



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES  
DE CONCRETO ARMADO POR LAS NORMAS FONDONORMA 1753:2006  
Y ACI 318-14.**

TUTOR:

Ing. Olival DVC., José P.

CI. V.- 9680728

AUTORES:

Arteaga B., Simón A.

CI. V.- 22211330

Malavé C., Jorge A.

CI. V.- 22007880

Naguanagua, Mayo del 2016



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES  
DE CONCRETO ARMADO POR LAS NORMAS FONDONORMA 1753:2006  
Y ACI 318-14.**

Trabajo Especial de Grado Presentado ante la Ilustre Universidad de  
Carabobo para Optar por el Título de Ingeniero Civil

TUTOR:

Ing. Olival DVC., José P.

CI. V.- 9680728

AUTORES:

Arteaga B., Simón A.

CI. V.- 22211330

Malavé C., Jorge A.

CI. V.- 22007880

Naguanagua, Mayo del 2016



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



### CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO POR LAS NORMAS FONDONORMA 1753:2006 Y ACI 318-14”**; realizado por los bachilleres: Arteaga Simón y Malavé Jorge, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Presidente del Jurado

José Olival

---

Miembro del Jurado

Freddy Lanza

---

Miembro del Jurado

Slawko Bondarenko

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo que representa la culminación de una etapa que ha requerido de gran pasión, dedicación y esfuerzo a un conjunto de personas que me brindaron su apoyo, comprensión y cariño de manera incondicional a lo largo de la misma.

A mi familia, especialmente mi mama, mi papa, mis hermanos, mi tía Valentina y mis abuelos.

Amigos y demás seres queridos, sobre todo a mi novia que ha sido la mejor compañía y fuente de buenas vivencias en estos últimos años.

Finalmente y por sobre todas las cosas a Dios por haberme llenado de salud, fuerza y bendiciones que permitieron que alcanzara este punto tan importante en mi vida.

**Jorge A. Malavé C.**

## **DEDICATORIA**

Primeramente a la Santísima Trinidad y a la Virgen María, bastón, fuente de luz y esperanza en los momentos difíciles, en Ellos todo lo puedo.

A mis padres, Luz Marina y Napoleón, ejemplo inagotable de fortaleza, compromiso y sabiduría; nada me honra más que ser su hijo.

A mis hermanos, abuelos, tíos, primos y amigos que son parte de mí ser.

A mi país y a la Universidad de Carabobo, ¡con ella, alentamos la marcha al encuentro de un mundo mejor!

**Simón A. Arteaga B.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Carabobo, por la valiosa oportunidad de formarnos en tan noble carrera y permitirnos alcanzar el presente Trabajo de Grado.

A José Paulo Olival, profesor, tutor, padrino de promoción y amigo, por su apoyo y guía para alcanzar este sueño.

A Cabrera & Olival, por recibirnos y ayudarnos a culminar tan brillante trabajo.

A Slawko Bondarenko, por su valiosa participación en nuestra formación como profesionales y su apoyo durante el desarrollo de este trabajo de investigación.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO POR LAS NORMAS FONDONORMA 1753:2006 Y ACI 318-14.**

Autores: Arteaga B., Simón A. y Malavé C., Jorge A.  
Tutor: Olival DVC., José P.  
Naguanagua, Mayo del 2016

### **RESUMEN**

Actualmente el desarrollo de los proyectos novedosos y complejos exige concebir propuestas estructurales con comportamientos óptimos, donde resaltan los Muros Estructurales aplicados en sistema resistente a cargas laterales como una opción que permite solucionar múltiples problemas de diseño, relacionados con la rigidez de los elementos, los cuales son bastante más complicados de resolver utilizando sistemas tradicionales aporticados.

Mas es claro que en Venezuela existe una desactualización en cuanto a las normativas de diseño que dificulta la utilización de los muros de la manera ideal, por lo que esta investigación tiene como objetivo desarrollar una comparación entre el diseño de Muros Estructurales en base al proyecto de norma FONDONORMA 1753:2006 y la norma americana ACI 318-2014.

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, Diseño.**



## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	.xi
TABLA DE NOTACIONES .....	xv
LISTA DE UNIDADES .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	xviii
CAPÍTULO I .....	20
1.1 Planteamiento del Problema .....	20
1.2 Objetivos de la Investigación .....	21
1.2.1 Objetivo General .....	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
1.3 Justificación .....	22
1.4 Alcance y Limitaciones.....	23
CAPÍTULO II.....	24
2.1 Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1 Bondarenko, S. y Garcia, I. Manual de Cálculo y Diseño de Muros Estructurales de Concreto Armado. Universidad de Carabobo, 2012.....	24
2.1.2 Briceño A. y Carreras, N. Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011. Universidad Católica Andrés Bello, 2013.....	25
2.2 Bases Teóricas .....	26
CAPÍTULO III .....	44
3.1 Tipo de investigación .....	44
3.2 Tipo de estudio.....	45



3.3	Diseño de la investigación .....	45
3.4	Población y muestra.....	45
3.5	Procedimientos .....	46
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
CAPÍTULO IV.....		49
4.1	Diagrama de flujo del diseño FONDONORMA 1753:2006.....	49
4.2	Diagrama de flujo del diseño ACI 318-14 ND1 .....	56
4.3	Diagrama de flujo del diseño ACI 318-14 ND3 .....	62
4.4	Análisis comparativo de las Variables de Forma:.....	70
4.5	Análisis comparativo de las Variables de Contenido:.....	74
4.6	Ejemplo de diseño bajo requerimientos FONDONORMA 1753:2006 .	93
4.7	Ejemplo de diseño bajo requerimientos ACI 318-14. ....	103
CONCLUSIONES .....		113
RECOMENDACIONES.....		116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		118
APENDICE A .....		120
APENDICE B .....		122
APENDICE C .....		127
APENDICE D .....		134
APENDICE E .....		136



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <b>Variables de Forma.</b> Fuente: Elaboración propia (2016).....	46
Tabla 2. <b>Variables de Contenido.</b> Fuente: Elaboración propia (2016).....	46
Tabla 3. <b>Valores de <math>\alpha</math> para distintas relaciones de <math>h_w/L_w</math> (<math>h_w/l_w</math>).</b> .....	69
Tabla 4. <b>Comparación de Variables de Forma.</b> Fuente: Elaboración propia (2016) .....	72
Tabla 5. <b>Comparación de Variables de Contenido.</b> Fuente: Elaboración propia (2016).....	88



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <b>Fuerzas dentro y fuera del plano del muro.</b> Fuente: ACI 318-14. (2014) .....	26
Figura 2. <b>Definición de Variables Geométricas.</b> Fuente: Thomson, E. (2005) .....	27
Figura 3. <b>Un muro de cortante en voladizo.</b> Fuente: Park & Paulay (1978) .....	28
Figura 4. <b>Distribución de acero en ME.</b> Fuente: Elaboración propia (2015) .....	29
Figura 5. <b>Detalle de miembro de borde.</b> Fuente: Elaboración propia (2015) .....	29
Figura 6. <b>Clasificación de los muros según su relación de aspecto.</b> .....	31
Figura 7. <b>Clasificación de los tipos de muros según su proyección en planta.</b> Fuente: Paulay & Priestley (1992) .....	32
Figura 8. <b>Modos de falla de muros en voladizo.</b> Fuente: Paulay & Priestley (1992) .....	32
Figura 9. <b>Respuesta histerética de un muro controlado por corte.</b> Fuente: Paulay & Priestley (1992) .....	33
Figura 10. <b>Respuesta histerética de un muro dúctil.</b> Fuente: Paulay & Priestley (1992) .....	34
Figura 11. <b>Efecto de la distribución del acero de refuerzo y de la cuantía en la resistencia a flexión y en la curvatura.</b> Fuente: Alcocer, S. (1995) .	35
Figura 12. <b>Distribución del acero de refuerzo longitudinal en la sección transversal de un muro.</b> Fuente: FONDONORMA 1753:2006 .....	35
Figura 13. <b>Clasificación de los muros según su disposición en planta.</b> Fuente: Fratelli, M. (1999) .....	37
Figura 14. <b>Muros discontinuos.</b> Fuente: Fratelli, M. (1999) .....	37



Figura 15. <b>Configuraciones esquemáticas de muros en planta.</b> Fuente: Autor desconocido. ....	38
Figura 16. <b>Deformación ante cargas laterales de un pórtico, un muro y un sistema dual.</b> Fuente: Fratelli, M. (1999).....	39
Figura 17. <b>Interacción de muros de cortante y marcos rígidos.</b> Fuente: Park & Paulay (1978).....	39
Figura 18. <b>Resistencia al corte afectada por aberturas en muros:</b> .....	40
Figura 19. <b>Muros Estructurales Irracionales:</b> .....	41
Figura 20. <b>Formas Indeseables Muros Resistentes a Sismos.</b> .....	41
Figura 21. <b>La Estructuración del Hotel Macuto – Sheraton de Venezuela.</b> .....	42
Figura 22. <b>Sistema de muros acoplados.</b> Fuente: Park & Paulay (1978) .	43
Figura 23. <b>Tipos de muros acoplados.</b> .....	43
Figura 24. <b>Áreas críticas de comportamiento en muros acoplados de cortante.</b> .....	43
Figura 25. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [1/6].</b> .....	50
Figura 26. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [2/6].</b> .....	51
Figura 27. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [3/6].</b> .....	52
Figura 28. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [4/6].</b> .....	53
Figura 29. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [5/6].</b> .....	54
Figura 30. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [6/6].</b> .....	55
Figura 31. <b>Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [1/5].</b> .....	57



<b>Figura 32. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [2/5].</b> .....	58
<b>Figura 33. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [3/5].</b> .....	59
<b>Figura 34. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [4/5].</b> .....	60
<b>Figura 35. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [5/5].</b> .....	61
<b>Figura 36. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [1/6].</b> .....	63
<b>Figura 37. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [2/6].</b> .....	64
<b>Figura 38. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [3/6].</b> .....	65
<b>Figura 39. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [4/6].</b> .....	66
<b>Figura 40. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [5/6].</b> .....	67
<b>Figura 41. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [6/6].</b> .....	68
<b>Figura 42. Relaciones de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de MB en ME (a).</b> .....	85
<b>Figura 43. Cuantías de refuerzo longitudinal para condiciones de borde típicas en muros (a).</b> .....	85
<b>Figura 44. Relaciones de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de MB en ME (b).</b> .....	85
<b>Figura 45. Cuantías de refuerzo longitudinal para condiciones de borde típicas en muros (b).</b> .....	85
<b>Figura 46. Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde (b)</b> .....	86



Figura 47. **Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde (a)**..... 87

Figura 48. **Resumen de los requisitos para muros especiales (a)** Fuente: ACI 318-14 (2014) ..... 88

Figura 49. **Resumen de los requisitos para muros especiales (b)** Fuente: ACI 318-14 (2014) ..... 88



## TABLA DE NOTACIONES

FONDONORMA 1753-2006	ACI 318-14	Significado
A	$A_g$	Área total de la sección de concreto, cm <sup>2</sup> o área efectiva del concreto en tracción que rodea el acero de refuerzo de flexión traccionada, y que tiene el mismo baricentro que tal acero de refuerzo, dividida por el número de barras o alambres.
$A_{cp}$	$A_{cw}$	Área de la sección de concreto de un machón individual, segmento horizontal de muro, o viga de acople, que resiste cortante.
$A_{ch}$	$A_{ch}$	Área de la sección transversal de un miembro estructural, medida entre los bordes exteriores del refuerzo transversal.
$A_{cv}$	$A_{cv}$	Área total de la sección transversal de concreto, igual al producto del espesor del alma por la longitud de la sección, en la dirección de la fuerza de corte considerada.
$A_s$	$A_s$	Área del acero en tracción, en una sección o en un segmento de muro, cm <sup>2</sup> . Área del acero de refuerzo en la capa $i$ que cruza la biela.
$A_{sh}$	$A_{sh}$	Área total del acero de refuerzo transversal (horizontal), incluyendo estribos de una rama, dentro de una separación $s$ , y perpendicular a $h_c$ .
$A_{sv}$	$A_{st}$	Área total del acero de refuerzo transversal (vertical), incluyendo estribos de una rama, dentro de una separación $s$ .
$A_v$	$A_v$	Área de refuerzo de cortante con un espaciamiento $s$ .
$b_m$	$b$	Anchura de un miembro de borde de un muro o segmento de él.
$b_w$	$b_w$	Anchura del alma; anchura o espesor del muro estructural; diámetro de la sección circular; en cm.
$h_c$	$b_c$	Dimensión transversal del núcleo del miembro medida entre los bordes externos del refuerzo transversal con área $A_{sh}$ .
$c$	$c$	Distancia desde la fibra extrema comprimida hasta el eje neutro.
$d_b$	$d_b$	Diámetro nominal de una barra, alambre o torón de preesforzado.
$d_w$	$d$	Distancia entre la fibra extrema comprimida y el punto de aplicación de la resultante de los aceros de refuerzo traccionados.
$f_y$	$f_y$	Resistencia cedente especificada del acero de refuerzo.
$f'_c$	$f'_c$	Resistencia especificada del concreto en compresión.
-	$h_u$	Altura no apoyada lateralmente en la fibra extrema de compresión de un muro o machón de muro.
$h_w$	$h_w$	Altura total del muro o segmento del muro desde la



		base hasta la parte superior; altura libre del muro.
$h_x$	$h_x$	Separación horizontal máxima entre barras arriostradas por ligaduras o ganchos en todas las caras de una columna.
$l_m$	$l_{be}$	Largo de un miembro de borde de un muro o segmento de él.
$L_d$	$l_d$	Longitud de transferencia de tensiones para una barra o alambre con resaltes, sin gancho.
$L_{dh}$	$l_{dh}$	Longitud de transferencia para barras en tracción que terminan en ganchos estándar, medida desde la sección crítica al extremo exterior del gancho (la longitud directa empotrada entre la sección crítica y el comienzo del gancho [el punto de tangencia] más el radio de doblado y un diámetro de la barra).
$L_n$	$l_n$	Luz libre en la dirección más larga para construcciones reforzadas en dos direcciones, medida cara a cara de los apoyos en placas sin vigas y medida cara a cara de las vigas u otros apoyos en los demás casos, cm. Luz libre para momentos positivos o fuerzas cortantes y promedio de luces libres adyacentes para momentos negativos medida cara a cara de los apoyos.
$L_p$	-	Longitud de rotulación por deformaciones inelásticas.
$L_w$	$L_w$	Anchura o longitud total del muro, o de un segmento de él, considerado en la dirección de la fuerza de corte.
$M_n$	$M_n$	Resistencia teórica a flexión de la sección.
$M_u$	$M_u$	Momento actuante mayorado en la sección ( $M_{máx}$ ).
$N_u$	$N_u$	Carga axial mayorada que se presenta simultáneamente con $V_u$ ; positiva para compresión, negativa para tracción, incluye los efectos de tracción ocasionados por la fluencia y la retracción.
$P_o ; N_o$	$P_o$	Resistencia teórica a carga axial para una excentricidad igual a cero.
$P_n$	$P_n$	Resistencia teórica a carga axial para una excentricidad dada.
$P_u$	$P_u$	Carga axial mayorada para una excentricidad dada.
$s$	$s$	Separación del refuerzo transversal por corte o por torsión, medida a lo largo del eje longitudinal del miembro, cm.
$s_h$	-	Separación del acero de refuerzo por corte o por torsión en dirección perpendicular al refuerzo longitudinal o del acero de refuerzo horizontal en el muro.
$s_v$	-	Separación de las acero de refuerzos verticales en el muro.
$V_c$	$V_c$	Resistencia teórica al corte suministrado por el concreto.
$V_n$	$V_n$	Resistencia teórica al cortante.
$V_s$	$V_s$	Resistencia teórica a cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.
$V_u$	$V_u$	Fuerza cortante mayorada.
$\alpha_c$	$\alpha_c$	Coefficiente que define la contribución relativa de la resistencia del concreto a la resistencia del muro



		estructural.
$\Delta_t$	$\delta_u$	Desplazamiento lateral de diseño del muro o segmento de muro.
-	$\lambda$	Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.
$\rho$	$\rho$	Cuantía del acero de refuerzo longitudinal a tracción de un miembro sometido a flexión: $\rho = AS / (b d)$ .
$\rho_h$	$\rho_t$	Cuantía del refuerzo transversal de los muros estructurales.
$\rho_v$	$\rho_l$	Cuantía del refuerzo longitudinal del muro.
$\phi$	$\phi$	Factor de minoración de resistencia.

## LISTA DE UNIDADES

Las unidades empleadas en este proyecto de investigación corresponden al Sistema Técnico MKS, metro – kilogramo fuerza – segundo, a menos que se indique específicamente de otra manera.

- ✓ Dimensiones en cm o m.
- ✓ Áreas en  $\text{cm}^2$
- ✓ Fuerzas en kgf
- ✓ Momentos en m-kgf
- ✓ Esfuerzos (Tensiones) en  $\text{kgf/cm}^2$



## INTRODUCCIÓN

El uso de Muros Estructurales como sistema resistente a cargas laterales constituye una práctica ampliamente aplicada a nivel mundial por los cuantiosos beneficios que aporta a la concepción de proyectos, más para conseguir diseñar estos elementos y que realmente desarrollen los comportamientos esperados es necesario poseer conocimiento sobre la naturaleza de su comportamiento y por sobre todo de los criterios de diseño.

Es claro que en Venezuela la divulgación de material técnico y el desarrollo o actualización del mismo ha sufrido una paralización desde hace ya algunos años que ha desembocado en un desfase muy marcado con respecto a las tendencias que se desdoblán internacionalmente. Y el caso de las normativas, específicamente el de la norma de proyecto y construcción de obras en concreto estructural (la cual rige el diseño de Muros Estructurales), no escapa de esta realidad.

Por lo antes expuesto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo central desarrollar una comparación entre el material técnico más actualizado en el país para el diseño de Muros Estructurales y otros elementos de concreto, la FONDONORMA 1753:2006, con su homóloga americana la ACI 318 en su versión más actual del año 2014.

Con ello se pretende exponer las deficiencias tanto de forma como de diseño contenidas en la normativa local con respecto a la ACI 318-14, basado en el desarrollo de diagramas de flujo con las metodologías y criterios de cada una, que permiten posteriormente contrastarlas en cuadros comparativos.



Y por otro lado reducir la brecha de conocimiento existente sobre la materia para así permitirles a estudiantes y profesionales vinculados con el cálculo estructural realizar de forma sistematizada, precisa, correcta y actual el diseño de Muros Estructurales.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del Problema

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 el punto de vista de seguridad, funcionalidad, estética y fundamentalmente 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 gasto económicos aceptables.

Es ahí donde la utilización de elementos estructurales tipo Muro de Corte o Pantallas como sistema resistente a cargas laterales aparece como una de las opciones factibles. Los muros son componentes que aportan una gran rigidez en su plano, lo cual es ventajoso para solucionar problemas de diseño como excentricidades excesivas, riesgo torsional elevado, rigidez deficiente, derivas que no cumplan, entre otros, los cuales son bastante más complicados de resolver utilizando el sistema tradicional de pórticos.



Los elementos tipo muro están siendo utilizados como solución en los diseños más exigentes a nivel mundial, como por ejemplo el Burj Khalifa en Dubai y en Valencia, Venezuela, a nivel local, en proyectos como el Centro Comercial Galas Plaza. Y aunque en Venezuela está contemplado por el código de diseño Norma FONDONORMA 1753:2006 utilizar este tipo de elementos, existe un desfase innegable en la actualización de la normativa local con respecto a las de otros países.

Dicha desactualización afecta en el área específica del estudio de muros en ecuaciones de diseño y especialmente en características de detallado que se obvian dejando a la libre interpretación del lector. Por lo tanto se tiene como consecuencia el bajo nivel de utilización de este tipo de elementos por falta de aclaratoria de detalles esenciales de diseño o en su defecto la aplicación deficiente de los códigos.

Por lo tanto, debido a la similitud en su desarrollo y contenido, y la ventaja de actualización que presenta la norma Americana ACI 318-14 que rige esta materia, se plantea la siguiente interrogante:

¿Qué diferencias existen entre la Norma FONDONORMA 1753:2006 y la ACI 318-14 con respecto al diseño de muros estructurales de concreto armado que mejoren las propuestas estructurales?

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

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



### 1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Desarrollar diagramas de flujo de la metodología, criterios de diseño y detallado de Muros Estructurales para FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-14.
- ✓ Comparar e identificar las diferencias existentes en la forma de presentar el contenido de cada normativa.
- ✓ Comparar e identificar las diferencias existentes entre el contenido de cada normativa referentes a la metodología, criterios de diseño y detallado de Muros Estructurales.
- ✓ Diseñar y detallar dos modelos de muros estructurales concebidos bajo los requerimientos de FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-14.

### 1.3 Justificación

Es de importancia aclarar lo fundamental de la actualización científica y documental de las teorías, criterios, prácticas, ensayos y demás conocimientos en el diseño estructural. El desarrollo de investigaciones en torno a nuevos avances de tecnología de materiales, computación y programación, así como sucesos accidentales tales como sismos, incendios, maremotos u otros; obligan al ingeniero civil a mantenerse en constante búsqueda de nuevos conocimientos.

La presente investigación pretende cotejar la norma FONDONORMA 1753-2006 con 10 años de vigencia, con la norma ACI 318-14 la cual cuenta con solo 2 años de vigencia y con ello reconocer la disparidad en torno al diseño de muros para permitir vislumbrar si existen nuevos diseños que permitan optimizar ya sean materiales, tiempo en calculo o tiempo en construcción y por consecuencia una notoria disminución de los costos de



proyecto y ejecución o si aporta nuevos y aún más minuciosas especificaciones en el detallando.

La trascendencia radica en la presentación de valiosa información que introduce el American Concrete Institute en su última norma, institución de reconocido prestigio que ha servido durante muchos años de referencia para la elaboración de normas e investigaciones nacionales; pero que por otro lado resulta en un vacío de conocimientos en la ingeniería a nivel nacional por falta de profundidad de la información presentada en la normativa venezolana vigente.

Es por esta razón que se expone una alternativa distinta a la ya puesta en práctica en el país, la cual permita formar un criterio en el ingeniero de hoy, que pretende desarrollar proyectos de concreto estructural y que no necesariamente cuenta con amplia experiencia en el diseño de muros. Los resultados expuestos podrán generalizar el diseño y detallado de muros y definir una metodología con resultados comprobados, evitando así errores por el libre criterio e interpretación del proyectista y la unificación de juicios académicos en la enseñanza del diseño de dichos elementos estructurales; trayendo como consecuencia una expansión en el uso de muros como solución estructural y un acrecentamiento de la calidad estructural y por consiguiente edificaciones más seguras y económicas.

#### **1.4 Alcance y Limitaciones**

La presente investigación pretende el análisis de: muros estructurales de concreto armado, continuos en toda su longitud, no acoplados, empotrados y anclados sobre fundaciones suficientemente rígidas; sometidos a cargas horizontales y gravitacionales, para niveles de diseño ND1 y ND3 (Según FONDONORMA 1753:2006).



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Bondarenko, S. y Garcia, I. **Manual de Cálculo y Diseño de Muros Estructurales de Concreto Armado.** Universidad de Carabobo, 2012.

Dicha tesis tiene por objetivos principales el desarrollo de un manual de cálculo y diseño de muros estructurales aplicando los criterios de las normas FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-11, adicionalmente describir los lineamientos normativos existentes de ambos códigos y posteriormente la integración y organización de la información recopilada en una secuencia lógica y ordenada para el cálculo y diseño de muros de concreto armado.

Por medio de esta investigación de tipo documental y de campo se logró elaborar una metodología sistematizada, precisa y de fácil entendimiento para el cálculo de muros estructurales de concreto por ambas normas, y se complementó con información adicional extraída de diversas fuentes bibliográficas, todo esto por medio de la utilización de diagramas de flujos que describen el procedimiento de diseño.

La relación entre la presente investigación y la antes descrita radica en la comparación metodológica existente en el diseño de muros de concreto estructural por las norma venezolana FONDONORMA 1753:2006 y la norma norteamericana ACI 318-11, sin embargo, en la investigación a desarrollar e



en esta oportunidad no se pretende unificar el criterio de ambas normas para proponer un único procedimiento de diseño, sino contrastar los resultados finales obtenidos del diseño por medio de estos dos códigos, considerándolos criterios de diseño presentados por el American Concrete Institute en su última versión ACI 318-14; siempre desde bajo condiciones iniciales iguales.

**2.1.2** Briceño A. y Carreras, N. **Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011.** Universidad Católica Andrés Bello, 2013.

En dicha investigación se plantearon los siguientes objetivos: Determinar cuáles fueron las modificaciones en los criterios de diseño de muros estructurales de concreto reforzado, desarrolladas producto de las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011, para los códigos ACI 318-08 (Normativa Americana), Decreto Supremo DS 60 (Norma Chilena) y el NZS 3101:2006 (Normativa Neozelandesa).

En base a esas actualizaciones se realizó un análisis comparativo entre las versiones anteriores y vigentes de cada una de las normativas, y otro entre las versiones actualizadas de los códigos de cada país incluyendo la norma nacional FONDONORMA 1753:2006;

Finalmente se concluyó sobre las bondades de la filosofía de diseño, en base a la realización del análisis mediante software y posterior diseño en base a cada Normativa de elementos Muro bajo condiciones iniciales idénticas, para así poder recomendar cuales de estas actualizaciones son convenientes adicionarlas a la normativa nacional.



Esta investigación presenta una estrecha relación con la que se pretende desarrollar actualmente, debido a que en ella se plantea la metodología a seguir para realizar un análisis comparativo entre normas, además de tratar específicamente sobre el tema de muros de concreto estructural con características similares a las definidas en el alcance de este trabajo. Sirviendo de guía sobre los puntos importantes a tomar en consideración.

Más se diferencia la línea de investigación a seguir en este trabajo de investigación por el hecho de que solo se compararan la actual norma venezolana con la versión más actualizada de la norma americana ACI 318-14, haciendo especial énfasis en las modificaciones en el articulado referente a las características de diseño y detallado (Especialmente de los miembros de borde).

## 2.2 Bases Teóricas

Los muros estructurales (ME), o muros cortantes como también se les conoce, se definen como elementos de concreto armado con un “desarrollo en altura de gran magnitud, contra un ancho intermedio y un espesor pequeño” (Bondarenko & García, 2012, p.35), los cuales se diseñan para resistir combinaciones de momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerza axial tal como se muestra en la Figura 1.

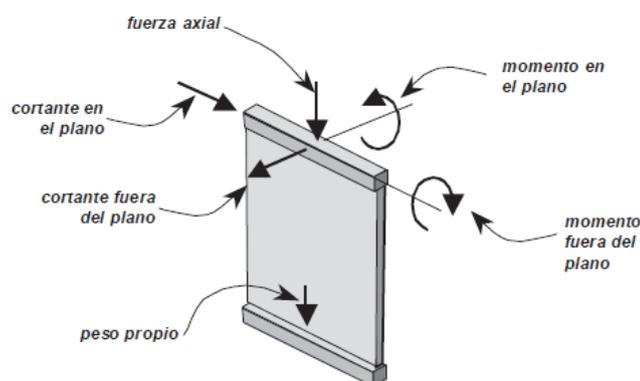


Figura 1. Fuerzas dentro y fuera del plano del muro. Fuente: ACI 318-14. (2014)



Según Briceño & Carreras (2013) se puede tomar el valor establecido por la norma 1753:2006 en la subsección 18.4.2b, que limita a que si la relación entre la menor dimensión de la sección transversal del elemento y la correspondiente en la dirección perpendicular es inferior a 0,4 ( $t/L_w$  en la Figura 2) el mismo se caracterizará como muro.

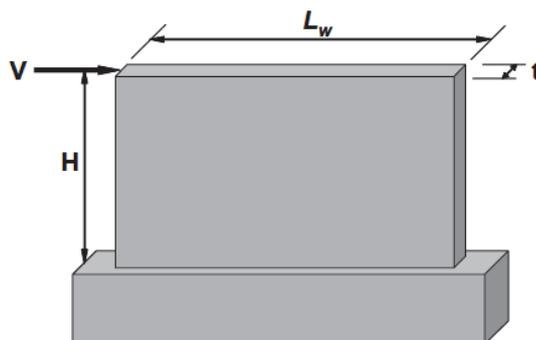


Figura 2. Definición de Variables Geométricas. Fuente: Thomson, E. (2005)

Dicha concepción geométrica le proporciona a los muros estructurales 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” (Briceño & Carreras, 2013, p1).

Por lo antes mencionado la utilización de ME permite solucionar o minimizar problemas de diseño tales como deflexiones excesivas y riesgos torsionales elevados, entre otros de particular importancia sobre todo en estructuras sometidas a acciones sísmicas o de viento.

“El uso de muros cortantes se hace imperativo en determinados edificios elevados a fin de poder controlar las deflexiones de entrepiso, provocadas por la carga lateral. Los muros cortantes bien diseñados en las áreas sísmicas tienen un buen historial. No sólo pueden proporcionar seguridad estructural adecuada, sino que también pueden dar gran protección contra daño no



estructural costoso durante perturbaciones sísmicas moderadas.”

(Park & Paulay, 1978, p.634)

El comportamiento de un muro estructural se suele representar como una viga vertical empotrada en voladizo (*cantilever*) (Ver Figura 3) con un modo de deformación dominado por flexión. Briceño & Carreras (2013) sugieren que dicho modelo será válido para sistemas que toman en cuenta disposiciones simétricas de los muros en planta para evitar los efectos torsionales producidos por cambios de rigidez, así como también una baja presencia de vanos o aberturas que influyan en la respuesta estructural de la edificación.

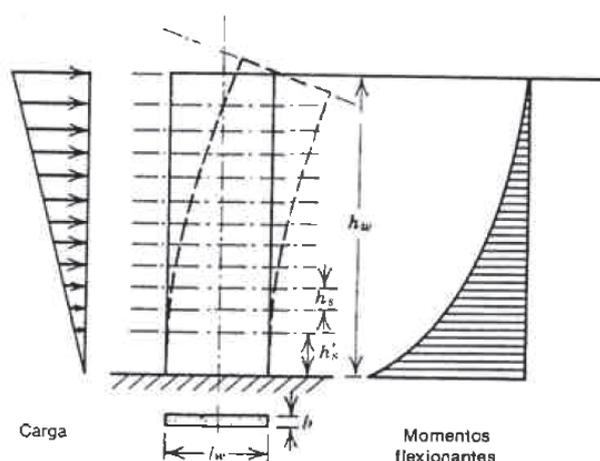


Figura 3. Un muro de cortante en voladizo. Fuente: Park & Paulay (1978)

La adecuada disposición del acero de refuerzo 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” (Briceño & Carreras, 2013, p2). La sección central o



alma del muro suele reforzarse con un detallado más sencillo en cuanto a cantidad de acero se refiere.

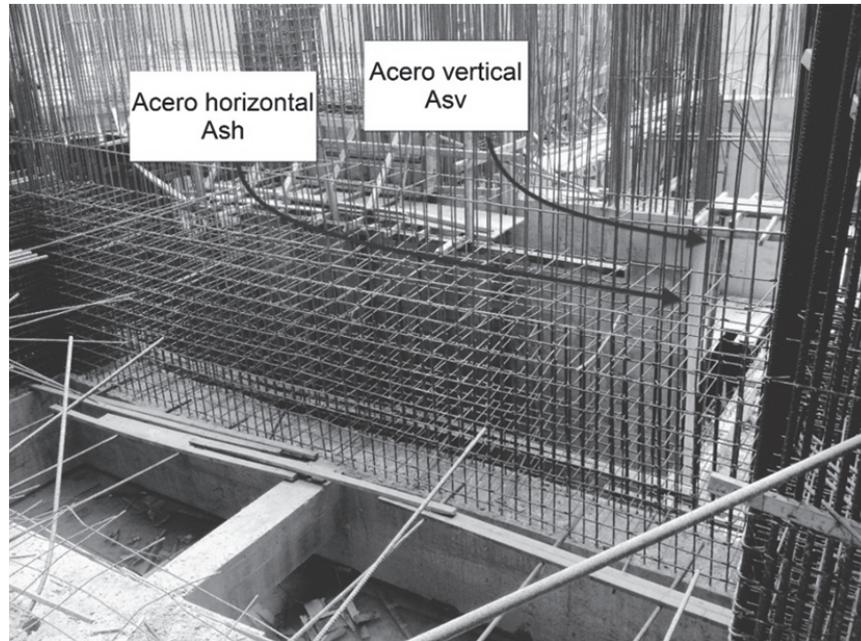


Figura 4. **Distribución de acero en ME.** Fuente: Elaboración propia (2015)



Figura 5. **Detalle de miembro de borde.** Fuente: Elaboración propia (2015)



El armado del acero de refuerzo se realiza en dos direcciones, colocándose refuerzo horizontal y vertical con el fin de resistir la fuerza cortante en las dos direcciones ortogonales al plano del muro, así como las solicitaciones por momento flector y fuerza axial. Se pueden utilizar tanto barras corrugadas como mallas electrosoldadas como acero de refuerzo, tomando en cuenta las consideraciones particulares para cada caso. El refuerzo diagonal puede ser conveniente en algunos casos, como por ejemplo en dinteles solicitados a fuerzas cortantes muy altas.

Los ME pueden clasificarse de manera general en función a su geometría y a su modo de falla tal como se explica a continuación:

#### **Clasificación según su geometría:**

a. Relación de aspecto: Según Fratelli (1999), los muros se clasifican en cuanto a su relación de aspecto en tres tipos, como puede observarse en la Figura 6.

- ✓ Muros bajos: Cuando la relación de altura vs. longitud  $H/L < 2$
- ✓ Muros intermedios: Cuando la relación de altura vs. longitud  $2 \leq H/L \leq 5$
- ✓ Muros altos: Cuando la relación de altura vs. longitud  $H/L > 5$

A medida que la relación de aspecto anterior disminuye aumenta la probabilidad de una falla por corte en el elemento. Por el contrario, si esta



relación es alta el comportamiento del elemento se asemeja más al de una viga en voladizo en la que la sollicitación que domina es la flexión.

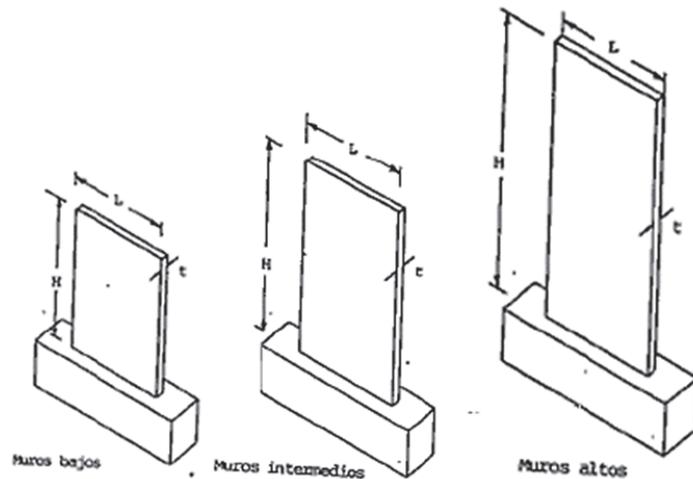


Figura 6. Clasificación de los muros según su relación de aspecto.  
Fuente: Fratelli, M. (1999)

b. Sección transversal: Para poder aprovechar el perímetro de las plantas y núcleos de circulación es común que los diseñadores incorporen secciones transversales tipo I, T, L, U, H ó formas angulares a lo largo de toda la altura del edificio. Aunque para los muros, se prefieren las secciones simétricas (Ver Figura 7). En función a esta característica los ME se clasifican en:

- ✓ Muros planos: conjunto de muros que, proyectados en planta, no presentan cambio de dirección ni bifurcación.
- ✓ Muros con elementos extremos: con incremento de sección transversal en los bordes.
- ✓ Muros con alas: los cuales al ser proyectados en planta lucen como muros perpendiculares entre sí, es decir, en forma de T, I, entre otros.
- ✓ Muros quebrados: presentan cambios de dirección y bifurcaciones en su proyección en planta.



Figura 7. Clasificación de los tipos de muros según su proyección en planta. Fuente: Paulay & Priestley (1992)

### Clasificación según el modo de falla:

“Según Paulay & Priestley (1992), 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. Así se muestra en la Figura 8 (b) y Figura 8 (e). Se deben prevenir los modos de falla producidos por tracción diagonal [Figura 7 (c)] o compresión diagonal causados por corte, así como las fallas por corte a lo largo de las juntas de construcción [Figura 7 (d)] o fallas por adherencia a lo largo de los empalmes y anclajes. Para el caso de muros estructurales esbeltos, se añaden como modos de falla a evitar los casos de fractura del acero a flexión, y por inestabilidad del alma del muro o del refuerzo vertical a compresión (Alcocer, 1995)” (Briceño & Carreras, 2013, p4)

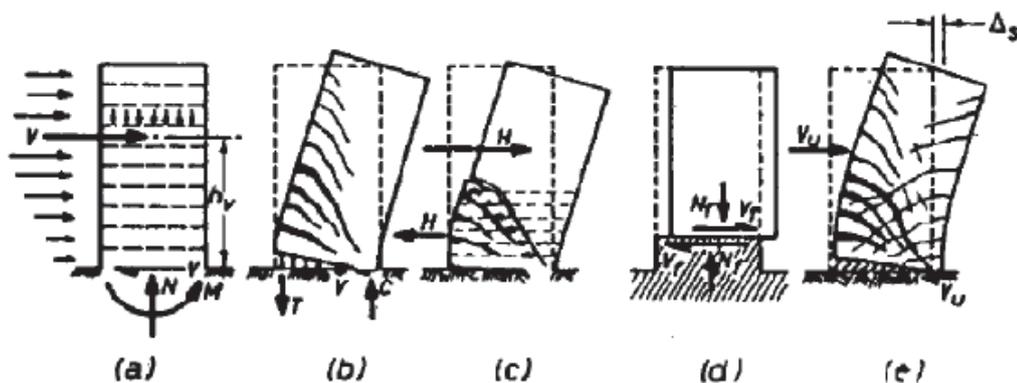


Figura 8. Modos de falla de muros en voladizo. Fuente: Paulay & Priestley (1992)



Los muros estructurales presentan diferencias según el mecanismo que controla su desplazamiento lateral y su resistencia. Alcocer (1995) los clasifica de la siguiente manera:

- ✓ Muros de cortante: en los cuales el corte controla los desplazamientos y la resistencia;
- ✓ Muros de flexión: en los que la flexión controla los desplazamientos y la resistencia;
- ✓ Muros dúctiles (muro estructural "especial"): que poseen buenas características de disipación de energía para cargas cíclicas reversibles.

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.

A través de modelos de carga histeréticos (proceso de carga y descarga de un elemento repetitivamente) 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 muros dominados por corte. Dicha comparación puede apreciarse en las Figura 9 y Figura 10.

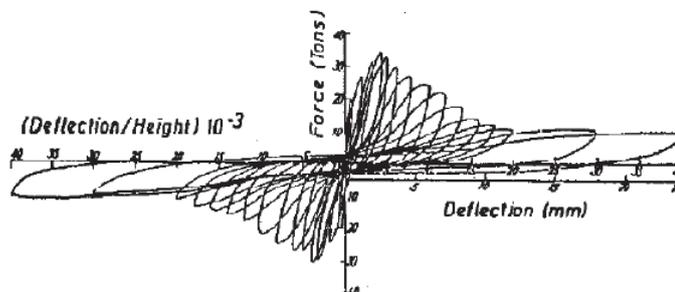


Figura 9. **Respuesta histerética de un muro controlado por corte.** Fuente: Paulay & Priestley (1992)

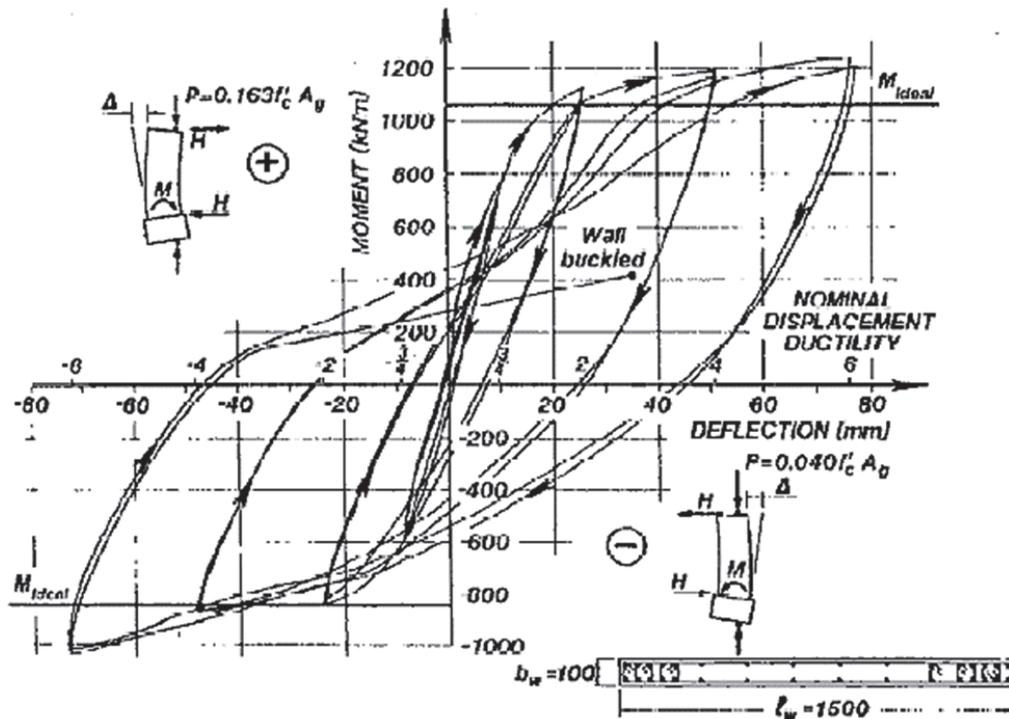


Figura 10. Respuesta histerética de un muro dúctil. Fuente: Paulay & Priestley (1992)

Los muros dúctiles se diseñan para que la resistencia y las deformaciones de la estructura sean gobernadas por la cedencia del acero a flexión, localizándose en puntos especialmente detallados para la ocurrencia de rótulas plásticas, las cuales se puede extender por la altura completa de un piso o más (Bondarenko & García, 2012).

El detallado de la distribución del refuerzo a lo largo del muro también influye en su desempeño. Según Alcocer, S. (1995), los muros con refuerzo concentrado en los extremos son, en comparación con aquellos con refuerzo distribuido, más resistentes y dúctiles, como se demuestra en la Figura 11. 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.

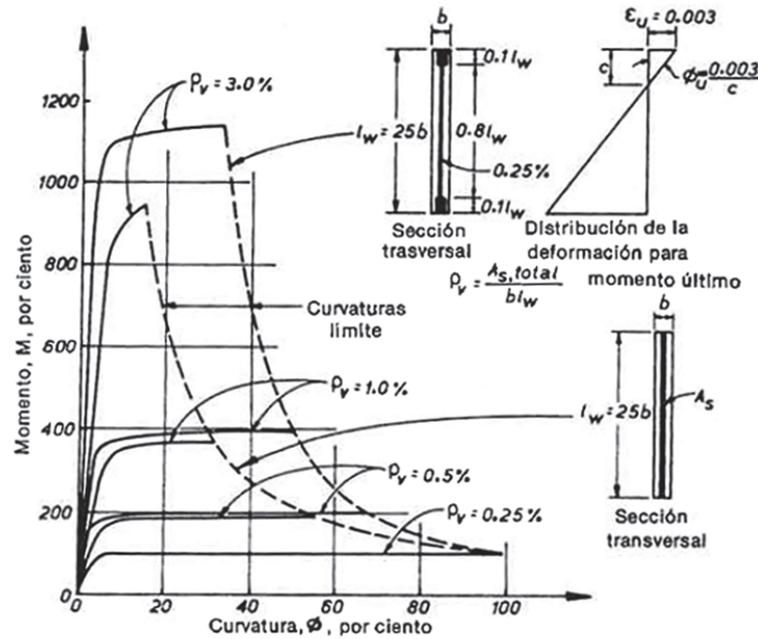


Figura 11. Efecto de la distribución del acero de refuerzo y de la cuantía en la resistencia a flexión y en la curvatura. Fuente: Alcocer, S. (1995)

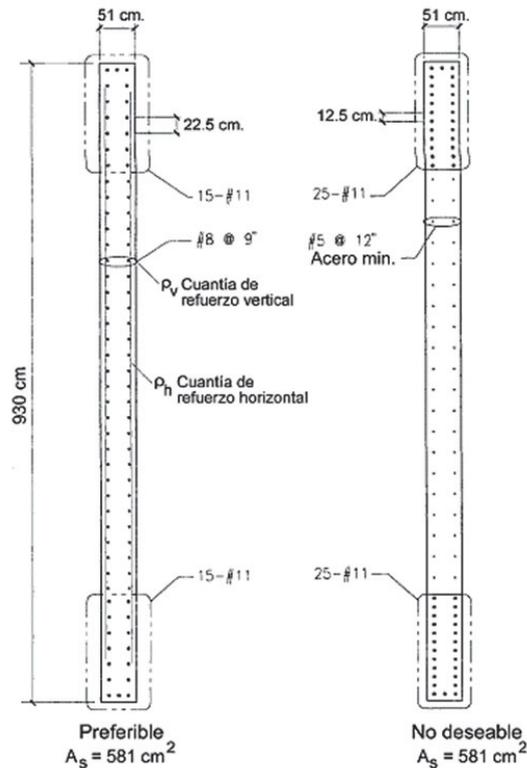


Figura 12. Distribución del acero de refuerzo longitudinal en la sección transversal de un muro. Fuente: FONDONORMA 1753:2006



Por otro lado, una de las desventajas que presente detallar un muro utilizando con concentración de acero en los extremos es el congestionamiento, el cual dificulta el proceso de vibrado en dichas zonas. Se recomienda una distribución igualitaria del acero longitudinal demandado entre los miembros de borde y el alma para aumentar la resistencia al deslizamiento del muro (Rodríguez, 2011). Estas recomendaciones se resumen en la Figura 12 extraída de FONDONORMA 1753:2006.

### **Sistemas estructurales con muros:**

Las ubicaciones de los muros estructurales usualmente son establecidas en base a requerimientos funcionales o arquitectónicos, sin embargo, es fundamental establecer configuraciones deseables para optimizar la resistencia a cargas laterales. Las configuraciones propuestas deben “satisfacer la simetría de rigideces y la estabilidad torsional, además de distribuir las deformaciones inelásticas de una manera razonable y uniforme sobre todo el plano de la edificación” (Bondarenko & García, 2012, p43) evitándose someter algunos elementos a demandas de ductilidad excesivas.

A continuación se presentan un conjunto de recomendaciones y consideraciones planteadas por Bondarenko & García (2012) para elegir configuraciones adecuadas para muros estructurales que se someterán a fuerzas laterales:

- ✓ Localizar la mayor cantidad de muros en la periferia de la edificación para mejorar el comportamiento torsional.
- ✓ Mientras mayor sea carga gravitacional que pueda transmitirse hasta las fundaciones a través de muros estructurales, menor será la demanda de refuerzos a flexión es ese muro.



- ✓ Buscar configuraciones simétricas y magnitudes similares de resistencia y rigidez en ambas direcciones. Fratelli (1999) clasifica los muros en simétricos o asimétricos como lo reseña la Figura 13.
- ✓ Mantener constante la sección transversal del muro en toda la altura de la edificación. Fratelli (1999) clasifica los muros en discontinuos como muestra la **Figura 14**.
- ✓ Evitar discontinuidades geométricas sobre todo en los pisos inferiores donde la demanda de rigidez, resistencia y disipación de energía es mayor.

Estas recomendaciones buscan en su mayoría reducir la separación entre el centro de cortantes (CC) y el centro de rigidez (CR) de las plantas, de tal manera que se minimice el efecto torsional que genera dicha excentricidad. Ejemplos de distintas configuraciones en planta de muros se presentan a continuación en la Figura 15.

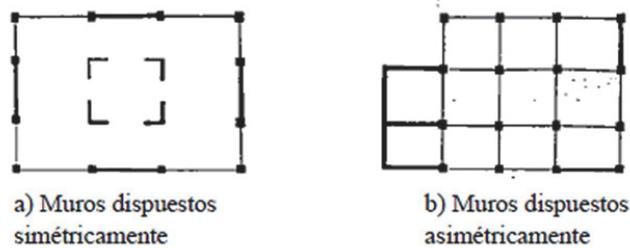


Figura 13. Clasificación de los muros según su disposición en planta. Fuente: Fratelli, M. (1999)

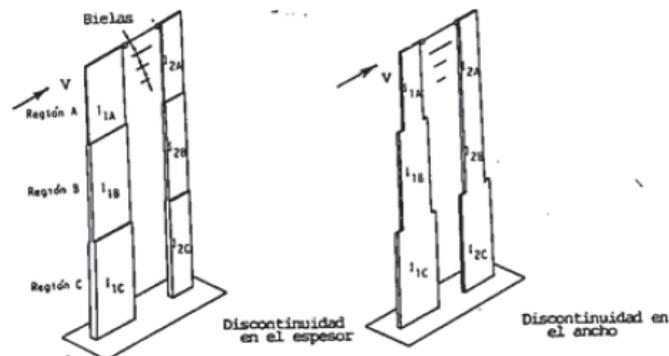


Figura 14. Muros discontinuos. Fuente: Fratelli, M. (1999)



CONFIGURACION ESQUEMATICA	ELEMENTOS RESISTENTES PARA FUERZAS SISMICAS ←→	ELEMENTOS RESISTENTES PARA FUERZAS SISMICAS ↑↓	ELEMENTOS RESISTENTES PARA TORSION ↻
 + CM & CR			
 CM & CR			 PRINCIPAL PROBLEMA: NO HAY RESISTENCIA A LA TORSION
 CM CR	 PRODUCE TORSION	 PRODUCE TORSION	 POCA RESISTENCIA A LA TORSION (BRAZO DE PALANCA PEQUEÑO)
 CM CR	EL ANALISIS SOBRE DOS EJES NO ES SUFICIENTE: PARA LAS FUERZAS A LO LARGO DE CADA EJE DIAGONAL ←↗↘↖ NO HAY ELEMENTOS RESISTENTES		
 CM CR	 PRODUCE TORSION AUNQUE LOS TRIANGULOS PUEDAN PARECER INTUITIVAMENTE MUY BUENAS FORMAS ESTRUCTURALES, TIENDEN A PRODUCIR PLANTAS DESCOMPENSADAS	 PRODUCE TORSION	
 CM CR			

Figura 15. Configuraciones esquemáticas de muros en planta. Fuente: Autor desconocido.

Según Lobo, W. (2011), sobre los 30 pisos la aplicación de muros estructurales es imperativa al combinarlos con pórticos de vigas acarteladas, en un sistema dual. La interacción entre ambos sistemas dependerá de sus rigideces, siendo conveniente que la relación entre ambos se mantenga



constante en la altura, para garantizar un adecuado comportamiento estructural.

Es interesante resaltar sobre el comportamiento de este tipo de sistema estructural (Ver Figura 16 y Figura 17) que al estar sometidos a cargas laterales, los muros y los pórticos comparten el sentido del desplazamiento en los pisos inferiores, pero se oponen en los superiores. En los sistemas duales, dada la compatibilidad de desplazamientos obligada por las losas de piso, el pórtico y el muro comparten la resistencia en los pisos inferiores pero se oponen en los superiores (Alcocer, 1995).

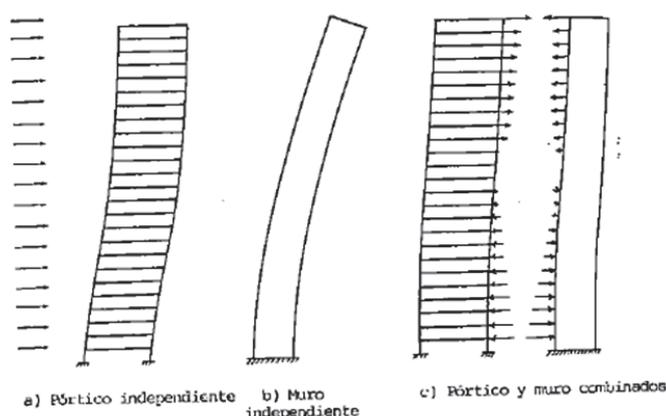


Figura 16. Deformación ante cargas laterales de un pórtico, un muro y un sistema dual. Fuente: Fratelli, M. (1999)

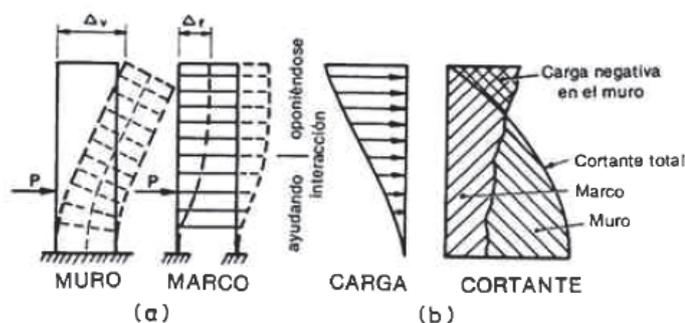


Figura 17. Interacción de muros de cortante y marcos rígidos. Fuente: Park & Paulay (1978)

Otra condición que es común encontrar en las propuestas de sistemas de muros es la necesidad de colocar aberturas a lo largo de los mismos, conocidos como muros con vanos. Debe tenerse especial cuidado con el tamaño y ubicación de los vanos, ya que de acuerdo a Park & Paulay (1978) es imperativo que las aberturas interfieran lo menos posible con la capacidad



de momentos y transmisión de cortante de la estructura, y si estos vanos son demasiado grandes los mismos podrían afectar la resistencia y la rigidez del ME. Según Alcocer (1995), si las aberturas se disponen de manera alternada en elevación es recomendable la colocación de refuerzo diagonal para ayudar en la formación de campos diagonales a compresión y a tracción una vez que el muro se ha agrietado diagonalmente.

Se presenta a continuación en la Figura 18 un esquema de la distribución de tensiones de un muro con vanos ubicados alternadamente a lo largo de la altura. Si no hay presencia de vanos en un ME el mismo se caracterizara el muro como macizo (Fratelli 1999).

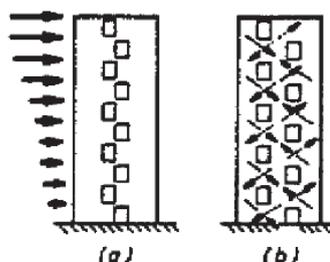


Figura 18. Resistencia al corte afectada por aberturas en muros:  
(a) Aplicación de cargas laterales. (b) Diagrama de tensiones.

Fuente: Alcocer, S. (1995)

“En la Figura 19 (a) se muestra un buen ejemplo de muro irracional. El repentino cambio de una sección de muro a columnas reduce drásticamente la resistencia a flexión de la estructura de voladizo en la sección crítica de la base. La distribución escalonada de las aberturas reduce severamente el área de contacto entre los dos muros, donde se deberían transmitir las fuerzas a cortante. Las columnas del muro ilustrado en la Figura 19 (b) podrían llevar a un caso indeseable en que el mecanismo de traslación lateral de las columnas ladea el muro en una dirección opuesta a la de la traslación lateral.” (Park & Paulay, 1978, p.659).

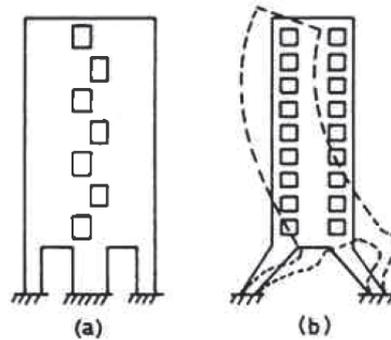


Figura 19. **Muros Estructurales Irracionales:**  
**(a) Interferencia con la resistencia a flexión y cortante. (b) Deformaciones inestables debidas a las columnas inclinadas.**

Fuente: Park & Paulay (1978)

De acuerdo con Park & Paulay (1978), las observaciones realizadas sobre el comportamiento probable de los muros de cortante durante las perturbaciones sísmicas indican lo indeseado de remplazar muros masivos cerca de su base con miembros de columnas más ligeras. La Figura 20 presenta tipos de muros que son satisfactorios para la resistencia de carga de viento pero que probablemente no lo sean frente a sismo de importancia. Para estas cargas sísmicas, se puede concentrar la absorción de energía lo cual se asocia con demandas de ductilidad que no pueden satisfacerse con el concreto reforzado.

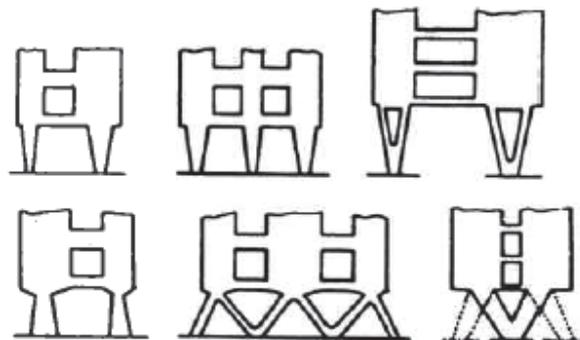


Figura 20. **Formas Indeseables Muros Resistentes a Sismos.**

Fuente: Park & Paulay (1978)



Un ejemplo de comportamiento estructural no deseado se observó en el hotel Macuto – Sheraton de Venezuela. En este edificio los muros de 18 pulgadas (455 mm) de espesor transmitieron la carga sísmica a columnas redondas de 43 pulgadas (1090 mm) de diámetro en el cuarto piso. Durante el sismo de Caracas del 29 de julio de 1967, una hilera de columnas del tercer piso fallo por cortante y compresión axial. Una flecha indica el sitio en la Figura 21. Los momentos de volteo de los muros indujeron grandes fuerzas axiales en las columnas lo que redujo su ductilidad a flexión.

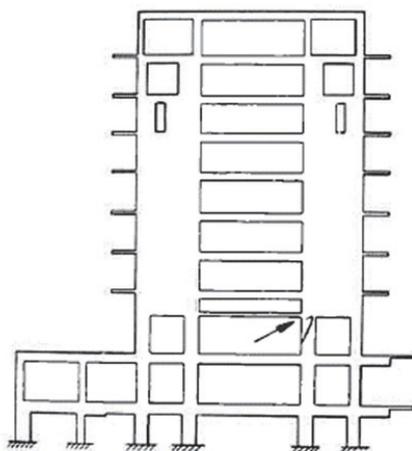


Figura 21. **La Estructuración del Hotel Macuto – Sheraton de Venezuela.**  
Fuente: Park & Paulay (1978)

En cambio, si las aberturas se colocan en forma regular se obtiene un sistema de muros acoplados, que poseen muy buenas características sismorresistentes, pero presentan un comportamiento diferente al estudiado en este trabajo. Mientras el modo de disipación de energía de muros estructurales ocurrirá por plastificación en el refuerzo a flexión, los muros acoplados pueden disipar una cantidad significativa de energía a través de la sola cedencia de las vigas acopladas (Alcocer, 1995). Una imagen de referencia, los tipos de muros acoplados y una descripción gráfica de su comportamiento se presentan en la Figura 22, Figura 23 y Figura 24 respectivamente.

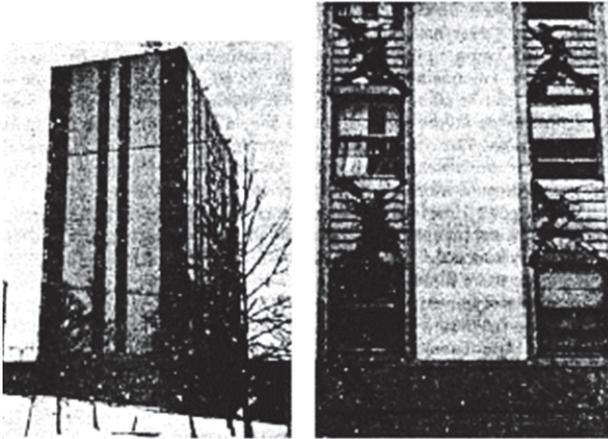


Figura 22. **Sistema de muros acoplados.** Fuente: Park & Paulay (1978)

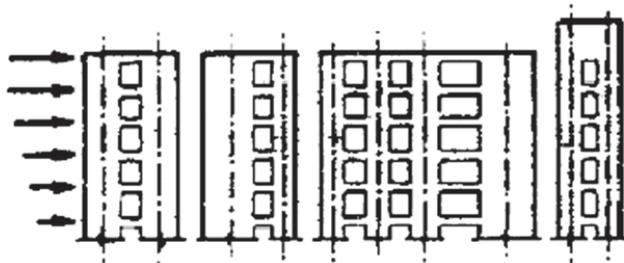


Figura 23. **Tipos de muros acoplados.** Fuente: Alcocer, S. (1995)

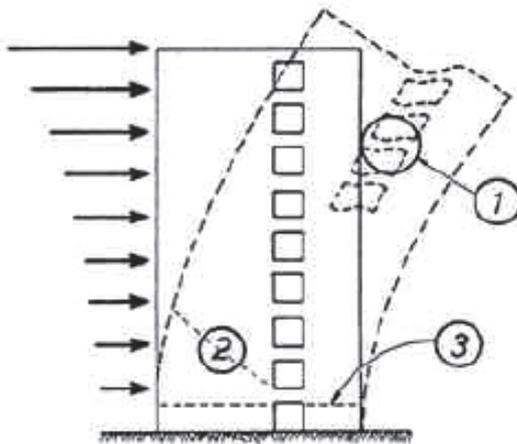


Figura 24. **Areas críticas de comportamiento en muros acoplados de cortante.** Fuente: Park & Paulay (1978)



## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de investigación

En lo que se refiere al tipo de investigación, el presente trabajo se encuentra dentro de la clasificación de investigación Documental/De Campo.

La investigación Documental se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos (Fuentes bibliográficas, apuntes de clases, material de seminarios técnicos, entre otros) y archivos electrónicos (Información proveniente de páginas web de instituciones y otros); donde predomina el análisis, la interpretación, las opiniones, las conclusiones y recomendaciones del autor o los autores.

Una investigación de Campo, “Es el análisis sistemático de problemas de la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos entender su naturaleza y factores constituyentes...” (UPEL, 2003).

El problema objeto de estudio surge de una necesidad observada directamente de la realidad donde ocurrieron los hechos (Comentarios de distintos profesionales dedicados al análisis y diseño estructural y profesores universitarios), sin controlar variable alguna.



### **3.2 Tipo de estudio**

El tipo de estudio a desarrollar corresponde a uno Comparativo, donde se contrastarán las metodologías de diseño de muros estructurales de concreto armado de las normativas seleccionadas.

### **3.3 Diseño de la investigación**

Para el desarrollo de la investigación se ha seleccionado el método cuantitativo, debido a que permite mensurar los datos fundamentales para la comparación entre las metodologías planteadas en las normativas seleccionadas.

### **3.4 Población y muestra**

La población la comprenden todas las normativas de diseño de estructuras de concreto armado a nivel mundial y toda la variedad de tipos de muros que se contemplan en ellas. Más la muestra seleccionada, que pertenece al tipo intencional no probabilística, consiste en las normativas ACI 318-14 y FONDONORMA 1753-2006 específicamente los muros regulares no acoplados.



### 3.5 Procedimientos

El primer paso consistió en la ubicación, la selección y el 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 de completada la revisión del material bibliográfico y comprendida la esencia del comportamiento de los ME, las filosofías y criterios de diseño de cada una de las normativas objeto de estudio, se plantearon las principales variables que permitieron realizar una comparación entre ellas tanto de la forma como del contenido. Estas variables son las siguientes:

<b>Variables de Forma</b>	
VF1	Organización del contenido
VF2	Calidad de las imágenes
VF3	Vinculación entre el articulado y comentarios

Tabla 1. **Variables de Forma.** Fuente: Elaboración propia (2016)

<b>Variables de Contenido</b>	
VC1	Factor de minoración de resistencia
VC2	Requisitos geométricos del elemento
VC3	Límite de compresión máxima admisible
VC4	Límite de fuerza cortante máxima admisible
VC5	Resistencia a corte teórica del concreto
VC6	Nro de mallas del acero de refuerzo
VC7	Cálculo del acero de refuerzo horizontal
VC8	Cálculo del acero de refuerzo vertical
VC9	Cuantías mínimas
VC10	Requerimiento de MB
VC11	Dimensionamiento de MB
VC12	Cuantías de acero vertical (longitudinal) en MB
VC13	Cálculo del acero de confinamiento ME sin MB
VC14	Cálculo del acero de confinamiento ME con MB
VC15	Detallado del acero vertical de ME sin MB
VC16	Detallado del acero horizontal de ME sin MB
VC17	Detallado del acero vertical de ME con MB
VC18	Detallado del acero horizontal de ME con MB
VC19	Detallado del acero horizontal del MB

Tabla 2. **Variables de Contenido.** Fuente: Elaboración propia (2016)



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.

Para cada variable definida se almacenó y filtró la información mediante lluvias de ideas, con la finalidad de reorganizar y resumir la misma y así facilitar su comprensión y aplicación práctica.

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 ME. Este ejemplo se analizó en base a la metodología de ambos códigos estudiados. Se contó con el apoyo de un software de análisis estructural comercial y otro de cálculo matemático para la realización de los respectivos ejemplos.

Las ecuaciones y verificaciones presentadas parten de la conversión de unidades de la norma ACI 318-14 la cual utiliza el sistema anglosajón de unidades al sistema MKS ampliamente utilizado en nuestro país y en la norma FONDONORMA 1753-2006 para así poder tener un único punto de referencia.

Finalmente con los resultados obtenidos de las comparaciones se llegaron a las respectivas conclusiones y recomendaciones.



### **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección hacen referencia a las formas de obtener la información y los instrumentos a los medios materiales para almacenarla.

Esta se llevó a cabo en dos fases; una primera fase de campo donde se utilizó como técnica la observación directa, en la cual los autores asistieron a clases presenciales dictadas por el tutor de la investigación, para tener una apreciación de los aspectos que constituían un problema en el proceso diseño de muros estructurales.

Y finalmente una segunda fase, correspondiente a la fase documental donde se utilizó como técnica la consulta y evaluación de fuentes bibliográficas.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Diagrama de flujo del diseño FONDONORMA 1753:2006

A continuación (Ver página siguiente) se presenta el diagrama de flujo producto del análisis de la metodología de diseño aplicada por FONDONORMA 1753:2006 tanto para muros estructurales de nivel de diseño 1 (ND1) como de nivel de diseño 3 (ND3) contemplados en el capítulo 14.

El orden en que se desarrolla el diagrama no sigue estrictamente la misma secuencia en que se presentan los artículos en el documento, el mismo responde al orden que consideran lógico los autores para diseñar los muros de forma práctica y ordenada.

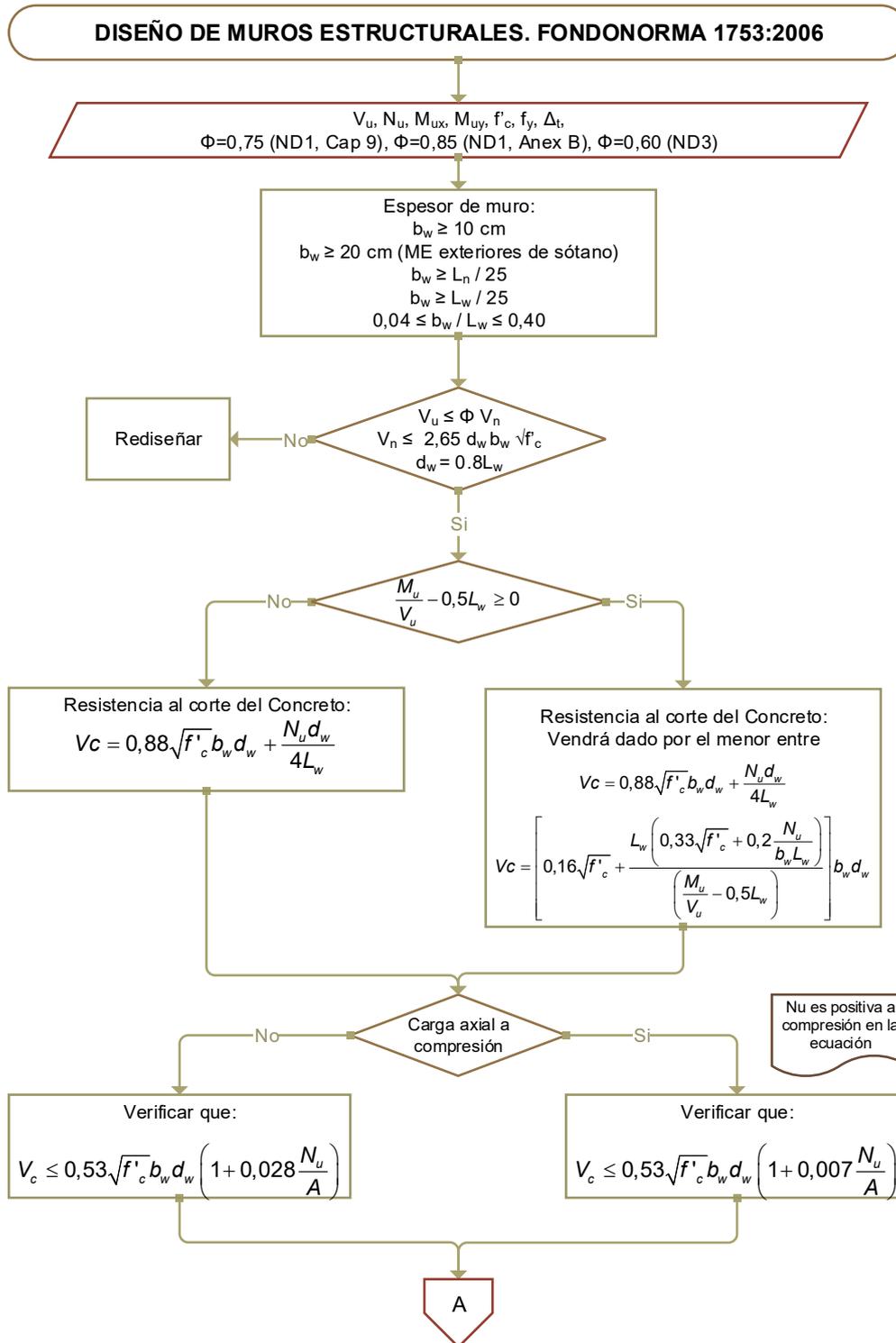


Figura 25. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [1/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

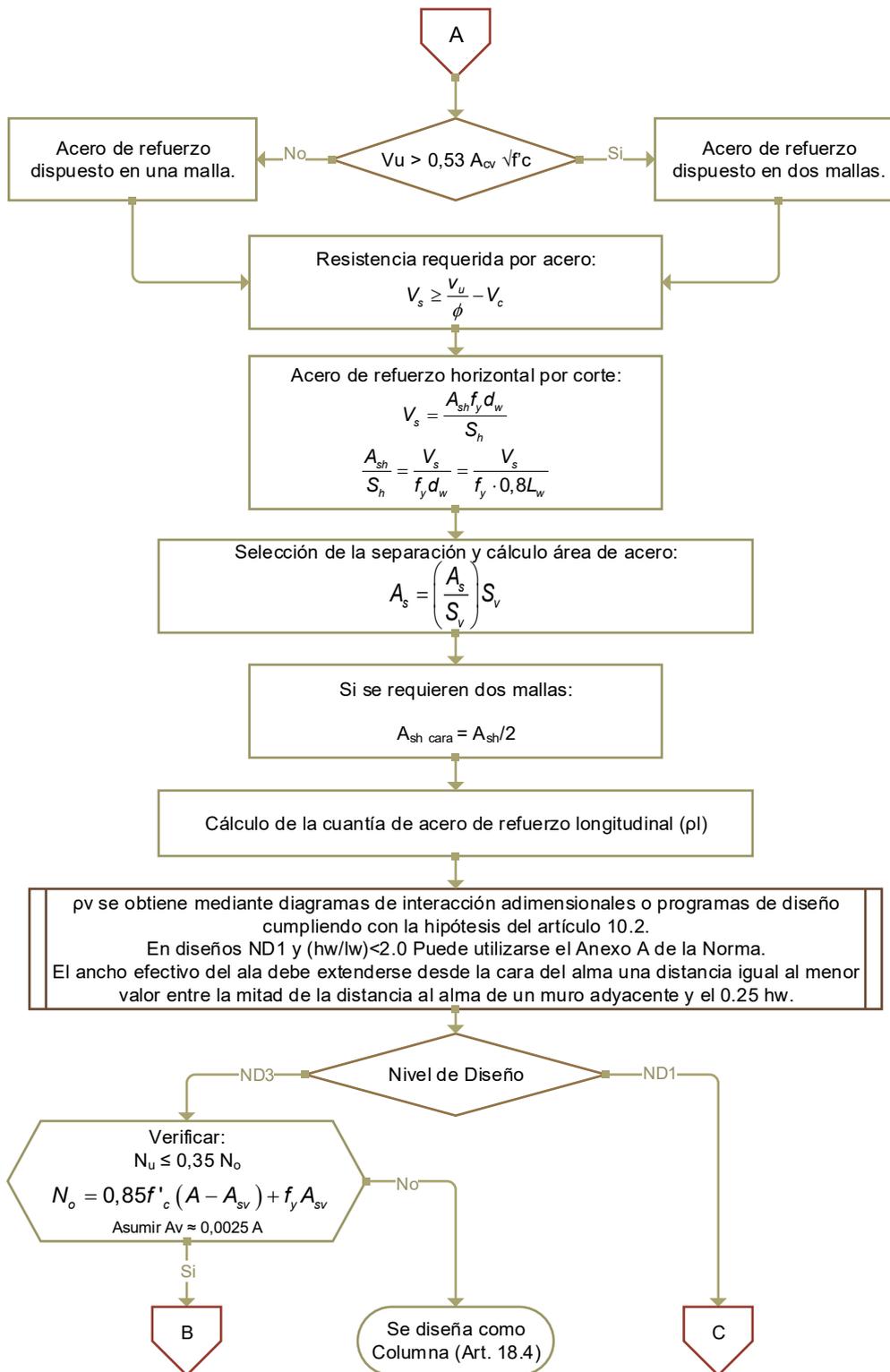


Figura 26. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONONORMA 1753:2006 [2/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

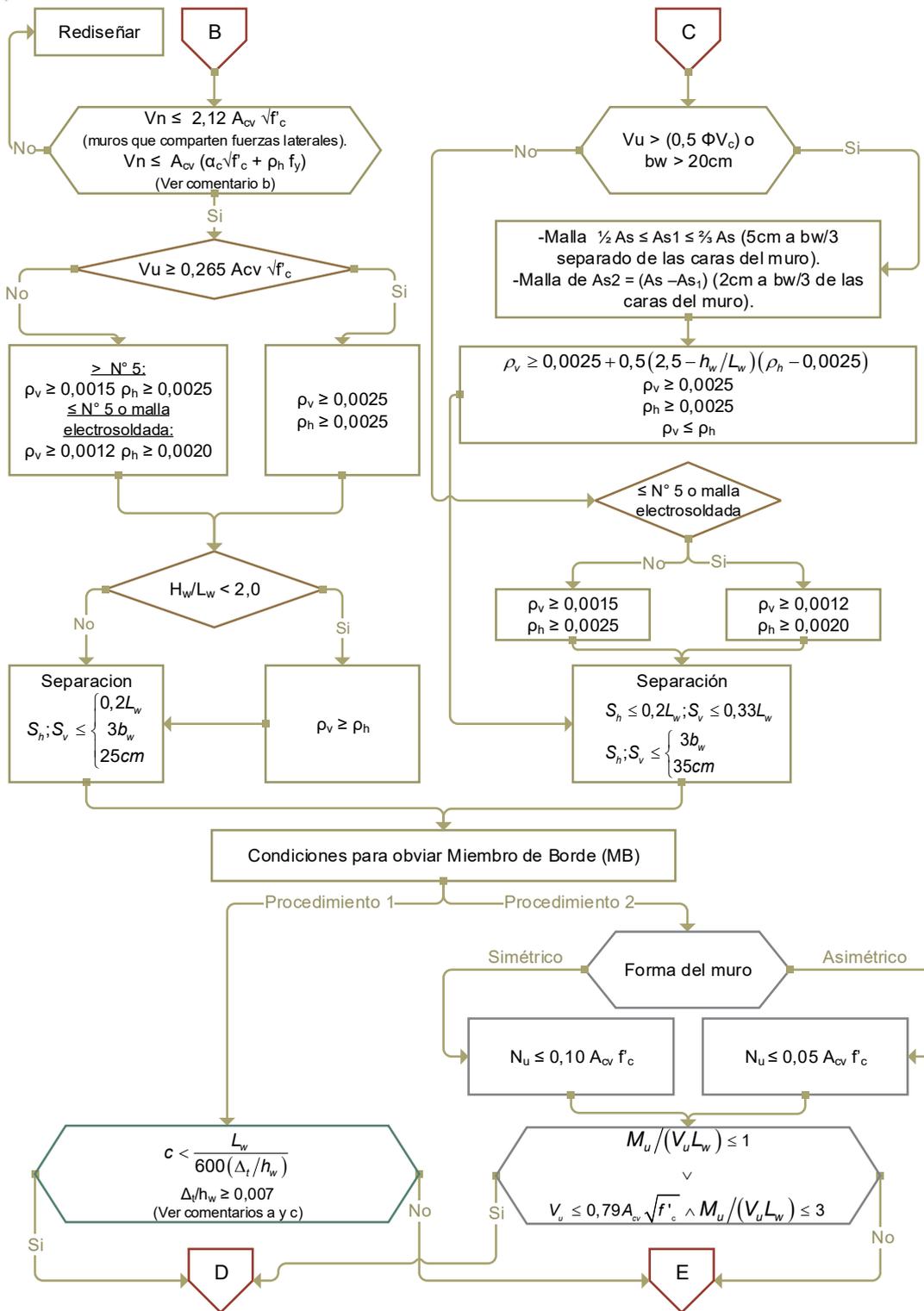


Figura 27. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONONORMA 1753:2006 [3/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

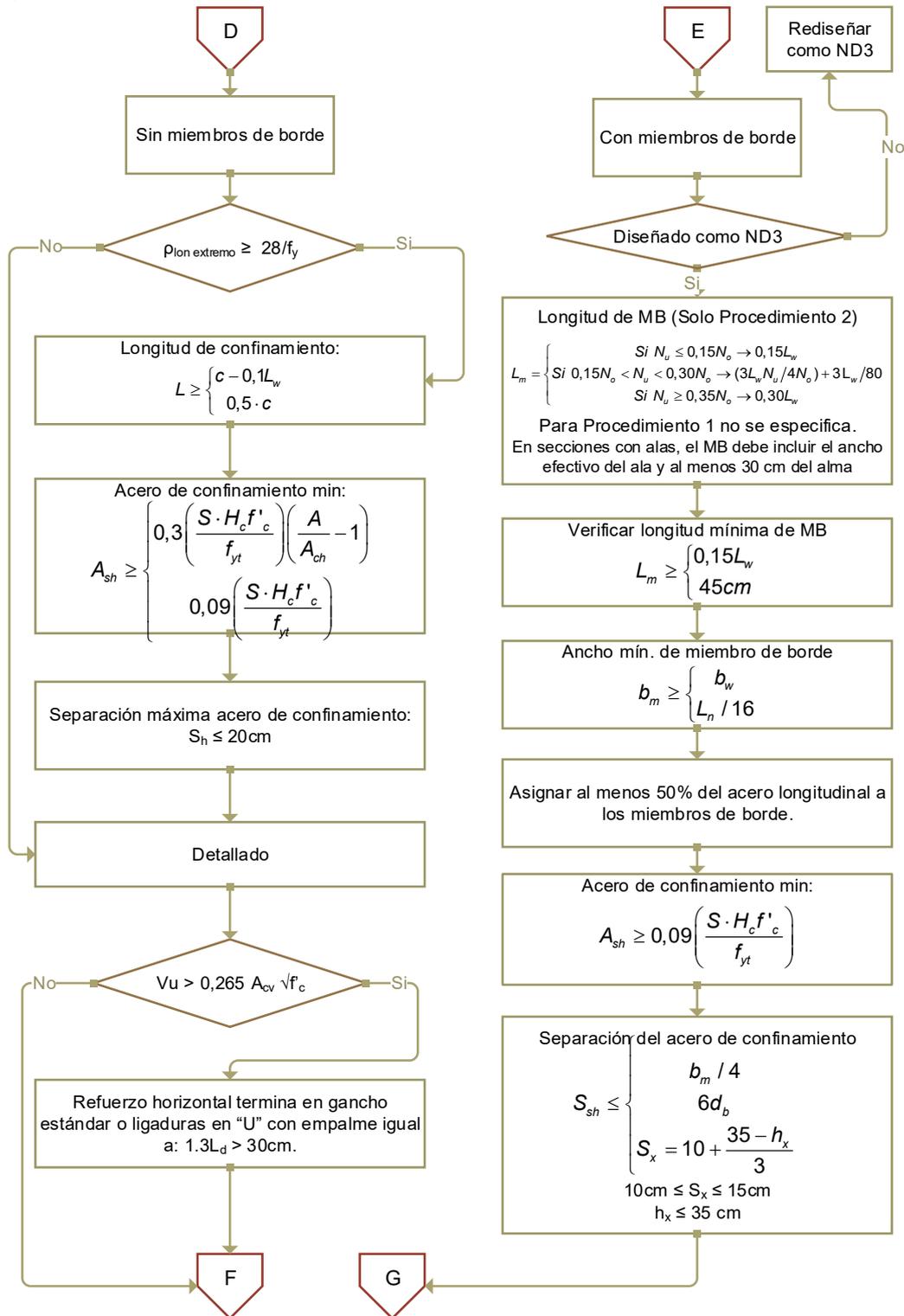


Figura 28. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONDONORMA 1753:2006 [4/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

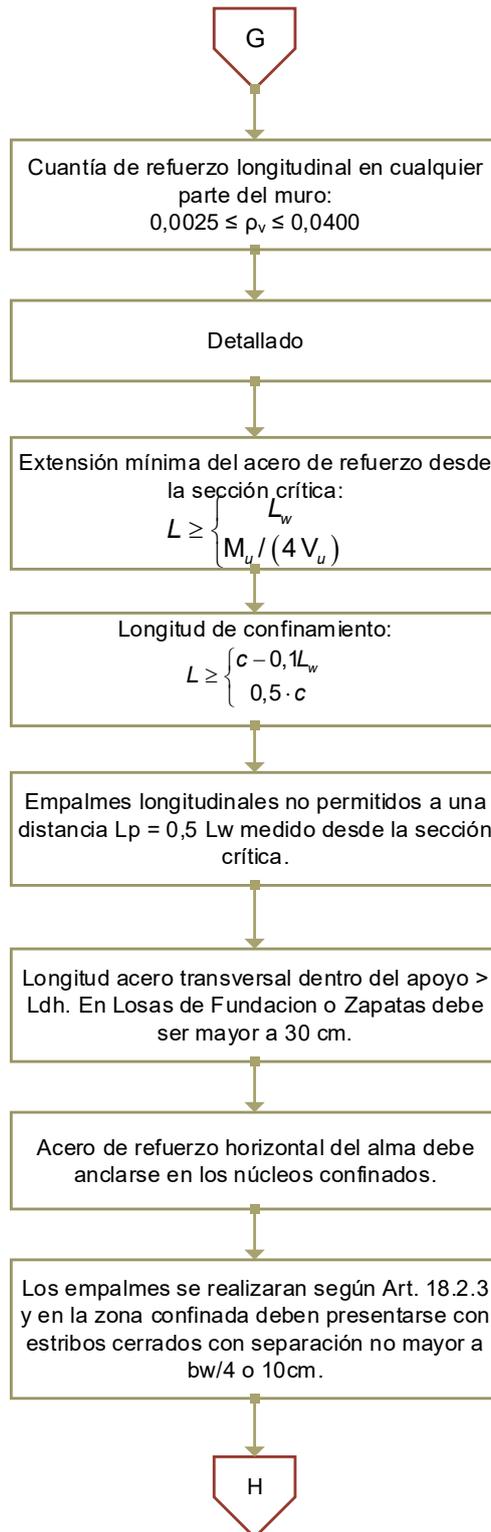


Figura 29. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONONORMA 1753:2006 [5/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

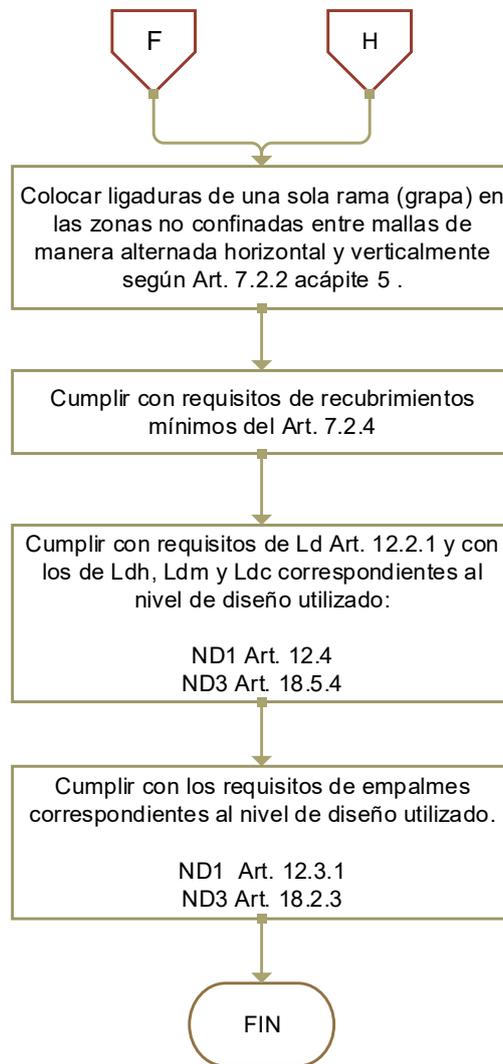


Figura 30. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales. FONONORMA 1753:2006 [6/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)



## 4.2 Diagrama de flujo del diseño ACI 318-14 ND1

A continuación (Ver página siguiente) se presenta el diagrama de flujo producto del análisis de la metodología de diseño aplicada por ACI 318-14 para muros estructurales de ND1 contemplado en el capítulo 11.

El orden en que se desarrolla el diagrama no sigue estrictamente la misma secuencia en que se presentan los artículos en el documento, el mismo responde al orden que consideran lógico los autores para diseñar los muros de forma práctica y ordenada.

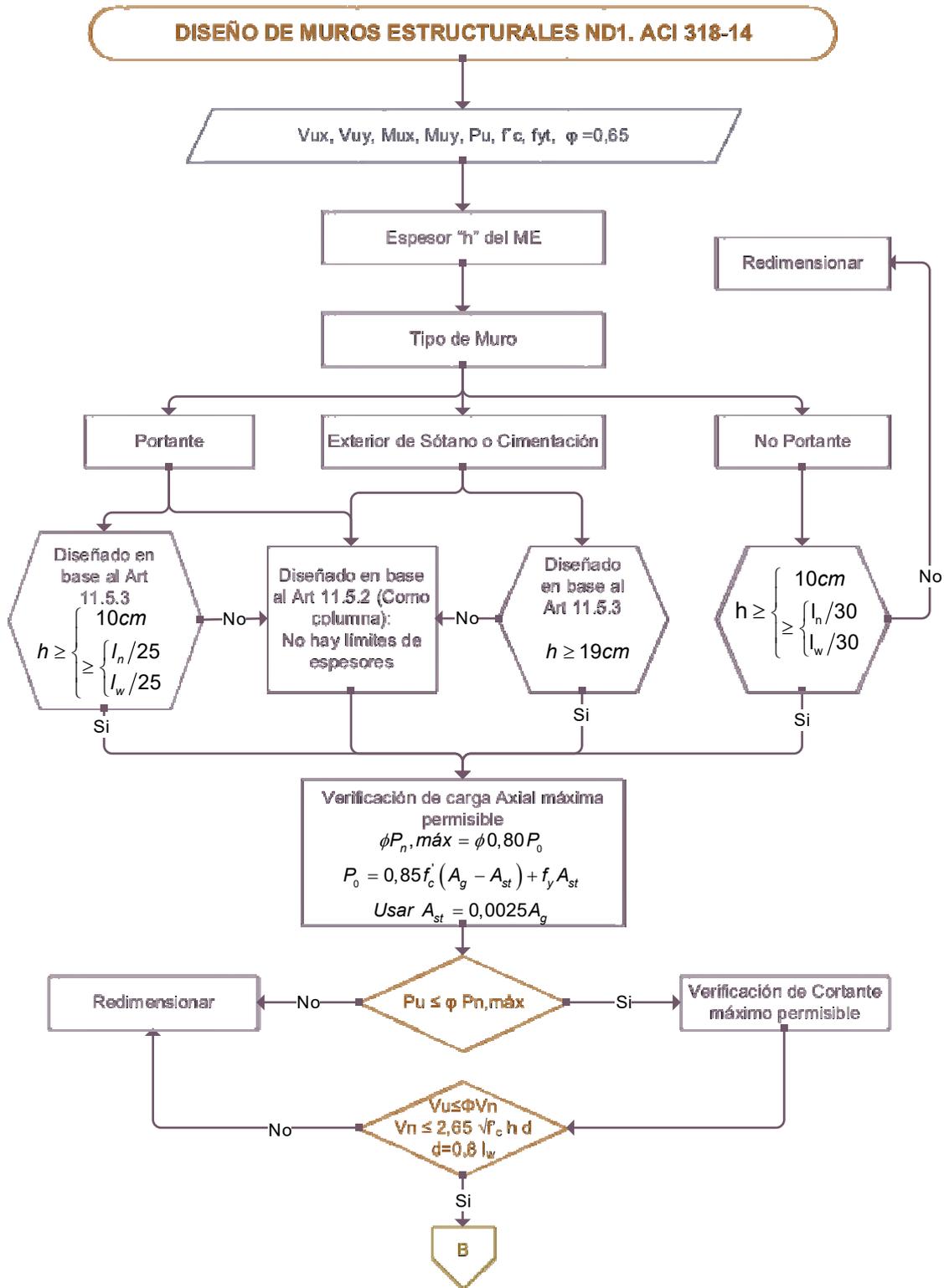


Figura 31. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [1/5].

Fuente: Elaboración propia (2016)

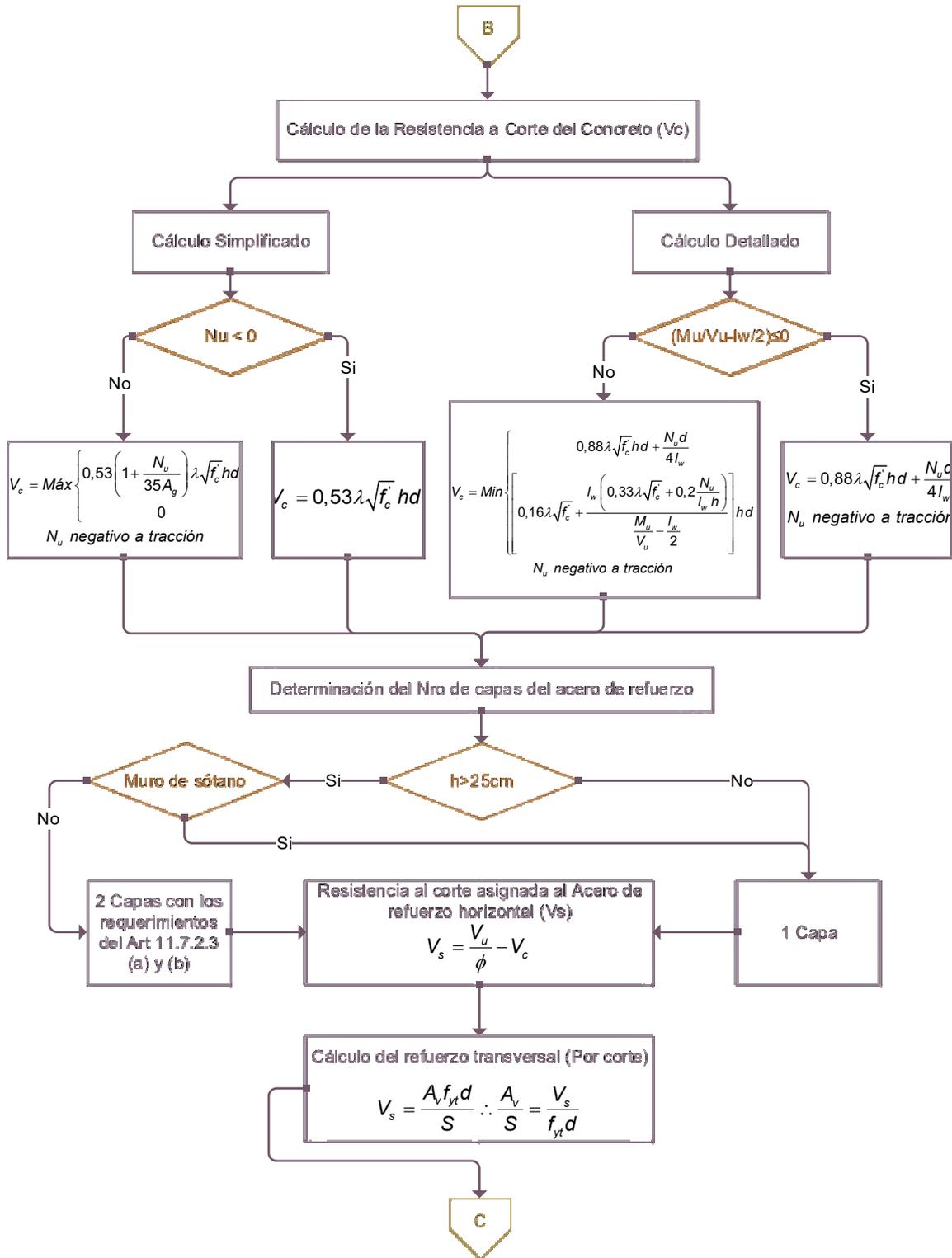


Figura 32. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [2/5].

Fuente: Elaboración propia (2016)

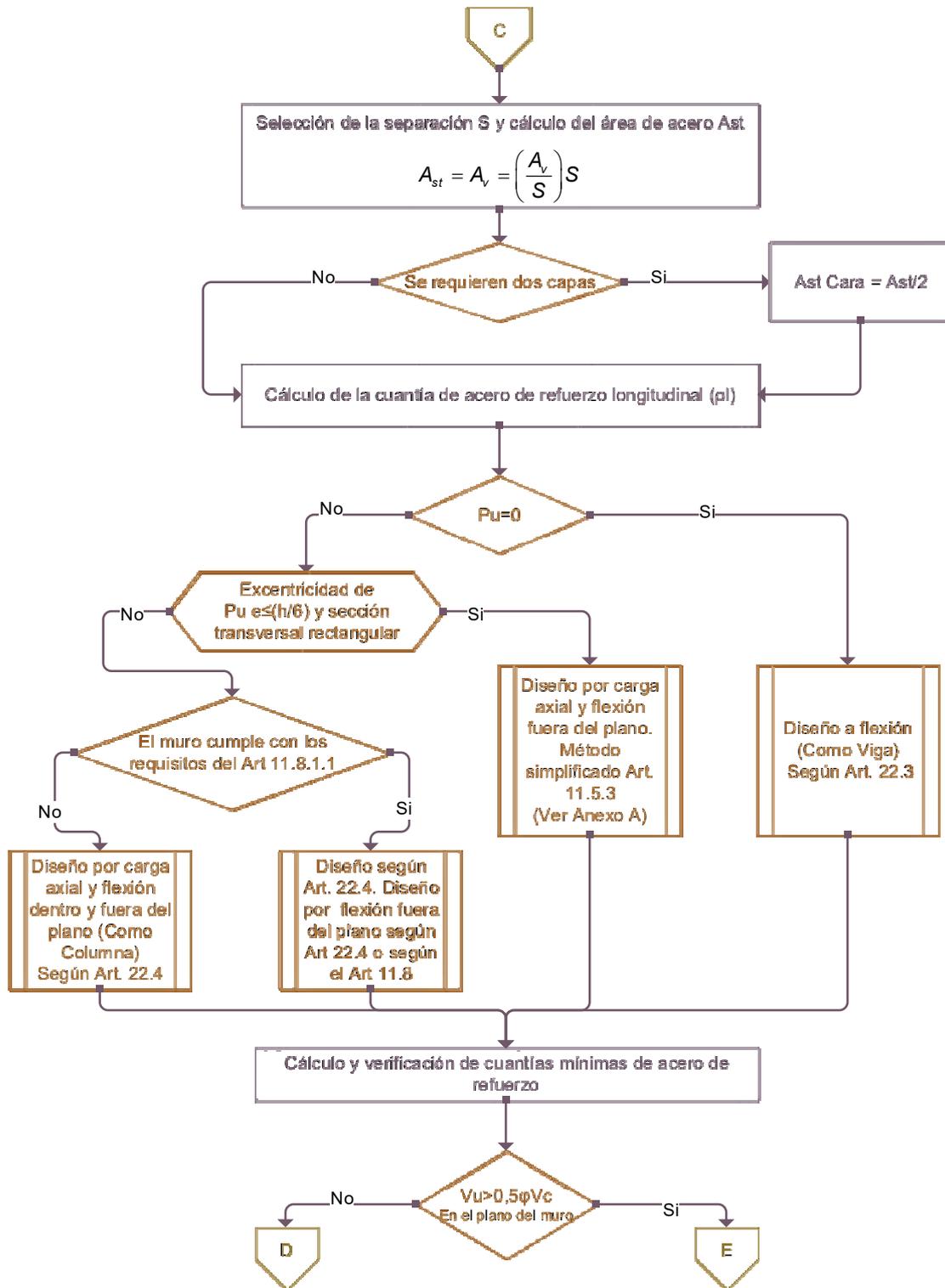


Figura 33. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [3/5].

Fuente: Elaboración propia (2016)

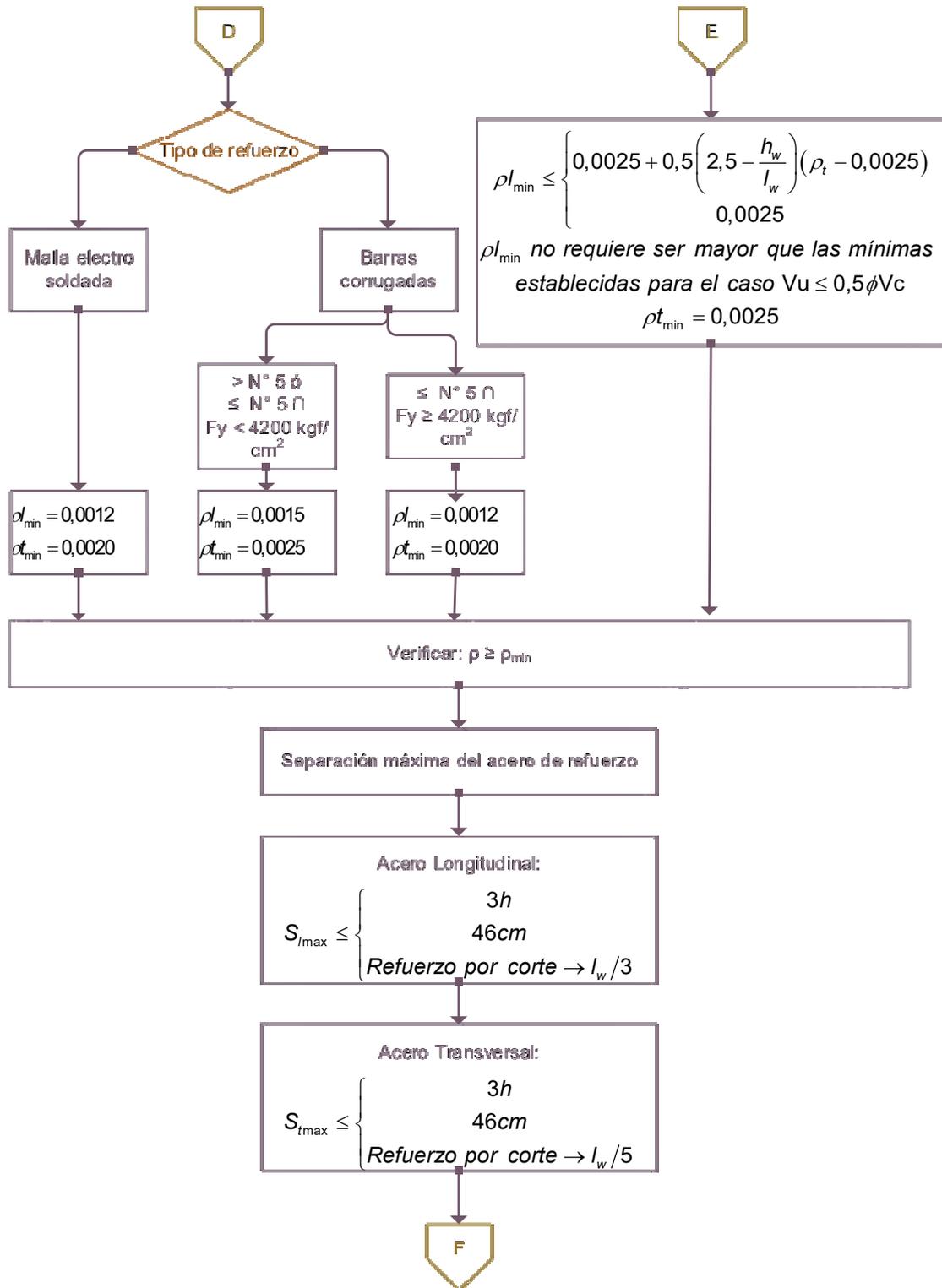


Figura 34. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [4/5].

Fuente: Elaboración propia (2016)

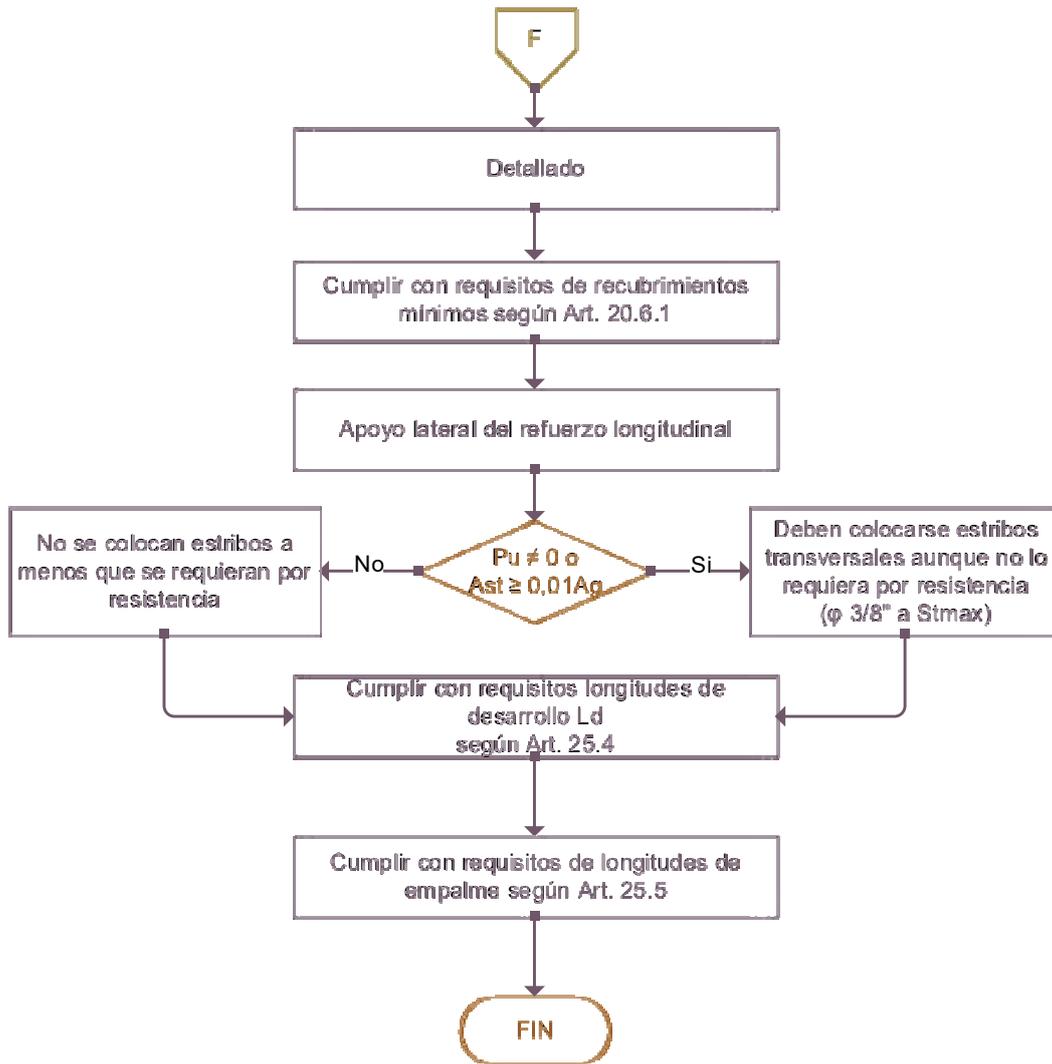


Figura 35. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND1. ACI 318-14 [5/5].

Fuente: Elaboración propia (2016)



### **4.3 Diagrama de flujo del diseño ACI 318-14 ND3**

A continuación (Ver página siguiente) se presenta el diagrama de flujo producto del análisis de la metodología de diseño aplicada por ACI 318-14 para muros estructurales de ND3 contemplado en el capítulo 18.

El orden en que se desarrolla el diagrama no sigue estrictamente la misma secuencia en que se presentan los artículos en el documento, el mismo responde al orden que consideran lógico los autores para diseñar los muros de forma práctica y ordenada.

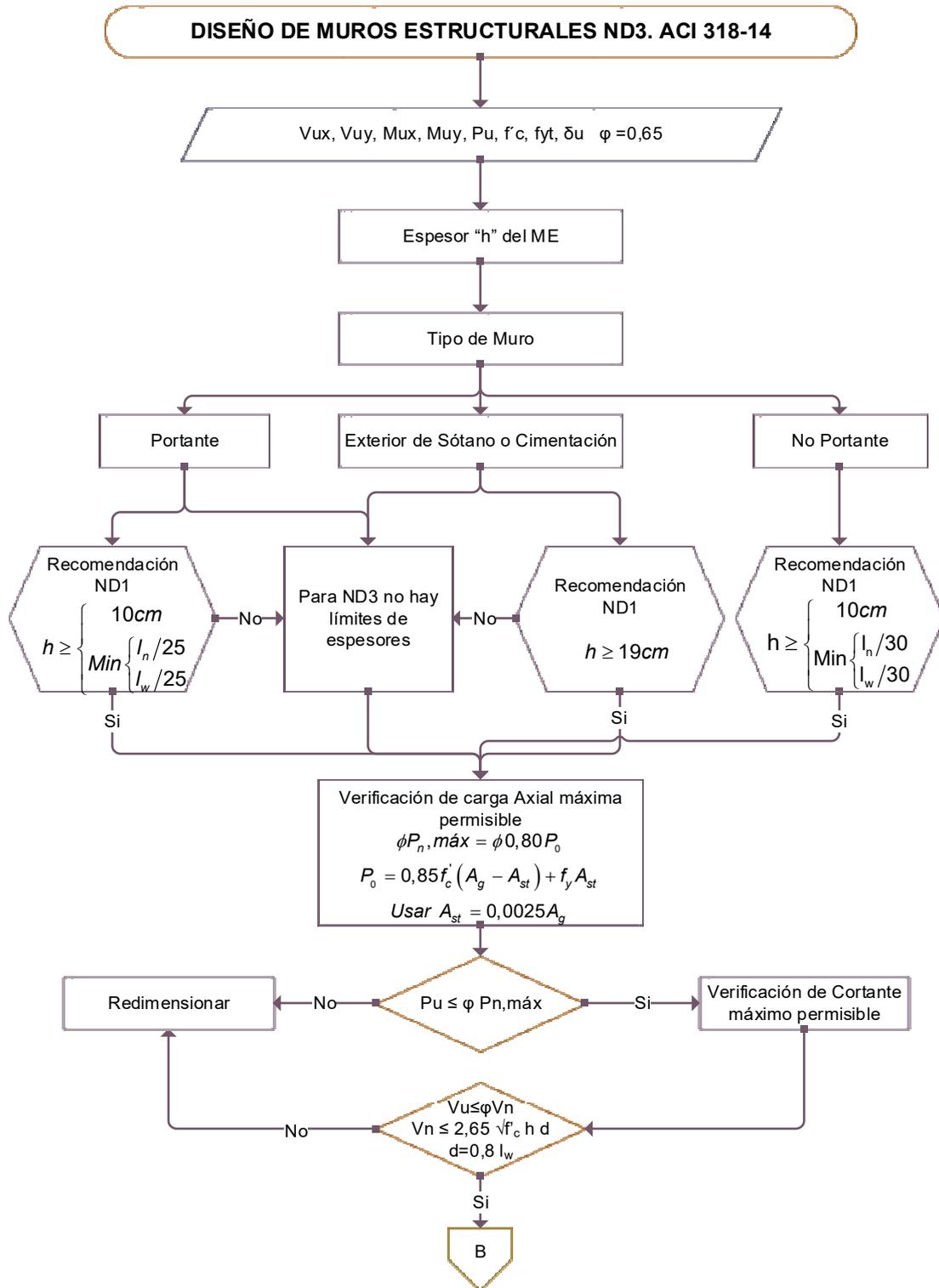


Figura 36. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [1/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

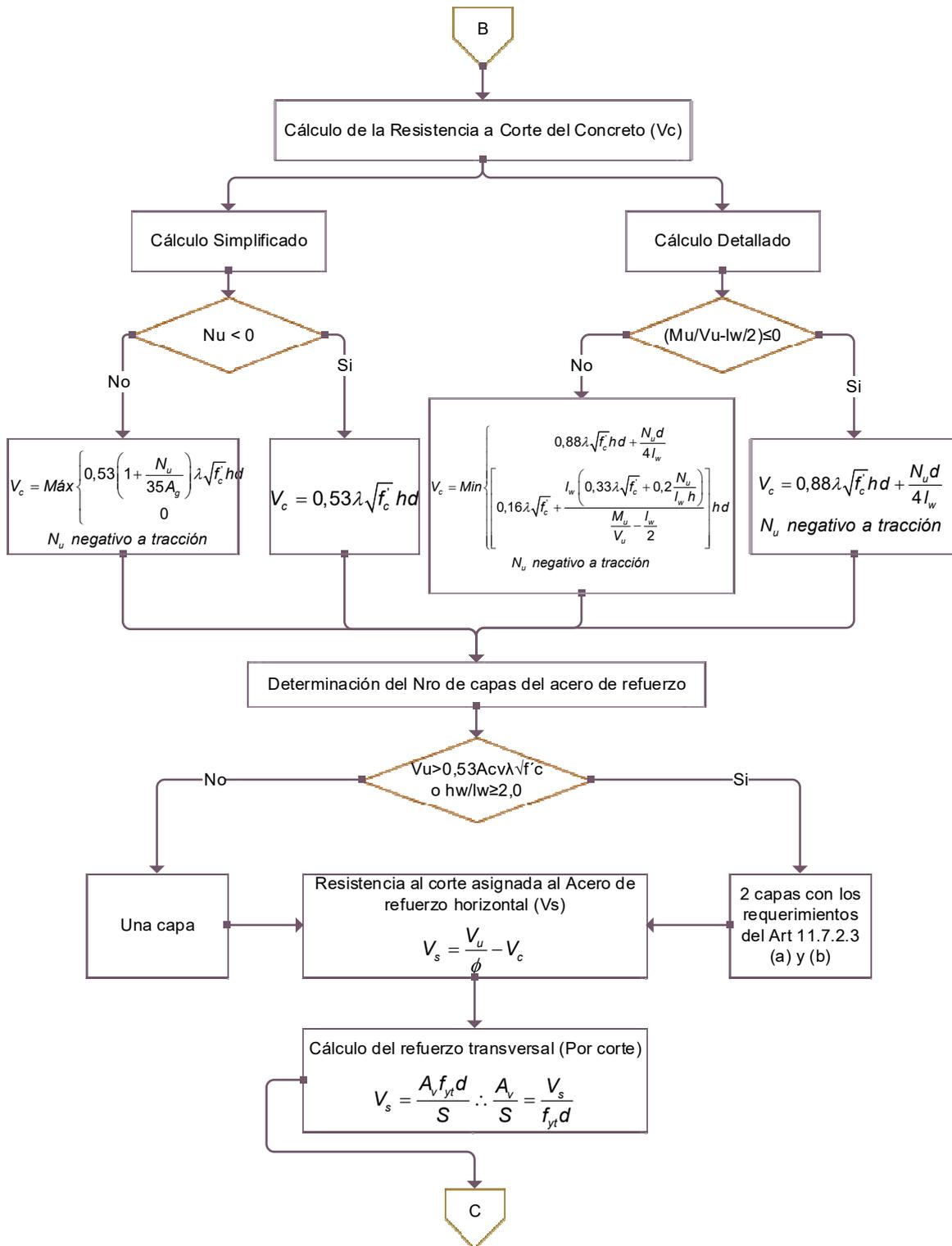


Figura 37. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [2/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

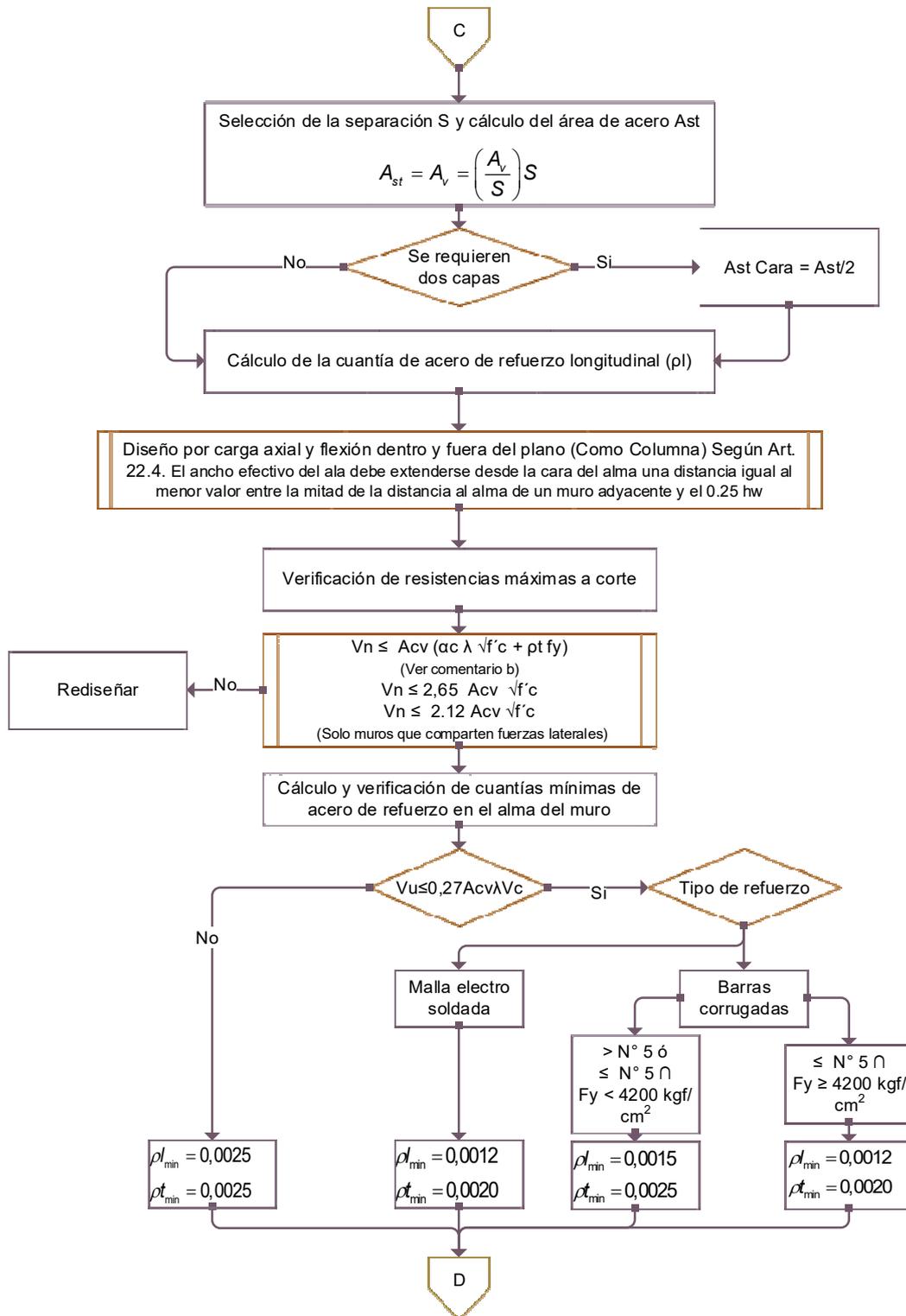


Figura 38. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [3/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

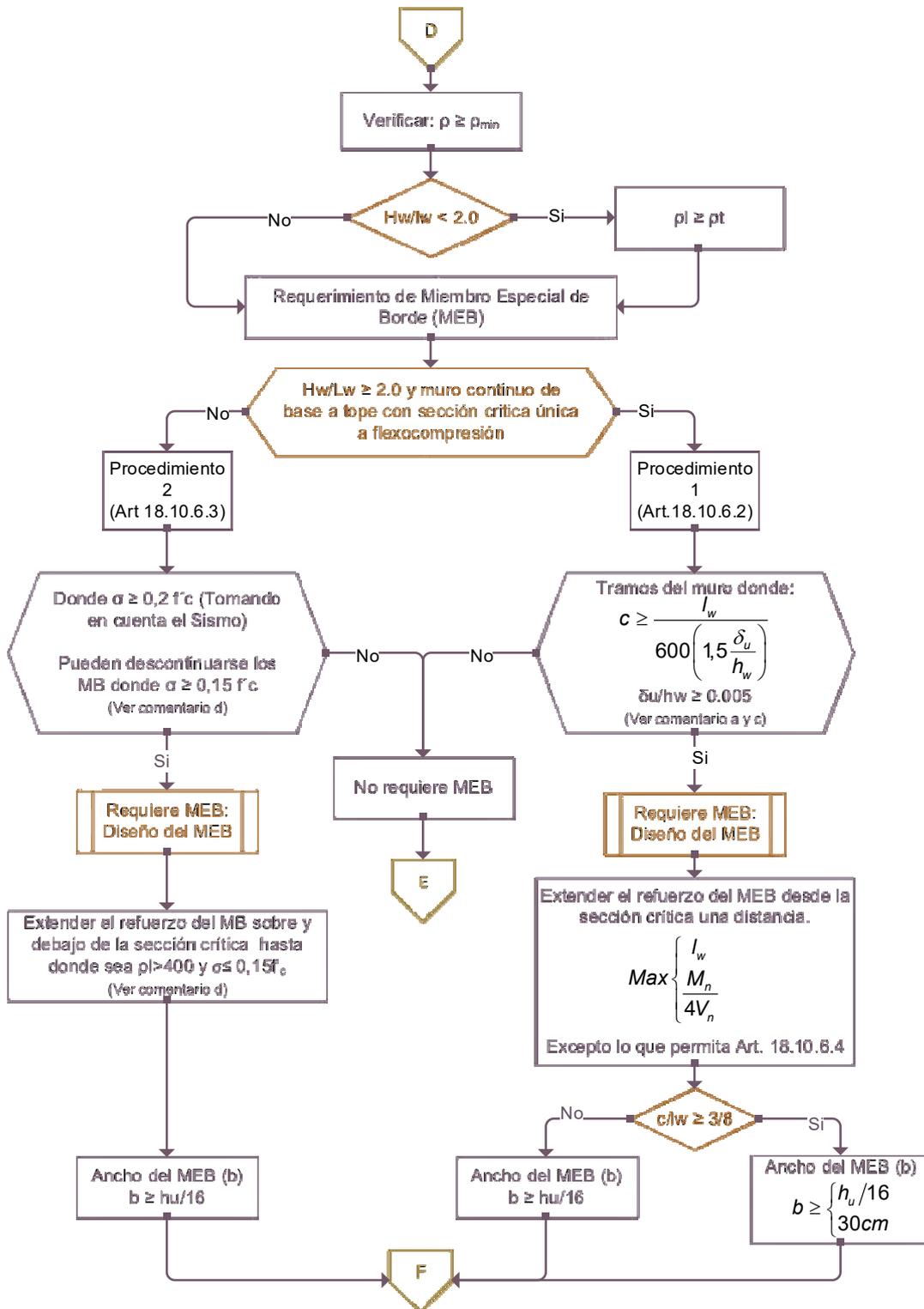


Figura 39. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [4/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

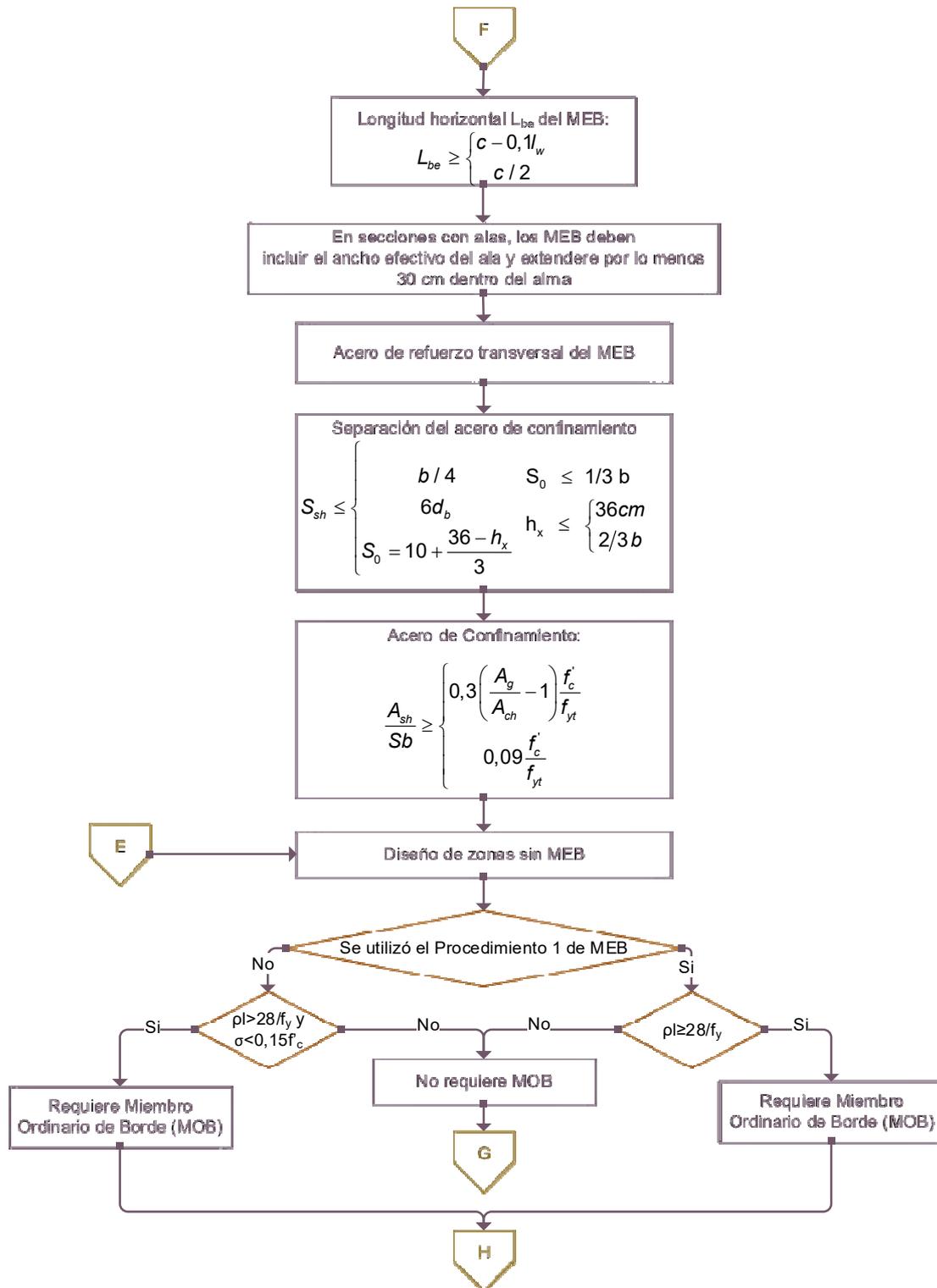


Figura 40. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [5/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)

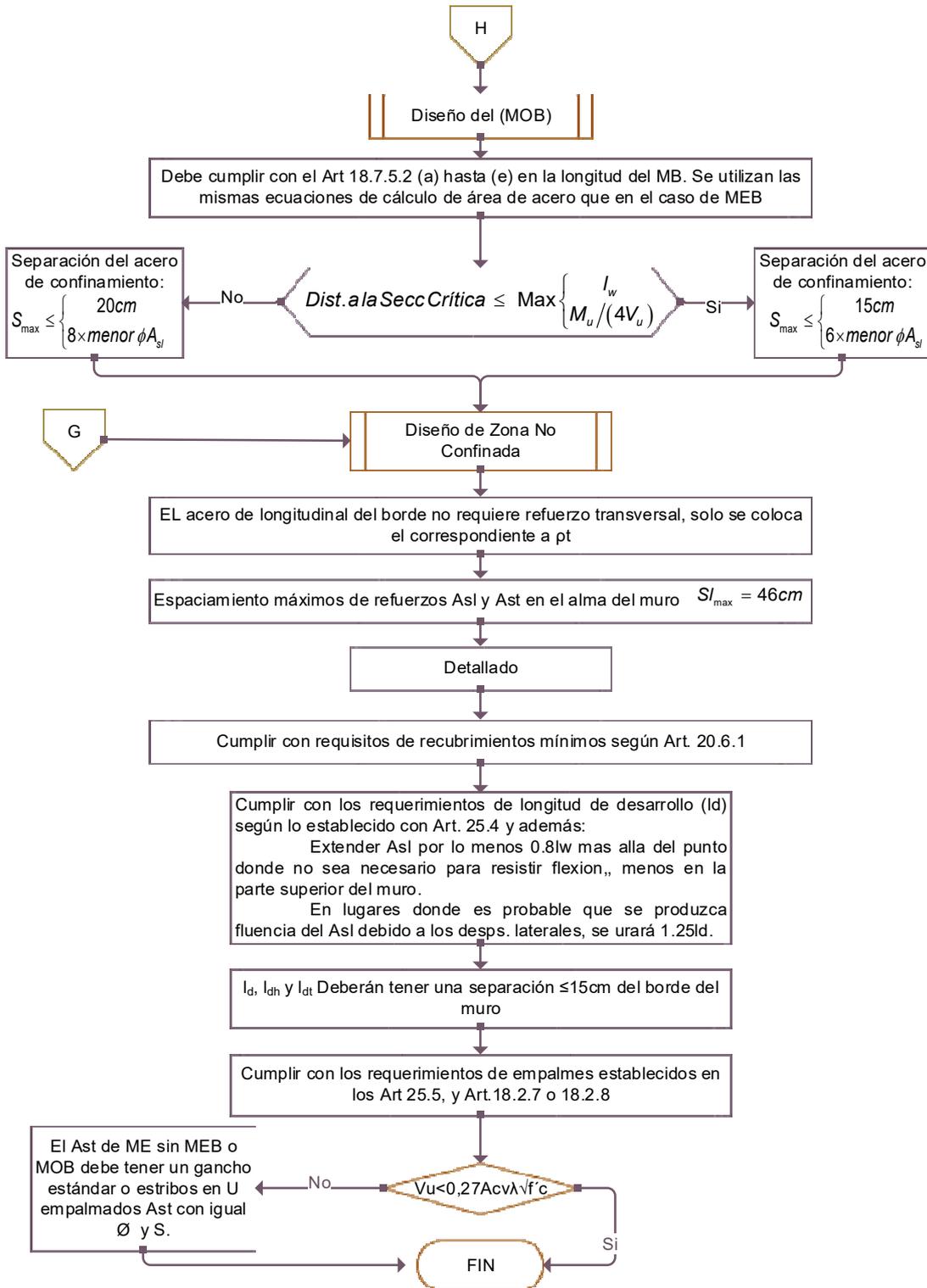


Figura 41. Diagrama de flujo: Diseño de Muros Estructurales ND3. ACI 318-14 [6/6].

Fuente: Elaboración propia (2016)



### Comentarios sobre los diagramas de flujo:

- a) La distancia desde la fibra extrema comprimida hasta el eje neutro ( $c$ ), corresponde a la mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial mayorada y resistencia nominal a momento congruente con el desplazamiento de diseño  $\Delta_t$  ( $\delta u$ ). FONDONORMA exige que este sea calculado con factor de reducción de resistencia igual a uno ( $\phi = 1$ ) y según la hipótesis de compatibilidad de deformaciones y condiciones de equilibrio establecidas en el artículo 10.2 de dicha norma.
- b) El coeficiente ( $\alpha_c$ ) viene dado por los valores que se muestran a continuación para cada norma:

FONDONORMA 1753:2006		ACI 318-14	
$h_w/L_w \leq 1,50$	$\alpha_c = 0,79$	$h_w/l_w \leq 1,50$	$\alpha_c = 0,80$
$1,50 < h_w/L_w < 2,00$	$1.57 - 0,52 h_w/L_w$	$1,50 < h_w/l_w < 2,00$	$1.61 - 0,54 h_w/L_w$
$h_w/L_w \geq 2,00$	$\alpha_c = 0,53$	$h_w/l_w \geq 2,00$	$\alpha_c = 0,53$

Tabla 3. Valores de  $\alpha_c$  para distintas relaciones de  $h_w/L_w$  ( $h_w/l_w$ ).

Fuente: Elaboración propia (2016).

- c) El desplazamiento lateral de diseño del muro viene determinado según el capítulo 10 de la norma COVENIN 1756:2001.
- d) Los esfuerzos de compresión ( $\sigma_c$ ) deben calcularse usando un modelo lineal elástico y las propiedades de la sección bruta. Para muros con alas, debe usarse un ancho de ala efectiva como se define en 18.10.5.2.



#### 4.4 Análisis comparativo de las Variables de Forma:

A continuación se muestran las principales diferencias en cuanto a la forma presentada por ambas normas de estudio:

	Variables de Forma	CODIGOS DE DISEÑO	
		FONDONORMA 1753-2006	ACI 318-14
VF1	Organización del contenido	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.- Limites de diseño. 11.4.- Resistencia requerida. 11.5.- Resistencia de diseño. 11.6.- Limites 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	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	Los comentarios se muestran en



VF1	Organización del contenido (Cont.)	ubicados al final del articulado.	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.
VF2	Calidad de las imágenes	Cuenta con 4 imágenes de complemento informativo en los comentarios.	Presenta 8 imágenes complementarias en los comentarios del articulado.
		Presenta las siguientes imágenes: "Muro con aberturas", "Relaciones de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de miembros de borde en muro", "Distribución del acero de refuerzo longitudinal en la sección del muro" y "Detallado del dintel de acoplamiento".	Presenta las siguientes imágenes: "Fuerzas dentro y fuera del plano", "Diseño simplificado de muros, ecuación (11.5.3.1), comparada con 11.5.2", "Muro con aberturas", "Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde", "Resumen de los requisitos para muros especiales", "Cuantías de refuerzo longitudinal para condiciones de borde típicas en muros", "Vigas de acople con refuerzo en diagonal" y "Refuerzo horizontal requerido en segmentos de muro por encima y por debajo machones de muro en el borde del muro".
		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.
VF3	Vinculación entre el articulado y	Presenta 13 comentarios para el diseño de ME.	Existen 31 comentarios distribuidos entre ambos capítulos de diseño de ME.



comentarios	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 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 y no precisan el artículo o ecuación particular al que se refieren.	Comentarios oportunos. Se encuentra información complementaria de utilidad para la mayoría de los incisos del articulado.
	Los comentarios se presentan en orden según el artículo al cual hacen referencia.	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.

Tabla 4. **Comparación de Variables de Forma.** Fuente: Elaboración propia (2016)

Como es de notar en la Tabla 4 mostrada anteriormente, existe una marcada diferencia entre normas desde el punto de vista como se presenta la información en cada una de ellas. 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 fundamentales (ND1 y ND3) y su relación con las condiciones para miembros de borde. Por otra parte, obligatoriamente hace uso otro capítulo (capítulo 18) para indicar los artículos referentes a confinamiento y acero transversal de los miembros de borde.

No se 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). En cuanto al uso de herramientas de transmisión de información hay que



señalar que la norma venezolana hace uso de una única tabla a lo largo de todo el capítulo, no obstante la norma americana en múltiples ocasiones emplea tablas y esquemas.

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 llegar a 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.

Una notoria diferencia entre ambas normas viene dada no solo por la significativa desproporción en cuanto al número de comentarios sino también por la presentación de los comentarios de forma paralela con los artículos de la norma ACI (se encuentran una junto a la otra), separados estos por dos columnas de texto, permiten al lector identificar clara y rápidamente la información adicional que requiere para el correcto diseño una vez que se muestran alineadas con cada 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.

#### 4.5 Análisis comparativo de las Variables de Contenido:

A continuación se muestran las principales diferencias en cuanto al contenido entre ambas normas de estudio:

		CÓDIGOS DE DISEÑO	
Variables de Contenido		FONDONORMA 1753-2006	ACI 318-14
VC1	Factor de minoración de resistencia	$\phi = 0,75$ (ND1, Cap 9), $\phi = 0,85$ (ND1, Anex B) ND3 $\phi = 0,60$ (ND3)	ND1 $\phi = 0,65$ ND3 $\phi = 0,65$
VC2	Requisitos geométricos del elemento	El espesor de muro deberá cumplir con (14.2.1):  $b_w \geq 20 \text{ cm}$ (ME exteriores sótano)  $b_w \geq 10 \text{ cm}$ $b_w \geq L_n / 25$ $b_w \geq L_w / 25$ $0,04 \leq b_w / L_w \leq 0,40$	El espesor de muro deberá cumplir con las siguientes condiciones que dependen del tipo de muro (11.3.1.1):  Portante: $h \geq \begin{cases} 10\text{cm} \\ \max\{l_n/25, l_w/25\} \end{cases}$  Si el muro se diseña en base al Art 11.5.3  Si el muro se diseña en base al Art 11.5.2 No hay límites de espesores  No portante: $h \geq \begin{cases} 10\text{cm} \\ \max\{l_n/30, l_w/30\} \end{cases}$

VC2	Requisitos geométricos del elemento (Cont.)		<p><u>Exterior de sótanos o cimentaciones</u> (Independientemente de lo anterior): Si el muro se diseña en base al Art 11.5.3 <math>h \geq 19cm</math></p> <p>Si el muro se diseña en base al Art 11.5.2 No hay límites de espesores</p>
VC3	<p>Límite de compresión máxima admisible</p>	$N_u \leq 0,35 N_o$ $N_o = 0,85 \cdot f'_c (A - A_{sv}) + f_y A_{sv}$	$P_u \leq \phi P_n, \text{máx}$ $\phi P_n, \text{máx} = \phi 0,80 P_0$ $P_0 = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$ <p>(22.4.2.2)</p>
VC4	<p>Límite de fuerza cortante máxima admisible</p>	$V_n \leq 2,65 \sqrt{f'_c} h d$ $d = 0,8 l_w$ <p>(14.4.1)</p> $V_n \leq 2,12 A_{cv} \sqrt{f'_c}$ <p>(14.5.1)</p> <p>(Muros que comparten fuerzas laterales).</p>	$V_n \leq 2,65 \sqrt{f'_c} h d$ $d = 0,8 l_w$ <p>(11.5.4.3)</p> <p style="text-align: center;"><u>ND3</u></p> $V_n \leq 2,12 A_{cv} \sqrt{f'_c}$ <p>(18.10.4.4)</p> <p>(Solo muros que comparten fuerzas laterales)</p>

VC4	Límite de fuerza cortante máxima admisible (Cont.)	$V_n \leq A_{cv} \left( \alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_h f_y \right)$ <table border="1" data-bbox="367 1075 478 1545"> <tr> <td><math>h_w/L_w \leq 1,50</math></td> <td><math>\alpha_c = 0,79</math></td> </tr> <tr> <td><math>1,50 &lt; h_w/L_w &lt; 2,00</math></td> <td>Interpolación</td> </tr> <tr> <td><math>h_w/L_w \geq 2,00</math></td> <td><math>\alpha_c = 0,53</math></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">(14-7)</p>	$h_w/L_w \leq 1,50$	$\alpha_c = 0,79$	$1,50 < h_w/L_w < 2,00$	Interpolación	$h_w/L_w \geq 2,00$	$\alpha_c = 0,53$	$V_n \leq A_{cv} \left( \alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_h f_y \right)$ <table border="1" data-bbox="367 448 478 918"> <tr> <td><math>h_w/L_w \leq 1,50</math></td> <td><math>\alpha_c = 0,80</math></td> </tr> <tr> <td><math>1,50 &lt; h_w/L_w &lt; 2,00</math></td> <td>Interpolación</td> </tr> <tr> <td><math>h_w/L_w \geq 2,00</math></td> <td><math>\alpha_c = 0,53</math></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">(18.10.4.1)</p>	$h_w/L_w \leq 1,50$	$\alpha_c = 0,80$	$1,50 < h_w/L_w < 2,00$	Interpolación	$h_w/L_w \geq 2,00$	$\alpha_c = 0,53$
$h_w/L_w \leq 1,50$	$\alpha_c = 0,79$														
$1,50 < h_w/L_w < 2,00$	Interpolación														
$h_w/L_w \geq 2,00$	$\alpha_c = 0,53$														
$h_w/L_w \leq 1,50$	$\alpha_c = 0,80$														
$1,50 < h_w/L_w < 2,00$	Interpolación														
$h_w/L_w \geq 2,00$	$\alpha_c = 0,53$														
VC5	Resistencia a corte teórica del concreto	$V_c = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} V_c = 0,88 \sqrt{f'_c} b_w d_w + \frac{N_u d_w}{4L_w} \\ V_c = 0,16 \sqrt{f'_c} + \frac{L_w \left( 0,33 \sqrt{f'_c} + 0,2 \frac{N_u}{b_w L_w} \right)}{\left( \frac{M_u}{V_u} - 0,5L_w \right)} b_w d_w \end{array} \right.$ <p style="text-align: center;">(14-1) y (14-2)</p> <p style="text-align: center;">Nunca mayor que:</p> <p style="text-align: center;"><u>Si <math>N_u</math> a tracción</u></p> $V_c \leq 0,53 \sqrt{f'_c} b_w d_w (1 + 0,007 N_u / A)$ <p style="text-align: center;">(11-4)</p>	<p><u>Cálculo Simplificado:</u></p> <p>Si la fuerza axial es a compresión</p> $V_c = 0,53 \lambda \sqrt{f'_c} h d$ <p>[11.5.4.5 y 11.5.4.6 (a)]</p> <p>Si la fuerza axial es a tracción</p> $V_c = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 0,53 \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ 0 \end{array} \right.$ <p><math>N_u</math> negativo a tracción [11.5.4.6 (b) y (c)]</p>												



<p>VC5</p>	<p>Resistencia a corte teórica del concreto (Cont.)</p>	<p>Si <math>N_u</math> a compresión</p> $V_c \leq 0,53 \sqrt{f'_c} b_w d_w (1 + 0,028 N_u / A) \quad (11-8)$	<p><u>Cálculo Detallado</u></p> $V_c = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} 0,88 \lambda \sqrt{f'_c} h d + \frac{N_u d}{4 l_w} \\ I_w \left( 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} + 0,2 \frac{N_u}{I_w h} \right) h d \\ 0,16 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{M_u - \frac{I_w}{V_u} \frac{N_u}{2}}{V_u} h d \end{array} \right.$ <p><math>N_u</math> negativo a tracción</p> <p>La segunda ecuación aplica cuando <math>[(M_u / V_u) - (l_w / 2)]</math> es negativo. [11.5.4.6 (d) y (e)]</p>
<p>VC6</p>	<p>Nro de mallas del acero de refuerzo</p>	<p>Acero de refuerzo dispuesto en dos mallas si:</p> $V_u > 0,53 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \quad (14.3.2)$	<p>Acero de refuerzo dispuesto en dos mallas si:</p> <p>ND1 <math>h_w &gt; 25 \text{cm}</math> (11.7.2.3)</p> <p>ND3 <math>V_u &gt; 0,53 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}</math> o <math>h_w / l_w \geq 2,0</math> (18.10.2.2)</p>

VC7	Cálculo del acero de refuerzo horizontal	$V_s = \frac{A_{sh} f_y d_w}{S_h}$ $\frac{A_{sh}}{S_h} = \frac{V_s}{f_y d_w} = \frac{V_s}{f_y \cdot 0.8 L_w}$ <p>(14.5)</p> $A_{st} = A_v = \left( \frac{A_v}{S} \right) S$ <p>Separación máxima:</p> $S_h \leq \begin{cases} \underline{\text{ND1}} \\ 0,2 L_w \\ 3 b_w \end{cases} \quad (14.4.2.1)$ <p>35cm</p> $S_h \leq \begin{cases} \underline{\text{ND3}} \\ 0,2 L_w \\ 3 b_w \end{cases} \quad (14.5.2)$ <p>25cm</p> <p>Si se requieren dos mallas:</p> $A_{shcara} = A_{sh} / 2$	$V_s = \frac{A_v f_y d}{S}$ $\frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{f_y d}$ <p>(11.5.4.8)</p> $A_{st} = A_v = \left( \frac{A_v}{S} \right) S$ <p>Separación máxima:</p> $S_{tmax} \leq \begin{cases} \underline{\text{ND1}} \\ 3h \\ 46cm \end{cases}$ <p>Si hay refuerzo por corte <math>\rightarrow l_w / 5</math></p> <p>Espaciamiento máximos de refuerzos Ast y Ast en el alma del muro <math>S_{tmax} = 46cm</math> (18.10.2.1)</p> <p>Si se requieren dos mallas:</p> $A_{stcara} = A_{st} / 2$
-----	--	--	--



VC8	Cálculo del acero de refuerzo vertical	<p>Cuantía de refuerzo de longitudinal (<math>\rho_v</math>) se obtiene como columnas mediante diagramas de interacción o programas computarizados de diseño (14.3.3)</p> <p style="text-align: center;"><u>ND1</u></p> <p>Adicionalmente en diseños ND1 y <math>(hw / lw) &lt; 2.0</math> Puede utilizarse el Anexo A (Método de las bielas) de la Norma.</p> <p style="text-align: center;"><u>ND3</u> (14.5.3)</p> <p>Requisitos adicionales al Art. 14.3.3. El ancho efectivo del ala debe extenderse desde la cara del alma una distancia igual al menor valor entre la mitad de la distancia al alma de un muro adyacente y el <math>0,25h</math></p>	<p style="text-align: center;"><u>ND1</u></p> <p>Permite calcular <math>\rho_l</math> por 4 metodologías diferentes dependiendo de las condiciones del muro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si la excentricidad de <math>P_u</math> <math>e \leq (h/6)</math> y sección transversal rectangular (11.5.3): Diseño por carga axial y flexión fuera del plano. Método simplificado Art. 11.5.3.</li> <li>2. El muro cumple con los requisitos del Art 11.8.1.1 (11.8): Diseño según Art. 22.4. Diseño por flexión fuera del plano según Art 22.4 o según el Art 11.8</li> <li>3. Caso general con sollicitación axial distinta de cero (0) (11.5.2.1): Diseño por carga axial y flexión dentro y fuera del plano (Como Columna) Según Art. 22.4.</li> <li>4. Si la sollicitación axial es igual a cero (0) (11.5.2.2): Diseño a flexión (Como Viga) Según Art. 22.3.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><u>ND3</u></p> <p>Diseño por carga axial y flexión dentro y fuera del plano (Como Columna) Según Art. 22.4 (18.10.5.1). El ancho efectivo del ala debe extenderse desde la cara del alma una distancia igual al menor valor entre la mitad de la distancia al alma de un muro adyacente y el <math>0,25h_w</math> (18.10.5.2).</p>
-----	--	---	---



<p>VC9</p>	<p>Quantías mínimas</p>	<p style="text-align: center;"><u>ND1</u></p> <p>✓ Si <math>V_u &gt; (0,5\phi V_c)</math> y <math>b_w \geq 20cm</math> [14.4.2 (b)]</p> $\rho_v \geq 0,0025 + 0,5 \left( 2,5 - \frac{h_w}{L_w} \right) (\rho_h - 0,0025)$ $\rho_v \geq 0,0025$ $\rho_h \geq 0,0025$ $\rho_v \leq \rho_h$ <p>✓ Si <math>V_u \leq (0,5\phi V_c)</math> y <math>b_w &lt; 20cm</math> [14.4.2 (a)]</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><math>\phi &gt; N^\circ 5:</math></td> <td style="width: 50%;"> <math>\rho_v \geq 0,0015</math>  <math>\rho_h \geq 0,0025</math> </td> </tr> <tr> <td><math>\phi \leq N^\circ 5</math> o malla electrosoldada:</td> <td> <math>\rho_v \geq 0,0012</math>  <math>\rho_h \geq 0,0020</math> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><u>ND3</u></p> <p>✓ Si <math>V_u &lt; 0,265A_{cv}\sqrt{f'_c}</math> (14.5.2)</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><math>\phi &gt; N^\circ 5:</math></td> <td style="width: 50%;"> <math>\rho_v \geq 0,0015</math>  <math>\rho_h \geq 0,0025</math> </td> </tr> <tr> <td><math>\phi \leq N^\circ 5</math> o malla electrosoldada:</td> <td> <math>\rho_v \geq 0,0012</math>  <math>\rho_h \geq 0,0020</math> </td> </tr> </table> <p>✓ Si <math>V_u \geq 0,265A_{cv}\sqrt{f'_c}</math></p> $\rho_v \geq 0,0025$ $\rho_h \geq 0,0025$	$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_v \geq 0,0015$ $\rho_h \geq 0,0025$	$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_v \geq 0,0012$ $\rho_h \geq 0,0020$	$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_v \geq 0,0015$ $\rho_h \geq 0,0025$	$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_v \geq 0,0012$ $\rho_h \geq 0,0020$	<p style="text-align: center;"><u>ND1</u></p> <p>✓ Si <math>V_u &gt; (0,5\phi V_c)</math></p> $\rho_{l_{min}} \geq \begin{cases} 0,0025 + 0,5 \left( 2,5 - \frac{h_w}{L_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \\ 0,0025 \end{cases} \quad (11.6.2)$ <p><math>\rho_{l_{min}}</math> no requiere ser mayor que las mínimas establecidas para el caso <math>V_u \leq 0,5\phi V_c</math> y <math>\rho_{t_{min}} = 0,0025</math></p> <p>✓ Si <math>V_u \leq (0,5\phi V_c)</math></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><math>\phi &gt; N^\circ 5:</math></td> <td style="width: 50%;"> <math>\rho_{l_{min}} = 0,0015</math>  <math>\rho_{t_{min}} = 0,0025</math> </td> </tr> <tr> <td><math>\phi \leq N^\circ 5</math> o malla electrosoldada:</td> <td> <math>\rho_{l_{min}} = 0,0012</math>  <math>\rho_{t_{min}} = 0,0020</math> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><u>ND3</u></p> <p>✓ <math>V_u \leq 0,27A_{cv}\lambda V_c</math></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><math>\phi &gt; N^\circ 5:</math></td> <td style="width: 50%;"> <math>\rho_{l_{min}} = 0,0015</math>  <math>\rho_{t_{min}} = 0,0025</math> </td> </tr> <tr> <td><math>\phi \leq N^\circ 5</math> o malla electrosoldada:</td> <td> <math>\rho_{l_{min}} = 0,0012</math>  <math>\rho_{t_{min}} = 0,0020</math> </td> </tr> </table> <p>✓ <math>V_u &gt; 0,27A_{cv}\lambda V_c</math></p> $\rho_{l_{min}} = 0,0025$ $\rho_{t_{min}} = 0,0025$	$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_{l_{min}} = 0,0015$ $\rho_{t_{min}} = 0,0025$	$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_{l_{min}} = 0,0012$ $\rho_{t_{min}} = 0,0020$	$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_{l_{min}} = 0,0015$ $\rho_{t_{min}} = 0,0025$	$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_{l_{min}} = 0,0012$ $\rho_{t_{min}} = 0,0020$
$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_v \geq 0,0015$ $\rho_h \geq 0,0025$																		
$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_v \geq 0,0012$ $\rho_h \geq 0,0020$																		
$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_v \geq 0,0015$ $\rho_h \geq 0,0025$																		
$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_v \geq 0,0012$ $\rho_h \geq 0,0020$																		
$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_{l_{min}} = 0,0015$ $\rho_{t_{min}} = 0,0025$																		
$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_{l_{min}} = 0,0012$ $\rho_{t_{min}} = 0,0020$																		
$\phi > N^\circ 5:$	$\rho_{l_{min}} = 0,0015$ $\rho_{t_{min}} = 0,0025$																		
$\phi \leq N^\circ 5$ o malla electrosoldada:	$\rho_{l_{min}} = 0,0012$ $\rho_{t_{min}} = 0,0020$																		

<p>VC10</p>	<p>Requerimiento de MB</p>	<p><b>NO REQUIERE MB SI:</b></p> <p><u>Procedimiento 1:</u></p> $c < \frac{L_w}{600(\Delta_t/h_w)} \quad (14-8)$ $\Delta_t / h_w \geq 0,007$ <p><u>Procedimiento 2:</u></p> <table border="1" data-bbox="778 1048 1184 1601"> <tr> <td>ME Asimétrico</td> <td>ME Simétrico</td> </tr> <tr> <td><math>N_u \leq 0,05A_{cv}f'_c</math></td> <td><math>N_u \leq 0,10A_{cv}f'_c</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <math display="block">\frac{M_u}{V_u L_w} \leq 1</math> <p style="text-align: center;">v</p> <math display="block">V_u \leq 0,79A_{cv}\sqrt{f'_c} \wedge \frac{M_u}{V_u L_w} \leq 3</math> <p style="text-align: right;">(14.6)</p> </td> </tr> </table>	ME Asimétrico	ME Simétrico	$N_u \leq 0,05A_{cv}f'_c$	$N_u \leq 0,10A_{cv}f'_c$	$\frac{M_u}{V_u L_w} \leq 1$ <p style="text-align: center;">v</p> $V_u \leq 0,79A_{cv}\sqrt{f'_c} \wedge \frac{M_u}{V_u L_w} \leq 3$ <p style="text-align: right;">(14.6)</p>		<p>La norma divide al elemento de borde en tres zonas bien definidas tal como se presenta a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. <i>Miembro Especial de Borde (MEB)</i></li> <li>ii. <i>Miembro Ordinario de Borde (MOB)</i></li> <li>iii. <i>Zona No Confinada (ZNC)</i></li> </ul> <p><b>SE REQUIERE MEB SI:</b></p> <p><u>Procedimiento 1:</u></p> $c \geq \frac{L_w}{600 \left( 1,5 \frac{\delta_u}{h_w} \right)} \quad (18.10.6.2)$ $\delta_u / h_w \geq 0,005$ <p><u>Procedimiento 2:</u></p> <p>Se requerirá MEB Donde <math>\sigma \geq 0,2 f'_c</math> (Tomando en cuenta el Sismo)</p> <p>Pueden discontinuarse los MEB donde <math>\sigma \geq 0,15 f'_c</math>. (18.10.6.3)</p> <p><b>SE REQUIERE MOB SI:</b></p> <p><u>Procedimiento 1:</u></p> $\rho_l \geq 28 / f_y \quad [18.10.6.5 (a)]$ <p><u>Procedimiento 2:</u></p> $\rho_l \geq 28 / f_y \text{ y } \sigma < 0,15 f'_c \quad (18.10.6.5)$
ME Asimétrico	ME Simétrico								
$N_u \leq 0,05A_{cv}f'_c$	$N_u \leq 0,10A_{cv}f'_c$								
$\frac{M_u}{V_u L_w} \leq 1$ <p style="text-align: center;">v</p> $V_u \leq 0,79A_{cv}\sqrt{f'_c} \wedge \frac{M_u}{V_u L_w} \leq 3$ <p style="text-align: right;">(14.6)</p>									

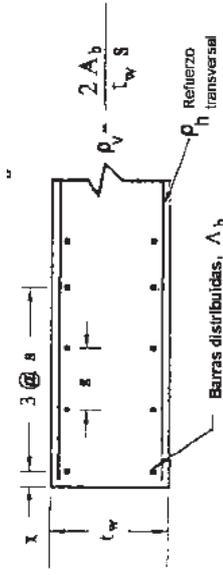
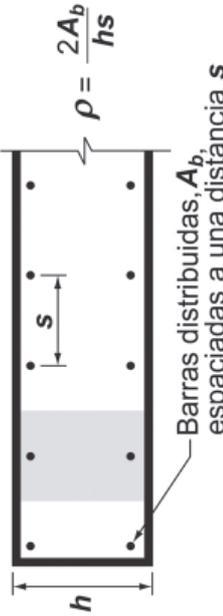
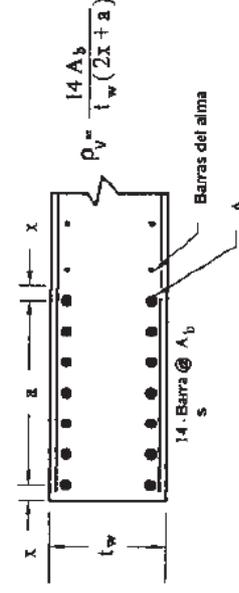
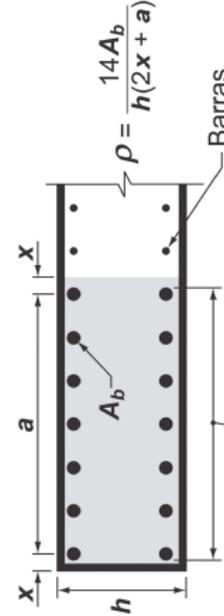
VC10	Requerimiento de MB (Cont.)		<p>Donde no se cumplan las condiciones anteriores el acero de refuerzo longitudinal del borde pertenecerá a la ZNC.</p>
VC11	Dimensionamiento de MB	<p>(14.6.2)</p> <p><u>LONGITUD HORIZONTAL</u></p> <p>Procedimiento 1 No se especifica Procedimiento 2</p> $L_m = \begin{cases} \text{Si } N_u \leq 0,15N_o \rightarrow 0,15L_w \\ \text{Si } 0,15N_o < N_u < 0,30N_o \rightarrow (3L_w N_u / 4N_o) + 3L_w / 80 \\ \text{Si } N_u \geq 0,35N_o \rightarrow 0,30L_w \end{cases}$ <p>Longitud horizontal mínima: <math>L_m \geq \begin{cases} 0,15L_w \\ 45cm \end{cases}</math></p> <p><u>ANCHO</u></p> $b_m \geq \begin{cases} b_w \\ L_n / 16 \end{cases} \quad (14-9)$ <p><u>Longitud de confinamiento:</u></p> $L \geq \begin{cases} c - 0,1L_w \\ 0,5 \cdot c \end{cases}$ <p>Asignar al menos 50% del acero longitudinal a los miembros de borde. En secciones con alas, el MB debe incluir el ancho efectivo del ala y al menos 30 cm del alma.</p>	<p><u>LONGITUD HORIZONTAL</u></p> <p>Longitud horizontal mínima: <math>l_{be} \geq \begin{cases} c - 0,1l_w \\ c / 2 \end{cases}</math></p> <p>[18.10.6.4 (a)]</p> <p><u>ANCHO</u></p> <p><u>Procedimiento 1</u></p> <p>Si <math>c / l_w \geq 3 / 8</math> entonces <math>b \geq \begin{cases} h_u / 16 \\ 30cm \end{cases}</math></p> <p>Si <math>c / l_w &lt; 3 / 8</math> entonces <math>b \geq h_u / 16</math></p> <p>[18.10.6.4 (b) y (c)]</p> <p><u>Procedimiento 2</u></p> <p><math>b \geq h_u / 16</math> [18.10.6.4 (b)]</p> <p>En secciones con alas, los MIEB deben incluir el ancho efectivo del ala y extenderse por lo menos 30 cm dentro del alma.</p>



VC12	Cuantías de acero vertical en MB (longitudinal)	$0,0025 \leq \rho_v \leq 0,0400$	<p><u>En MEB y MOB:</u></p> $\rho / > 28 / f_y$ <p>(18.10.6.5)</p> <p><u>En ZNC:</u></p> $\rho / \leq 28 / f_y$ <p>(R18.10.6.4.2)</p>
VC13	Cálculo del acero de confinamiento ME sin MB	<p>(14.6.1)</p> <p>Si <math>\rho_{lon\ extremo} \geq 28 / f_y</math> :</p> <p>Longitud de confinamiento:</p> $L \geq \begin{cases} c - 0,1L_w \\ 0,5 \cdot c \end{cases}$ <p>Acero de confinamiento min:</p> $A_{sh} \geq \begin{cases} 0,3 \left( \frac{S \cdot H_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A}{A_{ch}} - 1 \right) \\ 0,09 \left( \frac{S \cdot H_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \end{cases} \quad (18-6) \text{ y } (18-7)$ <p>Separación máxima acero de confinamiento:</p> $S_h \leq 20cm$	<p>Si <math>P_u \neq 0</math> o <math>A_{st} \geq 0,01A_g</math></p> <p>Deben colocarse estribos transversales aunque no lo requiera por resistencia (11.7.4.1)</p>
VC14	Cálculo del acero de confinamiento ME con MB	$S_{sh} \leq \begin{cases} b_{MB} / 4 \\ 6d_b \\ S_x = 10 + \frac{35 - h_x}{3} \end{cases} \quad \begin{cases} 10 \leq S_x \leq 15cm \\ h_x \leq 35 cm \end{cases}$ <p>(18.4.5) (18-4)</p>	<p><u>MEB</u></p> $S_{sh} \leq \begin{cases} b_m / 4 \\ 6d_b \\ S_0 = 10 + \frac{37 - h_x}{3} \end{cases} \quad \begin{cases} S_0 \leq 1/3 b_m \\ h_x \leq \begin{cases} 37cm \\ 2/3 b_m \end{cases} \end{cases}$ <p>( 18.7.5.3)</p>



<p>VC14</p>	<p>Cálculo del acero de confinamiento ME con MB (Cont.)</p>	$A_{sh} \geq 0,09 \left( \frac{S \cdot H_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (18-7)$	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <math display="block">\left\{ \begin{array}{l} 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \end{array} \right\} \quad [18.10.6.4 (a) \text{ y } (b)]</math> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>MOB</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; padding: 5px;">Si la distancia a la sección crítica</td> <td style="width: 30%; padding: 5px;">Separación máxima acero de confinamiento:</td> <td style="width: 40%; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><math>\leq \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ M_u/4V_u \end{array} \right\}</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>S_{\max} \leq</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>\left\{ \begin{array}{l} 15\text{cm} \\ 6 \times \text{menor } \phi A_{sl} \end{array} \right.</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><math>&gt; \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ M_u/4V_u \end{array} \right\}</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>S_{\max} \leq</math></td> <td style="padding: 5px;"><math>\left\{ \begin{array}{l} 20\text{cm}'' \\ 8 \times \text{menor } \phi A_{sl} \end{array} \right.</math></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">(18.10.6.5)</p> <math display="block">\frac{A_{sh}}{Sb_c} \geq \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \end{array} \right. \quad [18.10.6.4 (a) \text{ y } (b)]</math> <p style="text-align: center;"><b>ZNC</b></p> <p>EL acero de longitudinal del borde no requiere refuerzo transversal, solo se coloca el correspondiente a <math>\rho_t</math>.</p> <p style="text-align: center;">( R18.10.6.4.2)</p> </div> </div>	Si la distancia a la sección crítica	Separación máxima acero de confinamiento:		$\leq \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ M_u/4V_u \end{array} \right\}$	$S_{\max} \leq$	$\left\{ \begin{array}{l} 15\text{cm} \\ 6 \times \text{menor } \phi A_{sl} \end{array} \right.$	$> \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ M_u/4V_u \end{array} \right\}$	$S_{\max} \leq$	$\left\{ \begin{array}{l} 20\text{cm}'' \\ 8 \times \text{menor } \phi A_{sl} \end{array} \right.$
Si la distancia a la sección crítica	Separación máxima acero de confinamiento:											
$\leq \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ M_u/4V_u \end{array} \right\}$	$S_{\max} \leq$	$\left\{ \begin{array}{l} 15\text{cm} \\ 6 \times \text{menor } \phi A_{sl} \end{array} \right.$										
$> \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ M_u/4V_u \end{array} \right\}$	$S_{\max} \leq$	$\left\{ \begin{array}{l} 20\text{cm}'' \\ 8 \times \text{menor } \phi A_{sl} \end{array} \right.$										

VC15	<p>Detalle del acero vertical de MF sin MB</p>	 <p>Figura 42. Relaciones de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de MB en ME (a). Fuente: FONDONORMA 1753:2006 (2006)</p>	 <p>Figura 43. Cuantías de refuerzo longitudinal para condiciones de borde típicas en muros (a). Fuente: ACI 318-14 (2014)</p>
VC16	<p>Detalle del acero horizontal de MF sin MB</p>	<p>Si <math>V_u &gt; 0,265 A_{cv} \sqrt{f'_c}</math> el refuerzo horizontal termina en gancho estándar o ligaduras en "U" con empalme igual a <math>1,3L_d &gt; 30cm</math> (14.6).</p> <p>Colocar ligaduras de una sola rama (grapa) en las zonas no confinadas entre mallas de manera alternada horizontal y verticalmente (14.3.2).</p>	<p>No especifica.</p>
VC17	<p>Detalle del acero vertical de MF con MB</p>	 <p>Figura 44. Relaciones de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de MB en ME (b). Fuente: FONDONORMA 1753:2006 (2006)</p>	 <p>Figura 45. Cuantías de refuerzo longitudinal para condiciones de borde típicas en muros (b). Fuente: ACI 318-14 (2014)</p>

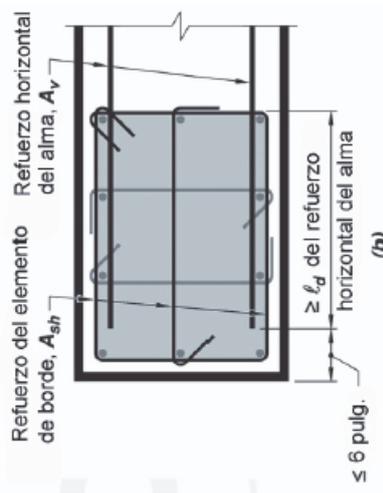
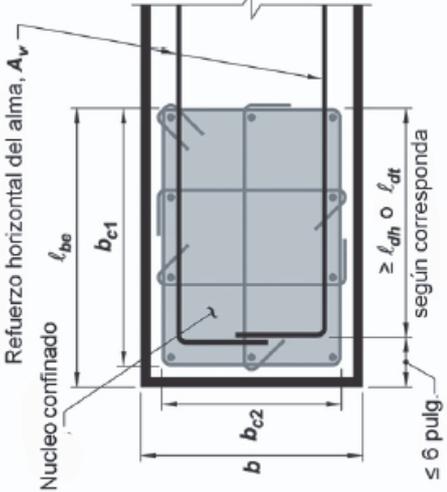
<p>VC17</p>	<p>Detalle del acero vertical de MF con MB (Cont)</p>	<p>Los empalmes se realizarán según Art. 18.2.3 y en la zona confinada deben presentarse con estribos cerrados con separación no mayor a <math>b_w / 4</math> o 10cm. [14.6.2 (f)]</p> <p>Empalmes longitudinales no permitidos a una distancia <math>L_p = 0,5L_w</math>. [14.6.2 (f)]</p> <p>No especifica si se debe modificarse <math>L_w</math> por la ocurrencia de fluencia.</p>	<p>Extender <math>A_s</math> por lo menos <math>0.8l_w</math> más allá del punto donde no sea necesario para resistir flexión, menos en la parte superior del muro (18.10.2.3)</p> <p>No especifica sobre si se debe colocar estribos cerrados en empalmes.</p> <p>En lugares donde es probable que se produzca fluencia del <math>A_s</math> debido a los desplazamientos Laterales, se usará <math>1,25l_d</math> (18.10.2.3)</p>
<p>VC18</p>	<p>Detalle del acero horizontal de MF con MB</p>	<p>Acero de refuerzo horizontal del alma debe anclarse en los núcleos confinados.[14.6.2 (e)]</p> <p>Colocar ligaduras de una sola rama (grapa) en las zonas no confinadas entre mallas de manera alternada horizontal y verticalmente (14.3.2).</p>	<p><math>l_d</math>, <math>l_{ch}</math> y <math>l_{dt}</math> deberán tener una separación <math>\leq 15cm</math> del borde del muro. [18.10.6.4 (h)]</p>  <p>Opción con refuerzo recto desarrollado</p>

Figura 46. Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde (b)  
Fuente: ACI 318-14 (2014)

VC18	Detallado del acero horizontal de ME con MB (Cont.)	 <p>Opción con ganchos estándar o refuerzo con cabeza</p> <p><b>Figura 47. Desarrollo del refuerzo horizontal del muro dentro del elemento confinado de borde (a)</b> Fuente: ACI 318-14 (2014)</p> <p>En la ZNC si <math>V_u &lt; 0,27A_{cv}\lambda f'_c</math> el Ast debe tener un gancho estándar o estribos en U empalmados Ast Con mismo <math>\phi</math> y S. [18.10.6.5 (d)]</p>	<p>El refuerzo transversal del MEB debe extenderse una distancia mayor a <math>l_d</math> o <math>l_{dh}</math> dentro de su apoyo y al menos 30 cm si se trata de una zapata, losa de fundación, o cabezal de pilote, a menos que se requiera una extensión mayor en 18.13.2.3. [18.10.6.4 (g)]</p>
VC19	Detallado del acero horizontal del MB	<p>Extensión mínima del acero de refuerzo desde la sección crítica:</p> $L \geq \begin{cases} L_w \\ M_u / (4V_u) \end{cases}$ <p>[14.6.2 (c)]</p>	

<p>VC19</p>	<p>Detalle del acero horizontal del MB (Cont.)</p>	<p>El refuerzo transversal del MEB debe extenderse una distancia mayor a <math>l_d</math> o <math>l_{dh}</math> dentro de su apoyo y al menos 30 cm si se trata de una zapata, losa de fundación. [14.6.2 (d)]</p>	<p><b>Figura 48. Resumen de los requisitos para muros especiales (a)</b> Fuente: ACI 318-14 (2014)</p> <p>Muro con <math>h_w / l_w \geq 2.0</math> y sección crítica única controlada por flexión y carga axial diseñada usando 18.10.6.2, 18.10.6.4 y 18.10.6.5</p>
	<p><b>Figura 49. Resumen de los requisitos para muros especiales (b)</b> Fuente: ACI 318-14 (2014)</p> <p>Muro y machón de muro diseñados utilizando 10.10.6.3, 18.10.6.4 y 18.10.6.5.</p>		

Tabla 5. Comparación de Variables de Contenido. Fuente: Elaboración propia (2016)



ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO POR LAS NORMAS FONDONORMA 1753:2006 Y ACI 318-14.





De la tabla presentada (Tabla 5) se puede observar para cada variable las semejanzas y diferencias encontradas entre ambos códigos. Se encuentran exactamente igual únicamente los límites de fuerza cortante máxima admisible y el detallado de acero vertical de ME sin miembros de borde.

Es importante resaltar la extensa cantidad de diferencias encontradas entre ambas metodologías, a continuación se muestran las más significativas:

- ✓ La primera diferencia se observa en los valores presentados para el factor de minoración de resistencia por corte.
- ✓ Por su parte para los requisitos geométricos la norma ACI hace una discriminación en cuanto al uso de los muros estructurales según sean portantes, no portante o exterior de sótano.
- ✓ En referencia al límite de compresión máximo es más conservadora la norma FONDORMA.
- ✓ 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.
- ✓ La norma ACI diferencia los requisitos para el número de mallas, separándolos según el nivel de diseño, exigiendo para ND1 un chequeo netamente geométrico.
- ✓ Las separaciones máximas para el refuerzo horizontal en la norma ACI se tornan menos conservadoras.
- ✓ La norma FONDONORMA plantea solo el cálculo del acero como columna (análisis por flexocompresión) y adicionalmente para diseños ND1 que cumplan con ciertas consideraciones geométricas el método de las bielas. Por otro lado, la ACI sugiere para el mismo nivel de diseño 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  $V_u > (0,5\phi V_c)$ , que en FONDONORMA limita a que la cuantía vertical no sea mayor que la cuantía horizontal.
- ✓ 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)*. Por su parte el procedimiento número uno de la ACI para corroborar la exigencia de MB permanece igual excepto por el coeficiente 1,5 añadido en el dividendo para multiplicar al valor de la deriva y el límite de esta que pasó a ser de 0,005. Mientras que en el procedimiento dos difieren completamente: donde 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 los miembros de borde, el largo de estos dependerá del procedimiento que se haya empleado para determinar su necesidad. Sin embargo FONDONORMA no especifica para el procedimiento 1 dimensiones mínimas, mientras que para el procedimiento 2 el límite es una relación lineal que depende de  $N_u$ . Es de notar que la norma ACI considera como longitud máxima la misma presentada por la norma nacional para la longitud de confinamiento, es decir, lo que para ACI es la longitud horizontal máxima del MB para FONDONORMA es la longitud de confinamiento del mismo.
- ✓ La cuantía vertical en FONDONORMA es regida para toda la extensión del muro en un rango establecido, mientras que la ACI no limita más si diferencia entre las zonas del miembro de borde.



- ✓ Según la norma venezolana el acero de longitudinal de los extremos debe estar confinado si  $\rho l_{extremo} \geq 28 / f_y$  para muros ND1 sin MB, 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 MB dependen de las zonas que lo conforman (MEB, MOB o ZNC), mientras que la norma nacional define un único confinamiento para todo el muro.
- ✓ En relación al detallado de acero vertical de ME con miembros de borde se vio modificada la llamada longitud de rótula plástica  $L_p = 0,5L_w$  de FONDONORMA, en la cual no están permitidos los empalmes, por el valor de  $0,8l_w$  en la ACI.
- ✓ La norma 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. La norma ACI no hace 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.
- ✓ La norma americana no solo indica las longitudes verticales del MEB y su anclaje en la fundación sino también las longitudes de los MOB y ZNC con sus respectivos aceros de confinamiento.



#### **4.6 Ejemplo de diseño bajo requerimientos FONDONORMA 1753:2006**



## DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL (ND3) SEGUN FONDONORMA 1753:2006

### Características Geométricas:

$$\begin{aligned} Bw &:= 60 && \text{cm} \\ Lw &:= 620 && \text{cm} \\ Hw &:= 30 && \text{m} \\ Ln &:= 345 && \text{cm} \\ r &:= 4 && \text{cm (Recubrimiento)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &:= Bw \cdot Lw = 37200 && \text{cm}^2 \\ dw &:= 0.8 \cdot Lw = 496 && \text{cm} \end{aligned}$$

### Características Mecánicas

$$\begin{aligned} f'c &:= 300 && \text{Kgf/cm}^2 \\ fy &:= 4200 && \text{Kgf/cm}^2 \\ \Delta &:= 20 && \text{cm} \\ \phi &:= 0.60 \end{aligned}$$

### Solicitaciones

$$\begin{aligned} Nu &:= 300000 && \text{Kgf} \\ Mu &:= 6200000 && \text{Kgf} \cdot \text{m} \\ Vu &:= 520000 && \text{Kgf} \end{aligned}$$

### Verificaciones Geométricas

$$Bw > 10 = 1 \quad Bw \geq \frac{Ln}{25} = 1 \quad Bw \geq \frac{Lw}{25} = 1 \quad \frac{Bw}{Lw} < 0.4 = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

### Verificación de Corte Actuante Máximo

$$\phi \cdot 2.65 \cdot A \cdot \sqrt{f'c} = 1024473.41 \quad Vu \leq \phi \cdot 2.65 \cdot A \cdot \sqrt{f'c} = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

### Resistencia al Corte del Concreto

$$Vc1 := (0.88 \cdot \sqrt{f'c} \cdot Bw \cdot dw) + \left( \frac{Nu \cdot dw}{4 Lw} \right) = 513603.32 \quad \text{Kgf}$$



$$V_{c2} := Bw \cdot dw \cdot \left( 0.16 \cdot \sqrt{f'_c} + \frac{Lw \cdot \left( 0.33 \sqrt{f'_c} + \frac{0.2 Nu}{Bw \cdot dw} \right)}{\frac{Mu \cdot 100}{Vu} - 0.5 Lw} \right) = 2.442 \cdot 10^5 \quad \text{Kgf}$$

Entonces  $V_c := \begin{cases} \text{if } \left( \frac{Mu \cdot 100}{Vu} - 0.5 Lw \right) < 0 \\ \quad \begin{cases} V_{c1} \\ \text{else} \\ \min(V_{c1}, V_{c2}) \end{cases} \end{cases}$   $V_c = 244166.1 \quad \text{Kgf}$

Verificación de la Resistencia Máxima del Concreto al Corte

$$V_c := \begin{cases} \text{if } Nu > 0 \\ \quad \begin{cases} \text{if } V_c' < 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot Bw \cdot dw \cdot \left( 1 + 0.007 \cdot \frac{Nu}{A} \right) \\ \quad V_c' \\ \text{else} \\ \quad 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot Bw \cdot dw \cdot \left( 1 + 0.007 \cdot \frac{Nu}{A} \right) \end{cases} \\ \quad \text{else} \\ \quad \begin{cases} \text{if } V_c' < 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot Bw \cdot dw \cdot \left( 1 + 0.028 \cdot \frac{Nu}{A} \right) \\ \quad V_c' \\ \text{else} \\ \quad 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot Bw \cdot dw \cdot \left( 1 + 0.028 \cdot \frac{Nu}{A} \right) \end{cases} \end{cases}$$

Finalmente el Corte resistido por el concreto es:  $V_c = 244166.1 \quad \text{Kgf}$



Numero de Mallas de Acero de Refuerzo

$$NoMallas := \begin{cases} \text{if } Vu > 0.53 A \sqrt{f_c} \\ \quad \{ \text{"Dos mallas"} \\ \text{else} \\ \quad \{ \text{"Una malla"} \end{cases}$$

$$NoMallas = \text{"Dos mallas"}$$

Resistencia requerida por el acero

$$V_{smin} := \frac{Vu}{\phi} - V_c = 622500.57 \quad \text{Kgf}$$

Separación del acero de refuerzo

$$Sh = 17.5 \quad \text{cm} \quad Sh \leq 25 = 1 \quad Sh \leq 0.2 L_w = 1 \quad Sh \leq 3 \cdot B_w = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

Acero de refuerzo horizontal

$$Ash := \frac{V_{smin} \cdot Sh}{f_y \cdot d_w} = 5.229 \quad Ashcara := \begin{cases} \text{if } NoMallas = \text{"Dos mallas"} \\ \quad \{ \frac{Ash}{2} \\ \text{else} \\ \quad \{ Ash \end{cases}$$

$$Ashcara = 2.61 \quad \text{cm}^2$$

Acero de refuerzo horizontal propuesto

$$Ashprop := 2.85 \cdot 2 = 5.7 \quad \text{cm}^2 \quad \rho_k = \frac{Ashprop}{B_w \cdot Sh} = 0.005$$

Nota: Corresponde a 1Φ3/4" @ 17.5 cm.

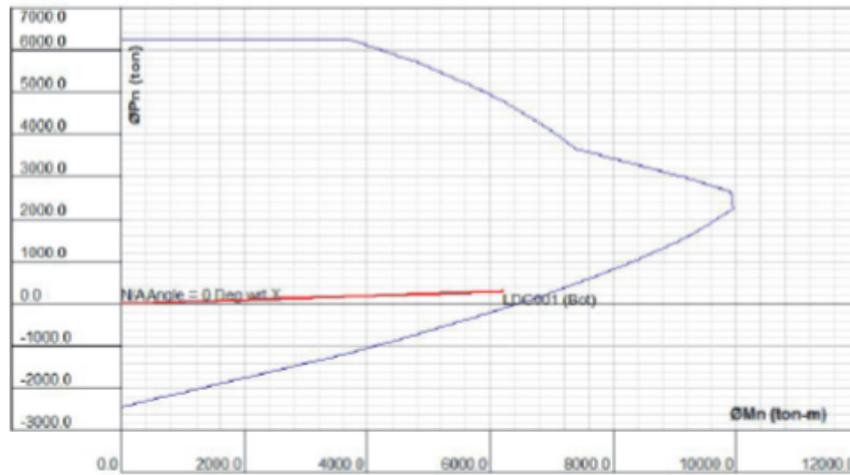


Cortante resistente:

$$V_s := \frac{Ashprop \cdot fy \cdot dw}{Sh} = 678528$$

$$V_n := V_c + V_s = 922694.1 \quad \text{Kgf}$$

Acero de refuerzo vertical (Obtenido mediante programa de calculo)



(Ver Apendice B)

$$c := 113.63 \quad \text{cm}$$

$$\rho_v = 0.0173$$

$$A_{sv} := B_w \cdot L_w \cdot \rho_v = 643.56 \quad \text{cm}^2$$

Area de acero en cada borde  $A_{sv\text{borde}} := 182.4 \quad \text{cm}^2$

Nota: Corresponde a 36  $\phi$  1".

$$\text{Chequeo} := \begin{cases} \text{if } A_{sv\text{borde}} \geq 0.5 \cdot \frac{A_{sv}}{2} \\ \quad \text{"OK"} \\ \text{else} \\ \quad \text{" Colocar mas del 50 \% de } \rho_l \text{ " } \end{cases}$$

Chequeo = "OK"



Area de acero en el alma

$$A_{svalma} := A_{sv} - (2 A_{svborde}) = 278.76 \text{ cm}^2$$

Nota: Corresponde a 72  $\phi$  7/8".

Verificación de la sollicitación axial máxima

$$N_o := 0.85 f_c \cdot (A - \rho hA) + (f_y \cdot \rho hA) = 10282664.57 \text{ Kgf}$$

$$\text{Diseño} := \begin{cases} \text{if } Nu < 0.35 N_o \\ \quad \text{"Como muro"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"Como columna"} \end{cases}$$

Diseño = "Como muro"

Verificación de Corte Actuante para ND3

Tratandose de un muro que comparte fuerzas laterales

$$\phi \cdot 2.12 \cdot A \cdot \sqrt{f_c} = 8.196 \cdot 10^5$$

$$V_u \leq \phi \cdot 2.12 \cdot A \cdot \sqrt{f_c} = 1$$

Adicionalmente:

$$\alpha_c = \begin{cases} \text{if } \frac{Hw \cdot 100}{Lw} \geq 2 \\ \quad 0.53 \\ \text{else if } \frac{Hw \cdot 100}{Lw} \leq 1.5 \\ \quad 0.79 \\ \text{else} \\ \quad 1.57 - \frac{13 Hw}{25 Lw} \end{cases}$$

$$\alpha_c = 0.53$$

$$V_n \leq A \cdot (\alpha_c \sqrt{f_c} + \rho h f_y) = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

Verificación de cuantías mínimas de acero

$$\rho_{h \text{ mi}} = \begin{cases} \text{if } V_u \geq 0.265 \cdot Bw \cdot dw \cdot \sqrt{f_c} \\ \quad 0.0025 \\ \text{else} \\ \quad 0.0025 \end{cases}$$

$$\rho_h \geq \rho_{h \text{ mi}} = 1$$





$$Lm := \max(0.15 Lw, 45, Lm') = 93$$

$$Lm' = 93 \text{ cm}$$

Entonces:  $Lm = 93 \text{ cm}$

Ancho del Miembro de Borde

$$Bm := 60 \text{ cm} \quad Bm \geq \frac{Ln}{16} = 1 \quad Bm \geq Bw = 1$$

Verificación de cuantía máxima en cualquier parte del Muro:

$$\rho \leq 0.04 = 1$$

Longitud de Confinamiento

$$\rho v b o := \frac{A_{svborde}}{Bm \cdot Lm} = 0.033$$

```

RequiereConfinamiento := || if RequiereMB = "Si"
                          || "Si"
                          || else
                          || if rho v b o >= 28 / fy
                          || "Si"
                          || else
                          || "No"
    
```

$$RequiereConfinamiento = "Si"$$

$$Lconf := \max(c - 0.1 Lw, 0.5 c)$$

$$Lconf = 56.815 \text{ cm}$$



Acero de Confinamiento de Miembros de Borde

Área de miembro de borde:  $A_m := B_m \cdot L_m = 5.58 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$

Área de núcleo confinado:  $A_{ch} := (B_m - 2r) \cdot (L_m - 2r) = 4.42 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$

Diametro de la mayor barra longitudinal:  $db := 2.54 \text{ cm}$

Distancia horizontal entre estribos:  $hx := 15 \text{ cm}$

Separación entre estribos:

$$S_{max} := \begin{cases} \text{if } \max\left(\frac{B_m}{4}, 6 db, 10 + \frac{35 - hx}{3}\right) > 15 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 15 \\ \text{else if } \max\left(\frac{B_m}{4}, 6 db, 10 + \frac{35 - hx}{3}\right) < 10 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 10 \\ \text{else} \\ \quad \left\| \max\left(\frac{B_m}{4}, 6 db, 10 + \frac{35 - hx}{3}\right) \end{array} \right. \end{array} \right. \end{cases} \quad S_{max} = 15 \text{ cm}$$

Área de acero Direccion X:

$H_{cy} := B_m - 2r = 52 \text{ cm}$

$$A_{sx} := \begin{cases} \text{if } \text{RequiereMB} = \text{"Si"} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.09 \frac{S_{max} \cdot H_{cy} \cdot f_c}{f_y} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \max\left(0.09 \frac{S_{max} \cdot H_{cy} \cdot f_c}{f_y}, 0.3 \cdot \frac{S_{max} \cdot H_{cy} \cdot f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{A_m}{A_{ch}} - 1\right)\right) \end{array} \right. \end{cases}$$

$A_{sx} = 5.014 \text{ cm}^2$

Nota: Corresponde a 4  $\phi$  1/2".



Área de acero Direccion Y:

$$Hcx := \begin{cases} \text{if } RequiereMB = \text{"Si"} & Hcx = 85 \text{ cm} \\ \quad \text{if } Lconf > Lm & \\ \quad \quad Lconf - 2r & \\ \quad \text{else} & \\ \quad \quad Lm - 2r & \\ \text{else} & \\ \quad Lconf - 2r & \end{cases}$$

$$Ashy := \begin{cases} \text{if } RequiereMB = \text{"Si"} & \\ \quad 0.09 \frac{Smax \cdot Hcx \cdot fc}{fy} & \\ \text{else} & \\ \quad \max \left( 0.09 \frac{Smax \cdot Hcx \cdot fc}{fy}, 0.3 \cdot \frac{Smax \cdot Hcx \cdot fc}{fy} \cdot \left( \frac{Am}{Ach} - 1 \right) \right) & \end{cases}$$

$Ashy = 8.196$  cm<sup>2</sup>

Nota: Corresponde a 7  $\phi$  1/2".

Extensión mínima del acero de refuerzo desde la sección crítica

$$L := \max \left( Lw, \frac{Mu}{4 Vu} \right) = 620 \text{ cm}$$

Longitud de rótula plástica

$$Lp := 0.5 Lw = 310 \text{ cm}$$

Separación máxima entre estribos en las zonas de empalme

$$Sconf := \min \left( \frac{Bw}{4}, 10 \right) = 10 \text{ cm}$$



#### 4.7 Ejemplo de diseño bajo requerimientos ACI 318-14.

### DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL (ND3) SEGUN ACI 318-14

#### Características Geométricas:

$$\begin{aligned} h &:= 60 && \text{cm} \\ lw &:= 620 && \text{cm} \\ hw &:= 30 && \text{m} \\ hu &:= 345 && \text{cm} \\ r &:= 4 && \text{cm (Recubrimiento)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{cv} &:= h \cdot lw = 37200 && \text{cm}^2 \\ d &:= 0.8 \cdot lw = 496 && \text{cm} \end{aligned}$$

#### Características Mecánicas

$$\begin{aligned} f'_c &:= 300 && \text{Kgf/cm}^2 \\ f_y &:= 4200 && \text{Kgf/cm}^2 \\ \delta &:= 20 && \text{cm} \\ \phi &:= 0.65 \\ \lambda &:= 1 \end{aligned}$$

$$A_g := A_{cv}$$

#### Solicitaciones

$$\begin{aligned} P_u &:= 300000 && \text{Kgf} && N_u := P_u \\ M_u &:= 6200000 && \text{Kgf} \cdot \text{m} \\ V_u &:= 520000 && \text{Kgf} \end{aligned}$$

Verificación de recomendaciones Geométricas (Ya que para el diseño a flexocompresión según el Art. 22.4 no existen limitaciones de espesor)

$$h > 10 = 1 \qquad h \geq \frac{hu}{25} = 1 \qquad h \geq \frac{lw}{25} = 1 \qquad \frac{h}{lw} < 0.4 = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

#### Verificación de la sollicitación axial máxima

$$\begin{aligned} P_o &:= 0.85 f'_c \cdot (A_g - 0.0025 A_g) + (f_y \cdot 0.0025 A_g) = 9852885 && \text{Kgf} \\ \phi P_n &:= \phi \cdot 0.80 \cdot P_o = 5123500.2 && \text{kgf} \end{aligned}$$

$$\text{Diseño} := \begin{cases} \text{if } P_u < \phi P_n & \text{“Como muro”} \\ \text{else} & \text{“Como columna”} \end{cases}$$

Diseño = “Como muro”





Separación del acero de refuerzo

$$St := 17.5 \text{ cm} \quad St \leq 25 = 1 \quad St \leq 0.2 lw = 1 \quad St \leq 3 \cdot h = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

Acero de refuerzo horizontal

$$Ast := \frac{V_{smin} \cdot St}{fy \cdot d} = 4.669$$

$$Ashcara := \begin{cases} \text{if } NoMallas = \text{"Dos mallas"} \\ \quad \frac{Ast}{2} \\ \text{else} \\ \quad Ast \end{cases}$$

$$Ashcara = 2.33 \text{ cm}^2$$

Acero de refuerzo horizontal propuesto

$$Astprop := 2.85 \cdot 2 = 5.7 \text{ cm}^2$$

$$\rho \leq \frac{Astprop}{h \cdot St} = 0.005$$

Nota: Corresponde a 1Φ3/4" @ 17.5 cm.

Cortante resistente:

$$Vs := \frac{Astprop \cdot fy \cdot d}{St} = 678528$$

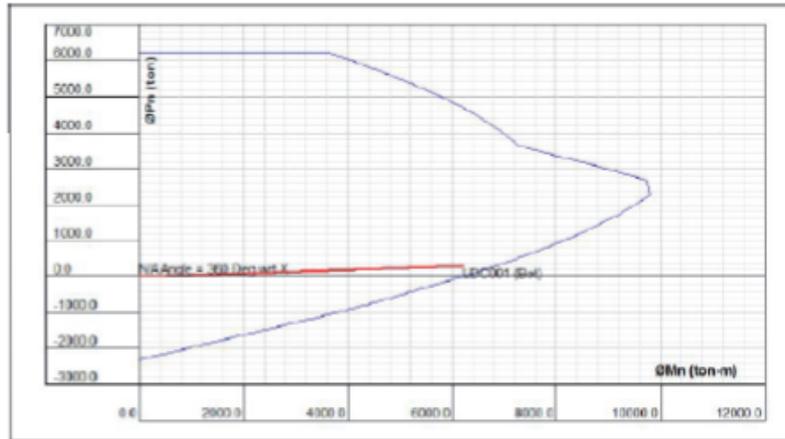
Kgf

$$Vn := Vc + Vs = 922694.1$$

Kgf

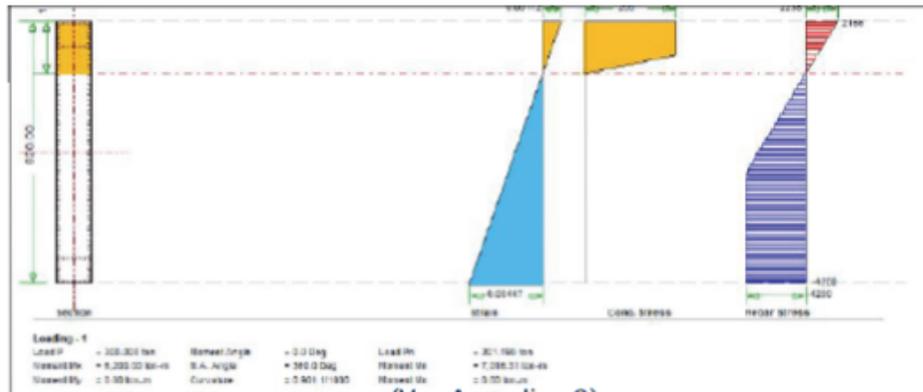


Acero de refuerzo vertical (Obtenido mediante programas de calculo)



Load-Moment Interaction

(Ver Apendice C)



(Ver Apendice C)

$$c := 108.52 \text{ cm}$$

$$\rho \leq 0.0164$$

$$Asl := h \cdot lw \cdot \rho \leq 610.08 \text{ cm}^2$$

Area de acero en cada borde  $Asvborde := 141.96 \text{ cm}^2$

Nota: Corresponde a 28  $\phi$  1".



Area de acero en el alma

$$A_{svalma} := A_{sl} - (2 A_{sborde}) = 326.16 \text{ cm}^2$$

Nota: Corresponde a 84  $\phi$  7/8".

Verificación de resistencias máximas a Corte

Tratandose de un muro que compárte fuerzas laterales

$$\phi \cdot 2.12 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = 887876.96 \text{ kgf} \quad V_u \leq \phi \cdot 2.12 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = 1$$

Adicionalmente:

$$\alpha_c = \begin{cases} \text{if } \frac{hw \cdot 100}{lw} \geq 2 \\ \quad \quad \quad 0.53 \\ \text{else if } \frac{hw \cdot 100}{lw} \leq 1.5 \\ \quad \quad \quad 0.79 \\ \text{else} \\ \quad \quad \quad 1.57 - \frac{13 hw}{25 lw} \end{cases} \quad \alpha_c = 0.53$$

$$V_n \leq A_{cv} \cdot (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) = 1$$

Nota: 1=Cumple ; 0=No Cumple

Verificación de cuantías mínimas de acero

$$\rho_t \text{ min} = \begin{cases} \text{if } V_u \geq 0.27 \cdot \lambda \cdot h \cdot d \cdot \sqrt{f'_c} \\ \quad \quad \quad 0.0025 \\ \text{else} \\ \quad \quad \quad 0.0025 \end{cases} \quad \rho_t \geq \rho_t \text{ min}$$

$$\rho_l \text{ min} = \begin{cases} \text{if } V_u \geq 0.27 \cdot \lambda \cdot h \cdot d \cdot \sqrt{f'_c} \\ \quad \quad \quad 0.0025 \\ \text{else} \\ \quad \quad \quad 0.0015 \end{cases} \quad \rho_l \geq \rho_l \text{ min}$$



Chqueo de cuantías por relación de aspecto

$$Chequeo := \begin{cases} \text{if } \left( \frac{hw}{lw} < 2 \right) \wedge (\rho \leq \rho_{\text{min}}) \\ \quad \text{" } \rho \text{ debe ser al menos igual a } \rho_{\text{min}} \text{"} \\ \text{else} \\ \quad \text{" } \rho \text{ está OK"} \end{cases}$$

$$Chequeo = \text{" } \rho \text{ está OK"}$$

Verificación de requerimiento de Miembros Especial de Borde (MEB) (Procedimiento 1)

$$ChequeoDerivaMínima := \begin{cases} \text{if } \frac{\delta u}{hw} \geq 0.005 \\ \quad \frac{\delta u}{hw} \\ \text{else} \\ \quad 0.005 \end{cases}$$

$$RequiereMB := \begin{cases} \text{if } c \geq \frac{lw}{600 \cdot (1.5 \cdot ChequeoDerivaMínima)} \\ \quad \text{"Si"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No"} \end{cases}$$

$$RequiereMB = \text{"Si"}$$



Ancho del MEB

$$b := 60 \quad \text{cm}$$

$$b_{min} := \begin{cases} \text{if } \frac{c}{lw} \geq \frac{3}{8} \\ \min\left(\frac{hu}{16}, 30\right) \\ \text{else} \\ \frac{hu}{16} \end{cases}$$

$$b \geq b_{min} = 1 \quad b > h = 0$$

Longitud del MEB

$$Lbe := \max\left(c - 0.1 lw, \left(\frac{c}{2}\right)\right) = 54.26 \quad \text{cm}$$

Acero de Confinamiento del MEB

Área de miembro de borde:  $Abe := b \cdot Lbe = 3255.6 \quad \text{cm}^2$

Área de nucleo confinado:  $Ach := (b - 2r) \cdot (Lbe - 2r) = 2405.52 \quad \text{cm}^2$

$$bc1 := b - 2r \quad bc2 := Lbe - 2r$$

Diametro de la mayor barra longitudinal:  $db := 2.54 \quad \text{cm}$

Distancia horizontal entre estribos: "hx será máximo 36cm o 2/3b"

$$\frac{2}{3} b = 40 \text{ cm} \quad hx := 13 \quad \text{cm}$$



Separación entre estribos:

$$S_o := \min\left(10 + \frac{36 - hx}{3}, \frac{b}{3}\right) \quad 6 \cdot db = 15.24$$

$$S_{max} := \min\left(\frac{b}{4}, 6 \cdot db, S_o\right) \quad S_{max} = 15 \quad \text{cm}$$

$$S := 15 \quad \text{cm}$$

Área de acero Dirección X:

$$A_{shx'} := \max\left(0.09 \frac{S \cdot bc1 \cdot f_c}{f_y}, 0.3 \cdot \frac{S \cdot bc1 \cdot f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{A_{be}}{A_{ch}} - 1\right)\right)$$

$$A_{shx'} = 5.907 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{shx} := 6.33 \quad \text{cm}^2$$

Nota: Corresponde a 5  $\phi$  1/2".

Área de acero Dirección Y:

$$A_{shy'} := \max\left(0.09 \frac{S \cdot bc2 \cdot f_c}{f_y}, 0.3 \cdot \frac{S \cdot bc2 \cdot f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{A_{be}}{A_{ch}} - 1\right)\right)$$

$$A_{shy'} = 5.255 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{shy} := 6.33 \quad \text{cm}^2$$

Nota: Corresponde a 5  $\phi$  1/2".

Extensión mínima del acero de refuerzo desde la sección crítica

$$L := \max\left(lw, \frac{Mu}{4 Vu}\right) = 620 \quad \text{cm}$$

Longitud de rótula plástica

$$L_p := 0.8 lw = 496 \quad \text{cm}$$



### Separación máxima entre estribos en las zonas de empalme

$$S_{conf} := \min\left(\frac{h}{4}, 10\right) = 10 \quad \text{cm}$$

### Diseño de Miembro Ordinario de Borde (Procedimiento 1)

Donde las Solicitaciones exijan una cuantía de refuerzo longitudinal en los bordes superior a  $28/f_y$  pero por encima de la mayor distancia entre  $l_w$  y  $M_u/4V_u$  se permitirá colocar el siguiente confinamiento especial.

Diametro de la menor barra longitudinal:  $db_o := 2.54 \quad \text{cm}$

Distancia horizontal entre estribos:  $h_x := 13 \quad \text{cm}$

$$6 \cdot db = 15.24$$

Separación entre estribos:

$$S_{max} := \min(15, 6 \cdot db_o) = 15$$

$$S := 15 \quad \text{cm}$$

Área de acero Direccion X:

$$A_{shx'} := \max\left(0.09 \frac{S \cdot bc_1 \cdot f_c}{f_y}, 0.3 \cdot \frac{S \cdot bc_1 \cdot f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{A_{be}}{A_{ch}} - 1\right)\right)$$

$$A_{shx'} = 5.907 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{shx} := 6.33 \quad \text{cm}^2$$

Nota: Corresponde a  $5 \phi 1/2"$ .



Área de acero Dirección Y:

$$A_{shy}' := \max \left( 0.09 \frac{S \cdot bc^2 \cdot f_c}{f_y}, 0.3 \cdot \frac{S \cdot bc^2 \cdot f_c}{f_y} \cdot \left( \frac{A_{be}}{A_{ch}} - 1 \right) \right)$$

$A_{shy}' = 5.255$  cm<sup>2</sup>

$A_{shy} = 6.33$  cm<sup>2</sup>

Nota: Corresponde a 5  $\phi$  1/2".

Diseño de la Zona No Confinada (Procedimiento 1)

Donde las Solicitaciones permitan una cuantía de refuerzo longitudinal en los bordes inferior a  $28/f_y$  se permitirá no utilizar acero transversal de confinamiento.

Se coloca únicamente el acero transversal del alma a una separación menor o igual a 46cm

Verificación del tipo de anclaje del acero horizontal

$$\text{Chequeo} := \begin{cases} \text{if } Vu \geq 0.27 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \\ \text{“ } \rho_t \text{ requiere ganchos en el borde ”} \\ \text{else} \\ \text{“ } \rho_t \text{ NO requiere ganchos en el borde ”} \end{cases}$$

$\text{Chequeo} = \text{“ } \rho_t \text{ requiere ganchos en el borde ”}$

La ubicación de las zonas para MOB y ZNC dependen de las cuantías de acero longitudinal, en este ejemplo no se determinó exactamente la ubicación de estas zonas porque requeriría de un análisis estructural más detallado para poder conocer donde existe el límite entre  $\rho_l = 28/f_y$  que divide dichas zonas, por ende los tramos se ubican a lo largo del elemento de manera esquematizada de forma que se logre evidenciar la transición que hay en el acero de confinamiento del elemento de borde a lo largo de la altura del Muro.



## CONCLUSIONES

Por medio del estudio minucioso, mediante lluvias de ideas, se organizó y procesó toda la información referente a las normas FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-14. Se determinaron las variables de estudio, tanto de forma (o estructura) de las normas como de contenido, en función a las metodologías mencionadas. Se esquematizaron mediante diagramas de flujo los procedimientos, respetando las clasificaciones en cuanto a los niveles de diseño hechas por los autores de ambos códigos pero planteando un nuevo orden lógico acorde al proceso de cálculo. Por esta razón se concibió un diagrama para la norma venezolana y dos para la norma norteamericana, para muros ordinarios (equivalente nivel de diseño 1 para FONDONORMA) y muros especiales (equivalente a nivel de diseño 3 para FONDONORMA). Estos diagramas sirven de ayuda para entender y asimilar de forma simple y practica las formulaciones hechas por cada uno de los códigos.

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.



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, más sin embargo es relevante la distinción realizada por la ACI en lo referente a las zonas que conforman a los miembros de borde. 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, 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.

Adicionalmente existen otras diferencias no menos importantes relacionadas con el factor de minoración de resistencia, siendo más conservadora FONDONORMA para ND3 pero más conservadora ACI para ND1.

Otro punto resaltante es la cantidad de métodos diferentes que contempla ACI para determinar la cuantía de acero longitudinal de muros ND1. Esta presenta 4 maneras de hacerlo en función a la geometría del elemento y las cargas que soporta. Muy diferente FONDONORMA donde solo se presentan dos maneras de determinar dicha cuantía, donde una de ellas es el método de las bielas, el cual aunque es efectivo, está lejos de ser exacto. Es el tradicional análisis como columna a flexocompresión el punto en común para ambos criterios, el cual es utilizado para el diseño tanto de ND1 como de ND3.

Ambos códigos utilizan dos procedimientos para determinar la necesidad de usar miembros de borde. En el primero de los métodos existe gran coincidencia, el mismo se basa en la profundidad del eje neutro y las derivas



debido al sismo, excepto en las derivas donde los criterios difieren en los valores límites para el cálculo y la norma ACI añade un factor de 1.5 en el denominador. El segundo procedimiento de cada una de ellas si es totalmente diferente basándose la norma americana en esfuerzos y cuantías y la nacional en fuerzas actuantes y geometría.

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 de confinamiento. Adicionalmente dentro del tema de confinamiento, la ACI es estricta y clara con las condiciones de anclaje del acero horizontal del alma del muro dentro del núcleo del miembro de borde siendo mucho más exigente, lo cual en FONDONORMA queda bastante a discreción del proyectista.

Por último, se desarrolló el diseño y detallado de los muros según cada norma, donde se pudo evidenciar que el procedimiento de cálculo y diseño es bastante parecido aunque existan los cambios en el contenido, los cuales marcan una diferencia notoria a la hora de diseñar los Miembros de borde. En lo referente a los Miembros de borde, puede concluirse que en el caso ACI y con el procedimiento de determinación de MB utilizado se obtienen dimensionamientos menores que los resultantes con el procedimiento 2 que plantea FONDONORMA. A pesar de la diferenciación entre Miembro Especial de Borde y Miembro Ordinario de Borde hecha por ACI, para este ejemplo en particular, el confinamiento permaneció igual para ambas zonas. Adicionalmente puede establecerse que con el procedimiento ACI se obtiene un diseño más óptimo desde el punto de vista de la utilización de materiales y el comportamiento estructural debido al detallado más minucioso que se exige.



## RECOMENDACIONES

En base a la experiencia obtenida con el desarrollo del presente trabajo de investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

- i. Considerar para futuras actualizaciones de la norma nacional el uso de la modalidad de comentarios en paralelo al articulado, así como también la incorporación de un mayor número de imágenes con sus respectivos textos explicativos.
- ii. Tomar en cuenta para futuras actualizaciones de la normativa nacional separar los artículos referentes al diseño ND1 de Muros estructurales de los de requerimientos para ND3, pudiendo colocarse estos últimos en conjunto con el resto de requerimientos para diseños sismoresistentes.
- iii. Mejorar en las próximas actualizaciones de la normativa nacional la manera de hilar los artículos a la hora de hacer referencia entre ellos.
- iv. Desarrollar el diseño de un mayor número de muros estructurales por ambas metodologías para determinar a ciencia cierta las implicaciones de las diferencias encontradas en el presente trabajo desde el punto de vista cuantitativo de las variables de diseño y costos.
- v. Incluir el diseño de Muros Estructurales dentro del contenido programático de la Cátedra de Proyectos Estructurales de Concreto.
- vi. Realizar el análisis comparativo del diseño de muros estructurales de concreto armado por las normas FONDONORMA 1753:2006 y EUROCÓDIGO 2.



- vii. Desarrollar el análisis mediante elementos finitos de muros estructurales con y sin elementos de borde para evaluar las variaciones de cuantías de acero requerido, en función a parámetros como la relación de aspecto  $h_w/L_w$  o la forma de la sección transversal.
- viii. Desarrollar un programa de diseño de muros empleando los diagramas de flujo desarrollados en la presente investigación.
- ix. Considerar incluir dentro de la próxima actualización del código 1753, que sea obligatorio concentrar al entre el 25% y el 50% del acero longitudinal requerido del muro en los extremos de este, independientemente del nivel de diseño y de la exigencia o no de miembros de borde.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcocer, S. (1995) *Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado: Muros Estructurales*. Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería. México.
- Bondarenko Hernández, S. & García Tezzi, I. (2012). *Manual de Cálculo y Diseño de Muros Estructurales de Concreto Armado*. (Trabajo especial de grado). Universidad de Carabobo, Naguanagua, VZ.
- Briceño A. & Carreras, N. (2013). 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) Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, VZ.
- Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute ACI 318-14 (2014)
- Comentary on Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute ACI 318R-14 (2014)
- Edificaciones Sismoresistentes, FONDONORMA 1756-1:2001, Parte 1: Articulado (2001)
- Edificaciones Sismoresistentes, FONDONORMA 1756-2:2001, Parte 2: Comentario (2001)
- Fratelli, M. (1999) Edificios de pantallas y estructuras aporricadas. Caracas.
- Lobo, W. (2011) Comportamiento sismorresistente de muros estructurales: El caso del terremoto de Maule, Chile 27-08-2010. *Proyecto de*



*edificaciones con muros estructurales de concreto reforzado*. Seminario Técnico. Sidetur. Caracas.

Park, R. & Paulay, T. (1978) *Estructuras de concreto reforzado*. Editorial Limusa. México D.F.

Paulay, T. & Priestley, M.J.N. (1992) *Seismic Design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley & Sons. New York.

Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural, FONDONORMA 1753:2006 (2006)

Rodriguez, D. (2011) Diseño de muros estructurales según FONDONORMA 1753:06 y códigos afines. Proyecto de edificaciones con muros estructurales de concreto reforzado. Seminario Técnico. Sidetur. Caracas.

Thomson, E. (2003). *Modelo Simplificado para la Evaluación del Daño en Muros Estructurales Bajos de Concreto Armado Sujetos a Cargas Laterales*. (Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requisitos para la obtención del título de Doctor en Ciencias Aplicadas). Universidad de Los Andes, Mérida, VZ.



## APENDICE A

### **Método alternativo de diseño para carga axial y momento fuera del plano (Método Simplificado de Diseño) (ACI 318-14, Art. 11.5.3)**



### Método alternativo de diseño para carga axial y momento fuera del plano (Método Simplificado de Diseño) (ACI 318-14, Art. 11.5.3)

11.5.3.1 Cuando la resultante de todas las cargas mayoradas esté localizada dentro del tercio central del espesor total de un muro macizo con una sección transversal rectangular, se permite calcular  $P_n$  por medio de:

$$P_n = 0,55f'_c A_g \left[ 1 - \left( \frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (11.5.3.1)$$

11.5.3.2 El factor de longitud efectiva  $k$  para ser utilizado en la ecuación (11.5.3.1) debe cumplir con la Tabla 11.5.3.2.

Condiciones de Borde	k
Muros arriostrados en la parte superior e inferior contra desplazamiento lateral, y	
(a) Restringidos contra rotación en uno o ambos extremos (superior, inferior o ambos)	0.8
(b) No restringidos contra la rotación en ambos extremos	1.0
Muros no arriostrados contra desplazamiento lateral	2.0

Tabla 11.5.3.2 — Factor de longitud efectiva  $k$  para muros

11.5.3.3 El factor de reducción de resistencia  $\phi$  para  $P_n$  en la ecuación (11.5.3.1) debe ser el factor para secciones controladas por compresión de 21.2.2.

11.5.3.4 El refuerzo del muro no debe ser menor al requerido por 11.6.



## APENDICE B

### Reporte del análisis a flexocompresión del ejemplo de diseño usando FONDONORMA 1753:2006.



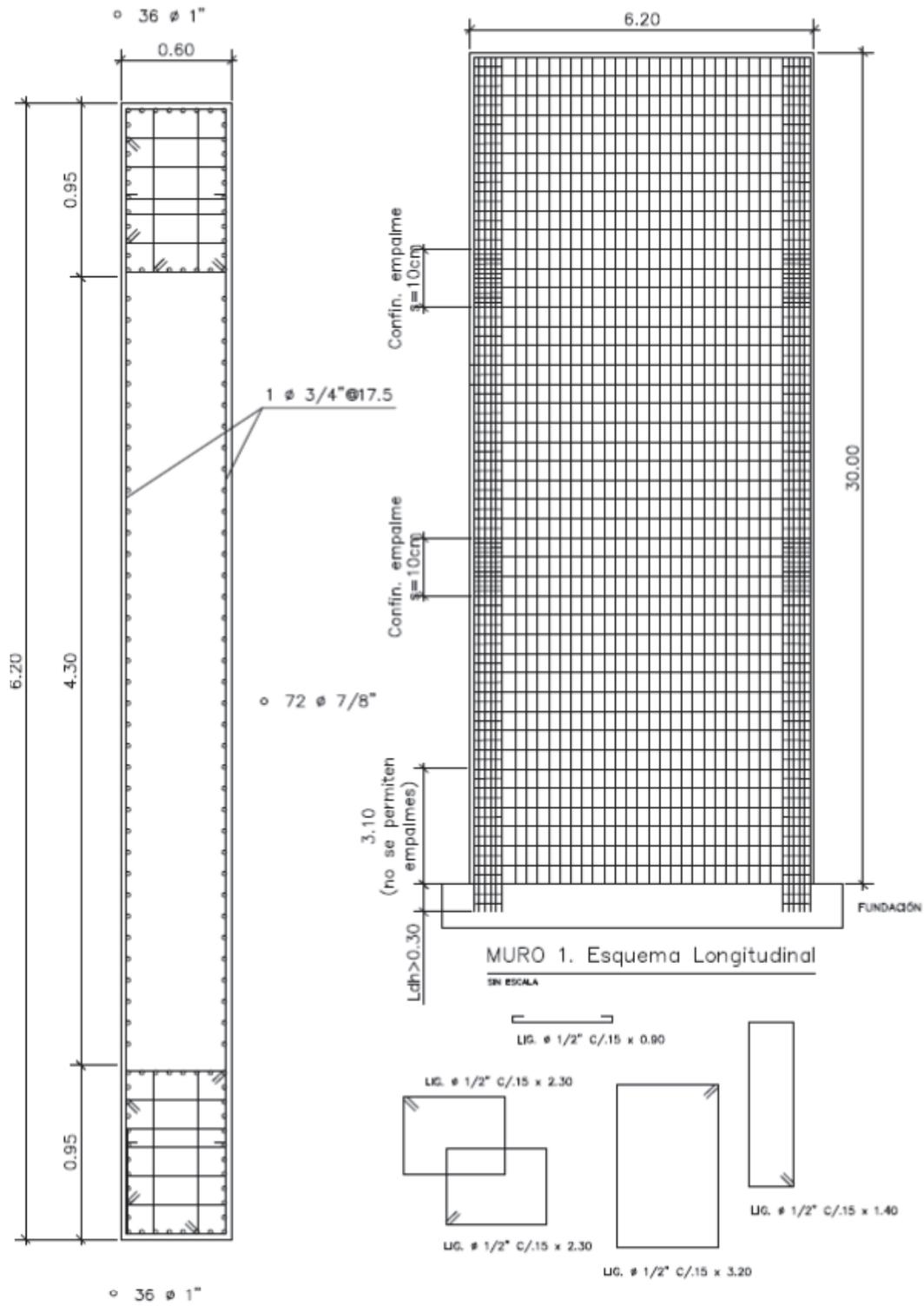
## APENDICE C

### Reporte del análisis a flexocompresión del ejemplo de diseño usando ACI 318-14.



## APENDICE D

**Detallado del ejemplo de diseño usando FONDONORMA 1752:2006.**



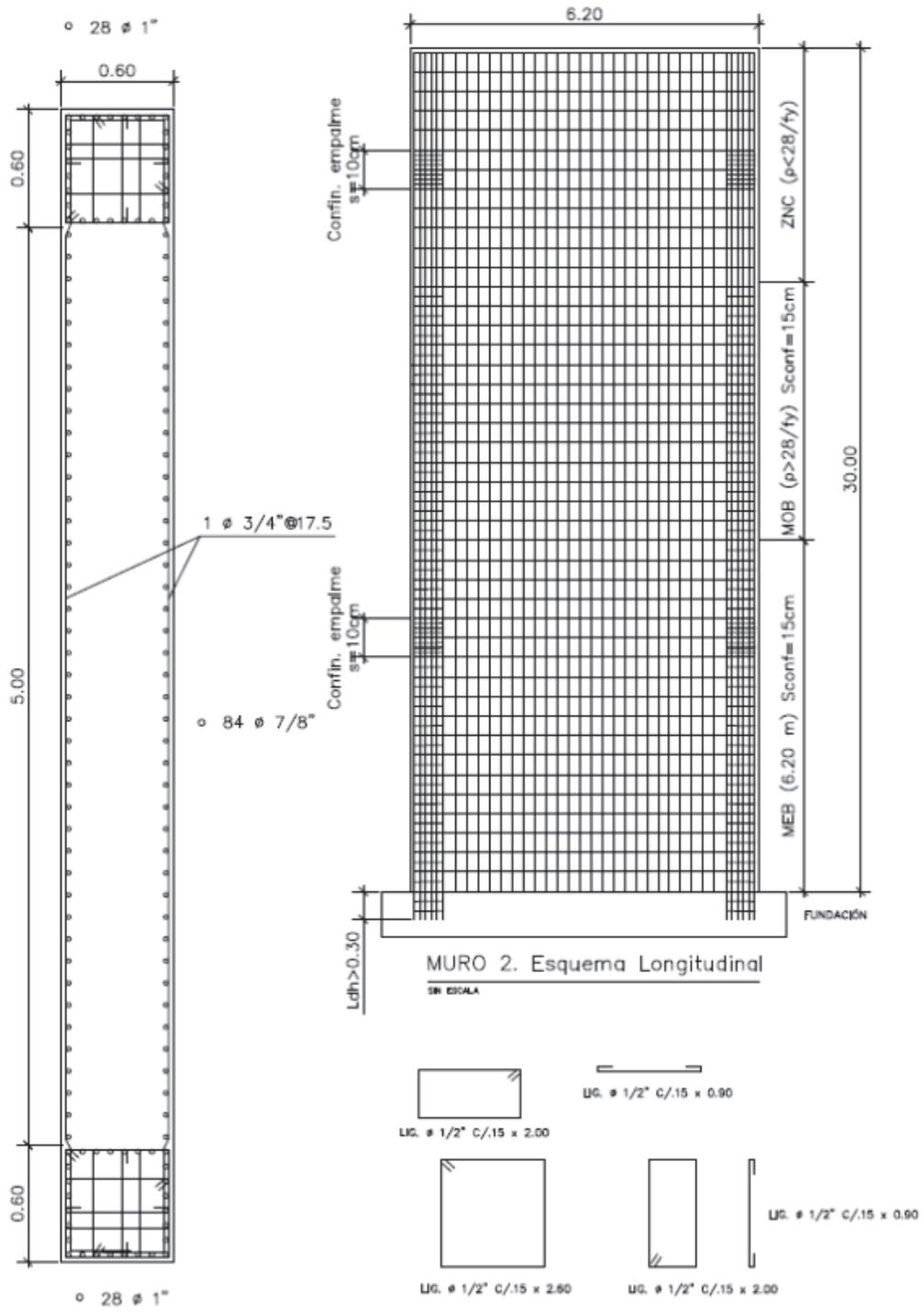
MURO 1. Corte transversal

MURO 1. Acero de Confinamiento



## APENDICE E

### Detallado del ejemplo de diseño usando ACI 318-14.



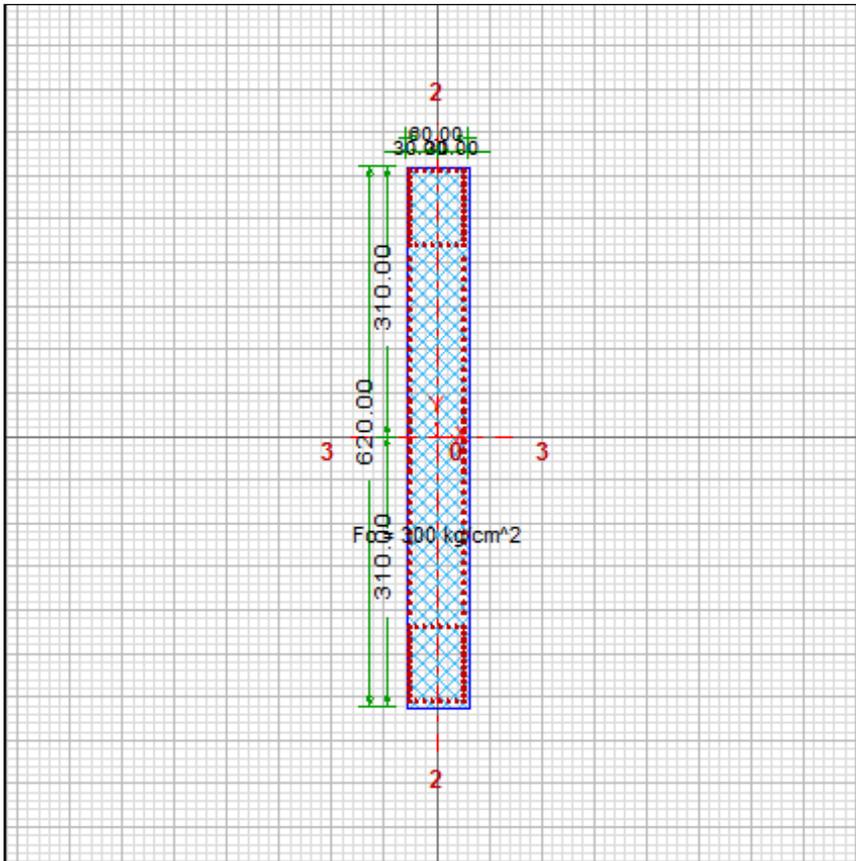
MURO 2. Corte transversal en la base del muro.

MURO 2. Acero de Confinamiento MEB y MOB

## Column:Column2

### Basic Design Parameters

Caption	= Column2	
Default Concrete Strength, Fc	= 300	kg/cm <sup>2</sup>
Default Concrete Modulus, Ec	= 260000	kg/cm <sup>2</sup>
Maximum Concrete Strain	= 0.003	in/in
Rebar Set	= ASTM	
Default Rebar Yeild Strength, Fy	= 4200	kg/cm <sup>2</sup>
Default Rebar Modulus, Es	= 2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Default Cover to Rebars	= 4.00	cm
Maximum Steel Strain	= Infinity	
Transverse Rebar Type	= Ties	
Total Shapes in Section	= 1	
Consider Slenderness	= No	



Section Diagram

### Cross-section Shapes

Shape	Width cm	Height cm	Conc Fc kg/cm <sup>2</sup>	S/S Curve	Rebars
General Polygon	60.00	620.00	300.00	ACI-Whitney Rectangular	72-#7+72-#8

---

**Basic Section Properties:**

Total Width	= 60.00	cm
Total Height	= 620.00	cm
Center, X <sub>o</sub>	= 0.00	cm
Center, Y <sub>o</sub>	= 0.00	cm

X-bar (Right)	= 30.00	cm
X-bar (Left)	= 30.00	cm
Y-bar (Top)	= 310.00	cm
Y-bar (Bot)	= 310.00	cm

**Transformed Properties:**

Base Material	= $f_c' = 300$	
	kg/cm <sup>2</sup>	
Area, A	= 3.72E+04	cm <sup>2</sup>
Inertia, I <sub>xx</sub>	= 1.19E+09	cm <sup>4</sup>
Inertia, I <sub>yy</sub>	= 1.12E+07	cm <sup>4</sup>
Inertia, I <sub>xy</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>4</sup>
Radius, r <sub>x</sub>	= 178.98	cm
Radius, r <sub>y</sub>	= 17.32	cm

**Additional Section Properties:****Transformed Properties:**

Base Material	= $f_c' = 300$	
	kg/cm <sup>2</sup>	
Modulus, S <sub>3</sub> (Top)	= 3.84E+06	cm <sup>3</sup>
Modulus, S <sub>3</sub> (Bot)	= 3.84E+06	cm <sup>3</sup>
Modulus, S <sub>2</sub> (Left)	= 3.72E+05	cm <sup>3</sup>
Modulus, S <sub>2</sub> (Right)	= 3.72E+05	cm <sup>3</sup>
Plastic Modulus, Z <sub>3</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>3</sup>
Plastic Modulus, Z <sub>2</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>3</sup>
Torsional, J	= 4.30E+07	cm <sup>4</sup>
Shear Area, A <sub>3</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>2</sup>
Shear Area, A <sub>2</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>2</sup>
Principal Angle	= 0.00E+00	Deg
Inertia, I <sub>33'</sub>	= 1.19E+09	cm <sup>4</sup>
Inertia, I <sub>22'</sub>	= 1.12E+07	cm <sup>4</sup>

**Framing Along-X**

Total C/C Length, L <sub>c</sub>	= 3.500	m
Unsupported Length, L <sub>u</sub>	= 3.000	m
Framing Type	= 4	
Framing Case	= 0	
K Factor, Braced	= 1.00	
KI/r, Braced	= 1.68	
K Factor, Unbraced	= 1.00	
KI/r, Unbraced	= 1.68	

**Framing Along-Y**

Total C/C Length, L <sub>c</sub>	= 3.500	m
Unsupported Length, L <sub>u</sub>	= 3.000	m

---

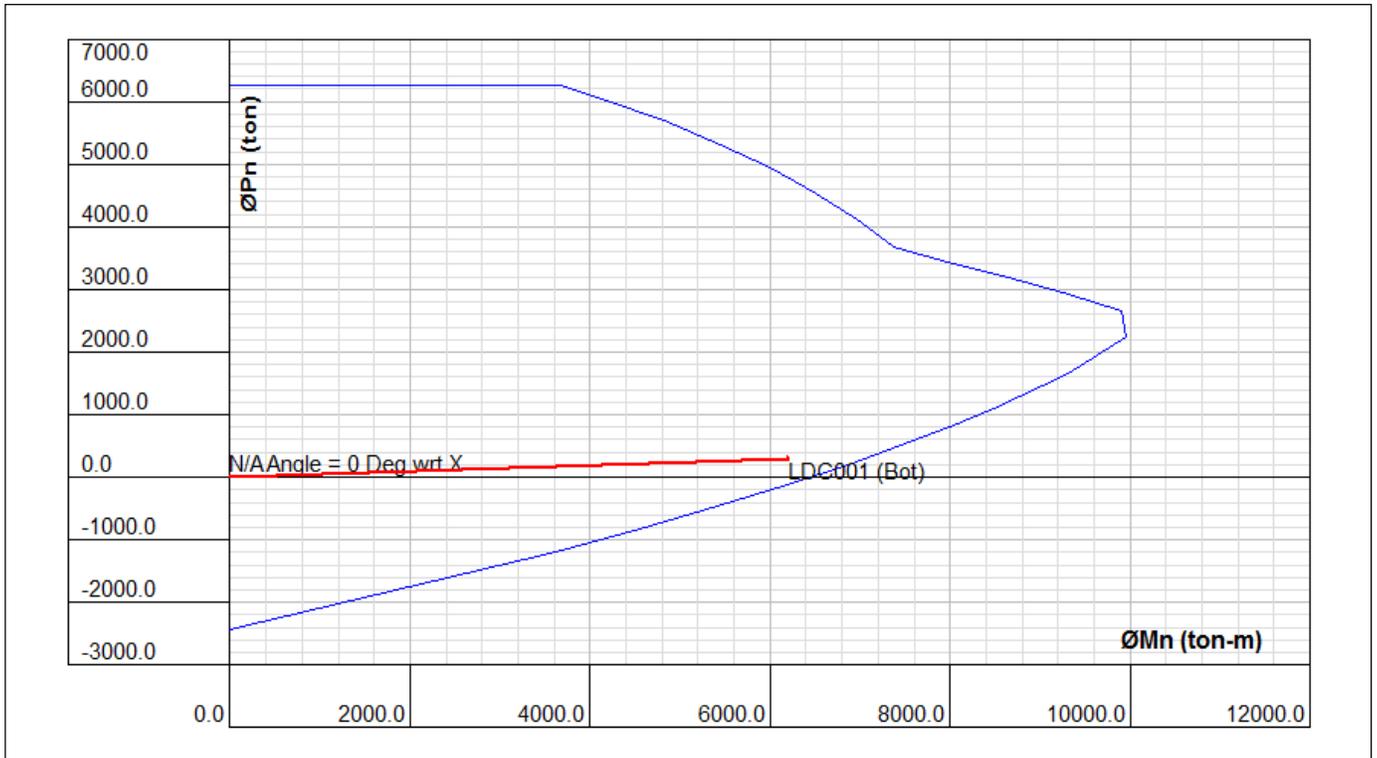
Framing Type = 4  
Framing Case = 0  
K Factor, Braced = 1.00  
Kl/r, Braced = 17.32  
K Factor, Unbraced = 1.00  
Kl/r, Unbraced = 17.32

**Final Design Loads**

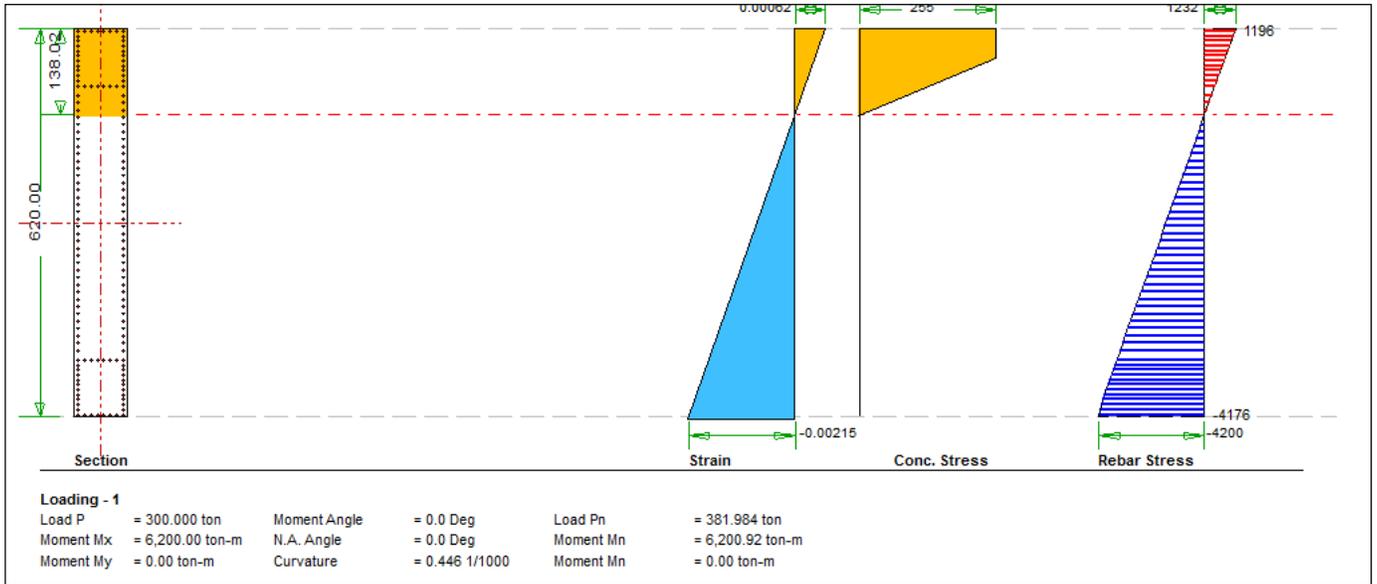
Sr.No	Combination	Load Pu ton	Mux-Bot ton-m	Muy-Bot ton-m	Mux-Top ton-m	Muy-Top ton-m
1	Combination1	300.00	6,200.00	0.00	0.00	0.00

**Result Summary**

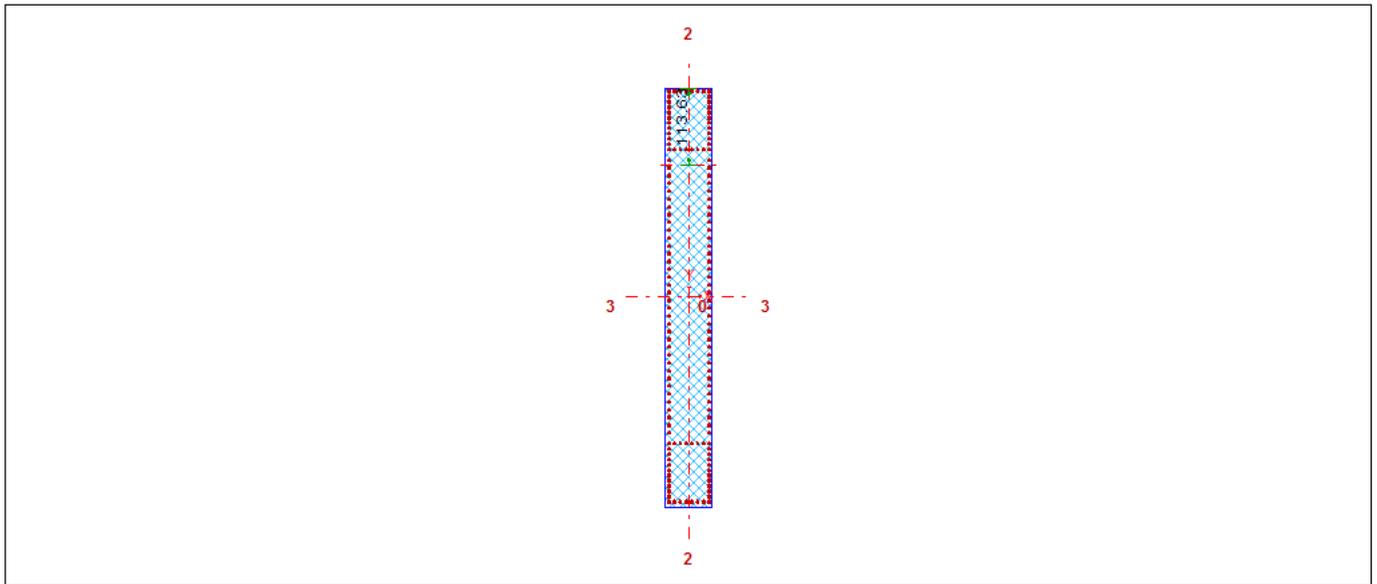
Sr.No	Combination	Pu (ton)	Cap. Ratio-Bot	Cap. Ratio- Top	Remarks
1	Combination1	300.00	0.867	0.048	Capacity OK



Load-Moment Interaction



Load Point Location: Loading-1 (Top)

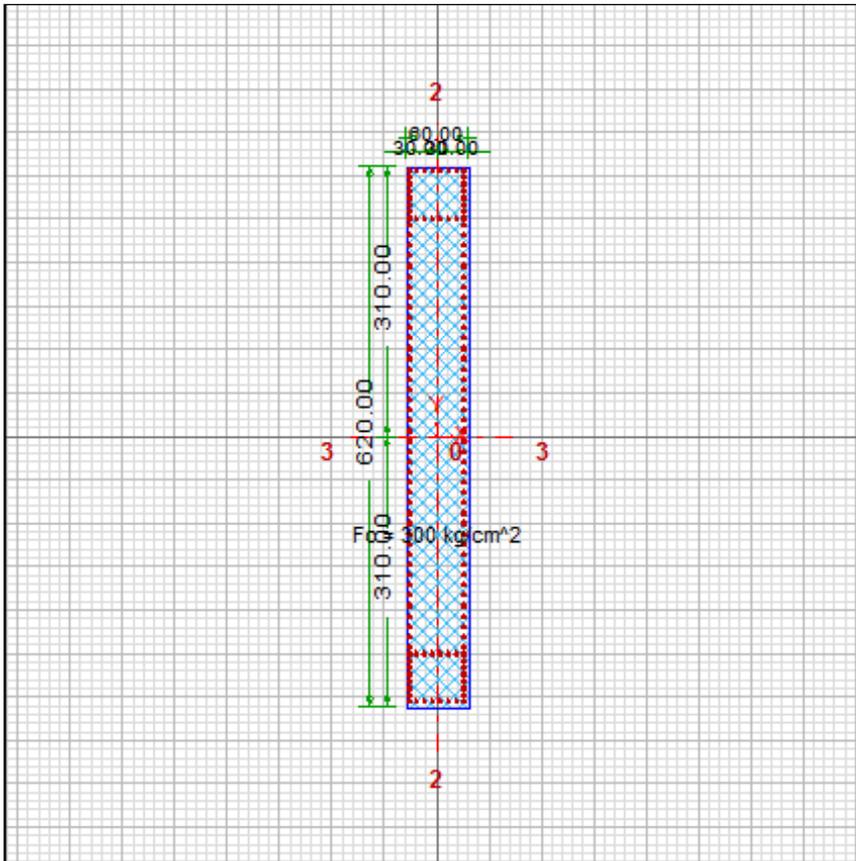


Neutral Axis Location: Loading-1 (Bot)

## Column:Column2

### Basic Design Parameters

Caption	= Column2	
Default Concrete Strength, Fc	= 300	kg/cm <sup>2</sup>
Default Concrete Modulus, Ec	= 260000	kg/cm <sup>2</sup>
Maximum Concrete Strain	= 0.003	in/in
Rebar Set	= ASTM	
Default Rebar Yeild Strength, Fy	= 4200	kg/cm <sup>2</sup>
Default Rebar Modulus, Es	= 2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Default Cover to Rebars	= 4.00	cm
Maximum Steel Strain	= Infinity	
Transverse Rebar Type	= Ties	
Total Shapes in Section	= 1	
Consider Slenderness	= No	



Section Diagram

### Cross-section Shapes

Shape	Width cm	Height cm	Conc Fc kg/cm <sup>2</sup>	S/S Curve	Rebars
General Polygon	60.00	620.00	300.00	ACI-Whitney Rectangular	84-#7+56-#8

---

**Basic Section Properties:**

Total Width	= 60.00	cm
Total Height	= 620.00	cm
Center, X <sub>o</sub>	= 0.00	cm
Center, Y <sub>o</sub>	= 0.00	cm

X-bar (Right)	= 30.00	cm
X-bar (Left)	= 30.00	cm
Y-bar (Top)	= 310.00	cm
Y-bar (Bot)	= 310.00	cm

**Transformed Properties:**

Base Material	= $f_c' = 300$	
	kg/cm <sup>2</sup>	
Area, A	= 3.72E+04	cm <sup>2</sup>
Inertia, I <sub>xx</sub>	= 1.19E+09	cm <sup>4</sup>
Inertia, I <sub>yy</sub>	= 1.12E+07	cm <sup>4</sup>
Inertia, I <sub>xy</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>4</sup>
Radius, r <sub>x</sub>	= 178.98	cm
Radius, r <sub>y</sub>	= 17.32	cm

**Additional Section Properties:****Transformed Properties:**

Base Material	= $f_c' = 300$	
	kg/cm <sup>2</sup>	
Modulus, S <sub>3</sub> (Top)	= 3.84E+06	cm <sup>3</sup>
Modulus, S <sub>3</sub> (Bot)	= 3.84E+06	cm <sup>3</sup>
Modulus, S <sub>2</sub> (Left)	= 3.72E+05	cm <sup>3</sup>
Modulus, S <sub>2</sub> (Right)	= 3.72E+05	cm <sup>3</sup>
Plastic Modulus, Z <sub>3</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>3</sup>
Plastic Modulus, Z <sub>2</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>3</sup>
Torsional, J	= 4.30E+07	cm <sup>4</sup>
Shear Area, A <sub>3</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>2</sup>
Shear Area, A <sub>2</sub>	= 0.00E+00	cm <sup>2</sup>
Principal Angle	= 0.00E+00	Deg
Inertia, I <sub>33'</sub>	= 1.19E+09	cm <sup>4</sup>
Inertia, I <sub>22'</sub>	= 1.12E+07	cm <sup>4</sup>

**Framing Along-X**

Total C/C Length, L <sub>c</sub>	= 3.500	m
Unsupported Length, L <sub>u</sub>	= 3.000	m
Framing Type	= 4	
Framing Case	= 0	
K Factor, Braced	= 1.00	
KI/r, Braced	= 1.68	
K Factor, Unbraced	= 1.00	
KI/r, Unbraced	= 1.68	

**Framing Along-Y**

Total C/C Length, L <sub>c</sub>	= 3.500	m
Unsupported Length, L <sub>u</sub>	= 3.000	m

---

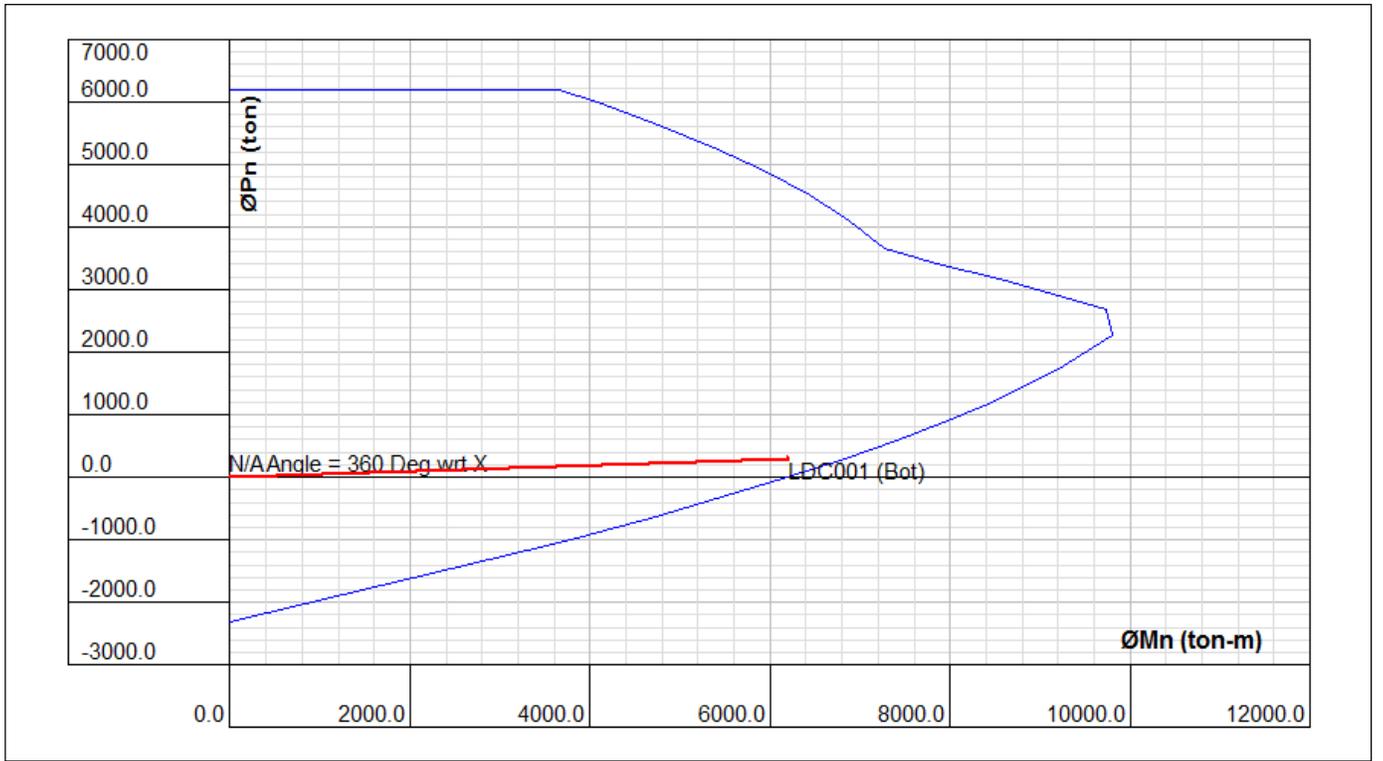
Framing Type = 4  
Framing Case = 0  
K Factor, Braced = 1.00  
Kl/r, Braced = 17.32  
K Factor, Unbraced = 1.00  
Kl/r, Unbraced = 17.32

**Final Design Loads**

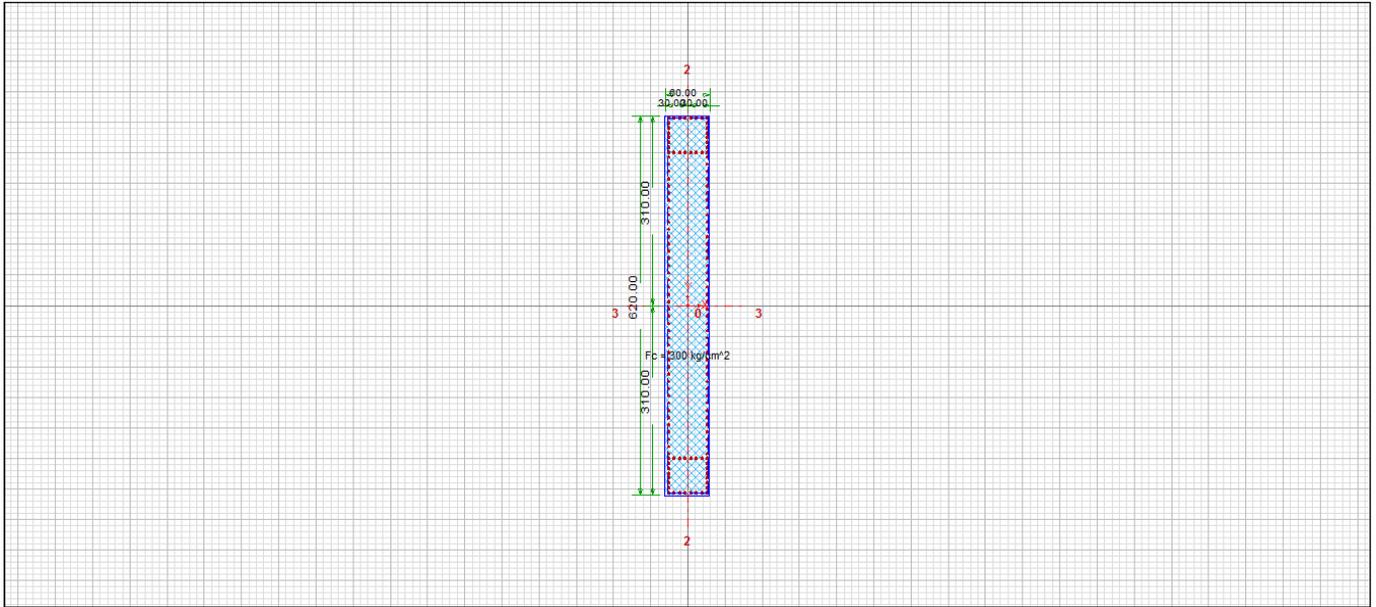
Sr.No	Combination	Load Pu ton	Mux-Bot ton-m	Muy-Bot ton-m	Mux-Top ton-m	Muy-Top ton-m
1	Combination1	300.00	6,200.00	0.00	0.00	0.00

**Result Summary**

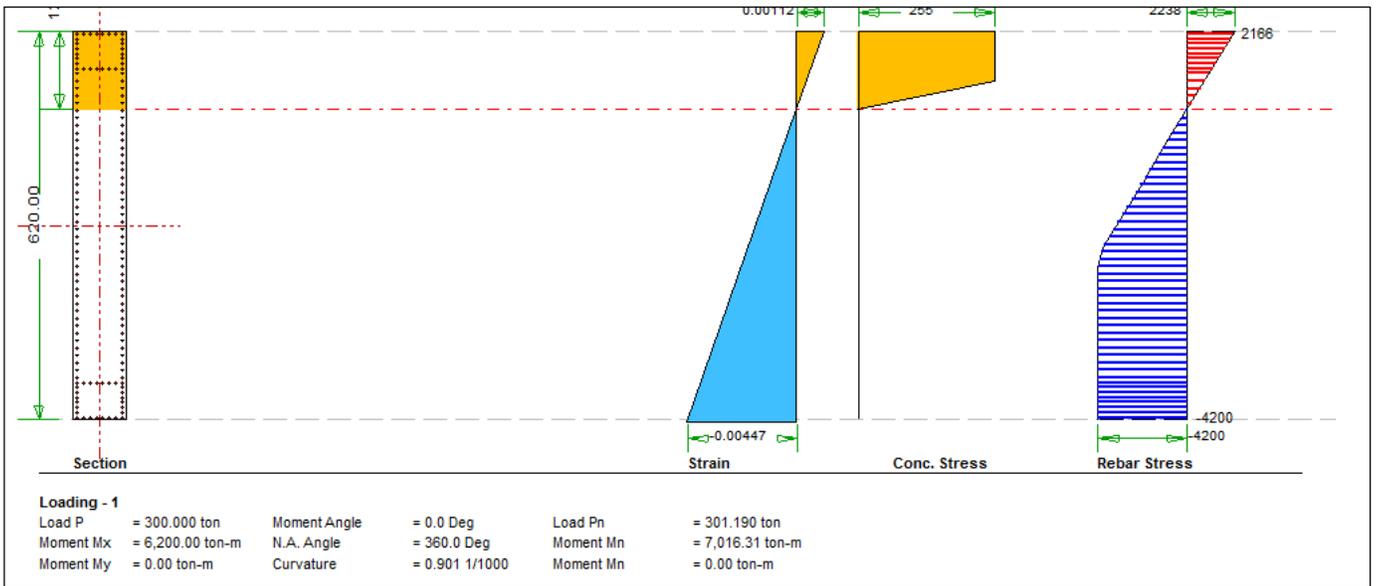
Sr.No	Combination	Pu (ton)	Cap. Ratio-Bot	Cap. Ratio- Top	Remarks
1	Combination1	300.00	0.898	0.049	Capacity OK



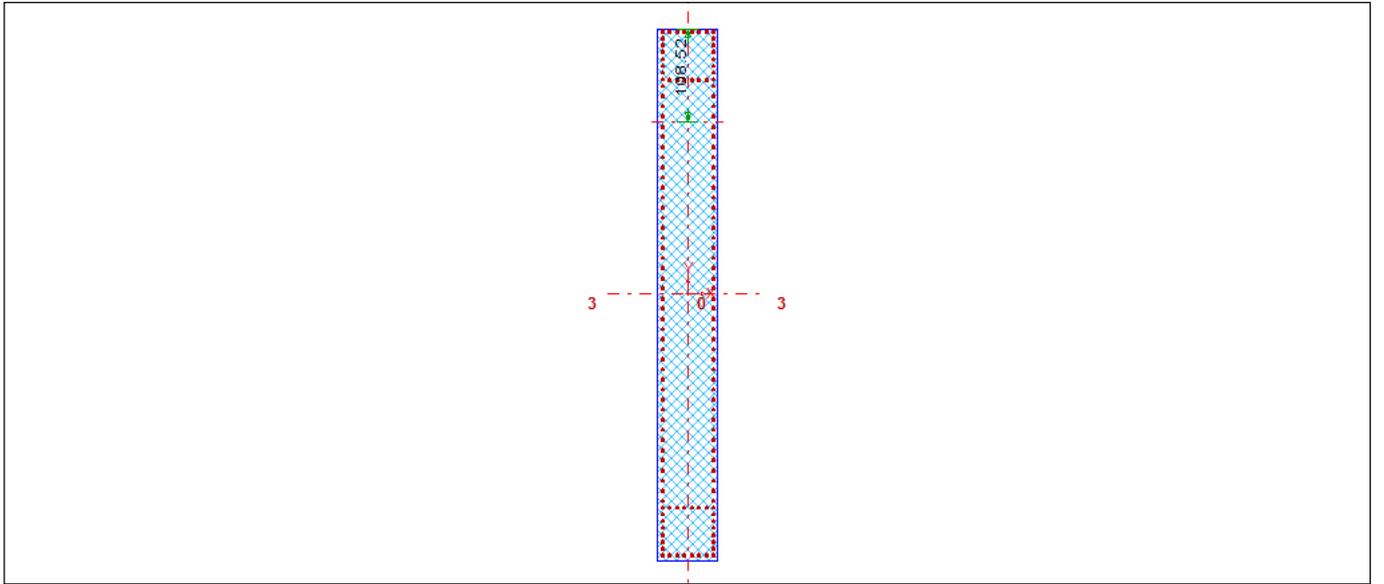
Load-Moment Interaction



Column2 - Section View



Rebar Stresses: Loading-1 (Bot)



Neutral Axis Location: Loading-1 (Bot)