

PROPUESTA DE UNA NORMA PARA EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA EN VENEZUELA

Dr. Ing. Angelo Marinilli¹, PhD. Ing. Oscar A. López²

¹ Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *angelo.marinilli@ucv.ve*

² Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *oalsf@yahoo.com*

RESUMEN

Aunque comúnmente se construyen edificaciones a base de muros de mampostería y que una importante cantidad de la población está ubicada en las zonas de mayor amenaza sísmica del país, no se dispone de una norma actualizada para edificaciones de mampostería en Venezuela, siendo la última la norma del Ministerio de Obras Públicas de 1955. El objeto de este trabajo es presentar los lineamientos seguidos para desarrollar una nueva norma estructural para edificaciones de mampostería en Venezuela. El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Facultad de Ingeniería UCV desarrolla desde hace varios años una línea de investigación para racionalizar el uso de la mampostería estructural en Venezuela. En este marco se elaboró una propuesta de norma estructural que trata sobre el análisis, diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones de mampostería estructuradas con muros de mampostería confinada o mampostería reforzada internamente. La norma también presenta los lineamientos para el análisis y adecuación de edificaciones existentes. Se presta especial atención a los detalles a ser considerados para lograr comportamientos adecuados bajo las acciones sísmicas, tales como el análisis y diseño para cargas actuando en el plano y fuera del plano de los muros, la conexión entre componentes estructurales y la interacción entre componentes estructurales y no estructurales de acuerdo con el estado del arte. La propuesta normativa se desarrolló con el soporte del Centro Nacional de Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano (CENVIH) ente adscrito al Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología.

Palabras clave: Mampostería estructural, sismorresistencia, norma, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La mampostería puede ser definida como aquella obra fabricada mediante la colocación a mano de unidades de mampostería, sean éstas naturales o artificiales, que son unidas entre sí horizontal y verticalmente con mortero. Del mismo modo se puede definir como mampostería estructural la obra de mampostería diseñada especialmente para resistir combinaciones de corte, momento y fuerza axial inducidas por las acciones gravitacionales y accidentales. Entre estas últimas se encuentran las sollicitaciones producidas por un sismo.

Las edificaciones a base de muros de mampostería con deficiencias en su configuración estructural, en el detallado del refuerzo de los muros o los elementos de confinamiento, o

fabricados con materiales de pobre calidad, han mostrado comportamientos inadecuados durante la ocurrencia de terremotos a lo largo del tiempo. Algunos ejemplos de esta situación corresponden a los daños y derrumbes ocurridos en algunas edificaciones de mampostería durante los terremotos de Táchira de 1981 y Cariaco de 1997 en Venezuela, o los terremotos de Pisco de 2007 (Perú), Sichuan de 2008 (China), Haití y Chile de 2010 o Champerico de 2012 (Guatemala) a nivel mundial. Sin embargo, durante esos terremotos también se observaron comportamientos sísmicos adecuados en aquellas edificaciones de mampostería en las que se emplearon configuraciones, detallados y materiales estructurales apropiados durante su construcción. Son precisamente estos últimos casos los que permiten validar, como un hecho cierto, que el uso racional de la mampostería estructural permite la construcción de edificaciones seguras durante los terremotos.

Las edificaciones a base de muros de mampostería son comúnmente construidas para vivienda y otros usos en áreas urbanas, suburbanas y rurales de Venezuela. La mampostería confinada es frecuentemente usada en la construcción formal, la mampostería no reforzada es usualmente empleada en la construcción popular y la mampostería reforzada internamente, aunque es empleada masivamente a nivel mundial, es raramente utilizada en el país. La Figura 1 permite observar algunos ejemplos del uso de la mampostería en la construcción popular y profesional de viviendas en Venezuela.

Aunque la mampostería es ampliamente usada y un número importante de la población venezolana está ubicada en las zonas de mayor amenaza sísmica del país, no se dispone de una norma actualizada para edificaciones a base de muros de mampostería estructural. La última norma nacional que trata sobre el tema es la norma del Ministerio de Obras Públicas de 1955 (MOP, 1959). El objeto de este trabajo es presentar los lineamientos seguidos para desarrollar una nueva norma estructural para edificaciones de mampostería en Venezuela.



Figura 1: Ejemplos de uso de la mampostería en la construcción popular (izquierda) y profesional (derecha) en Venezuela (Fotografías A. Marinilli y E. Castilla).

1. ANTECEDENTES

A continuación se presentan algunos antecedentes que sirvieron de soporte para el desarrollo de la propuesta de norma para mampostería estructural.

1.1 Actividades realizadas en el IMME

El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), instituto adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, desarrolla desde hace varios años una línea de investigación que tiene como finalidad racionalizar el uso de la mampostería estructural en Venezuela (López et al., 1985). En este marco se han desarrollado diversas investigaciones experimentales para evaluar el comportamiento sismorresistente de muros de mampostería de diversas características. Entre estas investigaciones se pueden citar las siguientes: Castilla (1990) presenta un estudio sobre el comportamiento de muros de mampostería confinada fabricados a escala natural con bloques huecos de arcilla, Carrillo y Molina (1997) presentan un estudio del comportamiento de muros de mampostería confinada fabricados a media escala con ladrillos macizos de arcilla, Castilla (1998) presenta un estudio sobre el comportamiento de muros de mampostería confinada fabricados a escala natural con bloques huecos de concreto y Marinilli (2004) presenta un estudio del efecto de los elementos de confinamiento verticales en muros de mampostería sometidos a acciones sísmicas. Finalmente, es interesante mencionar a Acosta et al. (2005) quienes presentan el desarrollo de un sistema constructivo de muros de mampostería estructural confinada con perfiles de acero en el marco de un proyecto desarrollado conjuntamente entre el IDEC y el IMME. La Figura 2 permite observar muros de mampostería confinada con elementos de concreto reforzado y con perfiles de acero una vez ensayados ante carga lateral alternante.

Adicionalmente, con la finalidad de divulgar y poner al alcance de la comunidad los resultados y el aprendizaje derivado de la línea de investigación desarrollada en el IMME, se elaboraron las siguientes guías para la construcción popular: “Autoconstrucción sismorresistente” en la que se presentan recomendaciones para construir viviendas seguras y confiables en zonas de terremotos, con materiales de uso común tales como bloques, acero y concreto armado (Lafuente y Genatios, 2007) y “Vivienda de mampostería confinada con elementos de concreto armado” donde se señalan los aspectos que se deben cuidar en cada etapa de la construcción para garantizar un comportamiento seguro de viviendas de mampostería confinada de uno o dos pisos durante un terremoto (Marinilli, 2013).



Figura 2: Muros de mampostería confinada con elementos de concreto reforzado (izquierda) y con perfiles de acero (derecha) ensayados ante carga lateral (Fotografías A. Marinilli y E. Castilla).

1.2 Normas nacionales

Hasta la presente fecha solamente 3 normas han contemplado la mampostería como un sistema estructural en Venezuela. La primera de ellas corresponde a las “Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1939” (MOP, 1939). Esta norma trata en el capítulo 6 las consideraciones para el diseño de muros y tabiques de ladrillo con una extensión de apenas 3 páginas. La segunda corresponde a las “Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1947” (MOP, 1948). Esta trata en el capítulo 6 sobre muros y tabiques de ladrillo, muros de bloques huecos de alfarería o de concreto y muros de mampostería, con una extensión total de 9 páginas. La tercera corresponde a las “Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1955” (MOP, 1959). Esta norma trata en el capítulo 1 de la parte III sobre muros de ladrillo, muros de bloques huecos de alfarería o de concreto y muros de mampostería, con una extensión total de 17 páginas. Esta es la última norma venezolana que trata sobre estructuras de mampostería y no ha sido derogada.

1.3 Normas internacionales

A nivel internacional las normas para edificaciones de mampostería se mantienen más o menos al día de acuerdo con el estado del arte. Por ejemplo, en Europa, el Eurocódigo 6 presenta las reglas comunes para estructuras de mampostería reforzada y no reforzada (EN 1996-1-1, 2002). Por otra parte, las normas latinoamericanas resultan particularmente interesantes para la elaboración de la norma para edificaciones de mampostería en Venezuela, debido a la afinidad en criterios y prácticas constructivas. En Chile las normas NCh2123-1997 (1997) y NCh1928.Of1993 (2009) tratan sobre el análisis, diseño y construcción de edificaciones de mampostería confinada y mampostería reforzada internamente, respectivamente. En México la norma NTCM-2004 (2004) trata sobre edificaciones de mampostería confinada, mampostería reforzada internamente y mampostería no confinada ni reforzada, con aplicación en el Distrito Federal (México D. F.). En el Perú la Norma E.070 (2006) trata sobre edificaciones de mampostería confinada y mampostería reforzada internamente. En Colombia la norma NSR-10 (2010) trata en el título D sobre edificaciones de mampostería confinada, mampostería reforzada (interna y externamente), mampostería parcialmente reforzada y mampostería no reforzada.

1.4 Manuales y guías de construcción

Los manuales y guías de construcción presentan información valiosa, puesto que recogen las prácticas constructivas recomendadas para asegurar que las edificaciones de mampostería, usualmente de construcción popular, desarrollen comportamientos seguros bajo la acción de cargas verticales y cargas laterales producidas por los terremotos. Además de los documentos elaborados en el país descritos previamente (Lafuente y Genatios, 2007 y Marinilli, 2013), se pueden mencionar los siguientes: “Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería” elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2001), “Construcción y mantenimiento de viviendas de albañilería para albañiles y maestros de obra” elaborado por la Politécnica Universidad Católica del Perú y SENCICO (Blondet, 2005) y la “Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings” elaborada por la Confined Masonry Network (Meli et al., 2011). Esta última es particularmente interesante puesto que

resulta del consenso de un grupo de trabajo compuesto por profesionales e investigadores de primer nivel, provenientes de varias partes del mundo.

2. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA

A continuación se describe brevemente el proceso seguido para elaborar la propuesta de norma para edificaciones de mampostería estructural en Venezuela.

2.1 Elaboración de la ponencia

La ponencia de la norma fue elaborada por los Profesores Angelo Marinilli y Oscar A. López del IMME con el soporte del Centro Nacional de Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano (CENVIH), ente adscrito al Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología.

2.2 Subcomité Técnico de Normalización de Mampostería

La revisión de la ponencia fue realizada en el marco del Subcomité Técnico de Normalización de Mampostería coordinado por el CENVIH y conformado por los ingenieros María Morillo del CENVIH (Secretaria), Oscar A. López (Presidente), Angelo Marinilli y Norberto Fernández del IMME, Manuel Pose del Instituto Universitario de Tecnología Región Capital, Luis Vargas y Franklin Rodríguez del Ministerio del Poder Popular para Vivienda y Hábitat.

2.3 Discusión pública

La discusión pública fue coordinada por el Fondo de Desarrollo para la Normalización, Calidad, Certificación y Metrología (FODENORCA) a través de la página web del Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER). Una vez recogidas las observaciones y comentarios producto de la discusión pública, el Subcomité Técnico de Normalización de Mampostería los analizó y discutió su incorporación al documento con el objeto de producir la versión final de la norma.

3. PROPUESTA DE NORMA PARA EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA

La propuesta de norma está compuesta por 11 capítulos del articulado y los comentarios. A continuación se presenta una breve descripción de su contenido.

3.1 Capítulo 1 - Objetivos y alcance

En esta propuesta de norma se establecen los requisitos mínimos para análisis, diseño y construcción de edificaciones nuevas de muros de mampostería confinada o de mampostería reforzada en todo el territorio nacional. Estos requisitos tienen como fin lograr comportamientos apropiados y seguros ante las cargas permanentes y variables establecidas en la Norma Venezolana Covenin 2002 (NVC 2002, 1988) y ante cargas accidentales, particularmente las producidas por movimientos sísmicos de acuerdo con la Norma Venezolana Covenin 1756 (NVC 1756, 2001). Una vez aprobada, la propuesta de norma

sustituirá a la parte III de las “Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1955” titulada “Muros y Tabiques” (MOP, 1959).

3.2 Capítulo 2 - Definiciones, notación y unidades

En este capítulo se presenta el significado de 72 términos y 80 símbolos usados en la norma. Las unidades empleadas corresponden al sistema métrico decimal (MKS), cuyas unidades básicas son metro (m), kilogramo fuerza (kgf) y segundo (s). Se utiliza predominantemente el kilogramo fuerza (kgf) y el centímetro (cm), así como sus combinaciones.

3.3 Capítulo 3 - Requisitos generales

En este capítulo se establece que las edificaciones de mampostería estructural deben diseñarse por el método del estado límite de agotamiento resistente, utilizando las combinaciones de carga del capítulo 5. En el análisis de las edificaciones de mampostería estructural se deben utilizar modelos matemáticos que cumplan con los principios establecidos en la resistencia y la mecánica de materiales, de modo que describan adecuadamente las respuestas estructurales esperadas. Igualmente se establece que toda edificación debe poseer un sistema estructural para resistir sismos, con la estabilidad, resistencia, rigidez y ductilidad necesarias, capaces de transmitir las fuerzas sísmicas desde su punto de aplicación hasta las fundaciones, cumpliendo con los requerimientos de resistencia y deformabilidad del terreno.

3.4 Capítulo 4 - Materiales

En este capítulo se establecen los requisitos para los siguientes materiales: unidades de mampostería, cementantes, agregados, agua para el mezclado y aditivos. Igualmente se establecen los requisitos para el mortero, la mampostería, el concreto, el concreto líquido y el acero de refuerzo. Todos los requisitos se establecen de acuerdo con las Normas Venezolanas Covenin pertinentes.

3.5 Capítulo 5 - Especificaciones generales para análisis y diseño estructural

En este capítulo se establece que el diseño de las edificaciones de mampostería se debe realizar mediante el método del estado límite de agotamiento resistente. Las combinaciones de carga y el detallado del acero de refuerzo se corresponden a lo establecido en la Norma Venezolana Fondonorma 1753:2006 (NVF 1753, 2006). Adicionalmente las edificaciones de mampostería estructural deben ser diseñadas por durabilidad y deben ser verificadas para el estado límite de servicio. En este capítulo se indica además que la resistencia a compresión de los muros de mampostería es afectada por un factor de reducción de resistencia por excentricidad y esbeltez, y que la fuerza cortante que resiste la mampostería se basa en la resistencia a compresión diagonal de la mampostería. Finalmente se indica que todos los muros deben ser diseñados para resistir flexión fuera de su plano mediante elementos de confinamiento o refuerzo interno.

3.6 Capítulo 6 - Mampostería confinada

En este capítulo se establecen los requisitos para el diseño de edificaciones de mampostería confinada. Un muro de mampostería confinada es aquel que tiene elementos de

confinamiento adecuadamente unidos entre sí en todo su perímetro y que cumple con los requisitos de este capítulo. Los elementos de confinamiento verticales se denominan machones y los horizontales se denominan vigas de corona. Para lograr la unión de la pared de mampostería y los elementos de confinamiento, se vacía el concreto de los machones y vigas de corona una vez construida la pared. Adicionalmente, se garantiza una traba mecánica adicional entre la pared y los machones mediante el endentado de la mampostería o mediante el uso de conectores metálicos. La figura 3 permite observar los requisitos de confinamiento establecidos en la propuesta de norma.

3.7 Capítulo 7 - Mampostería reforzada internamente

En este capítulo se establecen los requisitos para el diseño de edificaciones de mampostería reforzada internamente. Un muro de mampostería reforzada internamente es aquel que posee como refuerzo barras o alambres de acero con resaltes, distribuidos horizontal y verticalmente, ubicados en las celdas de las unidades de mampostería o en las juntas horizontales de mortero y que cumple con los requisitos de esta norma. Todo refuerzo horizontal debe estar recubierto por mortero y todo refuerzo vertical debe estar recubierto por concreto líquido en las celdas. La figura 4 permite observar los requisitos de refuerzo interno establecidos en la propuesta de norma.

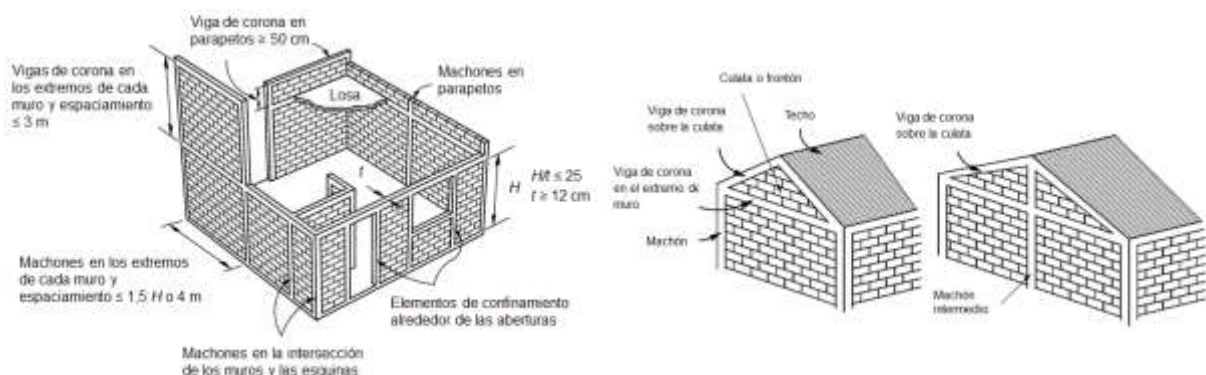


Figura 3: Requisitos de confinamiento
(Modificado de Meli et al., 2011).

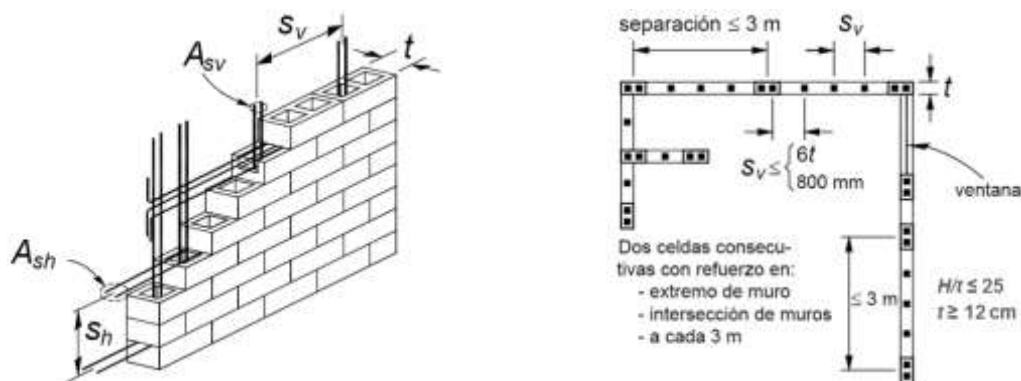


Figura 4: Requisitos de refuerzo interno (Modificado de NTCM-2004, 2004).

3.8 Capítulo 8 - Muros diafragma

En este capítulo se establecen los requisitos para el diseño de muros diafragma. Un muro diafragma es aquel que se encuentra rodeado por las vigas y las columnas de un pórtico resistente a momentos, de acero o de concreto reforzado, al cual se encuentra adosado y le proporciona rigidez adicional ante cargas laterales. Los muros diafragma pueden ser considerados como parte del sistema resistente a sismos solamente en edificaciones existentes. Para esto deben existir muros diafragma en forma continua desde la fundación hasta el techo de la edificación y no deben poseer aberturas ni juntas de ninguna especie. La figura 5 permite observar la interacción entre un muro diafragma y un pórtico.

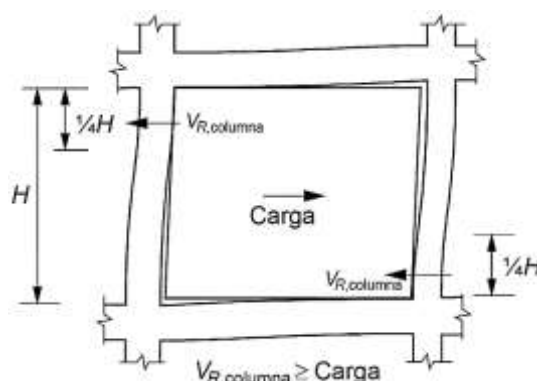


Figura 5: Interacción entre un muro diafragma y un pórtico
(Modificado de NTCM-2004, 2004).

3.9 Capítulo 9 - Construcción, inspección y control de obra

En este capítulo se establece que la construcción, inspección, supervisión técnica y el control de obra de las edificaciones de mampostería estructural debe cumplir con la legislación y normativa vigentes en el país. Además se establecen los requisitos específicos para las edificaciones de mampostería estructural con arreglo a la propuesta de norma.

3.10 Capítulo 10 - Estructuración

En este capítulo se establecen los lineamientos para la estructuración de edificaciones a base de muros de mampostería estructural, prestando especial atención a los criterios específicos para edificaciones sismorresistentes.

3.11 Capítulo 11 - Evaluación de estructuras existentes y rehabilitación

En este capítulo se establecen los lineamientos para realizar la evaluación y la rehabilitación de edificaciones existentes construidas a base de muros de mampostería estructural. Una edificación debe ser evaluada cuando se tengan indicios de ocurrencia de daño, comportamiento inadecuado en condiciones de servicio, problemas de durabilidad, vaya a sufrir modificaciones (estructurales, no estructurales o de uso) o cualquier otra condición que pueda comprometer su seguridad estructural y sismorresistente.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los lineamientos seguidos para desarrollar una propuesta de norma estructural para edificaciones de mampostería en Venezuela. Una vez aprobada la propuesta sustituirá a las “Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1955” (MOP, 1959) en lo que respecta al análisis, diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones a base de muros de mampostería reforzada internamente o mampostería confinada. Los requisitos establecidos en la propuesta de norma tienen como fin lograr comportamientos apropiados y seguros ante cargas permanentes y variables, al igual que ante cargas accidentales como las producidas por movimientos sísmicos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro Nacional de Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano (CENVIH) y al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) por el apoyo brindado para el desarrollo de la propuesta de norma.

6. REFERENCIAS

- Acosta, D., Vivas, C., Castilla, E. y Fernández, N. (2005). Sistema de muros de mampostería estructural confinada con perfiles de acero para la vivienda de bajo costo. *Tecnología y Construcción*, 21 (II), 55-81.
- AIS (2001). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Blondet, M. (2005). *Construcción y mantenimiento de viviendas de albañilería para albañiles y maestros de obra*. Lima: Politécnica Universidad Católica del Perú y SENCICO.
- Carrillo, V. y Molina, A. (1997). *Evaluación del comportamiento de muros confinados de bloques macizos de arcilla con diferentes relaciones de aspecto ante cargas laterales alternantes* (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Castilla, E. (1990). Experiencias recientes en mampostería confinada sismorresistente. *Boletín Técnico IMME*, 79, 12-34.
- Castilla, E. (1998). *Evaluación de la respuesta de muros confinados de bloques de concreto contra ciclos severos de carga lateral* (Tesis Doctoral). Universidad Central de Venezuela. Caracas.

EN 1996-1-1 (2002). *Eurocode 6: Design of Masonry Structures. Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures*. Brussels: European Committee for Standardization.

Lafuente, M. y Genatios, C. (2007). *Autoconstrucción sismorresistente*. Caracas: Ediciones CITECI.

López, O. A., Castilla, E., Genatios, C. y Lafuente, M. (1985). Una proposición para el estudio de edificaciones de mampostería en Venezuela. *Memorias del Taller Normativa y Seguridad de Construcciones en Zonas Sísmicas - IMME* (pp. 129-147). Caracas.

Marinilli, A. (2004). *Evaluación del efecto de los elementos confinantes en muros de mampostería sometidos a acciones sísmicas* (Tesis Doctoral). Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Marinilli, A. (2013). *Vivienda de mampostería confinada con elementos de concreto armado*. Biblioteca popular de sismología venezolana. Vivienda segura ante amenazas naturales. Caracas: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

Meli, R., Brzev, S. et al. (2011). *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings*. Confined Masonry Network.

MOP (1939). *Normas para el cálculo de edificios MOP 1939*. Caracas: Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales.

MOP (1948). *Normas para el cálculo de edificios MOP 1947*. Caracas: Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales.

MOP (1959). *Normas para el cálculo de edificios MOP 1955*. Caracas: Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales.

NCh1928.Of1993 (2009). *Albañilería armada - Requisitos de diseño y cálculo*. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización.

NCh2123-1997 (1997). *Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo*. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización.

Norma E.070 (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Normas Técnicas de Edificación. Albañilería*. Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

NSR-10 (2010). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Título D. Mampostería Estructural*. Bogotá: Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

NTCM-2004 (2004). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. México, D. F.: Comité de Normas del Distrito Federal.

NVF 1753 (2006). *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural*. Caracas: Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad.

NVC 1756 (2001). *Edificaciones Sismorresistentes*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

NVC 2002 (1988). *Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.