Un 20% de disminución desde la última carga, el desplazamiento máximo tuvo un rango desde 1.82 a 3.73% y las ductilidades de desplazamiento oscilaron entre 6.6 a 15.2. Este estudio es el primero de una serie de estudios en la Universidad de McMaster actualmente enfocada a introducir un conjunto amplio de evidencias experimentales orientadas al establecimiento de una nueva categoría de sistemas de muros en mampostería reforzada resistentes a fuerzas de sismo en los códigos de construcción de Norte América.

Figura 8. RM confinamiento en elemento de borde.



Fuente: Bennett R. Banting y Wael W. El-Dakkakhni, *J. Struct. Eng.*, 2012, 138(12): 1477-1491.

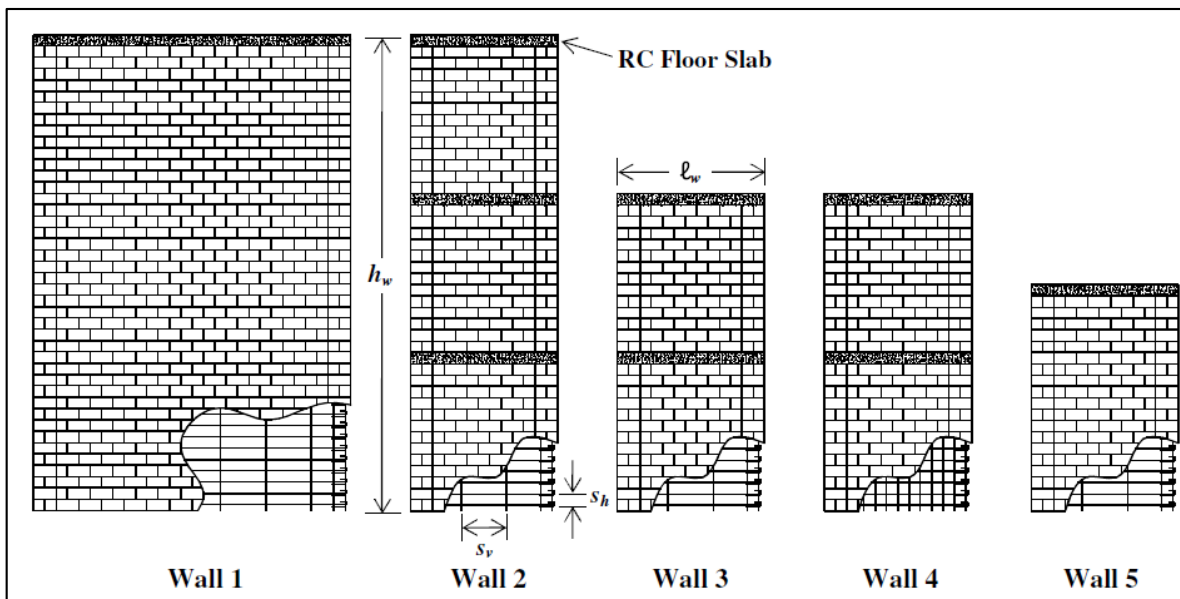
9.8 TÍTULO: CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL REFORZADOS CON ELEMENTOS DE BORDE. Autores: Bennett R. Banting, Wael W. El-Dakhkhni. Año 2014.

El artículo tiene por objeto presentar los resultados experimentales de un plan de confinamientos de muros de mampostería, basados en prácticas convencionales de construcción.

El diseño de muros estructurales de mampostería reforzada que estén sometidos a exigencias de desplazamiento del orden inelástico, se ve restringido por la prescripción de requisitos en los códigos de diseño con respecto a la relación entre la profundidad de la zona de compresión (c) y la longitud del muro. Es probable una solución brindando confinamiento de los elementos de contorno, y el código del Masonry Standards Joint Committee (MSJC) prevee la utilización de estos, pero sin la definición de una guía o una orientación correspondiente al detallado de los elementos de contorno, quedando en responsabilidad del diseñador especificar un detallamiento al nivel de rendimiento deseado.

Las pruebas se realizaron en cinco (5) muros de mediana altura, detallados con elementos de confinamiento de contorno, con variaciones en altura, longitud y en las relaciones de acero de refuerzo verticales.

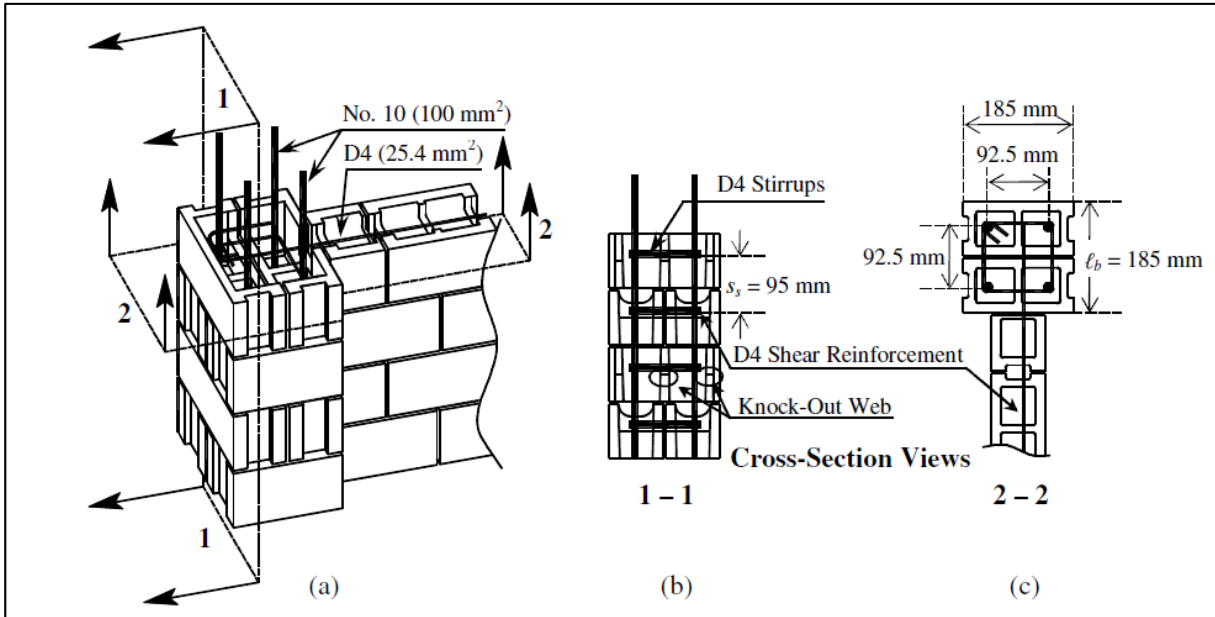
Figura 9. Muros con diferente relación de aspecto.



Fuente: Bennett R. Banting y Wael W. El-Dakkakhni, *J. Struct. Eng.*, 2014, 140(5): 04014001.

Los muros se ensayaron con cargas dinámicas, y a su vez se instalaron cargas que simularan su condición de servicio.

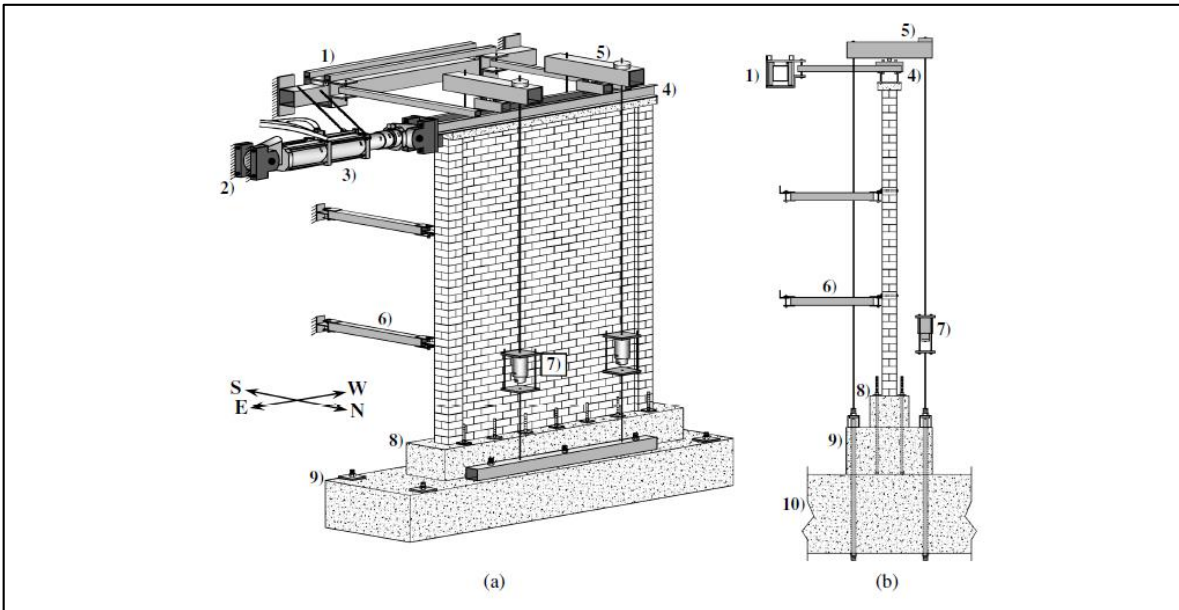
Figura 10 Elemento de borde convencionales



Fuente: Bennett R. Banting y Wael W. El-Dakkakhni, *J. Struct. Eng.*, 2014, 140(5): 04014001.

Detalle del elemento de borde dentro del muro, vistas en elevación y en planta.

Figura 11. Prueba de muros, a) isométrico del muro, b) vista de elevación del muro.



Fuente: Bennett R. Banting y Wael W. El-Dakkakhni, *J. Struct. Eng.*, 2014, 140(5): 04014001.

Los resultados se presentan en términos de resistencia, rigidez y ductilidad del muro. En general, el desempeño de los muros indica que el detallado del elemento de borde suministrado por el diseñador se orienta a la necesidad de disminuir la relación c/lw (c =profundidad de la zona a compresión, lw = longitud del muro) y de obtener niveles altos de curvatura indicados por el MSJC.

10 PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN EN OBRA DE LOS ELEMENTOS DE BORDE EN MAMPOSTERÍA REFORZADA.

Destacan por su ausencia, las alternativas de construcción de un elemento de borde en muros de mampostería reforzada. Se ha estudiado cada una de las opciones constructivas presentes en las normativas anteriormente y en los textos de investigación expuestos y/o referenciados, y por ende se hará una descripción de la alternativa que se consideró más viable, basada única y exclusivamente en las investigaciones recopiladas presentes en este artículo.

Los resultados experimentales (Investigaciones presentadas en el presente trabajo) indican que los muros de mampostería reforzada (RM), de forma similar a los muros de concreto reforzado (RC), pueden beneficiarse enormemente al proporcionar algún tipo de confinamiento lateral de una doble fila de barras de refuerzo verticales en regiones críticas. Las características sísmicas determinadas a partir de cargas cuasiestáticas indican que este método de construcción es beneficioso mediante la adopción de un enfoque basado en el desplazamiento de diseño que representa cambios en el comportamiento con deformación inelástica.

Para esta selección se tuvo en cuenta los indicadores de desempeño proporcionados por el FEMA 306, incluyendo el tipo de fisura, orientación de la grieta y fractura de barra, así también el pandeo de la barra y desprendimiento en la cara del muro afectada.

La forma más práctica para armar y construir un elemento de borde para muros de mampostería reforzada (RM) son:

10.1 ELEMENTOS DE BORDE CONFINADOS CON PLATINA EN EL MORTERO DE PEGA.

El detallamiento de elementos de borde confinados por medio de una platina en el mortero de pega se da de la siguiente manera:

- ✚ Mampostería hecha a base de ladrillo Santa Fe LPOR30, de dimensiones 29x14.5x9cm, peso 5.4 kg, con resistencia a la compresión de 250 kg/cm² y capacidad de absorción de agua del 9%.
- ✚ El acero de refuerzo consiste en varillas corrugadas normalizadas con la norma NTC-2289, con un límite a la fluencia $f_y = 420 \text{ MPa}$.
- ✚ Cemento portland tipo I
- ✚ Arena y grava.
- ✚ Mortero de pega y grouting elaborados con materiales mencionados anteriormente.

✚ Platinas de pega ASTM A-36, límite a la fluencia de $f_y = 252 \text{ MPa}$.

Figura 12. Platina De Refuerzo Y Elemento De Borde.



Fuente: *Joselyn Augusto Torres, Tesis UNAL, 2009.*

Procedimiento:

Se construye un muro de mampostería con ladrillo tipo Santa Fe LPOR30 y refuerzo corrugado en posición vertical unido por medio de una lechada o grouting, a su vez los elementos de contorno se preparan mediante la combinación de un fleje y una platina de pega ASTM A-36 (ver figura xxx), esta platina se coloca verticalmente cada dos ladrillos.

Comportamiento y viabilidad:

Basados en la investigación realizada por **Ing. Joselyn Augusto Torres Rodríguez**, la cual tiene por nombre título **“Comportamiento De Muros De Mampostería Con Elementos De Borde Confinados Con Platinas En El Mortero De Pega”** podemos encontrar que la colocación de elementos de borde utilizando platinas dentro del mortero de pega demostró ser una buena solución técnica para mejorar el comportamiento de la mampostería.

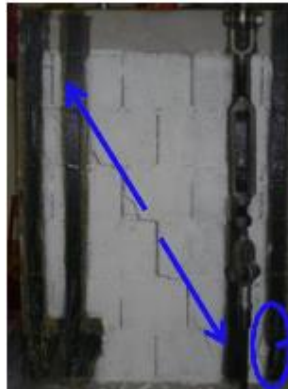
Sin embargo, los costos hacen que no sea una solución factible. En este caso, se utilizó un estribo de $\text{Ø}3/8$ ” y un marco en platina de $1/4$ ”, colocados cada dos hiladas, para cada muro se colocaron 20 platinas aproximadamente, que representaron un costo de \$60.000 C/u.

La construcción de los elementos de borde es dispendiosa y costosa.

10.2 MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADO POR COMPUESTOS DE TRC Y FRP

- ✚ Mampostería hecha a base de unidades de bloques huecos de hormigón, cuyas dimensiones 50x20x7.5cm, pertenecen al grupo 2 según el Eurocódigo 6, con una fuerza B40 (fuerza a la compresión de 4 MPa.).
- ✚ El acero de refuerzo consiste en varillas corrugadas normalizadas con la norma NTC-2289, con un límite a la fluencia $f_y = 420 \text{ MPa}$.
- ✚ Cemento portland (CEM I 52.5)
- ✚ Arena en la proporción 1:3 con una relación agua/cemento igual a 0.5.
- ✚ Mortero de pega y grouting con resistencia a compresión y flexión de 48 MPa y 10 MPa respectivamente.
- ✚ Material compuesto:
 - **Polímero reforzado con fibras (FRP):** Los materiales compuestos reforzados con fibras consistir en una matriz de epoxi de dos componentes y los tejidos bi-direccionales hechas ya sea de carbono (CFRP) o de vidrio (GFRP).

Figura 13. Muro reforzado con fibras (FRP).



Fuente: Thi-Loan Bui, A. Si Larbi, N. Reboul, E.Ferrier, *Composite Structures* 132 (2015) 923-932.

- **Compuesto de cemento con refuerzo textil (TRC):** El material compuesto contiene la fracción de volumen de fibra de 4,36% AR-vidrio, es decir, 2,18% en cada dirección principal. El textil utilizado para el refuerzo es un tejido de punto por urdimbre rejilla bidireccional.

Figura 14. Muro reforzado con textil (TRC).



Fuente: Thi-Loan Bui, A. Si Larbi, N. Reboul, E.Ferrier, *Composite Structures* 132 (2015) 923-932.

Procedimiento:

Unidades de bloques huecos de hormigón son ensambladas por medio de un mortero compuesto por cemento portland (CEM I 52.5) y arena de las características mencionadas anteriormente, formando así la mampostería típica.

Adicional a este sistema de unidades, agregamos en las caras externas del muro el compuesto de Polímero reforzado con fibras (FRP) o Compuesto de cemento con refuerzo textil (TRC) y esperamos alrededor de tres horas.

Comportamiento y viabilidad:

Basados en la investigación realizada por **Thin-Loan Bui, A. Si Larbi, N. Reboul**, la cual tiene por nombre título “**Shear behaviour of masonry walls strengthened by external bonded FRP and TRC**” podemos encontrar que las soluciones para el fortalecimiento por TRC permite el aumento de la ductilidad de los muros con una resistencia menor en comparación con las soluciones con FRP. Es decir; el reforzamiento con TRC nos permite obtener mayor desplazamiento y deformaciones sin un degra do importante en la rigidez (ductilidad), mientras que con el reforzamiento FRP, obtenemos mayor ganancia de resistencia lateral, pero poca ductilidad.

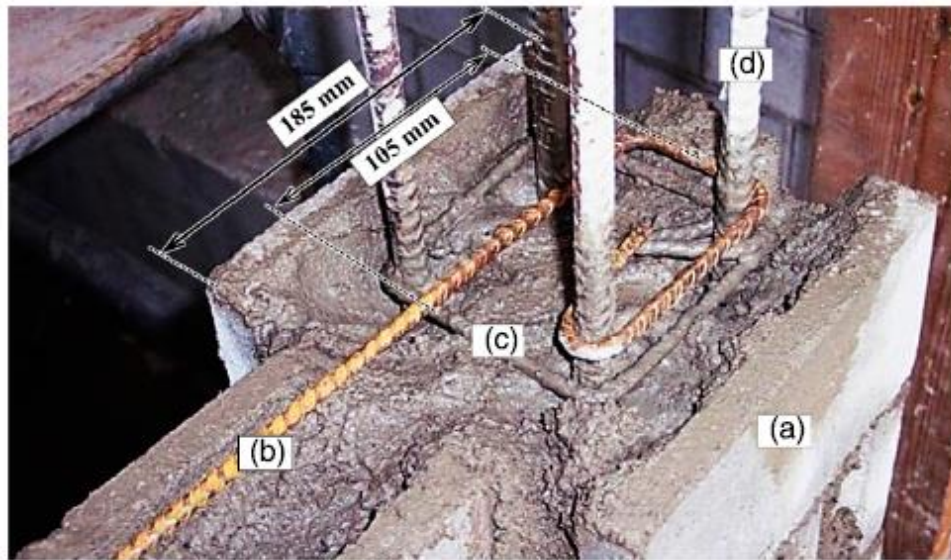
A pesar de ser un sistema eficiente ya sea con fines de aumentar la resistencia o ductilidad del muro, se hace impráctico a la hora de utilizar en la construcción debido al elevado costo de los materiales.

10.3 MUROS CON ELEMENTOS DE BORDE BASADOS EN PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE ALBAÑILERÍA CONVENCIONALES CON O SIN UNIDADES DE BLOQUE DE ALTA RESISTENCIA.

El detallamiento de elementos de borde confinados por medio de una platina en el mortero de pega se da de la siguiente manera:

- ✚ Mampostería hecha a base de ladrillo de perforación vertical, de dimensiones 29x14.5x9cm, peso 5.4 kg, con resistencia a la compresión de 250 kg/cm² y capacidad de absorción de agua del 9%.
- ✚ El acero de refuerzo consiste en varillas corrugadas normalizadas con la norma NTC-2289, con un límite a la fluencia $f_y = 420 \text{ MPa}$.
- ✚ Cemento portland tipo I
- ✚ Arena y grava suministrada por un distribuidor local (Bogotá).
- ✚ Mortero de pega y grouting elaborados con materiales mencionados anteriormente.

Figura 15. Elemento De Borde Con Dos Filas De Barras Y Estribos Cerrados.



Fuente: Bennett R. Banting y Wael W. El-Dakkakhni, *J. Struct. Eng.*, 2012, 138(12): 1477-1491.

Procedimiento:

Consiste en muros de mampostería con ladrillo hueco y refuerzo corrugado en posición vertical unido por medio de una lechada o grouting, a su vez los elementos de contorno se preparan mediante la combinación de dos ladrillos adyacentes, la colocación de mínimo dos filas de dos barras de acero amarrados mediante un fleje o estribo y a su vez una inyección de lechada para proporcionar un elemento monolítico.

Comportamiento y viabilidad:

Basados en la investigación realizada por **Bennett R. Banting, Ph.D., y Wael W. El-Dakhakhni**, la cual tiene por nombre título **“Seismic Performance Quantification of Reinforced Masonry Structural Walls with Boundary Elements”** podemos encontrar que el desempeño del elemento de borde para cada uno de los muros (se ensayaron cinco muros en esta investigación) estuvo marcado por la capacidad de retrasar el pandeo de refuerzo y aplastamiento del núcleo de la lechada, tal que la ocurrencia de desprendimientos en la cara del muro en los borde de los pies de compresión no correspondían con una abrupta caída en la resistencia.

Los resultados experimentales indican que los muros RM (mampostería reforzada), similares a los muros de RC (muro de concreto), se pueden beneficiar en gran medida al proporcionar confinamiento lateral de una doble fila de barras de refuerzo verticales en regiones críticas. Las características de los muros también indican que este método de construcción podría beneficiarse al tomar un enfoque del diseño basado en el desplazamiento, que da cuenta de los cambios en el comportamiento con la deformación inelástica, incluyendo el papel que juegan las deformaciones por cortante.

También se puede observar de forma cualitativa, que en cuanto a practicidad y relación costo-beneficio esta propuesta de elemento de bordes es muy eficiente, ya que se construye con los mismos materiales de la obra: unidades de arcilla o ladrillo hueco de hormigón, refuerzo corrugado (barras verticales y estribo), lechada o grouting, entre otros. , su transporte es insignificante y no generaría mucho más costo del que se tendría presupuestado para una construcción de este tipo, no necesita de capital humano altamente calificado.

11 CONCLUSIONES

- Se puede apreciar que existen varias investigaciones y contribuciones con respecto al uso, análisis y diseño de elementos de borde en mampostería reforzada, pero no la suficiente para validar completamente el uso de este tipo de elementos, se sugiere al futuro lector realizar una búsqueda que consista en la actualización de esta información.
- Los mecanismos de daños principales en mampostería estructural reforzada ante cargas cíclicas y monotónicas laterales en el plano del muro son las concernientes a fallas producidas por corte y aplastamiento en el pie del elemento de borde, por lo se sugiere estandarizar un detallamiento análisis detallado de este tipo de fallas.
- La necesidad de llevar la mampostería estructural reforzada a niveles de capacidad de disipación de energía altos, es decir; grandes deformaciones si ocurrir falla prematura, ha hecho de los elementos de borde un requisito indispensable. La información en cuanto al análisis, diseño y construcción de dicho elementos de borde es escasa, y poco se encuentra en las normativas e investigaciones recientes sobre este tema.
- Las normativas más relevantes, en diseño y recomendaciones sobre los elementos de borde en mampostería reforzada son mencionadas a continuación: Building code requirement for masonry structures (**ACI 530-11**), Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced structures (**EC-6**), Design of reinforced concrete masonry structures (**NZC 4230**), Norma Técnica Albañilería (**E.070**), Norma colombiana sismo resistente (**NSRr-10**), Masonry Standards Joint Committe (**TMS 402-11/ACI 530-11/ASCE 5-11**).
- Realizando un análisis de las propuestas elaboradas por las investigaciones presentadas en el actual trabajo, consideramos que la opción más viable para la construcción de los elementos de borde en mampostería estructural reforzada es aquella que tiene por nombre **“Muros con elementos de borde basados en prácticas de construcción de albañilería convencionales con o sin unidades de bloque de alta resistencia.”**

- También se pudo observar de forma cualitativa, que en cuanto a **practicidad y relación costo-beneficio** esta propuesta de elemento de bordes es muy eficiente, ya que se construye con los mismos materiales de la obra: unidades de arcilla o ladrillo hueco de hormigón, refuerzo corrugado (barras verticales y estribo), lechada o grouting, entre otros. , su transporte es insignificante y no generaría mucho más costo del que se tendría presupuestado para una construcción de este tipo, no necesita de capital humano altamente calificado.

BIBLIOGRAFÍA.

- ACI 318-11 (2011), "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI.
- Banting, B. R., and El-Dakhakhni, W. W. (2012). "Force- and displacement-based seismic performance parameters for reinforced masonry structural walls with boundary elements."
- Bennett R. Banting, Ph.D., y Wael W. El-Dakhakhni, Seismic Performance Quantification of Reinforced Masonry Structural Walls with Boundary Elements.
- Bonett Diaz, Ricardo León. Vulnerabilidad y riesgo sísmico de Edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza sísmica alta y moderada.
- Canadian Standards Association (CSA). (2004b). "Design of masonry structures." CSA S304.1-04 (R2010), Mississauga, Canada.
- Joselyn Augusto Torres Rodríguez. "Comportamiento De Muros De Mampostería Con Elementos De Borde Confinados Con Platinas En El Mortero De Pega". Universidad Nacional de Colombia, Tesis de pregrado 2009, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia.
- Masonry Standards Joint Committee (MSJC). (2008). "Building code requirements for masonry structures." TMS 402/ASCE 5/ACI 530, New York.
- NSR-10 (2010), "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Bogotá, Colombia.
- Priestley, M. J. N., and Elder, D. M. (1982). "Seismic behaviour of slender concrete masonry shear walls." Research Rep. 82-4, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Paulay & Priestley. Seismic Design of reinforced concrete and masonry Buildings. John Wiley & Sons. New York. 1992.
- Shedid, M. T., Drysdale, R. G., and El-Dakhakhni, W. W. (2008). "Behavior of fully grouted reinforced concrete masonry shear walls failing in flexure: Experimental results."
- Thin-Loan Bui, A. Si Larbi, N. Reboul, Shear behaviour of masonry walls strengthened by external bonded FRP and TRC.
- Torres Rodriguez, Joselyn Augusto. (2009). "Comportamiento de muros de mampostería con elementos de borde confinados con platinas en el mortero de pega", Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería civil. Colombia.

- Victor Hugo Aguilar Vidal, Estimación De La Resistencia Al Corte De Muros De Albañilería Armada. Estudio Comparativo Y Uso De Redes Neuronales Artificiales. Valdivia, Chile, 2013.