

**ANÁLISIS DE ELEMENTOS DE BORDE PARA MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA**



PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA CIVIL

**JENNIFER GIANNINA OSPINA REYES
CÓDIGO: 04091001**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2020**



**ANÁLISIS DE ELEMENTOS DE BORDE PARA MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA**



**JENNIFER GIANNINA OSPINA REYES
CÓDIGO: 04091001**

**Ing. CARLOS ARIEL HURTADO ASTAIZA
Jefe del departamento de estructuras**

**Ing. MARIA VICTORIA MONDRAGÓN MACA
Directora de Tesis**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN 2020**



AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios por haberme puesto en mi carrera, por darme la inteligencia, la fortaleza, la responsabilidad, la perseverancia y constancia que me caracterizan, con las cuales he podido cumplir éste gran sueño, de ser INGENIERA CIVIL, y lo más importante egresada de **LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA** lo cual fue mi sueño desde niña.

A mi familia por brindarme tanto apoyo, por todo el amor con el que me han formado, por enseñarme todos los valores necesarios para ser una mujer integra.

A mi mami Julia es decir mi abuelita materna, por ser la mujer que me ha enseñado a luchar en la vida, a quien agradezco mi carácter y fuerza, por ser el mejor ejemplo de cómo perseguir y alcanzar las metas que me proponga en la vida, por todo el cariño con el que me miraba cada día de mi vida y por toda la fortaleza y amor que me brindó desde niña y hasta el último día de su vida y que me seguirá dando desde el cielo.

Agradezco a mi tía Stella que ha sido mi pilar en la educación, la mujer que se dedicó la vida entera a sacarme adelante con sus enseñanzas y regaños. Quien ha estado conmigo siempre apoyándome para que sea una gran ingeniera, quien con su amor me hizo fuerte.

A mis padres mi gran agradecimiento, quienes con su esfuerzo y trabajo me han colaborado para lograr mi título como ingeniera, estos seres que me dan su apoyo y amor incondicional, con los que cuento siempre para todo en mi vida; no solo son mis padres, son mis más grandes amigos en la vida, las personas con las que puedo dialogar sin temor a nada, quienes me consienten, aconsejan y apoyan en cada paso que doy.

Para Luis Alejandro, mi hermano quien me da todo el apoyo que puedo necesitar en cualquier decisión. La persona que ha compartido cada alegría y tristeza por las que haya pasado en mi vida universitaria, quien me ayudó tanto en los momentos de crisis por los que pase por no tener una buena formación en las matemáticas. Es el mejor hermano que cualquier persona quisiera tener, por eso me siento agradecida con Dios por haberme dado un hermano al que le puedo confiar todo en mi vida.

Agradezco a Dios por darme un ángel que lleno mi vida de luz, quien me encaminó y me abrió los ojos hacia mi verdadera vocación, quien llego cuando estaba perdida por qué no encontraba el Rumbo de mi vida. La persona que me hizo dar cuenta que mi mundo era la Ingeniería Civil, a quien le agradezco de todo corazón por darme su apoyo incondicional, por estar cada día conmigo sin importar nada, la persona que me ama y a quien amo con todo mi ser, mi novio Enrique Erazo.



A mi tía Nena, a mis primos Andrés y Santiago, quienes forman una parte muy importante de mi vida, a quienes quiero y respeto. A ellos les agradezco siempre estar incondicionales para mí. A mi tía quien nunca dejo de creer en mí, quien me apoyó en cada decisión por equivocada que estuviera y quien siempre me apoya en cada momento de mi vida, a Andrés, por ser como mi hermano y escucharme siempre que necesitaba de alguien, a Santiaguito por que ha sido una gran alegría para toda la familia, porque con su amor nos llena a todos de felicidad.

Agradezco a todos los ingenieros y arquitectos, que han sido mis maestros, quienes han tenido que tenerme paciencia cuando no comprendo las cosas, quienes con respeto han estado guiándome constantemente.

Un gran agradecimiento al ingeniero Juan Manuel Mosquera, por hacer que viera las estructuras como un mundo perfecto, a quien le debo mi respeto y admiración, porque me ha inspirado a seguir sus pasos. Le agradezco por renovar mi amor a las estructuras, por cada momento que ha dedicado a revisar mis ejercicios aún sin ser su obligación; por motivarme a seguir en el camino de las estructuras, le agradezco cada enseñanza, porque se han quedado en mi mente y forman parte de mi vida. Espero a futuro ser como él.

Debo dar mi gran agradecimiento a la ingeniera Victoria Mondragón, quien es mi directora de trabajo de grado, quien siempre ha estado apoyándome y resolviendo mis dudas, a quien admiro por su gran conocimiento en este campo y a quien escogí para que fuera mi guía en este gran camino, además de ser mi guía se ha convertido en una gran amiga a quien le tengo un gran cariño y respeto.

Agradezco al ingeniero Carlos Ariel Hurtado, ya que es uno de los pilares de nuestra facultad, alguien que tras sus regaños siempre está induciéndonos a ser grandes ingenieros; a él particularmente le agradezco la confianza que depositó en mí siempre como estudiante, agradezco su amistad y valiosos consejos.

El ingeniero Homero Erazo y su esposa Marlene, quienes me han brindado siempre su amistad; al ingeniero le agradezco mucho su amabilidad, respeto y cariño que siempre me ha brindado, su apoyo para mí en este camino ha sido muy importante, siempre me ha animado y me ha dado grandes consejos, a su esposa que es tan alegre y emotiva quien me ha dado buenos consejos que me han servido hasta para mejorar mi salud. Gracias por ser mis amigos.

Debo darle las gracias a una ingeniera muy especial, que me ha colaborado en mi tesis compartiéndome su conocimiento y su amistad, la conozco desde hace muy poco tiempo, pero se ha ganado mi respeto y cariño, gracias a la ingeniera Jessica Menza por su colaboración para que pudiera avanzar con mis cálculos.



Al Julio Cesar Diago, quien, sin haber sido mi profesor en ninguna asignatura, me ha brindado su apoyo incondicional y me ha regalado parte de su tiempo para enseñarme más acerca de las estructuras.

Al ingeniero Alfer Silva quien estuvo siempre presto a enseñarme y explicarme de una manera tan fácil los conceptos que por sí misma no entendía; es un gran ingeniero a quien le doy mi respeto y agradecimiento por ser quien me brindó su colaboración tantas veces, gracias por haberme ayudado en momentos difíciles que presenté en mi carrera.

No olvidaré nunca las enseñanzas del ingeniero Bolaños, quien con su gran humor logró que aprendiera lo que más pereza me daba en el mundo: es decir las leyes. Es un gran ingeniero quien realmente contribuye con la formación adecuada de los futuros ingenieros, quien nos enseña desde las cosas más básicas hasta las complejas para que no fracasemos como profesionales. A él le agradezco su cordialidad, franqueza, seriedad, y optimismo a la hora de enseñarnos y personalmente le agradezco todos sus buenos consejos, sus asesorías y el tiempo que ha gastado en asesorarme cuando le he pedido ayuda.

A los ingenieros Carlos Paz y Murgueitio, por haber sido mis tutores en vías, porque creyeron en mis capacidades, ellos vieron en mi a una líder y me dieron la confianza para guiar a mis compañeros en las distintas labores que debíamos realizar. Gracias a ellos pude visualizar la capacidad que tenía para trabajar en grupo, para dirigir y escuchar otras opiniones, lo cual se ha visto reflejado en mi experiencia laboral.

El ingeniero Hugo Muñoz, de quien aprendí muchísimas cosas en la construcción, a quien admiro por el gran conocimiento que posee, le agradezco por haberme tratado siempre con respeto, quien desde el principio me trató como una ingeniera y no como una estudiante.

Agradezco todas las enseñanzas que tuve por parte de la ingeniera Margarita Polanco, a quien respeto y admiro, aunque ya no esté con nosotros. Me quedo con los mejores recuerdos por parte de ella, no solo fue mi profesora, fue una gran amiga de la cual aprendí cosas invaluable, quien con su paciencia, cariño y buen humor lograba hacer que entendiera las cosas más complejas.

Agradezco también al ingeniero Lucio Cruz, por todos sus buenos consejos y enseñanzas, por demostrarme que aún con todos mis nervios a los parciales podía resolver los problemas más difíciles solo haciéndome simples preguntas. Demostrándome que el conocimiento no lo refleja solamente una nota.



Al ingeniero Gerardo Rivera, quien, con sus buenos consejos, me ayudó mucho en el campo laboral. Le agradezco por haberme preparado para tratar de forma adecuada a los trabajadores, porque cada consejo que nos brindó en sus clases y fuera de ellas, fueron ciertos.

A una persona muy especial que no solo fue mi profesora, sino que se convirtió en mi amiga durante todo este tiempo que he sido estudiante, quien siempre ha sido muy sincera conmigo y me ha colaborado en momentos muy difíciles en la universidad, alguien que me ha dado buenas enseñanzas y una linda amistad y a quien siempre voy a tenerle un gran cariño, la profesora Alba Loren Silva.

A la ingeniera Ximena Paredes, le agradezco su colaboración permanente en el área de fluidos, logro hacer que comprendiera ese mundo, ya que para mí era algo ajeno, ella logro con su cariño que entendiera los fluidos.

Alguien que siempre me ha colaborado en cada ocasión que he necesitado consejos, y ha estado presto para ayudarme es el Arquitecto Ángel Vera, a quien agradezco su colaboración permanente durante toda mi carrera.

Existe alguien más que debo mencionar, alguien que me ayudó a ver que mi camino no estaba en la ingeniería Física, alguien que sabiamente me dijo: “la carrera que usted escoge en la vida, es como el matrimonio, si usted se casa con un hombre que no se aguanta, toda la vida va a vivir amargada, por eso escoja bien la carrera, para que esté feliz toda su vida.”; éstas sabias palabras me las dijo el Físico George Washington, profesor de ingeniería Física de la Universidad del Cauca, de quien aprendí muchas cosas que me han servido siempre, y a quien le agradezco haberme hecho abrir los ojos y a quien considero un gran amigo.

Agradezco a todos mis compañeros y amigos que estuvieron siempre apoyándome y colaborándome, en especial a Alejandra Obando, Erika Martínez, Jullieth Silva, Gisela Morales, Susan Cortez, Rubén Oliveros, Cesar Teran, Alex Joaquí, Anderson Coronel, Deiver Fajardo, William Velazco, Tito Rodríguez, Manuel Sneyder Vargas y Didier Medina, Quienes han compartido conmigo toda la carrera, a quienes considero que son los mejores amigos que he podido tener.

A todos y cada uno que nombré, les doy mi mayor agradecimiento porque cada persona ha plantado una semilla en mi corazón y en mi mente y esto es lo que me ha formado tal y como soy.

¡GRACIAS!



Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	16
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
3	OBJETIVOS.....	18
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4	METODOLOGÍA.....	19
5	MARCO TEÓRICO.....	21
5.1	DEFINICIÓN DE MUROS ESTRUCTURALES O MUROS A CORTANTE.....	21
5.2	IMPORTANCIA DE LOS ELEMENTOS DE BORDE EN LOS MUROS A CORTANTE.....	23
5.3	TIPOS DE FALLAS EN MUROS DE CORTE.....	26
5.3.1	Falla por flexión:.....	26
5.3.2	Falla por Corte:.....	27
5.3.3	Falla por deslizamiento:.....	28
6	HISTORIA DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA MUROS CORTANTES EN COLOMBIA.....	30
6.1	DECRETO 1400 DE 1984.....	30
6.2	REGLAMENTO NSR-98.....	34
6.3	NSR-10.....	35
6.4	ELEMENTOS DE BORDE PARA MUROS ESTRUCTURALES ESPECIALES.....	37
6.5	CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE) ACI 318-14.....	39
7	DISEÑO DE MUROS A CORTANTE CON ELEMENTOS DE BORDE.....	41



7.1	PROCEDIMIENTO	41
7.2	MUROS A CORTANTE CON ELEMENTOS DE BORDE	47
8	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DE ELEMENTO DE BORDE PARA UN MURO EN CONCRETO REFORZADO	49
8.1	OBTENCIÓN DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN.....	49
8.2	OBTENCIÓN DE LA ZONA DONDE NO REQUIERA DE ELEMENTO DE BORDE DENTRO DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN.	60
8.2.1	CRITERIO DEL EJE NEUTRO.....	60
8.2.2	MÉTODO DE LOS ESFUERZOS	70
9	EJEMPLO DE DIAGRAMA DE INTERACCIÓN PARA UN MURO CON ELEMENTOS DE BORDE.....	84
9.1	EXCEL	84
9.2	ETABS	90
9.3	SAP2000.....	94
10	COMPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE MURO SIN ELEMENTOS DE BORDE Y MURO CON ELEMENTOS DE BORDE.....	100
11	EJEMPLO DE DISEÑO DE UN MURO PARA UN PROYECTO REAL.....	105
12	PROCESO CONSTRUCTIVO DE MUROS DE CORTE.....	111
12.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS DE CONCRETO REFORZADO:	111
12.2	PROBLEMAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CORTE.	112
13	CONCLUSIONES	124
14	BIBLIOGRAFÍA	126
15	ANEXOS	127
15.1.1	ANEXO A: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN PROYECTO REAL OBTENIDO DE ETABS.	128



TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1 Muro a cortante. Tomada del libro de Wight & MacGregor	21
Imagen 2 Tipos de muros a cortante. Imagen tomada del libro de Wight & MacGregor	22
Imagen 3 Tipos de formas más usuales de muros a cortante.....	22
Imagen 4 Modelo estructural de un muro a cortante.	24
Imagen 5 Curvatura inelástica del muro.	24
Imagen 6 Diagrama de deformaciones del muro.	25
Imagen 7 Diagrama de deformaciones con $c > c$ límite.	25
Imagen 8 Falla por flexión, imágenes del terremoto de Chile. Tomadas de www.scielo.org.mx .	26
Imagen 9 Falla por corte. Tomadas de www.scielo.org.mx	27
Imagen 10 Falla por Deslizamiento (corte-cizalle). Tomada de laopini3n.com	28
Imagen 11 Deficiente confinamiento en los elementos de borde. Tomada de Scielo.org	29
Imagen 12 Falta de confinamiento y longitud menor. Tomada de Scielo.org	29
Imagen 13 Refuerzo de un muro con elementos de borde, Tomada del acta 149 de 2018.....	30
Imagen 14 Artículo C.21.8.2.....	31
Imagen 15 Artículo C.21.8.3.....	31
Imagen 16 Párrafos C.21.8.3-Imagen tomada del acta 149 de 2018.....	32
Imagen 17 Ejemplo de muro estructural con elementos de borde.....	33
Imagen 18 C.21.6.6 sección a) - fragmento tomado del acta 149 de 2018.....	34
Imagen 19 C.21.6.6 sección c) - fragmento tomado del acta 149 de 2018.....	35
Imagen 20 Fragmento tomado del acta 149 de 2018	36
<i>Imagen 21 Refuerzo, Tomada del acta 149 de 2018.....</i>	<i>36</i>
Imagen 22 Tomada del acta 149 de 2018, Fragmento de la norma sismo resistente de 2010.....	37
Imagen 23 Zona donde se requiere confinamiento.	38
Imagen 24 Cambios realizados en la NSR-10, tomada del acta 149 de 2018	38
Imagen 25 Región donde se requieren elementos de borde.....	42
Imagen 26 Sección transversal del muro.	42
Imagen 27 Perfil del muro.	43
Imagen 28 fragmento del acta 149 de 2018	44



Imagen 29 fragmento del acta 149 de 2018	45
Imagen 30 Secciones tomadas de la NSR-10 C.21.9.6.2.....	47
Imagen 31 Secciones tomadas de la NSR-10 c.21.9.6.3 Y C.21.9.6.4	48
Imagen 32 Ejemplo de la sección del muro.	49
Imagen 33 Muro con espesor de 0.10m con área de acero igual a 20 varillas #4, realizado con Etabs	54
Imagen 34 Muro con espesor de 0.10m con área de acero igual a 20 varillas #4, realizado en Sap2000.....	55
Imagen 35 Muro con espesor de $h=0.15\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$	62
Imagen 36 Muro con $h=0.20\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$	64
Imagen 37 Muro con $h=0.30\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$	66
Imagen 38 Sección del muro con $h=0.10\text{m}$	70
Imagen 39 Sección del muro con $h=0.15$ y $A_s=20\#4$	74
Imagen 40 Sección del muro con $h=0.20\text{m}$ y $A_s=20\#4$	77
Imagen 41 Sección de muro con $h=0.30\text{m}$ y $A_s=20\#4$	80
Imagen 42 Modelo del muro a ensayar en los programas.	84
Imagen 43 Centro de gravedad del muro con elementos de borde.	88
Imagen 44 Muro con elementos de borde de sección $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$ en ETABS.	91
Imagen 45 Sección del muro con elementos d borde de $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$ en ETABS.	92
Imagen 46 Diagrama de interacción del muro con elementos de borde de sección $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$ con el programa Etabs.....	93
Imagen 47 Muro realizado en SAP2000 con elementos de borde de $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$	94
Imagen 48 Sección transversal del muro con elementos de borde, diseñado en SAP2000	95
Imagen 49 Diagrama de interacción del muro de sección $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$, realizado en el programa SAP2000.	96
Imagen 50 Diagrama de interacción del muro con elementos de borde, resistencia de diseño. Sap2000.....	97
Imagen 51 Dimensiones de los elementos de borde.	100
Imagen 52 Proyecto real sin modificaciones	105
Imagen 53 Planta del proyecto real.....	106
Imagen 54 Ampliación del Muro analizad, sobre el eje B2, entre ejes 22 y 20.	106



TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Acero de viga expuesto. Tomada por Jennifer Ospina.....	112
Fotografía 2 Viga afectada por mal vibrado. Tomada por Jennifer Ospina.....	113
Fotografía 3 Falta de vibrado en muro. Tomada por Jennifer Ospina	113
Fotografía 4 Hormiguelo presente en muro, con acero expuesto. Tomada por Jennifer Ospina.	114
Fotografía 5 Mal confinamiento. Mal vibrado y falta de separador en la malla. Tomada por Jennifer Ospina.	114
Fotografía 6 Losa afectada por mal vibrado, acero expuesto. Tomada por Jennifer Ospina.....	115
Fotografía 7 Acero expuesto, mal confinamiento. Falta de separadores de losa y vibrado deficiente. Tomada por Jennifer Ospina.	115
Fotografía 8 Viga con estribos mal instalados. Tomada por Jennifer Ospina.	116
Fotografía 9 Malla electrosoldada incompleta. Tomada por Jennifer Ospina.	116
Fotografía 10 Grafileros torcidos y en mal estado. Tomada por Jennifer Ospina.	117
Fotografía 11 Malla electrosoldada torcida. Tomada por Jennifer Ospina.....	117
Fotografía 12 Instalación de formaleta. Tomada por Jennifer Ospina.....	118
Fotografía 13 Mal confinamiento, mal vibrado, falta de separadores de muro. Tomada por Jennifer Ospina.	118
Fotografía 14 Mal confinamiento, falta de separador de muro, malla electrosoldada visible. Tomada por Jennifer Ospina.	119
Fotografía 15 Falta de separador de muro, mal vibrado, confinamiento deficiente. Tomada por Jennifer Ospina.	119
Fotografía 16 Losa con acero expuesto por mal vibrado, falta de separador de losa. Tomada por Jennifer Ospina.	120
Fotografía 17 Hormiguelo producido por tuberías y mal vibrado. Tomada por Jennifer Ospina.	120
Fotografía 18 Instalación inadecuada de estribos en viga. Tomada por Jennifer Ospina.	121
Fotografía 19 Hormiguelo en muro por mal vibrado. Tomada por Jennifer Ospina.	121



TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Valores de ϕ_c vs la relación Altura / longitud del muro.	37
Gráfica 2 Diagrama de interacción del muro	43
Gráfica 3 Valor de c encontrado en el diagrama de interacción, tomada del acta 149 de 2018 ...	44
Gráfica 4 Resistencia nominal muro con $h=0.10\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$	56
Gráfica 5 Resistencia nominal del muro con $h=0.15\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$	57
Gráfica 6 Resistencia nominal del muro con $h=0.20\text{m}$ y $A_{st}=20\#5$	58
Gráfica 7 Resistencia nominal del muro de 0.30m y $A_{st}=20\#4$	59
Gráfica 8 Zona donde no requiere elementos de borde en el muro de $h=0.10\text{m}$	61
Gráfica 9 Zona que no requiere elementos de borde. Resistencia nominal para el muro de $h=0.15\text{m}$, $A_{st}=20\#4$. P_n vs M_n	63
Gráfica 10 Zona donde no se requieren elementos de borde en el muro con $h=0.20\text{m}$	65
Gráfica 11 Zona donde no se requieren elementos de borde para el muro de $h=0.30\text{m}$	67
Gráfica 12 Compilación de curvas de los muros analizados con el literal C.21.9.6.2 c vs P_u	68
Gráfica 13 Compilación de curvas de los muros analizados con el literal C.21.9.6.2 c vs M_u	68
Gráfica 14 Comparación de los resultados encontrados al variar el momento y dejar el espesor constante como $h=0.10\text{m}$	73
Gráfica 15 Compilación de resultados obtenidos al variar el momento último y con un espesor de 0.15m	76
Gráfica 16 Compilación de resultados obtenidos al variar el momento último y con un espesor de 0.20m	79
Gráfica 17 Compilación de resultados obtenidos al variar el momento último y con un espesor de 0.30m	83
Gráfica 18 Diagrama de interacción del muro con elementos de borde.	90
Gráfica 19 Resistencia nominal del muro con elementos de borde de sección $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$...	99
Gráfica 20 Resistencia de diseño del muro con elementos de borde de sección $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$	99
Gráfica 21 Comparación de diagramas de interacción para muro con $h=0.10\text{m}$ y muro con elementos de borde.	102
Gráfica 22 comparación de resistencias nominales del muro con elementos de borde y sin ellos, con $h=0.20\text{m}$	103



Gráfica 23 Resistencia nominal para muro con elemento de borde y muro sin ellos con $h=0.30m$	104
Gráfica 24 (Pu, Mu), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.10m$ y $A_{st}=20\#4$	108
Gráfica 25 (Pu, Mu), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.15m$ y $A_{st}=20\#4$	108
Gráfica 26 (Pu, Mu), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.20m$ y $A_{st}=20\#4$	109
Gráfica 27 (Pu, Mu), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.30m$ y $A_{st}=20\#4$	109

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Refuerzo mínimo permitido en el decreto 1400 de 1984.....	30
Tabla 2 Cuantía mínima para refuerzo vertical y horizontal exigido por la NSR-10.....	35
Tabla 3 Compilación de requerimientos de la ACI. General.....	39
Tabla 4 Compilación de requerimientos de la ACI para elementos de borde.	40
Tabla 5 Configuraciones del muro en Concreto Reforzado.....	49
Tabla 6 Deformaciones halladas para el muro de espesor $h=0.10m$, $L_w =2.0m$, utilizando 20 varillas N°4	51
Tabla 7 Esfuerzos hallados para el muro de espesor $h=0.10m$, $L_w =2.0m$, utilizando 20 varillas N°4.....	51
Tabla 8 Tipo de fuerza encontradas para el muro de espesor $h=0.10m$, $L_w =2.0m$, utilizando 20 varillas N°4.	52
Tabla 9 Puntos obtenidos de los programas para Resistencia nominal del muro con $h=0.10m$ y $A_{st}=20\#4$	55
Tabla 10 Resistencia nominal del muro con $h=0.15m$ y $A_{st}=20\#4$	57
Tabla 11 Resistencia de diseño del muro con $h=0.15m$ y $A_{st}=20\#4$	58
Tabla 12 Resistencia nominal del muro con $h=0.30m$ y $A_{st}=20\#4$	59
Tabla 13 Valor de c para $h=0.10m$ y $A_{st}=20\#4$	60
Tabla 14 Valores obtenidos de c con $h=0.15m$ y $A_{st}=20\#4$	62



Tabla 15 datos reales para c con $h=0.20m$	64
Tabla 16 datos reales para c con $h=0.30m$	66
Tabla 17 Cargas a partir de los cuales se requieren elementos de borde según el espesor del muro.	69
Tabla 18 Momentos a partir de los cuales se requieren elementos de borde según el espesor del muro.	69
Tabla 19 Datos base para los Cálculos realizados, manteniendo el espesor y las cargas constantes con momento último variable.	70
Tabla 20 Resultados obtenidos con momentos de $10Kn-m$ y $50Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.10m$	71
Tabla 21 Resultados obtenidos con momentos de $100Kn-m$ y $200Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.10m$	72
Tabla 22 Resultados obtenidos con momentos de $250Kn-m$ y $300Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.10m$	72
Tabla 23 Carga a partir de la que se requiere elemento de borde en el muro con $h=0.10m$	73
Tabla 24 Datos base con los que se realizaron los cálculos.....	74
Tabla 25 Resultados obtenidos con momentos de $10Kn-m$ y $50Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.15m$	75
Tabla 26 Resultados obtenidos con momentos de $100Kn-m$ y $200Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.15m$	75
Tabla 27 Resultados obtenidos con momentos de $250Kn-m$ y $300Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.15m$	76
Tabla 28 Carga a partir de la que se requiere elemento de borde en el muro con $h=0.15m$	77
Tabla 29 Datos base con los que se realizaron los cálculos.....	78
Tabla 30 Resultados obtenidos con momentos de $10Kn-m$ y $50Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.20m$	78
Tabla 31 Resultados obtenidos con momentos de $100Kn-m$ y $200Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.20m$	78
Tabla 32 Resultados obtenidos con momentos de $250Kn-m$ y $300Kn-m$, manteniendo el espesor del muro en $0.20m$	79
Tabla 33 Carga a partir de la que se requiere.....	80



Tabla 34 Datos base con los que se realizaron los cálculos.....	81
Tabla 35 Resultados obtenidos con momentos de 10Kn-m y 50Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.30m.	81
Tabla 36 Resultados obtenidos con momentos de 100Kn-m y 200Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.30m.	82
Tabla 37 Resultados obtenidos con momentos de 250Kn-m y 300Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.30m.	82
Tabla 38 Carga a partir de la que se requiere.....	83
Tabla 39 Deformaciones halladas para el muro con elementos de borde.....	85
Tabla 40 Esfuerzos hallados para el muro con elementos de borde.	86
Tabla 41 Tipo de fuerza encontradas para el muro con elementos de borde.....	87
Tabla 42 Proceso para encontrar el centro de gravedad del muro con elementos de borde.	87
Tabla 43 Coordenadas del centro de gravedad del muro con elementos de borde.	87
Tabla 44 Resistencia de diseño y nominal calculadas para el muro con elementos de borde.	89
Tabla 45 Resistencia nominal del muro con elementos de borde, obtenida de los programas Excel, Etabs y SAP2000	98
Tabla 46 Resistencia de diseño del muro con elementos de borde, obtenida de los programas Exel, Etabs y SAP2000	98
Tabla 47 Dimensiones de los elementos de borde.....	100
Tabla 48 Resistencia nominal y de diseño para muro con h=0.10m con Excel.....	101
Tabla 49 Resistencia nominal y de diseño para muro con h=0.20m con Excel.....	101
Tabla 50 Resistencia nominal y de diseño para muro con h=0.30m con Excel.....	101
Tabla 51 Datos del muro seleccionado similar a los analizados en el capítulo 6.	105
Tabla 52 Puntos de Pu y Mu de cada piso del edificio.	107
Tabla 53 Compilación de resultados del muro del proyecto real.....	110



1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil abarca un gran conocimiento e historia a través del tiempo, es la encargada de que la sociedad avance. Los ingenieros civiles, tenemos el deber de diseñar las estructuras, teniendo en cuenta la seguridad que se le debe proporcionar al usuario, la resistencia que la estructura debe tener para soportar fuerzas de la naturaleza tales como los sismos, huracanes, entre otros. El ser humano ha cambiado la forma de crear construcciones con el paso del tiempo, desde nuestros antepasados se ha venido variando en materiales tales como, tierra pisada, arcilla, guadua, madera y el más nuevo de todos, el concreto. Los ingenieros civiles tenemos la responsabilidad de diseñar métodos de análisis que den la certeza de preservar la vida de quienes hagan uso de las estructuras diseñadas, además de buscar una forma económica de realizarlo; es esta razón principal la que ha llevado a muchas constructoras de diferentes partes del mundo a diseñar edificaciones con muros de concreto reforzado, ya que éste nuevo tipo de construcción disminuye costos y reduce el tiempo en llevar a cabo la obra.

Con el fin de comprender el funcionamiento de un muro de concreto reforzado y de verificar la necesidad de utilizar elementos de borde, se realizaron diferentes métodos computacionales utilizando como base un muro con dimensiones definidas tomando como única variable el espesor y evaluando su comportamiento a flexo-compresión. El muro fue modelado en los programas Etabs y SAP2000 con el propósito de comparar resultados obtenido de un análisis en el programa Excel.



2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En países como Chile, Argentina, México, Nueva Zelanda, Colombia, entre otros, se ha observado un incremento en este tipo de construcción, lamentablemente se ha notado por experiencias vividas en los sismos de Chile y Nueva Zelanda, que los edificios con muros de ductilidad limitada presentaron falla por compresión en los bordes de los muros. En el sismo, que ocurrió en Chile el 27 de febrero de 2010 con aceleración promedio de 0.24g, las causas que le atribuyeron al daño de las edificaciones de muros de concreto fallados fueron: deficiencia de estribos debido a la separación tan amplia que estos muros manejaban (se llegó a encontrar una separación máxima de 35.0cm entre estribos), mayor cantidad de muros con mayor esbeltez, y pisos blandos.

En el año 2011 el día 22 de febrero, se presentó un sismo con una aceleración de 0.78g en Nueva Zelanda, en las fallas principales en los edificios de muros de ductilidad limitada fueron: ausencia de estribos para restricción de pandeo alrededor del refuerzo longitudinal a lo largo del muro, deficiente configuración y dimensionamiento en los elementos de borde para restricción de pandeo y excesiva carga axial por gravedad. Teniendo en cuenta los problemas encontrados a raíz de estos sismos, se genera la preocupación de analizar la necesidad de reforzar los bordes en los muros (video 1) ^[1].

En Colombia se ha incrementado la construcción de tipo industrializada, específicamente en Popayán se han construido muchos edificios utilizando el sistema industrializado. dado que los muros son muy delgados, se generan varias preguntas sobre su comportamiento a la hora un sismo. La mayoría de los edificios en esta ciudad tiene espesor de muro de 8.0cm, lo que no deja mucho espacio para confinamiento del acero.

La NSR-17 especifica un espesor mínimo permitido de 10.0 cm, con el cual se están construyendo ahora las nuevas estructuras, pero ¿qué tan bueno es tener ese espesor para la construcción de muros?, Teniendo esa incógnita como base se decidió realizar el análisis de muros con diferente espesor, afectados por cargas de flexo-compresión.

[1] Ingeniero Carlos Córdoba Rojas. [Comentarios sobre el diseño de muros de corte de concreto armado (Shear walls)]. [Archivo de video] <https://m.youtube.com/watch?v=9yNQ0df-314&t=569s>.



3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento de los elementos de borde para diferentes tipologías de muros.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el funcionamiento de un muro de concreto reforzado.
- Analizar la necesidad de utilizar elementos de borde en los muros de concreto reforzado.
- Realizar el diseño de muros de concreto reforzado que requieran elementos de borde, en diferentes programas de análisis estructural.
- Reforzar los conocimientos de la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10), aplicando los requerimientos al diseño estructural.



4 METODOLOGÍA

Para los análisis se tomó como modelo un muro en concreto de medidas constantes tales como la altura ($H_w=2.5\text{m}$), la longitud ($L_w=2.0\text{m}$) y el área de acero ($A_{st}=20\ \#4$), y como variable el espesor del muro (10cm, 15cm, 20cm y 30cm), con el fin de determinar la necesidad de utilizar elementos de borde acorde al reglamento NSR10. Los cálculos se realizaron de forma computacional con fines teóricos.

- a) Se llevó a cabo una recopilación relacionada con el diseño estructural de muros en concreto, la cual será presentada en los capítulos 5 y 6. Dentro de ellos se presenta la definición de muros a cortante, la importancia de los elementos de borde en un muro, los tipos de fallas más comunes en los muros de corte. Se especifican las variaciones a lo largo del tiempo que se han presentado en los requisitos de diseño en el Reglamento Colombiano Sismo Resistente (NSR-10) para muros a cortante con elementos de borde.
- b) Capítulo 7: Se presenta el proceso para diseñar un muro a cortante con elementos de borde.
- c) En el capítulo 8, se presentan el procedimiento paso a paso para el cálculo del diagrama de interacción de un muro con los siguientes datos: ($L_w=20\text{m}$, $H_w=2.5\text{m}$, $h=0.10\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$). Adicionalmente, se ejecutó el mismo procedimiento para espesor de: 0.15, 0.20 y 0.3, tomando los otros factores como constantes.

En la sección 8.2.1 se muestra el criterio de la posición eje neutro c . Para esto, se tomaron las mismas configuraciones de la parte anterior. Los resultados encontrados fueron corroborados por medio de los programas Etabs y Sap2000.

En la sección 8.2.2. Método de los esfuerzos: Utilizando el literal C.21.9.6.3 de la NSR-10, el cual emplea cálculos de esfuerzos en la fibra más comprimida. Se tomó como referencia los mismos muros trabajados en 8.2.1, con el propósito de calcular una carga axial límite.

- d) En el capítulo 9 encontrará el diseño de un muro con elementos de borde. Se realizaron los cálculos para obtener el diagrama de interacción del muro planteado, los cuales se programaron en Excel, además, se diseñó el muro en los programas Etabs y SAP2000,



- con el fin de comparar los resultados obtenidos del análisis realizado y se graficaron los respectivos diagramas de interacción para compararlos.
- e) Capítulo 10: Se presenta la comparación de los diagramas de interacción realizados en los capítulos 8 y 9, con el fin de analizar el mejor comportamiento a flexo - compresión en los muros planteados.
 - f) Capítulo 11: Se obtuvo un diseño de un edificio real de 10 pisos, en el que se escogió un muro con dimensiones equivalentes a las trabajadas en el capítulo 8, con el propósito de evaluar los resultados obtenidos en éste. Además, se realizó un ejercicio que consistía en retirar piso a piso hasta quedar solo el nivel 1, con el fin de verificar hasta que nivel con las cargas utilizadas es necesaria la utilización de elementos de borde en el muro.
 - g) Para finalizar se presenta en el capítulo 12, el proceso constructivo de los muros con ductilidad limitada y problemas que se presentan en su construcción, se podrán observar diferentes fotografías tomadas en un proyecto real que se construyó en la ciudad de Popayán.



5 MARCO TEÓRICO

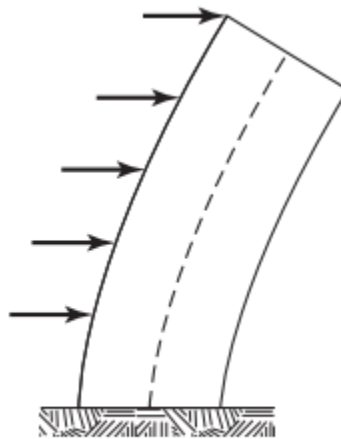
5.1 DEFINICIÓN DE MUROS ESTRUCTURALES O MUROS A CORTANTE

Los autores Wight & MacGregor (Wight & MacGregor, 2009), Explican de forma muy práctica la definición de muros estructurales:

Son muros diseñados para resistir fuerzas de corte, momentos y fuerzas axiales, generados por la acción de cargas laterales debidas al viento o los terremotos que actúan en el edificio.

La definición de muros de cortante dada por Jack C. McCormac y Russel H. Brown (Jack C. McCormac & Russel H. Brown, 2011), se presenta como “vigas en voladizo vertical de gran peralte que proporcionan estabilidad lateral a las estructuras, al resistir las fuerzas cortantes y momentos flexionantes en sus planos causados por las fuerzas laterales” (p.545).

Imagen 1 Muro a cortante. Tomada del libro de Wight & MacGregor



MURO A CORTANTE

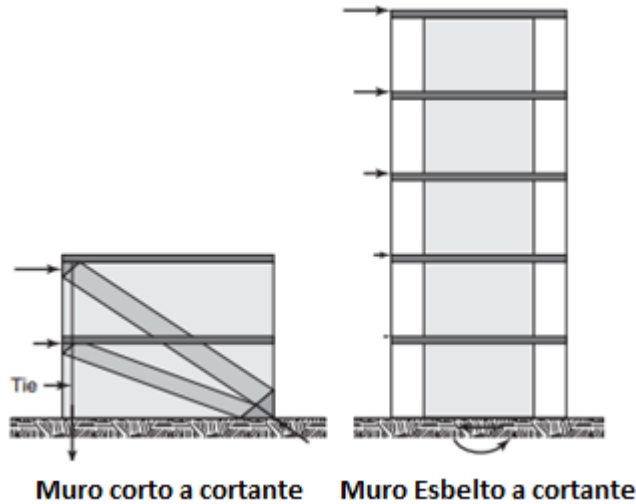
El término muro cortante se usa para describir un muro que resiste cargas de viento lateral o de terremoto actuando en paralelo al plano del muro, además de las cargas de gravedad de los pisos y la cubierta adyacente a la pared.

Hay dos tipos de muros cortantes: cortos y esbeltos, los cortos se caracterizan por no tener más de tres pisos de alto, básicamente se denotan cuando la relación altura/longitud es menor a 2. Si por el contrario esta relación es mayor o igual a 2, se clasifica como un muro esbelto a cortante,



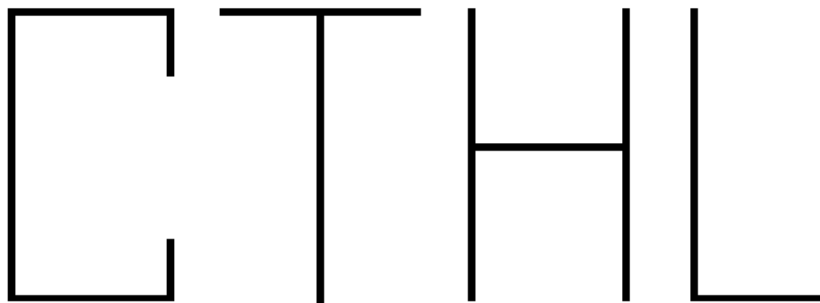
aquellos que tienen más de tres pisos y son conocidos como muro en voladizo o muros empotrados. según (Wight & MacGregor, 2009), en la página 980, ver Imagen 2.

Imagen 2 Tipos de muros a cortante. Imagen tomada del libro de Wight & MacGregor



Los muros a cortante pueden tener forma de C, T, L o H, (Imagen 3), los cuales tienen como fin cerrar espacios, tales como escaleras, o ascensores.

Imagen 3 Tipos de formas más usuales de muros a cortante.



El muro a cortante actúa como viga vertical en voladizo, al proporcionar soporte lateral queda sometido a flexión y fuerza cortante. La fuerza cortante máxima V_u , y el momento de flexión máximo M_u se calculan en la base, y los esfuerzos de flexión se verán afectados por la carga axial N_u , (McCormac & Brown, 2011), cuando una estructura resistente a cargas laterales, las partes más rígidas de la estructura, atraen fuerzas mayores, lo que nos indica que al tener muros a cortante,



ellos van a atraer mayores fuerza, por lo que se deben diseñar con un refuerzo adecuado, para que resistan las solicitaciones.

El esfuerzo a cortante es más importante en muros con relación de altura a longitud menores de 2, y que los esfuerzos a flexión son más importantes en muros altos, particularmente en aquellos con esfuerzo distribuido uniforme.

5.2 IMPORTANCIA DE LOS ELEMENTOS DE BORDE EN LOS MUROS A CORTANTE

Un muro a cortante es diseñado para trabajar a flexión, sin embargo, en algunas ocasiones puede requerir refuerzo cortante para prevenir las fallas por tensión diagonal, de ahí su nombre **muros a cortante**, ya que tienen que resistir una gran parte del sismo.

Cuando se producen fuerzas laterales eólicas o producto de un sismo, se generará un desplazamiento en el muro (δ_u), en caso de ser desplazamientos grandes se requerirá utilizar un refuerzo que sea capaz de resistir tracciones y compresiones que genera el desplazamiento, por esta razón son necesarios los elementos de borde, los cuales deberán ser diseñados según las solicitaciones de la estructura y cumpliendo las normas de diseño que exige el reglamento colombiano sismo resistente (NSR-10).

A continuación, se presenta la demostración de la importancia de utilizar elementos de borde en muros de corte.

Al estar sometido el muro a fuerzas laterales provenientes de sismos o fuerzas eólicas, este reaccionará produciendo un desplazamiento máximo inelástico, el cual origina una rotación plástica, además se generarán rotulas plásticas (quiere decir que se aplastará en un extremo y en el otro se traccionará), de compresión y flexión en la base, las cuales se producen a una altura L_p (ver Imagen 4).

Imagen 4 Modelo estructural de un muro a cortante.

MODELO ESTRUCTURAL DE UN MURO A CORTANTE

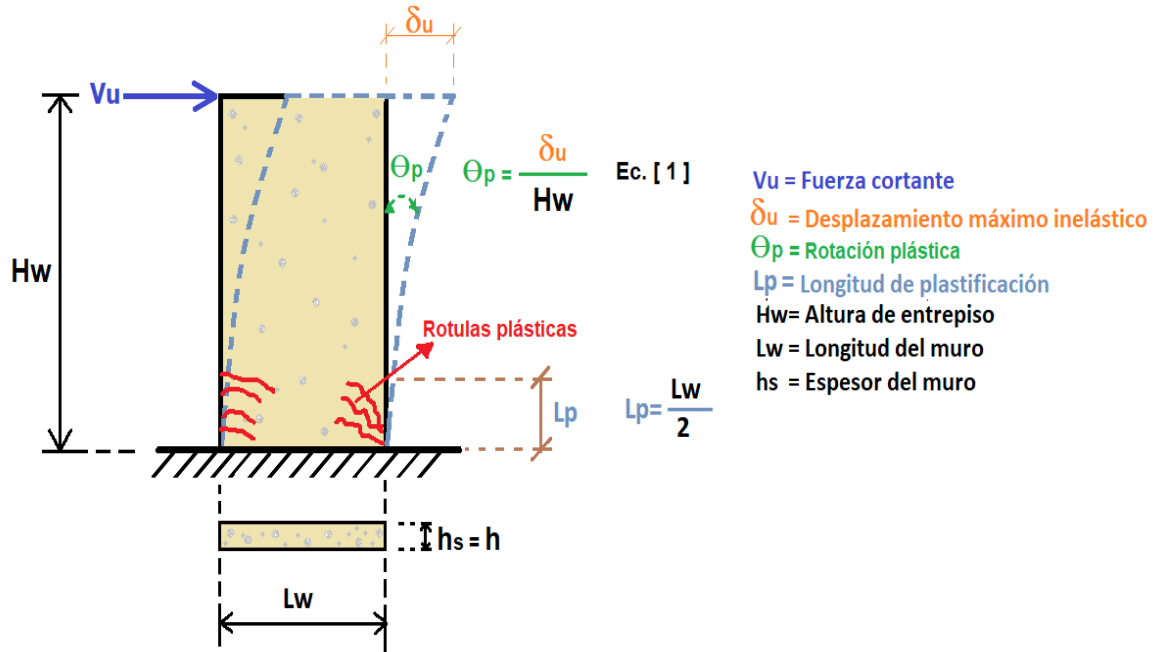
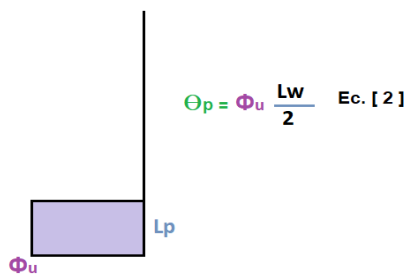


Imagen 5 Curvatura inelástica del muro.

CURVATURA INELÁSTICA



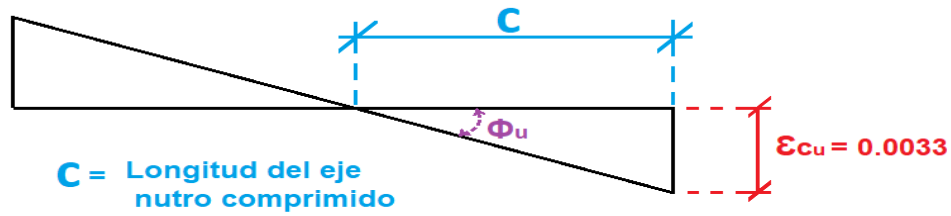
Utilizando el diagrama de la curvatura inelástica del muro (Imagen 5), calculamos la rotación plástica, se reemplaza la ecuación [1], en la ecuación [2] y se obtiene:

$$\frac{\delta_u}{Hw} = \Phi_u \frac{Lw}{2} \quad \text{Ec. [3]}$$

Dibujando el diagrama de deformaciones del muro, se despeja el valor de c , y se reemplaza la ecuación [3] en esta nueva ecuación, obteniendo el valor para c límite:



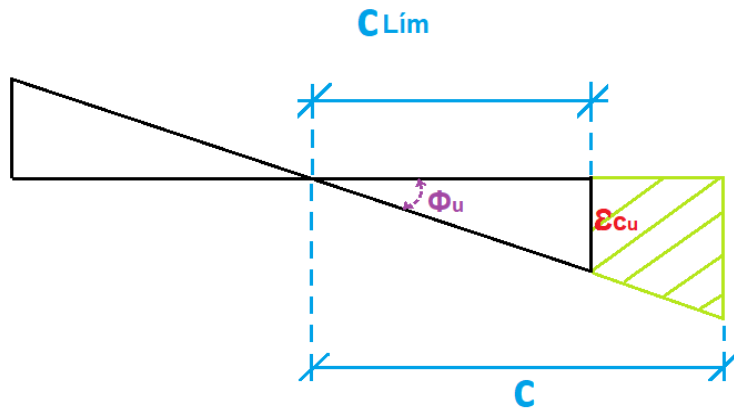
Imagen 6 Diagrama de deformaciones del muro.




$$C = C_{Lím} = \frac{\epsilon_{cu} Lw}{2 \left(\frac{\delta_u}{Hw} \right)}$$

$$C_{Lím} = \frac{Lw}{600 \left(\frac{\delta_u}{Hw} \right)}$$

Imagen 7 Diagrama de deformaciones con $c > c$ límite.



 Área que sobrepasa la deformación unitaria última del concreto. $C > C_{Lím}$

El área achurada verde (Imagen 7), representa la zona que sufrirá deformaciones, por esta razón requiere ser confinada adecuadamente, es decir, requiere elementos de borde.



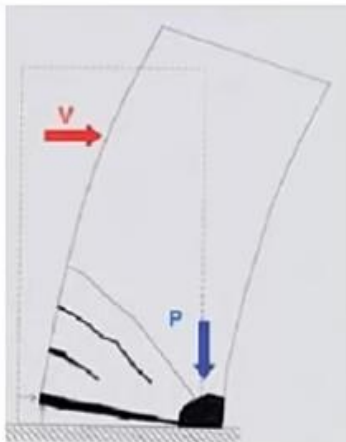
5.3 TIPOS DE FALLAS EN MUROS DE CORTE.

Las fallas más frecuentes son por flexión, corte y deslizamiento(corte-cizalle).

5.3.1 Falla por flexión:

Son causadas por exceso de carga en el muro, se caracteriza por el balanceo del muro en torno a sus extremos, transmitiéndose gran parte de la carga vertical P , por el extremo comprimido, lo que puede originar la trituración del concreto y el pandeo del refuerzo vertical, en caso de no existir confinamiento en los extremos, la falla por flexión se concentra en la zona más débil del muro (Imagen 8).

Imagen 8 Falla por flexión, imágenes del terremoto de Chile. Tomadas de www.scielo.org.mx.





5.3.2 Falla por Corte:

Aparecen cuando la estructura es sometida a fuerza cortante como los sismos, se caracteriza por la presencia de grietas diagonales, los talones del muro pueden triturarse con el subsiguiente pandeo del esfuerzo vertical, si el extremo carece de estribos de confinamiento (Imagen 9).

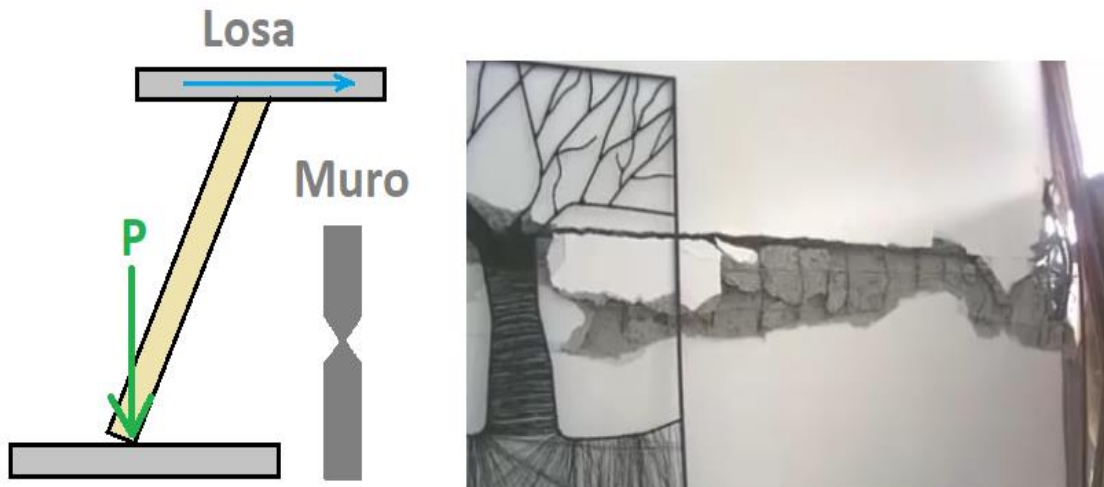
Imagen 9 Falla por corte. Tomadas de www.scielo.org.mx



5.3.3 Falla por deslizamiento:

Es una derivación de la falla por flexión, producida al conectarse dos grutas formadas por flexión en ambos extremos del muro, por lo general ocurren en las juntas de construcción del muro, y es aún más crítica si hay segregación del concreto, juntas lisas o cuando los traslapes del refuerzo vertical son realizados en la misma sección transversal, se puede presentar además por diseñar el refuerzo vertical solo por flexión, sin considerar la fuerza cortante (ver Imagen 10).

Imagen 10 Falla por Deslizamiento (corte-cizalle). Tomada de laopinión.com





Sismo de Chile en 2010:

El sismo de Chile tuvo un comportamiento diferente en su territorio, encontrándose con aceleraciones en suelos de buena calidad que oscilaban entre 0.17g y 0.30g, con un promedio de 0.24g, en ciudades como Maipú se registró una aceleración de 0.56g y en Concepción de 0.65g, siendo la más alta y en donde se diseñó con aceleraciones de 0.4g. Se presentaron grandes daños en las estructuras en donde se evidenciaron las fallas mencionadas anteriormente.

Estudios realizados por ingenieros civiles de Chile y Perú, concluyeron que:

Existían estribos transversales como longitudinales muy espaciados produciendo pandeo de acero longitudinal (Ver Imagen 11).

Había menor cantidad de muros y mayor esbeltez.

Exceso de compresión.

Muros de espesor inferior a 20cm, que en la práctica no se pueden confinar para alcanzar deformaciones unitarias superiores a 0.0040. Afirma Carl Lüders, director de SIRVE S.A., mayo de 2012. (Empresa reconocida en Chile por su trabajo en diseño Estructural).

En la Imagen 12, se presenta un caso ocurrido en uno de los edificios con problemas estructurales por fallas en los extremos de las placas, debido a la falta de confinamiento en el muro y por tener longitud menor que la del piso de arriba, según presentó el ingeniero Carlos Córdoba Rojas en su video: Comentarios sobre muros de corte de concreto armado.

Imagen 11 Deficiente confinamiento en los elementos de borde. Tomada de Scielo.org



Imagen 12 Falta de confinamiento y longitud menor. Tomada de Scielo.org





6 HISTORIA DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA MUROS CORTANTES EN COLOMBIA

6.1 DECRETO 1400 DE 1984

El refuerzo mínimo permitido para refuerzo horizontal y vertical esta mostrado en la Tabla 1:

Tabla 1 Refuerzo mínimo permitido en el decreto 1400 de 1984

Refuerzo vertical C.14.3.2

- a) 0.0012 Barras corrugadas Φ_s #5 y $F_y = 420\text{Mpa}$
- b) 0.0015 Otras barras corrugadas
- c) 0.0012 Malla electrosoldada (Lisa o corrugada) Φ_s 16mm

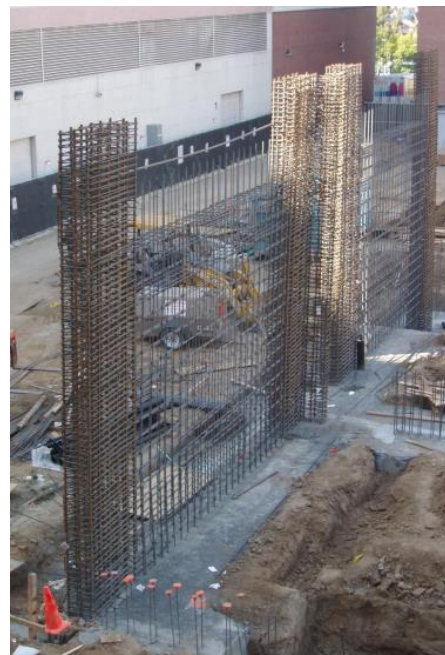
Refuerzo horizontal C.14.3.3

- a) 0.0016 Barras corrugadas Φ_s #5 o 16mm, con $F_y = 420\text{Mpa}$
- b) 0.0020 Otras barras corrugadas
- c) 0.0016 Malla electrosoldada (Lisa o corrugada) Φ_s 16mm

C.14.6. Se puede evidenciar que desde aquel año se definió el espesor mínimo para muros no portantes, el cual era 10.0cm ni menor de 1/30 de la menor distancia entre elementos que le den soporte lateral.

En la Imagen 13, se observa el refuerzo de un muro con elemento de borde, según se solicitaba en 1984.

Imagen 13 Refuerzo de un muro con elementos de borde, Tomada del acta 149 de 2018.





C.21 REQUISITOS SÍSMICOS

En cuanto a los requisitos sísmicos para refuerzo vertical, la norma de 1984 propone que se debe utilizar $\rho_v = 0.0020$, en cada una de las direcciones tanto transversal como longitudinal del elemento:

Imagen 14 Artículo C.21.8.2

ARTICULO C.21.8.2 - Refuerzo - La cuantía de refuerzo, ρ_v , para muros estructurales no debe ser menor que 0.0020 en cada una de las direcciones longitudinal y transversal, del elemento. El espaciamiento del refuerzo no debe exceder de 45 cm. El refuerzo requerido por análisis para cortante debe estar distribuido uniformemente a lo largo del plano de cortante.

Parágrafo C.21.8.2.1 - Deben usarse dos cortinas de refuerzo en el muro si la fuerza cortante mayorada asignada al muro excede $(0.5 A_{cv} \sqrt{f'c})$, donde $f'c$ está dado en kg/cm^2 .

En el año 1984, nace en Colombia la documentación para la utilización de los elementos de borde, se nombra en **C.21.8.3**, en donde se reglamenta que si el esfuerzo de la fibra extrema exceda **$0.20F'c$** , se deberá utilizar elementos de borde en los muros de concreto reforzado, y terminado donde el esfuerzo sea inferior que **$0.15F'c$** .

Imagen 15 Artículo C.21.8.3

ARTICULO C.21.8.3 - Elementos de Borde para Muros Estructurales y Diafragmas - Deben colocarse elementos de borde alrededor de los huecos y en los bordes de muros estructurales y diafragmas donde el esfuerzo calculado en la fibra extrema para las fuerzas mayoradas que incluyen efectos sísmicos exceda $(0.2 f'c)$, a menos que en la totalidad del muro o diafragma se coloque armadura tal como lo especifican los Artículo C.21.7.4 o C.21.7.5. Los elementos de borde pueden suspenderse donde el esfuerzo de compresión sea menor que $(0.15 f'c)$. Los esfuerzos deben calcularse para las fuerzas mayoradas obtenidas usando un modelo linealmente elástico y las propiedades correspondientes a la sección bruta del elemento.

Parágrafo C.21.8.3.1 - Los elementos de borde deben tener refuerzo transversal tal como lo define el Artículo C.21.7.4 en toda su longitud.

A continuación, se presentan los párrafos C.21.8.3.2, C.21.8.3.3 y C.21.8.3.4, para claridad:



Imagen 16 Parágrafos C.21.8.3-Imagen tomada del acta 149 de 2018

Parágrafo C.21.8.3.2 - Los elementos de borde de muros estructurales deben diseñarse para que resistan todas las cargas mayoradas del muro, inclusive peso propio y cargas aferentes, además de la carga vertical requerida para resistir el momento de vuelco producido por el sismo.

Parágrafo C.21.8.3.3 - Los elementos de borde de diafragmas deben diseñarse para resistir la suma de las fuerzas de compresión que actúan en el plano del diafragma y la fuerza obtenida de dividir el momento mayorado en la sección por la distancia entre los bordes del diafragma en esa sección.

Parágrafo C.21.8.3.4 - El refuerzo transversal en muros con elementos de borde debe quedar anclado dentro del núcleo confinado del miembro de borde para que sea capaz de desarrollar su esfuerzo de fluencia.

En la norma de 1984 (decreto 1400-1984), se propuso como requisito indispensable para el diseño de muros estructurales el uso de los elementos de borde siempre y cuando el esfuerzo de compresión sobrepasara $0.20F'c$, esto quiere decir que, al tener las cargas de diseño, se debe calcular el esfuerzo de compresión máximo y compararlo con el 20% del esfuerzo de compresión del concreto, presentada en la siguiente fórmula:

Fórmula 1 Requerimiento de elemento de borde en muros estructurales, por esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P_u}{A_{gw}} + \frac{M_u \ell_w / 2}{I_{gw}} \geq 0.2f'_c$$

Se debía confinar el elemento de borde en toda su altura hasta que alcanzara $0.15F'c$.

El área de acero de compresión y tracción eran obtenidos como se muestra en las Fórmula 2 y 3:

Fórmula 2 Acero a tracción.

$$P_{ut} = \frac{P_u}{2} - \frac{M_u}{(\ell_w - h_{eb})} \leq 0 \quad [1] \quad \phi P_{nt} = \phi A_{st} f_y \quad [2]$$

Se reemplazan [1] y [2] en [3], para despejar el área de acero a tracción.

$$\phi P_{nt} \geq -P_{ut} \quad [3]$$

$$\Rightarrow A_{st} \geq \frac{-P_{ut}}{\phi f_y}$$



Fórmula 3 Área de acero a compresión.

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{(\ell_w - h_{eb})} \quad (1)$$

$$\phi P_{nc} = \phi[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y] \quad (2)$$

$$\phi P_{n(max)} \leq 0.80 \phi P_{nc} \quad (3)$$

$$\phi P_{n(max)} \geq P_{uc} \quad (4)$$

Se reemplazan (2) en (3), (1) en (4) y se despeja el valor del área de acero de compresión.

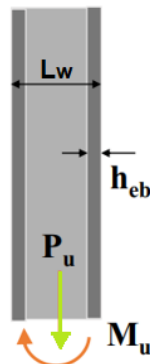
$$\Rightarrow A_{st} \geq \frac{P_{uc} - \phi 0.68f'_c A_g}{\phi 0.8 [f_y - 0.85f'_c]}$$

En la Imagen 17, se presenta una ilustración de un muro con elementos de borde.

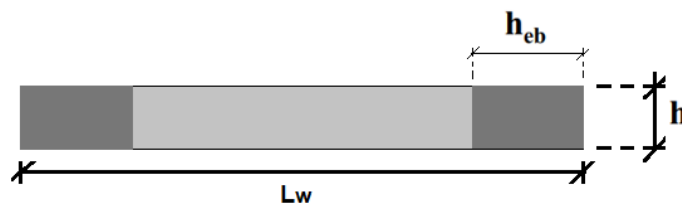
Imagen 17 Ejemplo de muro estructural con elementos de borde.

ELEMENTOS DE BORDE EN MUROS

Vista frontal del muro



Sección transversal del muro.



Donde:

L_w = Longitud del muro

H_{eb} = Longitud del elemento de borde

P_u = Carga mayorada

M_u = Momento último mayorado

A partir de la norma de 1984 se empezó a exigir un espesor mínimo h , el cual sería, el que requieran las cargas que deba soportar el muro.



6.2 REGLAMENTO NSR-98

En esta norma, se introducen las capacidades para las cuales deberían estar diseñadas las estructuras:

DMI = Disipación de energía mínima

DMO = Disipación de energía moderada

DES = Disipación de energía Especial

Debido a estas capacidades se evidenció que era necesario utilizar elementos de borde en las zonas con disipación de energía moderada, en donde se realizó una variación a los esfuerzos, los cuales ya no debían ser mayores que $0.20F'c$, sino que debían ser mayores de $0.30F'c$ y se podían suspender cuando los esfuerzos fueran menores de $0.22F'c$, utilizándolos en zonas con DMO.

La NSR-98, indica que en zonas con DMI, no se requieren elementos de borde, pero para zonas de **DES**, si son requeridos, siempre y cuando el esfuerzo máximo de compresión sobrepase $0.20F'c$, a menos que todo el muro sea reforzado y se puede suspender cuando el esfuerzo sea menor que $0.15F'c$. tal como se planteaba en la norma de 1984.

Imagen 18 C.21.6.6 sección a) - fragmento tomado del acta 149 de 2018

C.21.6.6 - ELEMENTOS DE BORDE EN MUROS ESTRUCTURALES - Los elementos de borde de los muros estructurales, cuando se requieran, deben cumplir los siguientes requisitos:

ELEMENTOS DE BORDE EN MUROS ESTRUCTURALES		
Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico		
Minima - DMI	Moderada - DMO	Especial - DES
No se requieren elementos de borde.	(a) Deben colocarse elementos de borde en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando el máximo esfuerzo en la fibra extrema, producido por las fuerzas sísmicas mayoradas que incluyan efectos sísmicos, exceda $0.3f'_c$, a menos que todo el muro esté reforzado de tal manera que cumpla los requisitos de los literales (a) a (d) de C.21.4.4. Los elementos de borde pueden discontinuarse cuando el esfuerzo de compresión calculado en la fibra extrema sea menor que $0.22f'_c$. Los esfuerzos pueden	(a) Deben colocarse elementos de borde en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando el máximo esfuerzo en la fibra extrema, producido por las fuerzas sísmicas mayoradas que incluyan efectos sísmicos, exceda $0.2f'_c$, a menos que todo el muro esté reforzado de tal manera que cumpla los requisitos de los literales (a) a (d) de C.21.4.4. Los elementos de borde pueden discontinuarse cuando el esfuerzo de compresión calculado en la fibra extrema sea menor que $0.15f'_c$. Los esfuerzos pueden



En la NSR-98, se deben diseñar los elementos de borde para las zonas DMO y DES, de tal manera que sean capaces de resistir todas las fuerzas verticales mayoradas, que actúan sobre el muro, incluyendo el peso propio y las fuerzas verticales que produzcan el momento de vuelco.

Imagen 19 C.21.6.6 sección c) - fragmento tomado del acta 149 de 2018

(c) Los elementos de borde deben diseñarse de tal manera que sean capaces de resistir todas la fuerzas verticales mayoradas que actúan sobre el muro , incluyendo el peso propio, y las fuerzas verticales necesarias para resistir el momento de vuelco calculado para las fuerzas horizontales mayoradas producidas por el sismo.	(c) Los elementos de borde deben diseñarse de tal manera que sean capaces de resistir todas la fuerzas verticales mayoradas que actúan sobre el muro , incluyendo el peso propio, y las fuerzas verticales necesarias para resistir el momento de vuelco calculado para las fuerzas horizontales mayoradas producidas por el sismo.
---	---

En cuanto al diseño de los elementos de borde se mantuvo igual que la norma de 1984, la cual afirmaba que ellos solos debían soportar todas las fuerzas verticales y de momento de vuelco que fueran solicitadas al muro.

6.3 NSR-10

La norma sismo resistente de 2010 (NSR-10), fue expedida por el decreto 926 del 19 de marzo de 2010, se reformó mediante el decreto 2525 del 13 de julio de 2010 y luego un año más tarde, se modificó con el decreto-Ley 92 del 17 de enero de 2011.

Con la nueva norma, se implementaron cambios, entre ellos los valores requeridos para la cuantía mínima de refuerzo, los valores que se aceptaron son:

Tabla 2 Cuantía mínima para refuerzo vertical y horizontal exigido por la NSR-10

Refuerzo vertical C.14.3.2

- a) 0.0012 Barras corrugadas Φ_s #5 o 16mm, con $F_y = 420\text{Mpa}$
- b) 0.0015 Otras barras corrugadas
- c) 0.0012 Malla electrosoldada (Lisa o corrugada) Φ_s 16mm

Refuerzo horizontal C.14.3.3

- a) 0.0020 Barras corrugadas Φ_s #5 o 16mm, con $F_y = 420\text{Mpa}$
- b) 0.0025 Otras barras corrugadas
- c) 0.0020 Malla electrosoldada (Lisa o corrugada) Φ_s 16mm



Se mantienen los mismos límites para DMO y DES, se plantea una nueva estrategia en la que no hay necesidad de resistir todas las fuerzas axiales y del momento de vuelco, solo con los elementos de borde. Es aquí donde se genera una nueva forma de definir la necesidad de utilizar elementos de borde para estructuras DMO y DES.

Imagen 20 Fracmento tomado del acta 149 de 2018

- **Se introduce un nuevo procedimiento alternativo para definir si se requieren elementos de borde en muros en estructuras DMO y DES. Este procedimiento está basado en las demandas de deformación unitaria en los bordes verticales de la sección del muro en su base debida al máximo desplazamiento lateral (δ_u) a que puede verse sometido el muro en su extremo superior (cubierta) durante el sismo de diseño.**

Respecto a las cuantías de los muros estructurales, la NSR-10, exige:

ρ_t y $\rho_l \geq 0.0025$, excepto si, $V_u = A_c 0.083\sqrt{f'_c}$, si llegase a suceder, pueden utilizarse los valores de C.14.3.

Imagen 21 Refuerzo, Tomada del acta 149 de 2018

C.21.9.2 – Refuerzo

C.21.9.2.1 – Las cuantías de refuerzo distribuido en el alma, ρ_ℓ y ρ_t , para muros estructurales no deben ser menos de 0.0025, excepto que si V_u no excede $A_{cv} 0.083\sqrt{f'_c}$, ρ_ℓ y ρ_t se pueden reducir a los valores requeridos en C.14.3. El espaciamiento del refuerzo no debe exceder 450 mm. El refuerzo que contribuye a V_u debe ser continuo y debe estar distribuido a través del plano de cortante.

C.21.9.2.2 — Para edificaciones del Grupo de Uso I, como lo define A.2.5.1, hasta de tres pisos y destinadas exclusivamente a vivienda, se permite utilizar las cuantías ρ_ℓ y ρ_t requeridas en C.14.3.

C.21.9.2.3 — Deben utilizarse al menos dos capas de refuerzo cuando V_u excede $A_{cv} 0.17\sqrt{f'_c}$.

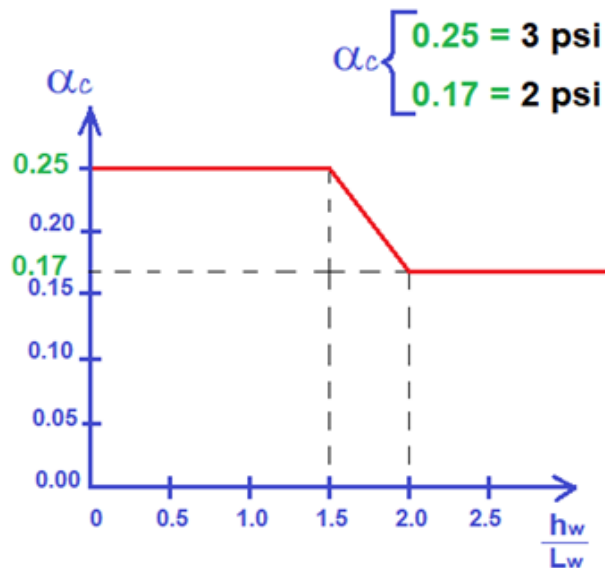
La resistencia al cortante en muros no debe exceder:

$$V_n = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n F_y]$$



Gráfica 1 Valores de α_c vs la relación Altura / longitud del muro.

Valores de α_c vs la relación Altura / Longitud el muro



6.4 ELEMENTOS DE BORDE PARA MUROS ESTRUCTURALES ESPECIALES

La NSR – 10, implementa una nueva forma de determinar la necesidad de utilizar elementos de borde en los muros- Se trata de utilizar las deformaciones unitarias, utilizando como requerimiento la fórmula C.21-11 (ver Imagen 22), del literal C.21.9.6.2, en los reglamentos anteriores solo se podía determinar si eran necesarios o no los elementos de borde utilizando el criterio de los Esfuerzos, en esta nueva versión, también se admite su uso, esta propuesto en el literal C.21.9.6.3.

Imagen 22 Tomada del acta 149 de 2018, Fragmento de la norma sismo resistente de 2010.

(a) Las zonas de compresión deben ser reforzadas con elementos especiales de borde donde:

$$c \geq \frac{\ell_w}{600(\delta_u/h_w)} \quad (C.21-11)$$

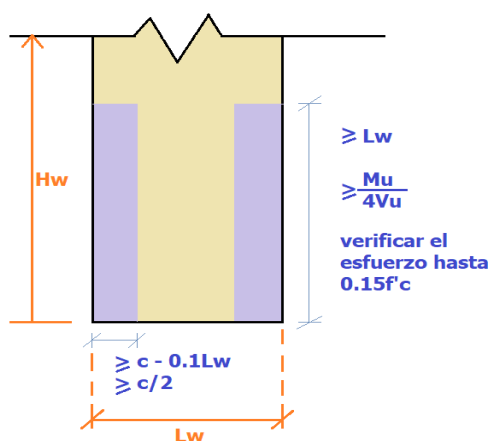
Donde c en la ecuación (C.21-11) corresponde a la mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial mayorada y resistencia nominal a momento congruente con el desplazamiento de diseño δ_u . El cociente δ_u/h_w en la ecuación (C.21-11) no debe tomarse menor que 0.007

(b) Donde se requieran elementos especiales de borde según C.21.9.6.2(a), el refuerzo del elemento especial de borde debe extenderse verticalmente desde la sección crítica por una distancia no menor que la mayor entre ℓ_w ó $M_u/4V_u$.

De no cumplir con lo exigido en el literal 21.9.6.2, En los numerales 21.9.6.3 y 21.9.6.4, la NSR-10, recomienda que cuando los esfuerzos de compresión máximos sobrepasen el $0.20f'c$, los muros necesitarán elementos de borde especiales, excepto cuando este sea menor de $0.15f'c$, además, también se indica que la dimensión horizontal del elemento de borde no deberá ser menor a la mayor entre $c-0.1Lw$ o $c/2$, siendo c la mayor profundidad del eje neutro.

Imagen 23 Zona donde se requiere confinamiento.

ZONA DONDE SE REQUIERE CONFINAMIENTO.
TAMAÑO DEL ELEMENTO ESPECIAL DE BORDE

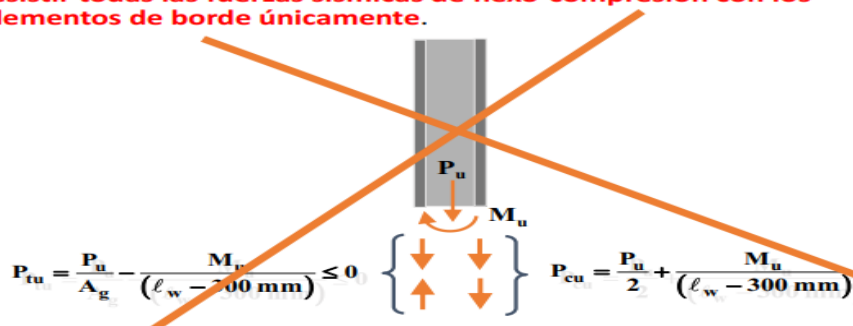


En la imagen 23, se presenta un modelo de un muro donde se pueden observar las zonas que requieren confinamiento:

Entre otros cambios realizados en la NSR-10, se encontró que suprimieron la idea de que los elementos de borde debían resistir todas las fuerzas sísmicas de flexo-compresión, así como lo afirma el Acta 149 de 2018, (ver Imagen 24).

Imagen 24 Cambios realizados en la NSR-10, tomada del acta 149 de 2018

- Uno de los cambios importantes del NSR-10, es que **se suprimió el procedimiento anterior de la norma de 1984 y en NSR-98 de tener que resistir todas las fuerzas sísmicas de flexo-compresión con los elementos de borde únicamente.**





6.5 CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE) ACI 318-14

El reglamento americano para construcción sismo resistente, es un código muy exigente en el que se dan bases firmes para el diseño de estructuras. Cabe resaltar que las normas sismo resistentes en latino América han sido escritas basándose en la ACI, siendo casi copias de esta norma, incluyendo la NSR-10, que rige a Colombia. En las Tablas 3 y 4, se mostrará un resumen de los parámetros más importantes utilizados para el diseño de muros a cortante:

Tabla 3 Compilación de requerimientos de la ACI. General

Criterios de diseño		*	ACI-318:2008	ACI-318:2011	ACI-318:2014
GENERAL	Espesor mínimo de muros	14.5.3.1	El menor entre: 1/25 de la altura o longitud del muro. 10cm		$B \geq h/16$ También si, $H_w/L_w \geq 2$ $c/L_w \geq 3/8$, el espesor mínimo del miembro especial de borde será de 30cm.
	Doble capa	21.9.2.2	Cuando V_u exceda $0.53 A_{cv} \lambda \sqrt{f'c}$		Cuando V_u exceda $0.53 A_{cv} \lambda \sqrt{f'c}$
	Segmentos	R21.9.1 y 21.9.8	No existía esta sección.	Tabla donde se especifica el tratamiento según sus características geométricas como muro o columna. Ver Tabla R.21.9.1	No se realizaron modificaciones.



Tabla 4 Compilación de requerimientos de la ACI para elementos de borde.

Criterios de diseño		*	ACI 318:2008	ACI 318:2011	ACI 318:2014
ELEMENTOS DE BORDE	Especiales	Se requieren si	21.9.6.2 a)	$c \geq \frac{Lw}{600 \left(\delta_u / h_w \right)}$ <ul style="list-style-type: none"> $\delta_u / h_w \geq 0.007$ 	$c \geq \frac{Lw}{600 \left(1.5 \delta_u / h_w \right)}$ <ul style="list-style-type: none"> $\delta_u / h_w \geq 0.005$
		Área total de estribos de confinamiento	21.6.4.4 b)	$A_{sh} \geq$ <ul style="list-style-type: none"> $A_{sh} = \frac{0.09 s_b c f'_c}{f_{yt}}$ 	$A_{sh} \geq$ <ul style="list-style-type: none"> $\frac{0.09 s_b c f'_c}{f_{yt}}$ $0.3 s_b c \frac{f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$
		Separación en la dirección longitudinal	21.6.4.3 c)	El menor valor entre <ul style="list-style-type: none"> $b/3$ $6d_b$ $S_o = 10 + \left(\frac{35 - h_x}{3} \right)$ 	El menor valor entre <ul style="list-style-type: none"> $b/3$ $6d_b$ $S_o = 10 + \left(\frac{35.5 - h_x}{75} \right)$
		Separación en la dirección transversal	21.6.4.2	$h_x \leq$ <ul style="list-style-type: none"> 35 cm 	$h_x \leq$ <ul style="list-style-type: none"> 36 cm $\frac{2}{3} b$

La ACI 318-14, realizó una modificación al requerimiento del c límite, siendo aún más estricto al adicionarle un factor de 1.5 multiplicando a δ_u / h_w , además redujo el valor de la rotación plástica que se exigía como 0.007 a 0.005.



7 DISEÑO DE MUROS A CORTANTE CON ELEMENTOS DE BORDE

7.1 PROCEDIMIENTO

1. Seleccionar la geometría del muro, es decir, el tamaño y la forma del muro (Ver Imágenes 26 y 27),
2. Realizar un diseño adecuado para la cimentación.
3. Realizar los cálculos pertinentes que exige la norma sismo resistente de 2010 (NSR-10), tanto en el título A, como en el título B, para encontrar carga axial (**Pu**), momento flector (**Mu**), y fuerza a cortante (**Vu**); verificando que lo diseñado cumpla con lo mínimo permitido, es decir que $\Phi V_n \geq V_u$.
4. Luego de establecer la sección del concreto, se debe establecer la necesidad de utilizar o no elementos de borde, esto se logra por medio de una sencilla comparación, cuando las deformaciones unitarias de compresión, en la fibra más extrema exceda 0.003, se requerirán elementos de borde.

Hay dos formas útiles para verificar la necesidad de utilizar elementos de borde, la primera que exige la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10).

- a) Realizando la comparación de la siguiente imagen, si c llegase a ser mayor, se deberá utilizar elementos de borde.

Fórmula 4 Literal C.21.9.6.2 de la NSR-10, C-21-11. Método de las deformaciones.

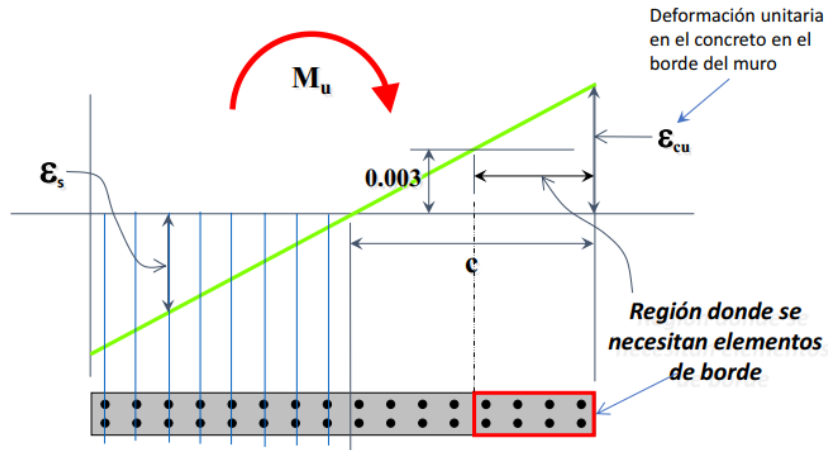
$$c \geq \frac{\ell_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)}$$

Los elementos de borde son refuerzos que se ponen en los extremos del muro como si fueran una columna (ver Imagen 25):



Imagen 25 Región donde se requieren elementos de borde.

Elementos de borde en NSR-10



- b) Comparar el esfuerzo máximo en la fibra extrema con el $0.20f'c$, en caso de ser mayor el esfuerzo máximo, se deberá usar elementos especiales de borde, y se podrán suspender cuando el esfuerzo máximo sea menor de $0.15f'c$.

Fórmula 5 formula tomada del acta 149 de 2018

$$Fcu = \frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu}{Ig} \frac{Lw}{2} > 0.2 f'c$$

5. Se procede a calcular el diagrama de interacción para encontrar las parejas (Pn vs Mn) y (ΦPn vs ΦMn), las cuales están afectadas por los valores de resistencia de diseño.

Imagen 26 Sección transversal del muro.

SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MURO

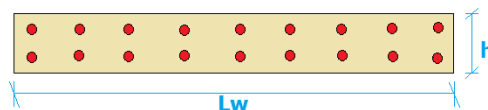
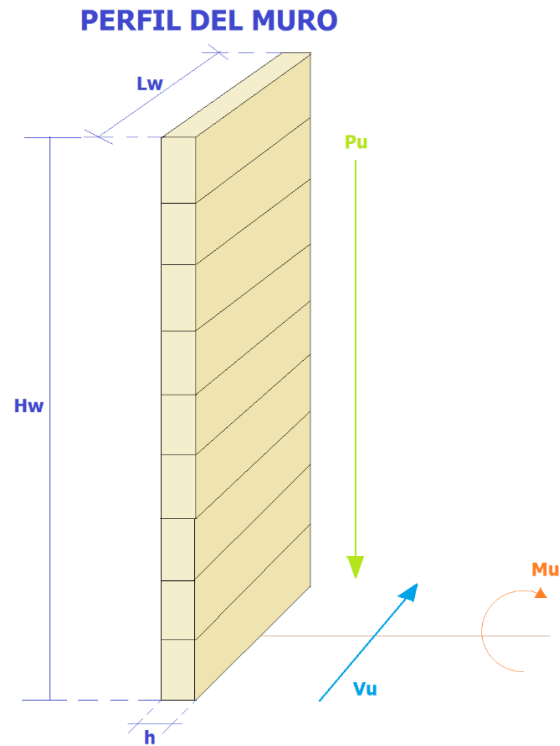


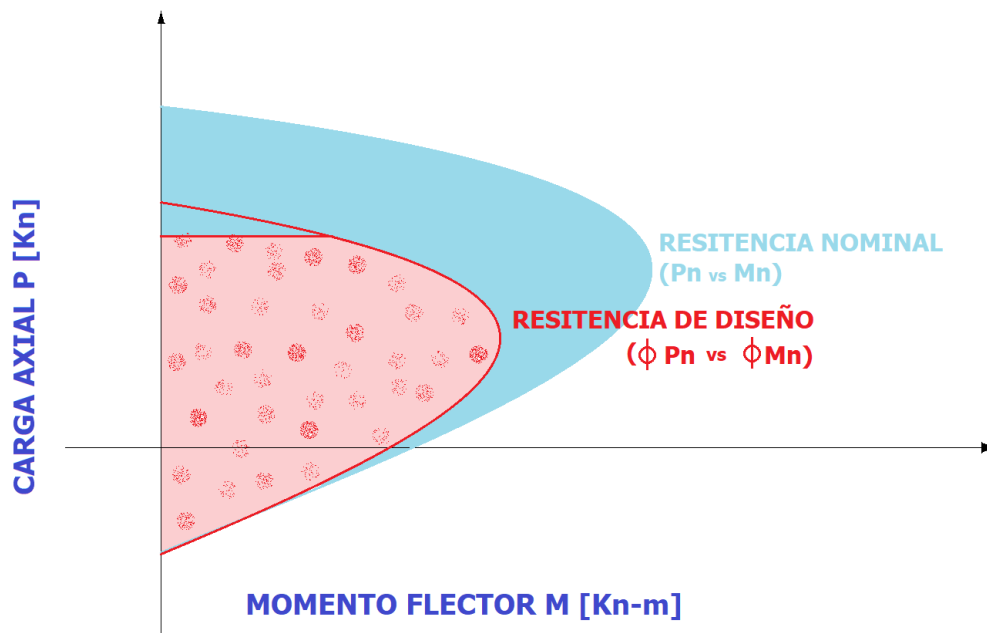


Imagen 27 Perfil del muro.



Gráfica 2 Diagrama de interacción del muro

DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO



El diseño a flexo-compresión del muro cumple, siempre y cuando todos los puntos (P_u vs M_u), estén dentro de la zona púrpura que está en la zona de resistencia de diseño (ΦP_n vs ΦM_n), mostrada en la Gráfica 2, lo que indica que el muro cumple en resistencia.

Para encontrar el valor de c , se debe tener en cuenta las combinaciones de carga que incluyan efectos de sismo E, para la carga axial P_u . Se escoge el mayor valor de c , y éste es el que se utiliza para comparar si se requiere o no utilizar elementos de borde (ver Gráfica 3).

Gráfica 3 Valor de c encontrado en el diagrama de interacción, tomada del acta 149 de 2018

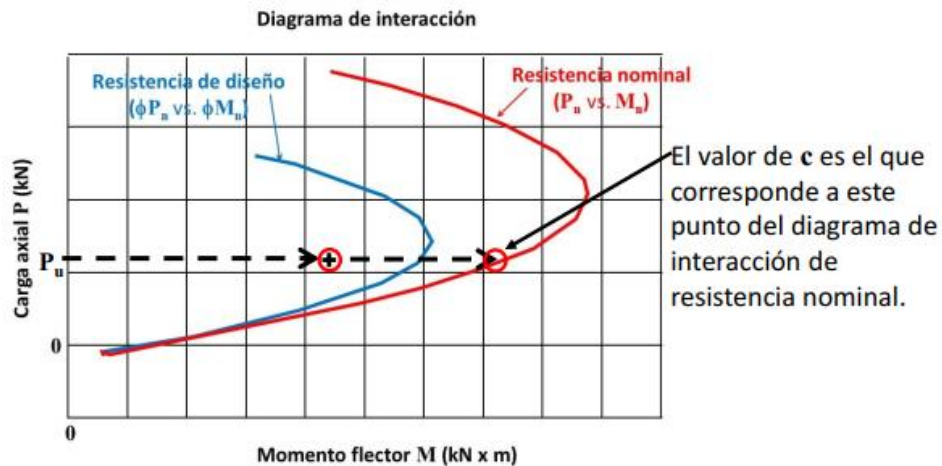
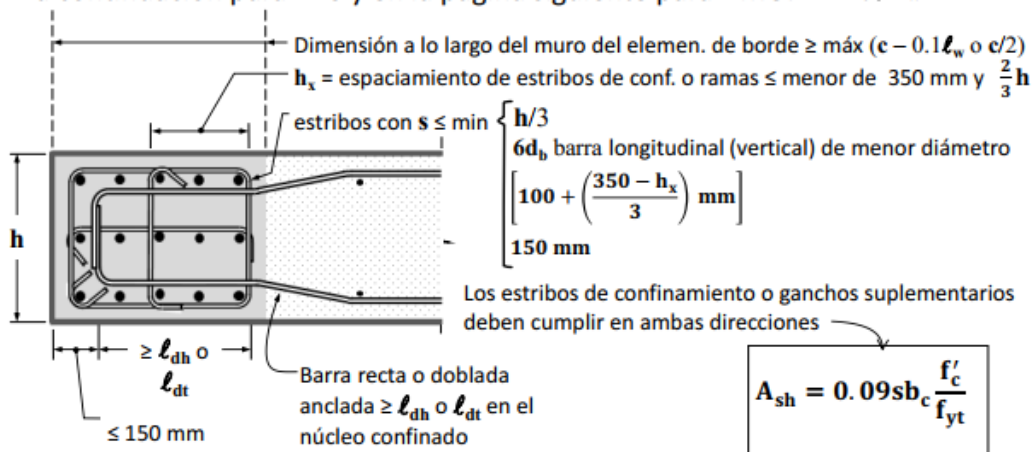


Imagen 28 fragmento del acta 149 de 2018

El mayor valor de c , obtenido como se indica en la figura anterior, se utiliza para determinar si c es mayor que el lado derecho de la ecuación (C.21-11), y si esto ocurre hay necesidad de colocar los elementos de borde como se indica a continuación para DES y en la página siguiente para DMO.

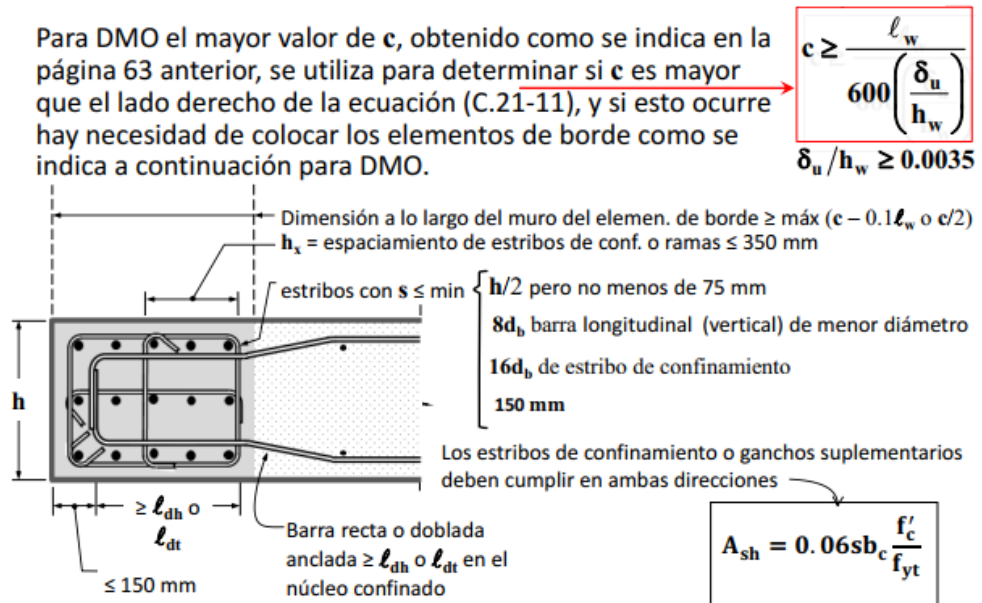
$$c \geq \frac{l_w}{600} \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)$$

$$\delta_u/h_w \geq 0.007$$



$$A_{sh} = 0.09 s b_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

Imagen 29 fragmento del acta 149 de 2018



Una recomendación importante que da el acta 149 de 2018, es no trabajar solo con las cantidades mínimas permitidas, ya que no es suficiente con cumplir un diseño sobre los límites.

Los muros a cortante deben ser diseñados con refuerzo tanto vertical como horizontal.

Requisitos de la NSR-10 para muros de cortante:

C.11.1 — Resistencia al cortante

C.11.1.1 — Salvo para elementos diseñados de acuerdo con el Apéndice A, el diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en

$$\phi V_n \geq V_u \quad (C.11-1)$$

donde V_u es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y V_n es la resistencia nominal al cortante calculada mediante

$$V_n = V_c + V_s \quad (C.11-2)$$

donde V_c es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, calculada de acuerdo con C.11.2, C.11.3, o C.11.11 y V_s es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante calculada de acuerdo con C.11.4, C.11.9.9 o C.11.11.



C.11.4.3 — Cuando los requisitos de C.11.5 se utilicen en elementos preesforzados, d debe tomarse como la distancia medida desde la fibra extrema en compresión al centroide de refuerzo longitudinal en tracción, preesforzado y no preesforzado, si lo hay, pero no hay necesidad de tomarlo menor de $0.80h$.

C.11.4.7.2 — Donde se utilice refuerzo para cortante perpendicular al eje del elemento:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (C.11-15)$$

donde A_v es el área de refuerzo para cortante dentro del espaciamiento s .

C.11.9.9.2 — La cuantía de refuerzo horizontal para cortante, ρ_t , no debe ser menor que 0.0025.

C.11.9.9.3 — El espaciamiento del refuerzo horizontal para cortante no debe exceder el menor de $\ell_w/5$, $3h$, ó 450 mm, donde ℓ_w es la longitud total del muro.

C.11.9.9.4 — La cuantía de refuerzo vertical para cortante, ρ_ℓ , no debe ser menor que la mayor de:

$$\rho_\ell = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{\ell_w} \right) (\rho_t - 0.0025) \quad (C.11-30)$$

y 0.0025, pero no necesita ser mayor ρ_t requerido por C.11.9.9.1. En la ecuación (C.11-30), ℓ_w es la longitud total del muro y h_w es la altura total del muro.

C.11.9.9.5 — El espaciamiento del refuerzo vertical para cortante no debe exceder el menor de $\ell_w/3$, $3h$, ó 450 mm, donde ℓ_w es la longitud total del muro.



7.2 MUROS A CORTANTE CON ELEMENTOS DE BORDE

Es de gran importancia la verificación de la necesidad de elementos de borde en el muro de cortante, La NSR-10, regula la utilización de elementos de borde (Ver Imágenes 30 y 31), donde da las siguientes condiciones para su diseño:

Imagen 30 Secciones tomadas de la NSR-10 C.21.9.6.2

C.21.9.6.2 — Esta sección se aplica a muros y pilas de muros que son efectivamente continuos desde la base de la estructura hasta la parte superior del muro y son diseñados para tener una única sección crítica para flexión y carga axial. Los muros que no satisfagan estos requisitos deben ser diseñados usando C.21.9.6.3.

(a) Las zonas de compresión deben ser reforzadas con elementos especiales de borde donde:

$$c \geq \frac{\ell_w}{600(\delta_u/h_w)} \quad (\text{C.21-11})$$

Donde c en la ecuación (C.21-11) 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 δ_u . El cociente δ_u/h_w en la ecuación (C.21-11) no debe tomarse menor que 0.007

(b) Donde se requieran elementos especiales de borde según C.21.9.6.2(a), el refuerzo del elemento especial de borde debe extenderse verticalmente desde la sección crítica por una distancia no menor que la mayor entre ℓ_w ó $M_u/4V_u$.



Imagen 31 Secciones tomadas de la NSR-10 c.21.9.6.3 Y C.21.9.6.4

C.21.9.6.3 — Los muros estructurales que no sean diseñados de acuerdo con las indicaciones de C.21.9.6.2 deben tener elementos de borde especiales en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos E , sobrepase $0.2f'_c$. Los elementos de borde especiales pueden ser discontinuados donde el esfuerzo de compresión calculado sea menor que $0.15f'_c$. Los esfuerzos deben calcularse para las fuerzas mayoradas 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 C.21.9.5.2.

C.21.9.6.4 — En donde se requieran elementos especiales de borde, de acuerdo con C.21.9.6.2 ó C.21.9.6.3 se debe cumplir con las condiciones (a) hasta (e):

(a) El elemento de borde se debe extender horizontalmente desde la fibra extrema en compresión hasta una distancia no menor que el mayor valor entre $c - 0.1\ell_w$ y $c/2$, donde c corresponde a la mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial mayorada y resistencia nominal a momento consistente con el desplazamiento de diseño δ_u .

(b) En las secciones con alas, los elementos de borde deben incluir el ancho efectivo del ala en compresión y se deben extender por lo menos 300 mm dentro del alma.

(c) El refuerzo transversal de los elementos especiales de borde debe cumplir con los requisitos especificados en C.21.6.4.2 a C.21.6.4.4, excepto que no se necesita cumplir con la ecuación (C.21-7) y el límite de espaciamiento del refuerzo transversal de C.21.6.4.3(a) debe ser de al menos un tercio de la dimensión menor del elemento de borde.

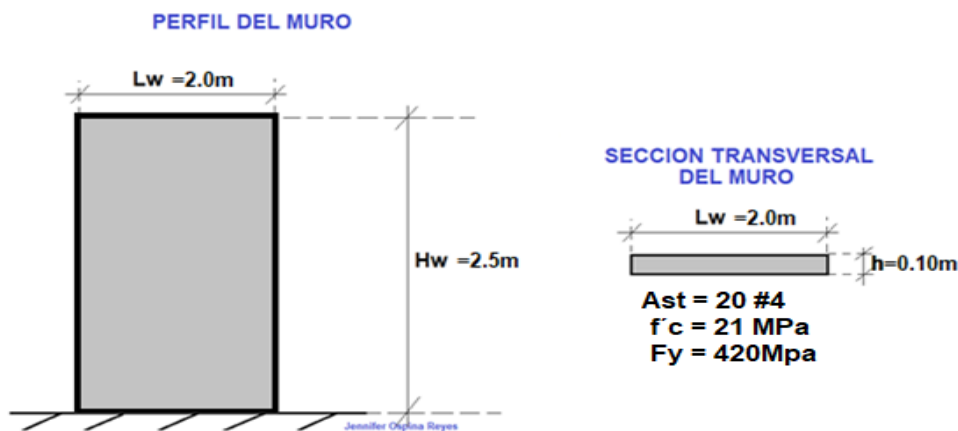


8 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DE ELEMENTO DE BORDE PARA UN MURO EN CONCRETO REFORZADO

8.1 OBTENCIÓN DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN.

Para obtener el diagrama de interacción, se presentan los cálculos numéricos paso a paso para el caso 1 ilustrado en la Imagen 32. Como se puede observar, se ha variado el espesor del muro dejando como constante los otros parámetros como son: Longitud, altura, y cuantía de acero.

Imagen 32 Ejemplo de la sección del muro.



El requerimiento de proveer al muro en concreto reforzado de un elemento de borde, acorde a la sección 6.3, está en función de las cargas axial y el momento de flexión aplicadas sobre el muro. El presente capítulo presenta configuraciones de muro en concreto reforzado listado en la Tabla 5:

Tabla 5 Configuraciones del muro en Concreto Reforzado.

CASO #	ESPESOR h[m]	LONGITUD L_w [m]	ALTURA H_w [m]	Cuantía A_{st} [m ²]
1	0.10	2.0	2.5	0.00253
2	0.15	2.0	2.5	0.00253
3	0.20	2.0	2.5	0.00253
4	0.30	2.0	2.5	0.00253



PROCEDIMIENTO

- 1) Calcular el punto de falla por compresión axial P_{nc} :

$$P_{nc} = 0.85f'_c [A_g - A_{st}] + A_{st} F_y$$

$$P_{nc} = 0.85(21 * 10^3) [0.20m^2 - 0.00253m^2] + 0.00253m^2 (420 * 10^3)$$

$$P_{nc} = 4588.86Kn$$

- 2) Encontrar el valor para el punto de falla por tracción axial P_{nt} :

$$P_{nt} = -A_{st} F_y$$

$$P_{nt} = -(0.00253m^2) (420 * 10^3)$$

$$P_{nt} = -1064.088Kn$$

- 3) Hallar el punto de falla balanceada C_b :

$$\frac{\varepsilon_u}{C_b} = \frac{\varepsilon_y}{d - C_b}$$

$$\frac{0.003}{C_b} = \frac{0.0021}{1.95 - C_b}$$

$$C_b = 1.15m$$

Para poder realizar el cálculo del punto de falla balanceada, es necesario realizar el cálculo de todas las deformaciones que se presentan correspondientes a cada punto de acero en el muro, para poder encontrar los esfuerzos.

$$\frac{0.003}{1.15m} = \frac{\varepsilon_{s1}}{1.15m - 0.05m}$$

$$\varepsilon_{s1} = 2.87 * 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{s1} = 0.00287$$

Utilizando el mismo método, se encontraron todas las deformaciones:



Tabla 6 Deformaciones halladas para el muro de espesor $h=0.10m$, $L_w = 2.0m$, utilizando 20 varillas N°4

DEFORMACIONES			
ES1	0.00286957	ES11	0.00026087
ES2	0.0026087	ES12	0
ES3	0.00234783	ES13	0.00026087
ES4	0.00208696	ES14	0.00052174
ES5	0.00182609	ES15	0.00078261
ES6	0.00156522	ES16	0.00104348
ES7	0.00130435	ES17	0.00130435
ES8	0.00104348	ES18	0.00156522
ES9	0.00078261	ES19	0.00182609
ES10	0.00052174	ES20	0.00208696

Teniendo todas las deformaciones, se procede a calcular los esfuerzos:

$$F_1 = E * \varepsilon_{s1}$$

$$F_1 = 200000Mpa * 0.00286957$$

$$F_1 = 574Mpa$$

Como el valor sobre pasa el esfuerzo del acero, se dejará el mismo valor del esfuerzo en el acero, para cada valor que sea mayor a él, por lo tanto,

$$F_1 = 420Mpa$$

Se presenta a continuación la tabla que contiene todos los esfuerzos calculados para obtener el punto de falla balanceada:

Tabla 7 Esfuerzos hallados para el muro de espesor $h=0.10m$, $L_w = 2.0m$, utilizando 20 varillas N°4.

ESFUERZOS			
FS1	420000	FS11	52170
FS2	420000	FS12	0
FS3	420000	FS13	52170
FS4	417390	FS14	104350
FS5	365220	FS15	156520
FS6	313040	FS16	208700
FS7	260870	FS17	260870
FS8	208700	FS18	313040
FS9	156520	FS19	365220
FS10	104350	FS20	417390



Se realiza el cálculo para las fuerzas de compresión y de tracción que se presentan en el muro, la forma más fácil de discernir cual es de compresión y cual de tensión, es revisando su posición con respecto del eje neutro. Si la fuerza está por encima del eje neutro entonces será una fuerza de compresión y si está por debajo será de tracción.

$$C1 = F_1 * As_1$$

$$C1 = (420 * 10^3) \left(\frac{\pi \left(\frac{4}{8} * 2.54cm \right)^2}{4} \right) // 100^2$$

$$C1 = 53.21Kn$$

De la misma forma se encontraron tanto las fuerzas de compresión como las de tracción; en la Tabla 8, se presentan los valores encontrados:

Tabla 8 Tipo de fuerza encontradas para el muro de espesor $h=0.10m$, $Lw = 2.0m$, utilizando 20 varillas N°4.

FUERZAS			
C1	53.21	T11	6.61
C2	53.21	T12	0
C3	53.21	T13	6.61
C4	52.88	T14	13.22
C5	46.27	T15	19.83
C6	39.66	T16	26.44
C7	33.05	T17	33.05
T8	26.44	T18	39.66
T9	19.83	T19	46.27
T10	13.22	T20	52.88

Ahora se debe encontrar la fuerza de compresión producida en el concreto:

$$a_b = \beta_1 C_b$$

$$a_b = 0.85 (1.15m)$$

$$a_b = 0.978m$$



$$C_c = 0.85 f'c a_b h$$

$$C_c = 0.85 (21 * 10^3) (0.978m) (0.10m)$$

$$C_c = 1745.73Kn$$

El siguiente paso es hallar P_{nb} , usando el equilibrio de fuerzas internas igual a fuerzas externas:

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_c + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} \\ &\quad + T_{12} - T_{13} - T_{14} - T_{15} - T_{16} - T_{17} - T_{18} - T_{19} - T_{20} \\ P_{nb} &= 1745.73Kn + 53.21Kn + 53.21Kn + 53.21Kn + 52.88Kn + 46.27Kn \\ &\quad + 39.66Kn + 33.05Kn + 26.44Kn + 19.83.Kn + 13.22Kn \\ &\quad + 6.61Kn + 0Kn - 6.61Kn - 13.22Kn - 19.83Kn - 26.44Kn \\ &\quad - 33.05Kn - 39.66Kn - 46.27Kn - 52.88Kn \end{aligned}$$

$$P_{nb} = 1904.47Kn$$

Se hará sumatoria de momentos sujeto al centro (utilizando un giro contrario a las manecillas del reloj \curvearrowright) de la sección, En nuestra configuración el centro plástico coincide con el centro de gravedad.

$$\begin{aligned} \curvearrowright M_{nb} &= C_c * \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + (C_1 * bC_1) + (C_2 * bC_2) + (C_3 * bC_3) + (C_4 * bC_4) + \\ &\quad (C_5 * bC_5) + (C_6 * bC_6) + (C_7 * bC_7) + (T_8 * bT_8) + (T_9 * bT_9) + (T_{10} * \\ &\quad bT_{10}) - (T_{11} * bT_{11}) + (T_{12} * bT_{12}) + (T_{13} * bT_{13}) + (T_{14} * bT_{14}) + \\ &\quad (T_{15} * bT_{15}) + (T_{16} * bT_{16}) + (T_{17} * bT_{17}) + (T_{18} * bT_{18}) + (T_{19} * \\ &\quad bT_{19}) + (T_{20} * bT_{20}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright M_{nb} &= 1745.73Kn * \left(\frac{2.0m}{2} - \frac{0.978m}{2} \right) + (53.21Kn * 0.95m) + (53.21Kn * \\ &\quad 0.85m) + (53.21Kn * 0.75m) + (52.88Kn * 0.65m) + (46.27Kn * 0.55m) + \\ &\quad (39.66Kn * 0.45m) + (33.05Kn * 0.35m) + (26.44Kn * 0.25m) + (19.83Kn * \\ &\quad 0.15m) + (13.22Kn * 0.05m) - (6.61Kn * 0.05m) + (0.0Kn * 0.15m) + \\ &\quad (6.61Kn * 0.25m) + (13.22Kn * 0.35m) + (19.83Kn * 0.45m) + (26.44Kn * \\ &\quad 0.55m) + (33.05Kn * 0.65m) + (39.66Kn * 0.75m) + (46.27Kn * 0.85m) + \\ &\quad (52.88Kn * 0.95m) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright M_{nb} &= 892.07Kn.m + (50.55Kn.m) + (45.23Kn.m) + (39.90Kn.m) + \\ &\quad (34.37Kn.m) + (25.45Kn.m) + (17.85Kn.m) + (11.57Kn.m) + \\ &\quad (6.61Kn.m) + (2.97Kn.m) + (0.66Kn.m) - (0.33Kn.m) + (0.0Kn.m) + \end{aligned}$$



$$(1.65Kn.m) + (4.63Kn.m) + (8.92Kn.m) + (14.54Kn.m) + (21.48Kn.m) + (29.75Kn.m) + (39.33Kn.m) + (50.24Kn.m)$$

$$\curvearrowright M_{nb} = 1297.42Kn.m$$

Por lo tanto, el punto de falla nominal es: (1297.42 , 1904.47).

- 4) Se deberán calcular todos los demás puntos del diagrama de interacción, según la posición de los aceros, el proceso a realizar es el mismo que se presentó en el numeral 3), por lo tanto, solo se debe variar el valor de c para obtener los otros puntos.

Con el fin de comparar los datos calculados, se modeló la misma configuración del muro en concreto reforzado en los programas Etabs y Sap2000, para corroborar el procedimiento de cálculo.

En las Imágenes 33 y 34 se puede observar la modelación realizada en los programas Sap2000 y Etabs respectivamente.

Imagen 33 Muro con espesor de 0.10m con área de acero igual a 20 varillas #4, realizado con Etabs

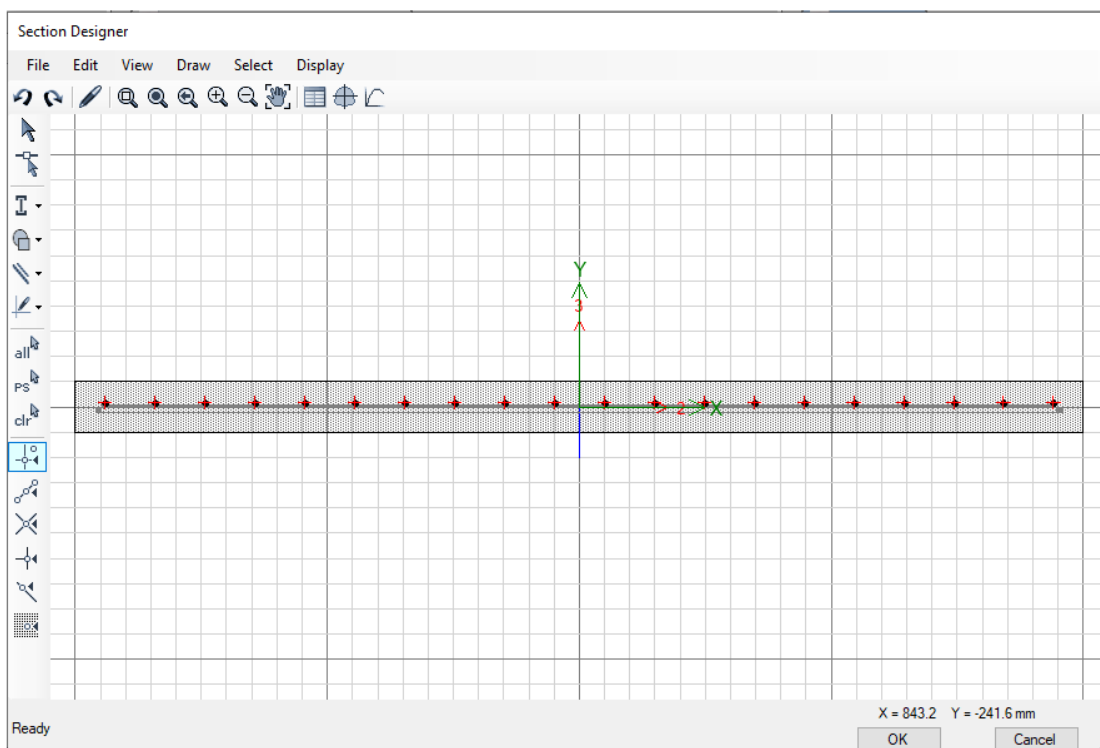
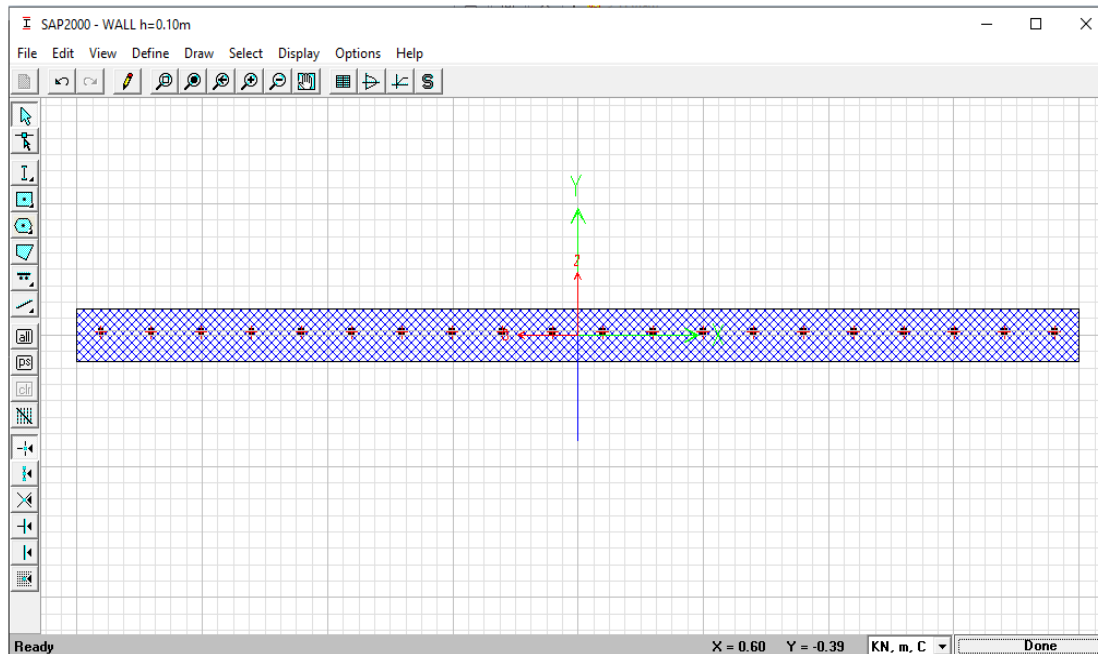




Imagen 34 Muro con espesor de 0.10m con área de acero igual a 20 varillas #4, realizado en Sap2000.



A continuación, se presentan los valores arrojados por los programas, los cuales se han sintetizado en las tablas siguientes, donde se muestran los valores de resistencia nominal para los muros con diferente espesor. Estos datos son equivalentes a los puntos con los cuales se realizaron los diagramas de interacción de los muros propuestos. La Tabla 9, presenta los datos obtenidos para el muro de $h=0.10\text{m}$.

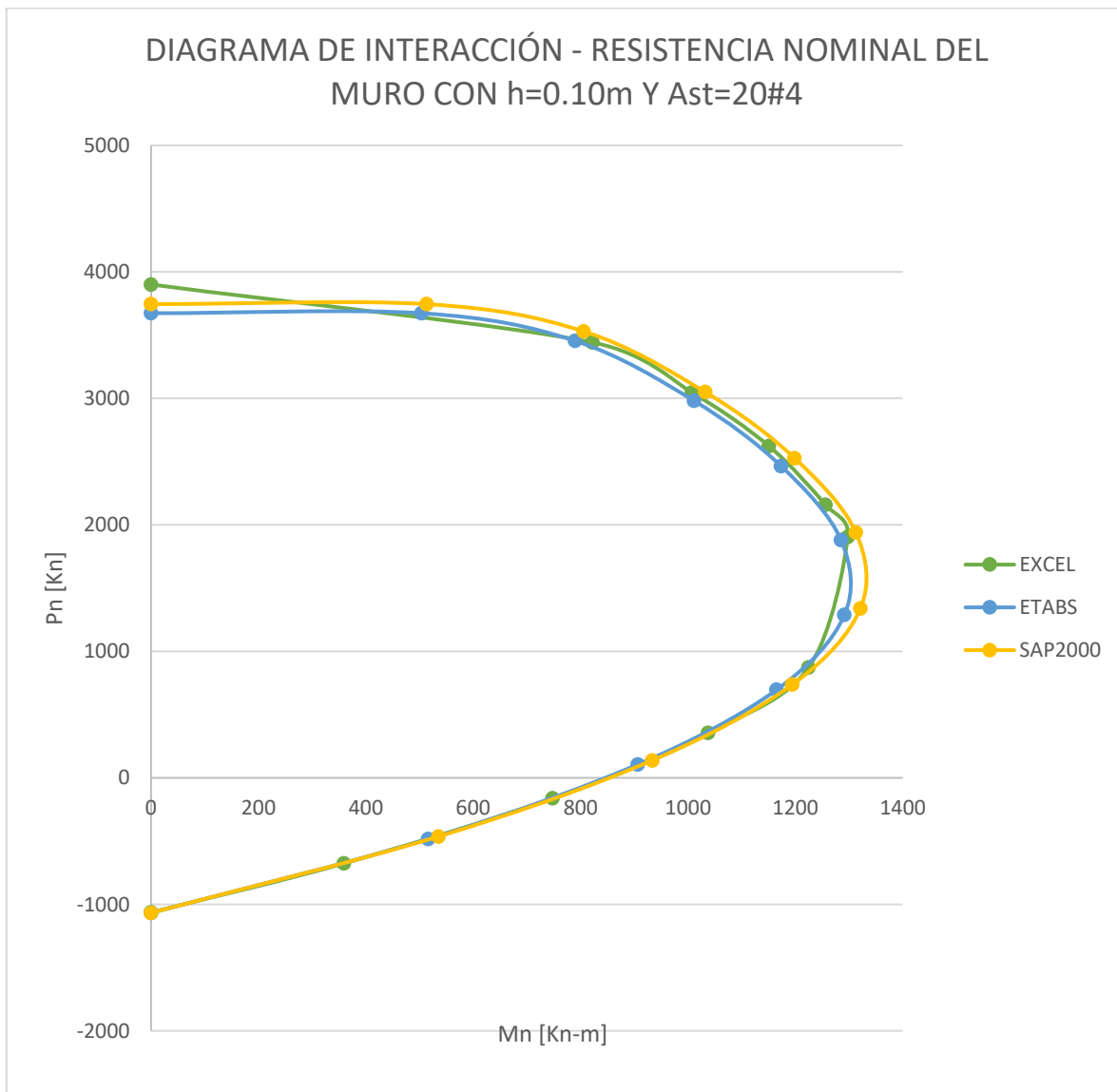
Tabla 9 Puntos obtenidos de los programas para Resistencia nominal del muro con $h=0.10\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.

MURO CON $h=0.10\text{m}$ Y $A_{st}=20\#4$								
CALCULADOS/EXCEL			ETABS			DATOS DE SAP200		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL		
#	Pn [Kn]	Mn [Knm]	#	Pn [Kn]	Mn [Knm]	#	Pn [Kn]	Mn [Kn-m]
1	3900.53	0.00	1	3673	0	1	3745	0
2	3442.58	822.02	2	3673	503	2	3745	513.5
3	3045.94	1007.34	3	3455	790	3	3530	805.5
4	2622.55	1150.83	4	2981	1011	4	3050	1032.23
5	2158.05	1256.34	5	2465	1173	5	2528	1198.52
6	1904.47	1297.42	6	1880	1285	6	1939	1312.85
7	871.89	1224.60	7	1288	1291	7	1338	1321.14
8	355.60	1037.29	8	696	1165	8	737.24	1194.39
9	-160.69	747.80	9	106	907	9	138.01	933.52
10	-676.98	358.90	10	-484	516	10	-463.33	535.56
11	-1064.09	0.00	11	-1068	0	11	-1067.57	0



La Gráfica 4 presenta el diagrama de interacción del muro con $h=0.10\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.

Gráfica 4 Resistencia nominal muro con $h=0.10\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.



Como se puede observar en las Gráficas 4, 5, 6 y 7, no hay una variación significativa en las gráficas desarrolladas con los programas, lo que muestra que los cálculos realizados fueron adecuados, por facilidad se continuará trabajando con el programa Excel en los cálculos que se requieran.

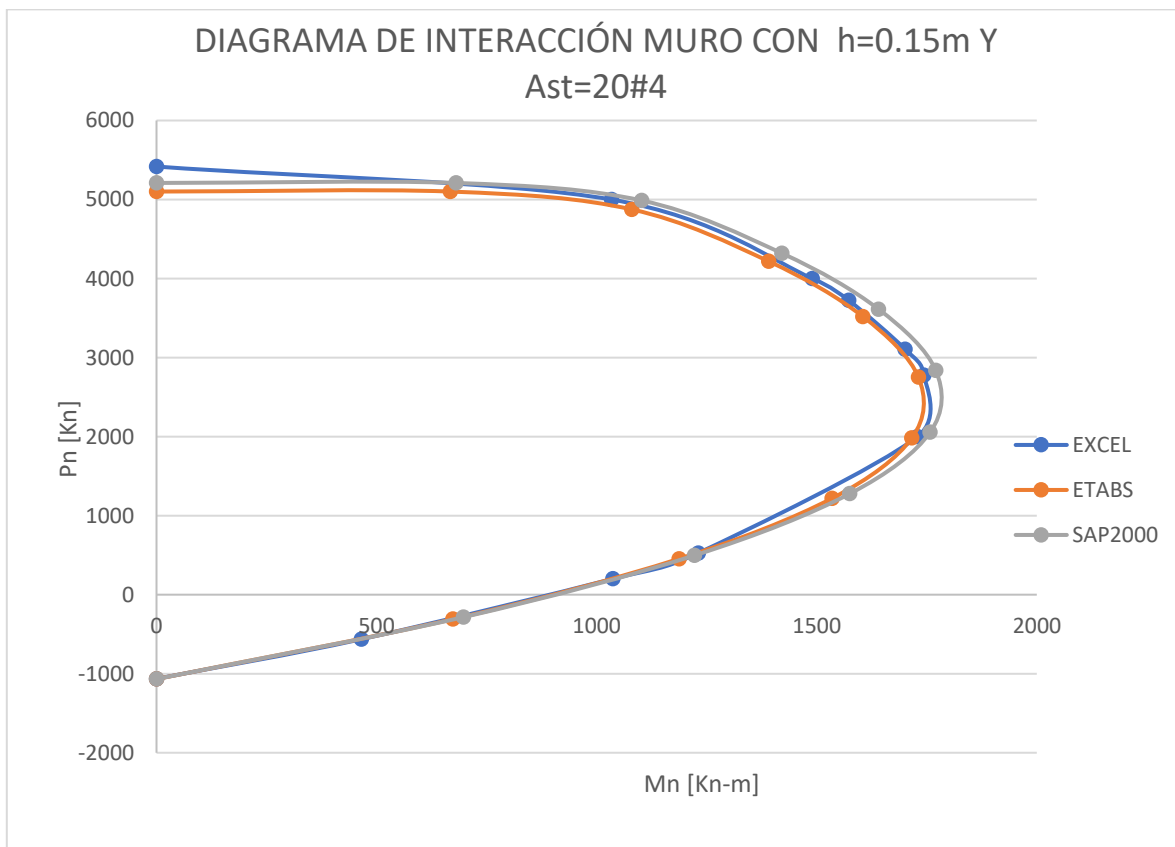
En la Tabla 10, se presentan los datos de la resistencia nominal para el muro de $h=0.15\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.



Tabla 10 Resistencia nominal del muro con $h=0.15m$ y $Ast=20\#4$

RESISTENCIA NOMINAL MURO CON $h=0.15m$ Y $Ast=20\#4$								
CALCULADOS/EXCEL			ETABS			SAP2000		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL		
#	P [Kn]	M[Knm]	#	P [Kn]	M3 [Knm]	#	P [Kn]	M [Kn-m]
1	5417.78	0.00	1	5101.2071	0	1	5210	0.0
2	5000.24	1033.83	2	5101.2071	667.4962	2	5210	680.9
3	4000.35	1490.15	3	4874.614	1080.1193	3	4988	1102.36
4	3722.56	1572.96	4	4217.8417	1391.0239	4	4321	1420.59
5	3106.33	1700.85	5	3519.0023	1605.0469	5	3613	1640.45
6	2776.89	1743.45	6	2751.6156	1731.0687	6	2838	1770.39
7	2000.18	1728.91	7	1985.1954	1716.3447	7	2057	1757.78
8	527.07	1230.82	8	1219.2243	1534.8317	8	1277	1574.83
9	200.55	1037.03	9	454.3762	1187.2304	9	497.56	1222.45
10	-563.19	465.44	10	-310.1074	673.1609	10	-283.56	697.68
11	-1064.09	0.00	11	-1067.5733	0	11	-1067.57	0

Gráfica 5 Resistencia nominal del muro con $h=0.15m$ y $Ast=20\#4$.



Se realizó el mismo procedimiento para el muro con $h=0.20m$, La Tabla 11, presenta los datos obtenidos para este muro.

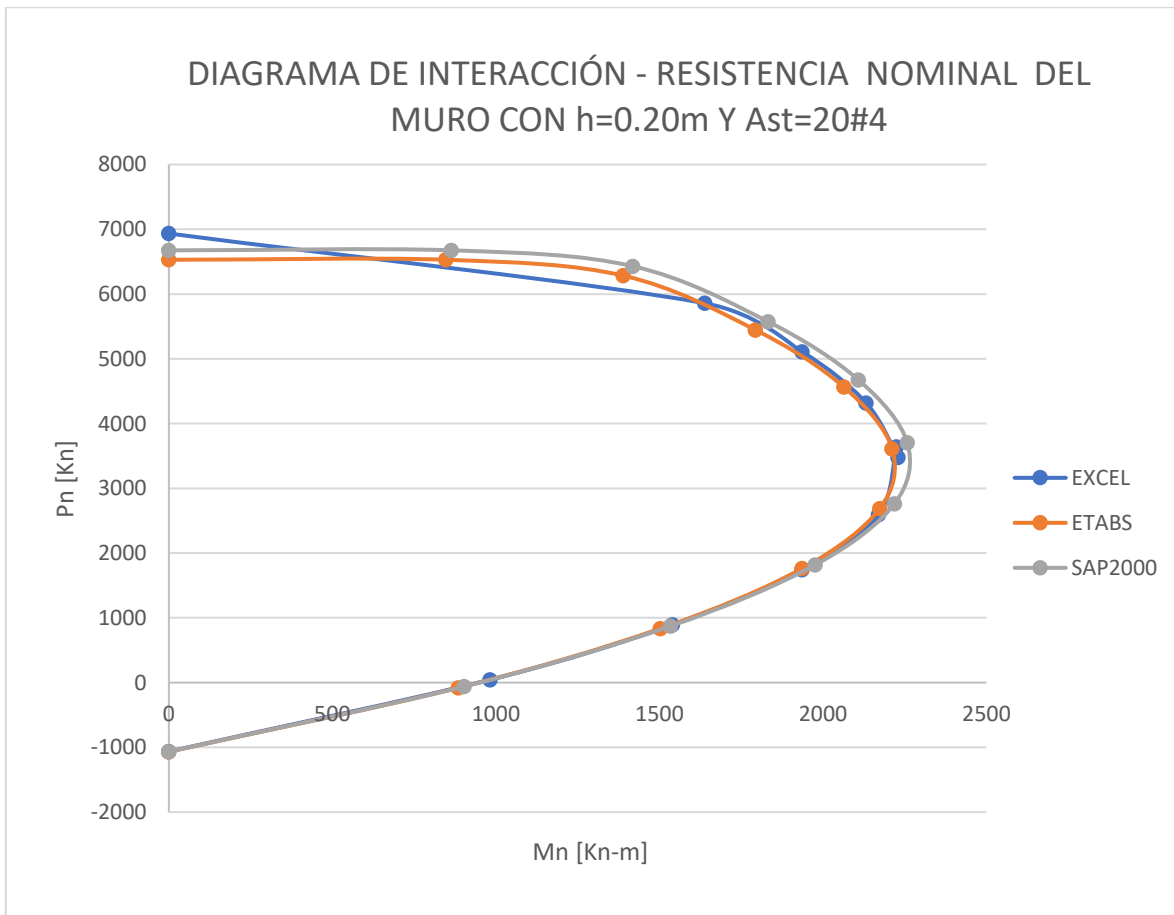


Tabla 11 Resistencia de diseño del muro con $h=0.15m$ y $Ast=20\#4$.

MURO CON $h=0.20m$ Y $Ast=20\#4$								
CALCULADOS/EXCEL			ETABS			DATOS DE SAP200		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL		
#	P [Kn]	M[Knm]	#	P [Kn]	M3 [Knm]	#	P [Kn]	M [Kn-m]
1	6935.03	0.00	1	6529.21	0.00	1	6675	0
2	5858.40	1638.46	2	6529.21	847.33	2	6675	864.11
3	5109.28	1936.03	3	6284.64	1389.13	3	6430	1418.59
4	4318.79	2132.41	4	5446.03	1793.73	4	5574	1832.35
5	3478.82	2230.31	5	4563.36	2064.40	5	4674	2108.73
6	3638.52	2224.48	6	3611.20	2211.62	6	3704	2258.06
7	2590.71	2170.33	7	2688.34	2173.99	7	2763	2218.94
8	1741.55	1936.11	8	1760.63	1936.27	8	1817	1976.26
9	892.88	1539.65	9	833.37	1502.73	9	871.8	1533.75
10	44.10	982.07	10	-80.62	884.85	10	-61.05	902.8
11	-1064.09	0.00	11	-1067.57	0.00	11	-1067	0

En la Gráfica 6 se presenta el diagrama de interacción en donde se recopilan todos los resultados arrojados por los programas.

Gráfica 6 Resistencia nominal del muro con $h=0.20m$ y $Ast=20\#5$.





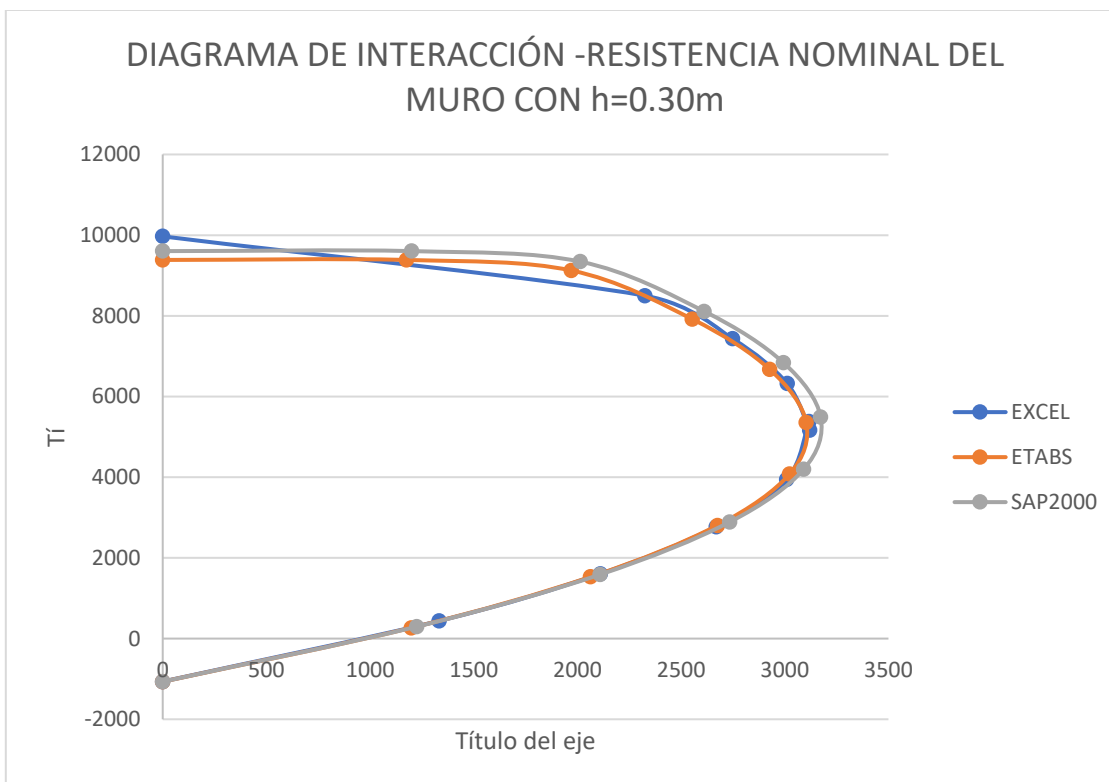
Del mismo modo que el muro anterior, se calculó el diagrama de interacción para el muro con espesor 0.30m, los datos obtenidos de los programas se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12 Resistencia nominal del muro con $h=0.30m$ y $Ast=20\#4$.

MURO CON $h=0.30m$ Y $Ast=20\#4$								
CALCULADOS/EXCEL			ETABS			DATOS DE SAP200		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL		
#	P_n [Kn]	M_n [Knm]	#	P_n [Kn]	M_n [Knm]	#	P [Kn]	M [Kn-m]
1	9970	0	1	9385.2071	0	1	9604	0.00
2	8498	2326	2	9385.2071	1175.3473	2	9604	1200.25
3	7431	2748	3	9123.7971	1970.3555	3	9343	2014.29
4	6322	3012	4	7919.7765	2553.3544	4	8112	2611.03
5	5163	3120	5	6671.6789	2927.6185	5	6838	2993.81
6	5383	3117	6	5354.107	3103.6251	6	5494	3172.96
7	3941	3010	7	4082.659	3023.7355	7	4195	3090.77
8	2773	2670	8	2806.3756	2675.6848	8	2891	2735.06
9	1606	2110	9	1530.5357	2063.7522	9	1588	2109.57
10	439	1333	10	267.958	1199.399	10	297	1225.69
11	-1064	0	11	-1067.5733	0	11	-1068	0.00

En la Gráfica 7, se presenta el diagrama de interacción que recopilan los datos obtenidos por los programas Etabs, SAP2000 y Excel.

Gráfica 7 Resistencia nominal del muro de 0.30m y $Ast=20\#4$.





8.2 OBTENCIÓN DE LA ZONA DONDE NO REQUIERA DE ELEMENTO DE BORDE DENTRO DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN.

8.2.1 CRITERIO DEL EJE NEUTRO

8.2.1.1 MURO CON $h=0.10m$.

Tomando el procedimiento descrito en el acta 108 de 2018 y repetido por conveniencia en el capítulo 7 del presente documento, se calculó la posición del eje neutro del elemento c para puntos aleatorios ubicados exactamente en la zona de falla nominal sobre el diagrama de interacción para el muro con espesor de 10cm. Los valores están resumidos en la Tabla 13.

Tabla 13 Valor de c para $h=0.10m$ y $Ast=20\#4$.

h=0.10m Ast=20#4		
c [m]	Pu [Kn]	Mu [Kn]
0.42000029	20.45	860.86
0.4278	40.19	872.6
0.43578	60.11	884.38
0.45	100.16	906.92
0.4585	120.22	917.91
0.476	165.96	942.76
0.49	200.32	961.24
0.53	300.04	1010.84
0.57	500.62	1075.27
0.61	600.35	1119.42
0.65	700.48	1158.44
0.78	1000.30	1250.92
0.86	1200.17	1291.99
0.90	1300.48	1305.59
1.15	1904.47	1297.42
1.27	2200.37	1248.46
1.63	3000.48	1025.28

Se obtuvo el valor de c límite acorde a la NSR-10, literal C.21.9.6.2 como se muestra a continuación:

$$c \geq \frac{Lw}{600 \left(\frac{\delta w}{hw} \right)}$$

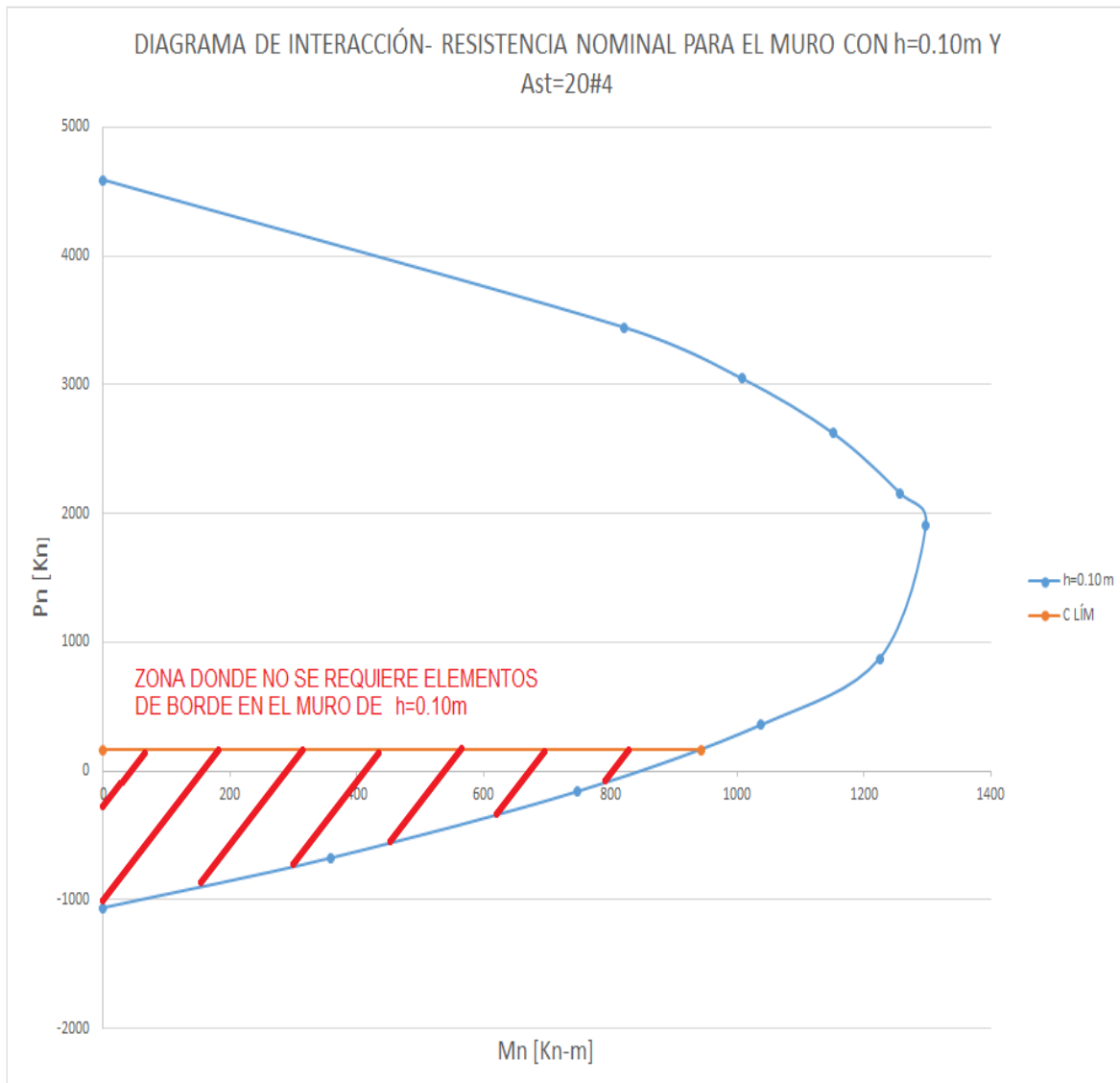


$$c_{\text{lím}} = \frac{2.0m}{600(0.007)}$$

$$c_{\text{lím}} = 0.476m$$

La Gráfica 8, muestra la zona para la cual no se requieren elementos de borde para un muro de $h=0.10m$.

Gráfica 8 Zona donde no requiere elementos de borde en el muro de $h=0.10m$.



Se puede observar que, para esta tipología de muro, el requerimiento de un elemento de borde está en la zona falla por tensión, con cargas axiales inferiores a 165.96 KN aproximadamente.



8.2.1.2 MURO CON $h=0.15m$.

Siguiendo el mismo procedimiento descrito en el numeral anterior, pero con la configuración presentada en la Imagen 14 se obtuvo los valores de la posición del eje neutro c mostrados en la Tabla 14.

Imagen 35 Muro con espesor de $h=0.15m$ y $A_{st}=20\#4$

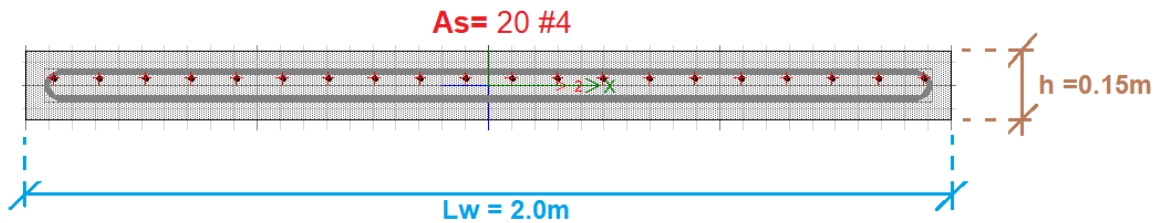


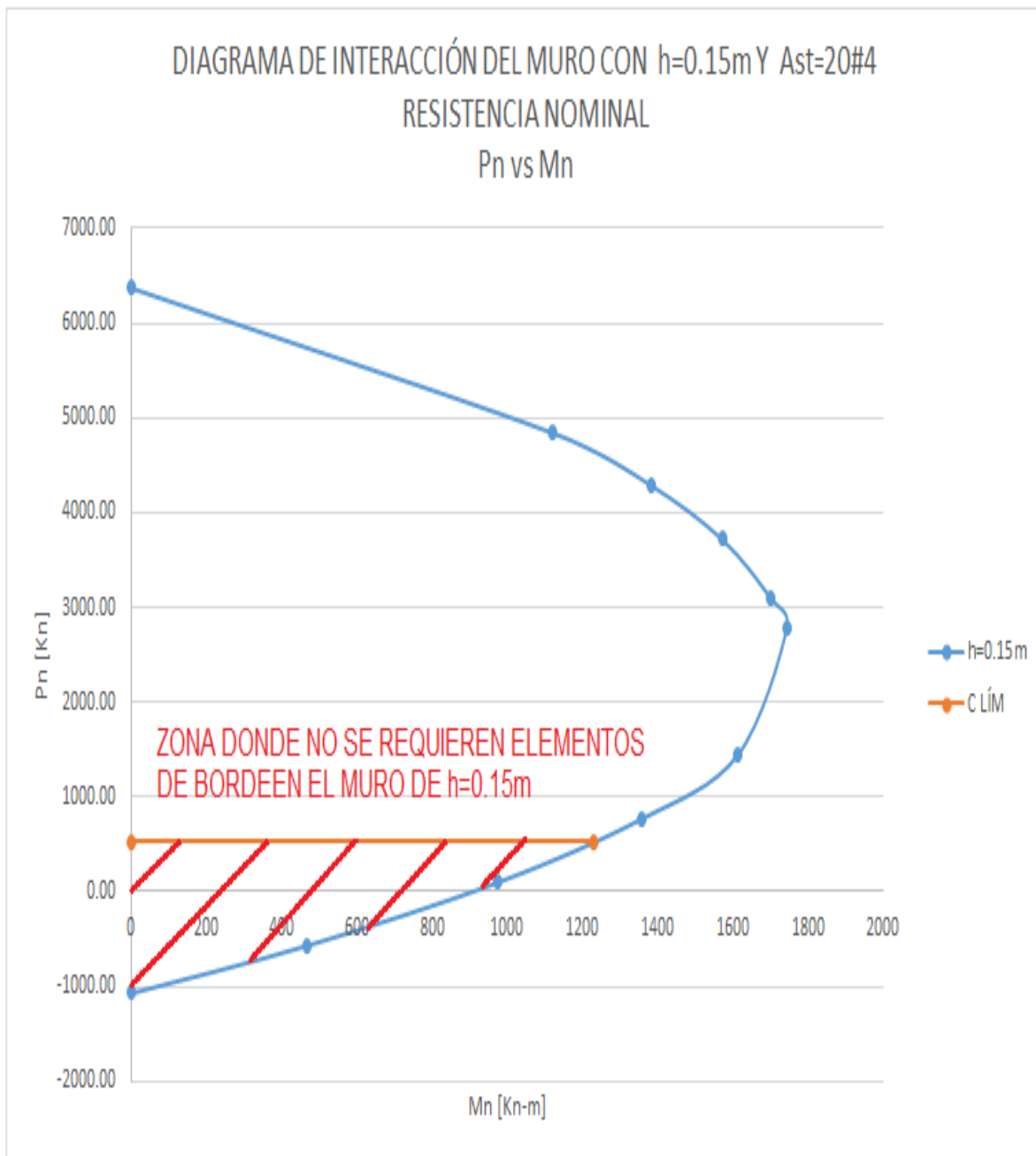
Tabla 14 Valores obtenidos de c con $h=0.15m$ y $A_{st}=20\#4$.

h=0.15m Ast=10#4		
c [m]	Pu [Kn]	Mu [Kn]
0.333985	50.16	937.17
0.3485998	100.11	970.67
0.3637	150.33	1004.03
0.3792	200.55	1037.03
0.46802	500.33	1215.98
0.476	527.07	1230.82
0.6185	1000.31	1458.33
0.678257	1200	1535.0026
0.7382	1400.62	1600.77
0.7978	1600.34	1655.06
0.91758	2000.18	1728.91
1.15	2776.89	1743.45
1.54512	4000.35	1490.15
1.9078	5000.24	1033.83

La franja roja mostrada en el diagrama de interacción de la Gráfica 9, ilustra a los puntos donde no es necesario usar elementos de borde en el muro propuesto (Imagen 35).



Gráfica 9 Zona que no requiere elementos de borde. Resistencia nominal para el muro de $h=0.15\text{m}$, $A_{st}=20\#4$. P_n vs M_n .



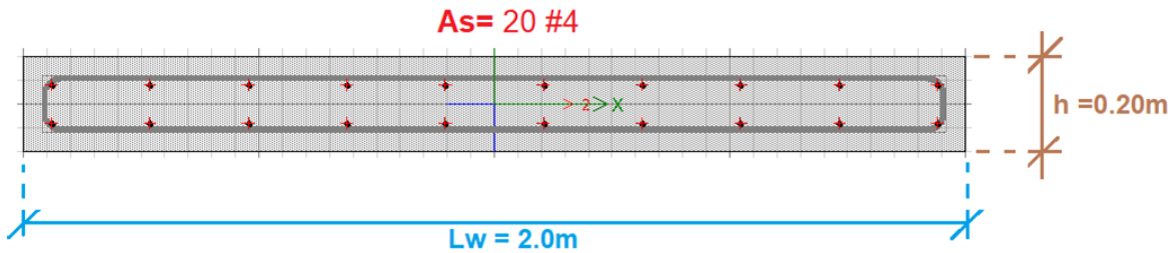
En el anterior gráfico se observa que, la zona donde no se requiere elementos de borde, está delimitada por una fuerza límite axial de 527.07 KN, un incremento 3 veces mayor con respecto al muro de 10cm.



8.2.1.3 MURO CON $h=0.20m$

Continuando con el mismo proceso, se encontraron los puntos para el muro con espesor de 0.20m (Ver Imagen 36).

Imagen 36 Muro con $h=0.20m$ y $Ast=20\#4$.



En la Tabla 15 se presentan los datos encontrados para c , además están las cargas y momentos correspondientes. (El valor del c límite se encuentra destacado de color azul celeste).

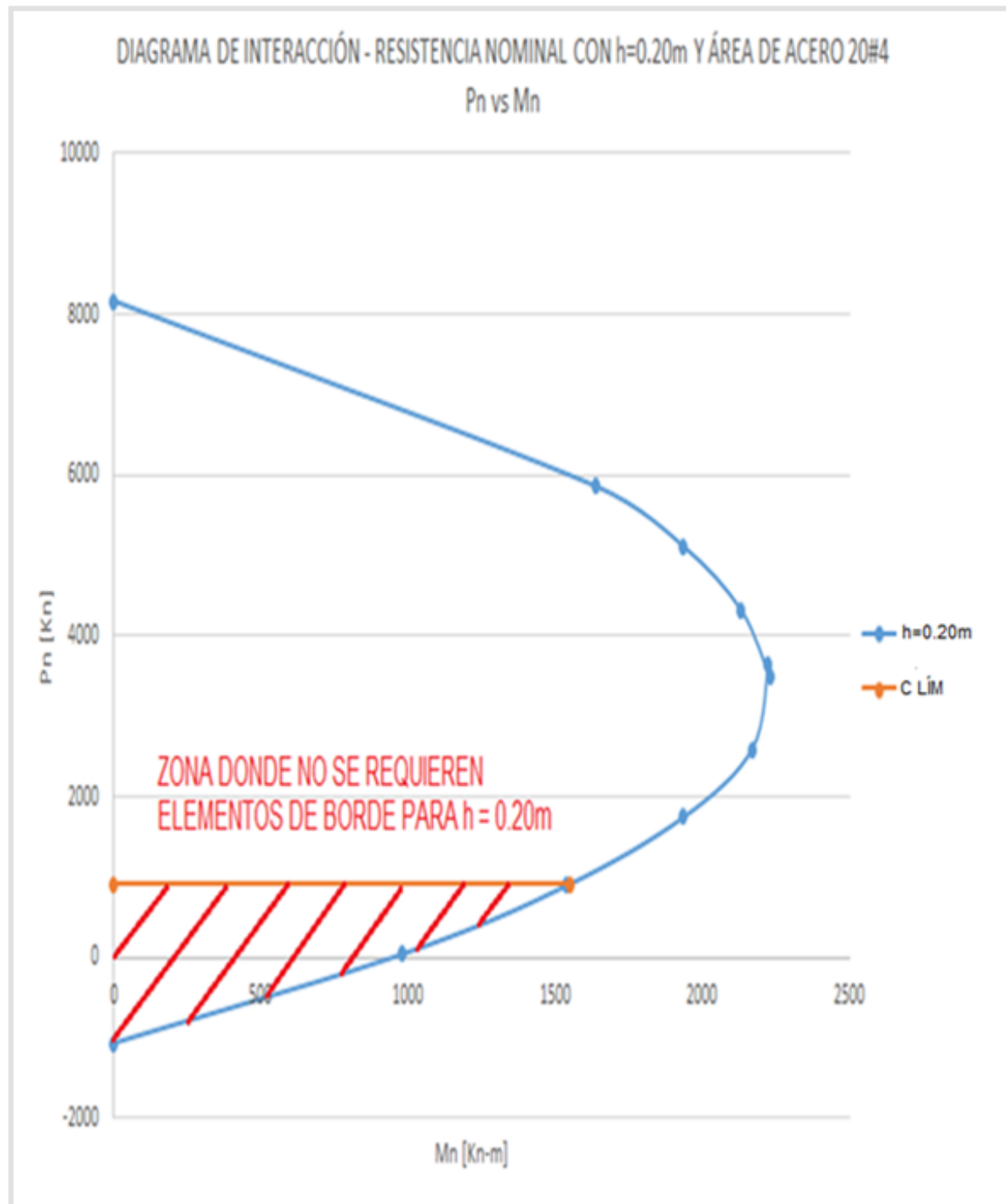
Tabla 15 datos reales para c con $h=0.20m$

h=0.20m Ast=20#4		
c [m]	Pu [Kn]	Mu [Kn]
0.2	-137.97	835.6
0.274000	200.21	1076.43
0.361500	500.77	1296.13
0.476	914.93	1552.21
0.788700	2200.06	2080.24
0.995300	3000.15	2219.35
1.097400	3400.23	2228.20
1.150000	3638.52	2224.48
1.236500	4000.32	2181.51
1.505400	5000.07	1969.92
1.792198	6000.02	1561.13

En la Gráfica 10, se muestra el área en la que no se requieren elementos de borde para el muro.



Gráfica 10 Zona donde no se requieren elementos de borde en el muro con $h=0.20\text{m}$.



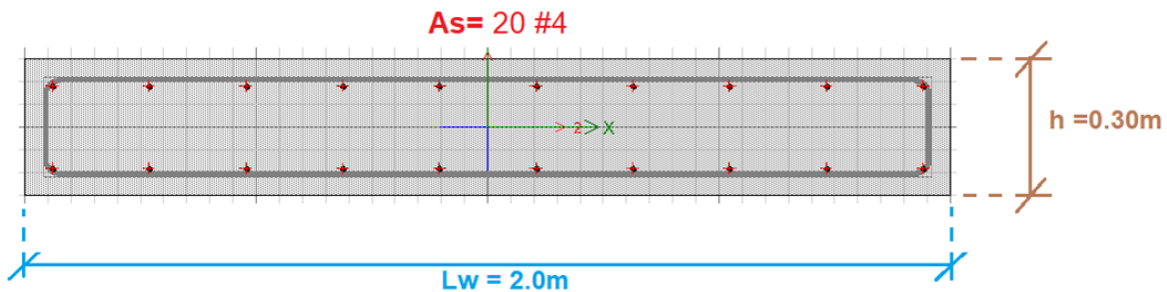
Para esta configuración la carga máxima axial para no requerir elementos de borde esta alrededor de 914.93 KN, con un incremento de 1.74 veces con respecto al muro de espesor de 15 cm.



8.2.1.4 MURO CON $h=0.30m$

En la Imagen 37 se presenta el muro con espesor de treinta centímetros ($h=0.30m$).

Imagen 37 Muro con $h=0.30m$ y $Ast=20\#4$



A continuación, se presentan los valores reales obtenidos de c con sus respectivas cargas y momentos (ver Tabla 16):

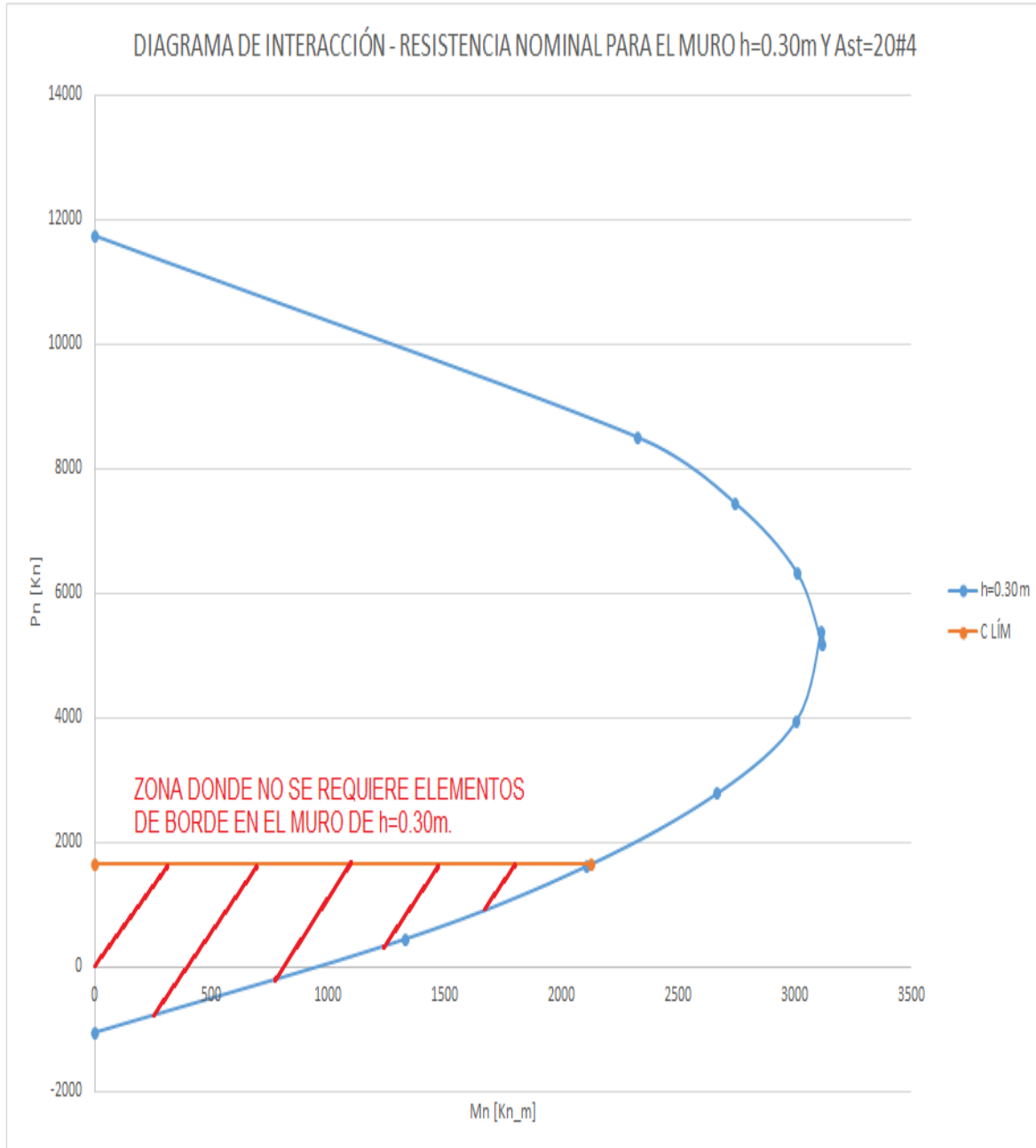
Tabla 16 datos reales para c con $h=0.30m$

h=0.30m Ast=20#4		
c [m]	Pu [Kn]	Mu [Kn]
0.20765	200.3	1142.04
0.2296	300.21	1223.39
0.2735	500.03	1380.48
0.3515	1000.62	1726.32
0.476	1637.14	2128.31
0.5344	2000.06	2317.48
0.798	3400.7	2894.77
0.913	4000.41	3038.71
1.0955	5000.84	3122.27
1.15	5383.35	3116.53
1.4545	7000.83	2864.02
1.8529	9000.15	2039.55

En la Gráfica 11 se puede observar la zona en la que no se requieren elementos de borde en el muro con espesor de 30cm.



Gráfica 11 Zona donde no se requieren elementos de borde para el muro de $h=0.30m$.

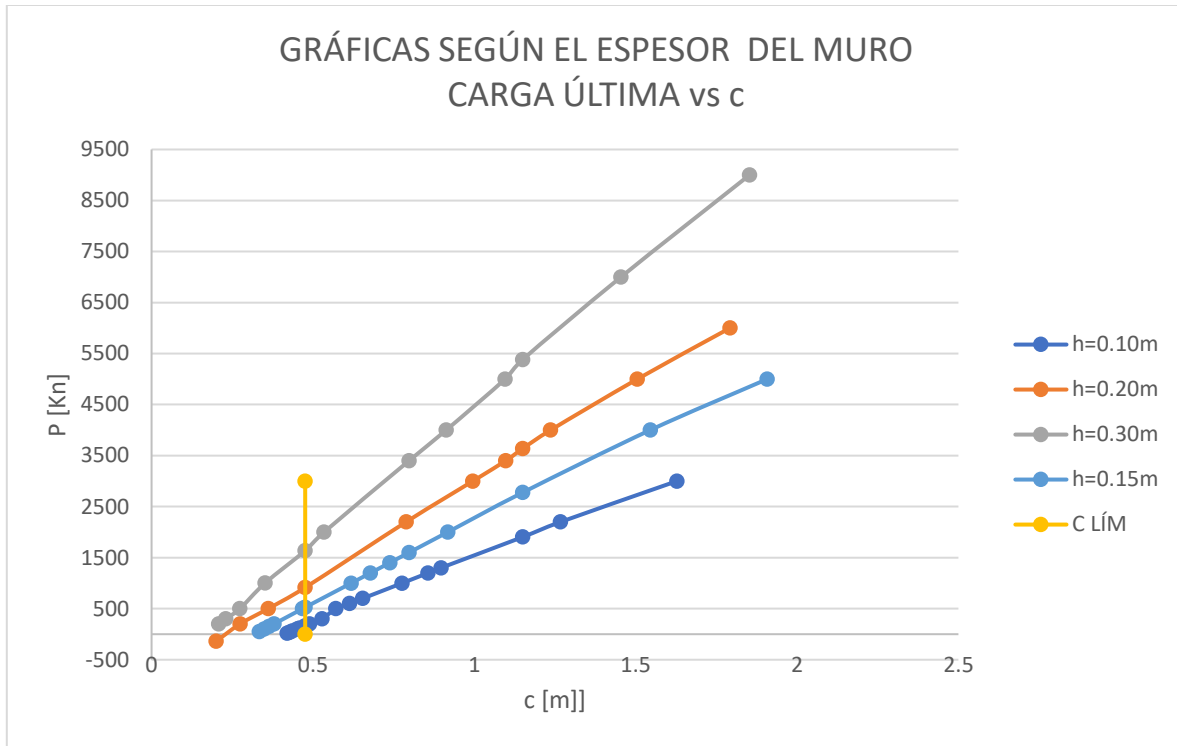


Finalmente, para un espesor de muro de 30cm, el límite de carga axial está del orden de 1637.14 KN, 1.78 veces más que el muro de 20 cm.

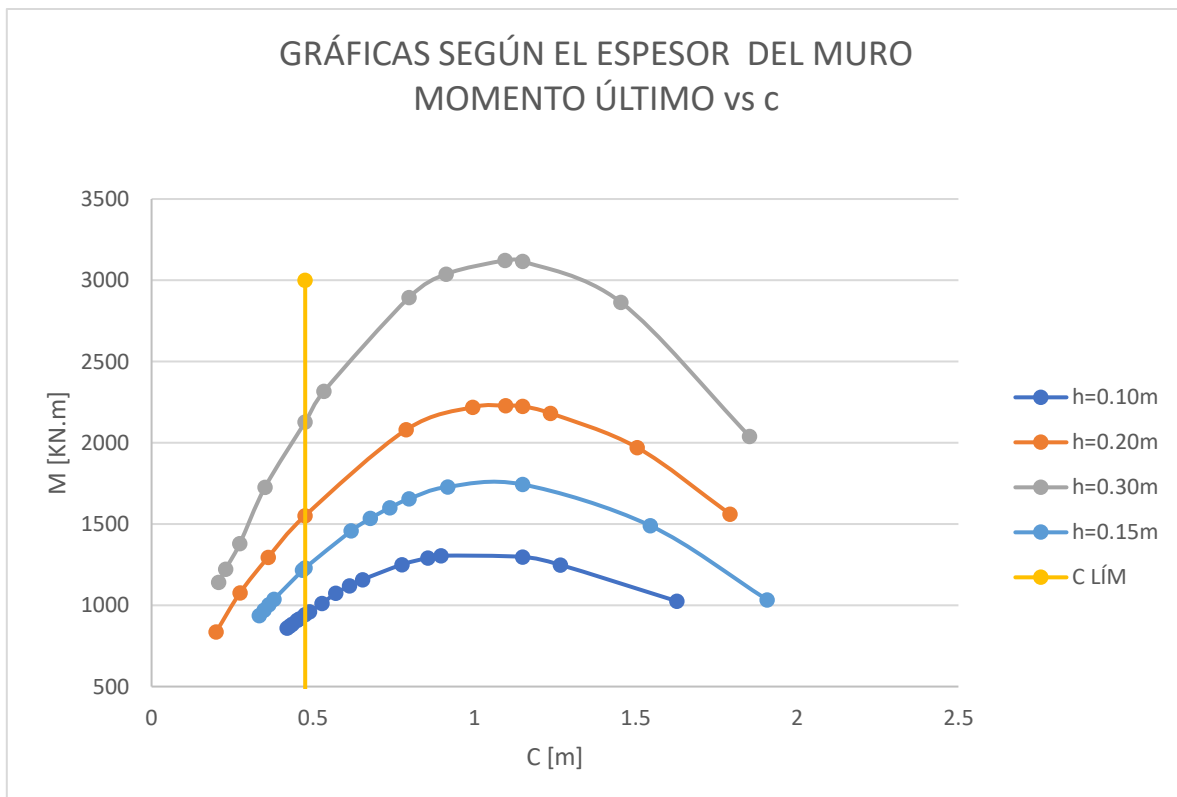
En las Gráficas 12 y 13, se ilustra la variación de P_u y de M_u con respecto a la posición e del eje neutro. La primera tiene una tendencia lineal con respecto al valor de e , mientras que la segunda, la tendencia es similar al diagrama de interacción.



Gráfica 12 Compilación de curvas de los muros analizados con el literal C.21.9.6.2 c vs Pu.



Gráfica 13 Compilación de curvas de los muros analizados con el literal C.21.9.6.2 c vs Mu.





En la tabla 17 y tabla 18, se presentan los valores los valores obtenidos para P_n y M_n en el límite del eje neutro. Observando los valores límites del momento y de la carga axial para superar el valor del c límite, se puede concluir que, para este muro, la carga axial alcanza el límite antes que el momento flector. Por lo anterior, se continuará comparando los valores de cargas axiales.

Por otro lado, se puede observar que al aumentar 5 cm al muro de espesor de 10 cm, su carga axial límite (165.96KN) aumenta más de tres veces (527.07KN) con respecto a su espesor inicial. Este aumento va disminuyendo si se compara el muro de 15 cm con el muro de 20cm, donde su carga límite se incrementa 1.7 veces. Sin embargo, si a un muro de 20cm se aumenta 10 cm en su espesor, su carga límite aumentaría en 1.78 veces. Lo anterior nos permite concluir que bajo este criterio de c límite, el aumento del espesor es óptimo para evitar los elementos de borde para espesores pequeños, probablemente menores a 0.15m.

Tabla 17 Cargas a partir de los cuales se requieren elementos de borde según el espesor del muro.

VALORES A PARTIR DE LOS CUALES SE REQUIEREN ELEMENTOS DE BORDE		
h[m]	c Lím [m]	Pn [Kn]
0.10	0.476	165.96
0.15	0.476	527.07
0.20	0.476	914.93
0.30	0.476	1637.14

Tabla 18 Momentos a partir de los cuales se requieren elementos de borde según el espesor del muro.

VALORES A PARTIR DE LOS CUALES SE REQUIEREN ELEMENTOS DE BORDE		
h[m]	c Lím [m]	Mn [Kn-m]
0.10	0.476	942.76
0.15	0.476	1230.82
0.20	0.476	1552.21
0.30	0.476	2128.31



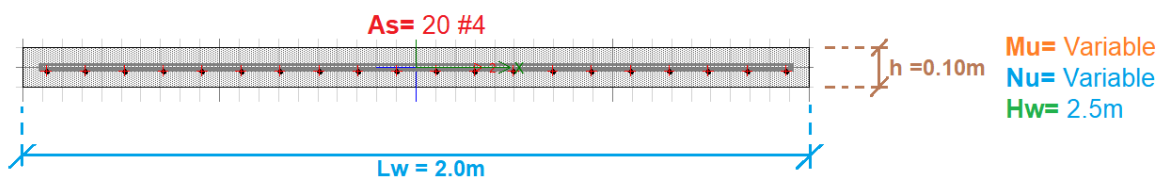
8.2.2 MÉTODO DE LOS ESFUERZOS

Utilizando el método de los Esfuerzos propuesto en la NSR-10, literal C.21.9.6.3, se calcularon 4 casos en donde se varió el espesor del muro y el momento aplicado, con el fin de comparar los resultados arrojados del literal C.21.9.6.2, de tal forma que se pueda observar que método es más exigente a la hora de requerir elementos de borde.

8.2.2.1 CASO 1: ESPESOR DEL MURO CONSTANTE $h=0.10m$, CON UN MOMENTO ÚLTIMO VARIABLE.

La Imagen 38, presenta la sección de muro a la que se le realizarán los cálculos:

Imagen 38 Sección del muro con $h= 0.10m$.



En la tabla 19 se presentan los datos básicos con los cuales se realizaron los cálculos.

Tabla 19 Datos base para los Cálculos realizados, manteniendo el espesor y las cargas constantes con momento último variable.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	F'c [MA]	21
RESISTENCIA A LA FLUENCIA EN EL ACERO	Fy [MPA]	420
ALTURA TOTAL DEL MURO	Hw(m)	2.5
LONGITUD DEL MURO	Lw(m)	2
ESPELOR DEL MURO	h(m)	0.1
MODULO DE ELASTICIDAD CCTO	E(KN/m2)	21000000
NÚMERO DE VARILLAS A USAR	#VAR	20
ÁREA DE ACERO TOTAL	Ast [m2]	0.00254
CUANTÍA DE ACERO	ρl	0.0127
	$\beta 1$	0.85
ESFUERZO A TRACCIÓN	T[Kn]	1066.8
AREA DE LA SECCION	A [m2]	0.2
INERCIA	I [m4]	0.0667
ALTURA AL EJE NEUTRO	Y [m]	1



A continuación, se presenta un ejemplo para calcular el esfuerzo de compresión máximo para una carga de 10Kn y un momento de 10Kn-m:

$$\sigma = \frac{Pn}{Ag} + \frac{Mn \left(\frac{Lw}{2} \right)}{Ig} \gg 0.20f'c$$

$$\sigma = \frac{10Kn}{0.2m^2} + \frac{10Kn \cdot m \left(\frac{2.0m}{2} \right)}{0.0667m^4}$$

$$\sigma = 199.93Kn/m^2$$

$$\sigma \cong 200Kn/m^2$$

Este proceso se realizó para momentos y cargas diferentes manteniendo fijo el espesor del muro como h=0.10m y el Ast=20#4.

En las Tablas 20, 21 y 22, se presentan los valores esfuerzos obtenidos para el muro de h=0.10m, para momento de 10KN, 50KN para la primera tabla, 100KN, 200KN para la segunda tabla y 250KN y 300KN para la última tabla.

Tabla 20 Resultados obtenidos con momentos de 10Kn-m y 50Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.10m.

MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn/m2]	MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn/m2]
10	10	200	50	10	800
ESPELOR DEL MURO	50	400	ESPELOR DEL MURO	50	1000
h [m]	100	650	h [m]	100	1250
0.1	150	900	0.1	150	1500
AREA DE LA SECCION	200	1150	AREA DE LA SECCION	200	1750
A [m2]	500	2650	A [m2]	500	3250
0.2	800	4150	0.2	800	4750
INERCIA	900	4650	INERCIA	900	5250
I [m4]	1200	6150	I [m4]	1200	6750
0.06667	1500	7650	0.06667	1500	8250
	2000	10150		2000	10750
	2500	12650		2500	13250



Tabla 21 Resultados obtenidos con momentos de 100Kn-m y 200Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.10m.

MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn/m2]	MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn/m2]
100	10	1550	200	10	3050
ESPESOR DEL MURO	50	1750	ESPESOR DEL MURO	50	3250
h [m]	100	2000	h [m]	100	3500
0.1	150	2250	0.1	150	3750
AREA DE LA SECCION	200	2500	AREA DE LA SECCION	200	4000
A [m2]	500	4000	A [m2]	500	5500
0.2	800	5500	0.2	800	7000
INERCIA	900	6000	INERCIA	900	7500
I [m4]	1200	7500	I [m4]	1200	9000
0.06667	1500	9000	0.06667	1500	10500
	2000	11500		2000	13000
	2500	14000		2500	15500

Tabla 22 Resultados obtenidos con momentos de 250Kn-m y 300Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.10m.

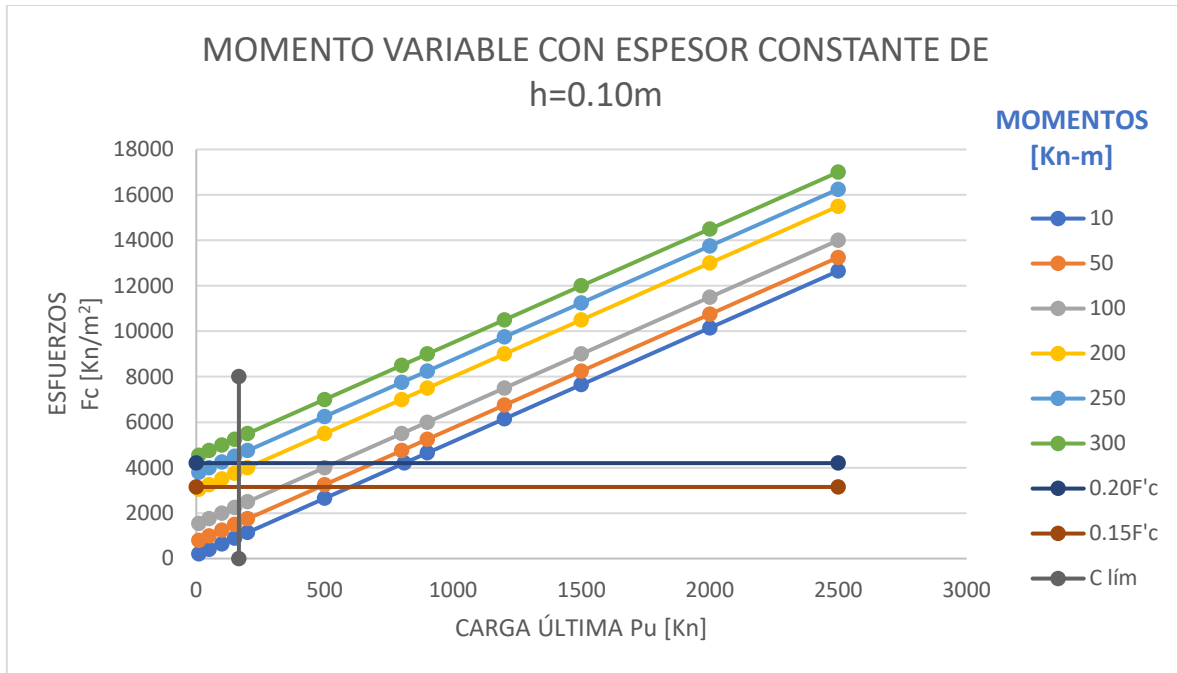
MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn/m2]	MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn/m2]
250	10	3800	300	10	4550
ESPESOR DEL MURO	50	4000	ESPESOR DEL MURO	50	4750
h [m]	100	4250	h [m]	100	5000
0.1	150	4500	0.1	150	5250
AREA DE LA SECCION	200	4750	AREA DE LA SECCION	200	5500
A [m2]	500	6250	A [m2]	500	7000
0.2	800	7750	0.2	800	8500
INERCIA	900	8250	INERCIA	900	9000
I [m4]	1200	9750	I [m4]	1200	10500
0.06667	1500	11250	0.06667	1500	12000
	2000	13750		2000	14500
	2500	16250		2500	17000

La Gráfica 14 presenta la variación de la carga Pu para un momento determinado contra los esfuerzos. Adicionalmente se ha incluido la carga Pu máxima para este muro obtenida por el método del límite de la zona de compresión c.

Se observa que para los momentos aplicados de 10KN.m, 50KN.m, 100KN.m y 200Kn.m por el método de esfuerzos no requiere elemento de borde hasta no alcanzar cargas axiales superiores a 810KN, 690KN, 540 KN y 240Kn-m, respectivamente, mientras que, con el límite de c, existe un requerimiento de borde para una carga axial superior a 165.96 KN bajo cualquier momento aplicado.



Gráfica 14 Comparación de los resultados encontrados al variar el momento y dejar el espesor constante como $h=0.10m$.



Sin embargo, cuando los momentos son, 250KN.m y 300KN.m, las cargas axiales para el requerimiento del elemento de borde son 90KN y 5KN. Por lo anterior, el control del requerimiento lo tiene el método de los esfuerzos.

Los anteriores valores se pueden observar en la Tabla 23.

Tabla 23 Carga a partir de la que se requiere elemento de borde en el muro con $h=0.10m$.

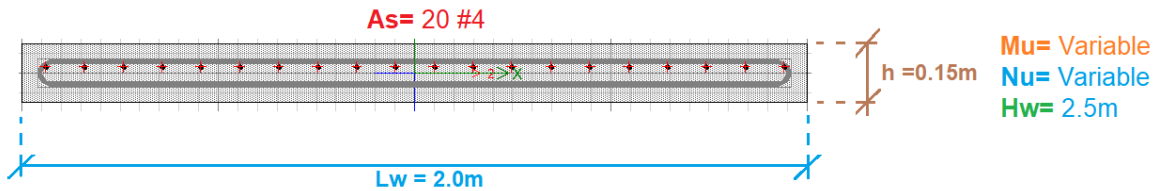
ESPESOR $h=0.10m$		
ESPELOR DEL MURO h [m]	MOMENTO ULTIMO Mn [Kn-m]	Pn QUE REQUIERE E.B. [Kn]
0.1	10	810
AREA DE LA SECCION A [m ²]	50	690
0.2	100	540
INERCIA I [m ⁴]	200	240
0.06667	250	90
Lw [m] 2	300	-60
$0.20F'c$ [Kn] 4200		



8.2.2.2 CASO 2: ESPESOR DEL MURO CONSTANTE $h=0.15m$, CON UN MOMENTO ÚLTIMO VARIABLE.

En este caso, se realizó el mismo análisis que el CASO 1, con un espesor de 0.15m.

Imagen 39 Sección del muro con $h=0.15$ y $As=20\#4$



La Tabla 24, presenta los datos con los que se realizaron los cálculos para el muro con $h=0.15m$.

Tabla 24 Datos base con los que se realizaron los cálculos.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	$F'c$ [MA]	21
RESISTENCIA A LA FLUENCIA EN EL ACERO	F_y [MPA]	420
ALTURA TOTAL DEL MURO	H_w (m)	2.5
LONGITUD DEL MURO	L_w (m)	2
ESPESOR DEL MURO	h (m)	0.15
MODULO DE ELASTICIDAD CCTO	E (KN/m ²)	21000000
NÚMERO DE VARILLAS A USAR	#VAR	20
ÁREA DE ACERO TOTAL	A_{st} [m ²]	0.00254
CUANTÍA DE ACERO	ρ	0.0127
	β_1	0.85
ESFUERZO A TRACCIÓN	T [Kn]	1066.8
AREA DE LA SECCION	A [m ²]	0.3
INERCIA	I [m ⁴]	0.0667

A continuación, se muestran las Tablas 25, 26 y 27, donde se presentan los resultados encontrados para el muro de la Imagen 39.



Tabla 25 Resultados obtenidos con momentos de 10Kn-m y 50Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.15m.

MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
10	10	133.33	50	10	533.33
ESPEJOR DEL MURO	50	266.67	ESPEJOR DEL MURO	50	666.67
	100	433.33		100	833.33
h [m]	150	600	h [m]	150	1000
0.15	200	766.67	0.15	200	1166.67
AREA DE LA SECCION	500	1766.67	AREA DE LA SECCION	500	2166.67
	800	2766.67		800	3166.67
A [m2]	900	3100	A [m2]	900	3500
0.3	1200	4100	0.3	1200	4500
INERCIA	1500	5100	INERCIA	1500	5500
I [m4]	2000	6766.67	I [m4]	2000	7166.67
0.10000	2500	8433.33	0.10000	2500	8833.33

Tabla 26 Resultados obtenidos con momentos de 100Kn-m y 200Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.15m.

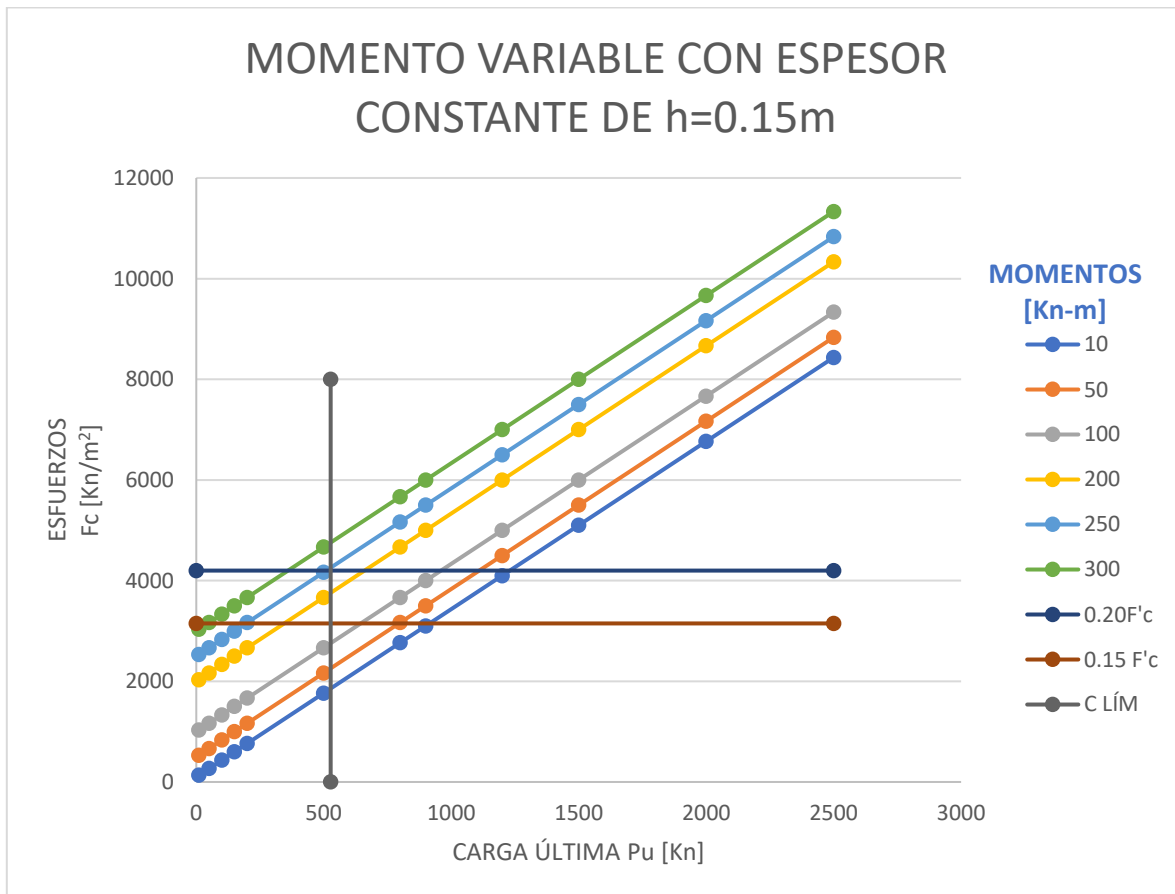
MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
100	10	1033.33	200	10	2033.33
ESPEJOR DEL MURO	50	1166.67	ESPEJOR DEL MURO	50	2166.67
	100	1333.33		100	2333.33
h [m]	150	1500	h [m]	150	2500
0.15	200	1666.67	0.15	200	2666.67
AREA DE LA SECCION	500	2666.67	AREA DE LA SECCION	500	3666.67
	800	3666.67		800	4666.67
A [m2]	900	4000	A [m2]	900	5000
0.3	1200	5000	0.3	1200	6000
INERCIA	1500	6000	INERCIA	1500	7000
I [m4]	2000	7666.67	I [m4]	2000	8666.67
0.10000	2500	9333.33	0.10000	2500	10333.33



Tabla 27 Resultados obtenidos con momentos de 250Kn-m y 300Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.15m.

MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
250	10	2533.33	300	10	3033.33
ESPESOR DEL MURO	50	2666.67	ESPESOR DEL MURO	50	3166.67
100	100	2833.33	100	100	3333.33
h [m]	150	3000	h [m]	150	3500
0.15	200	3166.67	0.15	200	3666.67
AREA DE LA SECCION	500	4166.67	AREA DE LA SECCION	500	4666.67
800	800	5166.67	800	800	5666.67
A [m2]	900	5500	A [m2]	900	6000
0.3	1200	6500	0.3	1200	7000
INERCIA	1500	7500	INERCIA	1500	8000
I [m4]	2000	9166.67	I [m4]	2000	9666.67
0.10000	2500	10833.33	0.10000	2500	11333.33

Gráfica 15 Compilación de resultados obtenidos al variar el momento último y con un espesor de 0.15m.





En la Gráfica 15, se puede observar que teniendo momentos de 250Kn-m y 300Kn-m, con espesor de 15cm, se requieren elementos de borde con carga 360Kn y 510Kn respectivamente, mientras que utilizando el método del c límite, se requerirá elementos de borde a partir de una carga de 527.07Kn. Para este caso, el límite más conservador está dado por el método de los esfuerzos. Caso contrario, para momentos aplicados de 10KN.m, 50KN.m, 100KN.m y 200Kn.m las cargas axiales máximas para superar el límite de esfuerzos son: 690KN, 950KN, 1100KN y 1350KN, respectivamente. El método que controla la exigencia del elemento de borde es el método de c límite.

Los datos mencionados se pueden observar en la Tabla 28:

Tabla 28 Carga a partir de la que se requiere elemento de borde en el muro con $h=0.15m$.

ESPESOR DEL MURO h [m]	MOMENTO ULTIMO M_n [Kn-m]	ESFUERZO REQUIERE E.B. [Kn]
0.15	10	1230
AREA DE LA SECCION A [m ²]	50	1110
0.3	100	960
INERCIA I [m ⁴]	200	660
0.10000	250	510
L_w [m] 2	300	360
$0.20F'c$ [Kn] 4200		

8.2.2.3 CASO 3: ESPESOR DEL MURO CONSTANTE $h=0.20m$, CON UN MOMENTO ÚLTIMO VARIABLE.

En la siguiente imagen se muestra la configuración para el muro de espesor a 20 cm.

Imagen 40 Sección del muro con $h=0.20m$ y $A_s= 20\#4$

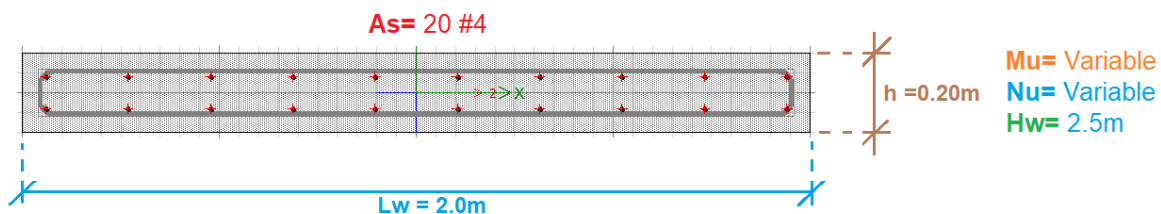




Tabla 29 Datos base con los que se realizaron los cálculos.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	F'c [MA]	21
RESISTENCIA A LA FLUENCIA EN EL ACERO	Fy [MPA]	420
ALTURA TOTAL DEL MURO	Hw(m)	2.5
LONGITUD DEL MURO	Lw(m)	2
ESPELOR DEL MURO	h(m)	0.2
MODULO DE ELASTICIDAD CCTO	E(KN/m2)	21000000
NÚMERO DE VARILLAS A USAR	#VAR	20
ÁREA DE ACERO TOTAL	Ast [m2]	0.00254
CUANTÍA DE ACERO	ρl	0.0127
	$\beta 1$	0.85
ESFUERZO A TRACCIÓN	T[Kn]	1066.8
AREA DE LA SECCION	A [m2]	0.4
INERCIA	I [m4]	0.0667

A continuación, se presentan las Tablas 30, 31 y 32, donde se muestran los datos obtenidos con el espesor de veinte centímetros.

Tabla 30 Resultados obtenidos con momentos de 10Kn-m y 50Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.20m

MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
10	10	100	50	10	400
ESPELOR DEL MURO	50	200	ESPELOR DEL MURO	50	500
h [m]	100	325	h [m]	100	625
0.2	150	450	0.2	150	750
	200	575		200	875
AREA DE LA SECCION	500	1325	AREA DE LA SECCION	500	1625
A [m2]	800	2075	A [m2]	800	2375
0.4	900	2325	0.4	900	2625
	1200	3075		1200	3375
INERCIA	1500	3825	INERCIA	1500	4125
I [m4]	2000	5075	I [m4]	2000	5375
0.13333	2500	6325	0.13333	2500	6625

Tabla 31 Resultados obtenidos con momentos de 100Kn-m y 200Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.20m.

MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
100	10	775	200	10	1525
ESPELOR DEL MURO	50	875	ESPELOR DEL MURO	50	1625
h [m]	100	1000	h [m]	100	1750
0.2	150	1125	0.2	150	1875
	200	1250		200	2000
AREA DE LA SECCION	500	2000	AREA DE LA SECCION	500	2750
A [m2]	800	2750	A [m2]	800	3500
0.4	900	3000	0.4	900	3750
	1200	3750		1200	4500
INERCIA	1500	4500	INERCIA	1500	5250
I [m4]	2000	5750	I [m4]	2000	6500
0.13333	2500	7000	0.13333	2500	7750



Tabla 32 Resultados obtenidos con momentos de 250Kn-m y 300Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.20m.

MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA BASE DEL MURO
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
250	10	1900	300	10	2275
ESPEJOR DEL MURO	50	2000	ESPEJOR DEL MURO	50	2375
100	100	2125	100	100	2500
h [m]	150	2250	h [m]	150	2625
0.2	200	2375	0.2	200	2750
AREA DE LA SECCION	500	3125	AREA DE LA SECCION	500	3500
800	800	3875	800	800	4250
A [m2]	900	4125	A [m2]	900	4500
0.4	1200	4875	0.4	1200	5250
INERCIA	1500	5625	INERCIA	1500	6000
I [m4]	2000	6875	I [m4]	2000	7250
0.13333	2500	8125	0.13333	2500	8500

Gráfica 16 Compilación de resultados obtenidos al variar el momento último y con un espesor de 0.20m.

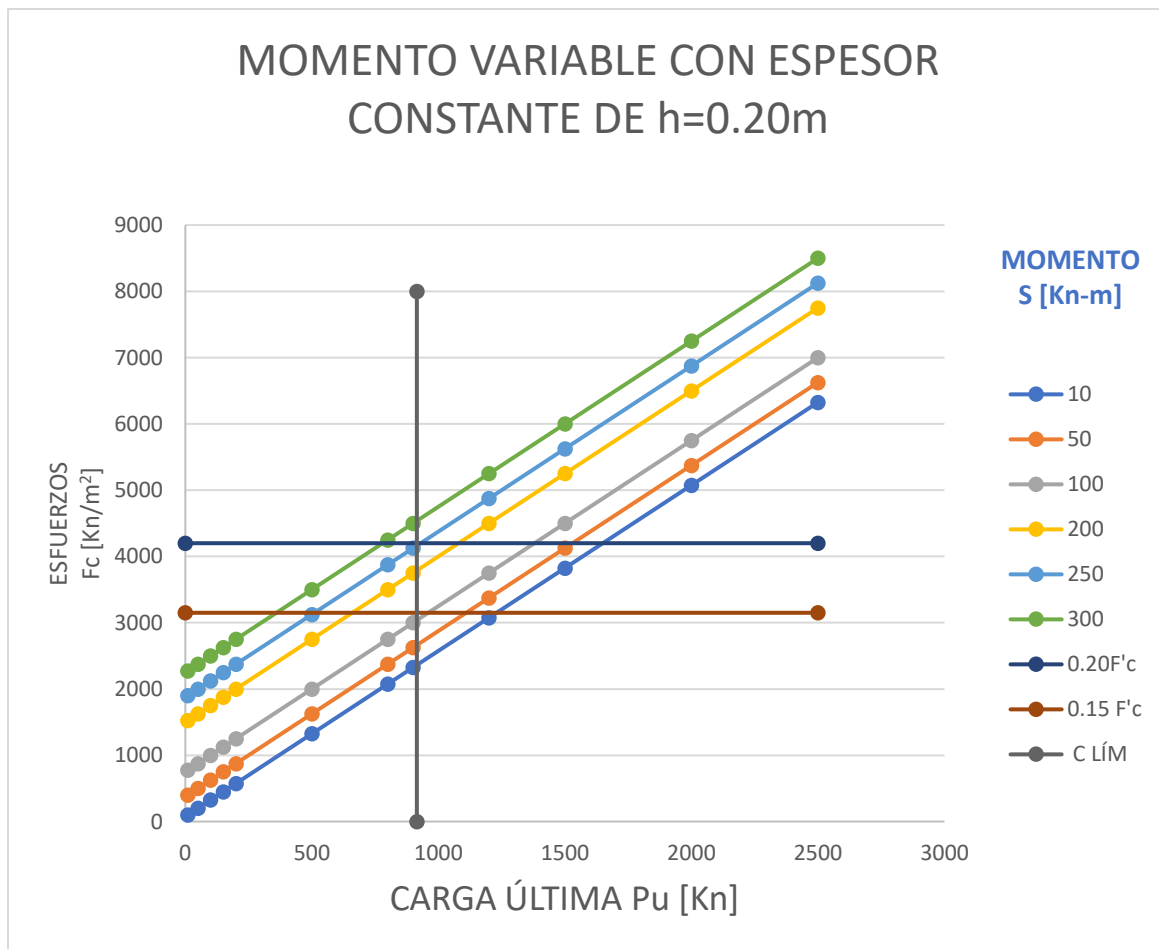




Tabla 33 Carga a partir de la que se requiere elemento de borde en el muro con $h=0.20m$.

ESPESOR DEL MURO h [m]	MOMENTO ULTIMO Mn [Kn-m]	CARGA REQUIERE E.B. [Kn]
0.2	10	1650
ÁREA DE LA SECCION A [m ²]	50	1530
0.4	100	1380
INERCIA I [m ⁴]	200	1080
0.13333	250	930
Lw [m]	300	780
2		
0.20F'c [Kn]		
4200		

En la Gráfica 16, se puede observar que teniendo un momento de 300Kn-m, con un espesor de 0.20m, se requieren elementos de borde con una carga axial de 780Kn, mientras que usando el método de c límite, se requerirá elementos de borde a partir de una carga de 914.93Kn, Para este caso, el límite más conservador está dado por el método de los esfuerzos. Caso contrario ocurre para momentos aplicados de 10Kn.m, 50Kn.m, 100Kn.m, 200Kn.m y 250Kn.m, las cargas axiales máximas para superar el límite de esfuerzos son: 1650KN, 1530KN, 1380KN y 1080KN, y 930Kn.m respectivamente. El método que controla la exigencia del elemento de borde es el método de c límite. La Tabla 33, muestra los datos mencionados anteriormente.

8.2.2.4 CASO 4: ESPESOR DEL MURO CONSTANTE $h=0.30m$, CON UN MOMENTO ÚLTIMO VARIABLE.

En este caso, se realizaron los cálculos con un espesor de 0.30m y se varió el momento.

Imagen 41 Sección de muro con $h=0.30m$ y $As=20\#4$.

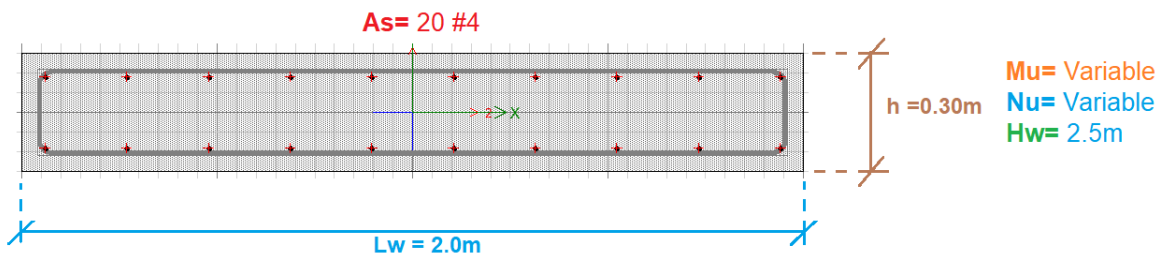




Tabla 34 Datos base con los que se realizaron los cálculos.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	F'c [MA]	21
RESISTENCIA A LA FLUENCIA EN EL ACERO	Fy [MPA]	420
ALTURA TOTAL DEL MURO	Hw(m)	2.5
LONGITUD DEL MURO	Lw(m)	2
ESPESOR DEL MURO	h(m)	0.3
MODULO DE ELASTICIDAD CCTO	E(KN/m2)	21000000
NÚMERO DE VARILLAS A USAR	#VAR	20
ÁREA DE ACERO TOTAL	Ast [m2]	0.00254
CUANTÍA DE ACERO	ρl	0.0127
	$\beta 1$	0.85
ESFUERZO A TRACCIÓN	T[Kn]	1066.8
AREA DE LA SECCION	A [m2]	0.6
INERCIA	I [m4]	0.0667

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el espesor del muro $h=0.30m$.
(Ver Tablas 35,36 y 37).

Tabla 35 Resultados obtenidos con momentos de 10Kn-m y 50Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.30m.

MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA	MOMENTO ULTIMO	CARGA AXIAL MAYORADA	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA
Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]	Mu [Kn-m]	Pu [Kn]	Fc[Kn]
10	10	66.67	50	10	266.67
ESPESOR DEL MURO	50	133.33	ESPESOR DEL MURO	50	333.33
h [m]	100	216.67	h [m]	100	416.67
0.3	150	300	0.3	150	500
AREA DE LA SECCION	200	383.33	AREA DE LA SECCION	200	583.33
A [m2]	500	883.33	A [m2]	500	1083.33
0.6	800	1383.33	0.6	800	1583.33
INERCIA	900	1550	INERCIA	900	1750
I [m4]	1200	2050	I [m4]	1200	2250
0.20000	1500	2550	0.20000	1500	2750
	2000	3383.33		2000	3583.33
	2500	4216.67		2500	4416.67



Tabla 36 Resultados obtenidos con momentos de 100Kn-m y 200Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.30m.

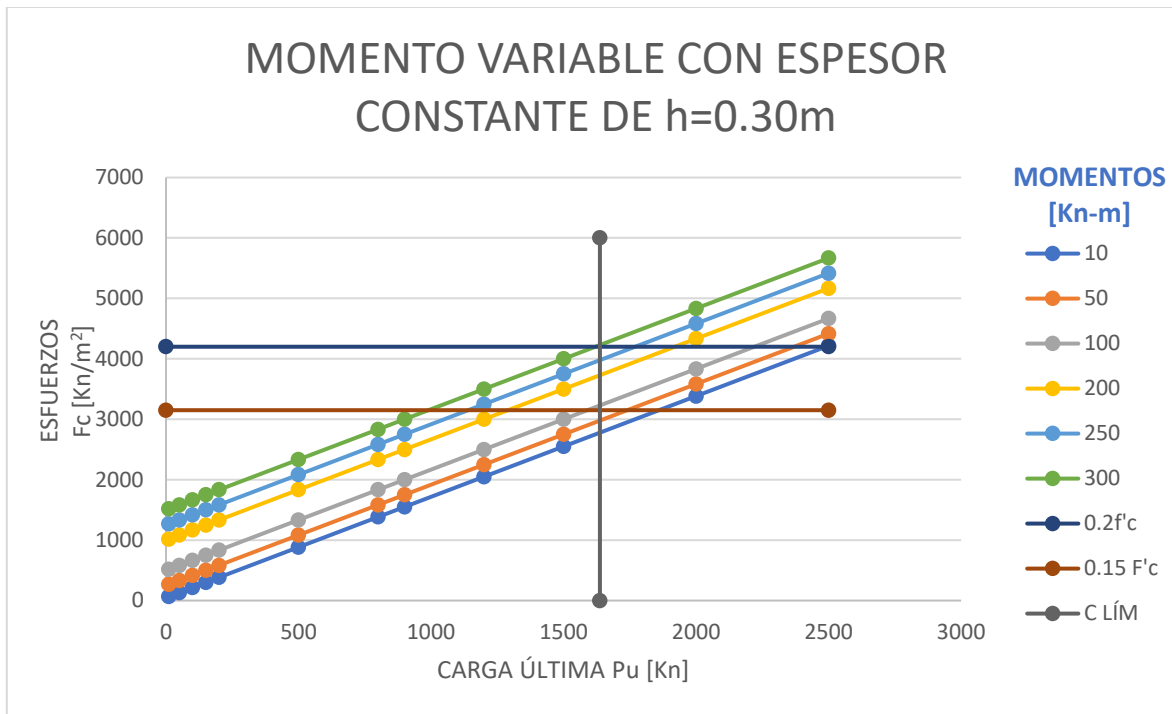
MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn]	MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn]
100	10	516.67	200	10	1016.67
ESPESOR DEL MURO	50	583.33	ESPESOR DEL MURO	50	1083.33
h [m]	100	666.67	h [m]	100	1166.67
0.3	150	750	h [m]	150	1250
AREA DE LA SECCION	200	833.33	h [m]	200	1333.33
A [m2]	500	1333.33	AREA DE LA SECCION	500	1833.33
0.6	800	1833.33	A [m2]	800	2333.33
INERCIA	900	2000	0.6	900	2500
I [m4]	1200	2500	INERCIA	1200	3000
0.20000	1500	3000	I [m4]	1500	3500
	2000	3833.33	0.20000	2000	4333.33
	2500	4666.67		2500	5166.67

Tabla 37 Resultados obtenidos con momentos de 250Kn-m y 300Kn-m, manteniendo el espesor del muro en 0.30m.

MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn]	MOMENTO ULTIMO Mu [Kn-m]	CARGA AXIAL MAYORADA Pu [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION MAXIMO EN LA Fc[Kn]
250	10	1266.67	300	10	1516.67
ESPESOR DEL MURO	50	1333.33	ESPESOR DEL MURO	50	1583.33
h [m]	100	1416.67	h [m]	100	1666.67
h [m]	150	1500	h [m]	150	1750
AREA DE LA SECCION	200	1583.33	h [m]	200	1833.33
A [m2]	500	2083.33	AREA DE LA SECCION	500	2333.33
0.6	800	2583.33	A [m2]	800	2833.33
INERCIA	900	2750	0.6	900	3000
I [m4]	1200	3250	INERCIA	1200	3500
0.20000	1500	3750	I [m4]	1500	4000
	2000	4583.33	0.20000	2000	4833.33
	2500	5416.67		2500	5666.67



Gráfica 17 Compilación de resultados obtenidos al variar el momento último y con un espesor de 0.30m.



Las cargas límites según el momento último, se presentan en la tabla 38:

Tabla 38 Carga a partir de la que se requiere
Elemento de borde en el muro con $h=0.30m$.

ESPELOR DEL MURO h [m]	MOMENTO ULTIMO M_n [Kn-m]	CARGA REQUIERE E.B. [Kn]
0.3	10	2490
ÁREA DE LA SECCION A [m ²]	50	2370
0.6	100	2220
INERCIA I [m ⁴]	200	1920
0.20000	250	1770
L_w [m] 2	300	1620
$0.20F'c$ [Kn] 4200		

En la Gráfica 17, se puede observar que teniendo un momento de 300Kn-m, con un espesor de 0.30m, se requieren elementos de borde con una carga axial de 1620Kn, mientras que usando el método de c límite, se requerirá elementos de borde a partir de una carga de 1637.14Kn, Para este caso, el límite más conservador está dado por el método de los esfuerzos. Caso contrario ocurre para momentos aplicados de 10Kn.m, 50Kn.m, 100Kn.m, 200Kn.m y 250Kn.m, las cargas axiales máximas para superar el límite de esfuerzos son: 2490KN, 2370KN, 2220KN, 1920KN.m, y 1770Kn.m respectivamente. El método que controla la exigencia del elemento de borde es el método de c límite.



9 EJEMPLO DE DIAGRAMA DE INTERACCIÓN PARA UN MURO CON ELEMENTOS DE BORDE

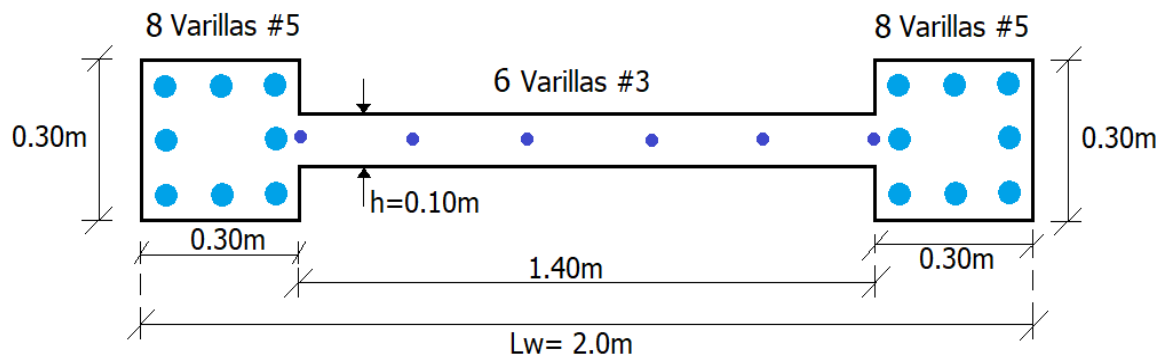
En este capítulo se presenta el diagrama de interacción de un muro con requerimiento de elementos de borde. El muro se modeló en los programas Etabs y Sap2000 con el fin de comparar los datos calculados.

El muro tiene elementos de borde de sección de 0.30m x 0.30m en cada extremo y con refuerzo en la sección central del muro de 6 varillas #3, y en cada elemento de borde se adicionaron 8 varillas #5, se realizó el diagrama de interacción con los mismos programas trabajados en el capítulo 8.

La Imagen 42, muestra el modelo del muro que se probó en los programas mencionados anteriormente.

Imagen 42 Modelo del muro a ensayar en los programas.

MURO A ENSAYAR EN LOS PROGRAMAS



9.1 EXCEL

CÁLCULO DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN PARA MURO CON ELEMENTO DE BORDE

- 1) Calcular el punto de falla por compresión axial P_{nc} :

$$P_{nc} = 0.85f'c [A_g - A_{st}] + A_{st} F_y$$

$$P_{nc} = 0.85(21 * 10^3) [0.32m^2 - 0.00359m^2] + 0.00359m^2 (420 * 10^3)$$

$$P_{nc} = 7157.51Kn$$



2) Encontrar el valor para el punto de falla por tracción axial Pnt:

$$Pnt = -Ast Fy$$

$$Pnt = -(0.00359m^2) (420 * 10^3)$$

$$Pnt = -1509.675Kn$$

3) Hallar el punto de falla balanceada Cb:

$$\frac{\epsilon_u}{Cb} = \frac{\epsilon_y}{d - Cb}$$

$$\frac{0.003}{Cb} = \frac{0.0021}{1.95 - Cb}$$

$$Cb = 1.15m$$

Para poder realizar el cálculo del punto de falla balanceada, es necesario realizar el cálculo de todas las deformaciones que se presentan correspondientes a cada punto de acero en el muro, para poder encontrar los esfuerzos.

$$\frac{0.003}{1.15m} = \frac{\epsilon_{s1}}{1.1m - 0.05m}$$

$$\epsilon_{s1} = 2.87 * 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s1} = 0.00287$$

Utilizando el mismo método, se encontraron todas las deformaciones:

Tabla 39 Deformaciones halladas para el muro con elementos de borde

DEFORMACIONES			
ES1	0.00287	ES7	0.0000
ES2	0.0026	ES8	0.00070
ES3	0.0023	ES9	0.0014
ES4	0.0022	ES10	0.0016
ES5	0.0015	ES11	0.0018
ES6	0.0008	ES12	0.0021

Teniendo todas las deformaciones, se procede a calcular los esfuerzos:



$$F_1 = E * \varepsilon_{s1}$$

$$F_1 = 200000Mpa * 0.00287$$

$$F_1 = 574Mpa$$

Como el valor sobre pasa el esfuerzo del acero, se dejará el mismo valor del esfuerzo en el acero, para cada valor que sea mayor a él, por lo tanto,

$$F_1 = 420Mpa$$

Se presenta a continuación la Tabla 40, que contiene todos los esfuerzos calculados para obtener el punto de falla balanceada:

Tabla 40 Esfuerzos hallados para el muro con elementos de borde.

ESFUERZOS			
FS1	420000.00	FS7	5220.00
FS2	420000.00	FS8	140870.00
FS3	420000.00	FS9	286960.00
FS4	420000.00	FS10	313040.00
FS5	297390.00	FS11	365220.00
FS6	151300.00	FS12	417390.00

Se realiza el cálculo para las fuerzas de compresión y de tracción que se presentan en el muro con elementos de borde, la forma más práctica para identificar la fuerza de compresión de la de tensión, es identificar su posición con respecto del eje neutro. Si la fuerza está por encima del eje neutro entonces será una fuerza de compresión y si está por debajo será de tracción.

$$C1 = F_1 * As_1$$

$$C1 = (420 * 10^3) \left(3 * \left(\frac{\pi \left(\frac{5}{8} * 2.54cm \right)^2}{4} \right) // 100^2 \right)$$

$$C1 = 249.4Kn$$



De la misma forma se encontraron tanto las fuerzas de compresión como las de tracción; en la Tabla 41, se presentan los valores encontrados:

Tabla 41 Tipo de fuerza encontradas para el muro con elementos de borde.

FUERZAS			
C1	249.4	C7	0.38
C2	166.27	T8	10.04
C3	249.4	T9	20.45
C4	29.93	T10	185.89
C5	21.2	T11	144.58
C6	10.79	T12	247.85

Ahora se debe encontrar la fuerza de compresión producida en el concreto:

$$a_b = \beta_1 C_b$$

$$a_b = 0.85 (1.15m)$$

$$a_b = 0.978m$$

Al calcular el valor de la fuerza del centro de compresión en el concreto, se requiere el valor de h, para ello fue necesario, realizar los cálculos del centro de gravedad del muro, como se presenta en la Tabla 42 y en la Tabla 43 las coordenadas encontradas:

Tabla 42 Proceso para encontrar el centro de gravedad del muro con elementos de borde.

SECCIÓN #	ÁREA [m ²]	DIS DIR X [m]	DIST DIR Y [m]
1	0.09	0.15	0.15
2	0.14	1	0.15
3	0.09	1.85	0.15

Tabla 43 Coordenadas del centro de gravedad del muro con elementos de borde.

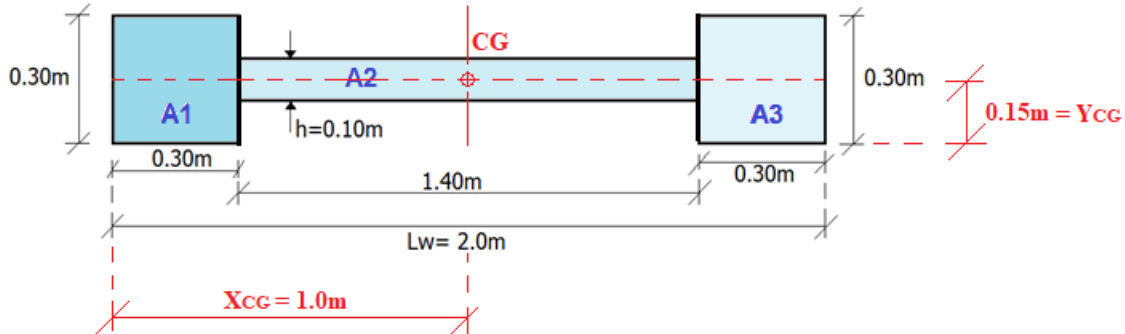
CENTRO DE GRAVEDAD DEL MURO	
CX[m]	1
CY [m]	0.15

La Imagen 43 ilustra el centro de gravedad del muro con elementos de borde:



Imagen 43 Centro de gravedad del muro con elementos de borde.

CENTRO DE GRAVEDAD DEL MURO



$$C_c = 0.85 f'c a_b h$$

$$C_c = 0.85 (21 * 10^3) (0.978m) (0.15m)$$

$$C_c = 2617.26Kn$$

El siguiente paso es hallar P_{nb} , usando el equilibrio de fuerzas internas igual a fuerzas externas:

$$P_{nb} = C_c + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 - T_8 - T_9 - T_{10} - T_{11} - T_{12}$$

$$P_{nb} = 2617.26Kn + 249.4Kn + 166.27Kn + 249.4Kn + 29.93Kn + 21.2Kn + 10.79Kn + 0.38Kn - 10.04Kn - 20.45Kn - 185.89Kn - 144.58Kn - 247.85Kn$$

$$P_{nb} = 2735.82Kn$$

Se hará sumatoria de momentos sujeto al centro (utilizando un giro contrario a las manecillas del reloj \curvearrowright) de la sección, En nuestra configuración el centro plástico coincide con el centro de gravedad.

$$\curvearrowright M_{nb} = C_c * \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + (C_1 * bC_1) + (C_2 * bC_2) + (C_3 * bC_3) + (C_4 * bC_4) + (C_5 * bC_5) + (C_6 * bC_6) - (C_7 * bC_7) + (T_8 * bT_8) + (T_9 * bT_9) + (T_{10} * bT_{10}) + (T_{11} * bT_{11}) + (T_{12} * bT_{12})$$



$$\begin{aligned} \curvearrowright Mnb &= Kn * \left(\frac{2.0m}{2} - \frac{0.978m}{2} \right) + (249.4Kn * 0.95m) + (166.27Kn * 0.85m) + \\ &(249.4Kn * 0.75m) + (29.93Kn * 0.7m) + (21.2Kn * 0.42m) + (10.79Kn * \\ &0.14m) - (0.38Kn * 0.14m) + (10.04Kn * 0.42m) + (20.45Kn * 0.70m) + \\ &(185.89Kn * 0.75m) + (144.58Kn * 0.85m) + (247.85Kn * 0.95m) \\ \curvearrowright Mnb &= 1337.42Kn.m + (236.93Kn.m) + (141.33Kn.m) + (187.05Kn.m) + \\ &(20.95Kn.m) + (8.90Kn.m) + (1.51Kn.m) - (0.05Kn.m) + (4.22Kn.m) + \\ &(14.32Kn.m) + (139.42Kn.m) + (122.89Kn.m) + (235.46Kn.m) \\ \curvearrowright Mnb &= 2450.99Kn.m \end{aligned}$$

Por lo tanto, el punto de falla nominal es: (2450.99 , 2735.82).

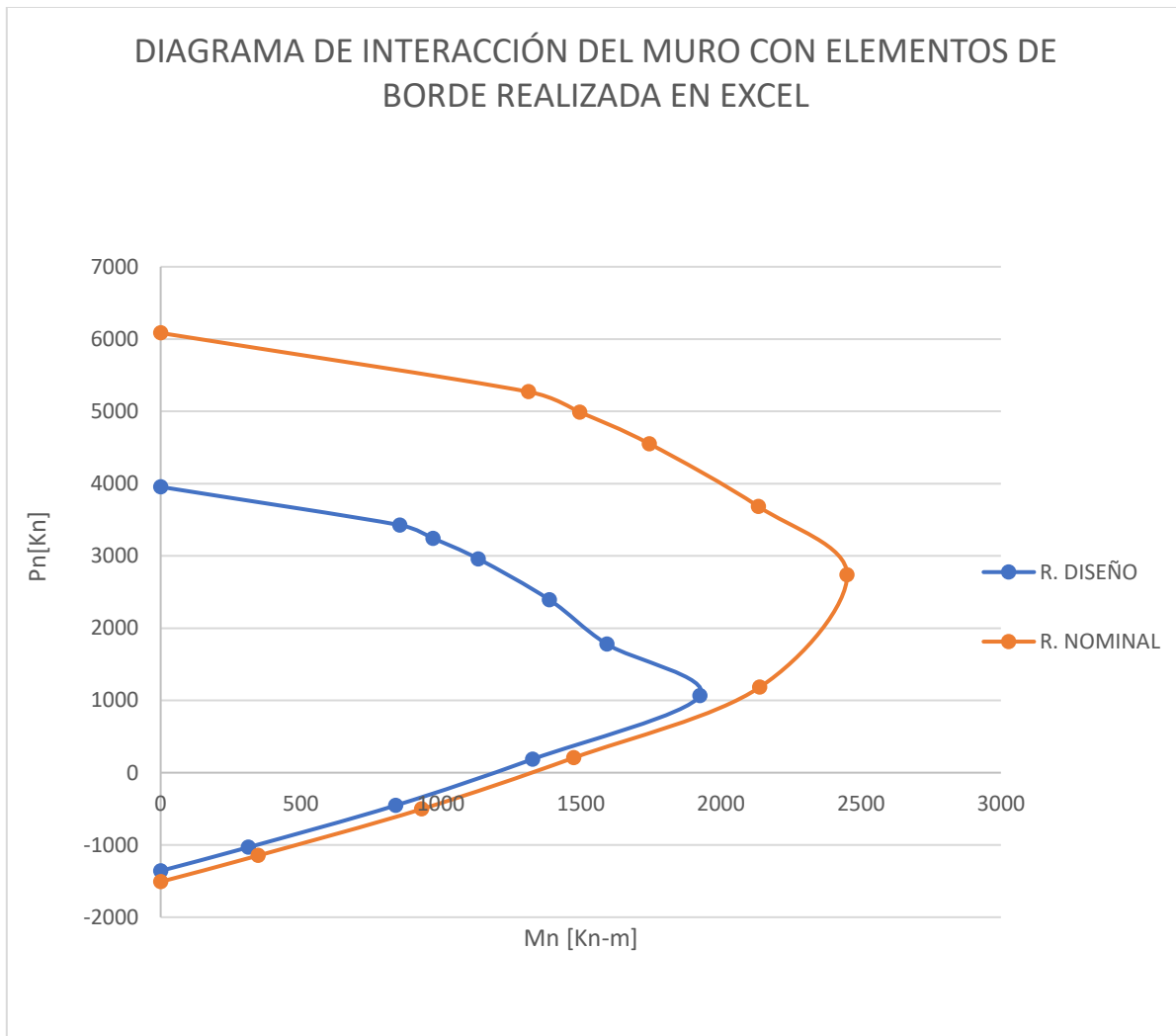
- 4) Se deberán calcular todos los demás puntos del diagrama de interacción, según la posición de los aceros, el proceso a realizar es el mismo que se presentó en el numeral 3), por lo tanto, solo se debe variar el valor de c para obtener los otros puntos.

En la Gráfica 18, se presenta el diagrama de interacción realizado en Excel para el muro de la Imagen 43, La Tabla 44 muestra los puntos obtenidos de la resistencia nominal y de diseño según los cálculos que se mostraron anteriormente.

Tabla 44 Resistencia de diseño y nominal calculadas para el muro con elementos de borde.

CALCULADOS/EXCEL			CALCULADOS/EXCEL		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA DE DISEÑO		
#	P [Kn]	M[Knm]	#	P [Kn]	M[Knm]
1	6083.89	0.00	1	3954.53	0.00
2	5270.41	1313.19	2	3425.76	853.57
3	4987.42	1496.71	3	3241.82	972.86
4	4550.58	1745.22	4	2957.88	1134.40
5	3681.20	2134.93	5	2392.78	1387.71
6	2735.82	2450.99	6	1778.28	1593.15
7	1183.54	2139.50	7	1065.18	1925.55
8	206.75	1475.31	8	186.08	1327.78
9	-503.27	932.43	9	-452.94	839.19
10	-1146.53	348.31	10	-1031.87	313.48
11	-1509.68	0.00	11	-1358.71	0.00

Gráfica 18 Diagrama de interacción del muro con elementos de borde.



9.2 ETABS

Se realizó el modelamiento del muro propuesto en la Imagen 43, en los programas Etabs y Sap2000.

La forma en la que trabajan Sap2000 y Etabs, es muy similar, por lo que se podrá encontrar que las imágenes realizadas en estos programas son muy parecidas, la diferencia es que en Etabs, hay más facilidad para manejar la interfaz y se hace más amigable con el usuario.

A continuación, se presentan las Imágenes 44 y 45, del muro diseñado en el programa Etabs:

Imagen 44 Muro con elementos de borde de sección 0.30m x 0.30m en ETABS.

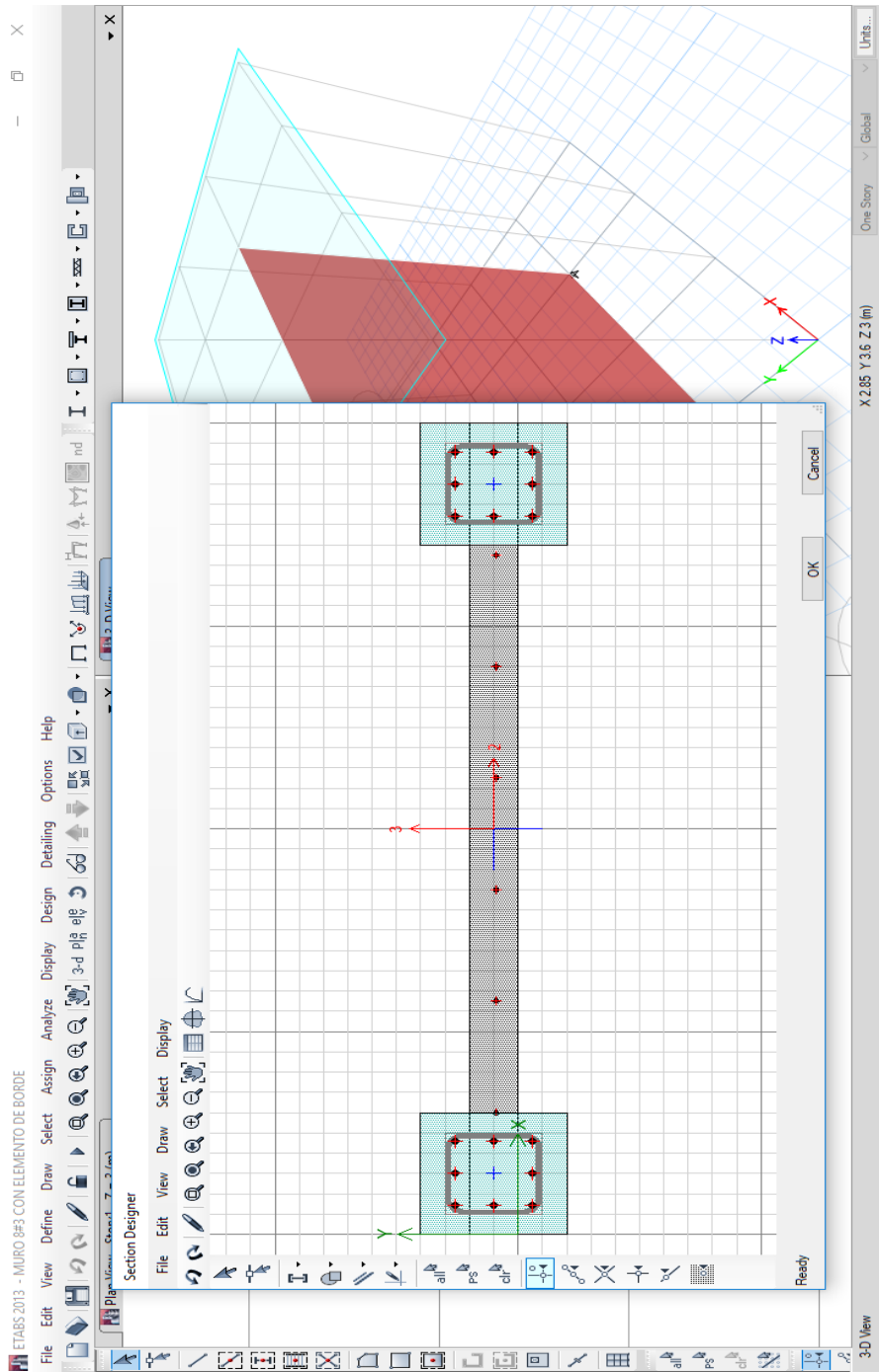
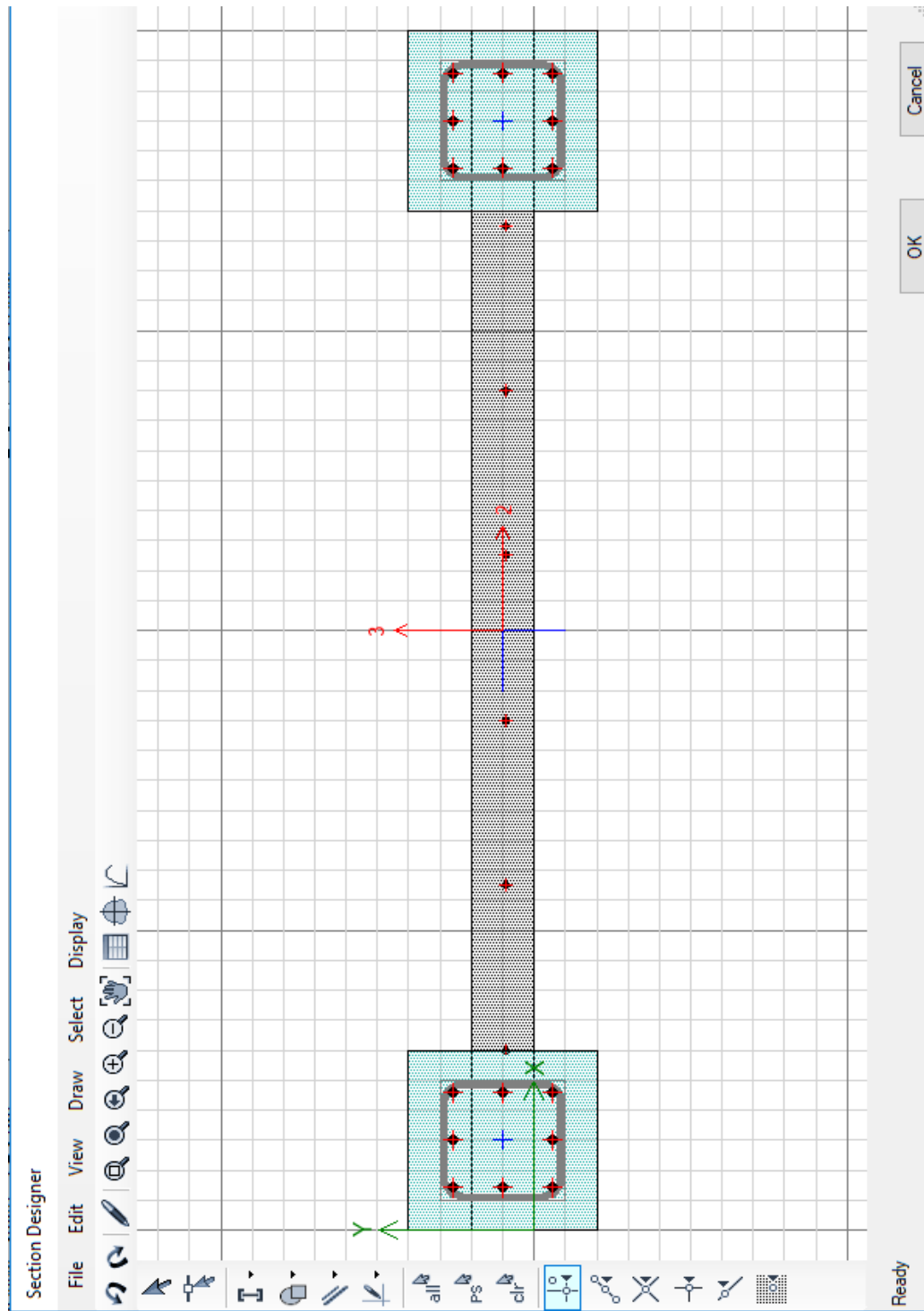


Imagen 45 Sección del muro con elementos d borde de 0.30m x 0.30m en ETABS.



El programa Etabs, calcula el diagrama de interacción de la sección de muro propuesto, en la Imagen 46, se presenta el resultado.



Imagen 46 Diagrama de interacción del muro con elementos de borde de sección 0.30m x 0.30m con el programa Etabs.

Interaction Surface (ACI 318-11)

Display Options

Show Design Code Data
 Include Phi
 Exclude Phi
 Exclude Phi and Increase Fy

Show Fiber Model Data

Curve Data

Point	P kN	M2 kN-m	M3 kN-m
1	3731.162	-0.6087	0
2	3567.1694	-0.425	951.2281
3	3036.233	-0.3785	1337.5368
4	2692.3415	-0.3165	1536.0767
5	2310.0591	-0.225	1714.0361
6	1866.5877	-0.093	1890.2835
7	1822.8099	0.0865	2219.662
8	1795.6348	0.3343	2525.2234
9	1375.0014	0.5756	2302.534
10	454.5648	0.7873	1620.5646
11	-1376.3689	0.8809	0

Superimpose Dashed Fiber Curve
 Note: Compression is positive in this form.

3D Interaction Surface

Plan: 315 deg
Elevation: 35 deg

3D MM PM2 PM3 Done

Current Interaction Curve

9.3 SAP2000

En las Imágenes 47 y 48, se presenta la modelación en el programa Sap2000:

Imagen 47 Muro realizado en SAP2000 con elementos de borde de 0.30m x 0.30m

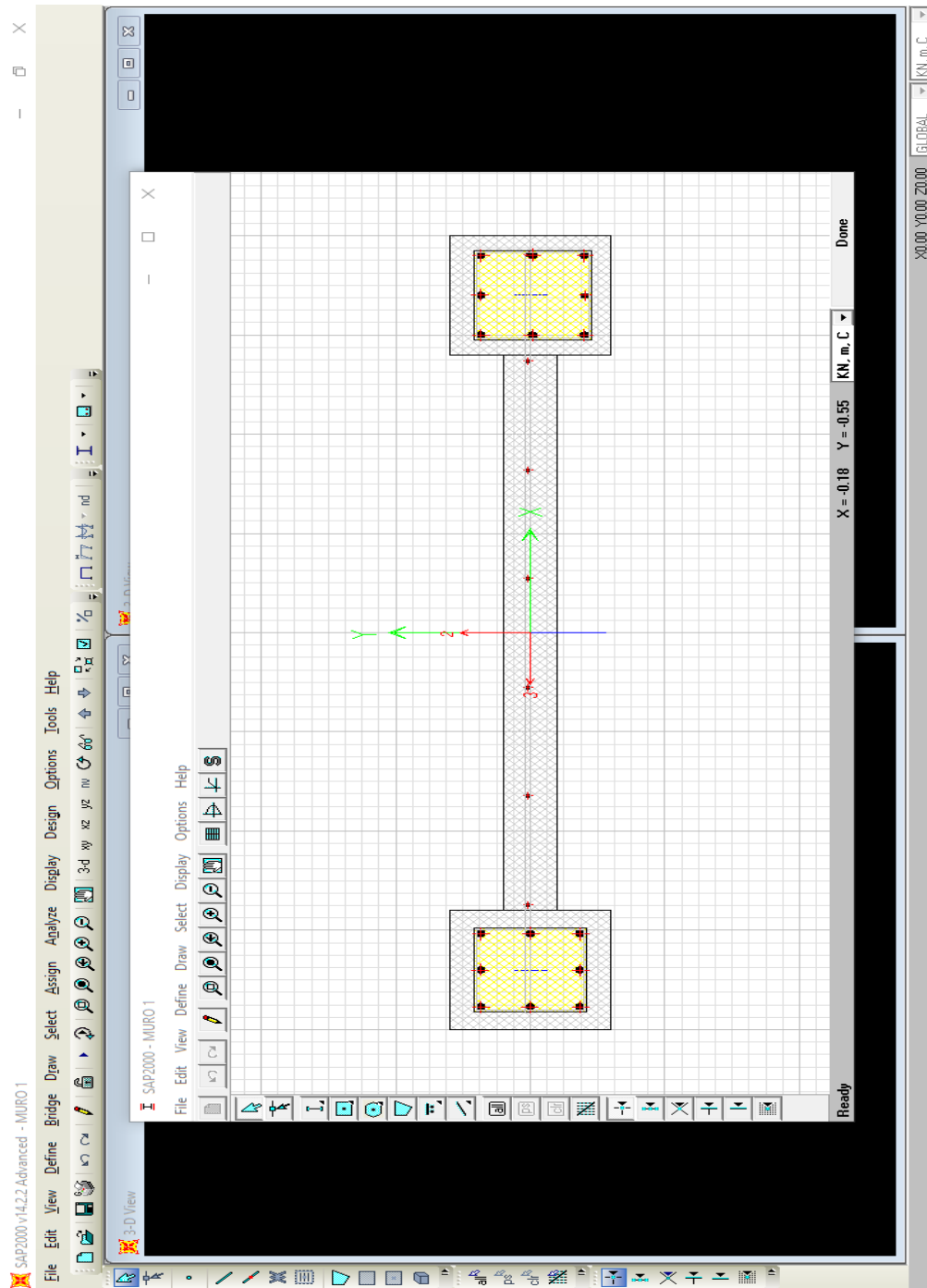
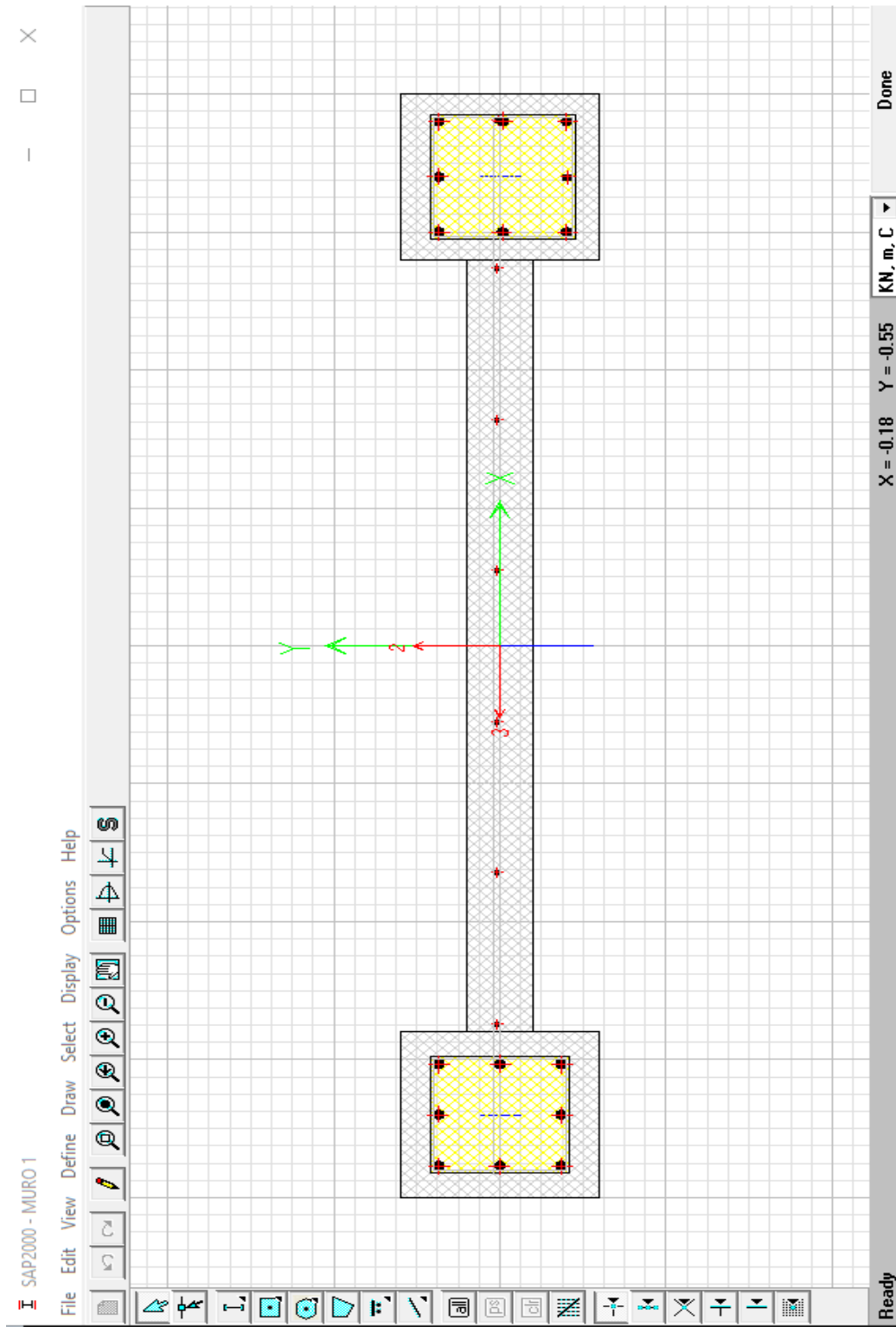


Imagen 48 Sección transversal del muro con elementos de borde, diseñado en SAP2000





En las Imágenes 49 y 50, se presenta los resultados del diagrama de interacción del muro para resistencia nominal y resistencia reducida.

Imagen 49 Diagrama de interacción del muro de sección 0.30m x 0.30m, realizado en el programa SAP2000.

Interaction Surface (ACI 318-05/IBC2003)

	P	M2	M3
1	-5736	-2.9559	1.0281
2	-5481	-1471	0.7819
3	-4666	-2064	0.7214
4	-4139	-2368	0.6356
5	-3555	-2640	0.5117
6	-2880	-2909	0.3412
7	-2408	-2935	0.1149
8	-1988	-2803	-0.0278
9	-1521	-2554	-0.0763
10	-499.783	-1803	-0.5547
11	1522.8357	3.0871	-1.0738
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Design Options:
 Design-Code Curve
 Fiber-Model Curve
 no phi
 phi
 no phi with fy increase

Show Design-Code Results
 Show Fiber-Model Results

Curve 19
 Angle 270



Imagen 50 Diagrama de interacción del muro con elementos de borde, resistencia de diseño. Sap2000.

Interaction Surface (ACI 318-05/IBC2003)

	P	M2	M3
1	-3728	-1.9213	0.6683
2	-3566	951.6589	0.4199
3	-3035	1339.1899	0.3282
4	-2695	1536.5619	0.2421
5	-2318	1713.9974	0.1209
6	-1883	1888.8524	-0.0471
7	-1837	2231.8884	-0.2388
8	-1800	2528.5962	-0.4997
9	-1379	2905.243	-0.7106
10	-456.666	1624.6872	-0.9067
11	1370.9521	2.7784	-0.9864
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

3D View: 315 Plan, 35 Elevation, 3d MM PM3 PM2

Design Options:

- Design-Code Curve
- Fiber-Model Curve
- phi
- no phi
- no phi with ψ increase

Show Design-Code Results Show Fiber-Model Results

Curve 7 Angle 90



Las Tablas 45 y 46, muestran los puntos obtenidos por los programas con los que se realizó el análisis del muro con elementos de borde.

Tabla 45 Resistencia nominal del muro con elementos de borde, obtenida de los programas Excel, Etabs y SAP2000

ETABS			SAP2000			CALCULADOS/EXCEL		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA NOMINAL		
#	P [Kn]	M3 [Knm]	#	P [Kn]	M [Kn-m]	#	P [Kn]	M[Knm]
1	5740.25	0.00	1	5736	3.0	1	6083.89	0.00
2	5487.95	1463.43	2	5481	1471	2	5270.41	1313.19
3	4671.13	2057.75	3	4666	2064	3	4987.42	1496.71
4	4142.06	2363.19	4	4139	2368	4	4550.58	1745.22
5	3553.94	2636.98	5	3555	2640	5	3681.20	2134.93
6	2871.67	2908.13	6	2880	2909	6	2735.82	2450.99
7	2404.48	2927.97	7	2408	2935	7	1183.54	2139.50
8	1995.15	2805.80	8	1988	2803	8	206.75	1475.31
9	1527.78	2558.37	9	1521	2554	9	-503.27	932.43
10	505.07	1800.63	10	499.783	1803	10	-1146.53	348.31
11	-1529.30	0.00	11	-1522.8357	3	11	-1509.68	0.00

Tabla 46 Resistencia de diseño del muro con elementos de borde, obtenida de los programas Excel, Etabs y SAP2000

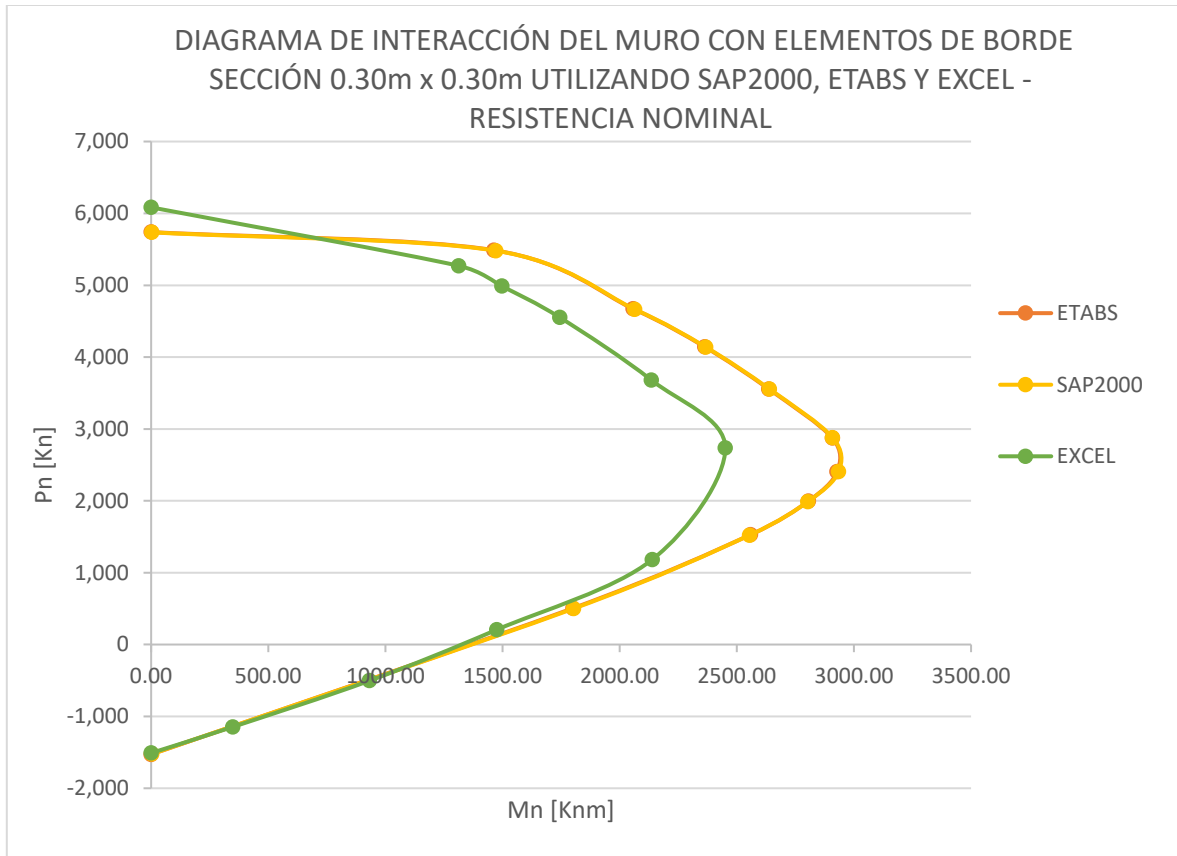
ETABS			SAP2000			CALCULADOS/EXCEL		
RESISTENCIA DE DISEÑO			RESISTENCIA DE DISEÑO			RESISTENCIA DE DISEÑO		
#	P [Kn]	M3 [Knm]	#	P [Kn]	M [Kn-m]	#	P [Kn]	M[Knm]
1	3731.162	0	1	3728	1.92	1	3954.53	0.00
2	3567.1694	951.2281	2	3566	951.66	2	3425.76	853.57
3	3036.233	1337.5368	3	3035	1339.19	3	3241.82	972.86
4	2692.3415	1536.0767	4	2695	1536.57	4	2957.88	1134.40
5	2310.0591	1714.0361	5	2318	1713.99	5	2392.78	1387.71
6	1866.5877	1890.2835	6	1883	1888.85	6	1778.28	1593.15
7	1822.8099	2219.662	7	1837	2231.89	7	1065.18	1925.55
8	1795.6348	2525.2234	8	1800	2528.58	8	186.08	1327.78
9	1375.0014	2302.534	9	1379	2305.24	9	-452.94	839.19
10	454.5648	1620.5646	10	456.67	1624.69	10	-1031.87	313.48
11	-1376.3689	0	11	-1370.55	2.78	11	-1358.71	0.00

En el capítulo 8, se realizó el análisis de un muro con área de acero igual a 20 varillas número 4, los resultados encontrados en Excel y comparado con Etabs y Sap2000, fueron muy similares; sin embargo al realizar el mismo proceso pero ahora añadiendo una sección bruta diferente y una nueva área de acero, se puede notar que el proceso realizado en Excel, tiene cierta diferencia con Etabs y Sap2000, siendo un poco más reducidas tanto la resistencia nominal como la resistencia de diseño encontradas (Ver Gráficas 19 y 20).

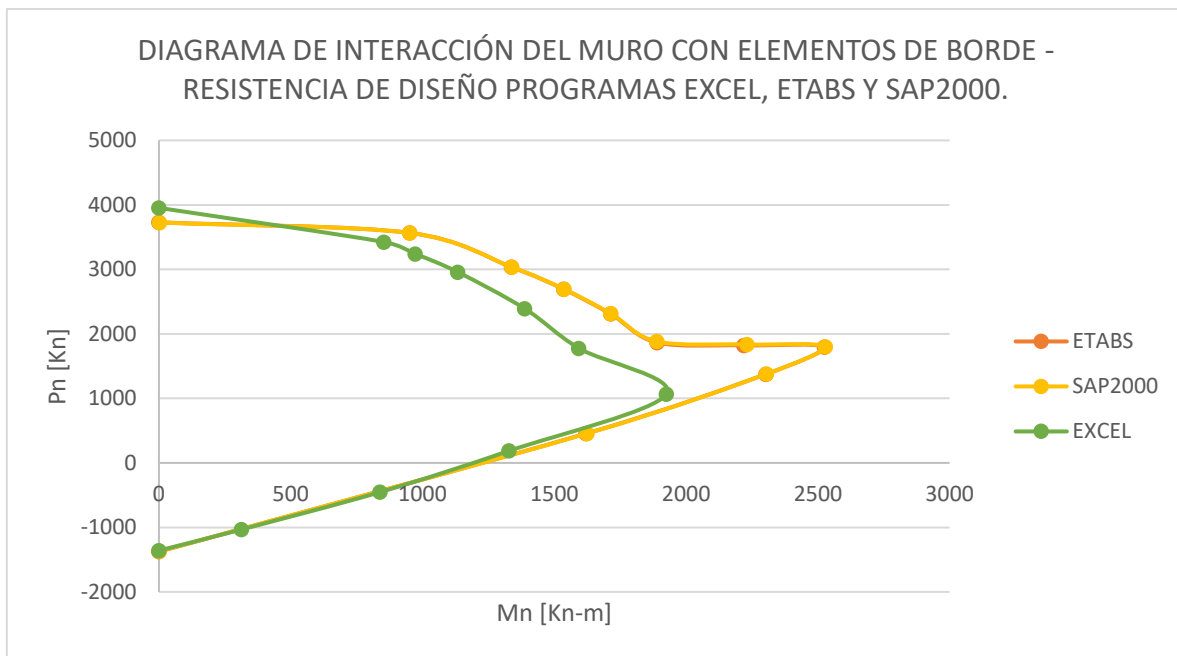
Dado que el cálculo realizado por medio manualmente es más conservado, se continuará trabajando con él para los análisis posteriores.



Gráfica 19 Resistencia nominal del muro con elementos de borde de sección 0.30m x 0.30m



Gráfica 20 Resistencia de diseño del muro con elementos de borde de sección 0.30m x 0.30m.

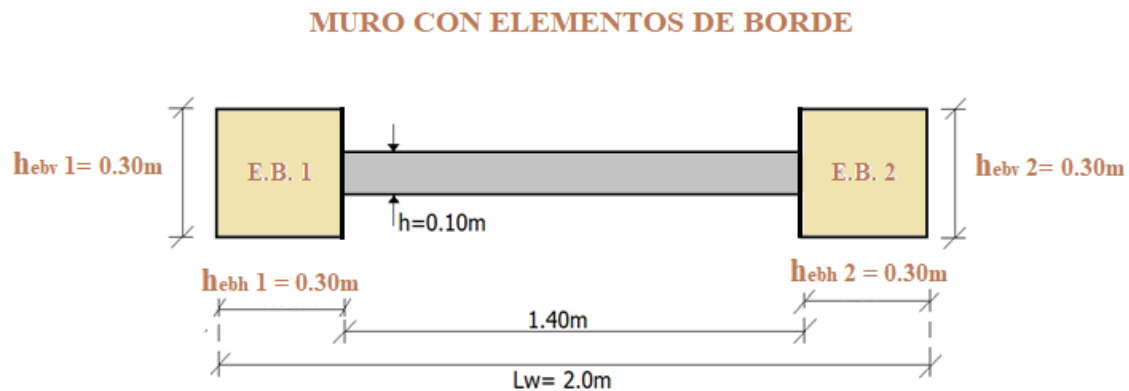




10 COMPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE MURO SIN ELEMENTOS DE BORDE Y MURO CON ELEMENTOS DE BORDE.

Con el fin de analizar el comportamiento de los muros calculados en el capítulo 8 y del muro con elementos de borde presentado en el capítulo 9, se realizaron gráficas en las que se comparan las resistencias nominales y de diseño tanto de los muros sin elemento de borde como del muro mostrado en la Imagen 51.

Imagen 51 Dimensiones de los elementos de borde.



La Tabla 47, presenta las dimensiones de los elementos de borde que se trataran en este capítulo.

Tabla 47 Dimensiones de los elementos de borde.

DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS DEL BORDE		
TIPO	E.B.1	E.B.2
Hebh [m]	0.3	0.3
Hebv [m]	0.3	0.3

A continuación, se presentan las Tablas 48, 49 y 50, donde se ven los puntos de la resistencia nominal y de diseño según el espesor del muro.



Tabla 48 Resistencia nominal y de diseño para muro con $h=0.10m$ con Excel

PUNTOS PARA CALCULO DE DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE MURO SIN ELEMENTOS DE BORDE $h=0.10m$					
CALCULADOS/EXCEL			CALCULADOS/EXCEL		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA DE DISEÑO		
#	P [Kn]	M[Knm]	#	P [Kn]	M[Knm]
1	4589	0	1	2983	0
2	3443	822	2	2238	534
3	3046	1007	3	1980	655
4	2623	1151	4	1705	748
5	2158	1256	5	1403	817
6	1904	1297	6	1238	843
7	872	1225	7	785	1102
8	356	1037	8	320	934
9	-161	748	9	-145	673
10	-677	359	10	-609	323
11	-1064	0	11	-958	0

Tabla 49 Resistencia nominal y de diseño para muro con $h=0.20m$ con Excel.

PUNTOS PARA CALCULO DE DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE MURO SIN ELEMENTOS DE BORDE $h=0.20m$					
CALCULADOS/EXCEL			CALCULADOS/EXCEL		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA DE DISEÑO		
#	P [Kn]	M[Knm]	#	P [Kn]	M[Knm]
1	8158.86	0.00	1	5303.26	0.00
2	5858.40	1638.46	2	3807.96	1065.00
3	5109.28	1936.03	3	3321.03	1258.42
4	4318.79	2132.41	4	2807.21	1386.07
5	3478.82	2230.31	5	2261.23	1449.70
6	3638.52	2224.48	6	2365.03	1445.91
7	2590.71	2170.33	7	2331.63	1953.30
8	1741.55	1936.11	8	1567.40	1742.50
9	892.88	1539.65	9	803.59	1385.68
10	44.10	982.07	10	39.69	883.87
11	-1064.09	0.00	11	-957.68	0.00

Tabla 50 Resistencia nominal y de diseño para muro con $h=0.30m$ con Excel.

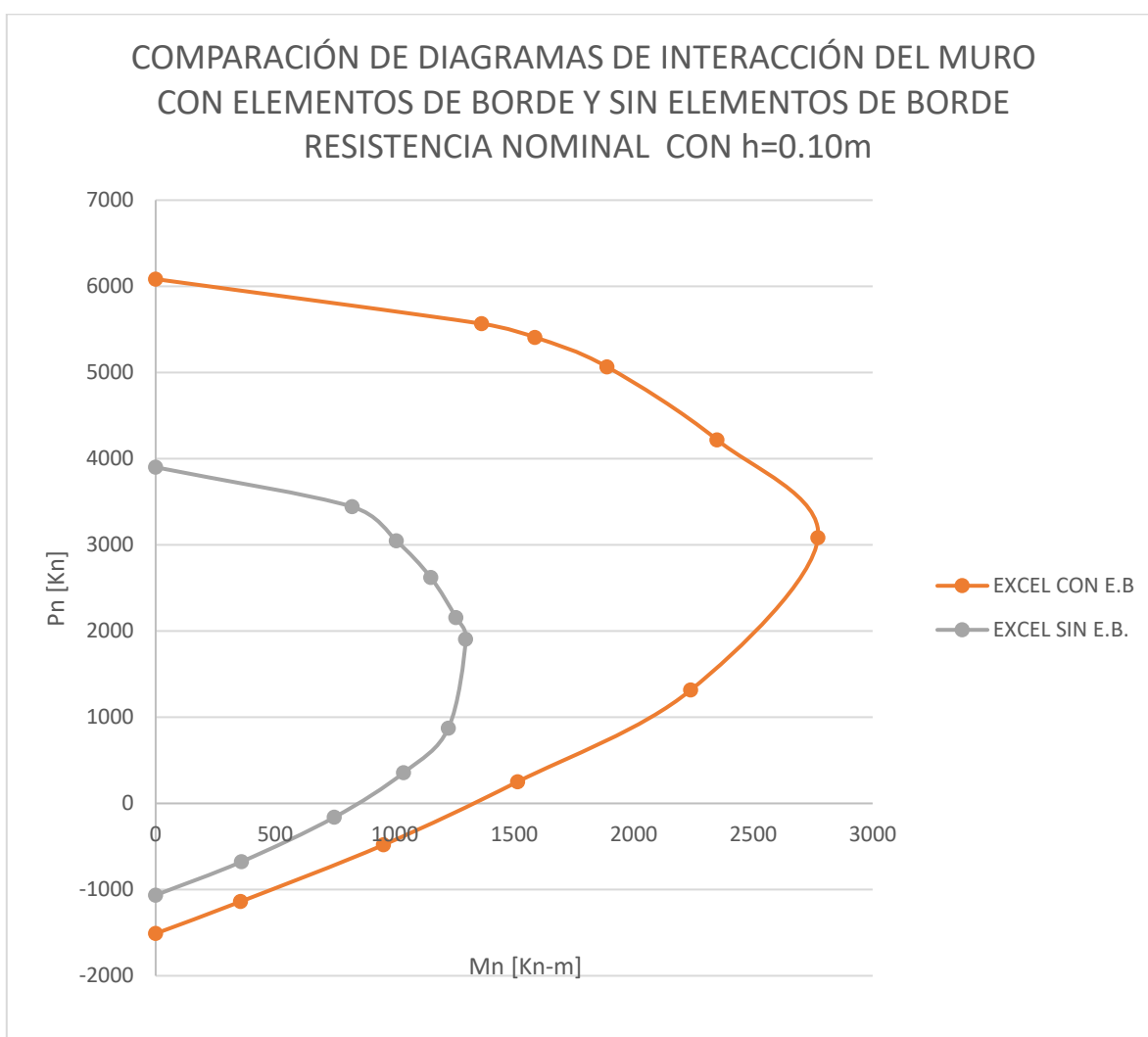
PUNTOS PARA CALCULO DE DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE MURO SIN ELEMENTOS DE BORDE $h=0.30m$					
CALCULADOS/EXCEL			CALCULADOS/EXCEL		
RESISTENCIA NOMINAL			RESISTENCIA DE DISEÑO		
#	P [Kn]	M[Knm]	#	P [Kn]	M[Knm]
1	11729	0	1	7624	0
2	8498	2326	2	5524	1512
3	7431	2748	3	4830	1786
4	6322	3012	4	4109	1958
5	5163	3120	5	3356	2028
6	5383	3117	6	3499	2026
7	3941	3010	7	3547	2709
8	2773	2670	8	2496	2403
9	1606	2110	9	1445	1899
10	439	1333	10	395	1200
11	-1064	0	11	-958	0



Los valores de la resistencia nominal y de diseño del muro con elementos de borde, ya se presentaron en la sección 9.3 en las Tablas 45 y 46, con los cuales se realizaron los diagramas de interacción.

La Gráfica 21, muestra las curvas de resistencia nominal del muro con elementos de borde y el muro de sección $h=0.10\text{m}$, $L_w=2.0\text{m}$ con $A_{st}=20\#4$. La existencia del elemento de borde aumenta significativamente la resistencia a compresión del muro.

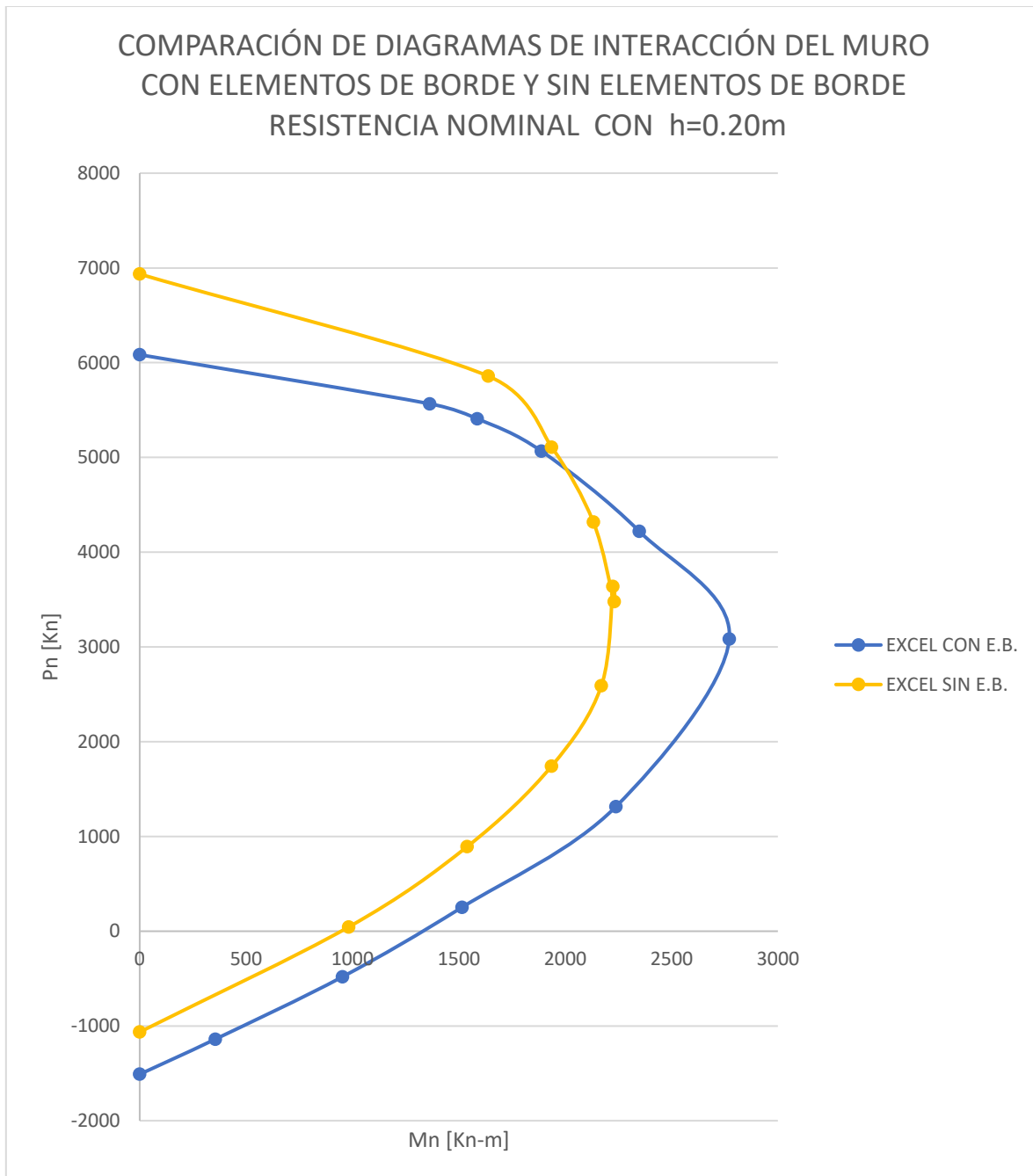
Gráfica 21 Comparación de diagramas de interacción para muro con $h=0.10\text{m}$ y muro con elementos de borde.



En la Gráfica 22 se pueden apreciar las curvas de resistencia nominal para un muro con $h=0.20\text{m}$ y el muro planteado en la Imagen 51.



Gráfica 22 comparación de resistencias nominales del muro con elementos de borde y sin ellos, con $h=0.20m$.

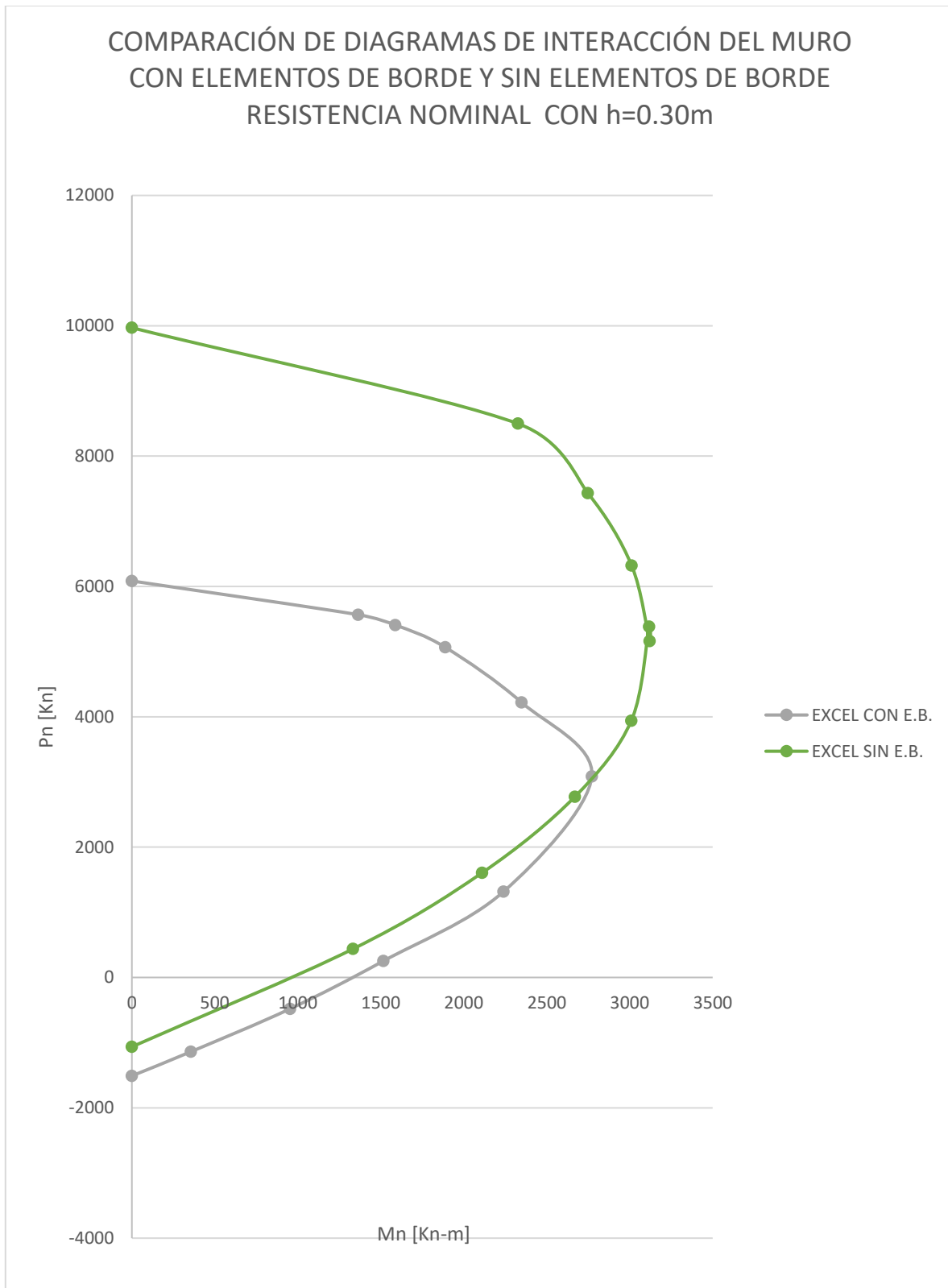


Como se observa en la Gráfica 22, al aumentar el espesor del muro a $h=0.20m$, la resistencia nominal aumenta de forma considerable llegando a ser muy cercana a las obtenidas por el muro con elemento de borde.

Por el contrario, si se aumenta el espesor del muro a $h=0.30m$, la capacidad de éste es superior a la del muro con elementos de borde, como se aprecia en la Gráfica 23.



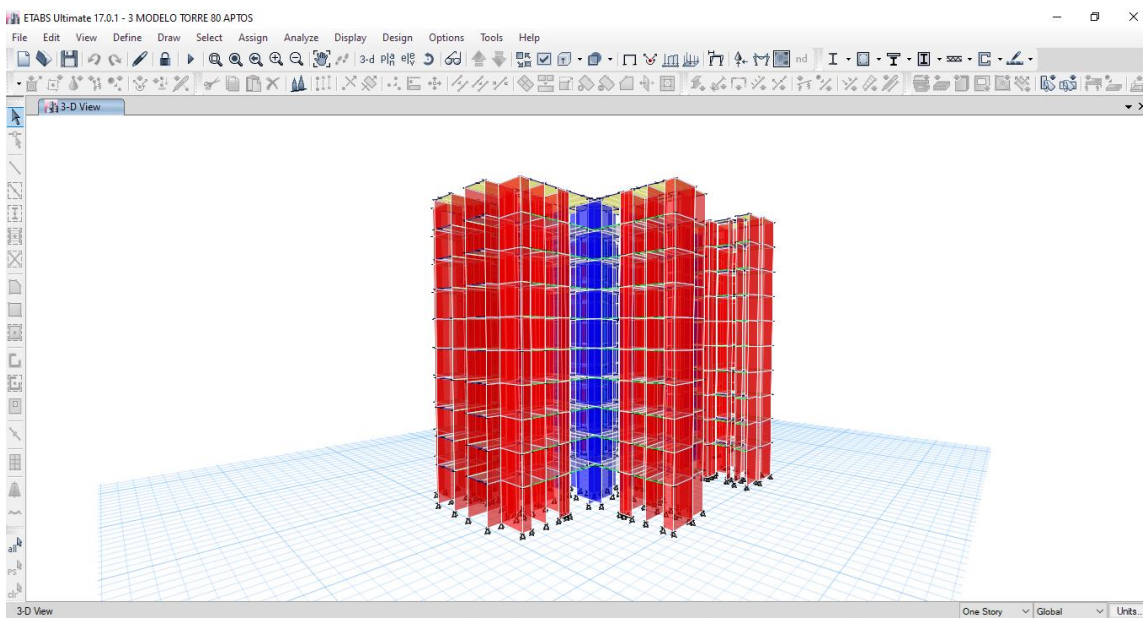
Gráfica 23 Resistencia nominal para muro con elemento de borde y muro sin ellos con $h=0.30m$.



11 EJEMPLO DE DISEÑO DE UN MURO PARA UN PROYECTO REAL

Con el fin de verificar el análisis realizado de forma teórica, se compararon resultados obtenidos de un proyecto real diseñado en muros de concreto reforzado el cual cuenta con 10 pisos. Se escogió un muro con características similares a las ensayadas en el capítulo 8, específicamente uno que cumpliera con la longitud del muro $L_w=2.0\text{m}$ y con alguno de los espesores ensayados ($h= 0.10\text{m}$, 0.15m , 0.20m , 0.25 o 0.30m), se encontró un muro que cumplía con un valor de $L_w=2.06\text{m}$ - Para verificar si los datos calculados eran cercanos a los reales. Además, se realizó un ensayo al modelo (ver Imagen 52), el cual consistía en ir eliminando piso a piso, para verificar la necesidad de elementos de borde en el mismo.

Imagen 52 Proyecto real sin modificaciones



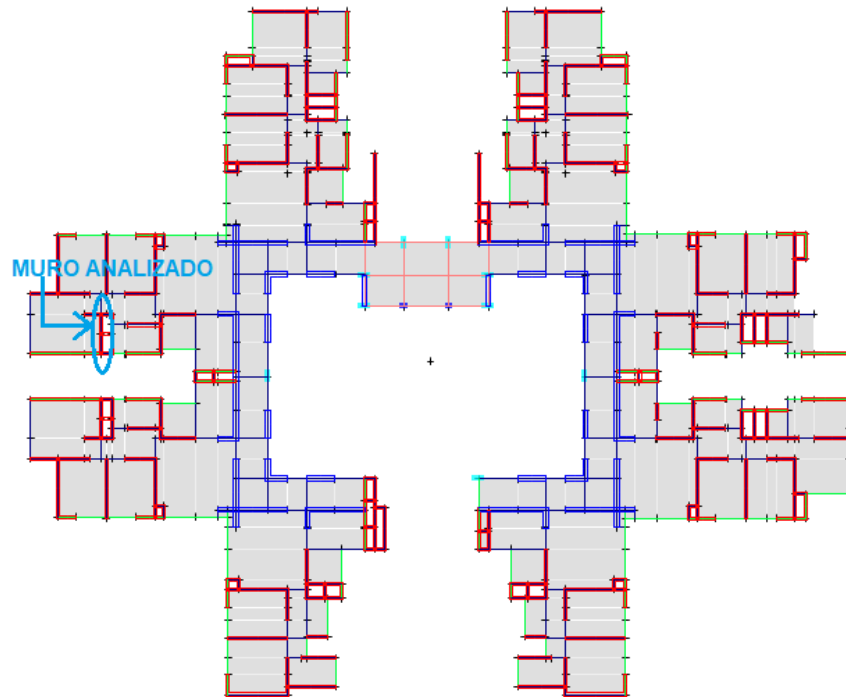
En la Tabla 51, se presentan las características del muro analizado del proyecto real.

Tabla 51 Datos del muro seleccionado similar a los analizados en el capítulo 6.

DATOS DEL MURO ANALIZADO	
# De pisos: 10	$F'_c = 21000 \text{ Kn/m}^2$
$L_w = 2.06\text{m}$	$F_y = 413685.47 \text{ Kn/m}^2$
$h = 0.15\text{m}$	$E_c = 21538000 \text{ Kn/m}^2$

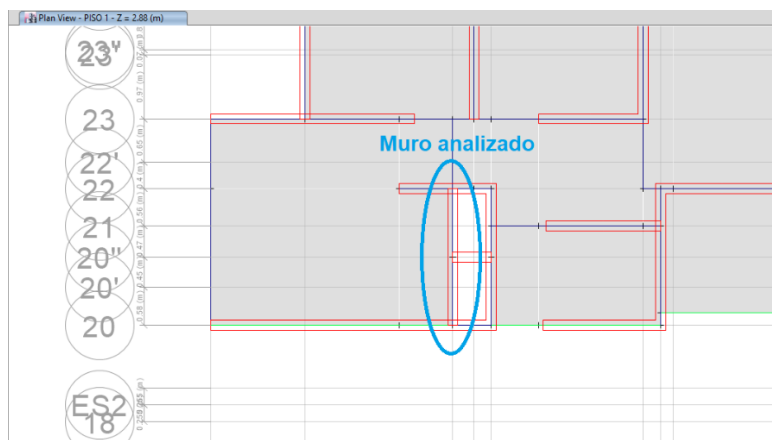
A continuación, se presenta la planta del edificio del cual se tomó un muro con las características similares a las probadas en el capítulo 6, para realizar su análisis. (ver Imagen 53).

Imagen 53 Planta del proyecto real.



Con el fin de mostrar de forma más clara el muro, se presenta un acercamiento en la Imagen 54.

Imagen 54 Ampliación del Muro analizad, sobre el eje B2, entre ejes 22 y 20.





Se modeló el programa Etabs y se diseñó a cortante el muro escogido (Imagen 54), con el propósito de obtener puntos (P_u , M_u), para lograr obtener un resultado acerca de la necesidad de utilizar elementos de borde en el muro, se realizó un proceso iterativo que consistía en quitar piso a piso del edificio, hasta obtener resultados del primer nivel, se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 52.

Tabla 52 Puntos de P_u y M_u de cada piso del edificio.

# DE PISOS	P_u [Kn]	M_u [Kn-m]
10	1154.05	416.09
9	1016.47	355.46
8	903.4	323.81
7	739.53	271.79
6	587.16	238.69
5	383.24	315.14
4	285.03	237.21
3	220.72	88.35
2	133.32	56.54
1	61.9	31.45

Se graficaron los datos de la Tabla 52, en los diagramas de interacción trabajados en el capítulo 8, sección 8.2.1, dado que, como se concluyó el capítulo 9, el método de los esfuerzos controla cuando el muro está sometido a grandes momentos flectores.

En la Gráfica 24, se observa los puntos de sollicitación graficados en el diagrama de interacción de un muro con espesor igual a 10cm. Se observa que requiere elemento de borde cuando tenga un número de pisos mayor o igual a 3.

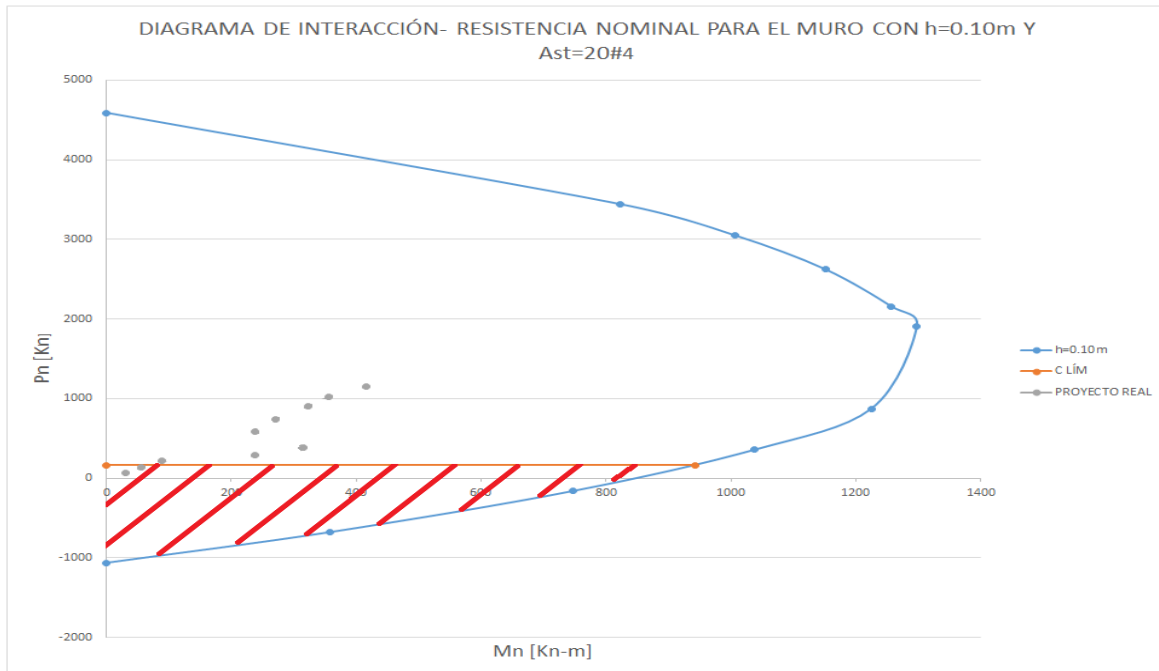
La Gráfica 25, muestra el diagrama de interacción del muro con espesor igual al encontrado a $h=0.15m$, como se puede observar se requieren elementos de borde cuando el edificio tenga un número igual mayor a 5 pisos.

Al aumentar el espesor del muro a 0.20m (Ver Grafica 26), el diagrama de interacción amplía la zona en la que no se requieren elementos de borde, para estas cargas lo que indica se requieren elementos de borde cuando el edificio tenga un número igual mayor a 8 pisos.

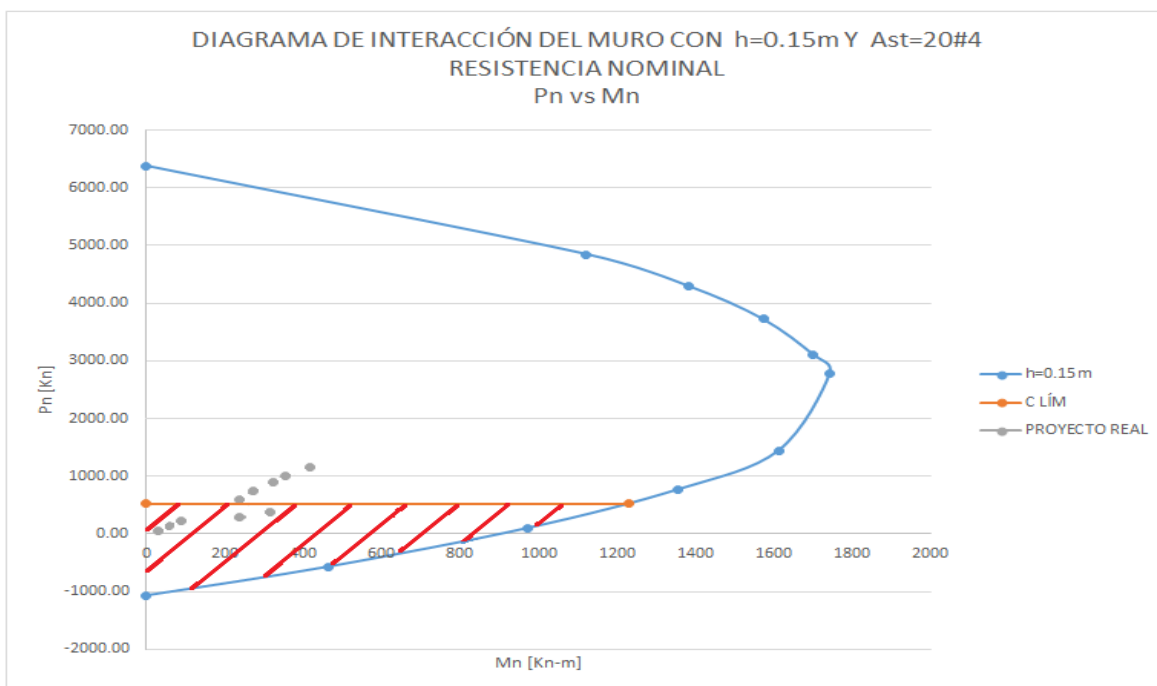


El muro con espesor igual a $h = 0.30\text{m}$, demostró que para estas cargas y momentos arrojados del análisis, no necesitará utilizar elementos de borde en ningún piso del muro planteado (Ver Grafica 27).

Gráfica 24 (P_u , M_u), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.10\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.

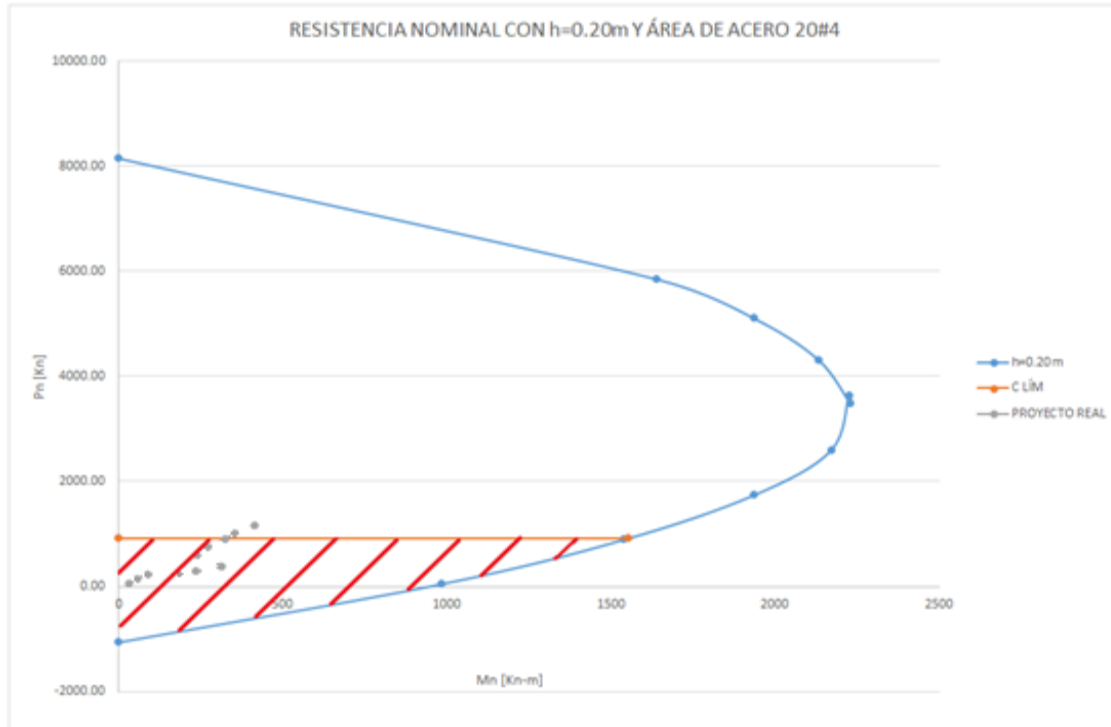


Gráfica 25 (P_u , M_u), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.15\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.

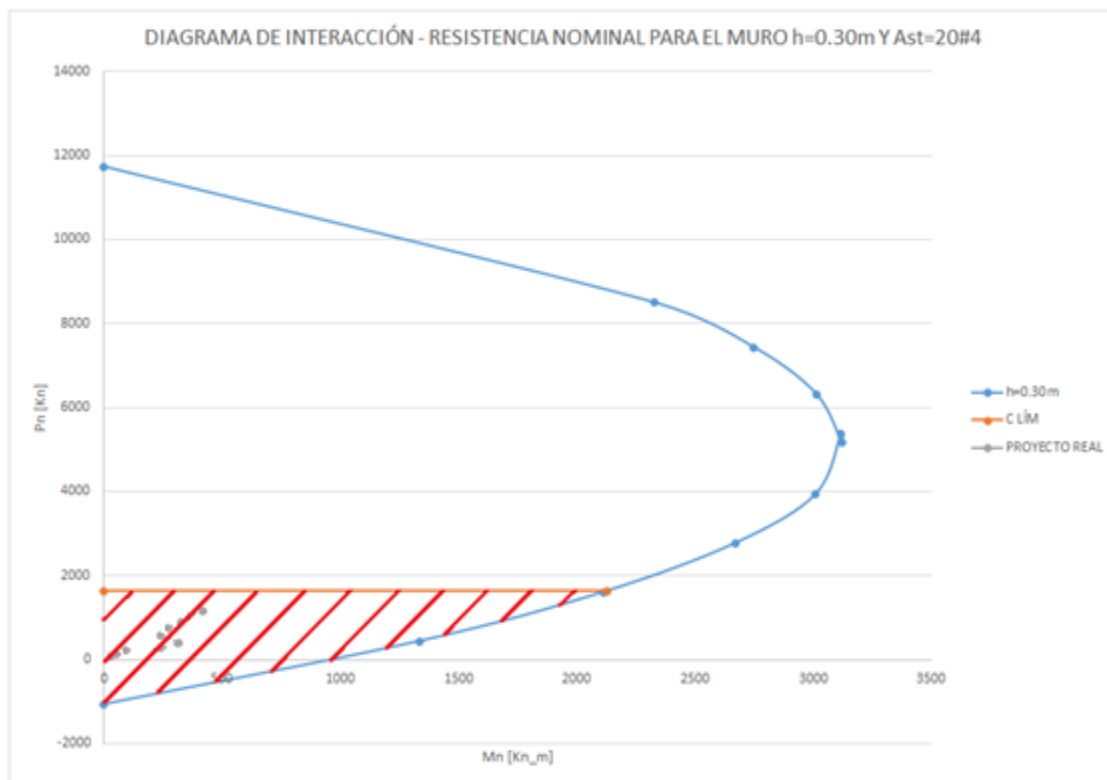




Gráfica 26 (P_u , M_u), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.20\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.



Gráfica 27 (P_u , M_u), del muro real dentro del diagrama de interacción del muro de $h=0.30\text{m}$ y $A_{st}=20\#4$.





En la Tabla 53, se presentan los datos obtenidos del análisis del muro propuesto en la Imagen 54, en donde se muestra la necesidad de utilizar elementos de borde según el espesor del muro. Cabe aclarar que el muro del proyecto real tiene espesor de 0.15m y fue diseñado con un elemento de borde. Revisando la Tabla 17, del capítulo 8, sección 8.2.1.4, se observa que con los datos calculados se obtiene una carga de 527.07Kn, a partir de la cual se requiere utilizar elementos de borde, lo cual coincide con los encontrados.

Tabla 53 Compilación de resultados del muro del proyecto real.

# DE PISOS	Pu [Kn]	Mu [Kn-m]	REQUIERE ELEMENTO DE BORDE			
			h=0.10m	h=0.15m	h=0.20m	h=0.30m
10	1154.05	416.09	SI	SI	SI	NO
9	1016.47	355.46	SI	SI	SI	NO
8	903.4	323.81	SI	SI	NO	NO
7	739.53	271.79	SI	SI	NO	NO
6	587.16	238.69	SI	SI	NO	NO
5	383.24	315.14	SI	NO	NO	NO
4	285.03	237.21	SI	NO	NO	NO
3	220.72	88.35	SI	NO	NO	NO
2	133.32	56.54	NO	NO	NO	NO
1	61.9	31.45	NO	NO	NO	NO



12 PROCESO CONSTRUCTIVO DE MUROS DE CORTE

El ingeniero civil y Magíster en estructuras, Ángel Francisco San Bartolomé Ramos, autor del libro ‘edificios de concreto armado con muros delgados de ductilidad limitada’, da su visión acerca de la construcción con muros de concreto reforzado, en su obra muestra diferentes ensayos que se realizaron en la pontificia universidad católica del Perú, estos ensayos fueron de tipo que experimental, y los resultados que obtuvieron fueron incorporados en la norma técnica de edificaciones E.030 “Diseño sismo resistente” Y E.060 “concreto armado”.

El autor de este libro tuvo la misma preocupación fundamental por la cual se realizó un este trabajo de grado, el índice: “a principios del año 2001, sin que exista ninguna reglamentación al respecto, empezaron a construirse en Lima, Perú, numerosas edificaciones de concreto armado de hasta quince pisos, estructuradas por muros delgados de 10cm o 12 cm de espesor, donde resulta imposible confinar sus extremos con estribos a corto espaciamiento, o usar doble masa de refuerzo, en adición, se empleaba una malla de refuerzo electro soldado que presenta escasa o nula ductilidad. Por ello, a estos sistemas se les conoce cómo edificios con muros de ductilidad limitada (EMDL)”.

12.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS DE CONCRETO REFORZADO:

Para la construcción de estos muros se requiere de un encofrado metálico, el acero de refuerzo viene desde la cimentación, según el tipo de cargas a resistir, se ponen barras corrugadas y malla electrosoldada, esto a criterio del ingeniero estructural encargado del diseño; se aplica desmoldante en las caras de la formaleta, se cierra con ayuda de pines y corbatas, para prevenir que la formaleta se abra a la hora del vaciado del concreto, además se utilizan puntales laterales para prevenir posibles aberturas de la formaleta. El vaciado del concreto se realiza con concreto premezclado de 4000psi (concreto industrializado), a una altura máxima de 2.50m para evitar segregación del concreto, además se deben usar vibradores para prevenir futuros hormigueos. Para este tipo de construcción se funde monolíticamente tanto muros como losa de entrepiso. El encofrado no se debe retirar antes de 12 horas de haber sido fundido, esto para que el concreto pueda realizar su proceso de fraguado adecuadamente. Posterior a ser retirada la formaleta se deberá cumplir con un apuntalamiento a las losas por



tres días si es concreto industrializado, de no serlo (3000psi), deberá apuntalarse por 7 días contados a partir del día de desencofrado.

12.2 PROBLEMAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CORTE.

A la hora de construir muros de concreto reforzado, se presentan varios inconvenientes en obra, pueden encontrarse errores como confinamiento inadecuado, tubería instalada dentro de los muros, traslapes de refuerzos mal instalados, hormigueos, mal apuntalamiento, inexistencia de curado al concreto, entre otras.

A continuación, se presentan fotografías de un proyecto realizado en la ciudad de Popayán, departamento del Cauca, en el cual se encontraron diversos problemas a la hora de construir, se destaca que el proyecto ha sido diseñado para trabajar muros con el espesor mínimo permitido por la NSR-17, es decir 10cm.

Fotografía 1 Acero de viga expuesto. Tomada por Jennifer Ospina.





Fotografía 2 Viga afectada por mal vibrado. Tomada por Jennifer Ospina



Fotografía 3 Falta de vibrado en muro. Tomada por Jennifer Ospina





Fotografía 4 Hormiguo presente en muro, con acero expuesto. Tomada por Jennifer Ospina.

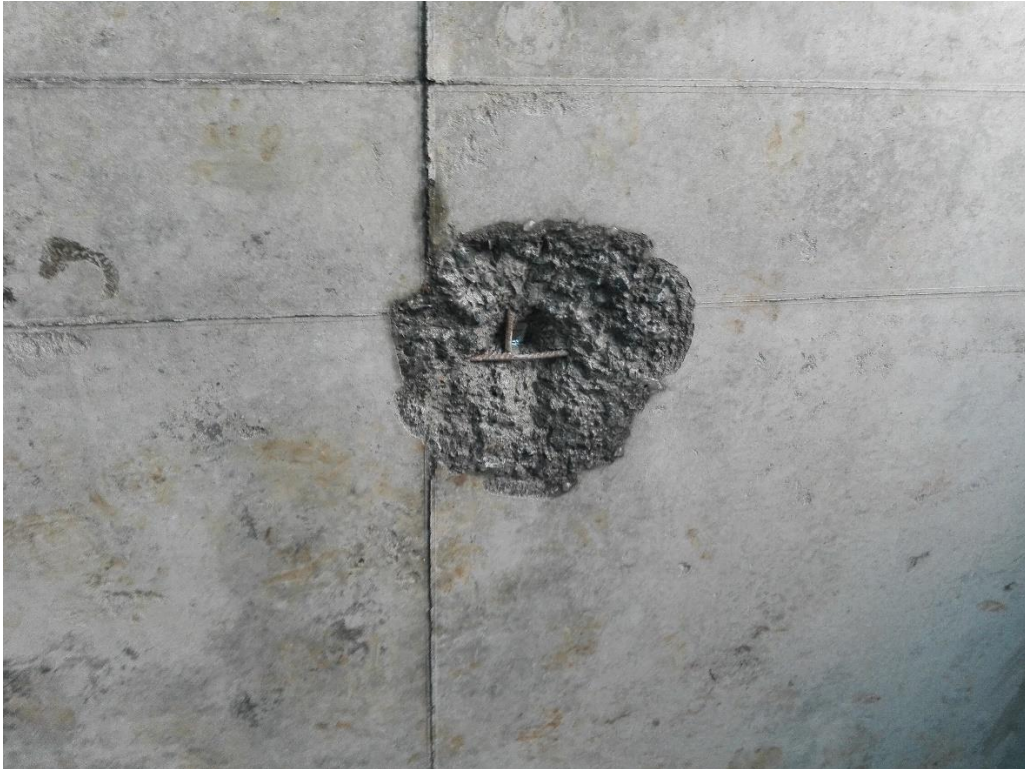


Fotografía 5 Mal confinamiento. Mal vibrado y falta de separador en la malla. Tomada por Jennifer Ospina.





Fotografía 6 Losa afectada por mal vibrado, acero expuesto. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 7 Acero expuesto, mal confinamiento. Falta de separadores de losa y vibrado deficiente. Tomada por Jennifer Ospina.





Fotografía 8 Viga con estribos mal instalados. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 9 Malla electrosoldada incompleta. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 10 Grafiles torcidos y en mal estado. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 11 Malla electrosoldada torcida. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 12 Instalación de formaleta. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 13 Mal confinamiento, mal vibrado, falta de separadores de muro. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 14 Mal confinamiento, falta de separador de muro, malla electrosoldada visible. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 15 Falta de separador de muro, mal vibrado, confinamiento deficiente. Tomada por Jennifer Ospina.





Fotografía 16 Losa con acero expuesto por mal vibrado, falta de separador de losa. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 17 Hormigueo producido por tuberías y mal vibrado. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 18 Instalación inadecuada de estribos en viga. Tomada por Jennifer Ospina.



Fotografía 19 Hormiguo en muro por mal vibrado. Tomada por Jennifer Ospina.





En ingeniero Ángel Francisco San Bartolomé Ramos (San Bartolomé Ramos, Ángel Francisco, 2013), afirma que el número máximo de pisos que se puede construir con este sistema es de 7, hecho realmente preocupante ya que en nuestro país se han construido edificaciones con 10 pisos y espesor mínimo de 10 cm.

Él afirma esto con la total certeza debido a que han desarrollado muchas pruebas en muros reales en el departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), en donde se creó un programa de investigación experimental, para establecer parámetros de diseño sísmico en los edificios con muros de ductilidad limitada (EMDL).

En el capítulo V de su libro, explica: “cuando se emplee este sistema en edificios de mayor altura, los pisos inferiores por debajo de los 6 últimos niveles, deberán estar necesariamente estructurados en base a muros de concreto armado con espesores mayores o iguales a 0.15m, que permitan confinar sus extremos con estribos. Para el análisis y diseño sísmico del edificio se deberá usar $R=4$ o $R=4 \times \frac{3}{4}$ si el edificio fuera irregular”.

Dentro de las especificaciones que recomienda para el uso de acero, espesor mínimo del muro están: **h mín**= 0.10m, **Acero**: malla electrosoldada como refuerzo repartido de los muros de edificios de hasta 3 pisos, si hay mayor número de pisos, la malla solo se debe usar en los niveles superiores, el cual cumpla con el 1.3 en el tercio inferior de la altura.

En cuanto la profundidad del eje neutro, “c”, utiliza el mismo criterio que la NSR-10 exige para el diseño de estos muros, simplemente manejan otra notación:

$$c < C_{\text{lím}}$$

$$c < \frac{Lm}{600 \frac{\Delta m}{hm}}$$

Δm = Desplazamiento del nivel más alto del muro.

Lm = Longitud del muro en el plano horizontal.

hm = Altura total del muro.



Otra diferencia que se tiene con la norma peruana es que exigen el valor de la rotación plástica como 0.005 ($\Delta^m/hm = 0.005$), igual que la exigida por la ACI 318-14, e Colombia se usa como ($\Delta^m/hm = 0.007$).



13 CONCLUSIONES

- Se logró entender el funcionamiento de un muro de concreto reforzado por medio de los cálculos realizados con los cuales se pudo hacer el proyecto.
- Para un muro específico, se encontró una zona en la que no se requieren utilizar elementos de borde, con la ayuda del método de c límite, la cual se muestra en los diagramas de interacción calculados para espesores variables, se evidencia que el aumento de esta zona es mayor cuando el espesor del muro es menor a 15 cm aproximadamente.
- El uso de los dos criterios depende en gran medida del momento aplicado al elemento, para valores de momentos bajos, el criterio que controla el uso de elementos de borde es el de c límite, mientras que, al aumentar los momentos, el criterio que controla es el de los esfuerzos.
- En el capítulo 10, se encontró que al comparar las gráficas de los diagramas de interacción de los muros con elementos de borde y sin tenerlos, muestran que es de gran utilidad para un muro de 10 cm tener elementos de borde ya que aumenta su capacidad a flexo-compresión. Para el muro de 20 cm, las capacidades fueron muy cercanas, mientras que el muro de 30cm (sección constante), superó la capacidad del muro que no tiene elementos de borde. En síntesis, para este muro, se puede decir que a medida que el espesor aumenta, la ganancia, se reduce mostrando un comportamiento desfavorable del muro.
- Se revisó un muro de un proyecto real realizado en la ciudad de Popayán, con dimensiones muy similares a las planteadas en el capítulo 8, el cual tiene un espesor de 0.15m, por lo tanto, cumple con uno de los espesores aquí tratados. Al graficar las cargas reales provenientes del modelo estructural del muro, dentro de los diagramas de interacción de cada muro propuesto realizado en Excel, se compararon entre sí, y se comprobó que para muros muy delgados como el de 10 cm, va a requerir usar elementos de borde cuando el edificio tenga un número de pisos igual o mayor a 3,



lo contrario ocurre cuando se utiliza un muro con espesor de 30cm, ya que no va a requerir elementos de borde con las configuraciones aquí propuestas, demostrando la necesidad de usar elementos de borde en muros delgados como el más usado en nuestro país de 10 cm.

- Cuando se realizó el modelamiento de los muros en los programas SAP2000 Y ETABS, se evidenció que los resultados eran muy similares a los calculados en Excel, lo que corrobora el buen desempeño de los programas en el diseño estructural. Además, se logró determinar que el programa Etabs es capaz de diseñar un muro con elementos de borde aún sin introducirle una sección de muro, mientras que el programa SAP2000 no lo hace por sí mismo.
- El análisis del presente documento, fueron realizados para una sola una configuración de muro, donde algunos valores geométricos se tomaron como constantes, y cuya única variable fue el espesor del muro, de igual manera el valor de c límite es también una constante. Dada esta limitación, no se puede aplicar directamente a proyecto reales, sin embargo, abre puertas para realizar otras investigaciones donde se tomen otras variables.



14 BIBLIOGRAFÍA

- McCormac, J. c, & Brown, R. H. (2011). *DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO* (Octava; Alfaomega, ed.). Mexico.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *REINFORCED CONCRETE MECHANICS & DESIGN* (SIXTH EDIT; PEARSON, ed.). New Jersey, U.S.A.
- Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2018). *ACTA N°149* (Julio 26 de 2018).
- San Bartolomé Ramos, Ángel Francisco. (2013). *EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON MUROS DELGADOS DE DUCTILIDAD LIMITADA*. (Primera edición).
- Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. NSR-10, TÍTULO C, CONCRETO ESTRUCTURAL*.
- American Concrete Institute. (2011). *BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (ACI 318-11)*. (6TH EDITION).
- Villarroel Bejarano, Carlos Enrique. (2016). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2016*. (Primera edición). Bolivia.
- Computer & Structures, INC. (2015). *SHEAR WALL DESIGN MANUAL. ETABS 2016*. United States of America.
- Rochel Awad, Roberto. (2012). *ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS*. (Segunda edición). Medellín, Colombia.
- Carrillo, Julian & Alcoser, Sergio M. (2011). *REVISTA DE INGENIERÍA SÍSMICA NO. 85 103-126 COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE MUROS DE CONCRETO PARA VIVIENDA*.
- Nilson, Arthur H. (2001). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO* (Duodécima edición).
- Ingeniero Carlos Córdoba Rojas. [Comentarios sobre el diseño de muros de corte de concreto armado (Shear walls)]. [Archivo de video] <https://m.youtube.com/watch?v=9yNQ0df-314&t=569s>.



15 ANEXOS



15.1.1 ANEXO A: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN PROYECTO REAL OBTENIDO DE ETABS.

A continuación, se presentan los datos obtenidos del proyecto real por piso.

PISO 10:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.3966	1.2D+L+Ex+0.3Ey	1120.1528	-145.7975	4999.37	4200	0.6026	0.45778
Top-Right	Leg 1	0.3966	1.2D+L+Ex+0.3Ey	1120.1528	154.5741	5082.1	4200	0.6026	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	0.41129	1.2D+L+Ex+0.3Ey	1154.0531	-427.7013	7766.29	4200	0.61729	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.41129	1.2D+L+Ex+0.3Ey	1154.0531	416.0933	7656.88	4200	0.61729	0.45778

PISO 9:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.33696	1.2D+L+Ex+0.3Ey	982.5686	-179.4157	4871	4200	0.54296	0.45778
Top-Right	Leg 1	0.33696	1.2D+L+Ex+0.3Ey	982.5686	168.7094	4770.08	4200	0.54296	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	0.35166	1.2D+L+Ex+0.3Ey	1016.4689	-354.1154	6627.42	4200	0.55766	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.35166	1.2D+L+Ex+0.3Ey	1016.4689	355.4621	6640.11	4200	0.55766	0.45778

PISO 8:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.28796	1.2D+L+Ex+0.3Ey	869.5042	-164.0083	4359.86	4200	0.49396	0.45778
Top-Right	Leg 1	0.28796	1.2D+L+Ex+0.3Ey	869.5042	153.6469	4262.2	4200	0.49396	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	0.30265	1.2D+L+Ex+0.3Ey	903.4045	-321.6436	5955.44	4200	0.50865	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.30265	1.2D+L+Ex+0.3Ey	903.4045	323.8087	5975.85	4200	0.50865	0.45778



PISO 7:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.21627	1.2D+L+Ex+0.3Ey	705.6348	-132.5373	3532.9	4200	0.42227	0.45778
Top-Right	Leg 1	0.21627	1.2D+L+Ex+0.3Ey	705.6348	122.4699	3438	4200	0.42227	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	0.23113	1.2D+L+Ex+0.3Ey	739.5352	-268.8744	4927.72	4200	0.43713	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.23113	1.2D+L+Ex+0.3Ey	739.5352	271.791	4955.21	4200	0.43713	0.45778

PISO 6:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	553.2625	-101.3614	2745.92	4200	0.35545	0.45778
Top-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	553.2625	91.7644	2655.46	4200	0.35545	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	0.18516	1.2D+L+Ex+0.3Ey	587.1629	-234.6984	4112.46	4200	0.37032	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.18516	1.2D+L+Ex+0.3Ey	587.1629	238.6881	4150.07	4200	0.37032	0.45778

PISO 5:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	413.9812	-82.0307	2112.96	4200	0.29437	0.45778
Top-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	413.9812	72.4581	2022.73	4200	0.29437	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	0.14045	1.2D+L+Ex+0.3Ey	383.2377	-310.8683	4170.48	4200	0.28089	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.14045	1.2D+L+Ex+0.3Ey	383.2377	315.1367	4210.72	4200	0.28089	0.45778

PISO 4:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	289.3721	-64.785	1547.14	4200	0.23973	0.45778
Top-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	289.3721	55.2396	1457.17	4200	0.23973	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	323.2725	-128.9064	2261.26	4200	0.2546	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	0.11896	1.2D+L+Ex+0.3Ey	285.0344	237.2056	3158.33	4200	0.23793	0.45778



PISO 3:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	186.8156	-51.082	1086.08	4200	0.19712	0.45778
Top-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	186.8156	42.4272	1004.5	4200	0.19712	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	220.7159	-83.3974	1500.39	4200	0.2112	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	220.7159	88.3476	1547.05	4200	0.2112	0.45778

PISO 2:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	99.4202	-38.3816	683.53	4200	0.16081	0.45778
Top-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	99.4202	27.4913	580.88	4200	0.16081	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	133.3206	-49.4374	897.45	4200	0.17489	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	133.3206	56.5426	964.43	4200	0.17489	0.45778

PISO 1:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp kN/m ²	Stress Limit kN/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	27.9964	-32.7813	399.6	4200	0.13113	0.45778
Top-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	27.9964	13.1247	214.32	4200	0.13113	0.45778
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	61.8967	-18.344	373.22	4200	0.14522	0.45778
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	1.2D+L+Ex+0.3Ey	61.8967	31.4539	496.8	4200	0.14522	0.45778