

Comparative of reinforced concrete structural walls design compliant to FONDONORMA 1753:2006 and ACI 318–14

Simón Arteaga, Jorge Malavé, José Olival*

Departamento de Ingeniería Estructural, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

Abstract.-

Nowadays the development of avant-garde and complex projects requires conceiving structural designs with optimal performance. As a consequence, using structural walls as a lateral load resisting system starts to stand out as a solution for multiple design problems related with elements stiffness that can be harder to solve applying traditional frame systems. On the other hand, Venezuela's building codes presents a wide gap in their updating process, which complicates the ideal usage of structural walls. For that reason is this investigation's objective to develop a comparison between designing structural walls based on the local code "FONDONORMA 1753:2006" and the design based on "ACI 318-2014". Comparing these two codes will expose the deficiencies of FONDONORMA 1753:2006. Allowing students and professionals in Venezuela to accomplish designs of Structural Walls in a systematized, accurate and updated way.

Keywords: structural walls; structural elements design; code comparison; reinforced concrete; seismic-resistant structures

Comparación del diseño de muros estructurales de concreto armado según FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318–14

Resumen.-

Actualmente el desarrollo de proyectos novedosos y complejos exige concebir propuestas estructurales con desempeños óptimos. Entre estos resaltan los muros estructurales empleados en sistemas resistentes a cargas laterales, como una opción que permite solucionar múltiples problemas de diseño, relacionados con la rigidez de los elementos, los cuales son más complicados de resolver utilizando sistemas tradicionales aportados. Mas es claro que en Venezuela existe una desactualización en cuanto a las normativas de diseño. Tal desactualización dificulta la utilización de los muros de manera ideal. El propósito de esta investigación es desarrollar una comparación entre el diseño de muros estructurales, en base al proyecto de Norma FONDONORMA 1753:2006 y la norma americana ACI 318-14. De manera tal que se evidencien las deficiencias del código local, y con esto permitirles a estudiantes y profesionales vinculados con el cálculo estructural realizar de forma sistematizada, precisa, correcta y actual el diseño de estos elementos que aportan tantas ventajas.

Palabras clave: muros estructurales; metodología de diseño; comparación de normas

Recibido: octubre 2016

Aceptado: febrero 2017

1. Introducción

El mundo de la construcción de edificaciones es un ámbito dinámico y en constante evolución, siempre en búsqueda de optimizar las propuestas de proyecto desde los puntos de vista de seguridad, funcionalidad, estética y fundamentalmente

*Autor para correspondencia

Correo-e: jpolival@gmail.com (José Olival)

en lo económico. Este dinamismo y avance en los puntos mencionados, induce la necesidad de concebir propuestas estructurales que desarrollen comportamientos óptimos ante las exigencias que plantean los proyectos novedosos.

La selección del tipo de sistema estructural resistente a cargas laterales, es uno de los factores esenciales para poder cumplir con el objetivo de obtener la propuesta de mejor comportamiento, adaptada a la arquitectura, que cumpla con su función y se mantenga dentro de rangos de gastos económicos aceptables. Por esto, la utilización de elementos estructurales tipo muro de corte o pantallas como sistema resistente a cargas laterales surge como una de las opciones factibles.

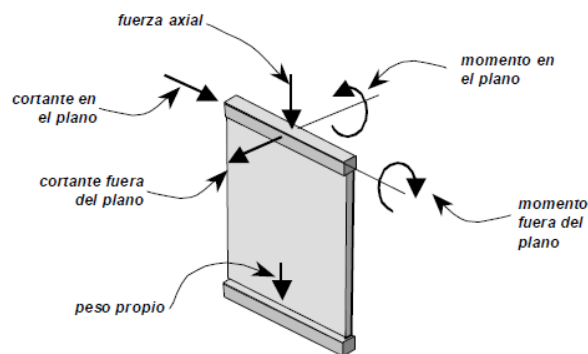


Figura 1: Fuerzas dentro y fuera del plano del muro. Fuente: ACI 318-14 [1].

Los muros estructurales (ME), o muros cortantes como también se les conoce, están definidos como elementos de concreto armado con un “desarrollo en altura de gran magnitud, contra un ancho intermedio y un espesor pequeño” [2], los cuales se diseñan para resistir combinaciones de momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerza axial tal como se muestra en la Figura 1.

La concepción geométrica les proporciona a los ME una rigidez apreciable en la dirección de su plano, por lo que ubicándose en una distribución coherente en una estructura puede dotársele de resistencia considerable, pero sobre todo de una elevada rigidez y ductilidad [3], además de mejorar la utilización de los espacios desde el punto de vista arquitectónico.

La adecuada disposición del acero de refuerzo



Figura 2: Detalle de miembro de borde.

a lo largo de un ME es necesaria para obtener el comportamiento esperado, en especial cuando se desea diseñar para que dicho acero incurriere en el rango inelástico en zonas específicas con el propósito de disipar energía. En algunos casos es conveniente diseñar los muros utilizando miembros de borde (MB), los cuales consisten en zonas ubicadas en los extremos del muro con una disposición especial del acero de refuerzo, con importante confinamiento y un eventual aumento de sección [3], tal y como se muestra en la Figura 2. La sección central o alma del muro suele reforzarse con un detallado más sencillo en cuanto a cantidad y posición del acero se refiere.

Para el desarrollo de diseños sismoresistentes debe utilizarse muros dúctiles y evitar los controlados por fuerza cortante, por no tener la capacidad de disipar energía de manera eficiente. El principal medio de disipación de energía en un cantilever cargado lateralmente debe ser la cedencia del refuerzo a flexión en las regiones de articulación plástica, normalmente en la base del muro [4].

A través de modelos de carga histeréticos se ha

constatado la capacidad de disipación de energía de muros dúctiles continuamente a lo largo de los ciclos. Obteniéndose curvas mucho más estables que en el caso de muros dominados por corte.

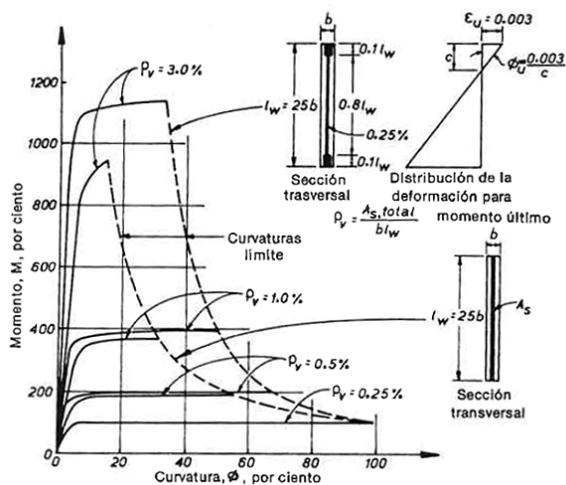


Figura 3: Efecto de la distribución del acero de refuerzo y de la cuantía en la resistencia a flexión y en la curvatura. Fuente: Park, Paulay [5].

El detallado de la distribución del refuerzo a lo largo del muro también influye en su desempeño. Los muros con refuerzo concentrado en los extremos son, en comparación con aquellos con refuerzo distribuido, más resistentes y dúctiles [6], como se demuestra en la Figura 3. Esta ductilidad puede verse reducida si el acero a flexión incursiona en el intervalo de endurecimiento de deformación, por lo cual se hace imperativo un adecuado confinamiento del miembro de borde para aumentar la capacidad de deformación útil del concreto y retrasar el pandeo del acero por flexión.

Por otro lado, un factor importante dentro del comportamiento de los ME es la magnitud de la carga axial a la cual está sometido el elemento, afectando el patrón de agrietamiento, el modo de falla y la ductilidad de los muros [7]. La capacidad de desarrollar desplazamientos laterales disminuye a medida que la carga axial aumenta para una misma sección transversal y propiedades mecánicas del concreto. Haciéndose imperativo el adecuado detallado de elementos de borde para evitar fallas como las observadas en edificaciones durante el terremoto de Chile del año 2010 por

flexo-compresión inducidas por el aplastamiento del concreto y el pandeo del refuerzo longitudinal.

Se ha encontrado, de manera general, un mejor comportamiento de sistemas estructurales que utilizan muros con respecto a los que utilizan marcos ante las condiciones de viento y sismo (Pórticos) [8]. Esto debido a que los ME permiten solucionar problemas de diseño mucho más complicados de resolver utilizando el sistema tradicional de pórticos tales como excentricidades excesivas, riesgo torsional elevado, rigidez deficiente, derivas que no cumplan, entre otros; de particular importancia sobre todo en estructuras sometidas a acciones sísmicas o de viento.

El uso de muros cortantes se hace realmente necesario en determinados edificios elevados, especialmente para sistemas de múltiples niveles, en el rango de 30 a 35 pisos, donde está demostrado que sistemas ME se comportan de manera eficiente [9].

Es importante resaltar que muros de corte bien diseñados en las áreas sísmicas tienen un buen historial [5], registrándose que no ha ocurrido ningún colapso de edificios altos que contienen ME ante solicitaciones fuertes de viento o sismo en los últimos 30 años [9].

Aunque en Venezuela está contemplada por el código de diseño Norma FONDONORMA 1753:2006 el uso de este tipo de elementos [10], existe un desfase innegable en la actualización de la normativa local con respecto a las de otros países. Dicha desactualización afecta en ecuaciones de diseño y especialmente en características de distribución y detallado del acero de refuerzo que son esenciales para que estos elementos cuenten con la ductilidad necesaria. En consecuencia, se tiene como resultado: un reducido nivel de utilización de este tipo de elementos por la ausencia de detalles esenciales de diseño; o en su defecto, y aún peor, la aplicación deficiente de los códigos, que se traduce en elementos que no tendrán el desempeño para el cual se proyectaron.

Por lo tanto, debido a la similitud en su desarrollo y contenido, la evidente actualización que presenta la norma Americana ACI 318-14 [1] que rige esta materia y recomendaciones como las realizadas por Rodríguez [8], en el presente trabajo de investigación se ha desarrollado la comparación

del diseño de muros estructurales de concreto armado en base a las Normas FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-14.

El exponer una alternativa distinta a la ya puesta en práctica en el país, permite formar un criterio correcto y actualizado en el ingeniero de hoy, que pretende desarrollar proyectos de concreto estructural y que no necesariamente cuenta con amplia experiencia en el diseño de estos elementos.

Los resultados expuestos generalizan el diseño y detallado de muros, además de definir una metodología con resultados comprobados, evitando así errores por el libre criterio e interpretación del proyectista. Lográndose también, como consecuencia, la unificación de juicios académicos en la enseñanza del diseño de dichos elementos estructurales; fomentando la expansión en el uso de muros como solución estructural, un acrecentamiento de la calidad de los proyectos y por consiguiente: edificaciones más seguras y económicas.

2. Metodología

El primer paso del proceso de investigación consistió en la ubicación, selección y procesamiento de la información. Una vez seleccionado y organizado el material teórico recopilado, se procedió a realizar la revisión detallada del mismo, con la finalidad de filtrar la información de interés para la temática en cuestión.

Luego se plantearon las principales variables que permitieron realizar una comparación entre ellas tanto de la forma como del contenido. Las variables de forma evaluadas son: organización del contenido, calidad de las imágenes y vinculación entre el articulado y los comentarios. Por su parte se estudiaron las siguientes variables de contenido: factor de minoración de resistencia, requisitos geométricos del elemento, límite de compresión máxima admisible, límite de fuerza cortante máxima admisible, resistencia a corte teórica del concreto, número de mallas del acero de refuerzo, cálculo del acero de refuerzo horizontal, cálculo del acero de refuerzo vertical, cuantías mínimas, requerimiento de miembros de borde,

dimensionamiento de los miembros de borde, cuantías de acero vertical (longitudinal) en miembro de borde, cálculo del acero de confinamiento (muro sin miembro de borde), cálculo del acero de confinamiento (muro con miembro de borde), detallado del acero vertical (muro sin miembro de borde), detallado del acero horizontal (muro sin miembro de borde), detallado del acero vertical (muro con miembro de borde), detallado del acero horizontal (muro con miembro de borde) y detallado del acero horizontal del miembro de borde.

Donde el conjunto de variables de forma y fondo son de naturaleza netamente cualitativa. Aunque de las variables de contenido pueden derivarse ciertos datos cuantificables (como magnitudes de áreas de acero, dimensiones de secciones, entre otras) la comparación realizada fue netamente teórica sobre las metodologías de diseño, y para dar una idea de las implicaciones cuantitativas en las diferencias entre procedimientos, se presentaron a manera ilustrativa una serie de ejemplos de diseño.

Posteriormente se realizó la condensación de los procedimientos de diseño en diagramas de flujo, para cada código en estudio. A partir de las impresiones obtenidas de las etapas previas se realizaron los análisis de las variables de estudio con la ayuda de cuadros comparativos.

Luego, utilizando los procedimientos plasmados en los diagramas de flujo, se realizó el diseño de un muro estructural. Este ejemplo se analizó en base a la metodología de ambos códigos estudiados pero con idénticas propiedades mecánicas y geométricas, y con iguales estados de carga. Se contó con el apoyo de un software comercial de análisis estructural y otro de cálculo matemático para la realización de los respectivos ejemplos.

3. Análisis y discusión de resultados

3.1. Análisis comparativo del proceso de diseño

Procesados todos los requisitos y sugerencias de los códigos, se desarrolló un procedimiento detallado, contemplando todas y cada una de las variables de contenido presentadas previamente, respetando la información contenida en cada una

de ellas, mas sin embargo, planteando un orden lógico de cálculo que no necesariamente se acopla con el presentado en los documentos de estudio.

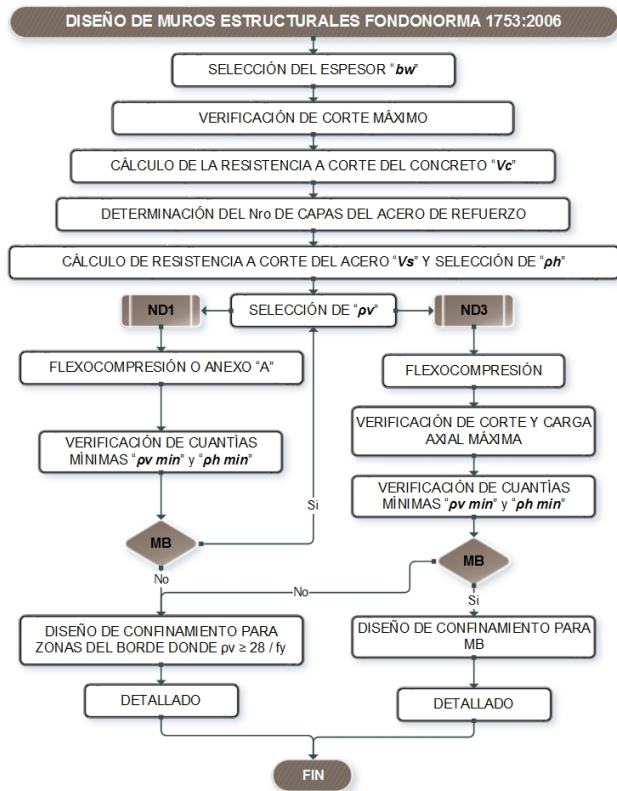


Figura 4: Diagrama de flujo del diseño de muros estructurales por la norma FONDONORMA 1753:2006.

El procedimiento de la norma FONDONORMA, se condensó en un diagrama de flujo único, el cual agrupa ambos Niveles de Diseño (ND1 y ND3) tal como se desarrolla en el capítulo 14 de la mencionada norma. Adicionalmente contempla los requisitos especiales del capítulo 18 a los que se hacen referencia para Nivel de Diseño 3. A grosso modo se presenta el procedimiento en la Figura 4, a partir del procedimiento completo presentado por Arteaga y Malavé [11].

De la misma forma se presentan de manera esquemática los procesos de cálculo para la norma ACI en las Figuras 5 y 6, para el cual se desarrollaron diagramas separados por nivel de diseño ND1 Y ND2 respectivamente, tal como lo sugiere el mismo código, considerando también, un orden lógico de cálculo según los autores [11].

Se puede observar que no existen diferencias

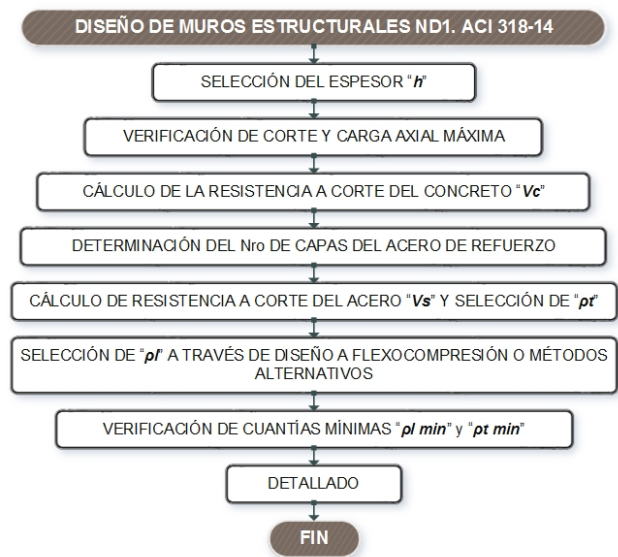


Figura 5: Diagrama de flujo del diseño de muros estructurales ND1 por la norma ACI 318-14.

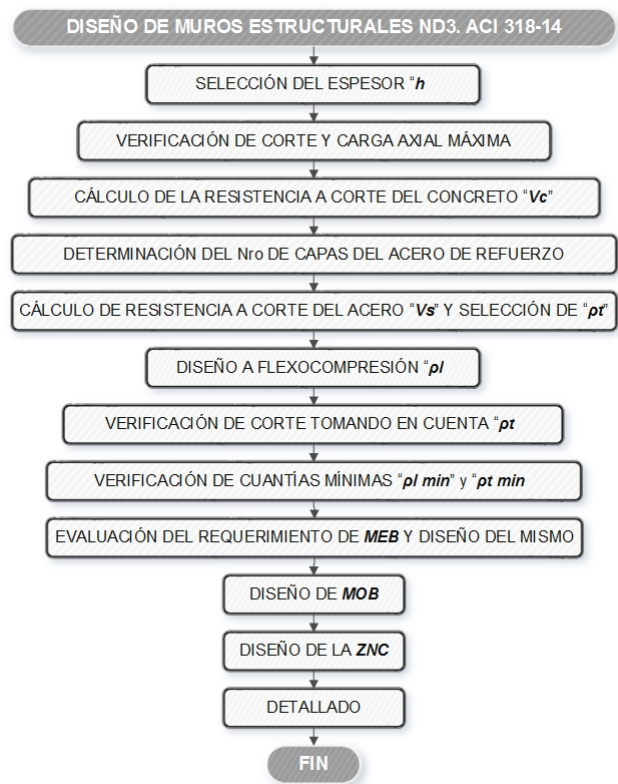


Figura 6: Diagrama de flujo del diseño de muros estructurales ND3 por la norma ACI 318-14.

significativas en lo que respecta al diseño por corte del muro, es decir, desde las verificaciones

geométricas hasta la selección del acero por corte horizontal. Las diferencias se presentan toda vez que la norma ACI 318-14 sugiere para el cálculo de acero longitudinal múltiples metodologías para el diseño ND1. Por otra parte, se evidencia que el diseño de estos no sugiere el uso de miembros de borde, a diferencia de la norma venezolana que evalúa su requerimiento, y más aún, de necesitarlos, plantea que se realicen todas las verificaciones exigidas para ND3. Por último y no menos importante, aunque la norma americana también evalúa el requerimiento de miembro de borde para diseños ND3, diferencia estos en tres zonas longitudinales: miembros especiales de borde (MEB), miembros ordinarios de borde (MOB) y zona no confinada.

3.2. *Análisis comparativo de las variables de forma*

Existe una marcada diferencia entre normas en cuanto a cómo se presenta la información en cada una de ellas, tal y como puede observarse en las Tablas 1, 2 y 3. Si bien se aprecia que existe una simplificación del procedimiento de diseño planteado por FONDONORMA, reduciéndose este a un solo capítulo con siete artículos a diferencia de la norma ACI que es presentada en dos capítulos con ocho artículos, no logra quedar suficientemente diferenciados los dos tipos de diseño (ND1 y ND3) y su relación con las condiciones para miembros de borde; además, obligatoriamente se debe hacer uso de otro capítulo (Capítulo 18) para indicar los artículos referentes a confinamiento y acero transversal de los miembros de borde.

Es evidente que FONDONORMA 1753-2006 no expresa de manera clara cuales exigencias son estrictamente para uno u otro nivel de diseño, mientras que la norma ACI, sin problemas agrupa separadamente el diseño de muros especiales (ND3) y hace oportunamente llamados a los requerimientos en común con muros simples (ND1).

Respecto al uso de imágenes es necesario advertir que la norma ACI emplea el doble de imágenes y estas son presentadas dentro de los comentarios, y en consecuencia en paralelo al

articulado; adicionalmente las imágenes son de alta calidad y transmiten por indicadores o pie de imágenes la información que pretende transmitir. En contra parte, es difícil ubicar las imágenes de la norma FONDONORMA ya que estas son indicadas desde los comentarios (al final del documento, anexo H) y no se encuentran en el mismo anexo (se presentan en el apartado “Figuras”), éstas no cuentan con pie de imagen que le permitan al lector identificar rápidamente la información que pretende transmitirse y son de escasa calidad en cuanto a nitidez y contraste.

Otra notoria diferencia entre ambas normas viene dada no solo por la significativa desproporción en cuanto al número de comentarios a favor de la norma ACI, sino también por la estructura de la presentación de los comentarios de forma paralela con los artículos en la misma página (se encuentran unos junto a los otros separados por dos columnas de texto). Lo cual permite al lector identificar clara y rápidamente la información adicional que requiere para el correcto diseño, ya que cada comentario se encuentra alineados con su respectivo artículo; caso distinto a la norma FONDONORMA que ubica los comentarios al final del documento y no hace llamados a revisar estos desde el articulado.

3.3. *Análisis comparativo de las Variables de Contenido*

Luego de estudiar las variables de contenido, con base en el cuadro comparativo elaborado por Arteaga y Malavé [11], se observaron las semejanzas y diferencias.

Se observó que entre ambos códigos existen semejanzas únicamente en “Límites de fuerza cortante máxima admisible” y “Detallado de acero vertical de ME sin miembros de borde”.

En cuanto a las diferencias resaltan las siguientes.

Los valores presentados para el factor de minoración de resistencia a corte varían. FONDONORMA hace distinción entre el Nivel de Diseño (ND) para la selección de este valor ($\phi = 0,75$ (ND1, Cap 9), $\phi = 0,85$ (ND1, Anex B) y $\phi = 0,60$ (ND3)), mientras que ACI adopta

Tabla 1: Comparación de Variables de Forma; Organización del contenido

Códigos de diseño	
FONDONORMA 1753-2006	ACI 318-14
Presenta la totalidad del contenido referente a ME en un único Capítulo (Capítulo 14).	Presenta la información referente a ME en dos capítulos separados. Donde el Capítulo 11 se enfoca en ME de ND1 y el Capítulo 18 en ME de ND3 (sin embargo este capítulo no solo se enfoca en ME sino en todos los diseños sismoresistentes).
El diseño se presenta en 7 artículos. Se distribuyen de la siguiente forma: 14.1.- Alcance. 14.2.- Requisitos generales. 14.3.- Criterios de diseño. 14.4.- Muros estructurales con nivel de diseño ND1. 14.5.- Muros estructurales con nivel de diseño ND3. 14.6.- Miembros de borde. 14.7.-Dinteles de acoplamiento.	El diseño, entre ambos capítulos se presenta en 9 artículos en total. Se distribuyen de la siguiente manera: 11.1.-Alcance. 11.2.- Generalidades. 11.3.- Límites de diseño. 11.4.- Resistencia requerida. 11.5.- Resistencia de diseño. 11.6.- Límites del refuerzo. 11.7.- Detallado del refuerzo. 11.8.- Método alternativo para el análisis fuera del plano de muros esbeltos. 18.10- Muros estructurales especiales.
La información referente al diseño por corte se encuentra en un Capítulo separado. En los capítulos 11 y 18 según ND.	La información referente al diseño por corte se encuentra incluida en el mismo capítulo en el que se ubica el diseño de ME.
La redacción reiteradamente obliga al lector a revisar numerosos artículos de capítulos diferentes de manera desordenada y extensa para completar una idea.	Aunque la redacción lleva al lector a revisar artículos de distintos capítulos para completar una idea lo hace de manera ordenada y precisa.
Dentro de la estructura del documento el artículo correspondiente a introducción a los MB (14.6) se encuentra con la misma jerarquía que los de introducción a los distintos niveles de diseño (14.4 ND1 y 14.5 ND3), no dentro de alguno de ellos en específico.	Los artículos correspondientes a MB se encuentran ubicados únicamente dentro del Capítulo 18, específicamente dentro del Art. 18.10 que trata de los muros estructurales especiales (ND3).
Los comentarios se encuentran ubicados al final del articulado.	Los comentarios se muestran en paralelo al articulado dentro de la misma hoja.
Las imágenes de referencia se encuentran ubicadas al final del documento y son escasas.	Las imágenes de referencia se encuentran junto con los comentarios en paralelo con el articulado y en mayor cantidad.
En una ocasión hace uso de tablas para organizar la información.	En múltiples ocasiones hace uso de tablas para organizar la información.
No hace uso de esquemas para explicar la información.	Hace uso de esquemas para explicar la información.

un valor único independientemente del ND ($\phi = 0,65$).

La norma ACI discrimina a los muros estructurales en función de la presencia de carga axial

para la evaluación del espesor de los mismos como requisito geométrico, siendo más estrictos los límites para el caso de muros portantes. Mientras que FONDONORMA no realiza ninguna

Tabla 2: Comparación de Variables de Forma; Calidad de las imágenes

Códigos de diseño	
FONDONORMA 1753-2006	ACI 318-14
Cuenta con 4 imágenes de complemento informativo en los comentarios.	Presenta 8 imágenes complementarias en los comentarios del articulado.
Presentan baja calidad los gráficos respecto a contraste y nitidez.	Son de alta calidad en cuanto a contraste y nitidez.
Existe una imagen que no está referida ni en articulado ni en comentarios.	Todas las imágenes están referidas por sus respectivos comentarios.
Los detalles se indican precariamente y no se enfocan en lo que precisan transmitir.	Representan de manera clara y simple la información que intenta transmitir.
No se encuentran acompañadas de comentarios explicativos junto a ellas y se hace poca referencia a ellas dentro del articulado o los comentarios.	Se presentan junto con notas y comentarios explicativos oportunos que complementan la explicación gráfica.
Presenta 13 comentarios para el diseño de ME.	Existen 31 comentarios distribuidos entre ambos capítulos de diseño de ME.

Tabla 3: Comparación de Variables de Forma; Vinculación entre el articulado y comentarios

Códigos de diseño	
FONDONORMA 1753-2006	ACI 318-14
Los comentarios se limitan a explicar los orígenes o fundamentos de las ecuaciones y verificaciones presentados en el articulado.	Los comentarios no solo se limitan a explicar los orígenes o fundamentos de las ecuaciones y verificaciones, sino que brindan información sumamente útil adicional para el uso correcto de la información del articulado.
El articulado no hace referencia a los comentarios pertinentes ubicados en los anexos.	El articulado no hace referencia a los comentarios, sin embargo, estos se presentan en una columna en paralelo.
La mayoría de los comentarios no son concisos.	Comentarios oportunos. Se encuentra información complementaria de utilidad para la mayoría de los incisos del articulado.
Los comentarios se presentan en orden según el articulado pero no precisan el artículo o ecuación particular al que se refieren.	Los comentarios se presentan en orden según el artículo al cual hacen referencia.
Los comentarios hacen uso de imágenes que se encuentran al final del documento.	Los comentarios hacen uso de tablas, imágenes y esquemas de forma oportuna en su propia estructura.

distinción de esta condición.

En referencia al límite de compresión máximo FONDONORMA es más conservadora, ya que en la expresión el factor que reduce la resistencia

teórica a carga axial para una excentricidad igual a cero (N_0) es 0,35 y en el caso de ACI dicho factor es igual a $0,80\phi = 0,52$.

En lo que refiere a la determinación del cortante

resistido por el concreto, la norma americana sugiere dos métodos (simplificado y detallado) mientras que la nacional plantea uno solo con verificaciones de límites máximos. Cabe destacar que el procedimiento detallado del código americano es muy similar al procedimiento del venezolano.

La norma ACI diferencia los requisitos para el número de mallas, separándolos según el ND, exigiendo para ND1 solo un chequeo geométrico. Mientras que FONDONORMA presenta un único procedimiento similar al de ACI en ND3. Que depende no solo de su geometría sino también de la resistencia a compresión cilíndrica del concreto.

La separación máxima para el refuerzo horizontal en la norma ACI es menos conservadora, debido a que presenta dentro de las condiciones una separación máxima de 46 cm mientras que FONDONORMA limita a 35 cm en ND1 y 25 cm en ND3.

FONDONORMA plantea solo el cálculo del acero longitudinal como columna (análisis por flexocompresión) y adicionalmente para diseños ND1 que cumplan con ciertas consideraciones geométricas admite la utilización del método de las bielas. Por otro lado, ACI para ND3 exige el diseño a flexocompresión y para el ND1 sugiere cuatro métodos distintos cuya aplicación depende de condiciones tanto de las acciones sobre el elemento y sus excentricidades como de relaciones de aspecto.

En lo que a cuantías mínimas se refiere, la única diferencia se observa en el requisito adicional para los casos en que $V_u > 0,5\phi V_c$, donde FONDONORMA limita que la cuantía vertical no sea mayor que la cuantía horizontal.

Una de las diferencias más notorias e importantes es que la norma americana discretiza los miembros de borde en tres zonas bien diferenciadas: Miembro Especial de Borde (MEB), Miembro Ordinario de Borde (MOB) y Zona No Confinada (ZNC).

Ambos códigos presentan dos metodologías para corroborar la exigencia de miembro de borde. El procedimiento número uno de ACI se encuentra igual a FONDONORMA, excepto por: El coeficiente de magnitud igual a 1,5 añadido en el dividendo para amplificar al valor de la deriva en la

norma ACI, y el límite máximo de deriva (0,005 en ACI y 0,007 en FONDONORMA). Por otro lado en el procedimiento dos, difieren completamente: mientras el método sugerido por FONDONORMA contempla parámetros geométricos y de cargas actuantes, la norma ACI sugiere un método que depende de los esfuerzos y las cuantías de acero longitudinal en el borde.

Respecto al dimensionado de la sección transversal de los miembros de borde, el largo y ancho de estos dependerá del procedimiento que se haya empleado para determinar su necesidad según FONDONORMA. Sin embargo esta última no especifica para su procedimiento 1 dimensiones mínimas, mientras que para el procedimiento 2 si se presenta valor mínimo de longitud como una relación lineal que depende de N_u y límite mínimo de ancho en función a la altura libre de entrepiso y el espesor del alma del muro. Por otro lado ACI considera como longitud mínima de MB la misma expresión presentada por la norma nacional como longitud de confinamiento, independientemente del ND y si presenta límites de ancho dependiendo del procedimiento empleado para determinar la necesidad del mismo.

La cuantía vertical en FONDONORMA es limitada por un solo rango de valores para toda la extensión del muro, mientras que ACI no presenta límite de cuantía para el miembro de borde en específico, pero en base a ella define a que zona MB (MEB, MOB, ZNC) debe pertenecer la sección que se calcula.

Según la norma venezolana el acero longitudinal de los extremos debe estar confinado si la cuantía de dicho extremo es mayor a $28/f_y$ para muros ND1 sin miembros de borde, mientras que la norma ACI sugiere confinamiento para muros sometidos a flexión independientemente de la cuantía de acero longitudinal, aun si no lo requiere por resistencia, con la finalidad de darle apoyo lateral a las barras longitudinales.

Para la norma americana el acero de confinamiento de los miembros de borde dependen de las zonas que lo conforman (MEB, MOB o ZNC), mientras que la norma nacional define un único confinamiento en MB para toda la longitud el muro. Cabe destacar que el confinamiento que

exige FONDONORMA es equivalente a un confinamiento de MEB. Por otra parte, el confinamiento de MOB es menos exigente que el de MEB y de Zona Confinada de FONDONORMA. Por último la ZNC como su nombre lo indica no requiere de confinamiento.

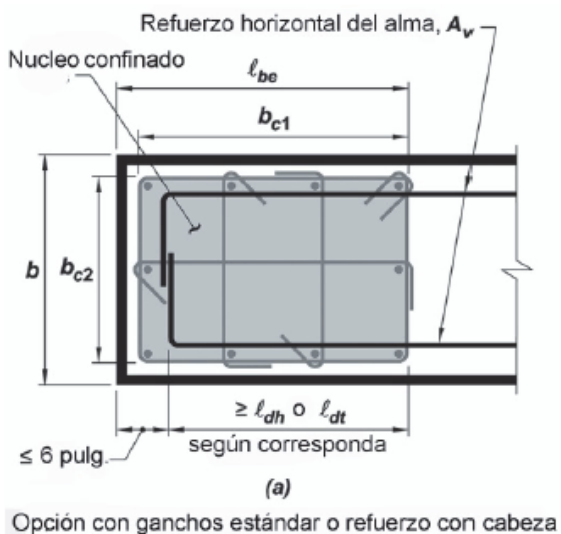
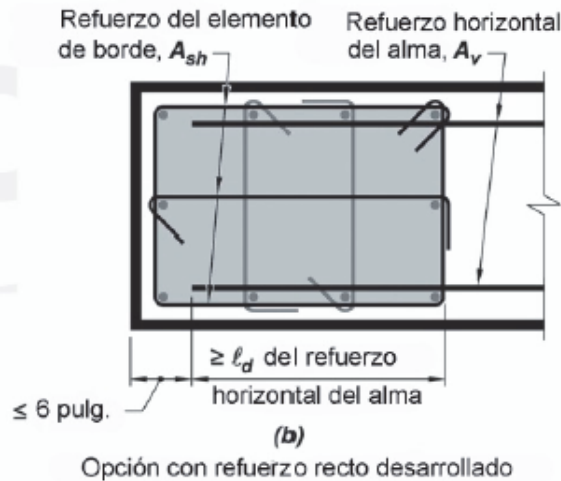


Figura 7: Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde (a) y (b) [1].

En relación al detallado de acero vertical de muros estructurales con miembros de borde, la llamada longitud de rótula plástica (L_p) de FONDONORMA en la cual no están permitidos los empalmes es $L_p = 0,5L_w$, mientras que en ACI dicha longitud aumenta hasta $0,0L_w$.

FONDONORMA exige terminar el acero horizontal del muro sin MB con ganchos o ligaduras

en “U” para ciertas condiciones de cortante, y grapas entre mallas para zonas no confinadas. Por su parte, ACI no plantea dichas exigencias.

La norma americana indica tanto las longitudes de anclaje como la posición y detalle que deben tener las barras horizontales del alma dentro del núcleo del MB (Figura 7). Mientras que el código nacional no es explícito en estos puntos de gran importancia para garantizar el correcto comportamiento del elemento.

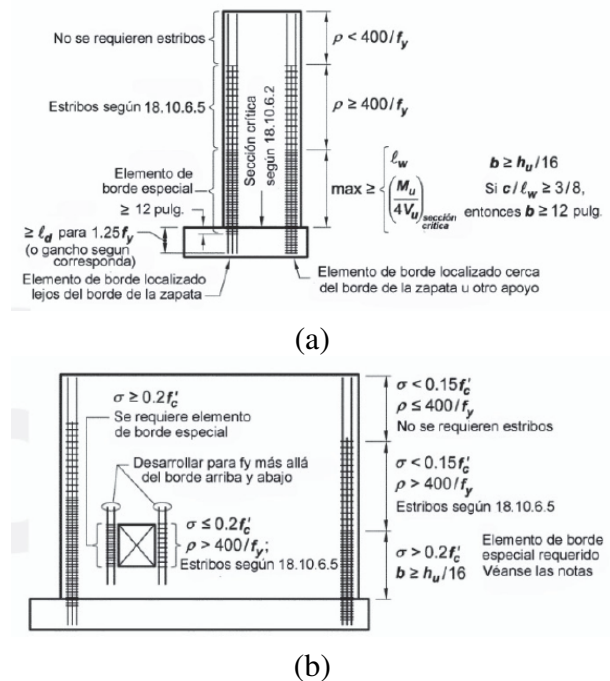


Figura 8: Resumen de los requisitos para muros especiales [1].

La norma americana indica gráficamente las longitudes verticales de MEB, MOB y ZNC, sus características de confinamiento y su anclaje en la fundación. Mientras que FONDONORMA no es explícita con respecto a estos puntos que son fundamentales para garantizar el correcto comportamiento dúctil del elemento (Figura 8).

3.4. Ejemplos del diseño bajo requerimientos de cada normativa en estudio

Para procurar evidenciar la notoriedad o profundidad de las características evaluadas en cada variable se diseñaron dos muros de características geométricas, mecánicas y solicitaciones iguales,

Características Geométricas:

$B_w := 60$ cm
 $L_w := 620$ cm
 $H_w := 30$ m
 $L_n := 345$ cm
 $r := 4$ cm (Recubrimiento)

$A := B_w \cdot L_w = 37200$ cm²
 $dw := 0.8 \cdot L_w = 496$ cm

Características Mecánicas

$f'_c := 300$ Kgf/cm²
 $f_y := 4200$ Kgf/cm²
 $\Delta := 20$ cm
 $\phi := 0.60$

Solicitaciones

$N_u := 300000$ Kgf
 $M_u := 6200000$ Kgf .m
 $V_u := 520000$ Kgf

Figura 9: Variables de entrada del ejemplo de diseño.

indicadas en la Figura 9; pero empleando las metodologías expuestas por cada una de las normas en estudio, desarrollado por Arteaga y Malavé [11].

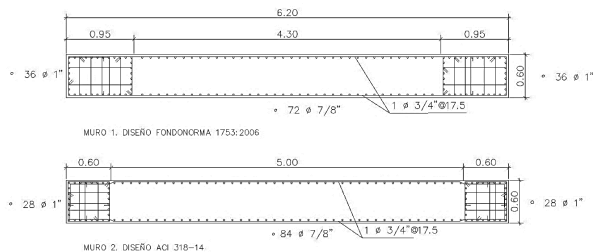
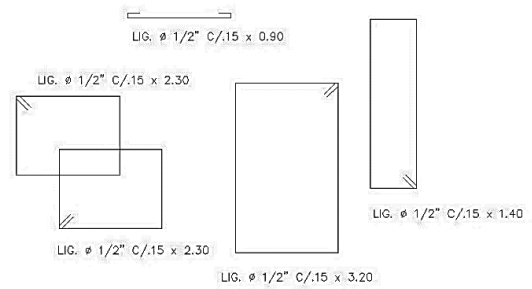


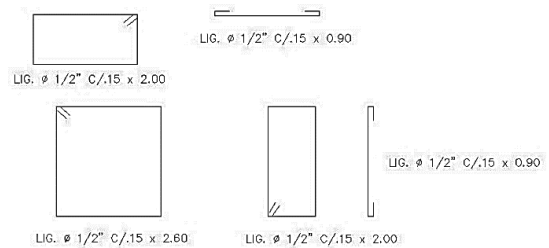
Figura 10: Comparación de las secciones transversales de ambos muros.

Como resultado del detallado del acero de refuerzo por ambas normas, se puede observar en la Figura 10 una significativa diferencia en las dimensiones de ambos miembros de borde, requiriendo el diseño nacional una longitud de 95 cm contra 60 cm del diseño americano, toda vez que estos se determinaran por diferentes métodos. Esto trajo como consecuencia, una mayor concentración de acero de refuerzo en los miembros de borde en el diseño de FONDONORMA, para poder garantizar la resistencia a flexión requerida.

Por las razones antes expuestas, es simple entender que un miembro de borde de mayores dimensiones requiere de mayores áreas de acero por corte para lograr confinar el acero de refuerzo



MURO 1. DISEÑO FONDONORMA



MURO 2. DISEÑO ACI

Figura 11: Comparación del armado de confinamiento de los miembros de borde.

longitudinal, el detallado del acero horizontal de los miembros de borde se muestran en la Figura 11.

Por último y donde es más notoria la diferencia, se observa en la Figura 12 donde es posible observar por medio de los esquemas planteados, la diferencia entre ambos detallados de acero longitudinal y separación del acero de confinamiento. Para el diseño realizado mediante FONDONORMA se mantuvo constante la cantidad de acero requerido desde la base del muro hasta el tope del mismo, esto debido a que la norma no especifica si es posible hacer una reducción, en que tramos y en que proporciones; como si es el caso del diseño ACI, el cual distingue los miembros especiales de borde, miembros ordinarios de borde y la zona no confinada y sus características en función a los esfuerzos y cuantías de refuerzo longitudinal.

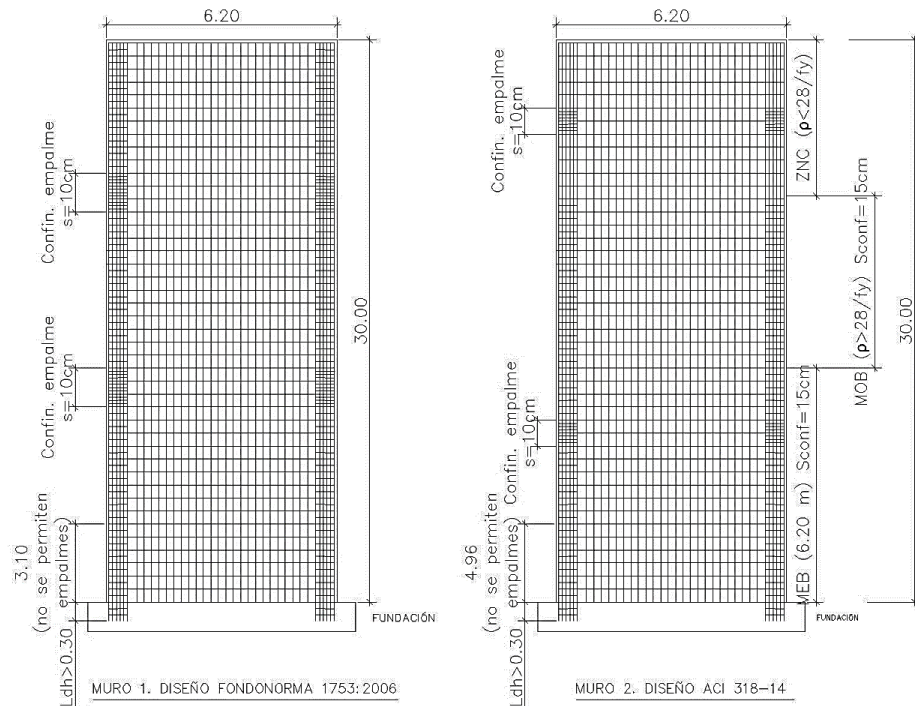


Figura 12: Comparación del esquema longitudinal de los muros diseñados por ambas normas.

4. Conclusiones

Son numerosas las diferencias de forma o estructura encontrada en ambas normas, mediante las tablas comparativas, hay que destacar que: FONDONORMA si bien sugiere el diseño de muros resumido en un único capítulo, resulta difícil para el lector establecer las diferencias entre niveles de diseño y la necesidad de incorporar miembros de borde. La norma ACI por su lado distingue exactamente cada nivel de diseño y establece que únicamente existen requisitos de miembro de borde para el equivalente a ND3. Por otra parte, es apreciable el muy superior número de imágenes y comentarios que brinda la norma norteamericana que hace mucho más entendible el proceso de diseño, ya que dichas aclaratorias se muestran inmediatamente paralelas al articulado.

En relación a las variables de contenido, no existe una amplia diferencia en cuanto a los aspectos fundamentales relacionados con la cantidad y separación de acero de confinamiento, al igual que las cuantías mínimas de acero longitudinal

y transversal. Sin embargo, cabe destacar que si existen aspectos en el código norteamericano donde tiende a ser menos conservadora, como por ejemplo en cuanto a la separación máxima del acero horizontal o el aumento del cinco por ciento del factor de minoración de resistencia por corte para ND3, lo que puede entenderse como resultado de una mayor certidumbre en el diseño de estos elementos con el paso de los años. Por otro lado ha precisado detalles como el aumento de la longitud de la rótula plástica.

Otro aspecto importante y que requiere de énfasis es la distinción realizada por la ACI en lo referente a las zonas que conforman a los miembros de borde. Ya que por falta de esta distinción en la normativa local, el ingeniero estructural que hace uso de ella, ha de tender a diseñar todo el elemento de borde como un “Miembro Especial de Borde”, desde la base del muro hasta su extremo superior, aun cuando estructuralmente no se requieran de tales exigencias, aumentando considerablemente su costo en materiales y tiempo de ejecución. Ya que al desconocer las exigencias

reales y las características que deberá tener el miembro de borde más allá de la zona de plastificación, muy probablemente utilizará el diseño más conservador y exigente. En caso contrario, y peor aún, propondrá una solución deficiente.

En lo que respecta a las longitudes de miembros de borde, FONDONORMA presenta una significativa deficiencia al no determinar la longitud horizontal que debe tener este para el procedimiento 1, quedando a discreción del ingeniero estructural. Cosa que no ocurre con ACI que limita la longitud horizontal a ser a lo sumo la longitud de confinamiento presentada por el código local. Adicionalmente dentro del tema de confinamiento, la ACI es estricta y clara con las exigencias de anclaje del acero horizontal del alma del muro dentro del núcleo del miembro de borde, lo cual en FONDONORMA queda a discreción del proyectista.

Reconocimiento

El presente trabajo fue distinguido con la Mención Publicación por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Referencias

- [1] Building code requirements for structural concrete, ACI 318–14. Standar, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2014.
- [2] S. Bondarenko and Tezzi García. Manual de cálculo y diseño de muros estructurales de concreto armado. Trabajo especial de grado, Escuela de ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2012.
- [3] A. Brice no and N. Carreras. Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011. Trabajo especial de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, 2013.
- [4] T. Paulay and M.J.N. Priestley. *Seismic Design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley & Sons, New York, 1992.
- [5] R. Park and T Paulay. *Estructuras de concreto reforzado*. Editorial Limusa, México D.F., 1978.
- [6] Sergio Alcocer. Comportamiento y diseño de estructuras de concreto reforzado muros estructurales. Technical report, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), México, D.F., 1995.
- [7] C Alarcon, MA Hube, and JC de la Llera. Effect of axial loads in the seismic behavior of reinforced concrete walls with unconfined wall boundaries. *Engineering Structures*, 73:13–23, 2014.
- [8] Mario E Rodriguez. Una revisión crítica de la práctica de diseño por sismo de estructuras en México. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (94):27–48, 2016.
- [9] Varsha R Harne. Comparative study of strength of rc shear wall at different location on multi–storied residential building. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(4):391–400, 2014.
- [10] Proyecto y construcción de obras en concreto estructural, FONDONORMA 1753:2006. Norma, Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad, Caracas, Venezuela, 2006.
- [11] S. Arteaga and J. Malavé. Análisis comparativo del diseño de muros estructurales de concreto armado por las normas FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-14. Trabajo especial de grado, Departamento de Ingeniería Estructural, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2016.