



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**CLASIFICACIÓN DE CONSULTAS REALIZADAS  
A LA COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL  
RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO  
RESISTENTES E INTERPRETACIÓN DE MUROS  
ESTRUCTURALES ESPECIALES**

Jairo Antonio Echeverria Russi

Jairo Alejandro Mesa Mejía

Universidad de Antioquia

Facultad, de Ingeniería

Medellín, Colombia

2021

Clasificación De Consultas Realizadas A La Comisión Asesora Permanente Para El Régimen De  
Construcciones Sismo Resistentes E Interpretación De Muros Estructurales Especiales

**Jairo Antonio Echeverria Russi**

**Jairo Alejandro Mesa Mejía**

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras**

Asesores (a):

Juan Carlos Vélez Cadavid

Línea de investigación: Estructuras

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería.

Medellín, Colombia

2021.

### **Dedicatoria**

A dios,

A mi hija Valeria quien es mi motivación,

A la memoria de mi madre,

A mi esposa,

A mi padre,

A mis hermanas,

A mis sobrinos Thomas y Juan Andrés.

*Jairo Antonio Echeverria Russi*

Este trabajo está dedicado a Natalia Mesa Mejía, mi hermana y confidente que partió de este mundo dejando un gran vacío en mi corazón, pero a su vez miles de lecciones y aprendizajes porque gracias a ella aprendí que la vida te estremece, muchas veces sin esperarlo, y nos sacude para salir de nuestra zona de confort y lograr nobles ideales.

*Jairo Alejandro Mesa Mejía*

## **Agradecimientos**

Un especial agradecimiento al ingeniero Juan Carlos Vélez quien hizo desde el principio todo este proceso posible, por su interés y dedicación en formar profesionales responsables.

A mi madre (Q.E.P.D.), a mi esposa y en general a mi familia quien me apoyo siempre para continuar.

*Jairo Antonio Echeverria Russi*

A mis padres por apoyarme siempre en cada meta que decido alcanzar, a mis hermanos por ser un pilar fundamental en mi vida, y a mis suegros y novia por siempre creer en mis habilidades y capacidades y darme una voz de aliento, a nuestro director de trabajo de grado por estar siempre prestos a ayudarnos ante cualquier eventualidad, y a todos los profesores y compañeros que hicieron parte de este proceso.

*Jairo Alejandro Mesa Mejía*

## RESUMEN

El diseño de edificaciones sismo resistentes ha sido una responsabilidad de nuestro gobierno, con el ánimo de salvaguardar la vida y el patrimonio de los colombianos ha promulgado leyes y normas para reglamentar los debidos procesos de diseño y construcción, en cabeza de la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS) delegado del Gobierno, está la responsabilidad de promulgar el código de construcción, evaluarlo, corregirlo y actualizarlo; también de resolver y aclarar dudas sobre su implementación por medio de respuestas a cuestionamientos que las personas o instituciones elevan a la comisión.

Las inquietudes son evaluadas por los distintos comités designados que conforman la comisión y las respuestas se publican en las actas que se registran de dichas reuniones, en ocasiones conceptualizando la filosofía y los recursos técnicos y científicos que sustentan las inquietudes formuladas por medio de documentos adicionales o anexos a las actas.

Las inquietudes son de varios indoles y las respuestas quedan inmersas en un documento que presenta dificultad para consultar debido a la no existencia de un índice que contenga el inventario general de todas las actas, lo que motiva este trabajo a desarrollar unos índices de las diferentes consultas de todas las actas a partir de la vigencia de la NSR-10, categorizando el tema de las consultas.

Adicional se selecciona un tema que hubiese presentado recurrencia en las consultas y que fuera de carácter técnico y de interés para el diseño y análisis de estructuras, de esta manera se seleccionó un tema con gran relevancia en la ingeniería y con una evolución a nivel científico y de implementación en las construcciones colombianas como lo es el diseño de muros estructurales especiales.

Se realiza un análisis de los fundamentos de diseño de los muros estructurales bajo la normatividad colombina NSR-10 y se investiga el estado del arte a nivel técnico y científico como

a nivel de normalización moderna, comparándolo con la última versión del ACI-318 que sirve como referencia para la construcción del título de concreto del código colombiano de sismo resistencia; realizando un paralelo entre las exigencias de las dos normatividades.

## Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	12
2	OBJETIVO GENERAL.....	14
3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
4	ALCANCE .....	14
5	MARCO TEÓRICO.....	16
5.1	Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes.....	16
5.2	Muros Estructurales De Concreto.....	20
5.2.1	Fundamentos De Los Muros .....	20
5.2.2	Principios Para El Diseño De Muros Estructurales Especiales .....	24
5.2.3	Factores Para Tener En Cuenta En El Diseño De Muros Estructurales De Concreto	26
6	Tablas De Actas .....	27
6.1	Temas de las consultas a la comisión asesora permanente .....	27
7	Paralelo Entre la Nsr-10 y Aci-318-19 para El Diseño de Muros Especiales .....	28
7.1	REQUISITOS GENERALES PARA MUROS NSR-10 .....	30
7.2	REQUISITOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA MUROS ESPECIALES NSR-10 Y ACI 318 .....	32
7.2.1	Cuantías de Refuerzo en Muros: .....	32
7.2.2	Refuerzo en Elementos de Borde en la sección crítica .....	33
7.2.3	El Espaciamiento Del Refuerzo.....	35
7.2.4	Desarrollo y empalmes del refuerzo.....	35

7.2.5	Fuerzas de diseño .....	39
7.2.6	Resistencia de diseño a cortante .....	39
7.2.7	Resistencia a Cortante .....	40
7.2.8	Flexión y fuerza axial .....	44
7.2.9	Elementos de borde para muros estructurales especiales.....	45
7.2.10	Dimensiones de Elementos de Borde.....	46
7.2.11	Refuerzo de elementos de Borde.....	47
7.2.12	Detallado de Elementos de Borde.....	48
7.2.13	Cuando no se requieran elementos de borde.....	52
9	Conclusiones .....	53
10	Referencias .....	54
11	Anexo A.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de temas de las actas de la Comisión Asesora Permanente .....	27
Tabla 2 Refuerzo mínimo para muros DMI. ....	30
Tabla 3 Separación del refuerzo en muros ordinarios según ACI-318 .....	31
Tabla 4 Espesor mínimo de muro. h. ....	32
Tabla 5 Cuantías de refuerzo en muros especiales. ....	33
Tabla 6 Cuantía mínima en los extremos del muro a una distancia $0.15lw$ . ....	34
Tabla 7 Requisitos de empalmes mecánicos de barras según NSR-10 y ACI 318.....	36
Tabla 8 Principio de diseño fuerza cortante. ....	39
Tabla 9 Fuerzas de diseño a cortante NSR-10 y ACI.....	40
Tabla 10 Valores del coeficiente de sobre resistencia en la sección crítica ( $\Omega v$ ).....	41
Tabla 11 Valor del coeficiente de amplificación dinámica $\omega v$ .....	42
Tabla 12 Valores de $Vn$ para segmentos de muro .....	43
Tabla 13 Resistencia nominal axial.....	44
Tabla 14 Resistencia a tracción máxima.....	45
Tabla 15 Condición para la necesidad de elementos de borde. ....	46
Tabla 16 Requisitos dimensionales de los elementos de borde especiales. ....	47
Tabla 17 Requisitos de refuerzo transversal en elementos de borde. ....	47
Tabla 18 Requisitos del refuerzo trasversal en muros que no necesiten elementos de borde .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fuerzas dentro y fuera del plano del muro (ACI 318, 2019) .....	21
Figura 2. Dimensiones de los muros. ....	22
Figura 3. Efectos de desplazamiento del muro ante fuerzas horizontales (Autores).....	22
Figura 4. Curvatura inelástica del muro cuando se alcanza la planificación (AIS, 2018). .....	23
Figura 5. Diagrama de deformaciones en la sección. Fuente (Acta 149 AIS) .....	24
Figura 6. Configuraciones de muro donde debe localizarse el refuerzo de los E.B. (ACI 318, 2019).....	34
Figura 7. Modelo para selección inicial de refuerzo de tracción a flexión. (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011) donde: $j2lw \approx 0.8lw$ . ....	36
Figura 8. Disposición de desarrollo del refuerzo vertical según NSR-10 y ACI-318 (Autores). ....	37
Figura 9. Zonas de los E.B. en las alturas donde se prohíben los empalmes (ACI 318, 2019). ....	38
Figura 10. Determinación de la fuerza cortante para muros con $hw/lw \geq 2.0$ (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011) .....	42
Figura 11. Detalle de segmentos vertical y horizontal en un muro (ACI 318, 2019).....	44
Figura 12. Cuantía de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de borde en el muro (AIS, 2010) .....	49
Figura 13. Detalle de estribos cerrado de confinamiento del perímetro (ACI 318, 2019). .....	49
Figura 14- Estribos cerrados de confinamiento superpuestos con ganchos suplementarios (ACI 318, 2019).....	50
Figura 15 Anclaje del refuerzo horizontal en el elemento de borde (ACI 318, 2019). ....	50

Figura 16. Refuerzo longitudinal en los elementos de borde (ACI 318, 2019). ..... 51

Figura 17. Detalle de refuerzo en elementos de borde y machones (ACI 318, 2019).... 52

## 1 INTRODUCCIÓN

El gobierno nacional colombiano con la intención de salvaguardar las vidas humanas y los patrimonios públicos y privados ante la eventualidad de la ocurrencia de un sismo en el territorio nacional se ve en la necesidad de normalizar los procedimientos de diseño y de construcción de edificaciones, las cuales sean capaces de soportar las fuerzas sísmicas, otras impuestas por la naturaleza y las debidas a su uso.

Su primer intento fue legislado por medio del decreto 1400 de 1984 por el cual se adopta el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes, expedido por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Catorce años después se actualiza la legislación por medio de la ley 400 de 1997, aprobada por el Congreso de la República, donde se establece el alcance técnico y científico mediante la NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente) y crea la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes para la interpretación y aplicación de las normas sobre construcciones sismo resistentes.

La ley 400 de 1997 deja establecido el mecanismo de expedir decretos reglamentarios que establezcan los requisitos de carácter técnico y científico que resulten pertinentes para cumplir con el objeto de la ley, de tal manera que complementen o sustituyan apartes de la reglamentación, con el propósito de tener en cuenta avances y desarrollos tecnológicos sucedidos posteriormente a la legislación.

En uso del mecanismo establecido en la ley 400/97, la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes da visto favorable a la actualización de la NSR-98, El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial por medio del Decreto 929 del 19 de marzo de 2010 adopta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 como el nuevo reglamento de construcciones, el cual hoy se encuentra vigente.

La comisión Asesora Permanente se reúne para atender y resolver las consultas que formulen acerca de las normas sismo resistentes, dirigir y supervigilar las investigaciones que se lleven a cabo sobre aspectos relacionados con la Ley 400 de 1997, coordinar seminarios sobre actualizaciones de las normas entre otras

Cada vez que se reúne la Comisión Asesora Permanente, se eleva un Acta oficial en donde se plasman los aspectos y temas más relevantes, así como las consultas que emiten las entidades y los particulares las cuales son publicadas en medios oficiales para que sean un material de consulta que permita resolver y aclarar interrogantes.

A pesar de que la información es pública y se encuentra disponible, es tediosa la búsqueda del tema de interés que permita reconocer de una forma ágil si su interrogante ya fue consultado y resuelto por la comisión, es por ello por lo que en este trabajo de monografía se recopilará esta información y se ordenará por temática para facilitar su consulta mediante un cuadro índice.

Adicional a esta clasificación se escogerá un tema de consultas recurrentes para ampliar y profundizar dicha información.

## **2 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la clasificación de las consultas elevadas a la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes consignadas en las en las actas de la comisión desde el inicio de la vigencia de la NSR-10 hasta la fecha del 10 de diciembre de 2020.

## **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Crear un cuadro de información donde se catalogue por tema general y específico cada uno de los interrogantes consultados a la Comisión Asesora Permanente.
- Crear un cuadro resumen por tema, que indique el número de las actas y el inciso interno dónde fue tratado el tema y su correspondiente respuesta.
- Filtrar la información de cada acta sustrayendo todo lo relacionado a la NSR-10 y decretos complementarios de carácter técnico de cálculo y diseño.
- Seleccionar un tema recurrente o de interés para profundizar los contenidos de las consultas y respuestas a las mismas que requieran mayor claridad con las investigaciones científicas adelantadas hasta el momento.
- Generar un glosario de preguntas frecuentes de acuerdo con la información de las actas.

## **4 ALCANCE**

El alcance de esta monografía está en entregar un cuadro resumen de las diferentes consultas realizadas a la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, a partir de la NSR-10, la cual entró en vigor el 15 de diciembre de 2010 por medio del decreto 2525 del 13 de julio de 2010. Hasta la fecha se han publicado 169 actas, desde el 12 de mayo de 1998, hasta el 10 de diciembre de 2020, para el caso de estudio se tendrán en cuenta las actas desde el año 2010, aunque la norma fue de carácter obligatorio desde el último mes, la norma se presentó y promulgó en los meses previos, por ende, pueden existir consultas

ante la comisión de la nueva normatividad, es decir desde el acta No. 82 de 23 de febrero de 2010.

Como valor agregado, se pretende hacer énfasis de profundización y actualización de un tema específico consultado a la comisión (CAP) que haya sido recurrente y que tenga que ver en su argumentación con temas de carácter técnico de cálculo y diseño de edificaciones, donde las respuestas a las consultas del tema no estén de manifiesto satisfechas o requieran un mayor grado de claridad, si es el caso se realiza un ejemplo numérico.

El tema seleccionado debido a su interés técnico, recurrencia y pertinencia en el área de diseño corresponde al diseño de muros de concreto estructurales de concreto, tema el cual la comisión asesora permanente también lo notó y realizó un pronunciamiento en el acta 149 de 26 de julio de 2018, donde expide este documento anexo: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUROS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO EN EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE Y SU TRAZABILIDAD NORMATIVA", el cual intentaba dar claridad a la metodología y fundamentación del diseño de muros, pero aun así, faltó un poco más de claridad según los autores.

Basados en esta necesidad de claridad se toma el tema como caso de estudio, donde se explica el diseño de muros especiales construidos en sitio a la luz de la norma colombiana sismo-resistente NSR-10y se analizará el avance del estado del arte, basados en la normatividad ACI-318-19 y su fundamentación en el propósito de los avances o cambios, esta es la norma de referencia para la construcción y actualización del título C del Reglamento Colombiano NSR-10.

## 5 MARCO TEÓRICO

Un código de construcción es de cierta manera un contrato social el cual define para un ámbito nacional un riesgo aceptable para las construcciones, además de proporcionar claridad sobre lo que jurídicamente es permitido y lo que no, en términos de materiales, metodologías de diseño y teorías aplicables.

### 5.1 Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes

El primer código fue creado en el año de 1984 por medio del Decreto 1400 de 1984 expedido por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, vigente hasta 1998, el decreto fue derogado por el artículo 55 de la ley 400 de 1997 aprobada por el Congreso de la República, por la cual se adoptan las normas sobre construcciones sismo resistentes NSR. Se establecieron criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas y la evaluación de construcciones existentes construidas con anterioridad a la norma, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.

Así mismo, bajo esta misma ley se crea la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, lo cual queda consignado en el Artículo 39 de dicho documento.

**ARTICULO 39. COMISIÓN ASESORA PERMANENTE.** *Créase la "Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes" del Gobierno Nacional, para la interpretación y aplicación de las normas sobre construcciones sismo resistentes, la cual estará adscrita al Ministerio de Desarrollo Económico y formará parte del Sistema Nacional para la Atención y Prevención de Desastres.*

De este modo, con la creación de la comisión asesora permanente, que dará interpretación y aplicación a las normas sobre construcción sismo resistente se definen sus funciones en el artículo 41

**ARTICULO 41. FUNCIONES.** La "Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes", tendrá las siguientes funciones:

1. *Atender y absolver las consultas que le formulen las entidades oficiales y los particulares.*
2. *Dirigir y supervigilar las investigaciones que se lleven a cabo sobre aspectos relacionados con la presente ley y su desarrollo.*
3. *Enviar las comisiones de estudio que considere necesarias a las zonas del país que se vean afectadas por sismos o movimientos telúricos y publicar los resultados de tales estudios.*
4. *Coordinar y realizar seminarios y cursos de actualización sobre las normas de construcción sismo resistentes.*
5. *Orientar y asesorar la elaboración de estudios de microzonificación sísmica y fijar los alcances de los mismos.*
6. *Coordinar las investigaciones sobre las causas de fallas de estructuras y emitir conceptos sobre la aplicación de las normas de construcciones sismo resistentes.*
7. *Servir de Órgano Consultivo del Gobierno Nacional para efectos de sugerir las actualizaciones en los aspectos técnicos que demande el desarrollo de las normas sobre construcciones sismo resistentes.*
8. *Fijar dentro del alcance de la presente ley, los procedimientos por medio de los cuales, periódicamente, se acrediten la experiencia, cualidades y conocimientos que deben tener los profesionales que realicen los diseños, su revisión, la construcción y su supervisión técnica, además mantener un registro de aquellos profesionales que hayan acreditado las cualidades y conocimientos correspondientes.*
9. *Nombrar delegados ad honorem ante instituciones nacionales y extranjeras que traten temas afines con el alcance y propósito de la presente ley y sus desarrollos.*
10. *Las demás que le fije la ley.*
11. *Las que le asigne el Gobierno Nacional, según su competencia.*

Por medio del decreto 33 de 1998 por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico científico para construcciones sismo resistentes NSR-98, el cual era de gran necesidad, dado a las situaciones ocurridas en el territorio nacional.

Con la creación del código NSR-98, y la puesta en marcha de la comisión asesora permanente, los constructores y diseñadores, empiezan a referirse a este ente rector para que proporcionara claridad sobre ambigüedades, metodologías y formulaciones de diseño lo cual queda consignado en sus diferentes actas de comité.

Con el mecanismo establecido en la ley 400 de 1997, las normas sismo resistentes se pueden ir complementando y mejorando por medio de decretos complementarios, a continuación, se van a plasmar los diferentes actos modificatorios o complementarios tanto de la ley 400 de 1998, como del código sismo resistente NSR-98:

-Año 1999, se expide el Decreto 034 de 8 de enero de 1999, promulgado por el presidente de la Republica, por medio del cual se modifican algunas disposiciones del decreto 33 de 1998.

-Año 2000, se expide el Decreto 2809 de 29 de diciembre de 2000, promulgado por la Presidencia de la República, por el cual se modifican parcialmente los Decretos 33 de 1998 y 34 de 1999.

-Año 2002, se expide el Decreto 52 de 18 de enero de 2002, reglamentado por la Presidencia de la Republica, por medio del cual se modifica y adiciona el Capítulo E del Decreto 33 de 1998.

-Año 2008, se expide la Ley 1229 de 16 de julio de 2008, legislada por el Congreso de la Republica, por la cual se modifica y adiciona la Ley 400 del 19 de agosto de 1997.

Con la publicación del ACI-318 en el año 2008, norma referente para la construcción del título C de la NSR, se hace imprescindible la revisión y actualización de del código normativo en Colombia, exigiéndose una actualización del código NSR-98.

-Año 2010, se expide el Decreto 926 de 19 de marzo de 2010, promulgado por la Presidencia de la República, por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y

científico para construcciones sismo resistentes NSR-10, y deroga en su totalidad los decretos 33 de 1998, 34 de 1999, 2809 de 2020 y 52 de 2002.

-Año 2010, se expide el Decreto 2525 del 13 de julio de 2010, promulgado por la Presidencia de la República, por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010 y se dictan otras disposiciones.

-Año 2011, se expide el Decreto 092 de 17 de enero de 2011, promulgado por la Presidencia de la República, por el cual se modifica el decreto 926 de 2010.

-Año 2012, se expide el Decreto 340 de 13 de febrero de 2012, emanado por la Presidencia de la República, por el cual se modifica parcialmente el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10.

-Año 2016, se expide la Ley 1796 de 13 de julio de 2016, legislada por el congreso de la República, por la cual se establecen medidas enfocadas a la protección del comprador de vivienda, el incremento de la seguridad de las edificaciones y el fortalecimiento de la Función Pública que ejercen los curadores urbanos, se asignan unas funciones a la Superintendencia de Notariado y Registro y se dictan otras disposiciones.

-Año 2017, se expide el Decreto 945 de 5 de junio de 2017, reglamentado por la Presidencia de la República, por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10.

-Año 2019, se expide el Decreto 2113 de 25 de noviembre de 2019, promulgado por la Presidencia de la República, por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 - Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras disposiciones.

Con el surgimiento de la NSR-10 y todos los demás decretos y leyes que lo modifican, complementan o adicionan, se ven aumentadas las dudas remitidas a la comisión asesora permanente, es por ello por lo que el objetivo de este trabajo es proporcionar un orden a la

información suministrada por la comisión en sus actas en respuesta a las consultas, de esta manera cuando otras personas tengas los mismos interrogantes, los aclaren de una manera rápida, ágil y oportuna.

Debido a la pertinencia de algunas consultas, la CAP emite algunas resoluciones dando claridad a ciertos temas, las cuales a su vez han provocado inquietudes y consecuentemente más consultas, por lo que la Comisión ha tenido que pronunciarse mediante documentos de apoyo técnico, como son los dos documentos publicados en respuesta a interrogantes de la Resolución 017 del 4 de diciembre de 2017 “de la Comisión Asesora Permanente,

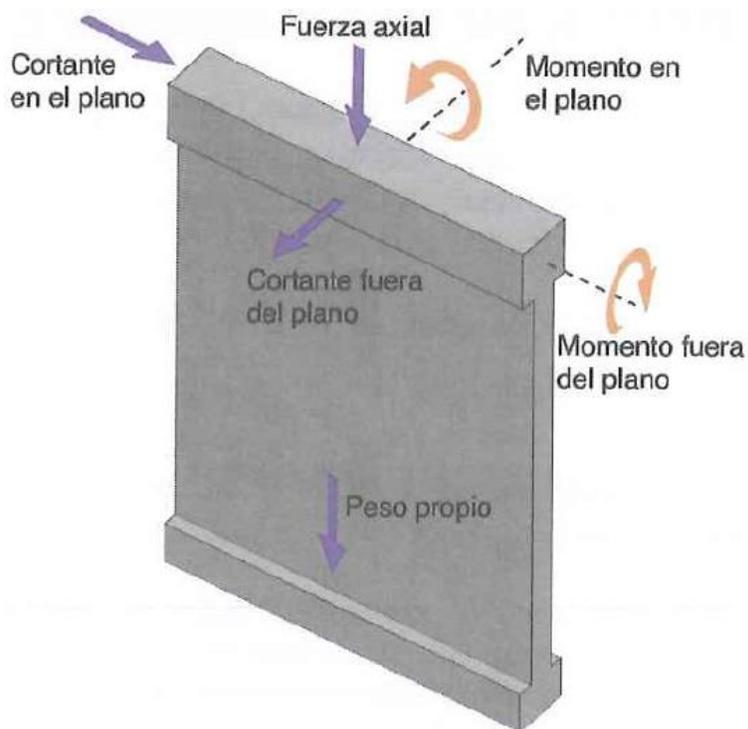
- “Pronunciamiento de la Comisión a las consultas recibidas respecto a la Resolución 0017 de 2017 expedida por la Comisión”, Anexo al Acta No 149 de 26 de julio de 2018.
- Diseño y construcción de muros estructurales de concreto reforzado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente y su trazabilidad normativa”, Anexo al Acta No 149 de 26 de julio de 2018

## **5.2 Muros Estructurales De Concreto**

Es común referirse a los muros de concreto reforzado en edificaciones como muros de corte o de cortante o muros estructurales, debido a su capacidad de resistir un porcentaje de la fuerza de corte total en estructuras, aunque el termino no es tan apropiado, debido a que los muros se pueden diseñar por flexión del cual se espere una falla dúctil.

### **5.2.1 Fundamentos De Los Muros**

Los muros estructurales se ven sometidos a las sollicitaciones de fuerza axial, fuerza cortante y momento.

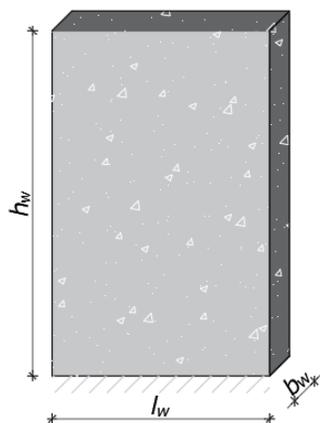


**Figura 1 Fuerzas dentro y fuera del plano del muro (ACI 318, 2019)**

La carga axial es debida a las cargas de servicio y el peso propio, las fuerzas de cortante debidas a los desplazamientos por fuerzas sísmicas o de viento y los momentos son causados por estas fuerzas o transferidos por los elementos que conectan con el elemento.

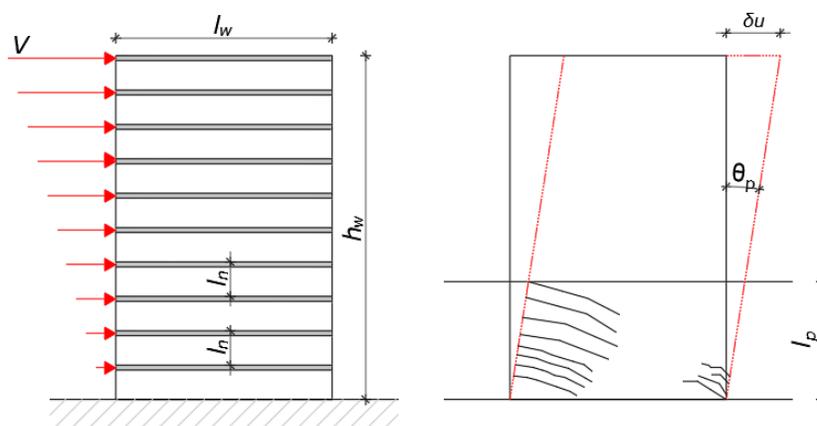
En edificios, la utilización de elementos de cortante tipo muro, son cada día más comunes, aportan gran rigidez ante fuerzas horizontales, son regulados por los códigos de construcción según el nivel de amenaza sísmica de la zona donde se construyan, existiendo muros con capacidades de disipación de energía mínima hasta muros con capacidad de disipación de energía especial, conocidos hoy en día como muros estructurales especiales.

Ante las fuerzas horizontales el muro se va a deformar hasta un desplazamiento máximo inelástico denominado  $\delta_u$ , donde se generan las roturas plásticas tanto de compresión como de tracción,



**Figura 2. Dimensiones de los muros.**

A continuación, se observa el efecto del desplazamiento debido a las fuerzas horizontales  $V$  que someten el muro a cortante.



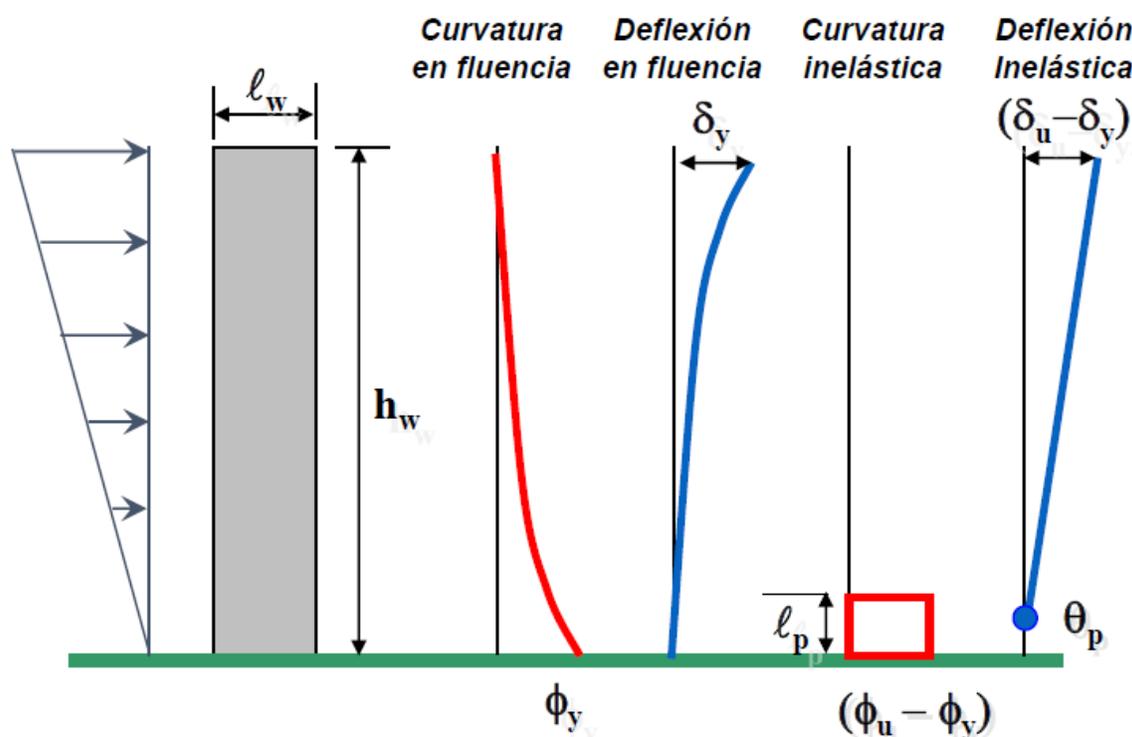
**Figura 3. Efectos de desplazamiento del muro ante fuerzas horizontales (Autores).**

Las rotulas plásticas se generan a una altura igual a la longitud de plastificación  $l_p$  que equivale aproximadamente según el modelo analítico empleado a un medio de la longitud del muro  $l_w/2$  (ASCE, 2014), lo que genera la formación de una rotación plástica denominada  $\theta_p$  que es igual a desplazamiento máximo inelástico denominado  $\delta u$  dividido en la altura del muro:

$$\theta_p = \frac{\delta u}{h_w} \quad (1)$$

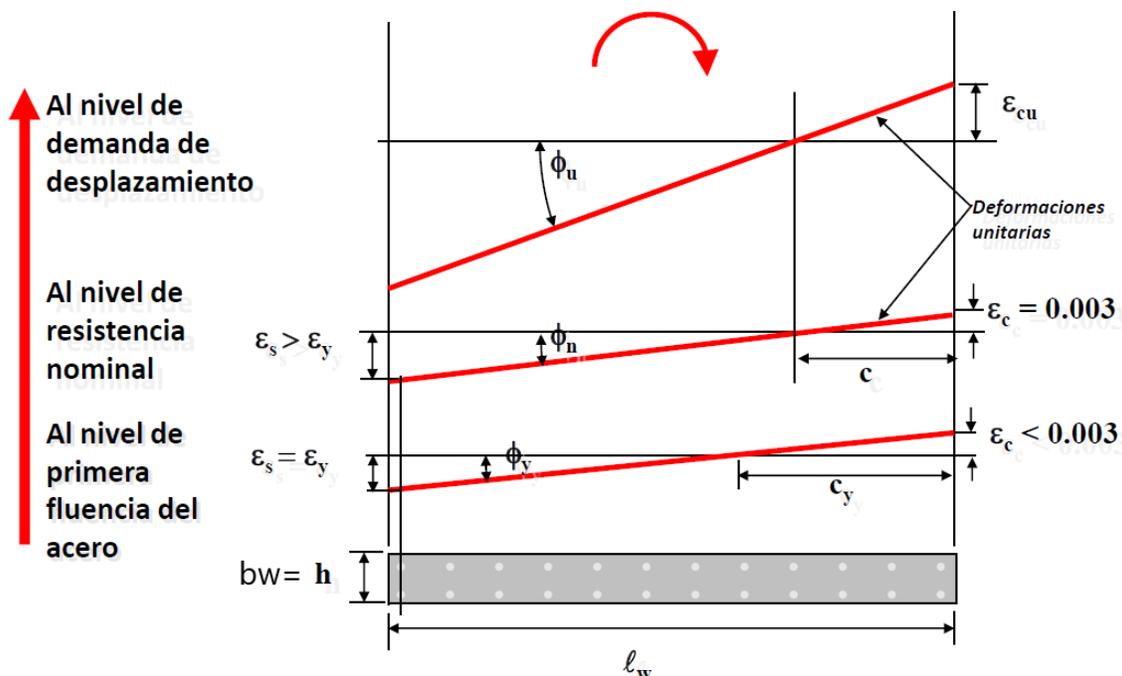
Existen propuestas para la consideración de la longitud de la rótula plástica, debe no considerarse menor a una altura de piso en muros sometidos a flexión (Arciniegas, 2020), esta es una de las propuestas, en ciertos casos, esa expresión puede resultar no aplicable.

Al graficar la curvatura inelástica del muro cuando éste alcanza la plastificación en los extremos donde se forman de las rotulas plásticas de compresión y de tracción, lo que genera una gran deformación, momento en el cual se genera la curvatura última hasta la longitud de plastificación  $l_p$



**Figura 4. Curvatura inelástica del muro cuando se alcanza la plastificación (AIS, 2018).**

Revisando lo que ocurre en la sección del muro ubicada a una altura comprendida en la longitud de plastificación, se observa el diagrama de deformaciones



**Figura 5. Diagrama de deformaciones en la sección. Fuente (Acta 149 AIS)**

Donde:

$\epsilon_c$ = Deformación unitaria del concreto

$\epsilon_s$ = Deformación unitaria del acero

$\epsilon_{cu}$ = Deformación unitaria última del concreto, el ACI, determino que es igual a 0.003

$c$ = Distancia al eje Neutro

$c_y=c_{lim}$ = Distancia al eje Neutro

$\phi_u$ =Curvatura ultima

$\phi_n$ =Curvatura nominal

$\phi_y$ =Curvatura fluencia

### 5.2.2 Principios Para El Diseño De Muros Estructurales Especiales

Basados en las recomendaciones en las cuales muchos autores (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011) (Massone, Bonelli, Lagos, Wallace, & Moehle, 2012) (Aaleti, Brueggen, Johnson, French, & Sritharan, 2013) (Moehle J. , 2015) parecen coincidir para un eficiente diseño de muros esbeltos, con buena capacidad de disipación de energía y estabilidad,

se enuncian los principios para el diseño de muros estructurales de concreto especiales con relación de aspecto  $l_w/h_w > 2$ .< construidos in-situ.

Cuando se diseñan muros siguiendo las exigencias de los códigos de construcción NSR-10, ACI 318, ASCE 7 y demás normativas similares, implícitamente se otorga unas cualidades de desempeño dúctil en el rango inelástico, capaces de resistir los movimientos cíclicos inversos producidos por un evento sísmico. Proporcionando una buena configuración en dimensiones y un detallado adecuado del refuerzo del muro, se podría prever una respuesta optima a nivel de diseño del elemento (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011) (Moehle J. , 2015).

Se hace enfoque en muros con una relación  $h_w / l_w \geq 2$ , también llamados muros esbeltos los cuales se asemejan en su comportamiento a voladizos a flexión, estos se diseñan esperando que su falla se produzca por un mecanismo debido a la flexión, poseen gran rigidez que les permite resistir cargas laterales y disminuir las deformaciones (Aaleti, Brueggen, Johnson, French, & Sriharan, 2013) y ayuda a cumplir los desplazamientos que exigen los códigos de construcción.

Buscar en el diseño que el muro posea cualidades dúctiles al mecanismo de falla por flexión en la sección critica del elemento, lugar donde se espera se forme el mecanismo de rótula plástica el cual debe poseer resistencia a la flexión y al cortante también a carga axial cuando enfrente cargas de sismo.

Realizar un cálculo minucioso de la fuerza cortante realizando las combinaciones de carga adecuadas y amplificando las fuerzas de corte con los factores de sobre resistencia que establecen los códigos.

Es importante realizar conexiones adecuadas entre el muro y los demás elementos (vigas y losas que conformen el diafragma rígido) que se conectan para mejorar la transmisión de fuerzas sísmicas (Moehle J. , 2015) (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

Para edificios con sistema de muros se debe tener una buena distribución en planta buscando el equilibrio de los muros en cada sentido y preferiblemente ubicarlos cerca o en el perímetro lo que disminuye el efecto de torsión, también se debe procurar que los muros reciban la carga axial adecuada con un área tributaria que le aporte (Moehle J. , 2015)

### **5.2.3 Factores Para Tener En Cuenta En El Diseño De Muros Estructurales De Concreto**

**Geometría:** cada una de las dimensiones del muro tiene gran importancia, el espesor está relacionado con la sección resistente y “*la relación de aspecto (altura/longitud), parámetro que está directamente relacionado con la capacidad de rotación inelástica del elemento*” (Paulay & Priestley, 1992) , por ende, ha de seleccionarse cuidadosamente las dimensiones y basados en los estudios existentes y una buena modelación escoger secciones adecuadas.

**Ductilidad:** Se debe proveer un material de refuerzo que cumpla con esas características, en lo posible se debe evitar el refuerzo con malla electrosoldada ya que ésta posee reducida capacidad de ductilidad (Carrillo, Rico, & Alcocer, 2016), provocando fallas frágiles en los muros que se han sufrido eventos sísmicos y con el mismo resultado en pruebas de laboratorio.

**Solicitaciones a flexión y carga axial:** varios autores coinciden en que el incremento de la carga axial (Lefas, 1990), mejora la capacidad a flexión, pero también tiene un aumento de la fuerza cortante lo que es desfavorable para la respuesta dinámica del muro aumentando la posibilidad de una falle por cizalladura del muro.

**La sección crítica** se define como una sección de muro donde el refuerzo longitudinal puede desarrollar la fluencia debido a los desplazamientos laterales del muro, y debe procurarse que en el diseño solo exista una sola sección crítica a flexión y fuerzas axiales (ACI 318, 2019).

## 6 Tablas De Actas

### 6.1 Temas de las consultas a la comisión asesora permanente

En la Tabla 1 se muestran los temas recurrentes de las consultas realizadas a la Comisión Asesora Permanente clasificada por los autores.

**Tabla 1** Clasificación de temas de las actas de la Comisión Asesora Permanente

No.	TEMA GENERAL
1	Microzonificación Sísmica de Cali
2	Resolución 004 del 28 de octubre de 2004
3	Normatividad aplicable al diseño de obras de mitigación de inundaciones
4	Consulta particular cumplimiento de la norma
5	Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales
6	Obligatoriedad y/o aplicabilidad de la NSR-10
7	Solicitud al Régimen de Excepción
8	Solicitud de autorizar otras profesiones para diseños estructurales
9	Independencia del Profesional
10	Consulta particular cumplimiento de la norma
11	Varios temas
12	Revisión de Diseños
13	Consulta tema particular
14	Consulta aclaración NSR-10
15	Supervisión técnica
16	Contenedores de carga
17	Actualización de edificaciones
18	Consulta sobre Norma Título J y K.
19	Estudio de suelos
20	Aisladores sísmicos
21	Estructuras Metálicas
22	Control de calidad
23	Exploración de Campo
24	Calidad de los Materiales
25	Cimentaciones con pilotes o pilas
26	Grupo de Uso
27	Consulta Particular
28	Régimen de Excepción
29	Requisitos de Protección contra Incendios
30	Aplicabilidad de la Norma
31	Muros de Concreto

*Fuente: Autores*

En el Apéndice A se encuentra los números de las actas por tema, donde se puede encontrar el tema de consulta en un acta y el literal dentro de la misma.

## **7 Paralelo Entre la Nsr-10 y Aci-318-19 para El Diseño de Muros Especiales**

El reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR-10, tiene como referencia principal para el Título C de Concreto Estructural, el código ACI 318 versión de 2008, donde se establecieron las condiciones para el diseño y construcción de muros estructurales basados en el estado del arte existente hasta la época, desarrollados con base en las experiencias de eventos sísmicos disponibles hasta la fecha y las evidencias de fallas de muros encontrados ante los eventos sísmicos.

La aplicación de muros en edificaciones fue aumentando a través del tiempo y ante la ocurrencia de los terremotos de Maule en Chile 2010 magnitud de 8.8  $M_w$  y de Christchurch en Nueva Zelanda en 2011 de magnitud 6.3  $M_w$ , donde hubo grandes daños a edificaciones y pérdidas de vidas humanas, se evidenció que existían algunas deficiencias en las exigencias normativas. Estos eventos permitieron estudiar el desempeño de sistemas estructurales con muros construidos y diseñados con códigos actuales.

En Chile se encontraron las siguientes fallas en los muros estructurales: (Massone, Bonelli, Lagos, Wallace, & Moehle, 2012).

- Menor cantidad de muros, la relación transversal de muros respecto al área en planta de los edificios ( $A_w/A_f$ ) menor al 3% comparados con los edificios con muros más antiguos que estaban en ese valor o en ocasiones un poco más.
- Mayor esbeltez en los muros debido a disminución de los espesores e incremento de luces en sótanos.
- Irregularidades verticales y horizontales, pisos débiles.
- Detalles deficientes en confinamiento, en traslapes de acero, en los estribos y ganchos y miembros de borde.

- Los edificios nuevos con muros son más flexibles que los antiguos porque los espesores de muro son menores y los edificios son más altos (pasaron de 15 a 25 pisos).

En Christchurch, Nueva Zelanda se encontraron las siguientes fallas en muros:

Fallas por deficiencias en el detallado en los estribos tanto transversales como longitudinales, deficiente confinamiento de los extremos de los elementos de bordes (E.B.),

- Deficiente configuración y dimensionado de los muros, así como escaso confinamiento en los miembros de borde para restricción de pandeo.
- La ausencia de estribos de una rama para restricción de pandeo alrededor del refuerzo longitudinal a todo lo largo del muro, y
- Excesiva carga axial por gravedad

Estos eventos revelaron un nivel de daño en las edificaciones donde se presentaron los eventos sísmicos, notándose la necesidad de aumentar las exigencias en las normas y códigos, los cuales debieron ser actualizados, con el propósito de proveer mayor rigidez, resistencia y ductilidad a los muros mejorando la capacidad de disipación de energía (Véles Cadavid, 2020), mediante definición de la geometría de los muros, elementos de borde y la configuración, también en el detallado del refuerzo y en modificación de las solicitudes de diseño.

El ACI 318 ha sido actualizado en el año 2011, 2014 y su última renovación en el año 2019, en contraste la NSR-10 ha sido modificada para dar calidad y realizar correcciones, sin experimentar cambios de fondo en los fundamentos técnicos, en otras palabras, no se encuentra una evolución temática dentro de su contenido.

En lo seguido de este documento se expresarán las exigencias de la normatividad colombiana NSR-10 en el diseño de muros estructurales especiales y los avances en el estado del arte desarrollados e implementados en la normatividad ACI-318-19.

Los aspectos para analizar son las solicitaciones a flexión y carga axial, solicitaciones a cortante, generalidades de muros y requisitos especiales de diseño sísmico para muros especiales con una relación  $l_w/h_w \geq 2$ .

## 7.1 REQUISITOS GENERALES PARA MUROS NSR-10

En esta sección se establecen los requerimientos para muros simples con capacidad de disipación de energía mínima (DMI) cuyo uso está restringido a zonas de amenaza sísmica baja (AIS, 2018). También establece el alcance, generalidades y cuantías de refuerzo mínimo para este tipo de muros que se muestra en la Tabla 2 y establece un método alternativo para el diseño de muros esbeltos.

**Tabla 2** Refuerzo mínimo para muros DMI.

Tipo de Refuerzo	Tamaño de la Barra o el Alambre	$F_y$ (MPa)	Cuantía a mín. ( $\rho_l$ )	Cuantía mín. ( $\rho_t$ )
Barras corrugadas	Barras $\leq$ No. 5 (5/8") o 16M (16 mm)	$\geq 420$	0.0012	0.0020
Barras corrugadas	Barras $\geq$ No. 5 (5/8") o 16M (16 mm)	$\geq 420$	0.0015	0.0025
Refuerzo electrosoldado	$\geq$ MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro)	Cualquier a	0.0012	0.0020

**Nota.** Fuente: (AIS, 2010). Elaborada por autores. ACI 318 tiene los mismos valores para muros ordinarios.

Los muros de esta sección deben ser diseñados como elementos en compresión siguiendo las disposiciones de la NSR-10 con excepción de los muros que se diseñan con el método empírico y el método alternativo. Los muros con capacidad de disipación de energía moderada y especial deben cumplir con el capítulo de requisitos de diseño sismo resistente de la NSR-10.

En el ACI 318 se encuentran los requisitos generales de diseño para muros ordinarios en lo que tienen que ver con la geometría, estableciendo espesores mínimos de los muros (requisitos iguales a NSR-10), incorpora el factor de longitud efectiva "k" similar al usado en las columnas, incluye los límites para las fuerzas de diseño tanto en carga axial, momentos y la

fuerza cortante. Adicional a esto también establece las cuantías para el refuerzo y brinda más exigencias para el detallado del refuerzo en la sección total del muro y en la sección transversal.

En lo referente al espaciamiento de del refuerzo  $s$ , el ACI 318 integra más condiciones para establecerlo basado en las relaciones dimensionales del elemento como se observa en la Tabla 3

**Tabla 3 Separación del refuerzo en muros ordinarios según ACI-318**

Detalle del refuerzo	Espaciamiento $s$
Refuerzo longitudinal	El menor de $3h$ o $450\text{ mm}$
Refuerzo longitudinal cuando se requiera	$s \leq l_w/3$
Refuerzo transversal	El menor de $3h$ o $450\text{ mm}$
Refuerzo transversal cuando se requiera	$s \leq l_w/5$

*Nota.* Fuente: ACI 318-19

Se encuentra la concordancia entre la NSR-10 y el ACI 318 Para dimensionar el espesor de muros DMI (ordinarios ACI 318), en la Tabla 4 se muestra los espesores mínimos requeridos basados en las relaciones dimensionales.

Las NSR-10, establecen los requisitos mínimos de diseño para sismo resistencia en lo referente a muros estructurales especiales. muros con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y la sección C.21.9 Muros especiales (DES), en el ACI 319-19, también tiene un capítulo dedicado a este mismo propósito, el cual es el capítulo 18.

**Tabla 4** Espesor mínimo de muro. h.

Tipo de Muro	Espesor mínimo del muro, h		
De Carga <sup>[1]</sup>	El mayor de	100 mm	(a)
		1/25 de la menor entre la longitud y la altura no soportada	(b)
No portante	El mayor de	100 mm	(c)
		1/30 de la menor entre la longitud y la altura no soportadas	(d)
Exteriores de sótanos y cimentaciones <sup>[1]</sup>	190 mm		(e)

Nota. Fuente: ACI 318-19. La NSR-10 contiene los mismos valores para el espesor de los muros DMI

<sup>[1]</sup> Solo se aplica a muros diseñados de acuerdo con el método de diseño simplificado de 11.5.3

## 7.2 REQUISITOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA MUROS ESPECIALES NSR-10 Y ACI 318

### 7.2.1 *Cuantías de Refuerzo en Muros:*

- a) **Refuerzo longitudinal**, El ACI 318 continúa manteniendo la misma cuantía para el refuerzo longitudinal y transversal que establece la NSR-10, el cual se resume en la Tabla 5. Existen dos excepciones, cuando el valor de la fuerza cortante toma ciertos valores (ver Tabla 5), o si la edificación está destinada a la vivienda y no supera los tres pisos, de ser así, se puede utilizar las cuantías establecidas en NSR-10 descritas en el numeral 6.1
- b) **Capas de Refuerzo:** La NSR-10 y el ACI 318-19 tiene una solicitud de usar dos capas cuando el valor del cortante último  $V_u$  exceda valores de la resistencia a tracción de la sección del muro calculada con la expresión que se encuentra en la Tabla 5. El ACI 318-19 tiene una exigencia más basada en la relación de aspecto altura longitud ( $h_w/l_w \geq 2$ ) parámetro que está directamente relacionado con la capacidad de rotación inelástica del elemento (Paulay & Priestley, 1992).

Con la relación de aspecto  $h_w/l_w \geq 2$  se espera que el muro se clasifique como esbelto y sus cualidades de diseño lo conduzcan a una falla por flexión, para lo cual la doble parrilla cerca

de la superficie del muro ayudara al elemento ayuda a mantener la integridad el núcleo de concreto evitando la disgregación cuando se suceda la fisuración debido a los movimientos cíclicos inversos ocasionados por un evento sísmico (ACI 318, 2019) y mejorando la capacidad a flexión (Alcocer Martínez, 1995) al estar el refuerzo en las fibra extremas aumentando el valor de la distancia al eje neutro “c”.

**Tabla 5** Cuantías de refuerzo en muros espéciales.

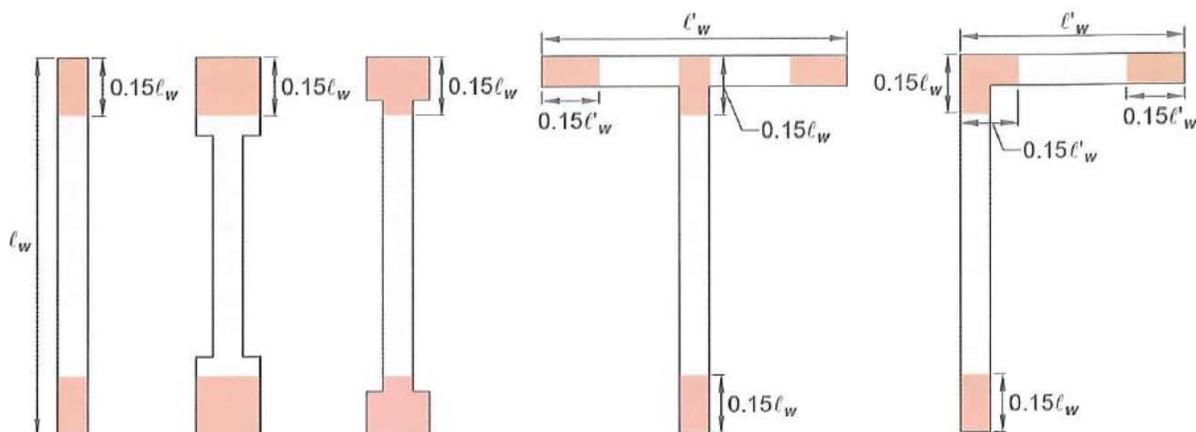
CONCEPTO	NSR-10	ACI-318-19
Refuerzo	$\rho_l = \rho_t = 0.0025$	$\rho_l = \rho_t = 0.0025$
	Excepto:	Excepto:
	$V_u < 0.083\lambda\sqrt{f'_c}A_{cv}$	$V_u < 0.083\lambda\sqrt{f'_c}A_{cv}$
#. De Capas	Dos capas cuando:	Dos capas cuando:
	$V_u > 0.17\lambda\sqrt{f'_c}A_{cv}$	$V_u > 0.17\lambda\sqrt{f'_c}A_{cv}$ o
		$h_w/l_w \geq 2$

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019). Con  $f_c$  en MPa.

Resultados experimentales han indicado que, manteniendo las otras variables iguales, se mejora la respuesta histerética de muros cuando el refuerzo en el alma es mediante varillas de diámetro pequeño colocadas a separaciones pequeñas. (Alcocer Martínez, 1995).

### 7.2.2 Refuerzo en Elementos de Borde en la sección crítica

La NSR-10 no especifica refuerzo particular para esa sección de los muros, por su parte, el ACI 318 incorpora requisitos de cuantía mínima contenido en los extremos del muro y de igual manera establece la sección donde debe estar dispuesto, la longitud debe ser el 15% de la longitud del muro ( $0.15l_w$ ) con un ancho igual al espesor del muro como se observa en la Figura 6.



**Figura 6. Configuraciones de muro donde debe localizarse el refuerzo de los E.B. (ACI 318, 2019).**

**Tabla 6** Cuantía mínima en los extremos del muro a una distancia  $0.15l_w$ .

CONCEPTO	NSR-10	ACI-318-19
Cuantía en E.B.	N / A	$\rho > 0.50\sqrt{f'_c}/f_y$

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019). Con  $f'_c$  en MPa.

El propósito de suministrar la cuantía mínima a los extremos del muro en la zona sección crítica donde se espera fluya el acero y se forme la articulación plástica del elemento, es brindar en los extremos del muro la capacidad de deformación a través de la formación de fisuras secundarias debidas a la flexión y bien distribuidas en la zona de la rótula plástica (Sritharan, y otros, 2014), el ACI establece como condición que es para muros con relación de aspecto de  $h_w/l_w > 2$  donde se espera que su comportamiento de falla sea debido a la flexión y se produzca una respuesta inelástica en la zona de la rótula plástica, ubicada generalmente en la base del muro, esta condición aplica si el muro es continuo desde la base hasta la parte superior, si existen otras segmentos donde se pueda presentar otra sección crítica, por ejemplo en zonas de reducción de la sección del muro, se debe proveer el mismo refuerzo con las mismas exigencias, la colocación de esta cuantía se impone debido a las lecciones aprendidas de las fallas encontradas del inadecuado refuerzo longitudinal en los muros de edificios que sufrieron los sismos de Chile y Nueva Zelanda.

### **7.2.3 El Espaciamiento Del Refuerzo**

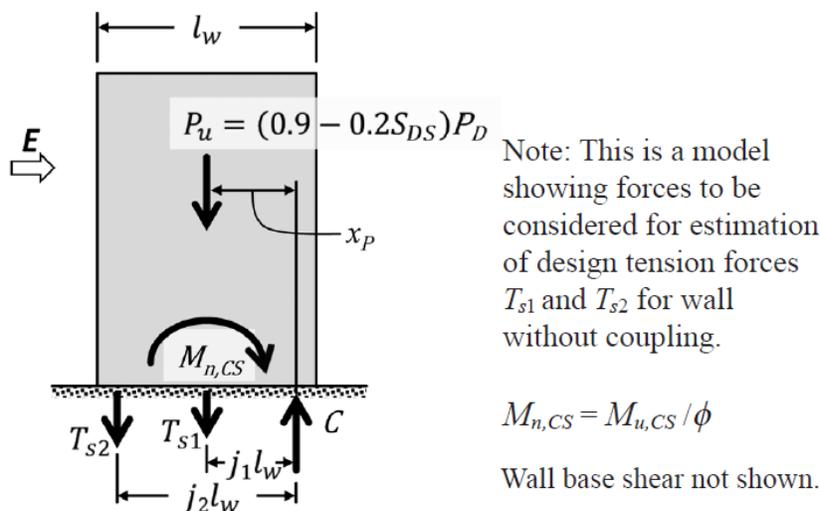
En cada dirección en muros estructurales no debe exceder de 450 mm. El refuerzo que contribuye a  $V_n$  debe ser continuo y debe estar distribuido a través del plano de cortante. (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

Con una separación adecuada del refuerzo en ambas direcciones se busca contener el núcleo de concreto, sobre todo en la zona de rótula plástica, un concreto bien confinado incrementa la resistencia a la compresión y su capacidad de deformación aumentando su ductilidad (Alcocer Martínez, 1995), el refuerzo transversal ubicado por la cara exterior, envolviendo las barras verticales ayuda a restringir el pandeo del refuerzo longitudinal (Moehle J. , 2015).

### **7.2.4 Desarrollo y empalmes del refuerzo**

La NSR dispone que el refuerzo longitudinal debe extenderse más allá del punto donde ya no se requiera resistir flexión una longitud equivalente a  $0.8l_w$  que sería una longitud aproximada al brazo del momento interno del refuerzo (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011), como se observa en la Figura 7, por su parte, el ACI en su última actualización realiza cambios sustanciales a ese punto en específico exigiendo prolongar más el refuerzo, como se observa en la Tabla 7.

Las disposiciones de refuerzo para muros de la NSR-10 están un poco por debajo de los estándares de las normatividades modernas, se hace necesario que en la próxima actualización se incluyan los avances que se han desarrollado en la última década ya que este sistema se está implementando cada vez más en el territorio.



**Figura 7. Modelo para selección inicial de refuerzo de tracción a flexión. (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011) donde:  $j_2 l_w \approx 0.8 l_w$ .**

**Tabla 7 Requisitos de empalmes mecánicos de barras según NSR-10 y ACI 318**

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
(a). Extensión del refuerzo después de donde ya es necesario resistir flexión.	$0.8l_w$	3.6 m sin ser necesario más de $l_d$ sobre el siguiente N.P. <sup>a</sup>
(b) $l_d$ en zona de fluencia	1.25 veces lo calculado para $f_y$	1.25 veces lo calculado para $f_y$
(c) Resistencia en empalmes mecánicos tipo 1.	1.25 $f_y$ de la barra	No está permitido en E.B. <sup>[2]</sup> a una altura $h_{sx}$ <sup>[3]</sup> por encima y (6.0m máx.) y $l_d$ por debajo de la sección crítica.
Resistencia en empalmes mecánicos tipo 2	1.25 $f_y$ de la barra y resistencia de las barras empalmadas	

Nota. Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019)

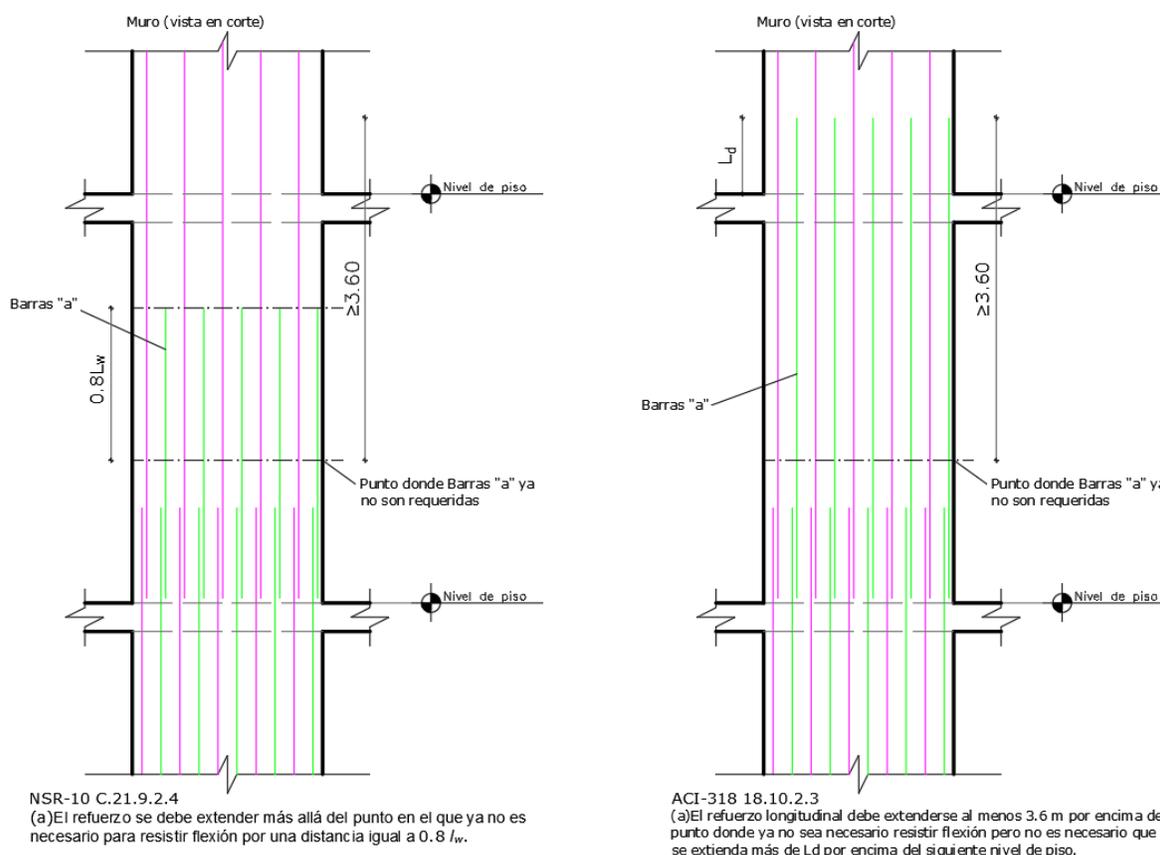
<sup>a</sup> N.P. Nivel de piso.

<sup>b</sup> E.B.= Elementos de Borde.

<sup>c</sup>  $h_{sx}$  es la altura del piso x.

Con la configuración de la Figura 8b se extiende el refuerzo hasta el siguiente nivel de entrepiso prolongando el refuerzo la longitud de desarrollo, la condición de extenderlo 3.6 metros se podría aplicar en muros donde el piso posea una sobre altura y de esta manera, garantizar las barras sobrepasen el siguiente nivel para proporcionar un anclaje mecánico para lograr

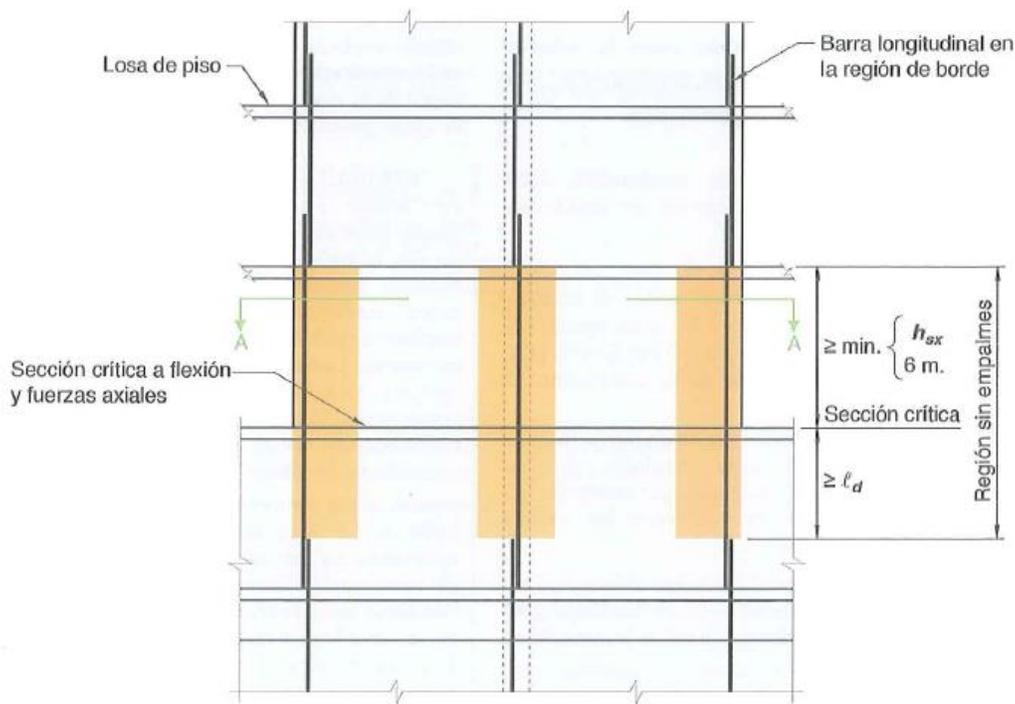
tramos con más continuidad en el refuerzo, se ha demostrado experimentalmente que en las zonas de traslape se forma una zona más rígida debido a la duplicación del refuerzo, generando zonas aledañas con características de resistencia diferentes y opuestas, respuesta elástica en la zona de traslape e inelástica en las zonas continuas, (Aaleti, Behavior of rectangular concrete walls subjected to simulated seismic loading, 2009), favoreciendo la degradación del elemento de concreto ante cargas cíclicas inversas como las del sismo, condiciones que está en contravía de favorecer una respuesta de desempeño sísmico adecuada con mayor capacidad de disipación de energía (Aaleti, Brueggen, Johnson, French, & Sritharan, 2013).



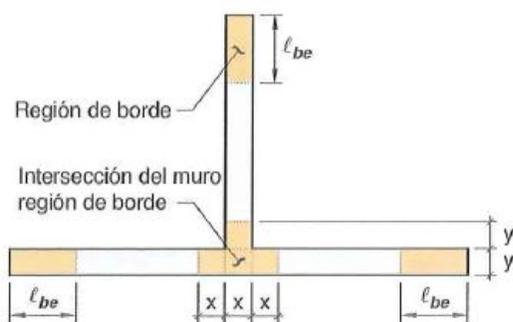
**Figura 8. Disposición de desarrollo del refuerzo vertical según NSR-10 y ACI-318 (Autores).**

En el ACI 318 también se precisan exigencias para los empalmes en los elementos de borde como se muestra en la Tabla 7, se prohíbe realizar traslapos por encima de la sección

crítica en la altura del nivel de piso siguiente a la sección, si el piso tiene una sobre altura superior a 6.0 metros se podrán realizar empalmes a partir de esa longitud; en el sentido inferior se prohíbe realizar empalmes en una longitud equivalente a la longitud de desarrollo desde a sección crítica, en la Figura 9 se observa claramente el detalle.



Nota: Por claridad, solo parte del refuerzo requerido se muestra.



(b) Sección A-A

**Figura 9. Zonas de los E.B. en las alturas donde se prohíben los empalmes (ACI 318, 2019).**

El refuerzo vertical exigido ( $0.15l_w$  desde el extremo) en los extremos del muro debe prolongarse por encima y por debajo de la sección crítica el mayor valor entre  $l_w$  y  $M_u/3V_u$ , y este refuerzo hasta el 50% puede terminarse en una sección, el otro 50% debe prolongarse lo

suficiente para evitar una sección débil continua a la rótula plástica prevista (ACI 318, 2019), el detallado de estas secciones debe ser más minucioso para garantizar el comportamiento deseado y obtener una excelente capacidad de disipación de energía.

### 7.2.5 Fuerzas de diseño

La fuerza cortante  $V_u$  se debe obtener de un análisis de las fuerzas laterales provocadas por las diferentes combinaciones de cargas mayoradas, en esta premisa coinciden las dos normatividades.

### 7.2.6 Resistencia de diseño a cortante

Los principios del diseño están basados en tener una sección resistente a cortante afectada por el coeficiente de reducción de resistencia mayor que la fuerza última resultado del análisis en el caso de NSR-10 y mayor que la fuerza cortante última amplificada para el ACI.

**Tabla 8 Principio de diseño fuerza cortante.**

Aspecto	NSR-10	ACI 318-19
Principio de diseño	$\phi V_n \geq V_U$	$\phi V_n \geq V_e$

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019)

En un elemento reforzado la resistencia nominal al corte está dada por la suma de la resistencia nominal al cortante del concreto ( $V_c$ ) y la resistencia nominal a cortante del acero ( $V_s$ ).

$$V_n = V_c + V_s \quad (2)$$

Es importante revisar las exigencias de las dos normatividades para hallar las resistencias proporcionadas por el concreto y el acero, las cuales están por fuera del alcance de este documento.

### 7.2.7 Resistencia a Cortante

La consideración de la fuerza cortante de diseño es un tema en el que la ACI-318 difiere de la NSR-10, debido a que ya no utiliza para el cálculo la fuerza cortante última ( $V_u$ ) sino una fuerza cortante última amplificada ( $V_e$ ) por dos factores, de sobre resistencia a la flexión en la sección crítica ( $\Omega_v$ ) y factor de amplificación dinámica ( $\omega_v$ ) debida a los efectos de los modos de vibración.

**Tabla 9 Fuerzas de diseño a cortante NSR-10 y ACI.**

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
Fuerza Cortante	Obtenidas del análisis para combinaciones de cargas mayoradas $V_u$	
Fuerza de diseño a Cortante	$V_u$	$V_e = \Omega_v \omega_v V_u \leq 3V_u$
Resistencia a Cortante	$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$	

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).  
Unidades en MPa.

Los valores del coeficiente de sobre resistencia se hayan en la Tabla 10, el cual está condicionado a la relación de aspecto con un cociente de 1.5 e involucra la sobre resistencia a flexión, relación del momento probable y ( $M_{pr}$ ) el momento ultimo ( $M_u$ ).

La amplificación de la fuerza cortante última por el coeficiente de sobre resistencia a flexión tiene por principio evitar la falla por cortante, nótese que la condición para establecer el valor del coeficiente ( $\Omega_v$ ) implica la relación de aspecto ( $h_{wcs}/l_w$ ) con un valor de referencia límite de 1.5 indicando que son muros cortos susceptibles a fallas dominadas por cortante; se establece para muros con relación de aspecto mayores que 1.5 el valor de la amplificación por sobre resistencia a flexión que proviene de la relación de momentos ( $M_{pr}/M_u$ ) no puede ser menor que el 50%, esta excedencia tiene su fundamento en las mayoraciones de carga que aumentan el valor de la carga axial para el diseño del muro.

En consecuencia, las fuerzas laterales para someter el muro a flexión tendrán mayor magnitud ocasionando de igual manera un incremento en los valores de la fuerza cortante superando los valores de diseño, por esta razón se define un factor de sobre resistencia a la flexión ( $\Omega_v$ ) y se aumenta a la fuerza cortante por la misma relación (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011)

**Tabla 10 Valores del coeficiente de sobre resistencia en la sección crítica ( $\Omega_v$ )**

Condición		$\Omega_v$
$h_{wcs}/l_w > 1.5$	El mayor entre	$M_{pr}/M_u$ <sup>[a]</sup> 1.5 <sup>[b]</sup>
$h_{wcs}/l_w \leq 1.5$		

Nota. Fuente: (ACI 318, 2019)

<sup>[a]</sup> Para las combinaciones de carga que produzcan el mayor valor de  $\Omega_v$

<sup>[b]</sup> A menos que un análisis más detallado demuestre un valor menor. Pero no menor que 1.0.

El otro factor de amplificación es el dinámico  $\omega_v$ , es formulado debido al desplazamiento del centroide de las fuerzas inerciales laterales en la respuesta dinámica de edificios, muchos edificios de varios pisos observan este patrón de respuesta lo que genera el aumento de la fuerza cortante en la sección crítica (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011), el ACI considera este factor para amplificar la fuerza de diseño a cortante, en edificios de hasta 6 pisos este coeficiente puede tomar valores desde  $1.0 \leq \omega_v \leq 1.5$ , para edificios mayores este factor puede tomar valores desde  $1.3 \leq \omega_v \leq 1.8$ , en la Tabla 11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se encuentra como calcular el valor de amplificación dinámica, se hace la aclaración que este factor afecta únicamente a muros cortos con relación  $h_w/l_w \geq 2$ , debido a que la amplificación dinámica en muros con  $h_w/l_w < 2$  no es significativa (ACI 318, 2019) y por lo tanto debe tomarse  $\omega_u = 1$ .

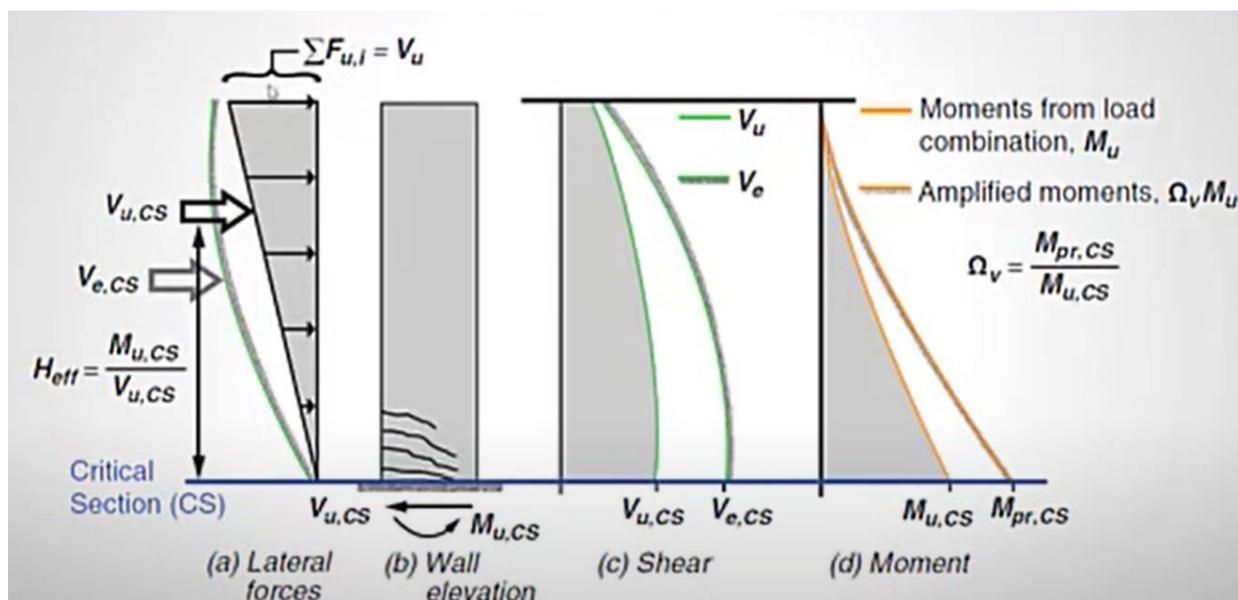
**Tabla 11** Valor del coeficiente de amplificación dinámica  $\omega_v$

Condición	$\omega_v$
$h_{wCS}/l_w < 2.0$	1.0
$h_{wCS}/l_w \geq 2.0$	$\omega_v = 0.9 + \frac{n_s}{10}$ para $n_s \leq 6$
$h_{wCS}/l_w \geq 2.0$	$\omega_v = 0.9 + \frac{n_s}{10}$ para $n_s \leq 6$

Nota. Fuente: (ACI 318, 2019)

Donde  $n_s$  no debe tomarse menor que la cantidad de  $0.007h_{wCS}$ .

En la Figura 10 se observa la gráfica de la determinación de la fuerza cortante en muros esbeltos y la amplificación dinámica, nótese que la capacidad del elemento en la sección crítica aumenta en los muros con este aumento de cortante.



**Figura 10.** Determinación de la fuerza cortante para muros con  $h_w/l_w \geq 2.0$  (Moehle, Ghodsi, Hooper, Fields, & Gedhada, 2011)

Es de gran importancia que, en la próxima actualización de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR, se tenga en cuenta la amplificación dinámica de la fuerza cortante en muros con el propósito de mejorar la capacidad de disipación de energía y la seguridad de los edificios con estos sistemas.

Para obtener el valor de la resistencia nominal a cortante de la Tabla 9 se utiliza un factor de reducción ( $\alpha_c$ ) que define la contribución relativa del concreto en muros, penalizando más drásticamente a muros con  $h_w/l_w \leq 1.5$  que los que muros con relación  $h_w/l_w \geq 2$ , para valores intermedios de relación de aspecto se pueden interpolar linealmente, el valor de este coeficiente se calcula igual en NSR-10 y ACI-318.

Para determinar  $V_n$ , la relación de aspecto en muros con segmentos de muros delimitados por aberturas o por bordes debe ser la mayor que se presente entre la relación del muro completo y la relación del segmento de muro, esta consideración existe en NSR y ACI.

**Tabla 12 Valores de  $V_n$  para segmentos de muro**

Condición	Igual en NSR Y ACI
	Límites de $V_n$
Segmentos verticales que comparten fuerza lateral común	$V_n \leq 0.66\sqrt{f'_c}A_{cv}$ [a]
Segmentos Verticales individuales	$V_n \leq 0.83\sqrt{f'_c}A_{cw}$ [b]
Segmentos horizontales de muro y vigas de acople	$V_n \leq 0.83\sqrt{f'_c}A_{cw}$

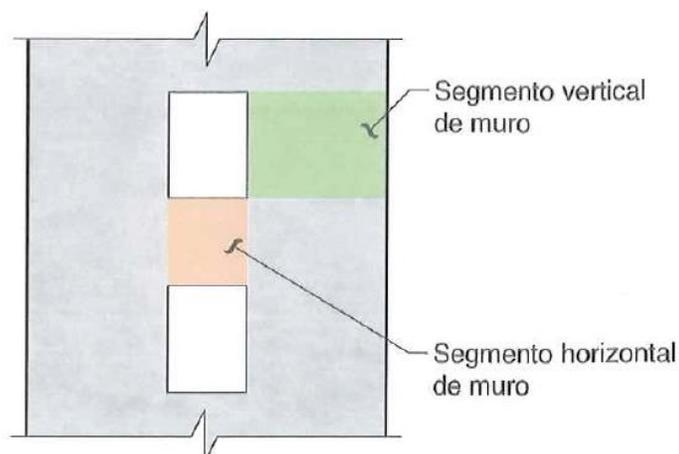
*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019)

[a]  $A_{cv}$  área bruta de la sección de concreto limitada por el espesor del alma y la longitud de la sección en la dirección de la fuerza de cortante considerada.

[b]  $A_{cw}$  Área de la sección de concreto de un machón individual, segmento horizontal de muro, o viga de acople, que resiste cortante.

Unidades en MPa.

La distinción de segmento vertical y segmento horizontal se muestra en la Figura 11 para tener mayor claridad.



**Figura 11. Detalle de segmentos vertical y horizontal en un muro (ACI 318, 2019)**

### 7.2.8 Flexión y fuerza axial

El diseño de fuerzas axial se debe realizar acorde al capítulo correspondiente a flexión y carga axial de cada normatividad, los principios y suposiciones de diseño para elemento de concreto sometidos a flexión con carga axial son muy similares, variando en el cálculo de la resistencia axial máxima para elementos preesforzados, tema que esta por fuera del alcance de este documento; ACI también establece resistencia axial a tracción de las secciones de concreto reforzado.

**Tabla 13 Resistencia nominal axial.**

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
Resistencia axial nominal $P_n$	$P_n \leq P_{n,m\acute{a}x}$	
Resistencia axial nominal máxima $P_{n,m\acute{a}x}$	$P_{n,m\acute{a}x} = 0.75P_0$	$P_{n,m\acute{a}x} = 0.80P_0$
Resistencia axial nominal para una excentricidad igual a cero $P_0$ ,	$P_0 = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_yA_{st}$	
Coeficiente de reducción de resistencia axial de diseño	$\phi = 0.75$	$\phi = 0.80$

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).  
Unidades en MPa.

ACI incorpora la resistencia axial a la tracción máxima  $P_{nt,m\acute{a}x}$  de elementos no preesforzados, presforzados o compuestos, se debe calcular acorde a la Tabla 14.

**Tabla 14 Resistencia a tracción máxima.**

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
$P_{nt,m\acute{a}x}$	N/A	$P_{nt} \leq P_{nt,m\acute{a}x}$ $P_{nt,m\acute{a}x} = f_y A_{st} + (f_{se} + \Delta f_p) A_{pt}$
Donde		$(f_{se} + \Delta f_p) \leq f_{py}$
Para miembros no preesforzados		$A_{pt} = 0$

Nota. Fuente (ACI 318, 2019).  
Unidades en MPa.

### 7.2.9 Elementos de borde para muros estructurales especiales.

Se hace la revisión para muros estructurales con refuerzo transversal de estribos cerrados rectangulares de confinamiento y ganchos suplementarios, no se hace la comparación normativa para el refuerzo transversal proporcionado por espirales debido a la baja implementación en la construcción de proyectos con muros, según la experiencia de los autores.

En muros con  $h_w/l_w \geq 2$  la necesidad de elementos de borde debe evaluarse conforme a la mayor profundidad del eje neutro ( $c$ ) en la sección crítica del muro, en elementos continuos desde la base hasta la parte superior y que sean diseñados para tener una sola sección crítica (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

Es de notar que el ACI involucra en la expresión que establece el límite para establecer el requerimiento de elementos de borde un factor multiplicador en el denominador que afecta al desplazamiento de diseño  $\delta_u$ , factor que disminuye el valor límite que se compara con la profundidad del eje neutro  $c$  respecto a la expresión usada en NSR, con el propósito de

**Tabla 15** Condición para la necesidad de elementos de borde.

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
Se requieren E.B. sí:	$c \geq \frac{l_w}{600 \left( \frac{\delta_u}{h_w} \right)}$	$\frac{1.5\delta_u}{h_{wcs}} \geq \frac{l_w}{600c}$
Valor de $\delta_u/h_{wcs}$	$\geq 0.007$	$\geq 0.005$

Nota. Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

Unidades en MPa.

Si existe la necesidad de elementos de borde en el muro, el refuerzo transversal debe extenderse una distancia no menor que la mayor de  $l_w$  y  $M_u/4V_u$ ; ACI recalca que esta exigencia debe ser por encima y por debajo de la sección crítica.

También deben cumplirse para los elementos de borde una de las dos condiciones

$$b \geq \sqrt{0.025cl_w} \quad (3)$$

$$\delta_c/h_{wcs} \geq 1.5 \delta_u/h_{wcs} \quad (4)$$

Donde

$$\frac{\delta_u}{h_{wcs}} = \frac{1}{100} \left[ 4 - \frac{1}{50} \left( \frac{l_w}{b} \right) \left( \frac{c}{b} \right) - \frac{V_u}{0.68\sqrt{f'_c}A_{cv}} \right] \quad (5)$$

$$\text{El Valor de } \delta_c/h_{wcs} \geq 0.015$$

### 7.2.10 Dimensiones de Elementos de Borde

El elemento de borde especiales se debe cumplir condiciones dimensionales que aparecen en la Tabla 16, que garantizan las proporciones adecuadas como resultados del estudio de experiencias de terremotos como el de en Chile 2010 y de Christchurch en Nueva Zelanda en 2011.

**Tabla 16** Requisitos dimensionales de los elementos de borde especiales.

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
Se debe extender desde la fibra en compresión hasta el mayor de:		$c - 0.1l_w$ $c/2$
En secciones con alas. los E.B. <sup>[a]</sup> se deben extender dentro del alma	300 mm	300 mm
El Ancho $b$ en la longitud horizontal del E.B, incluyendo el ala si existe	N/A	$h_u/16$
En muros con $h_w/l_w \geq 2$ con $c/l_w \geq 3/8$ , $b$ dentro de la distancia calculada que se debe extender <sup>[b]</sup>	N/A	Con $c/l_w \geq 3/8$ 300 mm

Nota. Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

<sup>[a]</sup> E.B. Elementos de Borde.

<sup>[b]</sup> Aplica para machones de muro.

Suministrar un espesor de muro entre mejora las respuestas dinámicas esperadas en los análisis estructurales (Moehle J. , 2015)

### 7.2.11 Refuerzo de elementos de Borde

El refuerzo transversal de los elementos de borde debe cumplir las exigencias que aparecen en la Tabla 17 en lo referente al refuerzo transversal.

**Tabla 17** Requisitos de refuerzo transversal en elementos de borde.

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
El espaciamiento de los ganchos suplementarios o ramas con estribos	$h_x \leq 350 \text{ mm}$	Mayor de $\left\{ \begin{array}{l} h_x \leq 350 \text{ mm} \\ h_x \leq \frac{2}{3} b \end{array} \right.$
Separación del refuerzo transversal en una longitud por encima y por debajo de la S.C. <sup>[e]</sup> del mayor de que la mayor de $l_w$ y $M_u/4V_u$ ; no debe exceder la menor de:	$h/3$ $6d_b$ <sup>[a]</sup> $s_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$ $100 \leq s_0 \leq 150$ <sup>[b]</sup>	$b/3$ <sup>[d]</sup> $6d_b$ Acero grado 420 <sup>[a]</sup> $5d_b$ Acero grado 550 <sup>[a]</sup> $s_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$ $100 \leq s_0 \leq 150$

En otras ubicaciones la separación debe ser la menor de:		$8d_b$ Acero grado 420 <sup>[a]</sup> 200 mm
	N/A	$6d_b$ Acero grado 550 <sup>[a]</sup> 150 mm
		$4d_b$ Acero grado 690 <sup>[a]</sup> 150 mm
Cuantía volumétrica de refuerzo.	$\rho_s \geq \frac{f'_c}{f_{yt}}$	Mayor de $\left\{ \begin{array}{l} 0.3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \end{array} \right.$
El refuerzo transversal debe extenderse dentro del apoyo.	$l_d$ <sup>[c]</sup>	$l_d$ <sup>[c]</sup>
Extensión del refuerzo en fundaciones.	300 mm	300 mm

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

<sup>[a]</sup> Diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor

<sup>[b]</sup> Unidades en mm.

<sup>[c]</sup>  $l_d$  del refuerzo longitudinal de mayor diámetro de los elementos especiales de borde.

<sup>[d]</sup> Ancho de muro  $h$  (NSR-10) o  $b$  en ACI.

<sup>[e]</sup> **S.C. Sección Crítica**

Existen una condición adicional en el ACI de la relación de resistencias a la compresión del sistema de losas de entrepiso y el muro, debe ser mínimo del 70% ( $f'_{c,Losas} \geq 0.7f'_{cw}$ )

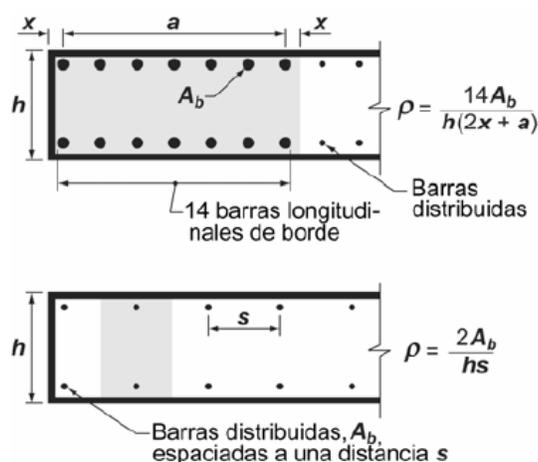
### 7.2.12 Detallado de Elementos de Borde

La NSR-10 no reporta nada acerca del detallado del refuerzo de los elementos de borde, ACI-318 por su parte, si establece condiciones para el detallado:

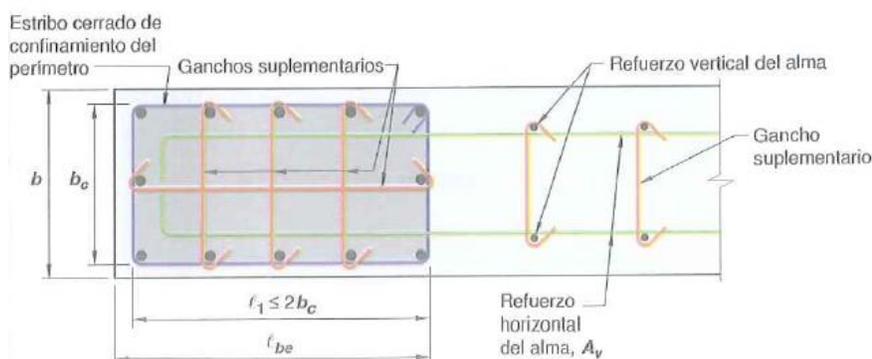
- El refuerzo vertical debe tener soporte lateral por un estribo cerrado o por un gancho suplementario y estar separado verticalmente una distancia no menor a 300 mm en una altura por encima y por debajo de la sección crítica, equivalente al mayor de que la mayor de  $l_w$  y  $M_u/4V_u$ .
- El refuerzo transversal debe confinar el refuerzo longitudinal que se desarrolla según la Tabla 7.

- El refuerzo horizontal del alma del muro debe extenderse hasta una distancia de 150 mm del extremo del muro (cara del muro).
- El refuerzo transversal del alma debe anclarse al alma del elemento de borde para que pueda desarrollar  $f_y$ , la cuantía  $A_s f_y / s$  del alma debe ser menor que  $A_s f_{yt} / s$  del refuerzo paralelo al elemento de borde, si se garantiza la longitud de desarrollo el refuerzo del alma puede terminarse sin gancho o cabeza.

De las Figura 12 a la Figura 17 se muestran los detalles de especificación de detallado del refuerzo en la NSR-10 y en el ACI 318.

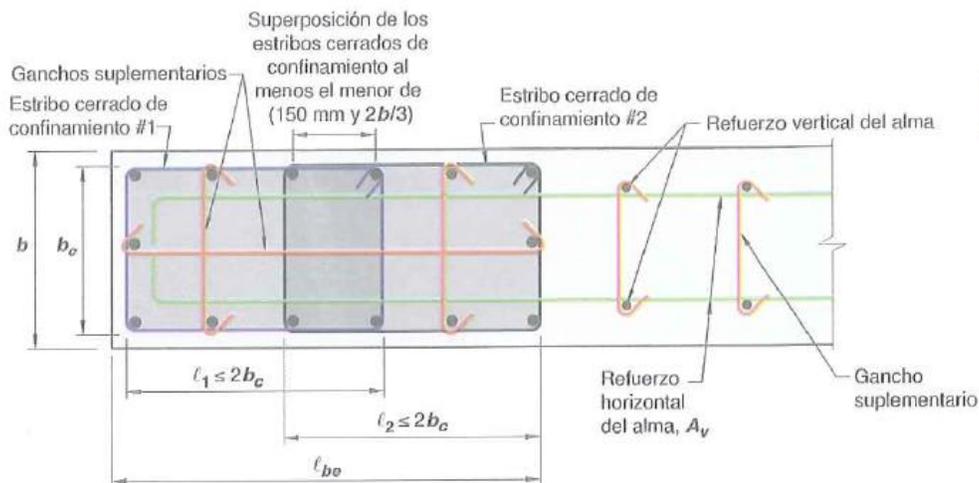


**Figura 12. Cuantía de refuerzo longitudinal para condiciones típicas de borde en el muro (AIS, 2010)**



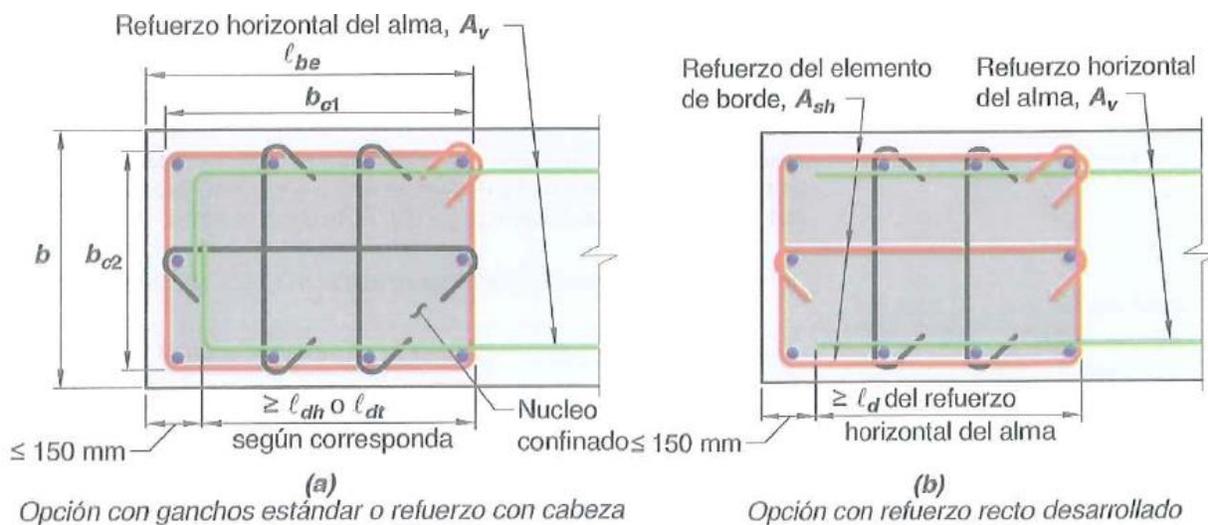
(a) Estribo cerrado de confinamiento del perímetro con ganchos suplementarios de 135 grados y ganchos suplementarios de 135 grados apoyando lateralmente el refuerzo distribuido en el alma.

**Figura 13. Detalle de estribos cerrado de confinamiento del perímetro (ACI 318, 2019).**

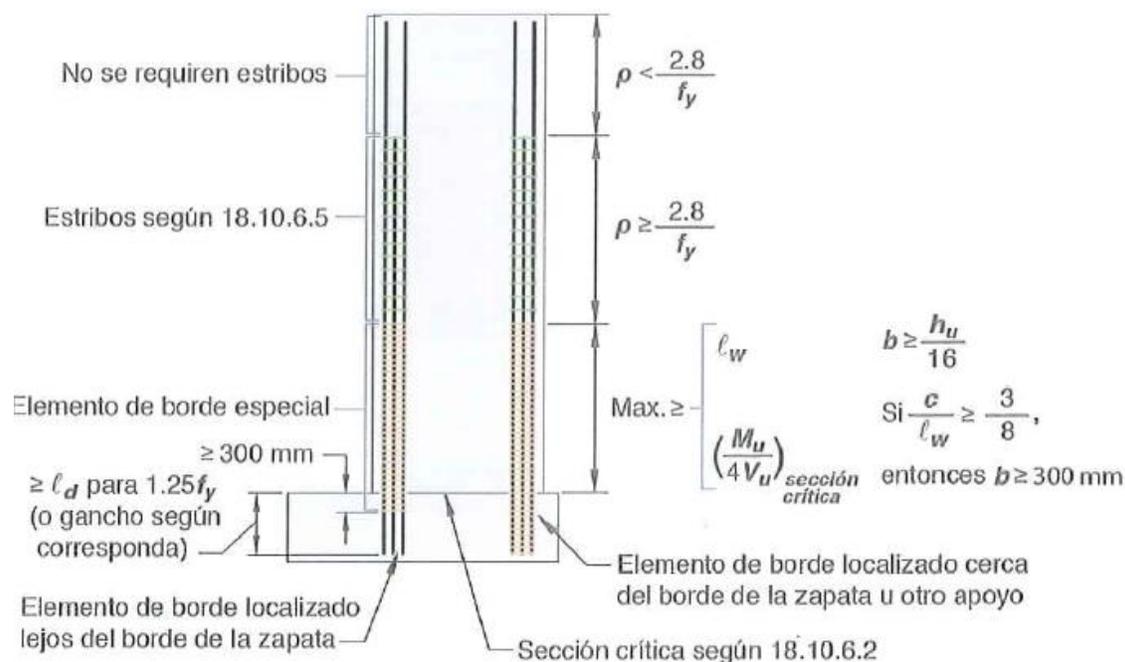


(b) Estribos cerrados de confinamiento superpuestos con ganchos suplementarios de 135 grados y ganchos suplementarios de 135 grados apoyando lateralmente el refuerzo longitudinal distribuido en el alma.

**Figura 14- Estribos cerrados de confinamiento superpuestos con ganchos suplementarios (ACI 318, 2019).**

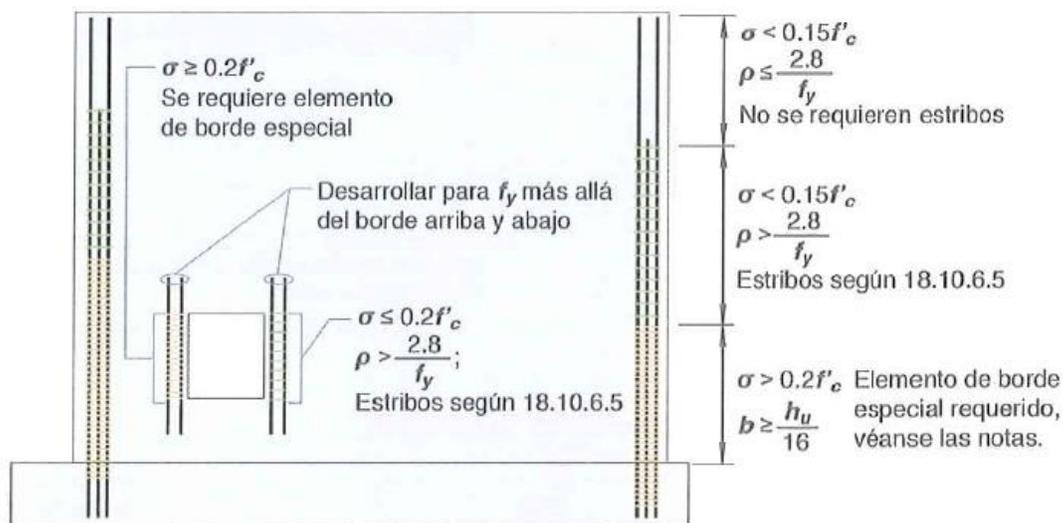


**Figura 15 Anclaje del refuerzo horizontal en el elemento de borde (ACI 318, 2019).**



(a) Muro con  $h_w/\ell_w \geq 2.0$  y una sección crítica única controlada por flexión y carga axial diseñada usando 18.10.6.2, 18.10.6.4, y 18.10.6.5

Figura 16. Refuerzo longitudinal en los elementos de borde (ACI 318, 2019).



Notas: El requisito de tener elementos especiales de borde se activa si el esfuerzo máximo en la fibra extrema compresión  $\sigma \geq 0.2f'_c$ . Una vez se activa, el elemento especial de borde se extiende hasta que  $\sigma < 0.15f'_c$ . Debido a que  $h_w/\ell_w \leq 2.0$ , 18.10.6.4(c) no aplica.

(b) Muro y machón de muro diseñados utilizando 18.10.6.3, 18.10.6.4, and 18.10.6.5.

**Figura 17. Detalle de refuerzo en elementos de borde y machones (ACI 318, 2019).**

### 7.2.13 Cuando no se requieran elementos de borde

Las normatividades de referencia coinciden en la cuantía de refuerzo transversal para muros que no requieren elementos de borde.

**Tabla 18 Requisitos del refuerzo trasversal en muros que no necesiten elementos de borde**

Requisito	NSR-10	ACI 318-19
Si $\rho_l > 2.8/f_y$		
El espaciamiento de los ganchos suplementarios o ramas con estribos		$h_x \leq 350 \text{ mm}$
Se debe extender desde la fibra en compresión hasta el mayor de:		$c - 0.1l_w$
		$c/2$

*Nota.* Fuente: (AIS, 2010) (ACI 318, 2019).

## 9 Conclusiones

Las consultas realizadas a la comisión asesora permanente resuelven consultas netamente técnicas y excluye respuestas a proyectos particulares.

La comisión se manifiesta para dar respuestas por medio de resoluciones complementarias a las consultas cuando el tema es recurrente.

El diseño de muros especiales debe tener una relación de aspecto  $h_{wcs}/l_w \geq 2.0$  para garantizar un comportamiento predecible de falla por, mecanismos de flexión y carga axial.

La sección crítica debe ser evaluada procurando que sea una sola, para que exista una única zona predecible donde se pueda desarrollar  $f_y$  a tracción por desplazamientos laterales  $\delta_u$ .

Conservar las dimensiones recomendadas por las normativas, garantizan que la respuesta ante un sismo se asemeje a la esperada en diseño.

El confinamiento del concreto mediante refuerzo longitudinal y transversal, así como el correcto detallado en muro y elementos de borden garantizan que el elemento posea una capacidad de disipación de energía adecuada para soportar las fuerzas de diseño de un evento sísmico.

El uso de elementos de borde confina el alma del muro, proporcionando más resistencia a la falla por cortante y con el adecuado refuerzo brindan gran capacidad de disipación de energía por medio de fisuras en la zona de rótula plástica

## 10 Referencias

- Aaleti, S. (2009). *Behavior of rectangular concrete walls subjected to simulated seismic loading*. Iowa State Univ., Ames, IA: Ph.D. thesis, Dept. of Civil, Construction, and Environmental Engineering.
- Aaleti, S., Brueggen, B. L., Johnson, B., French, C. E., & Sritharan, S. (2013). Cyclic Response of Reinforced Concrete Walls with Different Anchorage Details: Experimental Investigation. *Journal of Structural Engineering*, 1181-1191.
- ACI 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*. Farmington Hills: ACI.
- AIS. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente-NSR-10*. Bogotá D.C.
- AIS. (2018). Acta 149. *Diseño Y Construcción De Muros Estructurales De Concreto Reforzado En El Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Y Su Trazabilidad Normativa*. Bogota D.C.: AIS.
- Alcocer Martínez, S. M. (1995). *Comportamiento y diseño de estructuras de concreto reforzado : Muros estructurales*. México, D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Arciniegas, A. M. (2020). *Criterios de aceptación para la evaluación basada en desempeño de los edificios de muros delgados de concreto reforzado en Colombia*. Barranquilla.
- ASCE. (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (41-17)*. ASCD.
- Blandón, C. A., & Blandón, C. A. (2017). Instability of thin reinforced concrete walls under earthquake loading: Transferring knowledge and improving local experimental facilities to better assess and mitigate seismic risk.
- Carrillo, J., Rico, A., & Alcocer, S. (30 de Noviembre de 2016). Experimental study on the mechanical properties of welded-wire meshes for concrete reinforcement in Mexico City.

*Construction and Building Materials* 127 (2016) 663–672, 663-672.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.011>

Lefas, J. (1990). Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Walls under Load Reversals. *Acı Structural Journal*, 716-726.

Massone, L. M., Bonelli, P., Lagos, R., Wallace, J. W., & Moehle, J. (2012). Seismic Design and Construction Practices for RC Structural Wall Buildings. *Earthquake Spectra*(DOI: 10.1193/1.4000046).

Moehle, J. (2015). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. New York: McGraw-Hill Education.

Moehle, J. P., Ghodsi, T., Hooper, J. D., Fields, D. C., & Gedhada, R. (2011). Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams A Guide for Practicing Engineers. *NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 6*.

Paulay, T., & Priestley, M. J. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. New York, U.S.A.: John Wiley & Sons.

Sritharan, S., Beyer, K., Henry, R. S., Chai, Y. H., Kowalsky, M., & Bull, D. (2014). Understanding Poor Seismic Performance of Concrete Walls and Design Implications. *Earthquake Spectra:February 2014, Vol. 30, No. 1, pp. 307-334*.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1193/021713EQS036M>

Véles Cadavid, J. C. (2020). *Estudio Numérico y Experimental Sobre el Comportamiento Sísmico de Muros Delgados de Edificios de Concreto Reforzado*. Medellín. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10495/17511>

## 11 Anexo A

A continuación, se encuentran las tablas que dan la ubicación dentro de las actas por tema de consulta.

TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Actualización de edificaciones	ACTA No. 123	16/12/2014	7.e	Reforzamiento de edificaciones
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Aisladores sísmicos	ACTA No. 123	16/12/2014	7.i	Aplicabilidad en hospitales
Aplicabilidad de la Norma	ACTA No. 170	21/01/2021	8.a	GLAMPING
Calidad de los Materiales	ACTA No. 148	14/06/2018	10.c	Muestreo del acero C.5.3.10
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales	ACTA No. 84	24/05/2010	6.a	Supervisor técnico
Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales	ACTA No. 84	24/05/2010	6.b	Diseñadores Arquitectónicos
Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.6	Supervisor técnico
Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales	ACTA No. 86	13/07/2010	5.c	Ingenieros Civiles diseñador
Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales	ACTA No. 87	31/08/2010	5.e	Revisores estructurales
Calidades, Experiencia, Idoneidad Y Acreditación De Profesionales	ACTA No. 87	31/08/2010	5.j	facultar a los arquitectos a responsabilizarse de la firma de
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Cimentaciones con pilotes o pilas	ACTA No. 148	14/06/2018	10.f	Ecuaciones de cimentación con
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Consulta aclaración NSR-10	ACTA No. 88	12/10/2010	7.b	J.3.4.3.1 de a NSR-10
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Consulta Particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.h	Aplicación Sistema Modular Prefabricado CRESI de la empresa
Consulta Particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.h	Aplicación Sistema Modular Prefabricado CRESI de la empresa
Consulta Particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.i	Sistema de detección y alarma contra incendios en zonas comunes
Consulta Particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.i.1	Dispositivos de iniciación automática y/o manual y dispositivos de alarma contra incendios
Consulta Particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.i.2	Sistemas de detección y alarma
Consulta Particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.i.3	Dispositivos de detección y alarma

TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Consulta particular cumplimiento de la norma	ACTA No. 86	13/07/2010	5.e	Determinación del espectro de diseño teniendo en cuenta las diferencias entre el espectro de la NSR-10 y los especificados en el
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Consulta particular cumplimiento	ACTA No. 83	13/04/2010	6.b	Conjunto Residencial Cinco Estrellas
Consulta particular cumplimiento de la norma	ACTA No. 87	31/08/2010	5.d	Obligatoriedad legal de implementar algún tipo de actualización del
Consulta particular cumplimiento	ACTA No. 123	16/12/2014	7.b	procedimientos constructivos Chia
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Consulta sobre Norma Título J y K.	ACTA No. 123	16/12/2014	7.f	Índice de ocupación
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Consulta tema particular	ACTA No. 87	31/08/2010	5.b	observaciones presentadas por FONADE en relación con la viga cinta en 36 viviendas en la ciudadela
Consulta tema particular	ACTA No. 87	31/08/2010	5.c	Asistencia técnica para la capacitación de profesionales en las áreas de los ajustes realizados al RAS 2000 y al nuevo contenido del reglamento NSR-
Consulta tema particular	ACTA No. 87	31/08/2010	5.f	Concepto sobre algunas dificultades constructivas, de presupuesto y de necesidades de estudios de suelos para instalar un cerramiento con postes de concreto para una planta de
Consulta tema particular	ACTA No. 87	31/08/2010	5.i	De la Urbanización Villa Olímpica en el Municipio de Canalete, Córdoba.
Consulta tema particular	ACTA No. 88	12/10/2010	7.a	la firma JAR-INGENIERIA, presenta propuesta de reforzamiento estructural para algunos muros de las casas en los proyectos de San Rafael y
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.b.1	Edificación Centro Medico
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.b.2	Edificación Centro Medico
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.b.3	Edificación Centro Medico
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.b.4	Edificación Centro Medico
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.b.5	Edificación Centro Medico
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.d	Anclajes para enchapes de fachada
Consulta tema particular	ACTA No. 148	14/06/2018	10.e	Estribos cerrados en vigas de

<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Contenedores de carga	ACTA No. 123	16/12/2014	7.d	Consulta uso como vivienda
Contenedores de carga	ACTA No. 123	16/12/2014	7.h	Consulta uso como vivienda
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Control de calidad	ACTA No. 123	16/12/2014	7.L	Mampostería
Control de Calidad	ACTA No. 148	14/06/2018	10.k	Frecuencia de Ensayos de concreto
Control de Calidad	ACTA No. 148	14/06/2018	10.k.1	Validez de Ensayos externos
Control de Calidad	ACTA No. 148	14/06/2018	10.k.2	Aceptación de Ensayos Externos
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Estructuras Metálicas	ACTA No. 123	16/12/2014	7.j	Uso de pinturas
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Estudio de suelos	ACTA No. 123	16/12/2014	7.g	Alcance
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Exploración de Campo	ACTA No. 148	14/06/2018	10.a	Ensayo dinámico o prospección
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Grupo de Uso	ACTA No. 148	14/06/2018	10.g.1	Edificaciones incluidas en el grupo IV que cubre a "Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales
Grupo de Uso	ACTA No. 148	14/06/2018	10.g.2	Aplicación disposiciones de AIS-180
Grupo de Uso	ACTA No. 148	14/06/2018	10.g.3	Aplicación de Sistema estructural de pórticos resistentes a momento sin
Grupo de Uso	ACTA No. 148	14/06/2018	10.l	Carceles y estructuras conexas
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Independencia del Profesional	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.7	Supervisor técnico
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Microzonificación Sísmica de Cali	ACTA No. 82	23/02/2010	5.a	Solicitud de Información del trámite
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Muros de Concreto	ACTA No. 170	21/01/2021	8.b	Elementos de Borde
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Normatividad aplicable al diseño de obras de mitigación de	ACTA No. 83	13/04/2010	6.a	Diseño de diques de tierra

TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 84	24/05/2010	6.c	Edificaciones diseñadas con posterioridad al 19 de Febrero de 1998
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.1	Supervisión técnica para las construcciones de más de 3000 m2
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.2	Supervisión técnica para las construcciones de más de 3000 m2
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.3	Supervisión técnica para las construcciones de más de 3000 m2
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.4	Supervisión técnica para las construcciones de más de 3000 m2
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 86	13/07/2010	5.b.5	Supervisión técnica para las construcciones de más de 3000 m2
Obligabilidad y/o aplicabilidad de	ACTA No. 86	13/07/2010	5.f.1	Títulos J y K
Obligabilidad y/o aplicabilidad de	ACTA No. 86	13/07/2010	5.f.2	Edificaciones declaradas Patrimonio
Obligabilidad y/o aplicabilidad de la NSR-10	ACTA No. 87	31/08/2010	5.h	La firma Compañía Colombiana de Certificación S.A. respecto a la posibilidad de elevar a reglamento
Obligabilidad y/o aplicabilidad de	ACTA No. 123	16/12/2014	7.k	Acelerógrafo
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Régimen de Excepción	ACTA No. 148	14/06/2018	10.h.1	Legalización métodos alternativos FABRICASAS S.A.S.
Régimen de Excepción	ACTA No. 148	14/06/2018	10.h.2	Responsabilidad de la Suervisión técnica en método alternativo
Régimen de Excepción	ACTA No. 148	14/06/2018	10.h.3	Licencia Sistema prefabricado Cresi de Fabricasas S.A
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Requisitos de Protección contra	ACTA No. 148	14/06/2018	10.j	Sistemas de Manguera
Requisitos de Protección contra	ACTA No. 148	14/06/2018	10.j.1	Definición Clase del sistema de
Requisitos de Protección contra	ACTA No. 148	14/06/2018	10.j.2	Tomas fijas para bomberos
Requisitos de Protección contra	ACTA No. 148	14/06/2018	10.j.3	Encargado de definir Sistemas de
Requisitos de Protección contra	ACTA No. 148	14/06/2018	10.j.4	
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Resolución 004 del 28 de Octubre de 2004	ACTA No. 82	23/02/2010	5.b	aclaración respecto a la aplicabilidad y obligatoriedad
TEMA GENERAL	No. ACTA	FECHA	Numeral	TEMA ESPECIFICO
Revisión de Diseños	ACTA No. 87	31/08/2010	5.a	Que entidad u organismo está o estará facultado para realizar las evaluaciones de conformidad

<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Solicitud al Régimen de Excepción	ACTA No. 84	24/05/2010	6.d	Paneneles de concreto de la firma IC PREFABRICADOS
Solicitud al Régimen de Excepción	ACTA No. 84	24/05/2010	6.e	Sistema constructivo prefabricado DRYWALL SPEEDCO de la firma
Solicitud al Régimen de Excepción	ACTA No. 86	13/07/2010	5.d	Sistema prefabricado de paneles de concreto de la firma Industrial de
Solicitud al Régimen de Excepción	ACTA No. 87	31/08/2010	5.g	Actualización al Régimen de Excepción del sistema Prefabricado Servivienda aprobado por la Resolución Numero 0002 de mayo 29
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Solicitud de autorizar otras profesiones para diseños	ACTA No. 86	13/07/2010	5.a	Ingenieros de Vías con especialización en estructuras
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Supervisión técnica	ACTA No. 123	16/12/2014	7.a	Obligatoriedad
Supervisión técnica	ACTA No. 123	16/12/2014	7.c	Calidad del concreto
<b>TEMA GENERAL</b>	<b>No. ACTA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Numeral</b>	<b>TEMA ESPECIFICO</b>
Varios temas	ACTA No. 86	13/07/2010	5.f	Varios