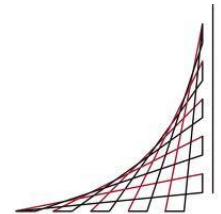


**Maestría en Ingeniería Civil**

**Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto  
reforzado bajo un ambiente informático**

**Gabriel Valderrama Romero**

**Bogotá D.C., 10 de agosto de 2016**



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO



**Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto  
reforzado bajo un ambiente informático**

**Tesis para optar al título de magister en Ingeniería Civil, con énfasis en  
Ingeniería Estructural**

**Ph.D., Nancy Torres Castellanos  
Director**

**M.Sc., Carlos E. Palomino Arias  
Jurado**

**M.Sc., Ismael Santana Santana  
Jurado**

**Bogotá D.C., 10 de agosto de 2016**





La tesis de maestría titulada “Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático”, presentada por Gabriel Valderrama Romero, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural.

Director:

---

Ph.D. Nancy Torres Castellanos

Jurados:

---

M.Sc. Carlos E. Palomino Arias

---

M.Sc. Ismael Santana Santana

Bogotá D.C., 10 de agosto de 2016.



*El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta  
que la ciencia logra abrir.*

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor,  
la electricidad y la energía atómica: la voluntad.*

*Albert Einstein*





## **Agradecimientos**

El autor expresa sus agradecimientos:

A Nancy Torres Castellanos, Ph.D., directora de tesis, por la confianza depositada en mí, por sus valiosos aportes y acompañamiento en el desarrollo de esta tesis.

A Carlos E. Palomino Arias, M.Sc., miembro del jurado, por su apoyo, orientación, experiencia y conocimientos compartidos.

A Miguel A. Palomino Arias, Gerente Administrativo y Financiero de P&P Proyectos S.A.S., por su amistad, calidad humana y ayuda incondicional.

Es una gran satisfacción y orgullo haber culminado esta etapa de formación académica, requirió de esfuerzo, dedicación y sacrificio, no solo mío si no de todas aquellas personas que me acompañan, es por eso, que quiero agradecer a todas y cada una de ellas por su amor, dedicación, paciencia y apoyo incondicional.



## Resumen

En las últimas décadas en diferentes regiones de Colombia se ha visto un incremento en el uso del sistema de resistencia sísmica basado en muros portantes de concreto reforzado, gracias a las ventajas que ofrece a nivel económico y de comportamiento estructural. Obedeciendo a la necesidad de contar con profesionales idóneos que realicen los respectivos diseños, algunas de las universidades colombianas cuentan dentro de sus planes de estudio en pregrado y posgrado con asignaturas enfocadas al diseño de edificaciones con este sistema estructural. Sin embargo se ha observado que los textos de consulta no se encuentran ajustados a los requisitos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en primera medida porque son textos procedentes de otros países y por otro lado porque los pocos de origen nacional fueron escritos cuando se encontraba en vigencia una versión anterior de este Reglamento. Tampoco disponen de ayudas o herramientas de tipo informático y pocos ofrecen un enfoque práctico donde se le presente al lector una metodología clara y sencilla de análisis y diseño para los diferentes elementos que conforman este sistema estructural.

Por lo tanto se encontró la necesidad de brindar a la comunidad académica y profesional un material de tipo didáctico, conformado por hojas de cálculo y una aplicación desarrollada en Visual Basic que sirve de guía para el análisis y diseño para muros portantes en concreto reforzado, bajo un entorno amigable e intuitivo, utilizando el Sistema Internacional de Unidades (SI) y cumpliendo los requisitos establecidos en el Reglamento NSR-10. El resultado final de este trabajo son unas hojas de cálculo que funcionan de manera complementaria con el software de análisis y diseño estructural y que permiten de una forma ágil y sencilla realizar el diseño de muros para edificaciones cuyo sistema de resistencia sísmica son los muros estructurales o también denominados muros portantes.

**Palabras clave:** herramienta informática, diseño sismo resistente, diseño de muros estructurales, concreto estructural.

## Abstract

In recent decades in different regions of Colombia it has seen an increase in the use of seismic resistance system based on load bearing walls of reinforced concrete, thanks to the advantages in economic and structural behavior. Obeying the need for qualified professionals to perform the respective designs, some Colombian Universities have within their curriculum in undergraduate and postgraduate students with courses focused on the design of buildings with this structural system. However it has been observed that the reference texts are not adjusted to the requirements of Colombian Earthquake Resistant Building Code NSR-10, in a first step because they are texts from other countries and secondly because the few national origin were written when it was in effect an earlier version of this Regulation. Nor they have aids or tools of computer type and few offer a practical approach where given the reader a clear and simple methodology of analysis and design for the different elements that make up this structural system.

Therefore the need to provide academic and professional community didactic material, consisting of spreadsheets and an application developed in Visual Basic that serves as a guide for the analysis and design for load-bearing walls in reinforced concrete under found a friendly and intuitive environment, using the International System of Units (SI) and fulfilling the requirements of the Code NSR-10. The end result of this work are some spreadsheets that work in a complementary way with software analysis and structural design and allow a quick and easy way to make the design of walls for buildings whose system of seismic resistance are the structural walls or also they called bearing walls.

**Keywords:** computational tools, seismic design, structural wall design, structural concrete.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>21</b>
<b>1. Requisitos para muros portantes de concreto reforzado</b> .....	<b>23</b>
1.1 Procedimiento de diseño estructural de una edificación de acuerdo al Reglamento NSR-10 .....	24
1.2 Requisitos de diseño para muros estructurales definidos en el Reglamento NSR-10..	24
1.2.1 Sistema de unidades .....	24
1.2.2 Requisitos generales de diseño sismo resistente .....	25
1.2.3 Requisitos de resistencia y funcionamiento .....	29
1.2.4 Flexión y cargas axiales .....	30
1.2.5 Cortante .....	32
1.2.6 Muros .....	34
1.2.7 Requisitos de diseño sismo resistente .....	35
<b>2. Herramienta informática para el análisis y diseño de muros de concreto reforzado</b> .....	<b>41</b>
2.1 Aplicación en Visual Basic .....	41
2.1.1 Instalación de la aplicación .....	41
2.1.2 Entorno de la aplicación Muros de concreto .....	47
2.2 Libros o plantillas de Excel.....	48
2.2.1 Hoja de cálculo NIVEL. COMB. ....	49
2.2.2 Hoja de cálculo GEOMETRIA .....	50
2.2.3 Hoja de cálculo SOLICITACIONES .....	51
2.2.4 Hoja de cálculo DESPLAZAMIENTOS.....	53
2.2.5 Hoja de cálculo BASE DE DATOS .....	54
2.2.6 Hojas de cálculo COMB M.....	55
2.1.6.1 Información de los muros.....	60
2.1.6.2 Solicitaciones de diseño .....	60
2.1.6.3 Cuantías mínimas .....	61
2.1.6.4 Capas de refuerzo .....	61
2.1.6.5 Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión $\phi$ .....	62
2.1.6.6 Revisión elementos de borde .....	63

2.1.6.7	Diseño elementos de borde .....	65
2.1.6.8	Refuerzo vertical .....	70
2.1.6.9	Refuerzo horizontal .....	74
2.1.6.10	Cortante .....	77
2.1.6.11	Carga axial .....	78
2.1.6.12	Flexo-compresión .....	79
2.2.7	Hoja RESUMEN .....	80
2.1.7.1	Información de los muros, Tipo de diseño, Solicitaciones de diseño y Capas de refuerzo en la hoja <i>RESUMEN</i> .....	80
2.1.7.2	Revisión y diseño de elementos de borde en la hoja <i>RESUMEN</i> .....	81
2.1.7.3	Refuerzo vertical y horizontal en la hoja <i>RESUMEN</i> .....	86
2.1.7.4	Cortante, Carga axial y Flexo-compresión en la hoja <i>RESUMEN</i> .....	86
<b>3.</b>	<b>Ejemplo de diseño .....</b>	<b>87</b>
3.1	Descripción del proyecto .....	87
3.2	Modelo matemático de la estructura .....	88
3.3	Análisis sísmico de la edificación .....	89
3.4	Procedimiento de diseño .....	90
3.4.1	Paso 1. Datos de entrada .....	90
3.4.2	Paso 2. Definición de variables y parámetros de diseño .....	92
3.4.3	Paso 3. Cálculo de la cuantía del refuerzo vertical .....	94
3.4.4	Paso 4. Definición del tipo de refuerzo en cada muro .....	94
3.5	Diseño de muro estructural .....	95
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>119</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Tablas A.3-1 a A.3-4 del Reglamento NSR-10.....</b>	<b>121</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Procedimiento de diseño según el Reglamento NSR-10. ....</b>	<b>127</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Tablas A.3-5 a A.3-7 del Reglamento NSR-10.....</b>	<b>137</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: CD con aplicación, plantilla de diseño y ejemplo práctico.....</b>	<b>143</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo: Análisis sísmico de la edificación.....</b>	<b>145</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Detallado del refuerzo para muros de concreto reforzado .....</b>	<b>165</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>169</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Partes de la estructura.....	26
<b>Figura 1-2:</b> Hipótesis para la resistencia a flexión en muros rectangulares .....	31
<b>Figura 2-1:</b> Instalación de firmas digitales 1.....	42
<b>Figura 2-2:</b> Instalación de firmas digitales 2.....	43
<b>Figura 2-3:</b> Instalación de firmas digitales 3.....	44
<b>Figura 2-4:</b> Instalación de firmas digitales 4.....	45
<b>Figura 2-5:</b> Instalación de firmas digitales 5.....	45
<b>Figura 2-6:</b> Instalación de la aplicación <i>Muros de Concreto</i> . .....	46
<b>Figura 2-7:</b> Barra de menú y comandos .....	47
<b>Figura 2-8:</b> Etiquetas que identifican las hojas de cálculo de la plantilla de Excel. ....	48
<b>Figura 2-9:</b> Hoja de cálculo <i>NIVEL. COMB</i> . .....	50
<b>Figura 2-10:</b> Hoja de cálculo <i>GEOMETRÍA</i> . .....	51
<b>Figura 2-11:</b> Fuerzas actuantes en un muro dentro y fuera del plano .....	51
<b>Figura 2-12:</b> Hoja de cálculo <i>SOLICITACIONES</i> .....	52
<b>Figura 2-13:</b> Hoja de cálculo <i>DESPLAZAMIENTOS</i> .....	53
<b>Figura 2-14:</b> Hoja de cálculo <i>BASE DE DATOS</i> .....	54
<b>Figura 2-15:</b> Encabezado de las hojas de cálculo <i>COMB M</i> y <i>RESUMEN</i> .....	55
<b>Figura 2-16:</b> Tablas que definen las características de las barras y mallas de acero.....	57
<b>Figura 2-17:</b> Tabla de análisis y diseño de muros (Vista parcial).....	59
<b>Figura 2-18:</b> Información de los muros.....	60
<b>Figura 2-19:</b> Solicitaciones de diseño .....	60
<b>Figura 2-20:</b> Cuantías mínimas .....	61
<b>Figura 2-21:</b> Capas de refuerzo .....	62
<b>Figura 2-22:</b> Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión $\eta$ .....	63
<b>Figura 2-23:</b> Revisión elementos de borde .....	64
<b>Figura 2-24:</b> Diseño elementos de borde .....	66
<b>Figura 2-25:</b> Fuerzas causadas en los elementos de borde.....	67
<b>Figura 2-26:</b> Tabla <i>Área de refuerzo</i> de la hoja <i>BASE DE DATOS</i> (Vista parcial) .....	68
<b>Figura 2-27:</b> Muros con una sección crítica única controlada por flexión y carga axial empleando C.21.9.6.2, C.21.9.6.4 y C.21.9.6.5 del Reglamento. ....	69
<b>Figura 2-28:</b> Muro y machón de muro diseñados utilizando C.21.9.6.3, C.21.9.6.4 y C.21.9.6.5 del Reglamento. ....	69
<b>Figura 2-29:</b> Refuerzo vertical .....	70
<b>Figura 2-30:</b> Botón <i>Analizar</i> . .....	71

<b>Figura 2-31:</b>	Estado de avance del proceso de iteración.....	71
<b>Figura 2-32:</b>	Mensaje indicativo que el proceso de iteración a finalizado.....	72
<b>Figura 2-33:</b>	Número de identificación que permite asignar el tipo de refuerzo a los muros ...	73
<b>Figura 2-34:</b>	Número que identifica el tipo de refuerzo en las hojas <i>COMB M.</i> ....	73
<b>Figura 2-35:</b>	Refuerzo horizontal.....	75
<b>Figura 2-36:</b>	Número que identifica el tipo de refuerzo en las hojas <i>RESUMEN</i> .....	76
<b>Figura 2-37:</b>	Cortante.....	77
<b>Figura 2-38:</b>	Carga axial .....	78
<b>Figura 2-39:</b>	Flexo-compresión.....	79
<b>Figura 2-40:</b>	Información de los muros, Tipo de diseño, Solicitaciones de diseño y Capas de refuerzo en hoja <i>RESUMEN</i> .....	81
<b>Figura 2-41:</b>	Revisión y diseño de elementos de borde en hoja <i>RESUMEN</i> .....	82
<b>Figura 2-42:</b>	Menú desplegable para definir el diámetro del refuerzo transversal en elementos de borde.....	83
<b>Figura 2-43:</b>	Separación entre ganchos suplementarios.....	84
<b>Figura 2-44:</b>	Requisitos de refuerzo transversal en elementos de borde.....	85
<b>Figura 2-45:</b>	Refuerzo vertical y horizontal en hoja <i>RESUMEN</i> .....	86
<b>Figura 2-46:</b>	Cortante, Carga axial y Flexo-compresión en la hoja <i>RESUMEN</i> .....	86
<b>Figura 3-1:</b>	Planta general de distribución de muros estructurales .....	88
<b>Figura 3-2:</b>	Modelo matemático del edificio, .....	88
<b>Figura 3-3:</b>	Datos de entrada. Tablas <i>Story Data</i> y <i>Load Combination</i> (Vista parcial).....	91
<b>Figura 3-4:</b>	Datos de entrada. Tablas <i>Pier Section Properties</i> (Vista parcial).....	91
<b>Figura 3-5:</b>	Datos de entrada. Tabla <i>Pier Forces</i> (Vista parcial).....	91
<b>Figura 3-6:</b>	Datos de entrada. Tabla <i>Diaphragm CM Displacements</i> (Vista parcial).....	92
<b>Figura 3-7:</b>	Definición del material y grado de disipación de energía del sistema de resistencia sísmica.....	92
<b>Figura 3-8:</b>	Especificaciones técnicas de los materiales .....	93
<b>Figura 3-9:</b>	Parámetros de diseño .....	94
<b>Figura 3-10:</b>	Botón <i>Analizar</i> . .....	94
<b>Figura 3-11:</b>	Información de los muros y solicitaciones de diseño para el muro M11 .....	96
<b>Figura 3-12:</b>	Cálculo de cuantías mínimas para el muro M11 .....	96
<b>Figura 3-13:</b>	Definición del número de capas de refuerzo para el muro M11 .....	97
<b>Figura 3-14:</b>	Definición del coeficiente de reducción de capacidad $\phi$ para el muro M11 .....	98
<b>Figura 3-15:</b>	Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad $\phi$ para el muro M11 .....	98
<b>Figura 3-16:</b>	Resultado de los análisis por flexo-compresión para el muro M11 .....	100
<b>Figura 3-17:</b>	Resultados del diseño de refuerzo vertical para el muro M11 (1) .....	100
<b>Figura 3-18:</b>	Resultados del diseño de refuerzo vertical para el muro M11 (2) .....	101
<b>Figura 3-19:</b>	Resultados del diseño de refuerzo horizontal para el muro M11 .....	103
<b>Figura 3-20:</b>	Resultado de los análisis por fuerza cortante para el muro M11 .....	104
<b>Figura 3-21:</b>	Resultado de los análisis por carga axial para el muro M11 .....	105
<b>Figura 3-22:</b>	Parámetros de diseño para la revisión de elemento de borde del muro M11 .....	107
<b>Figura 3-23:</b>	Revisión elementos de borde en el muro M11 (1) .....	107
<b>Figura 3-24:</b>	Diseño de elementos de borde para el muro M11 (1) .....	108



---

<b>Figura 3-25:</b>	Información de muro M11 (1).....	109
<b>Figura 3-26:</b>	Información de muro M11 (2).....	110
<b>Figura 3-27:</b>	Revisión elementos de borde en el muro M11 (2) .....	111
<b>Figura 3-28:</b>	Diseño de elementos de borde para el muro M11 (2) .....	113
<b>Figura 3-29:</b>	Detallado de refuerzo muro M11(1).....	114
<b>Figura 3-30:</b>	Diseño de elementos de borde para el muro M11, hoja <i>RESUMEN</i> .....	115
<b>Figura 3-31:</b>	Detallado de refuerzo columna M11 .....	116

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 3-1:</b> Resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ) para cada nivel de la edificación.....	93
<b>Tabla 3-2:</b> Resumen de refuerzo electrosoldado de acuerdo al espesor de los muros .....	95
<b>Tabla 3-3:</b> Resumen parcial de refuerzo vertical en barras de acero para cada nivel.....	95
<b>Tabla 3-4:</b> Resumen de refuerzo para todos los pisos muro M11 .....	109

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
$a_p$	Coefficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural.	Adimensional
$a_x$	Aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento no estructural, localizado en el piso $x$ .	g
$A_a$	Coefficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.	Adimensional
$A_{ch}$	Área de la sección transversal de un elemento estructural, medida entre los bordes exteriores del refuerzo transversal.	mm <sup>2</sup>
$A_{cv}$	Área bruta de la sección de concreto limitada por el espesor del alma y la longitud de la sección en la dirección de la fuerza de cortante considerada.	mm <sup>2</sup>
$A_{cw}$	Área de la sección de concreto de un machón individual, segmento horizontal de muro, o viga de acople, que resiste cortante.	mm <sup>2</sup>
$A_g$	Área bruta de la sección de concreto.	mm <sup>2</sup>
$A_s$	Área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción.	mm <sup>2</sup>
$A_{st}$	Área total de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción.	mm <sup>2</sup>
$A_{sh}$	Área total de refuerzo transversal (incluyendo ganchos suplementarios) colocado dentro del espaciamiento $s$ y perpendicular a la dimensión $b_c$ .	mm <sup>2</sup>
$A_v$	Coefficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.	Adimensional
$A_{sv}$	Área de refuerzo de cortante con un espaciamiento $s$ .	mm <sup>2</sup>
$b_c$	Dimensión transversal del núcleo del elemento medida entre los bordes externos del refuerzo transversal con área $A_{sh}$ .	mm
$b_{eb}$	Espesor mínimo del elemento de borde.	mm
$b_w$	Espesor de muro.	mm
$c$	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro.	mm

Símbolo	Término	Unidad SI
$C_t$	Coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura.	Adimensional
$C_u$	Coeficiente utilizado para calcular el periodo máximo permisible de la estructura.	Adimensional
$C_{vx}$	Coeficiente empleado para el cálculo de fuerzas sísmicas horizontales equivalentes.	Adimensional
$d$	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.	mm
$d_b$	Diámetro nominal de una barra de acero.	mm
$d_e$	Diámetro nominal de una barra de acero de un estribo de confinamiento.	mm
$D$	Carga muerta.	kN
$E$	Fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s / R$ ) que se emplean para diseñar los miembros estructurales.	kN
$f'_c$	Resistencia especificada a la compresión del concreto.	MPa
$f_y$	Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.	MPa
$f_{yt}$	Resistencia especificada a la fluencia $f_y$ del refuerzo transversal.	MPa
$F_a$	Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio.	Adimensional
$F_{muro}$	Fuerza sísmica horizontal sobre el elemento no estructural, aplicada en su centro de masa.	kN/m <sup>2</sup>
$F_x$	Fuerzas sísmicas horizontales en el nivel $x$ .	kN
$F_s$	Fuerzas sísmicas.	kN
$F_v$	Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio.	Adimensional
$g$	Aceleración debida a la gravedad.	9.80665 m/s <sup>2</sup>
$h_{eq}$	Altura equivalente del sistema de un grado de libertad que simula la edificación.	m
$h_n$	Altura medida desde la base del piso más alto del edificio.	m
$h_p^i$	Altura del piso $i$ , medida desde la superficie del diafragma del piso $i$ hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior, $i-1$ .	m
$h_s$	Altura o espesor de placa de entrepiso.	mm
$h_x$	Altura medida desde la base, del nivel $i$ o $x$ .	m
$h_w$	Altura total de un muro medida desde la base hasta la parte superior o altura del segmento de muro considerado.	mm
$I$	Coeficiente de importancia de acuerdo con el grupo de uso de la edificación.	Adimensional

Símbolo	Término	Unidad SI
$I_g$	Momento de inercia de la sección bruta del elemento con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo.	$\text{mm}^4$
$j$	Subíndice de una de las direcciones ortogonales principales en planta, puede ser $x$ o $y$ .	Adimensional
$k$	Exponente relacionado con el periodo fundamental de la edificación.	Adimensional
$l_o$	Longitud, medida desde la cara del nudo a lo largo del eje del elemento estructural, dentro de la cual debe colocarse refuerzo transversal especial.	mm
$l_w$	Longitud del muro completo o longitud del segmento de muro considerado en dirección de la fuerza de cortante.	mm
$L$	Cargas vivas debidas al uso y ocupación de la edificación, incluyendo cargas debidas a objetos móviles, particiones que se pueden cambiar de sitio. $L$ incluye cualquier reducción que se permita. Si se toma en cuenta la resistencia a cargas de impacto este efecto debe tenerse en cuenta en la carga viva $L$ .	kN
$L_{eb}$	Longitud mínima del elemento de borde.	mm
$L_r$	Carga viva sobre la cubierta.	kN
$m_x$	Parte de $M$ que está colocada en el nivel $i$ o $x$ respectivamente.	kg
$M$	Masa total de la edificación.	kg
$M_n$	Resistencia nominal a flexión en la sección.	N mm
$M_u$	Momento mayorado en la sección.	N mm
$N_u$	Carga axial mayorada normal a la sección transversal, que ocurre simultáneamente con $V_u$ o $T_u$ ; debe tomarse como positiva para compresión y como negativa para tracción.	N
$P_b$	Resistencia axial nominal en condiciones de deformación unitaria balanceada	N
$P_{cu}$	Carga axial a compresión en el elemento de borde, debido a las cargas producidas por $P_u$ y $M_u$ .	N
$P_n$	Resistencia axial nominal de la sección transversal.	N
$P_{n \max}$	Máximo valor permitido de $P_n$ .	N
$P_o$	Resistencia axial nominal para una excentricidad igual a cero.	N
$P_u$	Fuerza axial mayorada; debe tomarse como positiva para compresión y negativa para tracción.	N
$R_0$	Coefficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.	Adimensional
$R_p$	Coefficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural y su sistema de soporte.	Adimensional

Símbolo	Término	Unidad SI
R	Coefficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico, $R_0$ , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura, en planta y por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica.	Adimensional
s	Espaciamiento medido centro a centro de unidades tales como refuerzo longitudinal o refuerzo transversal.	mm
$s_0$	Espaciamiento centro a centro del refuerzo transversal dentro de una longitud $l_0$ .	mm
$S_a$	Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración $T$ .	g
$S_n$	Resistencia nominal a la flexión, al cortante o a la carga axial de la conexión	
T	Periodo de vibración del sistema elástico.	s
$T_a$	Periodo de vibración fundamental aproximado.	s
$T_c$	Periodo de vibración, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo.	s
$T_L$	Periodo de vibración, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño.	s
$T_0$	Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones.	s
U	Resistencia requerida para resistir las cargas mayoradas o momentos y fuerzas internas correspondientes	
$V_c$	Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.	N
$V_n$	Resistencia nominal a cortante.	N
$V_s$	Cortante sísmico en la base.	kN
$V_s$	Resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.	N
$V_{ij}$	Cortante sísmico en la base total en la dirección horizontal $j$ .	kN
$V_u$	Fuerza cortante mayorada en la sección.	N
$V_x$	Fuerza cortante sísmica en el nivel $x$ .	kN

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
$\alpha$	Exponente para ser utilizado en el cálculo del periodo aproximado $T_a$ .	Adimensional
$\alpha_c$	Coefficiente que define la contribución relativa de la resistencia del concreto a la resistencia nominal a cortante del muro.	Adimensional
$\beta_1$	Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro	Adimensional
$\delta_{cm,j}^i$	Desplazamiento horizontal, del centro de masa del piso $i$ , en la dirección $j$ .	m
$\delta_{max}$	Desplazamiento horizontal máximo en el nivel $x$ .	m
$\delta_{tot,j}^i$	Desplazamiento total horizontal, de cualquier punto del diafragma del piso $i$ en la dirección $j$ .	m
$\delta_u$	Desplazamiento de diseño.	mm
$\Delta_j^i$	Deriva del piso $i$ en la dirección principal en la planta $j$ .	m
$\Delta_{max}^i$	Deriva máxima para cualquier punto del piso $i$ .	m
$\lambda$	Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión	Adimensional
$\rho_{h,v}$	Cuantía del refuerzo $A_s$ evaluada sobre el área $b_w d$ .	Adimensional
$\rho_l$	Cuantía mínima para refuerzo vertical.	Adimensional
$\rho_t$	Cuantía mínima para refuerzo horizontal.	Adimensional
$\sigma_{eb}$	Esfuerzo de compresión de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos $E$ .	MPa
$\sigma_{max}$	Esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos $E$ , que sirve de referencia para determinar la necesidad de tener elementos especiales de borde.	MPa
$\phi$	Factor de reducción de resistencia	Adimensional
$\phi_a$	Coefficiente de reducción de capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación.	Adimensional
$\phi_p$	Coefficiente de reducción de capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en planta de la edificación.	Adimensional

---

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>	<b>Unidad SI</b>
$\phi_r$	Coeficiente de reducción de capacidad de disipación de energía causado por ausencia de redundancia en el sistema de resistencia sísmica.	Adimensional
$\Omega_0$	Coeficiente de sobrerresistencia	Adimensional



# Introducción

En diversas regiones de Colombia predominan las edificaciones de sistema estructural basado en muros de carga o también denominados muros portantes, tanto de concreto fundido en sitio como de mampostería en arcilla. Las ventajas que ofrecen estos sistemas estructurales a nivel técnico y económico han generado la masificación de su uso y así mismo la necesidad de contar con profesionales idóneos que realicen los respectivos diseños. Es así, como algunas de las universidades colombianas han respondido a esta necesidad y tienen dentro de sus planes de estudio en pregrado y posgrado asignaturas enfocadas al diseño de edificaciones con este sistema estructural.

La mayor parte de los textos de consulta utilizados en la actualidad por estudiantes y profesionales, cuya área temática es el diseño de edificaciones de muros portantes no se encuentran ajustados a los requisitos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en primera medida porque son textos procedentes de otros países y por otro lado porque los pocos de origen nacional fueron escritos cuando se encontraba en vigencia las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. También se ha observado que ninguno de estos textos están acompañados por ayudas o herramientas de tipo informático y pocos cuentan con un enfoque práctico donde se le presente al lector una metodología clara y sencilla de análisis y diseño para los diferentes elementos que conforman este sistema estructural.

Por lo tanto se encontró la necesidad de brindar a la comunidad académica y profesional, con especial interés en el cálculo estructural, un material de tipo didáctico que sirva de guía para el análisis y diseño para muros portantes en concreto reforzado, donde se presenta al lector desde un punto de vista práctico la aplicabilidad de los conceptos y requisitos de diseño descritos en el Reglamento de construcción actual. El objetivo del presente trabajo es desarrollar una herramienta informática conformada por hojas de cálculo en Microsoft Excel y una aplicación desarrollada en Visual Studio para el análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado y el respectivo ejemplo de aplicación, basados en el método de la resistencia última.

El proyecto se adelanta en dos etapas, la primera contempla el diseño y programación de las hojas de cálculo y el desarrollo del código fuente para la aplicación informática. La segunda está formada por un documento que en el Capítulo 1, abarca aspectos como la fundamentación teórica y requisitos de diseño según el Reglamento NSR-10; el Capítulo 2, realiza una descripción de los análisis y cálculos efectuados, consideraciones teóricas y estructura general de la ayuda informática; en el Capítulo 3, un ejemplo de diseño para una edificación de 20 niveles y finalmente en el Capítulo 4, las conclusiones a las que se llegan con el desarrollo del presente trabajo y las recomendaciones para futuras investigaciones.

Las hojas de cálculo funcionan de manera complementaria con los software de análisis y diseño estructural disponibles en el medio, como ETABS, SAP2000, ROBOT STRUCTURAL, STAAD/PRO, entre otros. Estos programas suministran información y resultados del modelo matemático por medio de tablas, y estas a su vez proporcionan los datos de entrada a las hojas de cálculo permitiendo analizar para cada una de las combinaciones de carga todos los muros que hacen parte del sistema de resistencia sísmica ofreciendo al final un resumen con la envolvente de diseño. La información de este resumen proporciona la identificación, dimensiones y solicitaciones de cada muro; define el coeficiente de reducción de resistencia a flexo-compresión, las cuantías mínimas y número de capas de refuerzo necesarias; calcula la cantidad de acero de refuerzo en sentido longitudinal y transversal; evalúa la necesidad de colocar elementos de borde y de ser requeridos los diseña; chequea las solicitaciones máximas debido a carga axial, cortante y flexo-compresión y finalmente calcula el peso total de acero de refuerzo y volumen de concreto de los muros analizados.

Por tratarse de un material de tipo didáctico, es importante mencionar que ni el autor ni la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se hacen responsables por la utilización indebida de la herramienta informática o los resultados que se puedan derivar de ella.

Este trabajo es tan solo un pequeño aporte en el estudio de los muros de concreto reforzado, pero se espera contribuya en la formación de los ingenieros en el campo de la Ingeniería Estructural, con el fin de ofrecer a la sociedad edificaciones menos vulnerables a la acción de los sismos.

# **1. Requisitos para muros portantes de concreto reforzado**

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el Capítulo A.3.2 reconoce cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, definidos como Sistema de muros de carga, Sistema combinado, Sistema dual y Sistema de pórtico. Cada uno de estos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. Las Tablas A.3-1 a A.3-4 del Reglamento NSR-10 (Ver Anexo A) permiten clasificar una edificación o parte de ella en uno de los cuatro sistemas estructurales descritos. Cabe anotar que los muros estructurales se encuentran involucrados en tres de los cuatro sistemas estructurales, de ahí la importancia que estos se analicen y diseñen apropiadamente. Es importante mencionar que el presente documento enfoca su estudio a los muros con fuerzas paralelas al plano del elemento, condición que se presenta especialmente en sistema de muros de carga.

Los muros de carga de concreto reforzado son un sistema de resistencia sísmica ampliamente utilizado en el medio colombiano, en las últimas décadas ha obtenido gran aceptación por su buen comportamiento estructural y por la notable reducción de tiempos en la ejecución de obra, esto por el nivel de industrialización que ha desarrollado. Este sistema se caracteriza por brindar a las edificaciones una elevada rigidez que permite resistir de manera eficiente cargas debidas a las acciones sísmicas y disminuir los desplazamientos laterales de la estructura. Además, poseen una gran capacidad para disipar energía y resistir la acción de terremotos intensos.

El adecuado diseño de los muros de carga radica en dos aspectos, en la fiabilidad de los valores de solicitaciones obtenidos de un modelo matemático y en el cumplimiento de los requisitos de diseño estructural descritos en el Reglamento NSR-10. El primer aspecto se logra siguiendo una apropiada metodología de diseño, por lo cual es conveniente tomar como referencia el procedimiento de diseño estructural presentado en el Apéndice I del Prefacio y en la Tabla A.1.3-1 del Reglamento NSR-10.

## **1.1 Procedimiento de diseño estructural de una edificación de acuerdo al Reglamento NSR-10**

A continuación se enumera cada uno de los pasos del procedimiento de diseño estructural de una edificación de acuerdo al Reglamento NSR-10. En el Anexo B se puede apreciar una breve descripción de los aspectos a tener en cuenta en cada uno de ellos.

Paso 1 – Localización, nivel de amenaza sísmica y valor del  $A_a$  y  $A_v$ .

Paso 2 – Definición de los movimientos sísmicos de diseño.

Paso 3 – Definición de las características de la estructuración y del material estructural empleado

Paso 4 – Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis

Paso 5 – Obtención de las fuerzas sísmicas de diseño

Paso 6 – Análisis de la estructura

Paso 7 – Desplazamientos horizontales

Paso 8 – Verificación de derivas

Paso 9 – Diseño de los elementos estructurales

Paso 10 – Cimentación

Paso 11 – Diseño de elementos no estructurales

Paso 12 – Revisión de los diseños

Paso 13 – Construcción y supervisión técnica

## **1.2 Requisitos de diseño para muros estructurales definidos en el Reglamento NSR-10**

### **1.2.1 Sistema de unidades**

De acuerdo a lo exigido en el Reglamento NSR-10, las hojas de cálculo, modelos matemáticos e información consignada en el presente documento han utilizado el Sistema Internacional de Medidas (SI), el cual es de uso obligatorio en el territorio nacional. Las unidades utilizadas son las siguientes: para longitud el milímetro (mm), para área el milímetro cuadrado ( $\text{mm}^2$ ), para fuerza el Newton (N), para momento el Newton milímetro (N·mm), para esfuerzo o fuerza por unidad de área, el Mega Pascal ( $1\text{MPa} = 1\text{N}/\text{mm}^2$ ) y para masa el kilogramo (kg).

## 1.2.2 Requisitos generales de diseño sismo resistente

Los requisitos generales de diseño sismo resistente enumerados en el Capítulo A.3 del Reglamento NSR-10 aplican para cualquier sistema de resistencia sísmica, sin embargo en este documento se resumen aquellos que frecuentemente son aplicables al sistema de muros portantes.

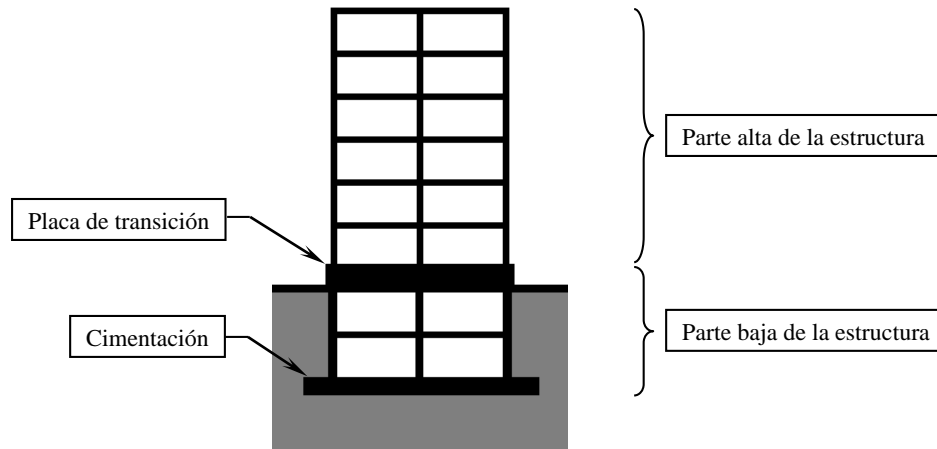
- **Límites de altura para los sistemas estructurales (A.3.2.3 NSR-10)**

En la Tabla A.3-1 Sistema estructural de muros de carga, presentada en el Anexo A, se proporciona los límites de altura medidos en metros a partir de la base de la edificación o en número de pisos, para cada una de las zonas de amenaza sísmica. De igual manera esta tabla suministra los valores del coeficiente de capacidad de disipación de energía básico,  $R_0$  y del coeficiente de sobrerresistencia,  $\Omega_0$ .

- **Combinación de sistemas estructurales en la altura (A.3.2.4 NSR-10) y configuración estructural de la edificación (A.3.3 NSR-10)**

En las últimas décadas se ha observado un incremento en el uso del sistema estructural de muros de carga gracias a las ventajas que ofrece a nivel económico y de comportamiento estructural. Y a la vez se ha visto la necesidad de optimizar las áreas construibles dentro de las ciudades, razón por la cual los arquitectos y constructores han propuesto diseños en los cuales es preciso que los sótanos o primeros niveles dispongan de áreas libres que permitan tener espacios comerciales o el parqueadero de vehículos y en los niveles siguientes implantar un edificio de muros de 7, 8 y más niveles para uso residencial. Es entonces cuando se empieza hablar de las placas de transición o también conocidas como losas de transferencia.

El Reglamento NSR-10 considera esta situación como una combinación de sistemas estructurales en altura, en el cual, la parte baja del edificio tiene un sistema de resistencia sísmica basado en pórticos o muros de carga con luces libres entre elementos estructurales que pueden oscilar entre los 8 y 10 metros. Sobre esta estructura se apoya otra, denominada en el Reglamento, como la parte alta del edificio y en donde encontramos el sistema de muros de carga. En la Figura 1-1 se puede distinguir cada una de estas partes de la estructura. El Reglamento exige cumplir la condición de una estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez e indica que es imprescindible evaluar y cumplir los requisitos presentados en la Tabla A.3-5 presentada en el Anexo C. De igual manera indica que bajo ninguna circunstancia se puede tener una estructura rígida apoyada sobre una con menor rigidez.

**Figura 1-1:** Partes de la estructura

Fuente: elaboración propia.

Una vez analizados los requisitos definidos en la Tabla A.3-5 del Reglamento, se pueden llegar a presentar dos casos.

Caso 1. Si se cumplen los tres requisitos especificados en el Reglamento, es decir:

- a. ambas partes de la estructura, consideradas separadamente, se clasifican como regulares;
- b. el promedio de las rigideces de piso de la parte baja es por lo menos 10 veces el promedio de las rigideces de piso de la parte alta y
- c. el periodo de la estructura, considerada como un todo, no es mayor que 1.1 veces el periodo de la parte alta, considerada como una estructura independiente.

Se deben adoptar las siguientes consideraciones:

- Se elabora un modelo matemático del edificio con ambas partes de la estructura (baja y alta) y los elementos que sirven de transición entre estas (placa de transición). Para el diseño de los muros estructurales de la parte alta, se restringe los desplazamientos verticales en la placa de transición. Para el diseño de la placa de transición y los elementos de la parte baja, se debe quitar dicha restricción.
- La evaluación de derivas de la parte alta se puede realizar con la restricción de desplazamientos verticales mencionada anteriormente.
- Si los niveles de la parte baja se encuentran por debajo de la superficie del terreno, no se debe incluir la masa en los elementos (vigas, viguetas, losas, columnas o muros) que la componen.

- Cada parte de la edificación se analiza y diseña como una estructura separada, empleando los respectivos valores de coeficiente de capacidad de disipación de energía básico  $R_0$ . En la parte superior flexible, cuyo sistema de resistencia sísmica son muros de carga de concreto reforzado, se utiliza:  $R_0 = 5.0$  para DES,  $R_0 = 4.0$  para DMO y  $R_0 = 2.5$  para DMI. La parte rígida inferior se diseña con el valor apropiado de  $R_0$ , según el sistema de resistencia sísmica adoptado y las reacciones de la parte alta, obtenidas del análisis respectivo, se amplifican por la relación entre el valor de  $R_0$  para la parte superior y el valor de  $R_0$  de la parte baja.
- Es importante verificar que no se presente irregularidades de tipo 1aA (Irregularidad en rigidez) o 1bA (Irregularidad extrema en rigidez) en ninguno de los niveles. Siempre la rigidez de un nivel debe ser menor respecto a la del piso inferior.

Caso 2. Si la estructura no cumple con alguno de los requisitos descritos en los literales a, b o c de la Tabla A.3-5 del Reglamento, se considera irregular y deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Revisar la configuración estructural (A.3.3.2 NSR-10)
- Evaluar la configuración en planta (A.3.3.4 NSR-10), en la altura (A.3.3.5) y por ausencia de redundancia (A.3.3.8) de la estructura y determinar los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía causado por irregularidades ( $\phi_p, \phi_a, \phi_r$ ). Véase Anexo C.
- Aplicar las limitaciones a las irregularidades en planta, en la altura y por ausencia de redundancia de acuerdo a lo definido en A.3.3.6, A.3.3.7 y A.3.3.8.
- Realizar la respectiva reducción del coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$  para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia ( $R = \phi_p \phi_a \phi_r R_0$ ). La parte alta de la estructura se diseña con su respectivo valor de  $R$  y la parte baja con el menor valor de  $R$ , entre el  $R$  obtenido para la parte alta y el  $R$  obtenido de multiplicar el  $R_0$  de la parte de abajo por el coeficiente de la irregularidad Tipo 4P (Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales,  $\phi_p = 0.8$ ) y la Tipo 4A (Desplazamiento dentro del plano de acción,  $\phi_a = 0.8$ ).
- De acuerdo a lo especificado en A.3.2.4.1 (Máximo valor de  $R$  permitido) las estructuras que combinen en la altura diferentes sistemas estructurales se clasifican como irregulares del tipo 5aA (Discontinuidad en la resistencia) o 5bA (Discontinuidad extrema en la resistencia). Por lo tanto el valor de  $R$  debe revisarse nivel a nivel. Como máximo debe ser el menor valor de  $R$  de los sistemas estructurales que se estén combinando por encima de ese nivel.

- Si la estructura presenta irregularidades del tipo 4P (Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales) y 4A (Desplazamientos dentro del plan de acción) se debe cumplir con los requisitos definidos en A.3.6.12 (Elementos verticales discontinuos).
  - Se elabora un modelo matemático del edificio con ambas partes de la estructura (baja y alta) y los elementos que sirven de transición entre estas (placa de transición). Para el diseño de los muros estructurales de la parte alta, se restringe los desplazamientos verticales en la base de esta. Para el diseño de la placa de transición y los elementos de la parte baja, se debe quitar dicha restricción.
  - La evaluación de derivas de la parte alta se realiza sin la restricción de desplazamientos verticales mencionada anteriormente. Se considera la estructura como un todo.
  - Si los niveles de la parte baja se encuentran por debajo de la superficie del terreno, no se debe incluir la masa en los elementos (vigas, viguetas, losas, columnas o muros) que la componen.
- **Evaluación de la deriva (A.6.3 NSR-10)**

El Reglamento NSR-10 presenta para edificaciones con sistemas de resistencia sísmica basados en muros estructurales y que cumplan con una serie de condiciones, un procedimiento alternativo para la evaluación de la deriva máxima.

**A.6.3.1.3** — En los pisos superiores de edificaciones que cumplen las condiciones (a) a (e) presentadas a continuación, se permite calcular la deriva máxima del piso de la forma alternativa que se obtiene con la expresión A.6.3-2 indicada en esta sección.

- (a) La edificación tiene diez o más pisos de altura sobre su base.
- (b) El procedimiento alternativo solo es aplicable en los pisos superiores localizados por encima de dos tercios de la altura de la edificación medida desde su base.
- (c) El sistema estructural de resistencia sísmica es diferente a pórtico resistente a momento.
- (d) La edificación se clasifica como regular tanto en planta como en altura de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3.
- (e) El índice de estabilidad,  $Q_i$ , es menor de 0.10 en todos los pisos donde sería aplicable este procedimiento alternativo.

La máxima deriva del piso  $i$ ,  $\Delta_{\max}^i$ , en el procedimiento alternativo corresponde a la máxima deriva de las dos direcciones principales en planta,  $j$ , calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta_{\text{cm},j}^i = \delta_{\text{cm},j}^{i-1} - 0.5 \left[ \frac{(\delta_{\text{cm},j}^{i-1} - \delta_{\text{cm},j}^{i-2})(h_p^i + h_p^{i-1})}{h_p^{i-1}} + \delta_{\text{cm},j}^{i-2} \right] - 0.5\delta_{\text{cm},j}^{i-1} \quad (\text{A.6.3-2})$$

Los requisitos del Reglamento NSR-10 pertenecientes a los temas enumerados a continuación están fuera del alcance del presente documento, sin embargo se recomienda realizar un análisis y estudio



cuidadoso de cada uno de ellos, ya que los resultados obtenidos se verán reflejados finalmente en los valores de las sollicitaciones aplicables al diseño de los muros en concreto reforzado.

- Definición de zonas de amenaza sísmica y movimientos de diseño (Capítulo A.2)
- Método de análisis sísmico (Capítulo A.4 Fuerza horizontal equivalente y Capítulo A.5 Análisis dinámico)
- Derivas (Capítulo A.6)
- Interacción suelo-estructura (Capítulo A.7)
- Efectos sísmicos sobre elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica (Capítulo A.8)
- Elementos no estructurales (Capítulo A.9)
- Cargas (Título B)

### 1.2.3 Requisitos de resistencia y funcionamiento

Los requisitos mencionados en esta sección corresponden a las combinaciones de mayoración de carga y los factores de reducción de resistencia utilizados para el diseño de elementos estructurales como los muros de concreto reforzado.

- **Resistencia requerida (C.9.2 NSR-10).**

**C.9.2.1** — La resistencia requerida  $U$  debe ser por lo menos igual al efecto de las cargas mayoradas en las ecuaciones (C.9-1) a (C.9-7). Debe investigarse el efecto de una o más cargas que no actúan simultáneamente.

$$U = 1.4D \quad (C.9-1)$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le) \quad (C.9-2)$$

$$U = 1.2D + 1.6 (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le) + 1.0 (L \text{ ó } 0.5W) \quad (C.9-3)$$

$$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5 (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le) \quad (C.9-4)$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L \quad (C.9-5)$$

$$U = 0.9D + 1.0W \quad (C.9-6)$$

$$U = 0.9D + 1.0E \quad (C.9-7)$$

- **Resistencia de diseño (C.9.3 NSR-10).**

**C.9.3.1** — La resistencia de diseño proporcionada por un elemento, sus conexiones con otros elementos, así como sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, cortante y torsión, deben tomarse como la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones del Título C del Reglamento NSR-10, multiplicada por los factores  $\phi$  de reducción de resistencia dados en C.9.3.2, C.9.3.4 y C.9.3.5.

**C.9.3.2.2** — Secciones controladas por compresión como se definen en C.10.3.3:

- (a) Elementos con refuerzo en espiral según C.10.9.3..... 0.75  
 (b) Otros elementos reforzados..... 0.65

Para las secciones en las que la deformación unitaria neta a la tracción en el acero extremo en tracción en el estado de resistencia nominal,  $\epsilon_s$ , se encuentra entre los límites para secciones controladas por compresión y las secciones controladas por tracción, se permite que  $\phi$  aumente linealmente desde el valor correspondiente a las secciones controladas por compresión hasta 0.90, en la medida que  $\epsilon_s$  aumente desde el límite de deformación unitaria controlado por compresión hasta 0.005.

En forma alternativa, cuando se usa el Apéndice C-B, para elementos en los cuales  $f_y$  no exceda 420 MPa, con refuerzo simétrico, y cuando  $(d - d') / h$  no es menor de 0.70, se permite aumentar  $\phi$  linealmente hasta 0.90, en la medida que  $\phi P_n$  disminuye desde  $0.10f'_c A_g$  hasta cero. Para otros elementos reforzados  $\phi$  puede incrementarse linealmente a 0.90 en la medida que  $\phi P_n$  disminuye desde  $0.10f'_c A_g$  o  $\phi P_b$ , el que sea menor, hasta cero.

- C.9.3.2.3 — Cortante y torsión..... 0.75

## 1.2.4 Flexión y cargas axiales

A continuación se resumen las disposiciones del Capítulo C.10 del Reglamento, estas aplican al diseño de muros portantes de concreto reforzado sometidos a flexión o cargas axiales, o a la combinación de flexión y cargas axiales:

### ▪ Suposiciones de diseño (C.10.2 NSR-10)

El factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro  $\beta_1$ , utilizado en la expresión para calcular el valor de la relación  $c/l_w$  se determina según:

C.10.2.7.3 — Para  $f'_c$  entre 17 y 28 MPa, el factor  $\beta_1$  se debe tomar como 0.85. Para  $f'_c$  superior a 28 MPa,  $\beta_1$  se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo,  $\beta_1$  no debe ser menor de 0.65.

### ▪ Principios y requisitos generales (C.10.3 NSR-10)

La resistencia axial de diseño  $\phi P_n$  de elementos en compresión se determina según:

C.10.3.6.1 — Para elementos no preesforzados con refuerzo en espiral que cumplan con C.7.10.4, o para elementos compuestos que cumplan con C.10.13:

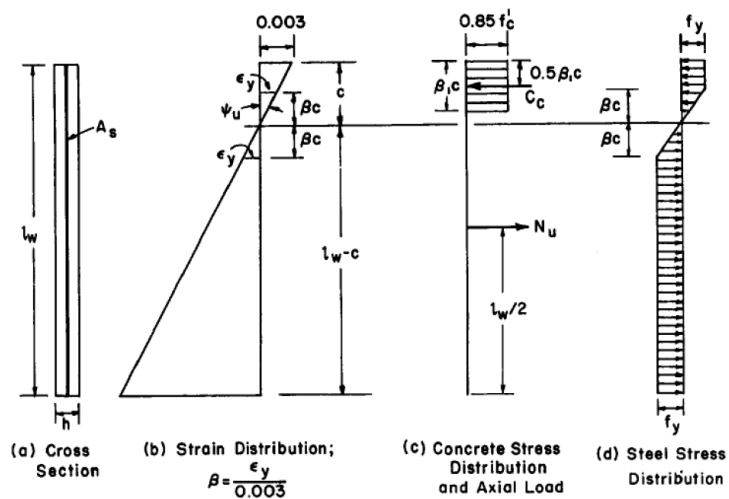
$$\phi P_n = 0.75\phi [0.85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (C.10-1)$$

**C.10.3.6.3** — Para elementos preesforzados, la resistencia axial de diseño,  $\phi P_n$ , no debe tomarse mayor que 0.80 (para elementos con refuerzo en espiral) ó 0.75 (para elementos con estribos) de la carga axial de diseño con excentricidad nula  $\phi P_o$ .

La metodología propuesta en el presente documento para determinar la resistencia a flexión en muros estructurales se sustenta en las ecuaciones propuestas por Cárdenas y Magura<sup>1</sup>. Estas ecuaciones fueron respaldadas en investigaciones adelantadas por la Portland Cement Association (PCA) e hicieron parte del código ACI 318-71. Permitían a partir de cálculos sencillos determinar el refuerzo uniformemente distribuido en un muro, metodología que aún sigue teniendo vigencia. La Figura 1-2 ofrece una ilustración de las suposiciones adoptadas por Cárdenas y Magura, según ellos la resistencia a flexión de muros rectangulares con refuerzo vertical uniformemente distribuido y sometidos a una carga axial menor a la que produce una condición de falla balanceada, se puede aproximar a:

$$\phi M_n = \phi 0.50 A_s f_y l_w \left( 1 + \frac{P_u / \phi}{A_s f_y} \right) \left( 1 - \frac{c}{l_w} \right) \tag{Ec. 1-1}$$

**Figura 1-2:** Hipótesis para la resistencia a flexión en muros rectangulares



Fuente: CÁRDENAS, Alex. y MAGURA, Donald. Strength of High-Rise Shear Walls – Rectangular Cross Sections. Response of Multistory Concrete Structures to Lateral Forces. Publicación Especial. Detroit, Michigan: ACI, 1973. v. 36, p. 150.

<sup>1</sup> CÁRDENAS, Alex. y MAGURA, Donald. Strength of High-Rise Shear Walls – Rectangular Cross Sections. Response of Multistory Concrete Structures to Lateral Forces. Publicación Especial. Detroit, Michigan: ACI, 1973. v. 36, p. 119-150.

De igual manera propusieron una ecuación para calcular la distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro  $c$ .

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\alpha + \omega}{2\omega + 0.85\beta_1} \quad \text{Ec. 1-2}$$

Donde,

$$\omega = \rho_v \frac{f_y}{f_c'} \quad \text{Ec. 1-3}$$

$$\alpha = \frac{N_u}{f_c' l_w b_w} \quad \text{Ec. 1-4}$$

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{si } f_c' \leq 28\text{MPa} \\ 1.05 - \frac{f_c'}{140} \geq 0.65 & \text{si } f_c' > 28\text{MPa} \end{cases} \quad \text{Ec.1-5}$$

Finalmente,

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\frac{P_u/\phi}{f_c' l_w b_w} + \rho_v \frac{f_y}{f_c'}}{2\rho_v \frac{f_y}{f_c'} + 0.85 \left(1.05 - \frac{f_c'}{140}\right)} \quad \text{Ec. 1-6}$$

## 1.2.5 Cortante

Los requisitos del Capítulo C.11 del Reglamento para el diseño y revisión de muros portantes en concreto reforzado sometidos a fuerza cortante son las siguientes:

- **Resistencia al cortante (C.11.1 NSR-10)**

**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

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

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

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

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.11.1.1.1** — Al determinar  $V_n$ , debe considerarse el efecto de cualquier abertura en los elementos.

▪ **Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados (C.11.2 NSR-10)**

**C.11.2.1.2** — Para elementos sometidos a compresión axial:

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{C.11-4})$$

La cantidad  $N_u / A_g$  debe expresarse en MPa.

**C.11.2.1.3** — Para elementos sometidos a tracción axial significativa,  $V_c$ , debe tomarse como cero a menos que se haga un análisis más detallado usando C.11.2.2.3.

▪ **Disposiciones especiales para muros (C.11.9 NSR-10).**

**C.11.9.3** —  $V_n$  en cualquier sección horizontal para cortante en el plano del muro no debe tomarse mayor que  $0.83\sqrt{f'_c}hd$ , donde  $h$  es el espesor del muro y  $d$  se define en C.11.9.4.

**C.11.9.4** — Para el diseño de fuerza cortante horizontal en el plano del muro,  $d$  debe considerarse igual a  $0.8l_w$ . Se puede utilizar un valor mayor de  $d$ , igual a la distancia de la fibra extrema en compresión a la resultante de las fuerzas de todo el refuerzo en tracción, cuando la ubicación de la resultante se determine por un análisis de compatibilidad de deformaciones.

**C.11.9.5** — A menos que se haga un cálculo más detallado de acuerdo con C.11.9.6,  $V_c$  no se debe tomar mayor que  $0.17\lambda\sqrt{f'_c}hd$  para muros sometidos a compresión axial, ni  $V_c$  debe tomarse mayor que el valor dado en C.11.2.2.3 para muros sometidos a tracción axial.

**C.11.9.9.1** — Donde  $V_u$  exceda  $\phi V_c$ , el refuerzo para cortante horizontal debe diseñarse para satisfacer las ecuaciones (C.11-1) y (C.11-2), donde  $V_s$  se debe calcular por medio de:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (\text{C.11-29})$$

donde  $A_v$  es el área de refuerzo horizontal para cortante con espaciamiento  $s$ , y  $d$  se determina de acuerdo con C.11.9.4.

**C.11.9.9.2** — La cuantía de refuerzo horizontal para cortante,  $\rho_t$ , 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  $l_w / 5$ ,  $3h$  ó 450 mm, donde  $l_w$  es la longitud total del muro.

## 1.2.6 Muros

El Capítulo C.14 del Reglamento menciona los requisitos que deben aplicarse para el diseño de muros sometidos a carga axial, con o sin flexión. En esta sección se resumen aquellos que deben ser tenidos en cuenta para un sistema de resistencia sísmica basado en muros de concreto reforzado.

### ▪ Refuerzo mínimo (C.14.3 NSR-10).

**C.14.3.2** — La cuantía mínima para refuerzo vertical  $\rho_v$ , es:

- (a) 0.0012 para barras corrugadas no mayores que No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm) con  $f_y$  no menor que 420 MPa, o
- (b) 0.0015 para otras barras corrugadas, o
- (c) 0.0012 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor que MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro).

**C.14.3.3** — La cuantía mínima para refuerzo horizontal,  $\rho_h$ , es:

- (a) 0.0020 para barras corrugadas no mayores que No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm) con  $f_y$  no menor que 420 MPa, o
- (b) 0.0025 para otras barras corrugadas, o
- (c) 0.0020 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor que MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro).

**C.14.3.4** — Los muros con un espesor mayor que 250 mm, excepto los muros de sótanos, deben tener el refuerzo en cada dirección colocado en dos capas paralelas a las caras del muro de acuerdo con:

- (a) Una capa consistente en no menos de 1/2, y no más de 2/3 del refuerzo total requerido para cada dirección debe colocarse a no menos de 50 mm ni a más de 1/3 del espesor del muro a partir de la superficie exterior.
- (b) La otra capa, consistente en el resto del refuerzo requerido en esa dirección, debe colocarse a no menos de 20 mm ni a más de 1/3 del espesor del muro a partir de la superficie interior.

**C.14.3.5** — El refuerzo vertical y horizontal debe espaciarse a no más de tres veces el espesor del muro, ni de 450 mm.

**C.14.3.6** — El refuerzo vertical no necesita estar confinado por estribos laterales cuando el refuerzo vertical no es mayor de 0.01 veces el área total de concreto, o cuando el refuerzo vertical no se requiere como refuerzo de compresión.

**C.14.3.7** — Alrededor de vanos de ventanas, puertas y aberturas de similar tamaño, además del refuerzo mínimo requerido por C.14.3.1, deben colocarse por lo menos dos barras No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm) en todos los muros que tengan dos capas de refuerzo en ambas direcciones y una barra No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm) en los muros que tengan una sola capa de refuerzo en ambas direcciones. Estas barras deben anclarse para desarrollar el  $f_y$  en tracción en las esquinas de las aberturas.

## 1.2.7 Requisitos de diseño sismo resistente

A continuación se presenta una reseña de las disposiciones descritas en el Capítulo C.21 del Reglamento para el análisis y diseño de elementos de concreto reforzado, las cuales son aplicables a estructuras de muros portantes en las cuales las fuerzas de diseño relacionadas con los movimientos sísmicos, se han determinado con base en la disipación de energía en el rango no lineal de respuesta.

- **Concreto en estructuras con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES) (C.21.1.4 NSR-10).**

**C.21.1.4.2** — La resistencia especificada a la compresión del concreto,  $f'_c$ , no debe ser menor que 21 MPa. Se exime de esta restricción a las estructuras hasta de tres pisos cuyo sistema de resistencia sísmica consista en muros de carga.

**C.21.1.4.3** — La resistencia especificada a la compresión del concreto liviano,  $f'_c$ , no debe ser mayor que 35 MPa a menos que se demuestre, por medio de evidencia experimental, que los elementos estructurales hechos con dicho concreto liviano proporcionan resistencia y tenacidad iguales o mayores que las de elementos comparables hechos con concreto de peso normal de la misma resistencia. El factor de modificación  $\lambda$  para concreto de peso liviano en este Capítulo debe concordar con C.8.6.1 a menos que específicamente se indique de otro modo.

**C.8.6.1** — Para el uso de concreto de peso liviano, debe emplearse el factor de modificación  $\lambda$  como multiplicador de  $\sqrt{f'_c}$  en todas las ecuaciones y secciones aplicables del Título C del Reglamento NSR-10, donde  $\lambda = 0.85$  para concreto liviano de arena de peso normal y 0.75 para los otros concretos de peso liviano. Se permite la interpolación entre 0.75 y 0.85, con base en fracciones volumétricas, cuando una porción de los agregados finos de peso liviano es reemplazada por agregado fino de peso normal. Se permite la interpolación lineal entre 0.85 y 1.0 para el concreto que contiene agregado fino de peso normal y una combinación de agregados gruesos de peso normal y de peso liviano. Para el concreto de peso normal  $\lambda = 1.0$ . Si se especifica la resistencia promedio a la tracción por hendimiento del concreto de peso liviano,  $f_{ct}$ ,

$$\text{entonces } \lambda = f_{ct} / \left( 0.56 \sqrt{f'_c} \right) \leq 1.0$$

- **Refuerzo en estructuras con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES) (C.21.1.5 NSR-10).**

**C.21.1.5.2** — Todo el refuerzo corrugado (C.3.5.3.1) debe resistir fuerzas axiales y de flexión inducidas por sismo en elementos de pórticos, muros estructurales y vigas de acople, debe cumplir con las disposiciones de NTC 2289 (ASTM A706M), Grado 420 MPa y especialmente (a) y (b):

- (a) La resistencia real a la fluencia basada en ensayos realizados por la fábrica no sea mayor que  $f_y$  en más de 125 MPa;
- (b) La relación entre la resistencia real de tracción y la resistencia real de fluencia no sea menor de 1.25.

▪ **Muros estructurales intermedios con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) (C.21.4 NSR-10).**

**C.21.4.4** — Los muros estructurales intermedios con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y sus vigas de acople deben cumplir todos los requisitos de C.21.9 para muros estructurales especiales (DES) vaciados en sitio, con las excepciones y modificaciones que se presentan a continuación:

**C.21.4.4.1** — En C.21.9.6.2(a) para muros con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) el cociente  $\delta_u/h_w$  en la ecuación (C.21-11) no debe tomarse menor que 0.0035.

**C.21.4.4.2** — En C.21.9.6.3 para muros con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) los elementos de borde deben colocarse cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos  $E$ , sobrepase  $0.3f_c$ . Los elementos de borde especiales pueden ser descontinuados donde el esfuerzo de compresión calculado sea menor que  $0.22f_c$ . El resto de los requisitos de esta sección se aplican como dice allí.

**C.21.4.4.3** — Para muros con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) la sección C.21.9.6.4(c) debe substituirse por:

(c) El refuerzo transversal de los elementos especiales de borde debe cumplir con los requisitos especificados en C.21.3.5.6 (a), (b), (c) y (d), C.21.3.5.7 y C.21.3.5.8 excepto que no se necesita cumplir con la ecuación (C.21-2) y el límite de espaciamiento del refuerzo transversal de C.21.3.5.6(c) debe ser de al menos un medio de la dimensión menor del elemento de borde pero no hay necesidad que este espaciamiento sea menor de 75 mm.

Teniendo en cuenta que en C.21.4.4.3 se hace referencia a los requisitos para el diseño de columnas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) (C.21.3.5 NSR-10), a continuación se enumeran:

**C.21.3.5.1** — La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, no debe ser menor de 250 mm. Las columnas en forma de T, C o I pueden tener una dimensión mínima de 0.20 m pero su área no puede ser menor de 0.0625 m<sup>2</sup>.

**C.21.3.5.6** — En ambos extremos del elemento debe proporcionarse estribos cerrados de confinamiento con un espaciamiento de  $s_o$  por una longitud  $l_o$ , medida desde la cara del nudo. El espaciamiento  $s_o$  no debe exceder el menor de (a), (b), (c) y (d):

- (a) Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
- (b) 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- (c) Un tercio de la menor dimensión de la sección transversal de la columna.
- (d) 150 mm.

La longitud  $l_o$ , no debe ser menor que la mayor entre (e), (f) y (g):

- (e) Una sexta parte de la luz libre de la columna.
- (f) La mayor dimensión de la sección transversal de la columna.
- (g) 500 mm.



**C.21.3.5.7** — El área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento rectangulares,  $A_{sh}$ , colocados en la longitud  $l_o$  no debe ser menor que la requerida por las ecuaciones (C.21-2) y (C.21-3).

$$A_{sh} = 0.2 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \tag{C.21-2}$$

$$A_{sh} = 0.06 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \tag{C.21-3}$$

**C.21.3.5.8** — El refuerzo transversal debe disponerse mediante estribos cerrados de confinamiento rectilíneos, como mínimo de diámetro N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm), con o sin ganchos suplementarios. Se pueden usar ganchos suplementarios del mismo diámetro de barra con el mismo espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento. Cada extremo del gancho suplementario debe enlazar una barra perimetral del refuerzo longitudinal. Los extremos de los ganchos suplementarios consecutivos deben alternarse a lo largo del refuerzo longitudinal. El espaciamiento de los ganchos suplementarios o ramas con estribos de confinamiento rectilíneos dentro de una sección del elemento no debe exceder de 350 mm centro a centro en la dirección perpendicular al eje longitudinal del elemento estructural.

▪ **Muros estructurales especiales y vigas de acople con capacidad especial de disipación de energía (DES) (C.21.9 NSR-10).**

**CR21.9.1** — Esta sección contiene requisitos para el diseño y el detallado de muros estructurales especiales de concreto reforzado y todos sus componentes incluyendo vigas de acople y machones de muro. Los machones de muro se definen en C.2.2. Los requisitos de diseño para segmentos de muros verticales dependen de la relación de las dimensiones del segmento de muro en el plano del muro ( $h_w / l_w$ ), y la relación de las dimensiones de su sección horizontal ( $l_w / b_w$ ) y generalmente siguen la descripción dada en la Tabla CR21.9.1. Los límites de las relaciones dimensionales provienen de un criterio de ingeniería. La intención es que la fluencia del refuerzo vertical debida a flexión en el machón limite la demanda de cortante.

**Tabla CR21.9.1 — Requisitos que dominan en el diseño de segmentos verticales de muro\***

Altura libre del segmento vertical de muro / longitud del segmento vertical de muro ( $h_w / l_w$ )	Longitud del segmento vertical de muro / Espesor del muro ( $l_w / b_w$ )		
	$l_w / b_w \leq 2.5$	$2.5 < l_w / b_w \leq 6.0$	$l_w / b_w > 6.0$
$h_w / l_w < 2.0$	Muro	Muro	Muro
$h_w / l_w \geq 2.0$	El machón de muro debe cumplir los requisitos de diseño de columnas, véase C.21.9.8.1	El machón de muro debe cumplir los requisitos de columna o requisitos alternos, véase C.21.9.8.1	Muro

\*  $h_w$  es la altura libre,  $l_w$  es la longitud horizontal, y  $b_w$  es el espesor del alma del segmento de muro.

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

**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  $\rho_l$  y  $\rho_t$  requeridas en C.14.3.

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

**C.21.9.4.1** —  $V_n$ , de muros estructurales no debe exceder:

$$V_n = A_{cv} \left( \alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right) \quad (C.21-10)$$

donde el coeficiente  $\alpha_c$  es **0.25** para  $h_w/l_w \leq 1.5$ , **0.17** para  $h_w/l_w = 2.0$  y varía linealmente entre **0.25** y **0.17** para  $h_w/l_w$  entre **1.5** y **2.0**.

**C.21.9.4.2** — En C.21.9.4.1 el valor de la relación  $h_w/l_w$  empleada para determinar  $V_n$  para segmentos de un muro debe ser la mayor entre aquella para todo el muro y aquella para el segmento de muro considerado.

**C.21.9.4.3** — Los muros deben tener refuerzo por cortante distribuido que proporcione resistencia en dos direcciones ortogonales en el plano del muro. Si  $h_w/l_w$  no excede de **2.0**, la cuantía de refuerzo  $\rho_l$  no debe ser menor que la cuantía de refuerzo  $\rho_t$ .

**C.21.9.4.4** — Para todos los segmentos verticales de muro que resisten una fuerza lateral común, el  $V_n$  combinado no debe tomarse mayor que  $0.66A_{cv}\sqrt{f'_c}$ , donde  $A_{cv}$  es el área bruta combinada de todos los segmentos de muro. Para cualquiera de los segmentos de muro individuales,  $V_n$  no debe suponerse mayor que  $0.83A_{cw}\sqrt{f'_c}$  donde  $A_{cw}$  representa el área de la sección transversal de concreto del segmento vertical de muro considerado.

**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:

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

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  $\delta_u$ . El cociente  $\delta_u/h_w$  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  $M_u/4V_u$ .

**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  $c - 0.1l_w$  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  $\delta_u$ .

(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.

(d) El refuerzo transversal de los elementos de borde en la base del muro debe extenderse dentro del apoyo al menos  $l_d$ , de acuerdo con C.21.9.2.3, del refuerzo longitudinal de mayor diámetro de los elementos especiales de borde, a menos que los elementos especiales de borde terminen en una zapata o losa de cimentación, en donde el refuerzo transversal de los elementos especiales de borde se debe extender, a lo menos, 300 mm dentro de la zapata o losa de cimentación.

(e) El refuerzo horizontal en el alma del muro debe extenderse hasta al menos 150 mm del borde del muro. El refuerzo debe anclarse para desarrollar  $f_y$  dentro del núcleo confinado del elemento de borde usando ganchos estándar o cabezas. Cuando el elemento de borde confinado tiene una dimensión suficiente para desarrollar el refuerzo horizontal del alma del muro y el valor de  $A_v f_y / s$  del refuerzo horizontal del alma del muro no es mayor que el valor de  $A_{sh} f_y / s$  del refuerzo transversal del elemento de borde paralelo al refuerzo del alma, se permite terminar el refuerzo del alma sin un gancho estándar o una cabeza.

En el literal (c) de C.21.9.6.4 se hace referencia a los requisitos para el diseño de elementos sometidos a flexión y carga axial pertenecientes a pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES) (C.21.6 NSR-10), por lo tanto dichas referencias son presentadas a continuación:

**C.21.6.1.1** — La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, no debe ser menor de 300 mm. Las columnas en forma de T, C o I pueden tener una dimensión mínima de 0.25 m pero su área no puede ser menor de 0.09 m<sup>2</sup>.

**C.21.6.4.2** — El refuerzo transversal debe disponerse mediante espirales sencillas o traslapadas, que cumplan con C.7.10.4, estribos cerrados de confinamiento circulares o estribos cerrados de confinamiento rectilíneos con o sin ganchos suplementarios. Se pueden usar ganchos

suplementarios del mismo diámetro de barra o con un diámetro menor y con el mismo espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento. Cada extremo del gancho suplementario debe enlazar una barra perimetral del refuerzo longitudinal. Los extremos de los ganchos suplementarios consecutivos deben alternarse a lo largo del refuerzo longitudinal. El espaciamiento de los ganchos suplementarios o ramas con estribos de confinamiento rectilíneos,  $h_x$ , dentro de una sección del elemento no debe exceder de 350 mm centro a centro.

**C.21.6.4.3** — La separación del refuerzo transversal a lo largo del eje longitudinal del elemento no debe exceder la menor de (a), (b), y (c):

- (a) La cuarta parte de la dimensión mínima del elemento.
- (b) Seis veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor, y
- (c)  $s_o$ , según lo definido en la ecuación (C.21-5).

$$s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (C.21-5)$$

El valor de  $s_o$  no debe ser mayor a 150 mm y no es necesario tomarlo menor a 100 mm.

**C.21.6.4.4** — Debe proporcionarse refuerzo transversal en las cantidades que se especifican de (a) o (b), a menos que en 21.6.5 se exija mayor cantidad.

- (a) La cuantía volumétrica de refuerzo en espiral o de estribos cerrados de confinamiento circulares,  $\rho_s$ , no debe ser menor que la requerida por la ecuación (C.21-6):

$$\rho_s = 0.12 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (C.21-6)$$

- (b) El área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento rectangulares,  $A_{sh}$ , no debe ser menor que la requerida por las ecuaciones (C.21-7) y (C.21-8).

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s_b f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (C.21-7)$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{s_b f_c'}{f_{yt}} \quad (C.21-8)$$

**C.21.9.6.5** — Cuando no se requieren elementos especiales de borde de acuerdo con lo indicado en C.21.9.6.2 ó C.21.9.6.3, se debe cumplir con (a) y (b):

- (a) Si la cuantía de refuerzo longitudinal en el borde del muro es mayor que  $2.8/f_y$ , el refuerzo transversal de borde debe cumplir con lo indicado en C.21.6.4.2 y C.21.9.6.4(a). El espaciamiento longitudinal máximo del refuerzo transversal en el borde no debe exceder de 200 mm;

- (b) Excepto cuando  $V_u$  en el plano del muro sea menor que  $0.083 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c'}$ , el refuerzo transversal que termine en los bordes de muros estructurales sin elementos de borde debe tener un gancho estándar que enganche el refuerzo de borde, o el refuerzo de borde debe estar abrazado con estribos en U que estén empalmados al refuerzo horizontal y tengan su mismo tamaño y espaciamiento.

## **2. Herramienta informática para el análisis y diseño de muros de concreto reforzado**

La herramienta informática está conformada por hojas de cálculo en Microsoft Excel 2013 y una aplicación desarrollada en Visual Studio 2015, que de manera conjunta permiten analizar de forma muy rápida para cada una de las combinaciones de carga, los muros que hacen parte del sistema de resistencia sísmica y al final ofrecer un resumen con la envolvente de diseño. Su programación se enmarca en el cumplimiento de los requisitos del Reglamento NSR-10 y en el funcionamiento de manera complementaria con los software de análisis y diseño estructural disponibles en el medio, como ETABS, SAP2000, ROBOT STRUCTURAL, STAAD/PRO, entre otros; sus datos de entrada son las solicitaciones (carga axial, fuerza cortante y momento) obtenidas del modelo matemático de la estructura elaborado con alguno de ellos.

### **2.1 Aplicación en Visual Basic**

La aplicación desarrollada en Visual Studio 2015, básicamente es un complemento de Excel que permite automatizar y agilizar algunas tareas en las hojas de cálculo para el análisis y diseño de los muros. Dichas tareas son descritas en detalle más adelante. El lenguaje de programación utilizado fue Visual Basic, uno de los más empleados por programadores alrededor del mundo por su completo conjunto de herramientas que permiten desarrollar aplicaciones en un entorno gráfico como Windows 7.

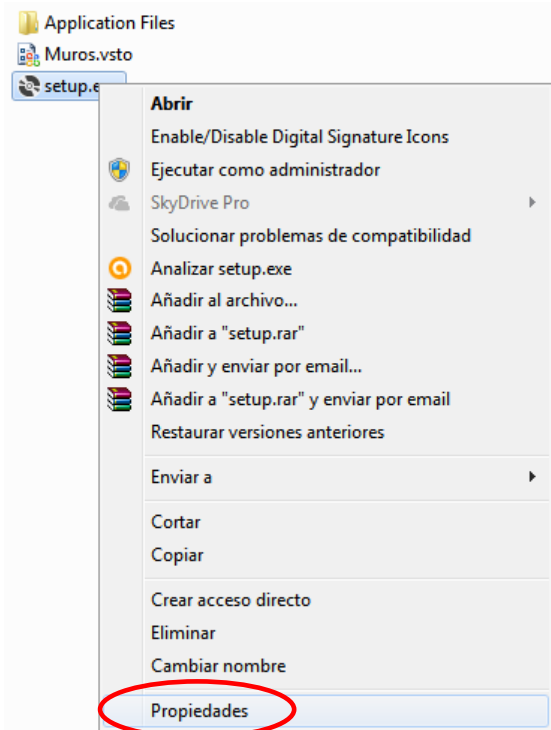
#### **2.1.1 Instalación de la aplicación**

La carpeta llamada “*Aplicación Muros de Concreto*” que se encuentra en el CD del Anexo D, debe ser copiada en el disco duro del computador en el cual se desea colocar la aplicación. Esta carpeta contiene el ejecutable (setup.exe) que debe ser instalado siguiendo los pasos enumerados a continuación:

**Paso 1. Instalación de firmas digitales.** Las firmas digitales se utilizan para autenticar la información digital, como documentos, macros o aplicaciones con un código fuente. Ayudan a proporcionar seguridad en cuanto a la autenticidad, integridad y origen del documento. Excel utiliza las firmas digitales del contenido de un libro de trabajo para garantizar que el libro no ha sido alterado ni guardado desde que se firmó. También ayudan a distinguir libros de Excel, macros y aplicaciones con un código fuente creados por un origen de confianza de aquellos no deseados y potencialmente perjudiciales (virus). La instalación se realiza de la siguiente manera:

- a. Ingresar a las *Propiedades* del archivo setup.exe (clic con el botón derecho del mouse sobre el ejecutable de la aplicación).

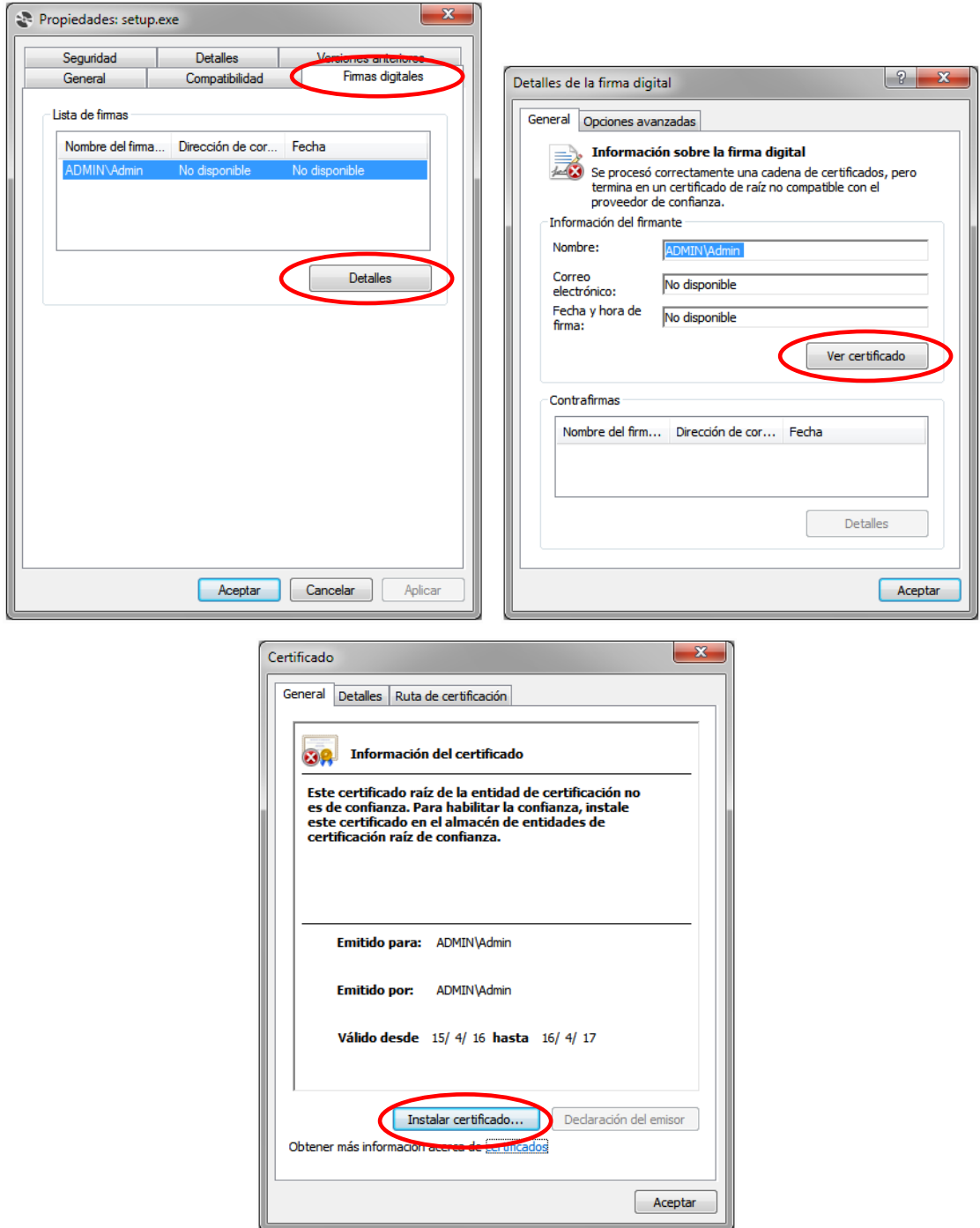
**Figura 2-1:** Instalación de firmas digitales 1.



Fuente: elaboración propia.

- b. En la ventana desplegada, ingresar a *Firmas digitales*. En la *Lista de firmas* seleccionar la llamada *ADMIN\Admin* y entrar a *Detalles*, *Ver certificado* e *Instalar certificado*.

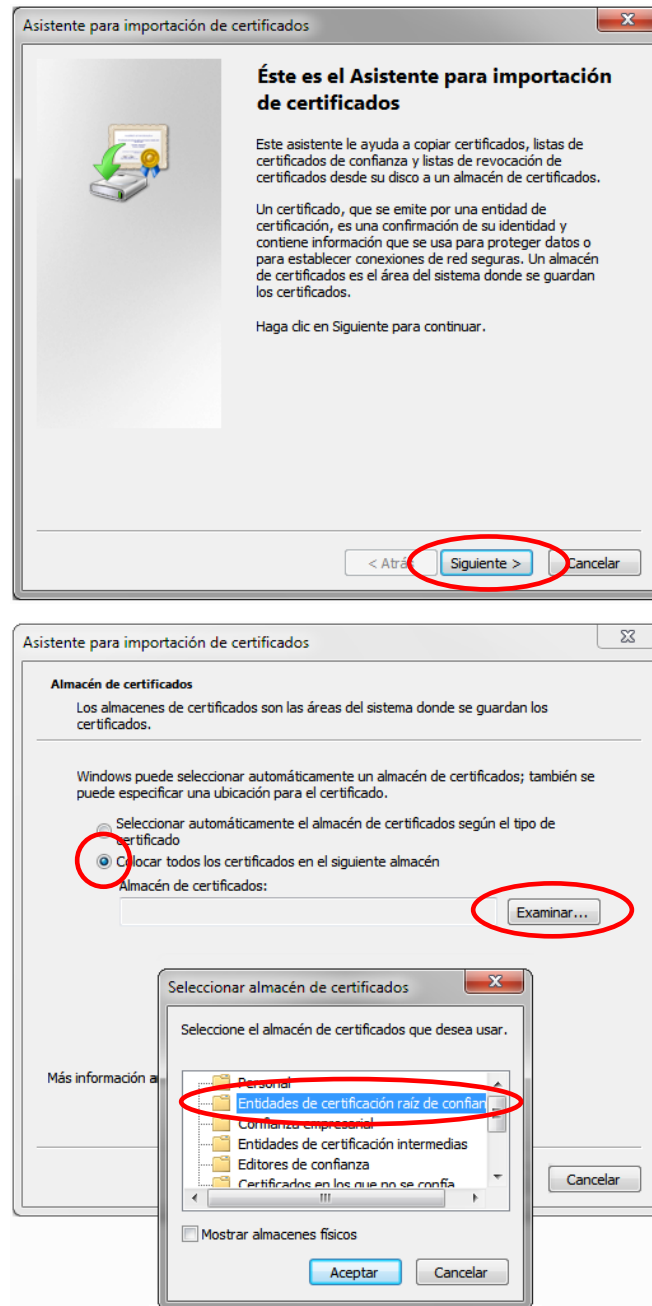
**Figura 2-2:** Instalación de firmas digitales 2.



Fuente: elaboración propia.

- c. Estando en el *Asistente para importación de certificados* ingresar al *Almacén de certificados*, seleccionar la opción *Colocar todos los certificados en el siguiente almacén* y *Examinar*. En ese momento aparece una lista de carpetas (almacenes de certificados) en la cual se debe seleccionar la denominada *Entidades de certificación raíz de confianza* y *Finalizar*.

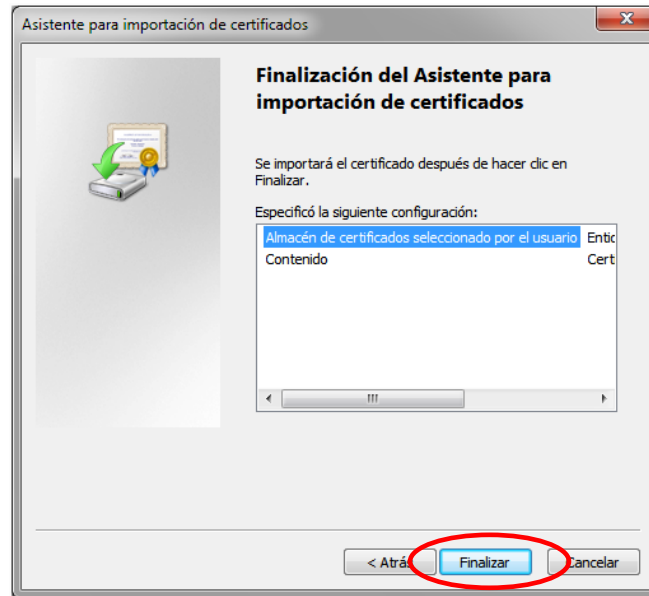
**Figura 2-3:** Instalación de firmas digitales 3.



Fuente: elaboración propia.



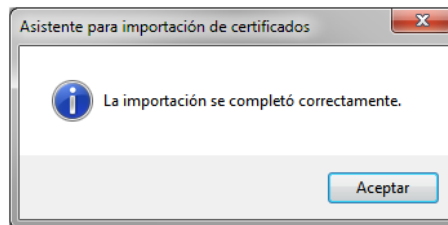
**Figura 2-4:** Instalación de firmas digitales 4.



Fuente: elaboración propia.

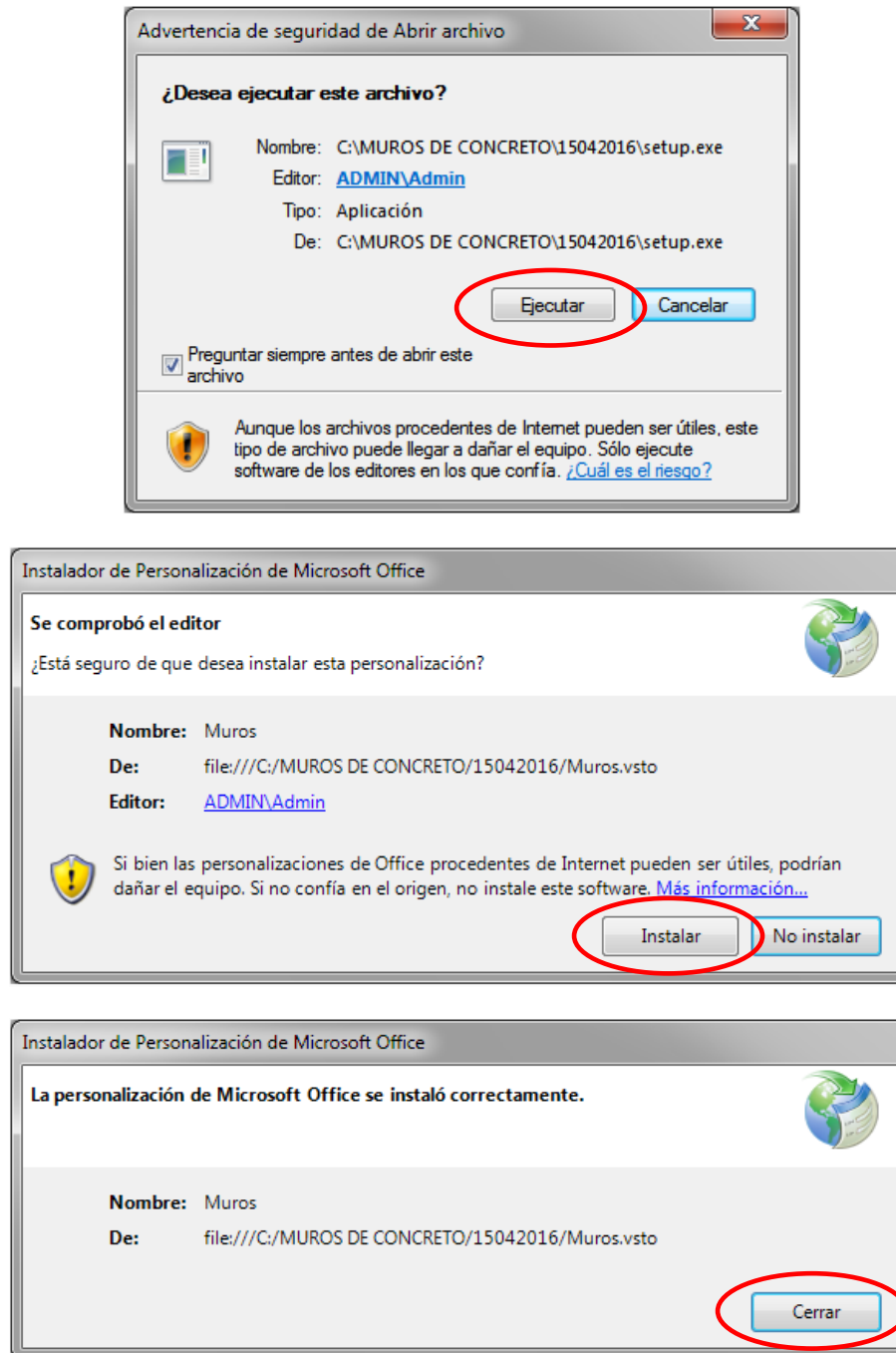
- d. Después de finalizada la importación de las firmas digitales aparece un mensaje de confirmación “*La importación se completó correctamente*”.

**Figura 2-5:** Instalación de firmas digitales 5.



Fuente: elaboración propia.

**Paso 2. Instalación del archivo setup.exe.** Una vez han sido instaladas las firmas digitales se ejecuta (doble clic) el archivo setup.exe. En la ventana desplegada oprimir la opción *Ejecutar* y posteriormente *Instalar*. Finalizada la instalación aparecerá un mensaje de confirmación “*La personalización de Microsoft Office se instálalo correctamente*”.

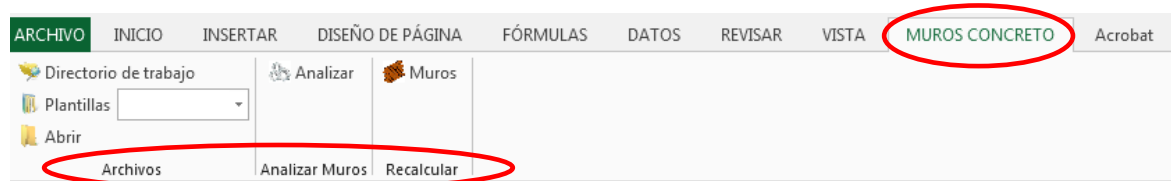
**Figura 2-6:** Instalación de la aplicación *Muros de Concreto*.

Fuente: elaboración propia.

## 2.1.2 Entorno de la aplicación Muros de concreto

Teniendo instalada la aplicación, al abrir el libro de Excel “*Muros de Concreto*” o denominada de ahora en adelante *Plantilla*, que se encuentra en el CD del Anexo D, se puede observar que en la barra de menú se ha incorporado una pestaña llamada “*MUROS CONCRETO*”, tal como se muestra en la Figura 2-7. En ella se encuentran los botones de comando que gestionan las plantillas y ejecutan las tareas de análisis y diseño. Estos botones se encuentran divididos en tres módulos denominados *Archivos*, *Analizar Muros* y *Recalcular*.

**Figura 2-7:** Barra de menú y comandos



Fuente: elaboración propia.

El módulo *Archivos* está conformado por tres botones: *Directorio de trabajo*, el cual permite gestionar la búsqueda de la carpeta que contiene los libros o plantillas de Excel. Los botones *Plantillas* y *Abrir*, como sus nombres lo indican permite seleccionar y abrir la plantilla para iniciar un proyecto de diseño o abrir uno que ha sido procesado con anterioridad.

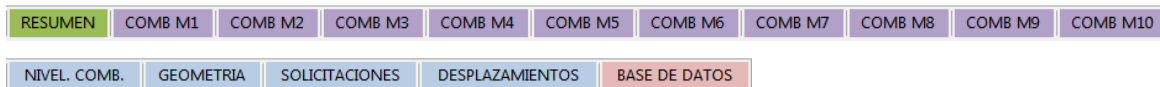
Luego se encuentra el módulo *Analizar Muros*. Y dentro de este el botón *Analizar*, cuya tarea principal es ejecutar en las plantillas de análisis y diseño un proceso de iteración con los valores de cuantía vertical requerida para cada una de las combinaciones de carga. El valor inicial de cuantía mínima es el definido según los requisitos de C.14.3.2 y C.21.9.2.1 del Reglamento NSR-10, este valor de cuantía se incrementa si las solicitaciones así lo requieren hasta que la relación Momento Resistente ( $\phi M_n$ ) / Momento Actuante ( $M_u$ ) sea igual o mayor que 1.0 ( $\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0$ ). En la sección 2.1.6.8(a) se habla detalladamente de este análisis.

Por último se encuentra el módulo *Recalcular*. El botón de comando *Muros* permite seleccionar y realizar nuevamente el diseño de aquellos elementos que en un análisis preliminar no cumplen con alguno de los requisitos por cortante y/o carga axial. Después de ajustar las dimensiones de estos elementos se repite el análisis sin la necesidad de llevar a cabo el proceso con todos los muros del nivel objeto de estudio.

## 2.2 Libros o plantillas de Excel

Un libro o plantilla de Excel permite efectuar para un piso determinado de la edificación, el análisis y diseño estructural de los muros que lo componen. Así por ejemplo, para un edificio de 10 pisos se requiere la utilización de 10 plantillas. Dicho de otra forma, el diseño de un muro se ha dividido en tramos de acuerdo al número de pisos que tenga la edificación. Nivel a nivel se realiza los respectivos análisis, se determina las condiciones a las cuales se ve sometido el elemento y se especifica el refuerzo necesario. Cada plantilla está conformada por 16 hojas de cálculo divididas de la siguiente manera: un grupo de cuatro hojas en las cuales se suministran los datos de entrada provenientes del modelo matemático, elaborado previamente en un software de análisis y diseño estructural. Estas hojas se han identificado en las etiquetas o pestañas con los nombres *NIVEL.COMB.*, *GEOMETRÍA*, *SOLICITACIONES* y *DESPLAZAMIENTOS*. Un segundo grupo compuesto por diez hojas de cálculo que llevan a cabo el diseño de los elementos para cada una de las combinaciones de carga, están designadas con el prefijo *COMB M*. La hoja *RESUMEN*, en la que se presenta la envolvente de diseño y finalmente la hoja *BASE DE DATOS* con tablas que proporcionan información (propiedades dimensionales de barras corrugadas, propiedades dimensionales y cuantía del refuerzo electrosoldado, longitudes mínimas de traslapeo y áreas para diferentes combinaciones de barras) a cada una de las hojas *COMB M* y *RESUMEN*. La Figura 2-8 muestra la barra de etiquetas y la manera como están organizadas e identificadas acorde a la función que desempeñan.

**Figura 2-8:** Etiquetas que identifican las hojas de cálculo de la plantilla de Excel.



Fuente: elaboración propia.

Generalmente los programas de análisis y diseño estructural entregan información y resultados (propiedades de materiales y secciones, cargas asignadas, parámetros sísmicos, desplazamientos, fuerzas en los elementos, entre otras) de manera gráfica y por medio de tablas. Estas últimas son de gran utilidad, ya que de manera muy rápida proporcionan gran cantidad de datos que pueden ser fácilmente manipulados para posteriores análisis y cálculos. Las hojas *NIVEL.COMB.*, *GEOMETRÍA*, *SOLICITACIONES* y *DESPLAZAMIENTOS* tienen de forma predeterminada el formato, orden y nombre que las identifica, tal cual las genera el software de análisis y diseño *ETABS*, uno de los más utilizados en el medio Colombiano. Pero esto no significa que las tablas procedentes de otros programas no funcionen, solo hay que colocar aquellos datos que sean necesarios en el orden

y espacios preestablecidos. Para facilidad del usuario en cada una de las tablas se ha resaltado (textos en negrita y relleno de celda color rojo claro) los rangos de datos que necesariamente deben ser suministrados, como se indica en la Figura 2-9, Figura 2-10, Figura 2-12 y Figura 2-13.

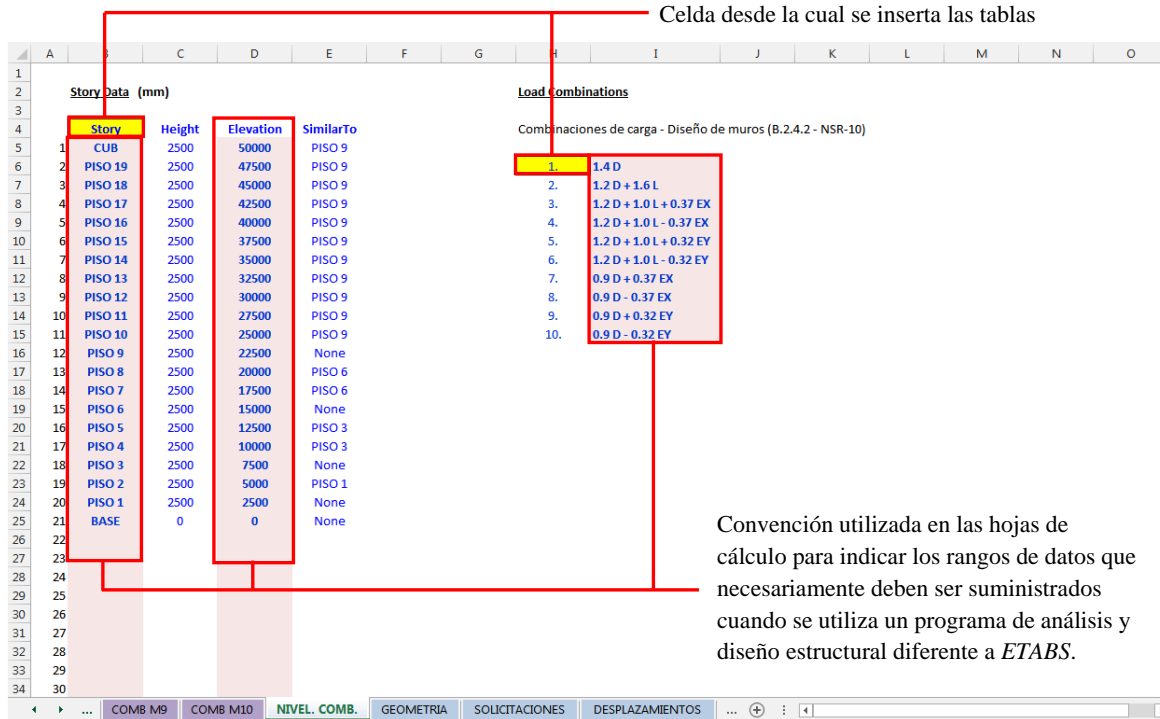
A continuación se explica en detalle las características y funciones de cada una de las hojas descritas anteriormente.

### **2.2.1 Hoja de cálculo NIVEL. COMB.**

La etiqueta denominada *NIVEL. COMB.*, es la primera de las cuatro hojas de cálculo que contienen los datos de entrada. En ella se encuentra la tabla *Story Data* que proporciona la altura total de los muros medida desde su base. Información útil para determinar la necesidad de colocar elementos de borde de acuerdo con C.21.9.6.2 del Reglamento. Es conveniente mencionar que la tabla *Story Data* generada por el programa *ETABS* indica la altura total de cada nivel medida desde la base del modelo de la estructura. Esto es importante cuando se tienen placas de transición, ya que la altura a tener en cuenta, es la tomada desde la base del muro, es decir desde la placa de transición y no la medida desde la base del modelo. En estos casos se debe asegurar que los datos de altura consignados en la tabla, correspondan realmente con la altura de los muros.

La tabla *Load Combinations*, como su nombre lo indica presenta las combinaciones y factores de carga aplicables al análisis y diseño de muros estructurales definidos en el Capítulo B.2.4 (Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia) del Reglamento. La información de esta tabla es direccionada a cada una de las hojas *COMB M* y *RESUMEN*, tiene por objetivo indicar al usuario la combinación y factores de carga que producen las solicitaciones actuantes sobre cada uno de los elementos. La Figura 2-9 ilustra la forma como se encuentran organizadas las tablas e indica los datos que están vinculados a las demás hojas de cálculo. De igual manera indica la convención de la celda que se toma como referencia para insertar las tablas obtenidas del software de análisis y diseño.

Figura 2-9: Hoja de cálculo *NIVEL. COMB.*

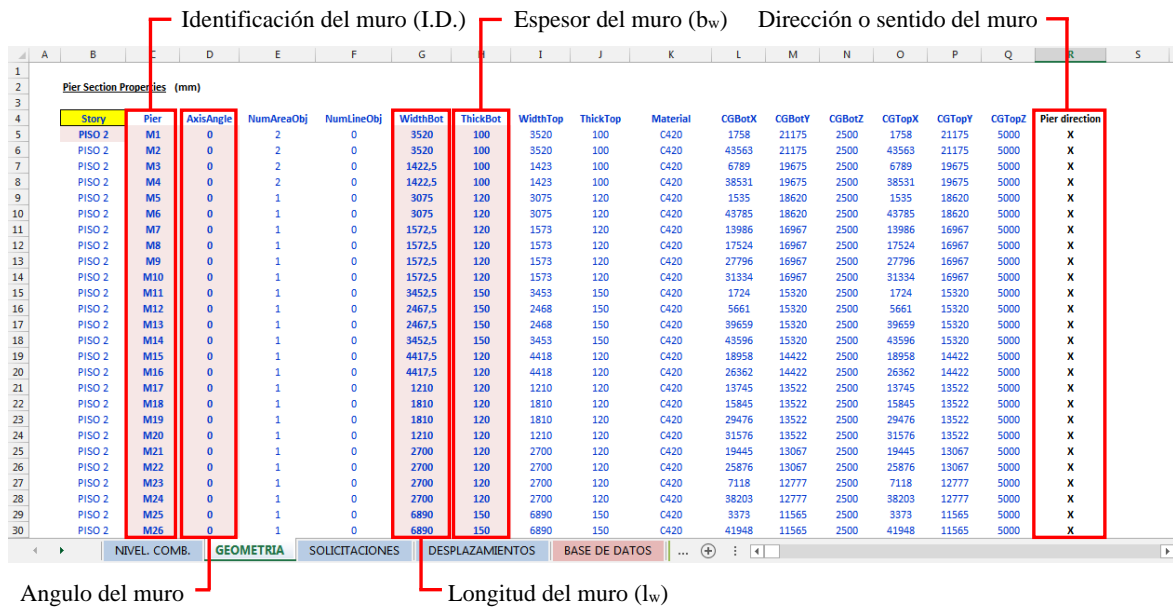


Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2 Hoja de cálculo GEOMETRIA

La Figura 2-10 muestra la hoja de cálculo identificada con la etiqueta *GEOMETRÍA*, la cual contiene la tabla *Pier Section Properties* que suministra la identificación, espesor, longitud y dirección de los muros. La hoja de cálculo define en función del ángulo del muro (visto en planta) la dirección o sentido que tiene cada uno y asigna la letra X para los muros con ángulos menores o iguales a 45° respecto a la horizontal y la letra Y para aquellos con ángulos entre los 45° y 90°. Como se verá más adelante, en la hoja de cálculo *DESPLAZAMIENTOS*, establecer la dirección de los elementos permite asignar a cada uno el desplazamiento que tiene en la parte superior y en el sentido paralelo a su plano, información necesaria en el análisis de los elementos de borde de acuerdo con C.21.9.6.2 del Reglamento.

**Figura 2-10:** Hoja de cálculo *GEOMETRÍA*.

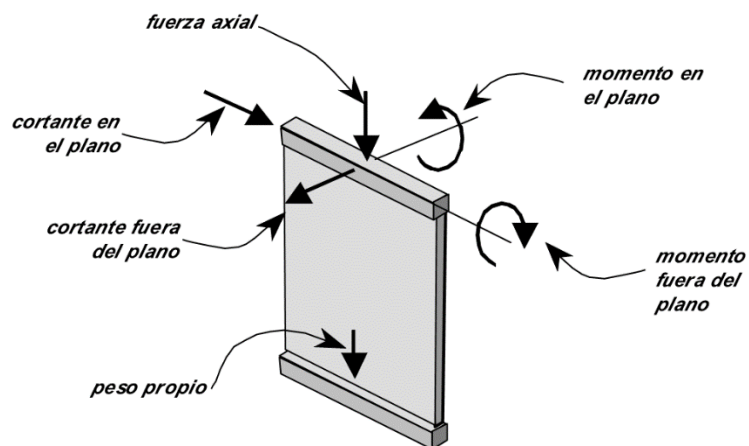


Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3 Hoja de cálculo SOLICITACIONES

Las fuerzas actuantes que normalmente intervienen en un muro se ilustran en la Figura 2-11.

**Figura 2-11:** Fuerzas actuantes en un muro dentro y fuera del plano

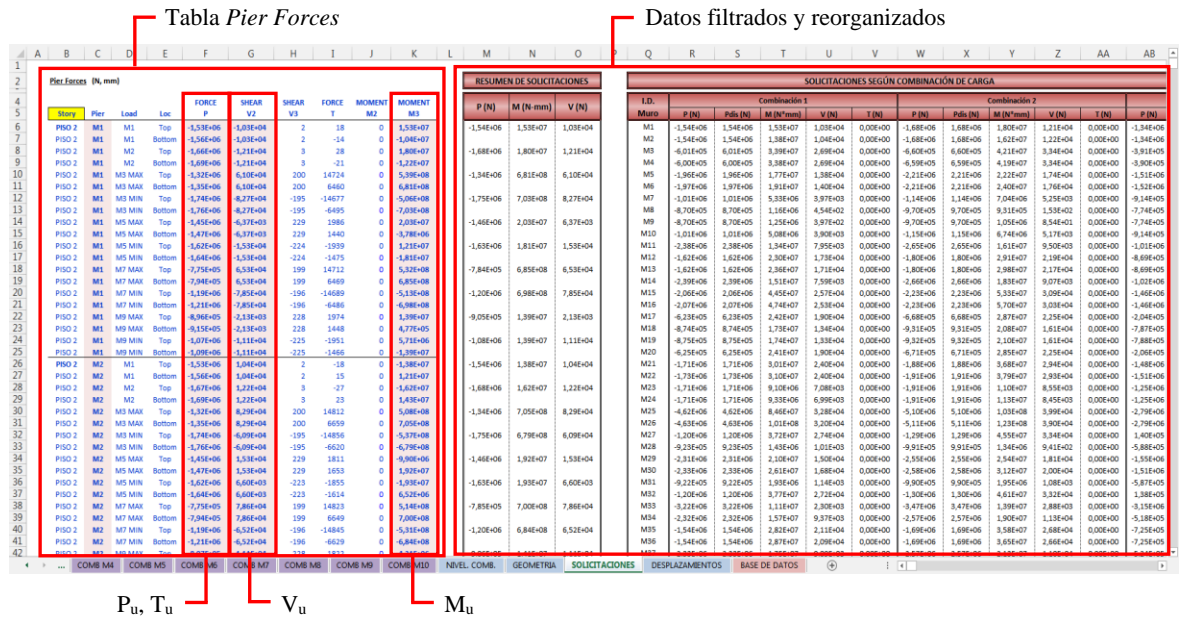


Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Farmington Hills, Michigan, USA: ACI, 2015. p 175.

En edificaciones de muros portantes en las cuales existe una gran cantidad de elementos en ambas direcciones, las fuerzas de diseño se pueden limitar a peso propio, carga axial, cortante y momento en el plano. El cortante y momento fuera del plano generan solicitaciones de baja magnitud y por lo tanto se pueden despreciar, aunque siempre existirán casos en que será necesario el buen criterio y experiencia del ingeniero diseñador para determinar si es conveniente considerarlas. Cuando es pertinente diseñar los muros bajo el efecto de todas las fuerzas actuantes, las propiedades que deben tener en el modelo matemático son de tipo *Shell*, de lo contrario son de tipo *Membrane*.

La hoja de cálculo *SOLICITACIONES* tiene la tarea de filtrar y organizar los valores de carga axial ( $P_u$ ,  $T_u$ ), cortante en el plano ( $V_u$ ) y momento en el plano ( $M_u$ ) en función de las combinaciones de carga. Posteriormente estos datos son direccionados a cada una de las hojas identificadas con el prefijo *COMB M*. La hoja se encuentra estructurada en dos partes, una para colocar los datos de la tabla *Pier Forces*, obtenida del software de diseño, y otra en la que son filtrados y reorganizados, tal como se ilustra en la Figura 2-12.

Figura 2-12: Hoja de cálculo *SOLICITACIONES*.



Fuente: elaboración propia.

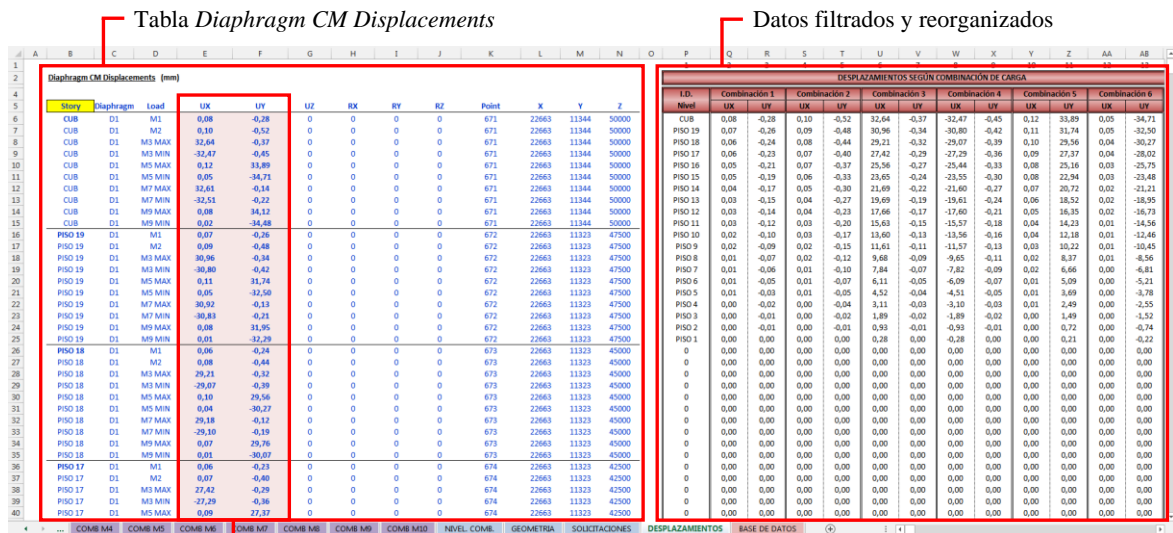


### 2.2.4 Hoja de cálculo DESPLAZAMIENTOS

Esta hoja de cálculo filtra y organiza los valores de desplazamiento que se producen en la parte superior de los muros. Esto se hace necesario para los análisis que evalúan si las zonas de compresión de estos deben ser reforzadas con elementos de borde. Para determinar dichos valores se recurre al concepto del diafragma rígido. El diafragma es un sistema estructural que vincula los muros de manera que actúan como un conjunto, es decir, todos a la vez y de igual forma. Debido a la rigidez que tiene en su propio plano, distribuye las fuerzas sísmicas entre los diferentes elementos, haciendo que el muro trabaje principalmente en su dirección longitudinal. Los desplazamientos en cada dirección (sentido x y sentido y), para cada nivel y combinación de carga son proporcionados por la tabla *Diaphragm CM Displacements*.

Al igual que la hoja de cálculo *SOLICITACIONES* esta se encuentra dividida en dos partes, tal como se indica en la Figura 2-13. Una en la cual se colocan los datos de la tabla *Diaphragm CM Displacements* y otra en la que son filtrados y reorganizados.

Figura 2-13: Hoja de cálculo *DESPLAZAMIENTOS*.



Desplazamientos en la dirección x y y

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.5 Hoja de cálculo BASE DE DATOS

Las hojas de cálculo *COMB M* y *RESUMEN* dentro sus análisis calculan el área de refuerzo vertical y horizontal requerido en cada muro. De acuerdo al criterio del ingeniero diseñador este puede ser especificado en barras corrugadas, malla electrosoldada o una combinación de las dos; por lo tanto es necesario disponer de una base de datos con las propiedades dimensionales del acero de refuerzo. La hoja *BASE DE DATOS* contiene una serie de tablas con las especificaciones técnicas del acero de refuerzo comercializado por los principales proveedores a nivel nacional. Las tablas contenidas en la hoja de cálculo son las siguientes:

- Características de las barras de acero
- Longitud mínima de traslapos en barras de acero
- Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones
- Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en una dirección
- Área de refuerzo para diferente diámetro y cantidad de barras

La información de estas tablas puede ser actualizada o editada por el usuario de acuerdo a las necesidades particulares del proyecto objeto de diseño. En la Figura 2-14 se ilustra la configuración de la hoja de cálculo.

Figura 2-14: Hoja de cálculo *BASE DE DATOS*.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES															
Características de las barras y mallas de acero						Características de las barras de acero				Longitud mínima de traslapos en barras de acero					
ID Barra / Malla	φ Barra / Malla	Separación (mm)	A <sub>s</sub> Ref. long. (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub> Ref. transv. (mm <sup>2</sup> )	Masa (kg/m <sup>2</sup> )	No. de designación	φ nominal (mm)	A <sub>s</sub> barra (mm <sup>2</sup> )	Masa (kg/m)	No. de designación	Traslapo (mm)				
1	#3	100	710	710	5.60	#3	9.53	71	0.56	#3	500				
2	#3	150	473	473	3.73	#4	12.70	129	0.99	#4	600				
3	#3	200	355	355	2.80	#5	15.88	199	1.55	#5	700				
4	#3	250	284	284	2.24	#6	19.05	284	2.24	#6	900				
5	#3	300	237	237	1.87	#7	22.23	387	3.04	#7	1200				
6	#4	100	1290	1290	9.94	#8	25.40	510	3.97	#8	1400				
7	#4	150	860	860	6.63	#10	31.75	819	6.40	#10	1700				
8	#4	200	645	645	4.97										
9	#4	250	516	516	3.98										
10	#4	300	430	430	3.31										
11	#5	100	1990	1990	15.52										
12	#5	150	1327	1327	10.35										
13	#5	200	995	995	7.76										
14	#5	250	796	796	6.21										
15	4.0	150	84	50	1.07										
16	4.5	150	106	50	1.25										
17	5.0	150	131	50	1.45										
18	5.5	150	158	50	1.67										
19	6.5	150	221	50	2.17										
20	7.0	150	257	79	2.68										
21	8.0	150	335	64	3.19										
22	8.0	150	335	79	3.31										
23	8.0	150	335	141	3.81										
24	8.5	150	378	79	3.65										
25	6.0	100	283	79	2.89										
26	7.0	100	385	79	3.71										
27	7.5	100	442	95	4.29										
28	8.0	100	503	141	5.15										
						Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones									
ID Malla	Tipo	Reforzo longitudinal y transversal φ (mm)	Separación (m)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	Masa (kg/m <sup>2</sup> )										
15	A-047	3.0	150	47.42	0.75										
16	A-050	4.0	250	50.27	0.80										
17	A-084	4.0	150	83.78	1.33										
18	A-106	4.5	150	106.03	1.68										
19	A-131	5.0	150	130.90	2.08										
20	A-159	5.5	150	158.99	2.52										
21	A-188	6.0	150	188.50	2.99										
22	A-221	6.5	150	221.22	3.51										
23	A-257	7.0	150	256.56	4.07										
24	A-295	7.5	150	294.52	4.68										
25	A-335	8.0	150	335.10	5.32										
26	A-378	8.5	150	378.30	6.01										
27	A-385	7.0	100	384.85	6.11										
28	A-442	7.5	100	441.79	7.02										

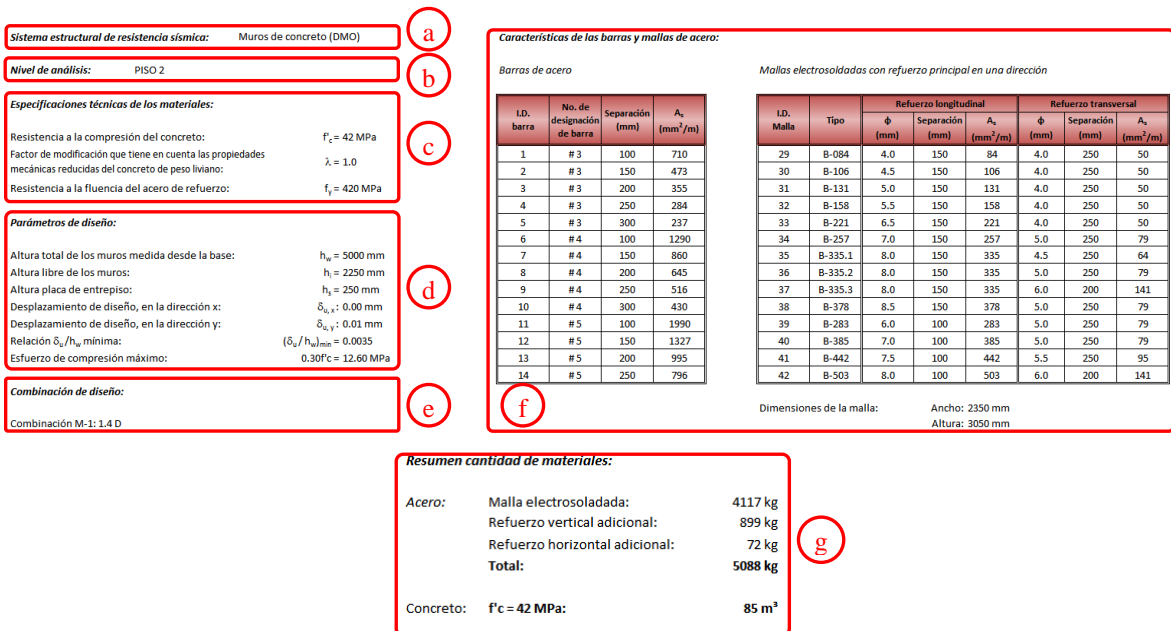
Fuente: elaboración propia.

### 2.2.6 Hojas de cálculo COMB M

Hasta el momento se ha visto las funciones, conceptos y forma en que están organizadas las hojas de cálculo que proporcionan información y soporte a las diez hojas identificadas con el prefijo *COMB M* y a la hoja *RESUMEN*. Ahora se verá en detalle las tareas que realizan y la manera como están estructuradas las hojas en las cuales se realiza el diseño y revisión de los muros para cada una de las combinaciones de carga.

Cada hoja se encuentra conformada por un encabezado que incluye información y parámetros de diseño inherentes a la combinación de carga y una gran tabla en donde se ejecutan los cálculos y revisiones a cada elemento. Es importante mencionar que todas las variables de diseño se definen en la hoja *RESUMEN* y se ven reflejadas de igual manera en las hojas *COMB M*. En la Figura 2-15 se ha numerado los ítems contenidos en el encabezado de las hojas *COMB M* y *RESUMEN* para facilitar su descripción.

**Figura 2-15:** Encabezado de las hojas de cálculo *COMB M* y *RESUMEN*.



Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los ítems:

- a. Sistema estructural de resistencia sísmica: el sistema de resistencia sísmica de la edificación se clasifica dentro de los sistemas dados en la Tabla A.3-1 (Sistema estructural de muros de carga)

---

del Reglamento NSR-10 (Ver Anexo A), en función de los requisitos del material estructural y el grado de disipación de energía en el rango inelástico. Estos sistemas son: muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) y muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES).

- b. Nivel de análisis: indica el nivel o piso para el cual se está realizando el diseño de los muros.
- c. Especificaciones técnicas de los materiales: en esta sección se definen variables de diseño involucradas con la resistencia especificada para el concreto y acero de refuerzo.
  - Resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ): las secciones C.21.1.4.2 y C.21.1.4.3 del Reglamento, delimitan los valores de resistencias para concretos de peso normal y liviano.
  - Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano ( $\lambda$ ): cuando se emplea concreto de peso liviano, definir el valor del factor de modificación descrito en la sección C.8.6.1 del Reglamento. La plantilla trae por defecto para concreto de peso normal  $\lambda = 1.0$ .
  - Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo ( $f_y$ ): la mayor parte del acero de refuerzo comercializado a nivel nacional se encuentra especificado para 420MPa. Sin embargo se sugiere seguir las recomendaciones de C.21.1.5.2 del Reglamento.
- d. Parámetros de diseño: a continuación se describen algunos de los parámetros o variables que intervienen en los cálculos para determinar el área de refuerzo horizontal del muro, el peso del refuerzo vertical y la necesidad de colocar elementos de borde conforme a las dos alternativas descritas en el Reglamento (por desplazamientos y esfuerzos de compresión).
  - Altura total de los muros medida desde la base ( $h_w$ ): esta variable se requiere para determinar la necesidad de colocar elementos de borde de acuerdo a C.21.9.6.2 del Reglamento.
  - Altura libre de los muros ( $h_i$ ): para las hojas de cálculo *COMB M* esta dimensión se involucra en los análisis para hallar el área de refuerzo horizontal del muro y en la expresión que determina el coeficiente que define la contribución relativa de la resistencia del concreto a la resistencia nominal a cortante del muro ( $\alpha_c$ ), descrita en C.21.9.4. En la hoja *RESUMEN* esta variable se emplea en las relaciones dimensionales que determinan si el elemento se diseña como muro o machón de muro (C.21.9.1 NSR-10) y en los cálculos del peso del acero de refuerzo vertical y volumen de concreto.
  - Altura placa de entrepiso ( $h_s$ ): la altura libre de los muros, el espesor de la placa de entrepiso y la longitud de desarrollo de las barras de acero empleadas, permiten calcular la longitud total y peso del refuerzo vertical para cada uno de los elementos.

- Desplazamiento de diseño, en la dirección  $x$  y  $y$  ( $\delta_{u,x}$  o  $\delta_{u,y}$ ): al igual que la altura total de los muros medida desde la base, esta variable hace parte de la expresión para determinar la necesidad de colocar elementos de borde, en C.21.9.6.2. Estos valores son vienen vinculados desde hoja de cálculo *DESPLAZAMIENTOS* y varían según la combinación de carga.
  - Relación  $\delta_u/h_w$  mínima: los valores mínimos para el cociente  $\delta_u/h_w$  se definen en función del grado de disipación de energía en el rango inelástico. Para (DMO) no debe tomarse menor que 0.0035, según C.21.4.4.1 y para (DES) no debe tomarse menor que 0.007, según C.21.9.6.2.
  - Esfuerzo de compresión máximo: cuando se analiza la necesidad de colocar elementos de borde en función del esfuerzo de compresión máximo en las fibras extremas del muro, C.21.4.4.2 y C.21.9.6.3 define los límites según el grado de disipación de energía en el rango inelástico. Se debe colocar elementos de borde cuando el esfuerzo sobrepase  $0.3f_c$  para (DMO) y  $0.2f_c$  para (DES).
- e. Combinación de diseño: cada hoja de cálculo indica la combinación y factores de carga para los cuales está realizando el análisis y diseño de los muros estructurales. Estas son aplicables al Método de resistencia última, acorde a lo establecido en B.2.4.2 ó C.9.2.1 del Reglamento.
- f. Características de las barras y mallas de acero: como se puede apreciar en la Figura 2-15 y Figura 2-16 el encabezado de la hoja de cálculo contiene dos tablas que presentan un resumen con las propiedades dimensionales del acero de refuerzo.

**Figura 2-16:** Tablas que definen las características de las barras y mallas de acero

Características de las barras y mallas de acero:

Barras de acero

I.D. barra	No. de designación de barra	Separación (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> /m)
1	# 3	100	710
2	# 3	150	473
3	# 3	200	355
4	# 3	250	284
5	# 3	300	237
6	# 4	100	1290
7	# 4	150	860
8	# 4	200	645
9	# 4	250	516
10	# 4	300	430
11	# 5	100	1990
12	# 5	150	1327
13	# 5	200	995
14	# 5	250	796

Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones				
Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones				
Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en una dirección				
I.D. Malla	Tipo	Refuerzo longitudinal y transversal		
		$\phi$ (mm)	Separación (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> /m)
15	A-047	3.0	150	47
16	A-050	4.0	250	50
17	A-084	4.0	150	84
18	A-106	4.5	150	106
19	A-131	5.0	150	131
20	A-159	5.5	150	158
21	A-188	6.0	150	188
22	A-221	6.5	150	221
23	A-257	7.0	150	257
24	A-295	7.5	150	295
25	A-335	8.0	150	335
26	A-378	8.5	150	378
27	A-385	7.0	100	385
28	A-442	7.5	100	442

Dimensiones de la malla:

Ancho: 2350 mm  
 Altura: 3050 mm

Fuente: elaboración propia.

- Barras de acero: esta tabla presenta el área de acero para barras corrugadas por unidad de longitud ( $\text{mm}^2/\text{m}$ ) en función del diámetro y separación entre estas. El ítem *I.D. barra* identifica cada una de las alternativas que el usuario de la herramienta informática puede definir para suplir los requerimientos de acero vertical y horizontal en cada muro. Los ítems *No. de designación de barra* y *Separación* pueden ser editados por el usuario y permiten buscar la opción de área de refuerzo más adecuada para el diseño. Finalmente, el ítem *A<sub>S</sub>* indica el área de refuerzo obtenida para cada una de las alternativas planteadas.
  - Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en una/dos direcciones: esta tabla proporciona información de las propiedades dimensionales para refuerzo electrosoldado. Los tipos de mallas y sus especificaciones técnicas fueron escogidas de catálogos de productos de los principales proveedores de acero de refuerzo a nivel nacional. El título de la tabla es un menú desplegable que permite al usuario elegir el tipo de refuerzo electrosoldado que desea emplear en su diseño, se puede elegir entre mallas electrosoldadas con refuerzo principal en una dirección o mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones. Si en algún momento es necesario utilizar refuerzo electrosoldado diferente al definido en estas tablas o emplear el de un fabricante en particular, se puede realizar los cambios desde la hoja de cálculo *BASE DE DATOS*. El uso de malla electrosoldada con refuerzo principal en una dirección genera incertidumbre, ya que existe la posibilidad que en obra se coloque el refuerzo principal en la dirección incorrecta. Por lo tanto, es común encontrar en el diseño de muros estructurales la utilización de mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones eliminando la posibilidad de cometer errores durante la instalación. Sin embargo se pone a disposición del usuario los diferentes tipos de mallas disponibles, para que de acuerdo a su criterio y necesidades del proyecto elija la más adecuada.
  - Dimensiones de la malla: cada fabricante de refuerzo electrosoldado puede llegar a manejar diferentes dimensiones en los paneles que fabrica o producirlos de acuerdo a los requerimientos del constructor o diseñador. En la hoja de cálculo se puede definir las dimensiones del panel típico que permiten determinar el número de mallas por muro y el peso que estas representan.
- g. Resumen cantidad de materiales: en esta sección se presenta un resumen de las cantidades totales de acero de refuerzo y volumen de concreto para el nivel objeto de análisis. El peso del refuerzo se ha discriminado según la cantidad de malla electrosoldada y/o refuerzo vertical u horizontal colocado en los elementos.

Como se mencionó anteriormente cada hoja de cálculo incluye una gran tabla en donde se ejecutan los cálculos y revisiones a cada elemento con base en los requisitos de diseño descritos en el Reglamento NSR-10. Cada fila de esta tabla representa un muro estructural del piso objeto de estudio y se encuentra dividida en 12 secciones para facilitar la ejecución y presentación de los cálculos. La Figura 2-17 ilustra un fragmento de la tabla y la manera como está estructurada.

**Figura 2-17:** Tabla de análisis y diseño de muros (Vista parcial)

Secciones e ítems de análisis

INF. DE LOS MUROS			SOLICITACIONES DE DISEÑO				CUANTÍAS MÍNIMAS			CAPAS DE REFUERZO		CALCULO DE $\phi$		
I.D. Muro	Espesor muro $b_w$ (mm)	Long. muro $L_w$ (mm)	Axial		Momento	Cortante	$V_u$ limite 1 (N)	Cuantía Horizontal ( $\rho_x$ )	Cuantía Vertical ( $\rho_y$ )	$V_u$ limite 2 (N)	# capas de refuerzo	$P_{limite 1}$ (N)	$P_{limite 2}$ (N)	$\phi$
			$P_u$ (N)	$T_u$ (N)	$M_u$ (N-mm)	$V_u$ (N)								
M1	100	3520	1542733	0	1,53E+07	10282	190102	0,0020	0,0012	380203	1	1478400	3305702	0,65
M2	100	3520	1543530	0	1,38E+07	10397	190102	0,0020	0,0012	380203	1	1478400	3305702	0,65
M3	100	1423	600761	0	3,39E+07	26904	76824	0,0020	0,0012	153648	1	597450	1335898	0,65
M4	100	1423	600283	0	3,38E+07	26866	76824	0,0020	0,0012	153648	1	597450	1335898	0,65
M5	120	3075	1963219	0	1,77E+07	13847	199283	0,0020	0,0012	398566	1	1549800	3465353	0,65

RESUMEN   COMB M1   COMB M2   COMB M3   COMB M4   COMB M5   COMB M6   COMB M7   COMB M8   COMB M9   COMB M10

Cada fila representa el análisis y diseño de un muro estructural

Fuente: elaboración propia.

A continuación se enumeran las doce secciones en las que se divide la tabla de análisis y diseño de muros.

- Información de los muros
- Solicitaciones de diseño
- Cuantías mínimas
- Capas de refuerzo
- Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión  $\phi$
- Revisión elementos de borde
- Diseño elementos de borde
- Refuerzo vertical
- Refuerzo horizontal
- Cortante
- Carga axial
- Flexo-compresión

### 2.1.6.1 Información de los muros

La primera sección de la tabla brinda información relacionada con la identificación y dimensiones de los elementos (espesor y longitud), datos que son tomados de la hoja de cálculo *GEOMETRÍA*. En cuanto al espesor de los muros de carga, el numeral C.14.5.3 del Reglamento recomienda que no debe ser menor de 1/25 de la altura o longitud del muro, la que sea menor, ni tampoco menor que 100 mm y en el caso de muros exteriores de sótanos y cimentaciones no debe ser menor a 190mm. La Figura 2-18 muestra la sección y orden de los ítems en el encabezado de la tabla.

**Figura 2-18:** Información de los muros

INF. DE LOS MUROS		
I.D. Muro	Espesor muro $b_w$ (mm)	Long. muro $L_w$ (mm)

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.6.2 Solicitaciones de diseño

Las fuerzas o solicitaciones de diseño son el resultado de los análisis obtenidos del modelo matemático para cada una de las combinaciones de diseño descritas en B.2.4.2 ó C.9.2.1 del Reglamento. Los valores de carga axial ( $P_u$ ,  $T_u$ ), cortante en el plano ( $V_u$ ) y momento en el plano ( $M_u$ ) son tomados de la hoja de cálculo *SOLICITACIONES*. La Figura 2-19 muestra la sección y orden de los ítems en el encabezado de la tabla.

**Figura 2-19:** Solicitaciones de diseño

SOLICITACIONES DE DISEÑO			
Axial		Momento	Cortante
$P_u$ (N)	$T_u$ (N)	$M_u$ (N-mm)	$V_u$ (N)

Fuente: elaboración propia.



**2.1.6.3 Cuantías mínimas**

Los valores de cuantía mínima se determinan de acuerdo a lo establecido en el numeral C.21.9.2.1 y C.21.9.2.2 del Reglamento, en función del valor límite de fuerza cortante mayorada en la sección ( $V_u$ ). En la Figura 2-20 se identifican los ítems de esta sección para facilitar su descripción.

**Figura 2-20:** Cuantías mínimas

CUANTÍAS MÍNIMAS		
$V_{u \text{ límite 1}}$ (N)	Cuantía Horizontal ( $\rho_t$ )	Cuantía Vertical ( $\rho_t$ )
a	b	c

Fuente: elaboración propia.

- a.  $V_{u \text{ límite 1}}$ : en este ítem se evalúa el valor límite de fuerza cortante definido en C.21.9.2.1 NSR-10.

$$V_{u \text{ límite 1}} = \frac{1}{12} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \tag{Ec. 2-1}$$

- b. Cuantía horizontal ( $\rho_t$ ): en esta columna de la tabla se evalúa la condición  $V_u \leq V_{u \text{ límite 1}}$ . Si la condición se cumple los valores de cuantía mínima para refuerzo horizontal son los definidos en C.14.3.3 NSR-10 de lo contrario son los indicados en C.21.9.2.1 NSR-10, es decir, 0.0020 y 0.0025 respectivamente.
- c. Cuantía vertical ( $\rho_t$ ): al igual que en el punto anterior, en esta columna se evalúa la condición  $V_u \leq V_{u \text{ límite 1}}$ . Cuando se cumple la condición dada, el valor de cuantía mínima para refuerzo vertical es 0.0012 según C.14.3.2 NSR-10, de no ser así el valor es 0.0025 según C.21.9.2.1 NSR-10.

**2.1.6.4 Capas de refuerzo**

Son dos los criterios a tener en cuenta para determinar el número de capas o cortinas de refuerzo paralelas a las caras del muro, el espesor del elemento y el valor límite de fuerza cortante mayorada en la sección ( $V_u$ ). Según lo dispuesto en C.14.3.4 NSR-10 en los muros de espesor mayor a 250 mm., excepto en los muros de sótanos, el refuerzo horizontal y vertical debe colocarse en dos capas.

Aunque en los elementos cuyo espesor es menor a 250 mm, no se requiere que el refuerzo se distribuya en dos capas, es conveniente hacerlo para controlar la fisuración por retracción y fraguado y mejorar el confinamiento del concreto, ya que la presencia del refuerzo cerca de las superficies atenúa la fragmentación del concreto durante un sismo severo. Se recomienda que para elementos con espesores superiores a 120 mm se disponga de dos capas de refuerzo.

Ahora, en C.21.9.2.3 NSR-10 se define que debe emplearse al menos dos capas de refuerzo cuando:

$$V_u > \frac{1}{6} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. 2-2}$$

En la Figura 2-21 se puede apreciar los dos ítems de esta sección. En el primero ( $V_u \text{ límite } 2$ ) se determina el valor límite de fuerza cortante definido en la Ecuación 2-2 y en el segundo ( $\# \text{ capas de refuerzo}$ ) se establece el número de capas de refuerzo con base en los dos criterios citados anteriormente.

**Figura 2-21:** Capas de refuerzo



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.6.5 Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión $\phi$

Según lo dispuesto en C.9.3.2.2 del Reglamento, para elementos sometidos a flexo-compresión el valor del coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$  puede aumentar linealmente desde 0.65 para secciones controladas por compresión hasta 0.90 para secciones controladas por tracción, en la medida que  $\phi P_n$  disminuye desde  $0.10 f'_c A_g$  o  $\phi P_b$ , el que sea menor, hasta cero. En la sección de la tabla identificada con el título *CÁLCULO DE  $\phi$* , ver Figura 2-22, se realizan estos análisis de la siguiente manera:

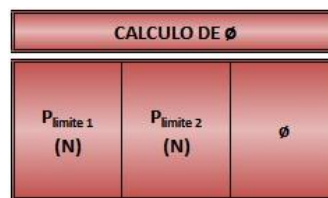
*P<sub>límite 1</sub>*: en este ítem se calcula el primer valor límite de la carga axial nominal de la sección transversal empleando la expresión  $0.10 f'_c A_g$ .

$P_{\text{limite } 2}$ : el segundo valor límite de carga axial nominal en condiciones de deformación unitaria balanceada se calcula a partir de la expresión:

$$\phi P_b = \phi 0.43 f'_c d b_w \quad \text{Ec. 2-3}$$

$\phi$ : en este ítem se compara la carga axial ( $P_u$ ) con el menor valor de los límites establecidos anteriormente y se calcula el valor del coeficiente de reducción de capacidad como lo indica el Reglamento.

**Figura 2-22:** Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión  $\phi$



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.6.6 Revisión elementos de borde

Cuando las cargas laterales por sismos o vientos actúan sobre los muros estructurales generan un comportamiento análogo a una viga en voladizo, en la base donde fueron aplicadas las cargas se presentan esfuerzos de tracción y en el lado opuesto esfuerzos de compresión. Adicionalmente, están sometidos a cargas gravitacionales, lo que podría originar pandeo en el elemento debido a su bajo espesor en la sección transversal. Por lo tanto es necesario en algunas ocasiones, incluir dentro del muro elementos rigidizantes en sus extremos, para así evitar el pandeo y darle un comportamiento más dúctil ante cualquier sollicitación actuante.

La necesidad de colocar elementos de borde en los límites verticales de un muro de concreto reforzado se analiza desde dos enfoques, uno basado en desplazamientos y otro sustentado en esfuerzos. El numeral C.21.9.6.2 del Reglamento, define que para muros continuos desde la base de la estructura hasta la parte superior y que poseen una única sección crítica para flexión y carga axial, se debe determinar la necesidad de colocar elementos de borde a partir de un enfoque basado en desplazamientos. Este procedimiento supone que se requiere de elementos de borde para confinar el concreto en los lugares en donde la deformación unitaria en la fibra extrema de compresión excede

el límite de deformación unitaria asumido en 0.003 cuando el muro alcanza el desplazamiento de diseño ( $\delta_u$ ), lo que puede producir una falla frágil y posible colapso del elemento.

Los muros que no sean continuos desde la base de la estructura hasta la parte superior y que presenten cambios de sección, deben tener elementos de borde en los extremos y alrededor de las aberturas, según lo dispuesto en C.21.9.6.3 NSR-10. El concreto debe confinarse cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema sobrepase  $0.3f'_c$  para (DMO) y  $0.2f'_c$  para (DES) por efecto de fuerzas mayores incluyendo los efectos sísmicos. Los valores de esfuerzo de compresión ( $0.2f'_c$  y  $0.3f'_c$ ) se usan como un valor índice y no necesariamente describe el estado real de esfuerzos que puede desarrollarse en la sección crítica bajo la influencia de las fuerzas de inercia reales para la intensidad esperada del sismo.

Una vez se han conocido los criterios a tener en cuenta para evaluar si es necesario reforzar las zonas de compresión con elementos de borde, se mostrara como dichos criterios se han aplicado en las hojas de cálculo. En la Figura 2-23 se identifican los ítems de esta sección para facilitar su descripción.

**Figura 2-23:** Revisión elementos de borde

REVISIÓN ELEMENTOS DE BORDE				
Dirección muro	$\frac{1}{600 \frac{\delta_u}{h_w}}$	¿Se requiere elemento de borde?	$\frac{c/l_w}{1}$ $\frac{1}{600 \frac{\delta_u}{h_w}}$	$\sigma_{eb}$ (MPa)
a	b	c	d	e

Fuente: elaboración propia.

- Dirección muro*: determinar la dirección o sentido del muro permite asignar a cada uno el desplazamiento inelástico que tiene en la parte superior y en el sentido paralelo a su plano. Como se vio anteriormente la hoja *GEOMETRÍA* define la dirección del muro en función de su ángulo visto en planta.
- La hoja de cálculo determina el valor de la relación  $\delta_u/h_w$  a partir de las variables definidas en el encabezado de la misma y lo compara con los mínimos establecidos por el Reglamento ( $(\delta_u/h_w)_{\min} = 0.0035$  para (DMO) y  $(\delta_u/h_w)_{\min} = 0.007$  para (DES)). Una vez se ha designado el valor de dicha relación se efectúa el cálculo del cociente  $\frac{1}{600 \frac{\delta_u}{h_w}}$ .
- ¿Se requiere elemento de borde?*: se debe colocar elemento de borde si se cumple la condición:

$$\frac{c}{l_w} \geq \frac{1}{600(\delta_u/h_w)} \quad \text{Ec. 2-4}$$

Donde el valor de  $c/l_w$ , se calcula con la Ecuación 1-6.

- d. El valor del cociente  $\frac{c/l_w}{\frac{1}{600\frac{\delta_u}{h_w}}}$  expresado en porcentaje, indica un orden de magnitud en la necesidad

de colocar el elemento de borde y es criterio del diseñador decidir si realmente es indispensable.

- e.  $\sigma_{eb}$ : en este ítem se calcula el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema. El esfuerzo máximo ocurre en la sección del muro en donde el momento flector es máximo, es decir, en la sección transversal a través del eje neutro y se obtiene sumando los esfuerzos normales debidos, respectivamente, a la fuerza axial y al momento flector ejercido en la sección, tal como se indica en la Ecuación 2-5.

$$\sigma_{eb} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u}{I_g} \frac{l_w}{2} \quad \text{Ec. 2-5}$$

Una vez se ha evaluado el esfuerzo de compresión para los muros en cada una de las combinaciones de carga, la hoja *RESUMEN* realiza la verificación que el máximo esfuerzo encontrado no sobrepase los límites establecidos en el Reglamento ( $0.3f_c$  para (DMO) y  $0.2f_c$  para (DES)). La hoja de cálculo resalta (textos en negrita y relleno de celda color azul) aquellos valores de esfuerzo que han superado estos límites y es criterio del ingeniero diseñador determinar si la magnitud que excede el valor de esfuerzo amerita la colocación del elemento de borde.

### 2.1.6.7 Diseño elementos de borde

Los requisitos de diseño indicados a continuación se aplican tanto a elementos de borde definidos por el enfoque basado en desplazamientos, como en el basado por esfuerzos de compresión. En las hojas de cálculo, el diseño de un muro se ha dividido en tramos de acuerdo con el número de pisos que tenga la edificación. Nivel a nivel se realiza los respectivos análisis, se determina las condiciones a las cuales se ve sometido el elemento y se especifica el acero de refuerzo. De la misma manera el elemento de borde se extiende en altura hasta el piso que sea necesario, garantizando que dicha altura este por encima del límite superior de la longitud de articulación plástica y se extienda más allá de la zona donde es probable que ocurra fluencia a tracción y descascaramiento del concreto. A

continuación se presenta los requisitos de diseño definidos en el Reglamento y como se ilustra en la Figura 2-24, la manera como se encuentran organizados en la hoja de cálculo.

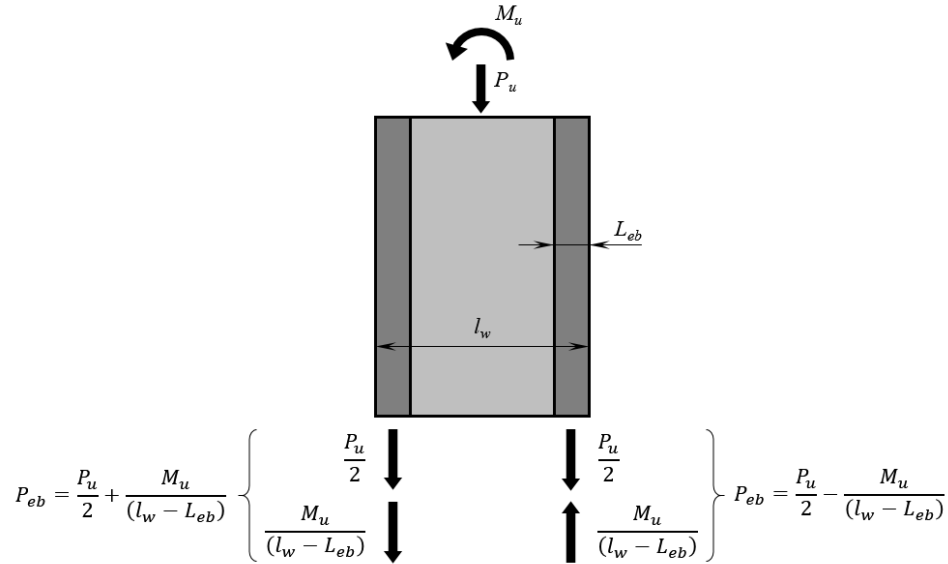
**Figura 2-24:** Diseño elementos de borde

DISEÑO ELEMENTOS DE BORDE								
Longitud mínima $L_{eb}$ (mm)	Espesor mínimo $b_{eb}$ (mm)	Carga axial sobre el elemento de borde (N)	$A_s$ elem. borde calculado (mm <sup>2</sup> )	I.D. $A_s$ barra	$A_s$ elem. borde suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. vertical suministrado en c/elem. de borde	Refuerzo trans. cuando no se requiere elem. de borde	¿Refuerzo horizontal requiere gancho?
a	b	c	d	e	f	g	h	i

Fuente: elaboración propia.

- a. *Longitud mínima ( $L_{eb}$ ):* la longitud horizontal o profundidad del elemento de borde se debe extender al menos en la longitud en donde las deformaciones unitarias de compresión superan el valor crítico. El Reglamento en el numeral C.21.9.6.4 establece que el elemento de borde se debe extender horizontalmente desde la fibra extrema en compresión, es decir el borde del muro, hasta una distancia no menor que el mayor valor entre  $c - 0.1l_w$ ,  $c/2$  y **300 mm**.
- b. *Espesor mínimo ( $b_{eb}$ ):* los requisitos presentados en la NSR-10 para los elementos de borde no hacen referencia directa para el espesor mínimo que deben tener este tipo de elementos. Sin embargo en C.21.9.6.4(c) se menciona que el refuerzo transversal de los elementos de borde debe cumplir con los requisitos especificados en C.21.6.4.2 a C.21.6.4.4, es decir, los requisitos mínimos para el refuerzo transversal de columnas con capacidad especial de disipación de energía (DES) y de manera análoga en C.21.4.4.3 para columnas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO). Por lo tanto si el diseño de los elementos especiales de borde corresponde al diseño de columnas, se puede considerar que la menor dimensión que deben tener estos elementos son las descritas en C.21.3.5.1 y C.21.6.1.1, es decir, 250 mm y 300 mm respectivamente.
- c. *Carga axial sobre el elemento de borde:* todos los muros están supeditados a un efecto combinado de carga axial y momento, como se indica en la Figura 2-25. Por el principio de superposición se puede expresar el efecto de las cargas por separado y evaluar la magnitud de la fuerza causada en los elementos de borde.

**Figura 2-25:** Fuerzas causadas en los elementos de borde



Fuente: elaboración propia.

La expresión utilizada para determinar de manera conservadora la carga axial aplicada en el elemento de borde es:

$$P_{eb} = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{(l_w - L_{eb})} \tag{Ec. 2-6}$$

- d. *A<sub>s elem. borde calculado</sub>*: despejando **A<sub>s</sub>** de la ecuación que define la carga axial máxima de diseño, descrita en C.10.3.6.2 NSR-10, se puede calcular la cantidad de acero de refuerzo longitudinal (vertical) del elemento de borde. Sin embargo esta cantidad no puede ser menor que **0.01A<sub>g</sub>**.

$$A_{s\,eb} = \frac{P_{eb} - 0.75\phi 0.85f'_c A_g}{0.75\phi (f_y - 0.85f'_c)} \tag{Ec. 2-7}$$

- e. *I.D. A<sub>s barra</sub>*: una vez se ha establecido la cantidad de refuerzo en el elemento de borde, la hoja de cálculo busca en la tabla *Área de refuerzo* de la hoja *BASE DE DATOS*, ilustrada en la Figura 2-26, el número que identifica el diámetro y cuantía de barras óptimo para cubrir la demanda de acero.

**Figura 2-26:** Tabla *Área de refuerzo* de la hoja *BASE DE DATOS* (Vista parcial)*Área de refuerzo (ordenadas de mayor a menor)*

ID A <sub>s</sub> Barra	A <sub>s</sub> barra (mm <sup>2</sup> )	Masa (kg/m)	Varillas	No. de designación
1	15300	119,19	30#8	# 8
2	14790	115,22	29#8	# 8
3	14280	111,24	28#8	# 8
4	13770	107,27	27#8	# 8
5	13260	103,30	26#8	# 8

Fuente: elaboración propia.

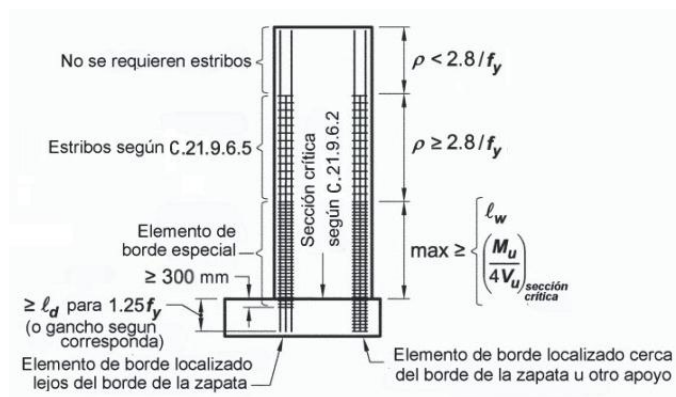
- f. *A<sub>s</sub> elem. borde suministrado*: a partir del número de identificación (*I.D. A<sub>s</sub> barra*) la hoja de cálculo indica el área de refuerzo óptima en mm<sup>2</sup>.
- g. *Ref. vertical suministrado en c/elem. de borde*: a partir del número de identificación (*I.D. A<sub>s</sub> barra*) también se señala la cantidad de barras y diámetro a la cual corresponde el área de refuerzo óptima.
- h. *Refuerzo trans. cuando no se requiere elem. de borde*: durante un sismo la inversión de carga de manera cíclica puede causar pandeo en el refuerzo longitudinal de borde, así las condiciones en el muro indiquen que no se requiere elemento especial de borde. Para evitar el pandeo del refuerzo longitudinal se necesita de estribos, aunque se permite mayor espaciamiento entre estos en relación a lo definido en C.21.9.6.4(c), debido a la menor demanda de deformación en los muros. Por consiguiente, el Reglamento en el numeral C.21.9.6.5 indica que sí el muro no requiere elemento de borde, se debe colocar refuerzo transversal si la cuantía de refuerzo longitudinal en el borde es mayor que  $2.8/f_y$  y que el espaciamiento longitudinal de este no debe exceder de 200 mm. Si la condición anteriormente enunciada se cumple la hoja de cálculo indica que se debe colocar refuerzo transversal por medio del texto “*est. #3 c/200mm*”.
- i. *¿Refuerzo horizontal requiere gancho?*: la colocación de ganchos o estribos en U en los extremos del refuerzo horizontal del muro proporciona anclaje y también tienden a evitar el pandeo del refuerzo vertical en los bordes. Es por esto, que el numeral C.21.9.6.5 del Reglamento del mismo modo recomienda que el refuerzo transversal que termine en los bordes de muros estructurales sin elementos de borde debe tener ganchos estándar que envuelvan el refuerzo longitudinal de borde o en su defecto el refuerzo de borde debe estar abrazado con estribos en U que estén empalmados al refuerzo horizontal con su mismo diámetro y espaciamiento, si la fuerza cortante actuante ( $V_u$ ) es mayor que  $0.083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$ . La hoja de calcula evalúa dicha



condición y coloca el texto “SI” o “NO” respondiendo a la pregunta indicada en el encabezado “¿Refuerzo horizontal requiere gancho?”.

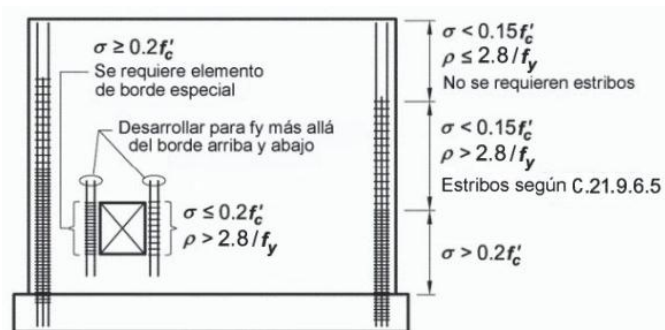
Los requisitos de revisión y diseño de elementos de borde vistos anteriormente para muros con una sección crítica única controlada por flexión y carga axial empleando C.21.9.6.2, C.21.9.6.4 y C.21.9.6.5 del Reglamento se ilustran en la Figura 2-27 y para los muros y machón de muro diseñados utilizando C.21.9.6.3, C.21.9.6.4 y C.21.9.6.5 se ilustran en la Figura 2-28.

**Figura 2-27:** Muros con una sección crítica única controlada por flexión y carga axial empleando C.21.9.6.2, C.21.9.6.4 y C.21.9.6.5 del Reglamento.



Fuente: adaptado de AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Farmington Hills, Michigan, USA: ACI, 2015. p 315.

**Figura 2-28:** Muro y machón de muro diseñados utilizando C.21.9.6.3, C.21.9.6.4 y C.21.9.6.5 del Reglamento.



Fuente: adaptado de AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Farmington Hills, Michigan, USA: ACI, 2015. p 315.

El diseño y detallado del refuerzo transversal del elemento de borde se realiza desde la hoja de cálculo *RESUMEN* y se verá en detalle más adelante.

### 2.1.6.8 Refuerzo vertical

El refuerzo vertical de un muro de concreto debe proporcionar resistencia por efectos de flexo-compresión y contribuir ante la acción de fuerzas cortantes. La colocación o distribución del refuerzo vertical a lo largo del muro influye en su desempeño, aquellos elementos con refuerzo concentrado en las fibras extremas de la sección transversal obtienen una mayor resistencia a la flexión y una mayor ductilidad; y una distribución uniforme ayuda a resistir el deslizamiento por cortante a través de los mecanismos de cortante-fricción y acción de dovelas en las varillas. Teniendo en cuenta estas consideraciones la hoja de cálculo permite asignar el refuerzo por medio de mallas electrosoldadas, barras corrugadas o una combinación de las dos de acuerdo al criterio del diseñador. Una práctica común, es colocar la cuantía mínima del muro en refuerzo electrosoldado, dispuesto en una o dos capas según sea necesario, y el refuerzo restante hasta completar la cuantía requerida, en barras corrugadas concentradas en los extremos. La cuantía mínima proporcionada por la malla electrosoldada es suficiente para controlar los efectos de los cambios de temperatura y la retracción del fraguado, adicionalmente el refuerzo vertical contribuye a la resistencia cortante del muro por medio del cortante por fricción. Por su parte, las barras corrugadas concentradas en los extremos aumentan la resistencia a la flexión y ductilidad del elemento. La Figura 2-29 ilustra los ítems considerados para el cálculo del refuerzo vertical y la descripción de cada uno de ellos.

**Figura 2-29:** Refuerzo vertical

REFUERZO VERTICAL															
$\rho_{vertical}$ requerida	$A_s$ vertical requerido				$A_s$ vertical mínimo		¿Confinar refuerzo vertical?	I.D. $A_s$ malla	$A_{s,vertical}$ suministrado en malla ( $mm^2/m$ )	$A_{s,vertical}$ adicional c/extremo ( $mm^2$ )	I.D. $A_s$ barra	$A_{s,vertical}$ adicional suministrado ( $mm^2$ )	Ref. vertical adicional suministrado en c/extremo	$\rho_{vertical}$ suministrada total	$A_{s,vertical}$ suministrado total ( $mm^2/m$ )
	Flexión		Tracción	Total	Total	Resultado									
	( $mm^2$ )	( $mm^2/m$ )	( $mm^2/m$ )	( $mm^2/m$ )	( $mm^2$ )										
(a)	(b)				(c)		(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)		(k)

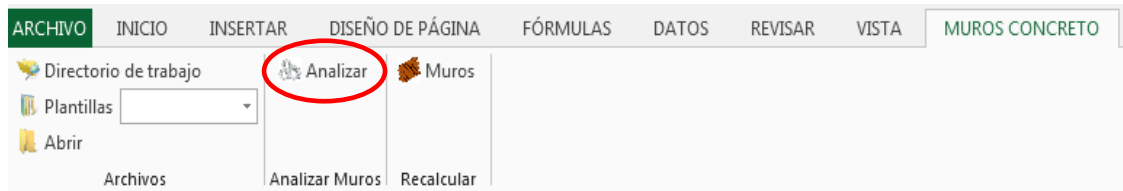
Fuente: elaboración propia.

- a.  $\rho_{vertical}$  *requerida*: el cálculo de la cuantía del refuerzo vertical se realiza partiendo del principio que la resistencia de diseño a momento,  $\phi M_n$ , para la combinación de carga axial y flexión debe cumplir  $\phi M_n \geq M_u$ . Por otro lado, el momento resistente del muro ( $\phi M_n$ ) se calcula a partir de la Ecuación 1-1 y en ella se puede observar que se requiere del valor de cuantía de refuerzo vertical, por lo tanto se tiene una ecuación con dos incógnitas. En consecuencia se hace necesario realizar una serie de iteraciones con el valor de cuantía hasta que se cumpla la condición

$\left(\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0\right)$ . Para llevar a cabo este análisis de manera ágil, la hoja de cálculo dispone de una función que efectúa incrementos sucesivos en el valor de cuantía, iniciando en los valores mínimos definidos en C.14.3.2 y C.21.9.2.1 del Reglamento, hasta que se cumpla la condición dada  $\left(\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0\right)$ .

Como se ilustra en la Figura 2-30, en la barra de menú encontramos el modulo *Analizar Muros* y dentro de este el botón *Analizar*, cuya tarea es iniciar el proceso de iteración en cada uno de los muros y para cada combinación de carga.

**Figura 2-30:** Botón *Analizar*.



Fuente: elaboración propia.

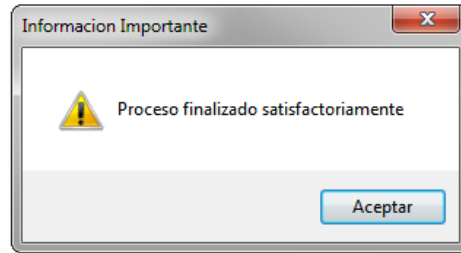
El avance del proceso de iteración se puede verificar desde la barra de estado de Microsoft Excel. Como se ilustra en la Figura 2-31, la aplicación indica en cuál de las hojas de cálculo identificadas con el prefijo *COMB M* se encuentra realizando el proceso.

**Figura 2-31:** Estado de avance del proceso de iteración



Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizado, se indica a través del mensaje “*Proceso finalizado satisfactoriamente*”. Tal como se muestra en la Figura 2-32.

**Figura 2-32:** Mensaje indicativo que el proceso de iteración a finalizado

Fuente: elaboración propia.

La resistencia de diseño a flexión o momento resistente,  $\phi M_n$ , se obtiene de los análisis realizados en la sección denominada *Flexo-compresión* de la tabla de análisis y diseño de muros. Esta se verá en detalle más adelante.

- b.  $A_s$  vertical requerido: una vez se ha determinado el valor de la cuantía, la hoja de cálculo totaliza el área de refuerzo vertical definida por efectos de flexión-compresión y en los casos en se presente también por tracción, mediante la Ecuación 2-8:

$$A_{s \text{ vertical}} = \rho_{\text{vertical}} A_g + \frac{T_u}{0.9 f_y} \quad \text{Ec. 2-8}$$

Los resultados se presentan en  $mm^2$  y  $mm^2/m$ .

- c.  $A_s$  vertical mínimo: de igual manera, la hoja de cálculo establece el área de refuerzo mínima de la sección, la compara con el área de refuerzo requerida e indica con la palabra “OK” si el valor de esta última es mayor o con la palabra “Mínimo” si son iguales. Esto tiene por objeto permitir al usuario identificar de una manera muy rápida, a través del área de refuerzo, la demanda en los elementos por efecto de las fuerzas actuantes en la edificación.
- d. ¿Confinar refuerzo vertical?: este ítem evalúa si el refuerzo vertical necesita estar confinado por estribos cuando la cuantía es mayor de 0.01 veces el área total de concreto o cuando el refuerzo vertical se requiere como refuerzo de compresión, según lo establecido en C.14.3.6 del Reglamento NSR-10. Cuando el muro cumple con alguna de las siguientes condiciones: requiere elemento de borde o así no lo necesite la cuantía en el borde es mayor que  $2.8/f_y$  o cuando la cuantía es mayor de  $0.01 A_g$ , una condicional formulada en la hoja de cálculo responde “SI” a la pregunta del encabezado ¿Confinar refuerzo vertical?, de lo contrario indica que “NO” es necesario.
- e. I.D.  $A_s$  malla: como se mencionó anteriormente el ingeniero o usuario de la hoja de cálculo puede especificar la cuantía de acero con una malla de refuerzo electrosoldado o de barras corrugadas.

Esto se puede hacer a través del número que identifica el tipo de malla, asignado en las tablas *Barras de acero* o *Mallas electrosoldadas con refuerzo principal una/dos direcciones* ubicadas en el encabezado de la hoja *RESUMEN*, como se indica en la Figura 2-33.

**Figura 2-33:** Número de identificación que permite asignar el tipo de refuerzo a los muros

*Características de las barras y mallas de acero:*

*Barras de acero*

I.D. barra	No. de designación de barra	Separación (mm)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> /m)
1	# 3	100	710
2	# 3	150	473
3	# 3	200	355
4	# 3	250	284
5	# 3	300	237

*Mallas electrosoldadas con refuerzo principal en dos direcciones*

I.D. Malla	Tipo	Refuerzo longitudinal y transversal		
		φ (mm)	Separación (mm)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> /m)
15	A-047	3,0	150	47
16	A-050	4,0	250	50
17	A-084	4,0	150	84
18	A-106	4,5	150	106
19	A-131	5,0	150	131

Número de identificación que permite asignar el tipo de refuerzo a los muros

Fuente: elaboración propia.

El número que identifica el tipo de malla se digita en las celdas de la columna *I.D. A<sub>s</sub> malla* de la hoja *RESUMEN*, de igual forma la asignación del refuerzo se ve reflejado en cada una de las hojas *COMB M* como se ilustra en la Figura 2-34. Desde la etapa de diseño se pueden tomar decisiones que facilitan los procesos de construcción y previenen errores en la colocación del refuerzo. Una de ellas es asignar el mismo tipo de refuerzo a todos los muros o a los de igual espesor del piso objeto de estudio, cumpliendo con la cuantía mínima y el área de refuerzo faltante en cada uno de ellos colocarla con barras de acero distribuidas uniformemente a lo largo del muro o concentradas en las esquinas.

**Figura 2-34:** Número que identifica el tipo de refuerzo en las hojas *COMB M*.

REFUERZO VERTICAL									
P <sub>vertical</sub> requerida	A <sub>s</sub> vertical requerido				A <sub>s</sub> vertical mínimo		¿Confinar refuerzo vertical?	I.D. A <sub>s</sub> malla	A <sub>s</sub> vertical suministrado en malla (mm <sup>2</sup> /m)
	Flexión		Tracción	Total	Total	Resultado			
	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> /m)	(mm <sup>2</sup> /m)	(mm <sup>2</sup> /m)	(mm <sup>2</sup> )				
0,0012	422	120	0	120	422	Mínimo	NO	22	221
0,0012	422	120	0	120	422	Mínimo	NO	22	221
0,0012	171	120	0	120	171	Mínimo	NO	22	221
0,0012	171	120	0	120	171	Mínimo	NO	22	221
0,0012	443	144	0	144	443	Mínimo	NO	23	257
0,0012	443	144	0	144	443	Mínimo	NO	23	257

RESUMEN	COMB M1	COMB M2	COMB M3	COMB M4	COMB M5	COMB M6	COMB M7
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Número que identifica el tipo de refuerzo asignado

Fuente: elaboración propia.

- 
- f.  $A_{s\ vertical}$  *suministrado en malla*: en este ítem se indica el área de acero suministrada por medio de las mallas de refuerzo, expresado en  $mm^2/m$ .
- g.  $A_{s\ vertical}$  *adicional c/extremo*: como se mencionó anteriormente es criterio del ingeniero diseñador especificar de qué manera se debe distribuir el refuerzo vertical a lo largo del muro. Si opta por colocar una o dos capas de refuerzo que cumpla con la cuantía mínima y el restante en barras corrugadas concentradas en los extremos, la hoja de cálculo determina que área deben sumar estas barras en  $mm^2$ .
- h. *I.D.  $A_s$  barra*: una vez se ha establecido el área de refuerzo necesaria en cada extremo del elemento, la hoja de cálculo busca en la tabla *Área de refuerzo* de la hoja *BASE DE DATOS* el número que identifica la cantidad y diámetro de barras óptimo para cubrir la demanda de acero.
- i.  $A_{s\ vertical}$  *adicional suministrado*: a partir del número de identificación (*I.D.  $A_s$  barra*) se indica el área de refuerzo en  $mm^2$ .
- j. *Ref. vertical adicional suministrado en c/extremo*: de igual manera se especifica el diámetro y cantidad de barras a colocar en cada extremo del muro.
- k.  $\rho_{vertical}$  *suministrada total* y  $A_{s\ vertical}$  *suministrado total*: finalmente se presenta la cuantía total de refuerzo suministrado en el elemento, expresada en  $mm^2$  y en el número de veces el área de concreto. El propósito es permitir al usuario de la herramienta informática evaluar la eficiencia del diseño a partir de los valores de cuantía del refuerzo.

### 2.1.6.9 Refuerzo horizontal

El refuerzo horizontal de un muro tiene por objeto resistir parte de la fuerza cortante y evitar la falla por tensión o compresión diagonal. Por lo tanto, se recomienda que dentro de límites prácticos, la distribución del refuerzo sea uniforme y con espaciamientos pequeños. Según el Reglamento NSR-10 el análisis para determinar el refuerzo horizontal del muro debe estar basado en que la fuerza de cortante mayorada en la sección,  $V_u$ , debe ser menor o igual a la resistencia nominal al cortante,  $\phi V_n$ , ( $\phi V_n \geq V_u$ ); y esta última debe corresponder a la resistencia proporcionada de manera conjunta por el concreto,  $V_c$ , y el acero de refuerzo,  $V_s$ , ( $V_n = V_c + V_s$ ). Para efectos de diseño, la resistencia proporcionada por el concreto y el acero se puede tomar igual a como se emplea en vigas, inclusive la resistencia proporcionada por el refuerzo horizontal se calcula de manera similar. La única diferencia es como se determina la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide

del refuerzo en tracción, **d**, ya que para el caso de muros se toma igual a  $0.8l_w$ , un valor considerado como razonable según lo define el numeral C.11.9.4 del Reglamento.

En la hoja de cálculo, la sección *REFUERZO HORIZONTAL* emplea la misma filosofía utilizada para determinar el refuerzo vertical, es decir, colocar la cuantía mínima del muro en refuerzo electrosoldado, dispuesto en una o dos capas según sea necesario, y el refuerzo restante hasta completar la cuantía requerida en barras corrugadas distribuidas en la altura. Como se puede observar en la Figura 2-35 algunos de los ítems se identifican con los mismos nombres y realizan las mismas tareas que los descritos en la sección *REFUERZO VERTICAL*, por lo tanto solo se describe en detalle aquellos que se considera necesario.

**Figura 2-35:** Refuerzo horizontal

REFUERZO HORIZONTAL											
$\phi V_c$	$\rho_{horizontal}$ requerida	$A_s$ horizontal requerido		I.D. malla	$A_s$ horizontal suministrado en malla (mm <sup>2</sup> /m)	$A_s$ horizontal adicional requerido (mm <sup>2</sup> )	I.D. barra	$A_s$ horizontal adicional suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. horizontal adicional suministrado	$\rho_{horizontal}$ suministrada total	$A_s$ horizontal suministrado total (mm <sup>2</sup> /m)
		Cortante									
		(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> /m)								
a	b	c		d	e	f	g	h	i	j	

Fuente: elaboración propia.

- a.  $\phi V_c$ : para elementos sometidos a compresión axial, el cálculo de la resistencia al cortante proporcionada por el concreto se realiza a través de la Ecuación 2-9, de acuerdo a lo definido en C.11.2.1.2 del Reglamento. Si el elemento está sometido a tracción axial, la hoja de cálculo considera de manera conservadora que la resistencia suministrada por el concreto es nula y el efecto de la fuerza cortante es tomada en su totalidad por el acero de refuerzo.

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \tag{Ec. 2-9}$$

- b.  $\rho_{horizontal}$  *requerida*: a partir de la definición dada en el numeral C.11.9.9.1 del Reglamento para la resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo, se puede obtener la Ecuación 2-10 que permite calcular la cuantía horizontal del elemento. El valor obtenido no puede ser inferior a 0.0020 según C.14.3.3 ó 0.0025 según C.21.9.2.1 NSR-10. El coeficiente de reducción de resistencia,  $\phi$ , se toma igual a 0.75.

$$\rho_{hor} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} b_w d} \tag{Ec. 2-10}$$

- c.  $A_s$  horizontal requerido: con el valor de cuantía obtenido, la hoja de cálculo determina el área de refuerzo horizontal que requiere la sección en  $mm^2$  y  $mm^2/m$ .
- d. I.D.  $A_s$  malla: si el refuerzo vertical se define en malla electrosoldada, la misma especificación se asigna de manera automática al refuerzo horizontal, pero si se adopta barras corrugadas para reforzar el muro se debe especificar el diámetro y separación en cada sentido. Como se especificó anteriormente esto se realiza a través del número de identificación del refuerzo, asignado en la tabla *Barras de acero* ubicada en el encabezado de la hoja *RESUMEN*, como se indicó en la Figura 2-33. En las secciones *REFUERZO VERTICAL* y *REFUERZO HORIZONTAL* de la hoja *RESUMEN* se encuentra el ítem I.D.  $A_s$  malla, en el cual se digita el número de identificación del refuerzo que se desea asignar al muro, tal como se ilustra en la Figura 2-36.

**Figura 2-36:** Número que identifica el tipo de refuerzo en las hojas *RESUMEN*

REFUERZO VERTICAL						REFUERZO HORIZONTAL				
$A_s$ vertical requerido ( $mm^2/m$ )	I.D. malla	$A_s$ vertical suministrado en malla ( $mm^2/m$ )	$A_s$ vertical adicional suministrado ( $mm^2$ )	Ref. vertical adicional suministrado en c/extremo	¿Confinar refuerzo vertical?	$A_s$ horizontal requerido ( $mm^2/m$ )	I.D. malla	$A_s$ vertical suministrado en malla ( $mm^2/m$ )	$A_s$ horizontal adicional suministrado ( $mm^2$ )	Ref. horizontal adicional suministrado
120	22	221	-	No requiere	NO	200	22	221	-	No requiere
120	22	221	-	No requiere	NO	200	22	221	-	No requiere
120	22	221	-	No requiere	NO	200	22	221	-	No requiere
120	22	221	-	No requiere	NO	200	22	221	-	No requiere
RESUMEN	COMB M1	COMB M2	COMB M3	COMB M4	COMB M5	COMB M6	COMB M7	COMB M8	COMB M9	COMB M10

Número que identifica el tipo de refuerzo

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura, el número de identificación del refuerzo es el mismo (numero 22) en ambas direcciones, por tratarse de malla electrosoldada. Si el refuerzo que se desea asignar es con barras corrugadas y son de diferente diámetro y/o separación en cada sentido, se debe digitar el número de identificación en ambos campos identificados con el encabezado I.D.  $A_s$  malla. Al digitar el número de identificación de refuerzo en el ítem de la sección *REFUERZO HORIZONTAL* se verá cómo cambia de color, pasara de color verde a rojo, indicando que se ha realizado un ajuste manual, ya que inicialmente en la celda se encontraba una formula.

- e.  $A_s$  horizontal suministrado en malla: de manera similar, en este ítem se realizan las mismas tareas que fueron indicadas en el literal (f) de la sección *refuerzo vertical*.
- f.  $A_s$  horizontal adicional requerido: de manera similar, en este ítem se realizan las mismas tareas que fueron indicadas en el literal (g) de la sección *refuerzo vertical*.

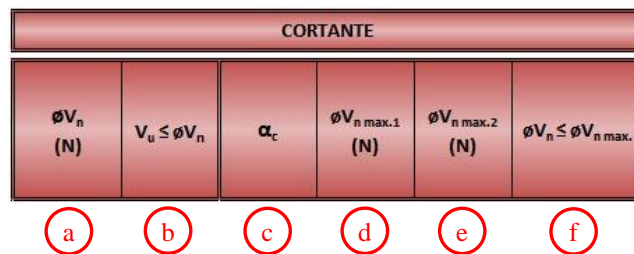


- g. *I.D.  $A_s$  barra*: de manera similar, en este ítem se realizan las mismas tareas que fueron indicadas en el literal (h) de la sección *refuerzo vertical*.
- h.  *$A_s$  horizontal adicional suministrado*: de manera similar, en este ítem se realizan las mismas tareas que fueron indicadas en el literal (i) de la sección *refuerzo vertical*.
- i. *Ref. horizontal adicional suministrado*: de manera similar, en este ítem se realizan las mismas tareas que fueron indicadas en el literal (j) de la sección *refuerzo vertical*.
- j.  *$\rho$  horizontal suministrada total y  $A_s$  horizontal suministrado total*: de manera similar, en este ítem se realizan las mismas tareas que fueron indicadas en el literal (k) de la sección *refuerzo vertical*.

**2.1.6.10 Cortante**

La sección *CORTANTE* de la tabla de análisis y diseño de muros calcula la resistencia nominal de diseño a cortante de la sección,  $\phi V_n$ , y la evalúa respecto a la fuerza cortante mayorada,  $V_u$ , y los límites en la resistencia establecidos en el Reglamento. La Figura 2-37 ilustra cada uno de los ítems y los identifica para facilitar su descripción.

**Figura 2-37:** Cortante



Fuente: elaboración propia.

- a.  $\phi V_n$ : la resistencia nominal de diseño a cortante de la sección se calcula a partir de  $\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$ , expresado de otra forma:

$$\phi V_n = \phi \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d + \frac{\phi A_v f_y d}{s} \tag{Ec. 2-11}$$

- b.  $V_u \leq \phi V_n$ : en este ítem se evalúa la condición dada en el numeral C.11.1.1 del Reglamento. Si la condición es satisfactoria se indica con el texto “Cumple” de lo contrario “No Cumple”.
- c.  $\alpha_c$ : para establecer el límite en el valor de la resistencia nominal de diseño a cortante definido en el numeral C.21.9.4.1 del Reglamento, se debe determinar primero el coeficiente que define

la contribución relativa de la resistencia del concreto a la resistencia nominal a cortante del muro,  $\alpha_c$ . El valor de este coeficiente es **0.25** para  $h_w/l_w \leq 1.5$ , **0.17** para  $h_w/l_w = 2.0$  y varía linealmente entre **0.25** y **0.17** para  $h_w/l_w$  entre **1.5** y **2.0**. La hoja de cálculo cuenta con las condicionales y ecuaciones para hacerlo de manera automática.

- d.  $\phi V_{n \max.1}$ : el numeral C.21.9.4.1 del Reglamento establece que la resistencia nominal de diseño a cortante no debe exceder:

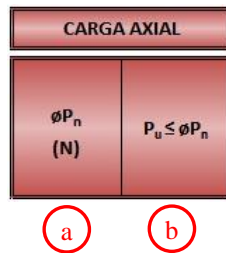
$$\phi V_n = \phi A_{cv} \left( \alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right) \quad \text{Ec. 2-12}$$

- e.  $\phi V_{n \max.2}$ : el numeral C.21.9.4.4 también determina que para segmentos de muros individuales la resistencia nominal a cortante no debe exceder  $0.83 A_{cw} \sqrt{f'_c}$ .
- f.  $\phi V_n \leq \phi V_{n \max}$ : finalmente se evalúa que la resistencia nominal de diseño a cortante no exceda el menor de los límites calculados anteriormente ( $\phi V_{n \max.1}$  o  $\phi V_{n \max.2}$ ). Si la condición es satisfactoria se indica con el texto “Cumple” de lo contrario “No Cumple”.

### 2.1.6.11 Carga axial

La Figura 2-38 ilustra la sección *CARGA AXIAL* de la tabla de análisis y diseño de muros, en ella se calcula la resistencia axial de diseño de la sección transversal,  $\phi P_n$ , y se evalúa respecto a la fuerza axial mayorada,  $P_u$ .

**Figura 2-38:** Carga axial



Fuente: elaboración propia.

- a.  $\phi P_n$ : para muros sometidos a carga axial o combinación de carga axial y de flexión la resistencia axial de diseño de la sección se calcula a partir de la Ecuación 2-13:

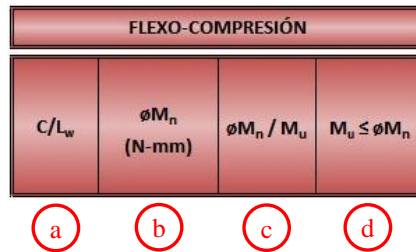
$$\phi P_n = 0.75 \phi \left[ 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad \text{Ec. 2-13}$$

- b.  $P_u \leq \phi P_n$ : en este ítem se evalúa la condición dada en el numeral C.10.3.6 del Reglamento. Si la condición es satisfactoria se indica con el texto “*Cumple*” de lo contrario “*No Cumple*”.

### 2.1.6.12 Flexo-compresión

En la última sección de la tabla de análisis y diseño de muros *FLEXO-COMPRESIÓN* se realiza el cálculo de la resistencia de diseño a flexión, basados en las ecuaciones propuestas por Cárdenas y Magura<sup>2</sup>. La Figura 2-39 ilustra los ítems considerados en los análisis.

**Figura 2-39:** Flexo-compresión



Fuente: elaboración propia.

- a.  $c/l_w$ : antes de calcular la resistencia de diseño a flexión, es necesario definir la distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro,  $c$ , esto se puede realizar partir de la Ecuación 1-6.
- b.  $\phi M_n$ : la resistencia de diseño a flexión se calcula a partir de la Ecuación 1-1.
- c.  $\phi M_n / M_u$ : como se vio en el numeral 2.1.6.8 *Refuerzo vertical* de este documento, los análisis y cálculos realizados para determinar la cuantía del refuerzo vertical guardan una estrecha relación con los efectuados en esta sección. La condición  $\left(\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0\right)$  es fundamental durante el proceso iterativo que realiza la aplicación, ya que el cumplimiento de esta marca el punto de inicio o final en el análisis de un elemento.
- d.  $M_u \leq \phi M_n$ : en este ítem se evalúa la condición dada en el numeral C.14.8.3 del Reglamento. Si la condición es satisfactoria se indica con el texto “*Cumple*” de lo contrario “*No Cumple*”.

<sup>2</sup> Ibid., p. 31.

## 2.2.7 Hoja RESUMEN

La hoja de cálculo *RESUMEN* recopila y filtra los datos obtenidos del análisis y diseño para cada una de las combinaciones de carga, presentando al usuario de la herramienta informática una síntesis con la envolvente de diseño. Como se ha visto a lo largo del Capítulo 2 también es la hoja desde la cual se definen los parámetros de diseño, se asigna el acero de refuerzo a cada elemento, se diseña el refuerzo transversal en caso de requerirse elemento de borde y calcula el peso total de acero y volumen de concreto.

Al igual que en las hojas *COMB M*, la tabla en la cual se presenta el resumen del análisis y diseño de los muros se encuentra dividida en secciones identificadas con los mismos nombres, solo que la información presentada en cada una de ellas es la más relevante. Las once secciones de la tabla se enumeran a continuación:

- Información de los muros
- Tipo de diseño
- Solicitaciones de diseño
- Capas de refuerzo
- Revisión elementos de borde
- Diseño elementos de borde
- Refuerzo vertical
- Refuerzo horizontal
- Cortante
- Carga axial
- Flexo-compresión

### 2.1.7.1 Información de los muros, Tipo de diseño, Solicitaciones de diseño y Capas de refuerzo en la hoja *RESUMEN*

La Figura 2-40 ilustra la manera como se encuentran organizadas las secciones *Información de los muros*, *Tipo de diseño*, *Solicitaciones de diseño* y *Capas de refuerzo* en hoja *RESUMEN* y las identifica para facilitar su descripción.

**Figura 2-40:** Información de los muros, Tipo de diseño, Solicitaciones de diseño y Capas de refuerzo en hoja *RESUMEN*

INF. DE LOS MUROS			TIPO DE DISEÑO	SOLICITACIONES DE DISEÑO					CAPAS REF.
I.D. Muro	Espesor muro $b_w$ (mm)	Long. muro $L_w$ (mm)	Diseñar el elemento como:	Combinación de carga	Axial $P_u$ (N)	Momento $M_u$ (N-mm)	Combinación de carga	Cortante $V_u$ (N)	# capas de refuerzo

(a)
(b)
(c)
(d)

Fuente: elaboración propia.

- a. *Información de los muros:* en esta sección se presenta información relacionada con la identificación y dimensiones de los elementos (espesor y longitud), datos que son tomados de la hoja de cálculo *GEOMETRÍA*.
- b. *Tipo de diseño:* los requisitos de diseño para segmentos de muros verticales o machones, se definen en función de la relación de las dimensiones del segmento en el plano del muro ( $h_w / l_w$ ) y la relación de las dimensiones de su sección horizontal ( $l_w / b_w$ ). Si los segmentos de muro no cumplen con los límites establecidos en el Reglamento para dichas relaciones, se deben diseñar obedeciendo los requisitos de columna, según el numeral C.21.9.8.1. Tomando como referencia la tabla dada en C.21.9.1 del Reglamento (Véase numeral 1.2.7 de este documento), se formuló en la hoja de cálculo unas condicionales que permiten definir el tipo de diseño a realizar, si las relaciones dimensionales en el segmento de muro no se cumplen se indica con la palabra “Columna”, de lo contrario con la palabra “Muro”.
- c. *Solicitaciones de diseño:* la hoja de cálculo busca la magnitud y el número que identifica la combinación y factores de carga que produjeron las solicitaciones actuantes máximas sobre cada uno de los elementos. Por un lado las pertenecientes para la combinación de carga axial y flexión y por el otro, la de fuerza cortante.
- d. *Capas de refuerzo:* según el número de capas evaluado en cada combinación de carga, en este ítem se presenta la máxima cantidad encontrada.

### 2.1.7.2 Revisión y diseño de elementos de borde en la hoja *RESUMEN*

En los elementos de borde el diseño del refuerzo transversal es de vital importancia, una adecuada distribución de los estribos mejora el confinamiento del concreto, incrementa la capacidad de disipación de energía y la ductilidad del muro cuando el acero longitudinal de borde alcanza deformaciones dentro del campo de endurecimiento y retrasa el pandeo del refuerzo longitudinal

sometido a fuerzas de compresión. Según Alcocer<sup>3</sup> cuando fluye el refuerzo a flexión del muro, los esfuerzos a compresión en el concreto aumentan para equilibrar la tensión, pero si el concreto no está confinado, puede alcanzar la falla rápidamente. En este caso la falla se caracterizaría por el aplastamiento y descascaramiento del concreto en una porción de los extremos del muro.

Como se vio anteriormente las hojas *COMB M* realizan la revisión, cálculo de las dimensiones mínimas y área del refuerzo longitudinal en el elemento de borde para cada combinación de carga. Por su parte, la hoja *RESUMEN* presenta una síntesis con la envolvente de dichos análisis y permite efectuar el diseño del refuerzo transversal. La Figura 2-41 presenta los ítems que hacen parte de las dos secciones en la hoja *RESUMEN* y la respectiva identificación para facilitar su descripción.

**Figura 2-41:** Revisión y diseño de elementos de borde en hoja *RESUMEN*

REVISIÓN ELEMENTOS DE BORDE		DISEÑO ELEMENTOS DE BORDE							
¿Se requiere elemento de borde?	$\frac{c/l_w}{600 \delta_u/h_w}$	$\sigma_{eb}$ (MPa)	Longitud mínima $L_{eb}$ (mm)	Espesor mínimo $b_{eb}$ (mm)	Designación barra refuerzo transversal	No. ramas sentido paralelo a $b_{eb}$	No. ramas sentido paralelo a $L_{eb}$	Refuerzo transversal	¿Refuerzo horizontal requiere gancho?
	<b>a</b>		<b>b</b>		<b>c</b>	<b>d</b>		<b>e</b>	<b>f</b>

Fuente: elaboración propia.

- a. *Revisión elementos de borde:* esta sección revisa en todas las combinaciones de carga la necesidad de colocar elemento de borde, basados en el enfoque por desplazamientos. Si en una o más se requiere, responde “SI” a la pregunta formulada en el encabezado de la tabla “¿Se requiere elemento de borde?” e indica un orden de magnitud expresado en porcentaje de la necesidad de colocarlo. Ya es criterio del diseñador decidir si la magnitud indicada realmente amerita hacerlo. Por el enfoque de esfuerzos, esta sección busca el máximo esfuerzo de compresión de la fibra extrema, lo evalúa con el valor límite ( $0.3f'_c$  para (DMO) y  $0.2f'_c$  para (DES)) y resalta (textos en negrita y relleno de celda color azul) aquellos valores de esfuerzo que lo estén superando. De igual manera es criterio del ingeniero diseñador determinar si la magnitud que excede el valor de esfuerzo amerita la colocación del elemento de borde.

<sup>3</sup> ALCOCER M, Sergio. Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado: Muros Estructurales. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería, 1995. p. 276. [consultado 15 junio de 2015]. Disponible en <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Diciembre2005/pdf/spa/doc6517/doc6517-contenido.pdf>>

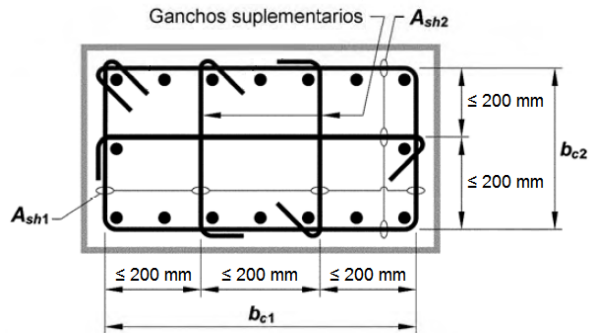
- b. *Longitud mínima ( $L_{eb}$ ) y Espesor mínimo ( $b_{eb}$ )*: la longitud y espesor del elemento de borde se define de los máximos encontrados para todas las combinaciones de carga.
- c. *Designación barra refuerzo transversal*: según lo descrito en el numeral C.21.9.6.4(c) el refuerzo transversal de los elementos de borde debe cumplir con los requisitos de diseño especificados para columnas, dados en C.21.3.5 para (DMO) y C.21.6.4 para (DES). Por lo tanto para elementos sometidos a compresión el diámetro de los estribos debe ser por lo menos No. 3 (3/8") ó 10M (10 mm) o No. 4 (1/2") ó 12M (12 mm) dependiendo el diámetro de la barra longitudinal, según lo define C.7.10.5.1 NSR-10. Tomando como referencia estos requisitos, en la hoja de cálculo se dejó para cada uno de los elementos un menú desplegable en el cual se puede seleccionar el diámetro de refuerzo transversal. Tal como se ilustra en la Figura 2-42.

**Figura 2-42:** Menú desplegable para definir el diámetro del refuerzo transversal en elementos de borde



Fuente: elaboración propia.

- d. *No. ramas sentido paralelo a  $L_{eb}$  y No. ramas sentido paralelo a  $b_{eb}$* : en este documento el número de ramas en cada sentido es la suma de las pertenecientes al estribo cerrado más las de los ganchos suplementarios. En la Figura 2-43 a manera de ejemplo, se puede observar que en el sentido paralelo a la dimensión  $b_{e2}$  hay cuatro ramas y en el otro sentido tres. También se puede apreciar que la separación entre ganchos suplementarios se ha limitado a 200 mm, con el objeto de obtener un confinamiento adecuado para el concreto y restringir el pandeo del refuerzo longitudinal, en el caso de presentarse un evento sísmico y producirse pérdida de recubrimiento. Teniendo en cuenta estas consideraciones la hoja de cálculo determina el número de ramas para cada sentido en el elemento de borde.

**Figura 2-43:** Separación entre ganchos suplementarios

Fuente: adaptado de COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. C-384.

e. *Refuerzo transversal*: este ítem evalúa la separación de los estribos a partir de dos escenarios.

- Si el muro requiere elemento de borde la hoja de cálculo determina la separación del refuerzo transversal a lo largo del eje longitudinal de este, en función del diámetro de la barra del estribo, el número de ramas y el grado de disipación de energía en el rango inelástico. Si el diseño corresponde a una capacidad moderada de disipación de energía (DMO) se define la separación de los estribos de acuerdo a los requisitos descritos en C.21.3.5.6 y C.21.3.5.7; de manera análoga para capacidad especial de disipación de energía (DES) se establece a partir de los numerales C.21.6.4.3 y C.21.6.4.4 del Reglamento.

En resumen, para capacidad moderada de disipación de energía (DMO) la separación del refuerzo transversal,  $s_o$ , no debe exceder la menor de:

- Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
- 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- Un tercio de la menor dimensión de la sección transversal de la columna.
- 150 mm.

$$s_o = \frac{A_{sh} f_{yt}}{0.06 b_c f_c'} \quad \text{Ec. 2-14}$$

Y para capacidad especial de disipación de energía (DES) la separación del refuerzo transversal,  $s_o$ , no debe exceder la menor de:

- La cuarta parte de la dimensión mínima del elemento.



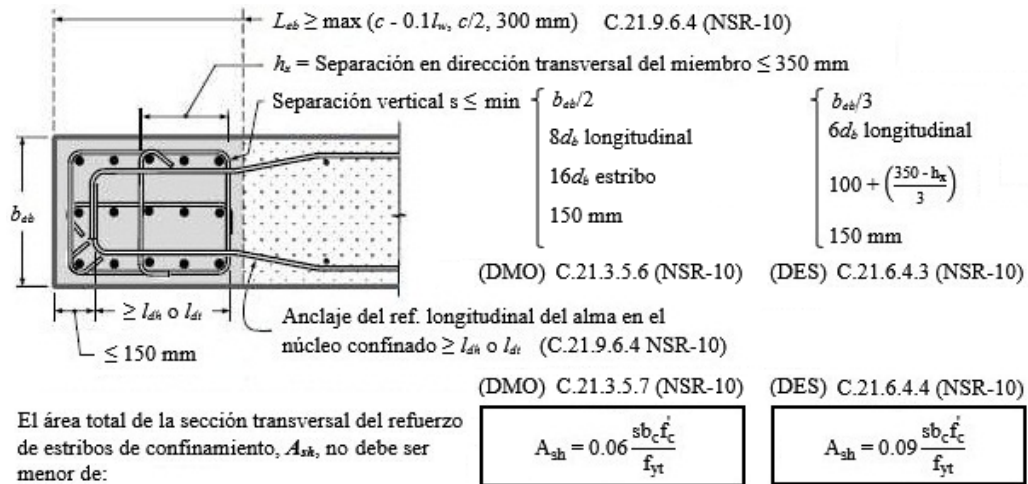
- Seis veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$  Ec. 2-15

- 150 mm.
- $s_o = \frac{A_{sh} f_{yt}}{0.09 b_c f_c}$  Ec. 2-16

- Si el muro no requiere elemento de borde, pero la cuantía de refuerzo longitudinal en el borde es mayor que  $2.8/f_y$  se debe colocar refuerzo transversal espaciado a máximo 200 mm. Si la condición anteriormente enunciada se cumple la hoja de cálculo indica que se debe colocar “est. #3 c/200mm”.
- f. ¿Refuerzo horizontal requiere gancho?: este ítem evalúa en todas las combinaciones de carga si el refuerzo horizontal requiere en sus extremos de gancho estándar o estribos en U que abracen el refuerzo longitudinal, de ser necesario se indica con la palabra “SI” o de lo contrario con la palabra “NO”.

En la Figura 2-44 se presenta el detallado del refuerzo transversal para elementos de borde.

**Figura 2-44:** Requisitos de refuerzo transversal en elementos de borde



Fuente: adaptado de HILSON, Christopher. y WALLACE, John. Boundary Element Prism Test Under Cyclic Loading. Los Angeles: UCLA, 2013. [consultado 18 agosto de 2015]. Disponible en <[http://nees.ucla.edu/doc/wcee/article/WCEE2013\\_7163.pdf](http://nees.ucla.edu/doc/wcee/article/WCEE2013_7163.pdf)>

### 2.1.7.3 Refuerzo vertical y horizontal en la hoja *RESUMEN*

Las secciones *REFUERZO VERTICAL* y *REFUERZO HORIZONTAL* de la hoja *RESUMEN*, ilustradas en la Figura 2-45, cumplen con dos funciones: permitir la asignación del tipo de refuerzo a través del número de identificación, como se vio en los numerales 2.1.6.8 y 2.1.6.9 de este documento, y ofrecer un resumen con la envolvente de las áreas de refuerzo requerido y suministrado por medio de mallas y barras adicionales. Y en el caso del refuerzo vertical, se indica si este debe ser confinado por estribos, según la evaluación realizada en todas las combinaciones de carga.

**Figura 2-45:** Refuerzo vertical y horizontal en hoja *RESUMEN*

REFUERZO VERTICAL						REFUERZO HORIZONTAL				
$A_s$ vertical requerido (mm <sup>2</sup> /m)	I.D. malla	$A_s$ vertical suministrado en malla (mm <sup>2</sup> /m)	$A_s$ vertical adicional suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. vertical adicional suministrado en c/extremo	¿Confinar refuerzo vertical?	$A_s$ horizontal requerido (mm <sup>2</sup> /m)	I.D. malla	$A_s$ vertical suministrado en malla (mm <sup>2</sup> /m)	$A_s$ horizontal adicional suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. horizontal adicional suministrado

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.7.4 Cortante, Carga axial y Flexo-compresión en la hoja *RESUMEN*

Finalmente, la Figura 2-46 muestra las secciones *CORTANTE*, *CARGA AXIAL* y *FLEXO-COMPRESIÓN*. En ellas se presenta las fuerzas de diseño ( $\phi V_n$ ,  $\phi P_n$  y  $\phi M_n$ ) y los respectivos valores límites, asociados a la combinación y factores de carga con las máximas fuerzas actuantes. De igual manera se indica el cumplimiento de la condición  $U \leq \phi S_n$  con el texto “Cumple” o “No Cumple”.

**Figura 2-46:** Cortante, Carga axial y Flexo-compresión en la hoja *RESUMEN*

CORTANTE				CARGA AXIAL		FLEXO-COMPRESIÓN	
$\phi V_n$ (N)	$V_u \leq \phi V_n$	$\phi V_{n \text{ max.}}$ (N)	$\phi V_n \leq \phi V_{n \text{ max.}}$	$\phi P_n$ (N)	$P_u \leq \phi P_n$	$\phi M_n$ (N-mm)	$M_u \leq \phi M_n$

Fuente: elaboración propia.

## 3. Ejemplo de diseño

En este capítulo se presenta el procedimiento para el análisis y diseño de muros pertenecientes a sistemas de resistencia sísmica basado en muros portantes de concreto reforzado. Se describe los aspectos más relevantes en el modelado de la estructura, el análisis sísmico, los pasos a seguir en la utilización de la herramienta informática, el diseño de los muros que compone la estructura indicando consideraciones y requisitos según el Reglamento NSR-10 y finalmente el detallado del refuerzo.

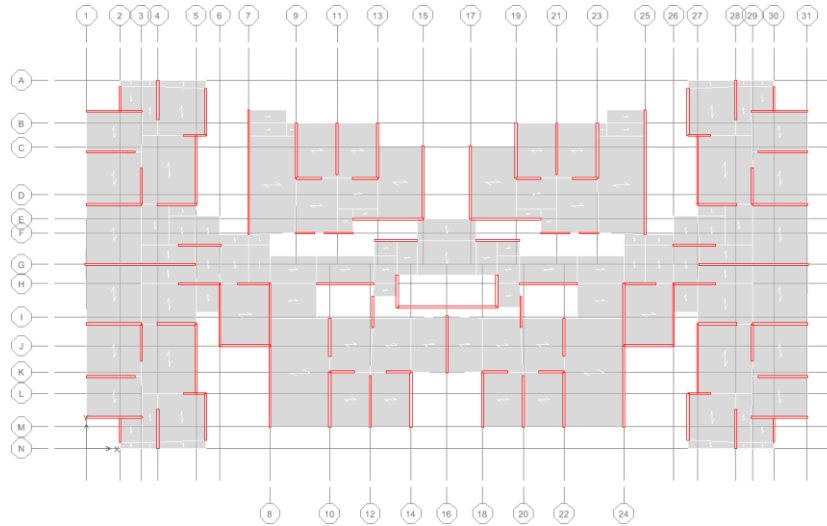
### 3.1 Descripción del proyecto

Las características de tipo técnico de la edificación, se resumen a continuación:

- Ubicación: Medellín (Antioquia)
- Sistema de resistencia sísmica: muros portantes de concreto reforzado con capacidad de disipación de energía moderada (DMO)
- Uso de la estructura: Vivienda
- Perfil de suelo, según el Reglamento NSR-10: Tipo B
- Topografía: la superficie donde se localiza la edificación es plana, conformada por un relleno de material seleccionado y rodeado por edificaciones de altura similar.
- Número de pisos: 20
- Altura libre entre pisos: 2250 mm
- Área de cada nivel: 690 m<sup>2</sup>
- Sistema de losa: entrepisos formados por placas aligeradas de 250 mm de espesor que además de soportar cargas verticales y transmitir las a vigas y muros, cumplen la función de formar un diafragma rígido integrando los elementos verticales y compatibilizando sus desplazamientos laterales.

La distribución de muros estructurales se indica en la Figura 3-1.

**Figura 3-1:** Planta general de distribución de muros estructurales

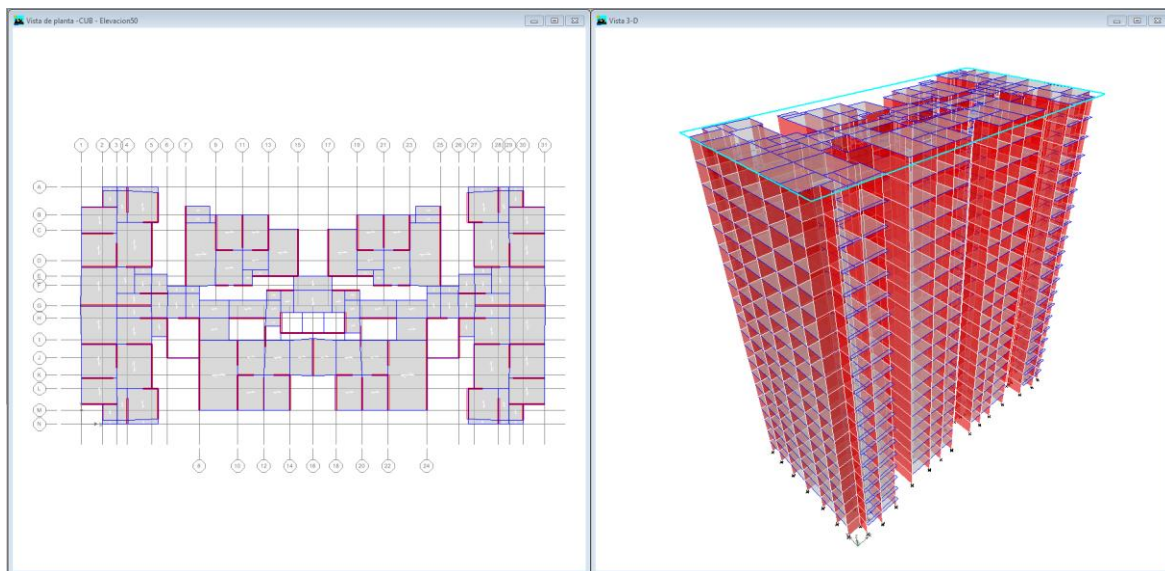


Fuente: elaboración propia.

## 3.2 Modelo matemático de la estructura

Se realiza el modelo matemático de la estructura en tres dimensiones empleando el software de análisis y diseño *ETABS*, como se ilustra en la Figura 3-2.

**Figura 3-2:** Modelo matemático del edificio,



Fuente: elaboración propia.

El pre-dimensionamiento de los elementos que conforman el sistema de losa dio como resultado vigas con secciones de 200 x 250 mm, 250 x 250 mm y 300 x 250 mm; las cuales son asignadas al modelo matemático como elementos tipo *Frame*. Las viguetas son de 150 mm x 250 mm y la carga que representan junto con los acabados, muros divisorios en mampostería u otro material y demás elementos considerados como carga muerta, se convierten en un espesor equivalente de concreto que se adiciona al espesor de la losa. Estos cálculos se pueden apreciar en detalle en el avalúo de cargas presentado en el Anexo E. Por su parte el diafragma y los muros se asignan al modelo como elementos tipo *Membrane*, con los espesores obtenidos de la evaluación de cargas y el respectivo pre-dimensionamiento. Este tipo de elementos no resisten fuerzas fuera de su plano, una consideración que es conservadora y válida para modelos de sistemas de resistencia sísmica basados en muros de carga.

Se debe garantizar la conexión entre los diferentes elementos de la estructura (diafragma-vigas, vigas-muros y muros-muros) para obtener una adecuada transmisión de cargas y los muros se conectan entre sí de acuerdo a la disposición arquitectónica. La asignación de materiales, secciones, diafragmas, cargas sobrepuestas, casos de carga, parámetros sísmicos, combinaciones de carga y demás, se realiza normalmente ya que no se presentan consideraciones particulares o especiales.

### **3.3 Análisis sísmico de la edificación**

A lo largo de este documento se ha mencionado la capacidad que deben tener los elementos para disipar energía, este es un concepto relacionado de manera estrecha con el diseño sísmico de las edificaciones y busca dar a la estructura la habilidad de disipar de la forma más eficiente la energía introducida por el movimiento del terreno. En caso de sismos severos, se considera aceptable que gran parte de la disipación de la energía se produzca a través de deformaciones inelásticas que conllevan daño, siempre y cuando no llegue a condiciones de colapso. En otras palabras lo que se busca es que la estructura posea una rigidez adecuada para limitar sus desplazamientos laterales y que a su vez posea resistencia a carga lateral suficiente para absorber las fuerzas de inercia producidas por el sismo y para ello es apropiado el uso de muros de concreto reforzado. Los muros de concreto son elementos muy eficientes para absorber efectos sísmicos en los edificios, por su gran rigidez y capacidad de cargas laterales.

Es de vital importancia que las fuerzas o cargas derivadas de la acción sísmica se determinen siguiendo de manera minuciosa los requisitos descritos en el Reglamento NSR-10, ya que de ello depende en gran medida el comportamiento y resistencia de los elementos que componen la edificación. En el Anexo E se presenta el análisis sísmico de la edificación, del ejemplo objeto de estudio. En él se puede apreciar la evaluación de cargas para el nivel de cubierta y piso tipo; definición de nivel de amenaza sísmica, valores de los coeficientes  $A_a$  y  $A_v$ , efectos locales, grupo de uso y coeficiente de importancia, características de la estructura y material empleado; análisis del periodo fundamental de la estructura por el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente y por el Método del Análisis Dinámico; espectro elástico de aceleraciones de diseño; cálculo del cortante sísmico y modal en la base y el ajuste de resultados; definición del grado de irregularidad de la estructura; combinaciones de carga y factores de mayoración; y finalmente la evaluación de derivas.

Uno de los resultados más importantes del análisis sísmico es la definición de los factores de mayoración en las combinaciones de carga, ya que estos retroalimentan el modelo matemático y son el punto de partida para la obtención de las fuerzas actuantes en los elementos.

### **3.4 Procedimiento de diseño**

Una vez han sido definidos los casos de carga e introducidos los factores de mayoración en el modelo matemático, se extrae la información que permite el análisis y diseño de los muros para ser introducida en la herramienta informática desarrollada para tal fin. En los pasos enumerados a continuación se describe la metodología a seguir.

#### **3.4.1 Paso 1. Datos de entrada**

Se introducen los datos de entrada a la herramienta informática por medio de las tablas o reportes proporcionados por el programa de análisis y diseño estructural. En este punto vale la pena recordar que los datos extraídos de los programas de diseño estructural deben corresponder a un solo nivel, ya que la plantilla de diseño se encuentra configurada para procesar la información de un piso de la edificación a la vez. Esta información no requiere ser insertada en un orden específico, sin embargo para efectos de este ejemplo, se ilustra en el mismo orden en el cual fue descrita a lo largo del Capítulo 2. En la hoja de cálculo *NIVEL. COMB.* se coloca la información de la tabla *Story Data* y se escribe las combinaciones y factores de mayoración que produjeron las fuerzas de diseño, tal como se ilustra en la Figura 3-3.

**Figura 3-3:** Datos de entrada. Tablas *Story Data* y *Load Combination* (Vista parcial)

<u>Story Data</u> (mm)				<u>Load Combinations</u>	
	<b>Story</b>	<b>Height</b>	<b>Elevation</b>	<b>SimilarTo</b>	
1	CUB	2500	50000	PISO 9	
2	PISO 19	2500	47500	PISO 9	1. 1.4 D
3	PISO 18	2500	45000	PISO 9	2. 1.2 D + 1.6 L
4	PISO 17	2500	42500	PISO 9	3. 1.2 D + 1.0 L + 0.37 EX
5	PISO 16	2500	40000	PISO 9	4. 1.2 D + 1.0 L - 0.37 EX
6	PISO 15	2500	37500	PISO 9	5. 1.2 D + 1.0 L + 0.32 EY

Combinaciones de carga - Diseño de muros (B.2.4.2 - NSR-10)

Fuente: elaboración propia.

De manera similar en la hoja *GEOMETRÍA* se coloca la tabla *Pier Section Properties*.

**Figura 3-4:** Datos de entrada. Tablas *Pier Section Properties* (Vista parcial)

<u>Pier Section Properties</u> (mm)									
Story	Pier	AxisAngle	NumAreaObj	NumLineObj	WidthBot	ThickBot	WidthTop	ThickTop	Material
PISO 2	M1	0	2	0	3520	100	3520	100	C420
PISO 2	M2	0	2	0	3520	100	3520	100	C420
PISO 2	M3	0	2	0	1422.5	100	1423	100	C420
PISO 2	M4	0	2	0	1422.5	100	1423	100	C420
PISO 2	M5	0	1	0	3075	120	3075	120	C420
PISO 2	M6	0	1	0	3075	120	3075	120	C420
PISO 2	M7	0	1	0	1572.5	120	1573	120	C420
PISO 2	M8	0	1	0	1572.5	120	1573	120	C420
PISO 2	M9	0	1	0	1572.5	120	1573	120	C420
PISO 2	M10	0	1	0	1572.5	120	1573	120	C420

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, en la hoja *SOLICITACIONES* se suministra la información de la tabla *Pier Forces*.

**Figura 3-5:** Datos de entrada. Tabla *Pier Forces* (Vista parcial)

<u>Pier Forces</u> (N, mm)									
Story	Pier	Load	Loc	FORCE P	SHEAR V2	SHEAR V3	FORCE T	MOMENT M2	MOMENT M3
PISO 2	M1	M1	Top	-1.53E+06	-1.03E+04	2	18	0	1.53E+07
PISO 2	M1	M1	Bottom	-1.56E+06	-1.03E+04	2	-14	0	-1.04E+07
PISO 2	M1	M2	Top	-1.66E+06	-1.21E+04	3	28	0	1.80E+07
PISO 2	M1	M2	Bottom	-1.69E+06	-1.21E+04	3	-21	0	-1.22E+07
PISO 2	M1	M3 MAX	Top	-1.32E+06	6.10E+04	200	14724	0	5.39E+08
PISO 2	M1	M3 MAX	Bottom	-1.35E+06	6.10E+04	200	6460	0	6.81E+08
PISO 2	M1	M3 MIN	Top	-1.74E+06	-8.27E+04	-195	-14677	0	-5.06E+08
PISO 2	M1	M3 MIN	Bottom	-1.76E+06	-8.27E+04	-195	-6495	0	-7.03E+08

Fuente: elaboración propia.

Y finalmente, en la hoja DESPLAZAMIENTOS la tabla *Diaphragm CM Displacements*.

**Figura 3-6:** Datos de entrada. Tabla *Diaphragm CM Displacements* (Vista parcial)

*Diaphragm CM Displacements* (mm)

Story	Diaphragm	Load	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	Point	X	Y	Z
CUB	D1	M1	0.08	-0.28	0	0	0	0	671	22663	11344	50000
CUB	D1	M2	0.10	-0.52	0	0	0	0	671	22663	11344	50000
CUB	D1	M3 MAX	32.64	-0.37	0	0	0	0	671	22663	11344	50000
CUB	D1	M3 MIN	-32.47	-0.45	0	0	0	0	671	22663	11344	50000
CUB	D1	M5 MAX	0.12	33.89	0	0	0	0	671	22663	11344	50000

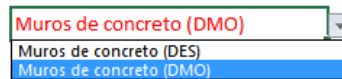
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2 Paso 2. Definición de variables y parámetros de diseño

En el encabezado de la hoja de cálculo *RESUMEN* se define algunas de las variables y parámetros inherentes al diseño de los muros. Las celdas con la fuente de color rojo, es la convención utilizada en la hoja para indicar aquellos aspectos que deben ser definidos por el usuario de la herramienta informática, tal como se ilustra en la Figura 3-7, Figura 3-8 y Figura 3-9. La fuente de color negro indica aquellos que se cargan a partir de los datos de entrada o son el producto de una ecuación o condicional. La Figura 3-7 ilustra la manera de especificar el material y grado de disipación de energía del sistema de resistencia sísmica.

**Figura 3-7:** Definición del material y grado de disipación de energía del sistema de resistencia sísmica

*Sistema estructural de resistencia sísmica:*



Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la compresión del concreto,  $f'_c$ , se define durante el pre-dimensionamiento de los elementos y se confirma al momento de realizar el diseño de estos. Cuando el diseño de todos los muros de la edificación da como resultado que la mayor parte de ellos requiere elemento de borde, es recomendable optar por incrementar la resistencia a la compresión del concreto del piso objeto de análisis, aumentar el espesor de los muros o una combinación de las dos. Esto con el fin de limitar el uso de elementos de borde a casos puntuales, ya que la utilización generalizada de estos dificulta el proceso constructivo al requerir piezas adicionales de formaleta y sobrecostos por mayor cantidad de acero de refuerzo y mano de obra. La especificación técnica de los materiales se define como se indica en la Figura 3-8.



**Figura 3-8:** Especificaciones técnicas de los materiales

*Especificaciones técnicas de los materiales:*

Resistencia a la compresión del concreto:  
 Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano:  
 Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo:

$f'_c = 42 \text{ MPa}$   
 $\lambda = 1.0$   
 $f_y = 420 \text{ MPa}$

**NSR-10 - C.8.6.1 Concreto liviano**

$\lambda=1.0$  para concreto de peso normal.  
 $\lambda=0.85$  para concreto liviano de arena de peso normal.  
 $\lambda=0.75$  para otros concretos de peso liviano.

Se permite la interpolación entre 0.75 y 0.85 con base en fracciones volumétricas, cuando una porción de los agregados finos de peso liviano es remplazada por agregado fino de peso normal. Se permite la interpolación lineal entre 0.85 y 1.0 para el concreto que contiene agregado fino de peso normal y una combinación de agregados gruesos de peso normal y liviano.

Fuente: elaboración propia.

Una práctica que hace el diseño de los muros eficiente técnica y económicamente, es reducir la especificación del concreto conforme las fuerzas de diseño son de menor magnitud, en la medida que el edificio gana altura. Un ejemplo de ello es la especificación de concretos para la edificación objeto de estudio, presentada en la Tabla 3-1, en donde se consiguió un diseño en el cual no se requirió elementos de borde y se mantuvo un espesor adecuado de los muros.

**Tabla 3-1:** Resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ) para cada nivel de la edificación

NIVEL	ESPECIFICACIÓN DE CONCRETO, $f'_c$ (MPa)
PISO 20	21
PISO 19	21
PISO 18	21
PISO 17	21
PISO 16	21
PISO 15	21
PISO 14	21
PISO 13	21
PISO 12	21
PISO 11	21
PISO 10	21
PISO 9	21
PISO 8	28
PISO 7	28
PISO 6	28
PISO 5	35
PISO 4	35
PISO 3	35
PISO 2	42
PISO 1	42

Fuente: elaboración propia.

Por último, se especifica la altura libre de los muros y placa de entrepiso. Ver Figura 3-9.

**Figura 3-9:** Parámetros de diseño

**Parámetros de diseño:**

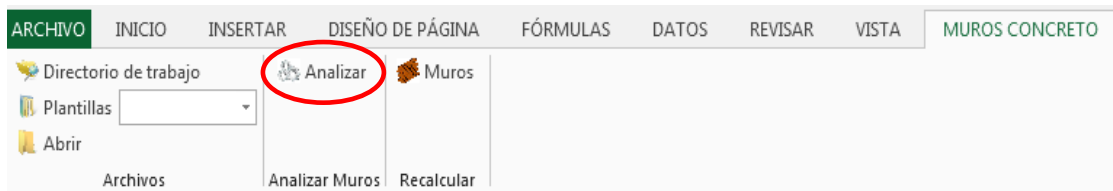
Altura total de los muros medida desde la base:	$h_w = 5000 \text{ mm}$
Altura libre de los muros:	$h_i = 2250 \text{ mm}$
Altura placa de entrepiso:	$h_s = 250 \text{ mm}$
Relación $\delta_u/h_w$ mínima:	$(\delta_u/h_w)_{\min} = 0.0035$
Esfuerzo de compresión máximo:	$0.30f'_c = 12.60 \text{ MPa}$

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3 Paso 3. Cálculo de la cuantía del refuerzo vertical

Como se describió en el numeral 2.1.6.8(a), la cuantía del refuerzo vertical del muro se determina a partir de la función *Analizar* ubicada en la barra de menú. Ver Figura 3-10.

**Figura 3-10:** Botón *Analizar*.



Fuente: elaboración propia.

### 3.4.4 Paso 4. Definición del tipo de refuerzo en cada muro

Cuando la aplicación ha finalizado el proceso de iteración para los valores de cuantía, se puede consultar el valor del área de refuerzo requerido en sentido longitudinal y transversal para cada uno de los elementos, y asignar la especificación del refuerzo que cubra la demanda de las fuerzas de diseño, de acuerdo al criterio del diseñador, tal como se describió en los numerales 2.1.6.8 y 2.1.6.9. Una vez se ha completado el análisis de todos los muros y especificado su refuerzo, se repite el procedimiento de diseño piso a piso, de manera ascendente, hasta completar con el total de la edificación.

Para la edificación del ejemplo, se asignó la cuantía mínima en refuerzo electrosoldado de acuerdo al espesor de los muros, dispuesto en una o dos capas según sea necesario, y el área de refuerzo

faltante en cada uno de ellos se colocó con barras de acero concentradas en los extremos. En la Tabla 3-2 se resume la especificación del refuerzo electrosoldado.

**Tabla 3-2:** Resumen de refuerzo electrosoldado de acuerdo al espesor de los muros

ESPESOR DE MURO (mm)	I.D. MALLA	# CAPAS DE REFUERZO	TIPO	ESPECIFICACION DEL REFUERZO ELECTROSOLDADO
100	22	1	A-221	6.5 mm c/150 mm en ambas direcciones
120	23	1	A-257	7.0 mm c/150 mm en ambas direcciones
150	20	2	A-159	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones

Fuente: elaboración propia.

El autor sugiere recopilar en una sola tabla el refuerzo adicional que será dispuesto en barras de acero corrugado, tanto vertical como horizontal, con el fin de visualizar como es el comportamiento de este a medida que los muros ganan altura, optimizando y haciendo coherente su distribución. La Tabla 3-3 presenta un resumen del refuerzo vertical adicional en cada extremo de algunos de los muros y para los primeros cinco niveles.

**Tabla 3-3:** Resumen parcial de refuerzo vertical en barras de acero para cada nivel

I.D. MURO	ESPESOR DE MURO (mm)	LONGITUD DE MURO (mm)	REFUERZO VERTICAL ADICIONAL SUMINISTRADO EN C/ EXTREMO				
			PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5
M1	100	3520	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere
M25	150	6890	6#5	6#4	6#3	4#3	2#3
M28	120	2023	3#4	2#4	1#4	1#3	No requiere
M37	150	3453	4#6	4#5	4#4	4#3	2#3
M96	100	1573	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere

Fuente: elaboración propia.

### 3.5 Diseño de muro estructural

En esta sección se presenta por medio de un ejemplo la descripción detallada de los cálculos, consideraciones y requisitos de diseño tenidas en cuenta para el diseño de un muro estructural y la programación de la herramienta informática. Se tomó el elemento identificado con el *Pier Label* M11, y para una de las combinación de carga que incluía efectos sísmicos y con la cual se obtenía la mayor área de refuerzo.

- Información del muro y solicitaciones de diseño

Identificación del muro: M11

Piso o nivel: 2

Combinación y factores de mayoración: M-7: 0.9 D + 0.37 EX

Espesor ( $b_w$ ): 150 mm

Longitud ( $L_w$ ): 3450mm

Carga axial mayorada ( $P_u$ ): 94,188 N

Momento mayorado en la sección ( $M_u$ ): 1,287,489,525 N mm

Fuerza cortante mayorada en la sección ( $V_u$ ): 191,327 N

**Figura 3-11:** Información de los muros y solicitaciones de diseño para el muro M11

INF. DE LOS MUROS			SOLICITACIONES DE DISEÑO			
I.D. Muro	Espesor muro $b_w$ (mm)	Long. muro $L_w$ (mm)	Axial		Momento $M_u$ (N-mm)	Cortante $V_u$ (N)
			$P_u$ (N)	$T_u$ (N)		
M11	150	3450	94188	0	1.29E+09	191327

Fuente: elaboración propia.

- Cuantías mínimas: según el numeral C.21.9.2.1 del Reglamento NSR-10, las cuantías ( $\rho_t$ ,  $\rho_l$ ) de refuerzo distribuido en el alma no deben ser menores que 0.0025, excepto si  $V_u$  no excede

$\frac{1}{12} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ ,  $\rho_t$  y  $\rho_l$  se pueden reducir a los valores requeridos en C.14.3. Para este caso:

$$V_u \leq \frac{1}{12} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$191,327N \leq \frac{1}{12} * 150mm * 3450mm * 1.0 * \sqrt{42} N/mm^2$$

$191,327N \leq 279,482N$  Cumple. Los valores se pueden reducir a  $\rho_l = 0.0012$  y  $\rho_t = 0.0020$ , de acuerdo a lo descrito en C.14.3.2 y C.14.3.3 respectivamente.

**Figura 3-12:** Cálculo de cuantías mínimas para el muro M11

CUANTÍAS MÍNIMAS		
$V_u$ límite 1 (N)	Cuantía Horizontal ( $\rho_t$ )	Cuantía Vertical ( $\rho_l$ )
279482	0.0020	0.0012

Fuente: elaboración propia.

- Capas de refuerzo: deben emplearse al menos dos capas o cortinas de refuerzo cuando  $V_u$  exceda

$$\frac{1}{6} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}, \text{ entonces:}$$

$$V_u \leq \frac{1}{6} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$191,327N \leq \frac{1}{6} * 150mm * 3450mm * 1.0 * \sqrt{42} N/mm^2$$

191,327N ≤ 558,964N Cumple. Se podría utilizar una sola capa de refuerzo, sin embargo por razones constructivas se considera que muros con espesores mayores a 120mm deben tener dos capas de refuerzo. El recubrimiento debe ser mayor o igual a 20 mm, según C.7.7.1(c) NSR-10.

**Figura 3-13:** Definición del número de capas de refuerzo para el muro M11

CAPAS DE REFUERZO	
$V_u$ limite 2 (N)	# capas de refuerzo
558964	2

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión  $\phi$ : para elementos sometidos a flexo-compresión el valor del coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$  puede aumentar linealmente desde 0.65 para secciones controladas por compresión hasta 0.90 para secciones controladas por tracción, en la medida que  $\phi P_n$  disminuye desde  $0.10f'_c A_g$  o  $\phi P_b$ , el que sea menor, hasta cero, según lo dispuesto en C.9.3.2.2 del Reglamento. Para el ejemplo:

$$P_{\text{limite 1}} = 0.10f'_c A_g$$

$$P_{\text{limite 1}} = 0.10 * 42 N/mm^2 * 150mm * 3450mm$$

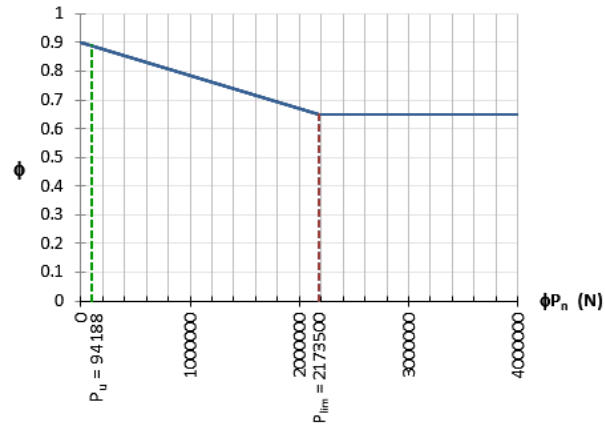
$$P_{\text{limite 1}} = 2,173,500N$$

$$P_{\text{limite 2}} = 0.43f'_c db_w$$

$$P_{\text{limite 2}} = 0.43 * 42 N/mm^2 * 0.8 * 3450mm * 150mm$$

$$P_{\text{limite 2}} = 4,859,946N$$

Como  $94,188N < 2,173,500N$ , se encuentra en la zona de variación lineal, por lo tanto:

**Figura 3-14:** Definición del coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$  para el muro M11

Fuente: elaboración propia.

Para una carga de 94188N, el valor del coeficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión es  $\phi = 0.89$ .

**Figura 3-15:** Cálculo del coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$  para el muro M11

CALCULO DE $\phi$		
$P_{\text{limite 1}}$ (N)	$P_{\text{limite 2}}$ (N)	$\phi$
2173500	4859946	0.89

Fuente: elaboración propia.

- Análisis por flexo-compresión: el cálculo de la cuantía del refuerzo vertical se realiza partiendo del principio que la resistencia de diseño a momento,  $\phi M_n$ , para la combinación de carga axial y flexión debe cumplir  $\phi M_n \geq M_u$ . La metodología propuesta en el presente documento para determinar la resistencia a flexión en muros estructurales se sustenta en las ecuaciones propuestas por Cárdenas y Magura<sup>4</sup>. Por lo tanto:

$$\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0$$

<sup>4</sup> CÁRDENAS y MAGURA, Op. Cit., p. 31.

Iniciando con la cuantía mínima para refuerzo vertical definida anteriormente,  $\rho_1 = 0.0012$ , y a partir de un proceso iterativo, se encuentra que una cuantía de 0.0037 cumple con la condición

$$\left( \frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0 \right)$$

La relación  $c/l_w$  se calcula a partir de:

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\frac{P_u/\phi}{f'_c l_w b_w} + \rho_v \frac{f_y}{f'_c}}{2\rho_v \frac{f_y}{f'_c} + 0.85 \left( 1.05 - \frac{f'_c}{140} \right)}$$

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\frac{94,188\text{N}/0.89}{42\text{N/mm}^2 * 3450\text{mm} * 150\text{mm}} + 0.0037 \frac{420\text{N/mm}^2}{42\text{N/mm}^2}}{2*0.0037* \frac{420\text{N/mm}^2}{42\text{N/mm}^2} + 0.85 \left( 1.05 - \frac{42}{140} \right)}$$

$$\frac{c}{l_w} = 0.059$$

Y la resistencia de diseño a flexión se calcula a partir de:

$$\phi M_n = \phi 0.50 A_s f_y l_w \left( 1 + \frac{P_u/\phi}{A_s f_y} \right) \left( 1 - \frac{c}{l_w} \right)$$

$$\phi M_n = 0.89 * 0.50 * 0.0037 * 150\text{mm} * (3450\text{mm})^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \left( 1 + \frac{94,188\text{N}/0.89}{0.0037 * 3450\text{mm} * 150\text{mm} * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right) (1 - 0.059)$$

$$\phi M_n = 1.31 \times 10^9 \text{ N mm}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_u} \geq 1.0$$

$$\frac{1.31 \times 10^9 \text{ N mm}}{1.29 \times 10^9 \text{ N mm}} \geq 1.0$$

$$1.02 \geq 1.0 \quad \text{Cumple.}$$

**Figura 3-16:** Resultado de los análisis por flexo-compresión para el muro M11

FLEXO-COMPRESIÓN			
C/L <sub>w</sub>	ϕM <sub>n</sub> (N-mm)	ϕM <sub>n</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>u</sub> ≤ ϕM <sub>n</sub>
0.059	1.31E+09	1.02	Cumple

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo del refuerzo vertical:

$$A_{sv} = \rho_v b_w l_w$$

$$A_{sv} = 0.0037 * 150\text{mm} * 3450\text{mm}$$

$$A_{sv} = 1915\text{mm}^2 \quad \therefore \quad 555 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

**Figura 3-17:** Resultados del diseño de refuerzo vertical para el muro M11 (1)

REFUERZO VERTICAL							
P <sub>vertical</sub> requerida	A <sub>s</sub> vertical requerido				A <sub>s</sub> vertical mínimo		¿Confinar refuerzo vertical?
	Flexión		Tracción	Total	Total	Resultado	
	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> /m)	(mm <sup>2</sup> /m)	(mm <sup>2</sup> /m)	(mm <sup>2</sup> )		
0.0037	1915	555	0	555	621	Ok	NO

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó en el numeral 3.4.4, la cuantía mínima del muro se asigna en malla electrosoldada con refuerzo principal en las dos direcciones, dispuesta en una o dos capas según sea necesario, y el área de refuerzo faltante con barras de acero concentradas en los extremos. Teniendo en cuenta que el tipo de refuerzo electrosoldado a utilizar proporciona la misma área de acero en los dos sentidos, esta se calcula a partir del mayor valor de cuantía mínima entre  $\rho_l = 0.0012$  y  $\rho_t = 0.0020$ .

$$A_{sh} = \rho_v b_w h_w$$

$$A_{sh} = 0.0020 * 150\text{mm} * 2250\text{mm}$$

$$A_{sh} = 675\text{mm}^2 \quad \therefore \quad 300 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$



Como se había definido anteriormente se debe colocar doble capa de refuerzo, por lo tanto malla electrosoldada con refuerzo principal en ambas direcciones de  $\phi$  5.5mm c/150mm, cumple satisfactoriamente.

$$158.5 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 2 = 317 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$300 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \leq 317 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \quad \text{Cumple.}$$

Ahora se determina la cantidad de refuerzo concentrado en cada extremo del muro:

$$555 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} - 317 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = 238 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$238 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 3.45\text{m} = 821\text{mm}^2$$

Por lo tanto, se requiere 411mm<sup>2</sup> en cada extremo del muro, el equivalente a 4 barras No.4.

**Figura 3-18:** Resultados del diseño de refuerzo vertical para el muro M11 (2)

REFUERZO VERTICAL							
I.D. A <sub>s</sub> malla	A <sub>s</sub> vertical suministrado en malla (mm <sup>2</sup> /m)	A <sub>s</sub> vertical adicional c/extremo (mm <sup>2</sup> )	I.D. A <sub>s</sub> barra	A <sub>s</sub> vertical adicional suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. vertical adicional suministrado en c/extremo	ρ <sub>vertical</sub> suministrada total	A <sub>s</sub> vertical suministrado total (mm <sup>2</sup> /m)
20	317	411	165	516	4#4	0.0041	616

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo del refuerzo horizontal: según el numeral C.11.1.1 del Reglamento NSR-10 el análisis para determinar el refuerzo horizontal del muro debe estar basado en  $\phi V_n \geq V_u$ , y  $\phi V_n$  debe corresponder a la resistencia proporcionada de manera conjunta por el concreto,  $V_c$ , y el acero de refuerzo,  $V_s$ , ( $V_n = V_c + V_s$ ). Por otro lado C.11.2.1.2 define que  $\phi V_c$  es igual a:

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

También C.11.4.7.2 describe que  $V_s$  es igual a:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

Despejando en función de la cuantía, se obtiene:

$$\rho_{hor} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} b_w d}$$

Donde la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo a tracción es igual a  $0.8l_w$ , según C.11.9.4 NSR-10.

Para el ejemplo se tiene que la resistencia al cortante proporcionada por el concreto es igual a:

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\phi V_c = 0.75 * \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{94,188N}{14 * 150mm * 3450mm} \right) * 1.0 * \sqrt{42} \frac{N}{mm^2} * 150mm * 0.8 * 3450mm$$

$$\phi V_c = 339,738N$$

Y la cuantía de refuerzo horizontal para la sección es:

$$\rho_h = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} b_w d}$$

$$\rho_h = \frac{191,327N - 339,738N}{0.75 * 420 \frac{N}{mm^2} * 150mm * 0.8 * 3450mm}$$

$$\rho_h = -0.0011$$

Teniendo en cuenta que el valor obtenido es inferior a la cuantía mínima de la sección, se adopta:

$$\rho_t = 0.0020.$$

Como se había definido anteriormente una malla de  $\phi 5.5mm$  c/150mm en ambas direcciones cumple satisfactoriamente.

**Figura 3-19:** Resultados del diseño de refuerzo horizontal para el muro M11

REFUERZO HORIZONTAL											
ØV <sub>c</sub>	P <sub>horizontal</sub> requerida	A <sub>s</sub> horizontal requerido		I.D. malla	A <sub>s</sub> horizontal suministrado en malla (mm <sup>2</sup> /m)	A <sub>s</sub> horizontal adicional requerido (mm <sup>2</sup> )	I.D. barra	A <sub>s</sub> horizontal adicional suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. horizontal adicional suministrado	P <sub>horizontal</sub> suministrada total	A <sub>s</sub> horizontal suministrado total (mm <sup>2</sup> /m)
		Cortante									
		(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> /m)								
339738	-0.0011	675	300	20	317	0	0	0	No requiere	0.0021	317

Fuente: elaboración propia.

- Revisión por cortante: la resistencia de diseño a cortante se define, según C.11.1.1 del Reglamento. Donde  $\phi V_n$  es igual a:

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_{sv}$$

$$\phi V_n = \phi \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d + \frac{\phi A_v f_y d}{s}$$

Para el ejemplo:

$$\phi V_n = 339,738N + \frac{0.75 * 317 \frac{mm^2}{m} * 0.15m * 420 \frac{N}{mm^2} * 0.8 * 3450mm}{150mm}$$

$$\phi V_n = 615145N$$

Entonces:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$191,327N \leq 615,145N \quad \text{Cumple}$$

Conforme a C.21.9.4.1, también se debe revisar  $\phi V_n \leq \phi V_{n \max}$ , y  $\phi V_{n \max}$  es igual a:

$$\phi V_{n \max} = \phi A_{cv} \left( \alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_{ver} f_y \right)$$

Donde el coeficiente  $\alpha_c$  es **0.25** para  $h_w/l_w \leq 1.5$ , **0.17** para  $h_w/l_w \leq 2.0$  y varía linealmente entre **0.25** y **0.17** para  $h_w/l_w$  entre **1.5** y **2.0**.

En consecuencia:

$$\frac{2250mm}{3450mm} = 0.65$$

Por lo tanto  $\alpha_c = 0.25$

Realizando la verificación de la resistencia de diseño a cortante:

$$\phi V_n \leq \phi V_{n \max}$$

$$615,145N \leq 0.75 * 150mm * 3450mm \left( 0.25 * 1.0 * \sqrt{42} \frac{N}{mm^2} + 0.0021 * 420 \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$615,145N \leq 973,092N \quad \text{Cumple}$$

El Reglamento también define que para segmentos de muros individuales,  $V_n$  no debe suponerse mayor que  $0.83A_{cw}\sqrt{f'_c}$ , entonces:

$$\phi V_n \leq \phi 0.83A_{cw}\sqrt{f'_c}$$

$$615,145N \leq 0.75 * 0.83 * 150mm * 3450mm * \sqrt{42} \frac{N}{mm^2}$$

$$615,145N \leq 2,087,730N \quad \text{Cumple}$$

**Figura 3-20:** Resultado de los análisis por fuerza cortante para el muro M11

CORTANTE					
$\phi V_n$ (N)	$V_u \leq \phi V_n$	$\alpha_c$	$\phi V_{n \max.1}$ (N)	$\phi V_{n \max.2}$ (N)	$\phi V_n \leq \phi V_{n \max.}$
615145	Cumple	0.25	973092	2087730	Cumple

Fuente: elaboración propia.

- Revisión por carga axial: la resistencia axial de diseño de elementos en compresión no debe tomarse mayor que  $\phi P_n$ , de acuerdo a lo definido en C.10.3.6 NSR-10.

$$\phi P_n = 0.75\phi \left[ 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right]$$

$$\phi P_n = 0.75 * 0.89 \left[ 0.85 * 42 \frac{N}{mm^2} \left( 150mm * 3450mm - 616 \frac{mm^2}{m} * 3.45m \right) + 420 \frac{N}{mm^2} * 616 \frac{mm^2}{m} * 3.45m \right]$$

$$\phi P_n = 12,864,909N$$

Entonces:

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$94,188\text{N} \leq 12,864,909\text{N} \quad \text{Cumple}$$

**Figura 3-21:** Resultado de los análisis por carga axial para el muro M11

CARGA AXIAL	
$\phi P_n$ (N)	$P_u \leq \phi P_n$
12864909	Cumple

Fuente: elaboración propia.

- Revisión elementos de borde: la necesidad de colocar elementos de borde en los límites verticales de un muro de concreto reforzado se analiza desde dos enfoques, uno basado en desplazamientos y otro sustentado en esfuerzos. El numeral C.21.9.6.2 del Reglamento, define que para muros continuos desde la base de la estructura hasta la parte superior y que poseen una única sección crítica para flexión y carga axial, se debe determinar la necesidad de colocar elementos de borde a partir de un enfoque basado en desplazamientos. El muro objeto de análisis cumple con dichas condiciones, sin embargo por efectos didácticos se realiza la revisión por los dos métodos.
- Por desplazamientos: Según C.21.9.6.2 NSR-10, las zonas de compresión debe ser reforzadas con elementos de borde cuando:

$$\frac{c}{l_w} \geq \frac{1}{600(\delta_u/h_w)}$$

Donde,

$$\frac{\delta_u}{h_w} \geq 0.0035 \quad \text{Para (DMO)}$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} \geq 0.0070 \quad \text{Para (DES)}$$

Para el muro M11 se tiene:  $l_w = 3450\text{mm}$ ,  $h_w = 5000\text{mm}$ ,  $\delta_u = 0.93\text{mm}$  y  $c/l_w = 0.059$ .

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{0.93\text{mm}}{5000\text{mm}} = 1.86 \times 10^{-4}$$

$1.86 \times 10^{-4} < 0.0035$ , luego se debe tomar 0.0035.

Por lo tanto:

$$\frac{c}{l_w} \geq \frac{1}{600(\delta_u/h_w)}$$

$$0.059 \geq \frac{1}{600 * 0.0035}$$

$0.059 \leq 0.476$  El muro no requiere elemento de borde.

- Por esfuerzos: C.21.9.6.3 y C.21.4.4.2 definen que se debe tener elementos de borde cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos **E** sobrepase  $0.2f'_c$  para muros diseñados con capacidad especial de disipación de energía (DES) y de  $0.3f'_c$  para muros diseñados con capacidad moderada de disipación de energía (DMO).

Entonces el esfuerzo de compresión máximo para el ejemplo es:

$$\sigma_{\max} = 0.3f'_c$$

$$\sigma_{\max} = 0.3 * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 12.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El esfuerzo de compresión de la fibra extrema: el esfuerzo máximo ocurre en la sección del muro en donde el momento flector es máximo, es decir, en la sección transversal a través del eje neutro y se obtiene sumando los esfuerzos normales debidos, respectivamente, a la fuerza axial y al momento flector ejercido en la sección.

$$\sigma_{\text{eb}} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \frac{l_w}{2}}{I_g}$$

$$\sigma_{\text{eb}} = \frac{94188\text{N}}{150\text{mm} * 3450\text{mm}} + \frac{1.29 \times 10^9 \text{N mm} * \frac{3450\text{mm}}{2}}{150\text{mm} * \frac{(3450\text{mm})^3}{12}}$$

$$\sigma_{eb} = 4.51 \frac{N}{mm^2}$$

Realizando la verificación:

$$\sigma_{eb} \leq \sigma_{max}$$

$$4.51 \frac{N}{mm^2} \leq 12.6 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Cumple. El muro no requiere elemento de borde.}$$

En la Figura 3-22 y Figura 3-23 se ilustra la disposición de los parámetros de diseño y cálculos efectuados en la hoja de cálculo para la revisión de los elementos de borde.

**Figura 3-22:** Parámetros de diseño para la revisión de elemento de borde del muro M11

**Parámetros de diseño:**

Altura total de los muros medida desde la base:	$h_w = 5000 \text{ mm}$
Altura libre de los muros:	$h_l = 2250 \text{ mm}$
Altura placa de entepiso:	$h_s = 250 \text{ mm}$
Desplazamiento de diseño, en la dirección x:	$\delta_{u,x} = 0,93 \text{ mm}$
Desplazamiento de diseño, en la dirección y:	$\delta_{u,y} = 0,01 \text{ mm}$
Relación $\delta_u/h_w$ mínima:	$(\delta_u/h_w)_{min} = 0,0035$
Esfuerzo de compresión máximo:	$0.30f'_c = 12,60 \text{ MPa}$

Fuente: elaboración propia.

**Figura 3-23:** Revisión elementos de borde en el muro M11 (1)

REVISIÓN ELEMENTOS DE BORDE				
Dirección muro	$\frac{1}{600} \frac{\delta_u}{h_w}$	¿Se requiere elemento de borde?	$\frac{c/l_w}{600 \delta_u/h_w}$	$\sigma_{eb}$ (MPa)
X	0.476	NO	12.36%	4.51

Fuente: elaboración propia.

Así el muro no requiera elementos de borde se debe cumplir con las condiciones descritas en C.21.9.6.5. Si la cuantía de refuerzo longitudinal en el borde del muro es mayor que  $2.8/f_y$ , el refuerzo transversal de borde debe cumplir con lo indicado en C.21.6.4.2 y C.21.9.6.4(a). El espaciamiento longitudinal máximo del refuerzo transversal en el borde no debe exceder de 200 mm.

$$\rho_v > \frac{2.8}{f_y}$$

$$0.0037 > \frac{2.8}{420 \frac{N}{mm^2}}$$

0.0037 < 0.0067 Por lo tanto no se requiere el refuerzo transversal pedido en C.21.9.6.5(a).

Excepto cuando  $V_u$  en el plano del muro sea menor que  $0.083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ , el refuerzo transversal que termine en los bordes de muros estructurales sin elementos de borde debe tener un gancho estándar que enganche el refuerzo de borde, o el refuerzo de borde debe estar abrazado con estribos en U que estén empalmados al refuerzo horizontal y tengan su mismo tamaño y espaciamiento.

$$V_u \leq \frac{1}{12} A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$191,327N \leq \frac{1}{12} * 150mm * 3450mm * 1.0 * \sqrt{42} N/mm^2$$

191,327N ≤ 279,482N Cumple. El refuerzo transversal del muro no requiere terminar en gancho estándar o estribos en U.

**Figura 3-24:** Diseño de elementos de borde para el muro M11 (1)

DISEÑO ELEMENTOS DE BORDE								
Longitud mínima $L_{eb}$ (mm)	Espesor mínimo $b_{eb}$ (mm)	Carga axial sobre el elemento de borde (N)	$A_s$ elem.borde calculado (mm <sup>2</sup> )	I.D. $A_s$ barra	$A_s$ elem.borde suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. vertical suministrado en c/elem. de borde	Refuerzo trans. cuando no se requiere elem. de borde	¿Refuerzo horizontal requiere gancho?
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	NO

Fuente: elaboración propia.

Los análisis presentados anteriormente se deben repetir para cada una de las combinaciones de carga y posteriormente realizar la envolvente de diseño a partir de las áreas de refuerzo obtenidas. En la Tabla 3-4 se proporciona el resumen del diseño para el muro M11 en su altura total y en el Anexo F el detallado esquemático del mismo.



**Tabla 3-4:** Resumen de refuerzo para todos los pisos muro M11

NIVEL	ESPECIFICACIÓN CONCRETO, $f'_c$ (MPa)	ESPECIFICACIÓN DE REFUERZO			
		# CAPAS DE REFUERZO	ESPECIFICACIÓN DE REFUERZO ELECTROSOLDADO	VERTICAL EN C/EXTREMO	HORIZONTAL ADICIONAL
PISO 20	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 19	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 18	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 17	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 16	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 15	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 14	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 13	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 12	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 11	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 10	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 9	21	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 8	28	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 7	28	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 6	28	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 5	35	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 4	35	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	No requiere	No requiere
PISO 3	35	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	4#3	No requiere
PISO 2	42	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	4#4	No requiere
PISO 1	42	2	5.5 mm c/150 mm en ambas direcciones	4#5	No requiere

Fuente: elaboración propia.

- Diseño elementos de borde: en el diseño del muro presentado anteriormente no se requirió de elementos de borde, sin embargo dada la importancia que estos representan, se desarrolla a continuación un ejemplo con la metodología y requisitos de diseño. Se adopta el mismo muro M11, pero sus solicitaciones fueron incrementadas intencionalmente con el fin de poder realizar los análisis.

- Información general del muro:

Dimensiones:  $l_w = 3450\text{mm}$ ,  $b_w = 150\text{mm}$

Solicitaciones:  $P_u = 5,306,697\text{N}$ ,  $M_u = 1.68 \times 10^9\text{N mm}$  y  $V_u = 242,762\text{N}$

Cuantía mínima:  $\rho_1 = 0.0012$  y  $\rho_t = 0.0020$

**Figura 3-25:** Información de muro M11 (1)

INF. DE LOS MUROS			SOLICITACIONES DE DISEÑO				CUANTÍAS MÍNIMAS		
I.D. Muro	Espesor muro $b_w$ (mm)	Long. muro $L_w$ (mm)	Axial		Momento $M_u$ (N-mm)	Cortante $V_u$ (N)	$V_{u \text{ límite 1}}$ (N)	Cuantía Horizontal ( $\rho_t$ )	Cuantía Vertical ( $\rho_l$ )
			$P_u$ (N)	$T_u$ (N)					
M11	150	3450	5306697	0	1.68E+09	242762	279482	0.0020	0.0012

Fuente: elaboración propia.

Capas de refuerzo: 2

Coefficiente de reducción de capacidad a flexo-compresión  $\phi = 0.65$

**Figura 3-26:** Información de muro M11 (2)

CAPAS DE REFUERZO		CALCULO DE $\phi$		
$V_u$ límite 2 (N)	# capas de refuerzo	$P_{límite 1}$ (N)	$P_{límite 2}$ (N)	$\phi$
558964	2	2173500	4859946	0.65

Fuente: elaboración propia.

- Parámetros de diseño:  $h_w = 5000\text{mm}$ ,  $\delta_u = 0.93\text{mm}$  y  $c/l_w = 0.586$ .
- Revisión por desplazamientos:

$$\frac{c}{l_w} \geq \frac{1}{600(\delta_u/h_w)}$$

$$0.586 \geq \frac{1}{600 * 0.0035}$$

$0.586 \geq 0.476$  El muro requiere elemento de borde.

- Revisión por esfuerzos: aunque las condiciones del muro no requieren su revisión por el enfoque basado en esfuerzos, este se realiza con fines didácticos.

$$\sigma_{\max} = 12.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Esfuerzo de compresión de la fibra extrema:

$$\sigma_{\text{eb}} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \frac{l_w}{2}}{I_g}$$

$$\sigma_{\text{eb}} = \frac{5,306,697\text{N}}{150\text{mm} * 3450\text{mm}} + \frac{1.68 \times 10^9 \text{N mm} * \frac{3450\text{mm}}{2}}{150\text{mm} * (3450\text{mm})^3 / 12}$$

$$\sigma_{\text{eb}} = 15.88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Realizando la verificación:

$$\sigma_{eb} \leq \sigma_{max}$$

$$15.88 \frac{N}{mm^2} > 12.6 \frac{N}{mm^2} \quad \text{No cumple. El muro requiere elemento de borde.}$$

**Figura 3-27:** Revisión elementos de borde en el muro M11 (2)

REVISIÓN ELEMENTOS DE BORDE				
Dirección muro	$\frac{1}{600} \frac{\delta_u}{h_w}$	¿Se requiere elemento de borde?	$\frac{c/h_w}{\frac{1}{600} \frac{\delta_u}{h_w}}$	$\sigma_{eb}$ (MPa)
X	0.476	SI	123.05%	15.88

Fuente: elaboración propia.

- Diseño elementos de borde: los requisitos de diseño indicados a continuación se aplican tanto a elementos de borde definidos por el enfoque basado en desplazamientos, como en el basado por esfuerzos de compresión.

Longitud mínima: según lo dispuesto en C.21.9.6.4 del Reglamento, el elemento de borde se debe extender horizontalmente desde la fibra extrema en compresión hasta una distancia no menor que el mayor valor entre  $c-0.1l_w$  y  $c/2$ .

$$L_{eb} = c - 0.1l_w$$

$$L_{eb} = 0.586 * 3450mm - 0.1 * 3450mm$$

$$L_{eb} = 1677mm$$

$$L_{eb} = \frac{c}{2}$$

$$L_{eb} = \frac{0.586 * 3450mm}{2}$$

$$L_{eb} = 1011mm$$

La longitud o profundidad adoptada para el elemento de borde es 1680mm.

Espesor mínimo: el numeral C.21.9.6.4(c) del Reglamento define que el refuerzo transversal de los elementos de borde debe cumplir con los requisitos descritos para columnas. Por lo que también se podría considerar que la dimensión mínima corresponde a la de una columna

según su capacidad de disipación de energía en el rango inelástico. Según establece C.21.3.5.1 la menor dimensión para columnas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) es 250 mm. Por lo tanto:

$$b_{eb} = 250\text{mm}$$

Carga axial en el elemento de borde: como se mencionó en el numeral 2.1.6.7(c) los muros están supeditados a un efecto combinado de carga axial y momento, que de manera conservadora se pueden calcular a partir de:

$$P_{cu} = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{(l_w - L_{eb})}$$

$$P_{cu} = \frac{5,306,697\text{N}}{2} + \frac{1.68 \times 10^9 \text{N mm}}{(3450\text{mm} - 1677\text{mm})}$$

$$P_{cu} = 3,597,912\text{N}$$

Refuerzo longitudinal: despejando  $A_s$  de la ecuación que define la carga axial máxima de diseño, descrita en C.10.3.6.2 NSR-10, se puede calcular la cantidad de acero de refuerzo longitudinal del elemento de borde. Sin embargo esta cantidad no puede ser menor que  **$0.01A_g$** .

$$A_{s\text{ eb}} = \frac{P_{eb} - 0.75\phi 0.85f'_c A_g}{0.75\phi(f_y - 0.85f'_c)}$$

$$A_{s\text{ eb}} = \frac{3,597,912\text{N} - 0.75 * 0.65 * 0.85 * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 250\text{mm} * 1677\text{mm}}{0.75 * 0.65 * \left(420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 0.85 * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}$$

$$A_{s\text{ eb}} = -19742\text{mm}^2$$

$$A_{s\text{ eb}} = \rho_{\min} b_{eb} L_{eb}$$

$$A_{s\text{ eb}} = 0.01 * 250\text{mm} * 1677\text{mm}$$

$$A_{s\text{ eb}} = 4192\text{mm}^2$$

Por lo tanto se requiere  $4192\text{mm}^2$  en cada extremo del muro, el equivalente a 34 barras No.4.

**Figura 3-28:** Diseño de elementos de borde para el muro M11 (2)

DISEÑO ELEMENTOS DE BORDE								
Longitud mínima $L_{eb}$ (mm)	Espesor mínimo $b_{eb}$ (mm)	Carga axial sobre el elemento de borde (N)	$A_s$ elem. borde calculado (mm <sup>2</sup> )	I.D. barra $A_s$	$A_s$ elem. borde suministrado (mm <sup>2</sup> )	Ref. vertical suministrado en c/elem. de borde	Refuerzo trans. cuando no se requiere elem. de borde	¿Refuerzo horizontal requiere gancho?
1677	250	3597912	4192	67	4386	34#4	-	-

Fuente: elaboración propia.

Refuerzo transversal: el Reglamento define en C.21.9.6.4(c) y C.21.4.4.3, que el refuerzo transversal de los elementos de borde deben cumplir los requisitos para columnas según su capacidad de disipación de energía. Si el diseño corresponde a una capacidad moderada de disipación de energía (DMO) se define la separación de los estribos de acuerdo a los requisitos descritos en C.21.3.5.6 y C.21.3.5.7. La separación del refuerzo transversal,  $s_o$ , no debe exceder la menor de:

- Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
- 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- Un medio de la menor dimensión del elemento de borde, pero no hay necesidad que este espaciamiento sea menor de 75 mm.
- 150 mm

De igual manera, se debe garantizar que el área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento rectangulares,  $A_{sh}$ , colocados en la longitud  $l_o$  no debe ser menor que la requerida por la ecuación:

$$A_{sh} = 0.06 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

Expresada en términos de la separación:

$$s = \frac{A_{sh} f_{yt}}{0.06 b_c f'_c}$$

Para el ejemplo objeto de estudio se evalúa la separación del refuerzo transversal a partir de la distribución adoptada en la Figura 3-29 y de las siguientes consideraciones en la especificación del refuerzo:

Designación del refuerzo longitudinal y transversal: barra corrugada No.4.

Diámetro nominal de la barra No.4: 12.7 mm

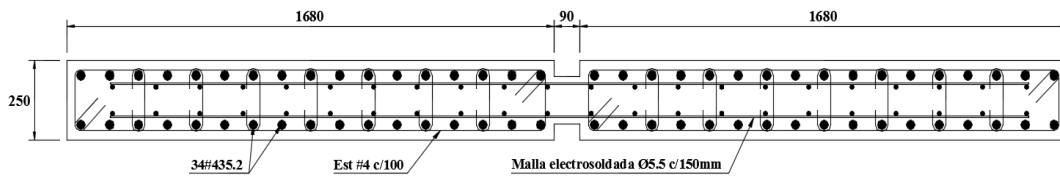
Área nominal de la barra No.4: 129 mm<sup>2</sup>

Recubrimiento: 40 mm

Numero de ramas del elemento de borde en la dirección paralela al plano del muro: 2

Numero de ramas del elemento de borde en la dirección perpendicular al plano del muro: 9

**Figura 3-29:** Detallado de refuerzo muro M11(1)



Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto:

$$s = 8d_b = 8 * 12.7\text{mm} = 102\text{mm}$$

$$s = 16d_e = 16 * 12.7\text{mm} = 203\text{mm}$$

$$s = \frac{b_w}{2} = \frac{250\text{mm}}{2} = 125\text{mm}$$

$$s = 150\text{mm}$$

En la dirección paralela al plano del muro, la dimensión transversal del núcleo del elemento medida entre los bordes externos del refuerzo transversal,  $b_{c1}$ , es:

$$b_{c1} = L_{eb} - 2 \text{ recubrimientos} = 1677\text{mm} - 80\text{mm} = 1597\text{mm}$$

Y en el sentido perpendicular al plano del muro:

$$b_{c2} = b_{eb} - 2 \text{ recubrimientos} = 250\text{mm} - 80\text{mm} = 170\text{mm}$$

Se evalúa la separación del refuerzo en las dos direcciones:

$$s = \frac{A_{sh1} f_{yt}}{0.06 b_{c1} f'_c} = \frac{9 * 129\text{mm}^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.06 * 1597\text{mm} * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 121\text{mm}$$

$$s = \frac{A_{sh2} f_{yt}}{0.06 b_c f'_c} = \frac{2 * 129 \text{mm}^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.06 * 170 \text{mm} * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 253 \text{mm}$$

El menor valor de espaciamiento encontrado es de 102mm ≈ 100mm.

Finalmente, se coloca estribos #4 c/100mm.

**Figura 3-30:** Diseño de elementos de borde para el muro M11, hoja *RESUMEN*

DISEÑO ELEMENTOS DE BORDE						
Longitud mínima $L_{eb}$ (mm)	Espesor mínimo $b_{eb}$ (mm)	Designación barra refuerzo transversal	No. ramas sentido paralelo a $b_{eb}$	No. ramas sentido paralelo a $L_{eb}$	Refuerzo transversal	¿Refuerzo horizontal requiere gancho?
1677	250	#4	9	2	est. #4 c/102mm	-

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el Anexo F, el diseño final del muro da como resultado que la profundidad de los elementos de borde se extienden en casi la totalidad de la longitud del muro, una situación que se presenta generalmente en muros con espesores inferiores o iguales a 200 mm. Desde el punto de vista teórico el diseño presentado cumple con todos los requisitos descritos en el Reglamento NSR-10, sin embargo constructivamente es un diseño poco práctico. Por lo tanto, se adopta un espesor  $b_w$  de 250mm en toda la longitud del elemento y se diseña cumpliendo los requisitos para columnas con capacidad de disipación moderada de energía (DMO).

Refuerzo longitudinal: teniendo en cuenta que el refuerzo longitudinal distribuido en el alma del muro y en los elementos de borde corresponde a la cuantía mínima, de igual forma se adopta el mínimo requerido para columnas con capacidad moderada de disipación de energía, según lo definido en C.21.3.5.2 del Reglamento. Por lo tanto:

$$A_s = \rho_{min} b_w l_w$$

$$A_s = 0.01 * 250 \text{mm} * 3450 \text{mm}$$

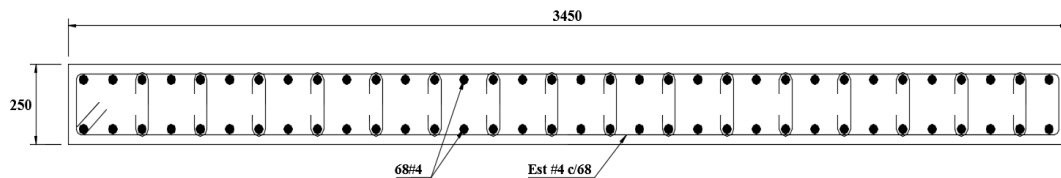
$$A_s = 8625 \text{mm}^2$$

Adoptando barras #4 espaciadas aproximadamente cada 100 mm en el sentido paralelo al plano del elemento, se tiene que:

$$A_s = 34 * 129\text{mm}^2 = 8772\text{mm}^2 \quad \text{Cumple.}$$

Refuerzo transversal: se evalúa la separación mínima del refuerzo transversal cumpliendo con los requisitos de C.21.3.5.6 y C.21.3.5.7 del Reglamento. Se adopta estribos #4 con la distribución ilustrada en la Figura 3-31.

**Figura 3-31:** Detallado de refuerzo columna M11



Fuente: elaboración propia.

El espaciamiento  $s$  no debe exceder el menor de:

$$s = 8d_b = 8 * 12.7\text{mm} = 102\text{mm}$$

$$s = 16d_e = 16 * 12.7\text{mm} = 203\text{mm}$$

$$s = \frac{b_w}{3} = \frac{250\text{mm}}{3} = 83\text{mm}$$

$$s = 150\text{mm}$$

Se evalúa la separación del refuerzo en las dos direcciones:

$$s = \frac{A_{sh1} f_{yt}}{0.06 b_{c1} f'_c} = \frac{18 * 129\text{mm}^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.06 (3450\text{mm} - 80\text{mm}) 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 115\text{mm}$$

$$s = \frac{A_{sh2} f_{yt}}{0.06 b_{c2} f'_c} = \frac{2 * 129\text{mm}^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.06 (250\text{mm} - 80\text{mm}) 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 253\text{mm}$$

$$s = \frac{A_{sh1} f_{yt}}{0.2 b_{c1} f'_c \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]}$$

$$s = \frac{18 * 129\text{mm}^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.2 * (3450\text{mm} - 80\text{mm}) * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \left[ \left( \frac{3450\text{mm} * 250\text{mm}}{(3450\text{mm} - 80\text{mm}) * (250\text{mm} - 80\text{mm})} \right) - 1 \right]}$$

$$s = 68\text{mm}$$



$$s = \frac{A_{sh2} f_{yt}}{0.2 b_c 2 f'_c \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]}$$

$$s = \frac{2 * 129 \text{mm}^2 * 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.2 * (250 \text{mm} - 80 \text{mm}) * 42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \left[ \left( \frac{3450 \text{mm} * 250 \text{mm}}{(3450 \text{mm} - 80 \text{mm}) - (250 \text{mm} - 80 \text{mm})} \right) - 1 \right]}$$

$$s = 150 \text{mm}$$

El menor valor de espaciamiento encontrado es de  $68 \text{mm} \approx 70 \text{mm}$ .

Finalmente, se coloca estribos #4 c/70mm con la distribución adoptada inicialmente.

Como complemento a los ejemplos de diseño, se presenta en el Anexo F el detallado del refuerzo de los elementos y sus conexiones, con el fin de proporcionar al lector una guía de la representación gráfica de los detalles, especificaciones y requisitos de diseño.



## **4. Conclusiones y recomendaciones**

Este proyecto permite dejar a la comunidad académica interesada en el diseño estructural, una herramienta informática que permite realizar el análisis y diseño de muros de concreto reforzado para sistemas de resistencia sísmica basados en muros de carga. Es intuitiva y fácil de usar, permite a personas con conocimientos básicos en el manejo de Microsoft Excel tener acceso a su programación y conocer la manera en que fueron aplicados los conceptos teóricos y requisitos descritos en el Reglamento NSR-10.

Este documento presenta al lector una guía con recomendaciones y requisitos basados en el Reglamento NSR-10 que se sugiere seguir para el análisis y diseño de muros estructurales en concreto reforzado. Sin embargo este material no reemplaza de ninguna manera el estudio profundo de los conceptos definidos en el Reglamento NSR-10 y los encontrados en la literatura relacionada con el tema.

La herramienta informática está conformada por 16 hojas de cálculo en Microsoft Excel y una aplicación desarrollada en Visual Studio, que de manera conjunta permiten efectuar para un piso determinado de la edificación, el análisis y diseño estructural de los muros que lo componen. Así por ejemplo, para un edificio de 10 pisos se requerirá la utilización de 10 plantillas. Dicho de otra forma, el diseño de un muro se ha dividido en tramos de acuerdo al número de pisos que tenga la edificación. Nivel a nivel se realiza los respectivos análisis, se determina las condiciones a las cuales se ve sometido el elemento y se especifica el refuerzo necesario.

En la programación de la plantilla de diseño se considera que cada muro se comporta de forma independiente, es decir, de manera conservadora no se ha tenido en cuenta la influencia de muros con secciones (vistas en planta) en forma de C, L, T u otras más complejas, ya que su análisis y diseño es de mayor complejidad.

La plantilla de diseño se encuentra configurada para leer los datos de las tablas o reportes del software de análisis y diseño *ETABS*, uno de los más utilizados en el medio del cálculo estructural, pero esto no significa que las tablas procedentes de otros programas no funcionen, solo hay que organizar y colocar aquellos datos necesarios en los lugares señalados (textos en negrita y relleno de celda color rojo claro) en las hojas de cálculo.

Es importante mencionar que la herramienta informática es compatible para versiones de Microsoft Excel 2010 o superiores y sistema operativo Windows.

Se sugiere adelantar proyectos de la misma naturaleza para sistemas de resistencia sísmica basados en muros portantes de mampostería, con el objetivo de seguir brindando a la comunidad académica un material de tipo didáctico que contribuya en su formación profesional.

## A. Anexo: Tablas A.3-1 a A.3-4 del Reglamento NSR-10.

Tabla A.3-1  
Sistema estructural de muros de carga (Nota 1)

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		Baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	Altura máx.
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	3.0	2.5	si	6 m	si	9 m	si	12 m
<b>2. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	4.0	2.5	no se permite		si	50 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	el mismo	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	50 m
d. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	el mismo	3.5	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	el mismo	2.5	2.5	si	30 m	si	50 m	si	Sin límite
f. Muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. Muros de mampostería confinada	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
h. Muros de mampostería de cavidad reforzada	el mismo	4.0	2.5	si	45 m	si	60 m	si	Sin límite
i. Muros de mampostería no reforzada (no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
<b>3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)</b>									
a. Pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	24 m	si	30 m	si	Sin límite
b. Pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. Pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	2.5	si	12 m	si	15 m	si	18 m

**Notas:**

- El sistema de muros de carga es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo, en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.
- Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\phi_a \cdot \phi_p$  y  $\phi_r$  para obtener  $R = \phi_a \cdot \phi_p \cdot \phi_r \cdot R_0$  (Véase A.3.3.3).
- La mampostería no reforzada sólo se permite en las regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde  $A_s$  sea menor o igual a 0.05 cuando se trata de edificaciones del grupo de uso **I**, de uno y dos pisos.
- El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-52.

Tabla A.3-2  
Sistema estructural combinado (Nota 1)

B. SISTEMA COMBINADO		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				alta		intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
<b>1. Pórticos de acero con diagonales excéntricas</b>									
a. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	7.0	2.0	si	45 m	si	60 m	si	Sin Límite
b. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	6.0	2.0	si	45 m	si	60 m	si	sin Límite
c. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si el vínculo no se conecta a la columna	pórticos de acero no resistentes a momentos	6.0	2.0	si	30 m	si	45 m	si	Sin Límite
d. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si el vínculo tiene conexión resistente a momento con la columna	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	5.0	2.0	si	30 m	si	45 m	si	Sin Límite
<b>2. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	7.0	2.5	si	72 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	5.0	2.5	no se permite		si	72 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	18 m	si	27 m
d. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	72 m
e. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.0	2.5	no se permite		no se permite		si	18 m
f. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	2.5	si	30 m	si	45 m	si	45 m
g. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	3.5	2.5	si	30 m	si	45 m	si	45 m
h. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	2.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	45 m
i. Muros de mampostería confinada (DMO — capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	2.0	2.5	no se permite		Grupo I	18 m	Grupo I	21 m
j. Muros de mampostería confinada (DMO — capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I	18 m
k. Muros de mampostería de cavidad reforzada (DES — capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	4.0	2.5	no se permite		si	30 m	si	45 m
l. Muros de mampostería de cavidad reforzada (DES — capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.0	2.5	no se permite		no se permite		si	45 m
m. Muros de cortante con placa de acero (DES)	pórticos de acero resistente o no a momentos	7.0	2.0	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-53.

Tabla A.3-2 (continuación)  
Sistema estructural combinado (Nota 1)

B. SISTEMA COMBINADO		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				alta		intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
n. Muros de cortante compuestos con placa de acero y concreto	pórticos de acero resistente o no a momentos	6.5	2.5	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite
o. Muros de concreto reforzado (DES) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero resistente o no a momentos	6.0	2.5	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite
p. Muros de concreto reforzado (DMO) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero resistente o no a momentos	5.5	2.5	No se permite		No se permite		si	Sin límite
q. Muros de concreto reforzado (DMI) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero resistentes o no a momentos	5.0	2.5	no se permite		no se permite		si	45 m
<b>3. Pórticos con diagonales concéntricas</b>									
a. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero no resistentes a momentos	5.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	60 m
b. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DMI)	pórticos de acero no resistentes a momentos	4.0	2.5	no se permite		si	10 m	si	60 m
c. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero resistentes o no a momentos	5.0	2.0	si	50 m	si	sin límite	si	sin límite
d. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DMI)	pórticos de acero resistentes o no a momentos	3.0	2.0	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	Sin límite
e. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas a pandeo, con conexiones viga-columna resistentes a momento	pórticos de acero no resistentes a momentos	7.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	Sin límite
f. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas a pandeo, con conexiones viga-columna no resistentes a momento	pórticos de acero no resistentes a momentos	6.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	Sin límite
g. Pórticos de concreto con diagonales concéntricas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	24 m	si	30 m

**Notas:**

- El sistema combinado es un sistema estructural en el cual: (a) las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o (b) las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.
- Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\phi_a$ ,  $\phi_p$  y  $\phi_r$ , para obtener  $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$  (Véase A.3.3.3).
- Los pórticos losa-columna incluyen el reticular celulado.
- El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.
- Se permite una altura de 20m en edificios de un piso (naves industriales o similares) que no sean del grupo de uso IV.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-54.

Tabla A.3-3  
Sistema estructural de pórtico resistente a momentos (Nota 1)

C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		Intermedia		baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
<b>1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)</b>									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
<b>2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)</b>									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos con conexiones rígidas (DMO)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
<b>3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DM)</b>									
a. De concreto (DM)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
b. De acero (DM)	el mismo	3.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (DM)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	3.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
d. Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momento	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	6.0	3.0	no se permite		si	30 m	si	50 m
e. De acero con cerchas no dúctiles	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	12 m
f. De acero con perfiles de lámina doblada en frío y perfiles tubulares estructurales PTE que no cumplen los requisitos de F.2.2.4 para perfiles no esbeltos (nota 5)	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	Sin límite
g. Otras estructuras de celosía tales como vigas y cerchas		No se pueden usar como parte del sistema de resistencia sísmica, a no ser que tengan conexiones rígidas a columnas, en cuyo caso serán tratadas como pórticos de celosía							
<b>4. Pórticos losa-columna (incluye reticular celulado)</b>									
a. De concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		si	15 m	si	21 m
b. De concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DM)	el mismo	1.5	3.0	no se permite		no se permite		si	15 m
<b>5. Estructuras de péndulo invertido</b>									
a. Pórticos de acero resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	2.5 (Nota-3)	2.0	si	Sin límite	si	sin límite	si	Sin límite
b. Pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	2.5	2.0	si	Sin límite	si	sin límite	si	Sin límite
c. Pórticos de acero resistentes a momento con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	1.5 (Nota-3)	2.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite

## Notas:

- El sistema de pórtico es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales.
- Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\phi_a \cdot \phi_p$  y  $\phi_r$  para obtener  $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$  (Véase A.3.3.3).
- Cuando se trate de estructuras de acero donde las uniones del sistema de resistencia sísmica son soldadas en obra, el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por 0.90.
- El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.
- Se permite hasta una altura de 12m en edificios de un piso (naves industriales o similares) que no sean del grupo de Uso IV.
- Los perfiles de lámina doblada y los perfiles tubulares estructurales que cumplen con los requisitos de F.2.2.4 para miembros no esbeltos que se diseñen con conexiones dúctiles calificadas de acuerdo a F.3.1.8 se podrán diseñar como pórticos resistentes a momentos convencionales.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-55.



Tabla A.3-4  
Sistema estructural dual (Nota 1)

D. SISTEMA DUAL		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 3)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		intermedia		baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
<b>1. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
d. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	5.5	3.0	si	45 m	si	45 m	si	45 m
f. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	5.5	3.0	si	45 m	si	45 m	si	45 m
g. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	2.5	si	35 m	si	35 m	si	35 m
h. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	2.5	si	35 m	si	35 m	si	35 m
i. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
j. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
k. Muros de cortante con placa de acero (DES)	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	7.0	2.5	Si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
m. Muros de cortante mixtos con placa de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	6.5	2.5	Si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
n. Muros de concreto reforzado (DES) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	6.0	2.5	si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
o. Muros de concreto reforzado (DMI) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	5.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
p. Muros de concreto reforzado (DMI) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DMO)	4.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
<b>2. Pórticos de acero con diagonales excéntricas</b>									
a. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	Sin límite
b. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	7.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-56.

Tabla A.3-4 (Continuación)  
Sistema estructural dual

D. SISTEMA DUAL		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 3)	zonas de amenaza sísmica					
				Alta		intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
c. Pórticos de acero con diagonales exoébricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. Pórticos de acero con diagonales exoébricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	5.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
<b>3. Pórticos con diagonales concéntricas</b>									
a. De acero con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.0	2.5	no se permite		si	60 m	si	sin límite
c. De concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	4.0	2.5	no se permite		si	24 m	si	30 m
d. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DES)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
e. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas al pandeo	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DES)	7.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
f. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	10 m	si	sin límite
g. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DMO)	5.5	2.5	si	50m	si	30 m	si	sin límite
h. Pórticos con diagonales concéntricas que resistan solo a tensión	El mismo	3.0	2.5	no se permite (nota 4)					

**Notas:**

- El sistema dual es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos: (a) El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales. (b) Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico de capacidad especial de disipación de energía (DES), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base. (c) Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales o los pórticos con diagonales puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base.
- Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\phi_a$ ,  $\phi_p$  y  $\phi_r$ , para obtener  $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$  (Véase A.3.3.3).
- El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restandole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.
- Se permite hasta una altura de 12m en edificios de un piso (naves industriales o similares) que no sean del grupo de uso IV.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-57.

## **B. Anexo: Procedimiento de diseño según el Reglamento NSR-10.**

**PREFACIO**

**APÉNDICE I**

**NSR-10**

**PROCEDIMIENTO DE DISEÑO  
(Sección A.1.3)**

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XXV.

**Paso 1 - Localización, nivel de amenaza sísmica y valor del  $A_a$  y  $A_v$**

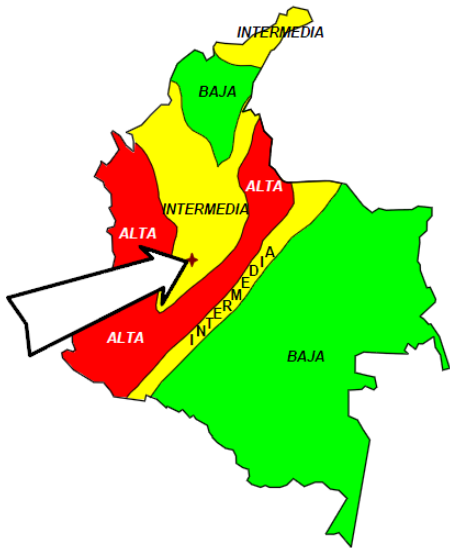


Figura 1 - Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de zonificación sísmica del Capítulo A.2

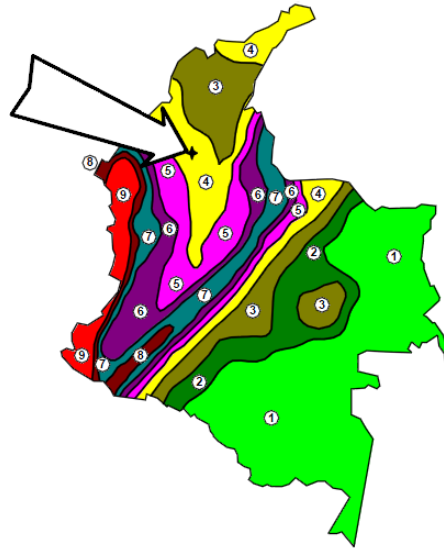


Figura 2 - Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de valores de  $A_a$  y  $A_v$  del Capítulo A.2

**Paso 2 - Definición de los movimientos sísmicos de diseño**

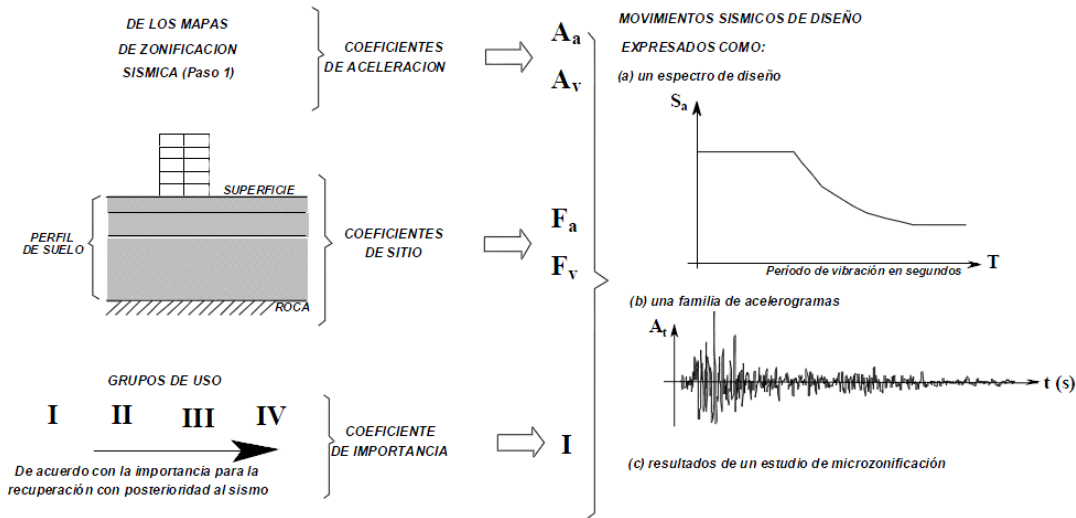


Figura 3- Procedimiento para obtener los movimientos sísmicos de diseño

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XXVI.

**Paso 3 - Definición de las características de la estructuración y del material estructural empleado**

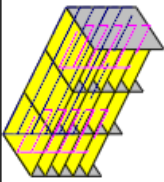
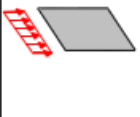

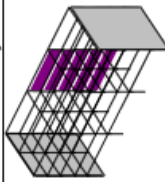
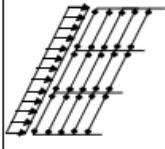

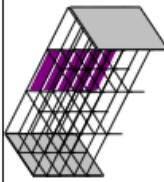
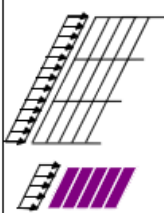
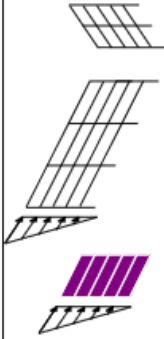
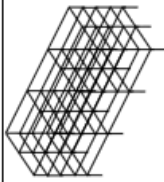
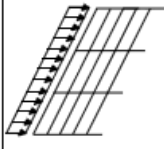
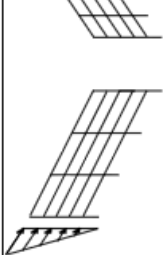
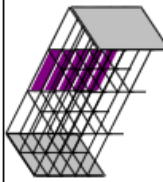

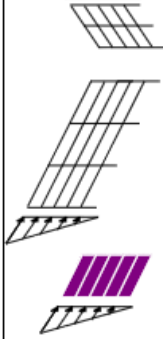
SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SÍSMICA		SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SÍSMICA	
SISTEMA	CARGAS VERTICALES	FUERZAS HORIZONTALES	
MUROS DE CARGA			
COMBINADO			
			
PÓRTICO			
DUAL			

Figura 4 - Sistemas estructurales de resistencia sísmica

**Paso 3 - Definición de las características de la estructuración y del material estructural empleado**

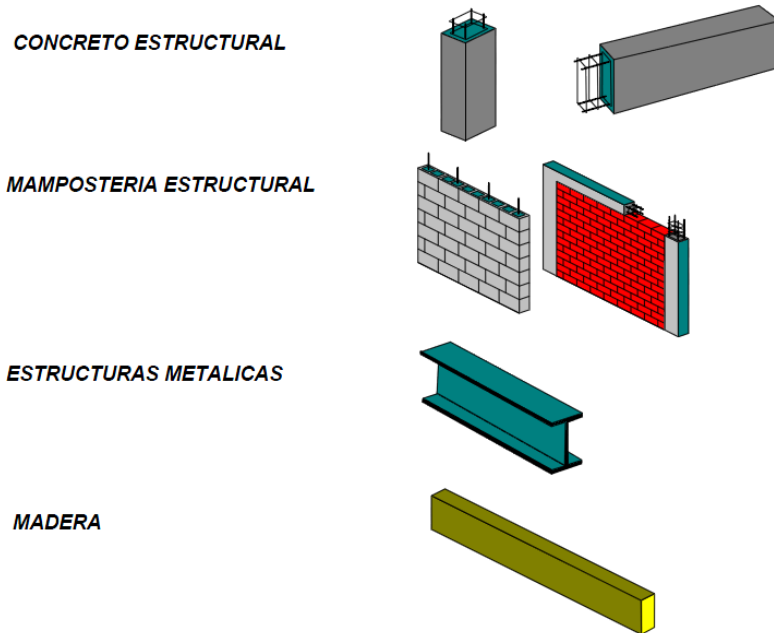


Figura 5 - Materiales estructurales

**Paso 3 - Definición de las características de la estructuración y del material estructural empleado**

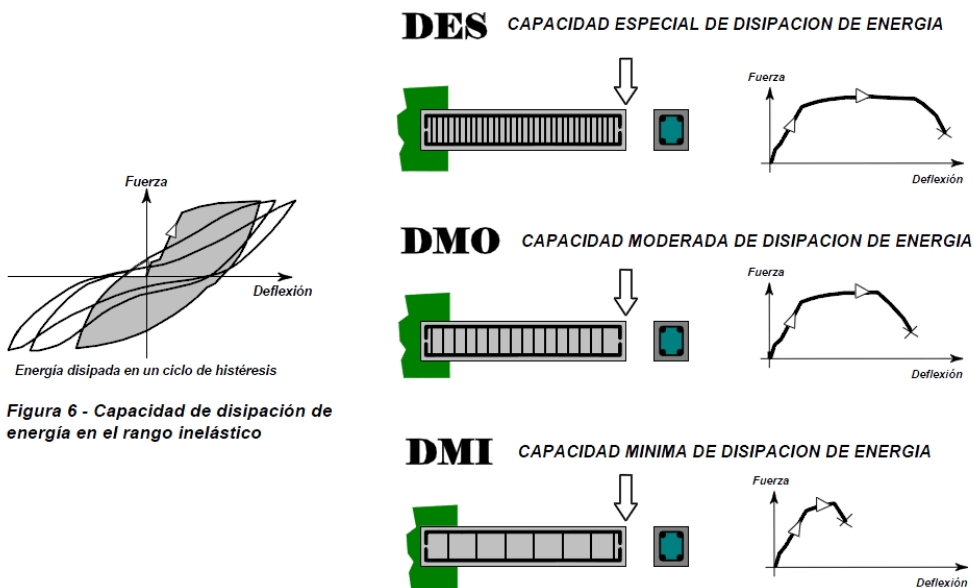


Figura 7 - Definición de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico

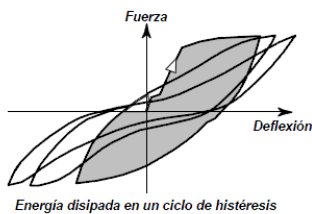


Figura 6 - Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico



**Paso 3 - Definición de las características de la estructuración y del material estructural empleado**

CAPACIDAD DE DISIPACIÓN ENERGÍA	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA		
	BAJA	INTERMEDIA	ALTA
<b>MÍNIMA DMI</b>	✓	no	no
<b>MODERADA DMO</b>	✓	✓	no
<b>ESPECIAL DES</b>	✓	✓	✓

Figura 8 - Restricciones al uso de sistemas y materiales estructurales

**Paso 4 - Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis**

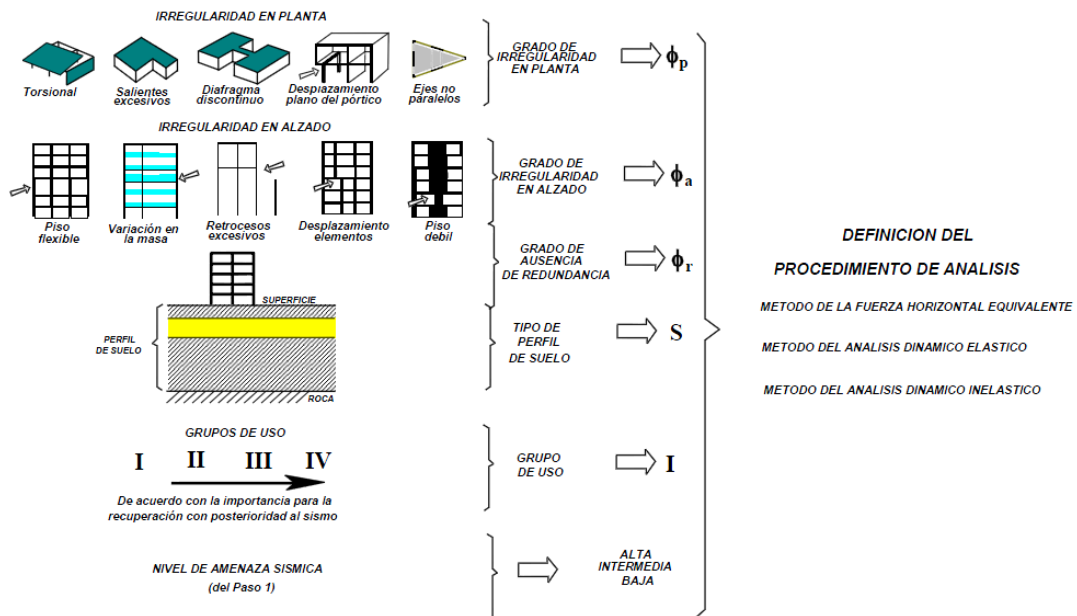


Figura 9 - Procedimiento para definir el grado de irregularidad de la estructura y el método de análisis sísmico

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XXXI.

**Paso 5 - Obtención de las fuerzas sísmicas de diseño**

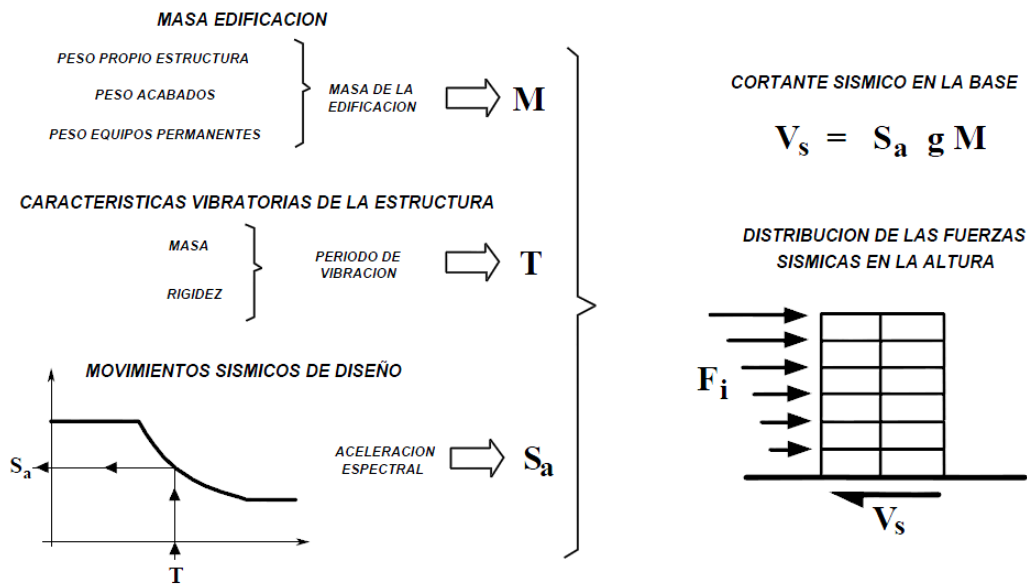


Figura 10 - Procedimiento para obtener las fuerzas sísmicas de diseño

**Paso 6 - Análisis de la estructura y Paso 7 - Desplazamientos horizontales**

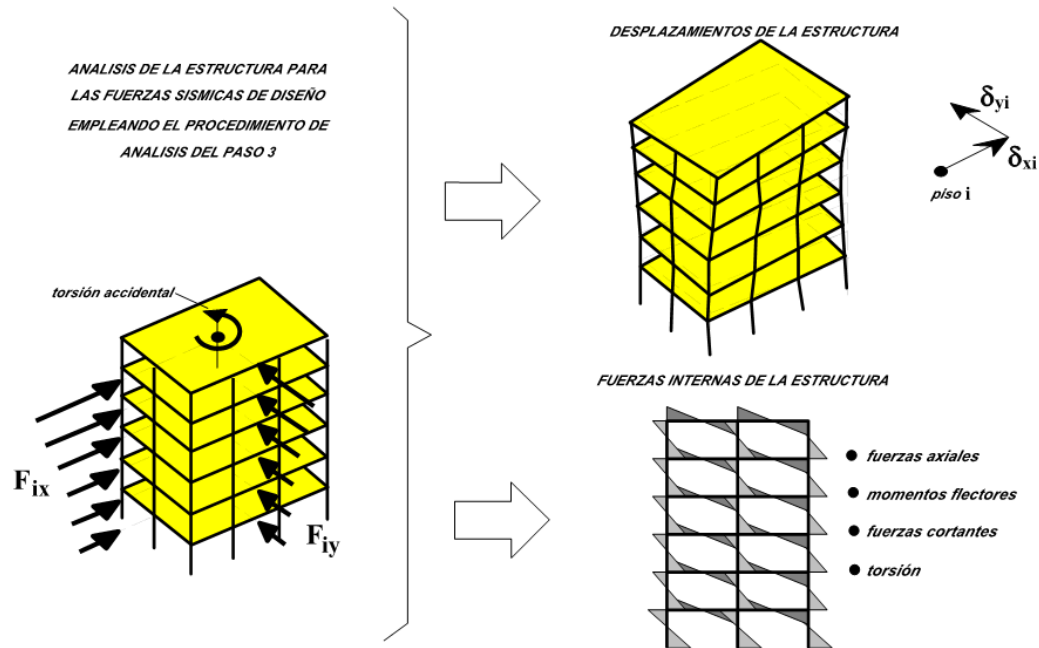
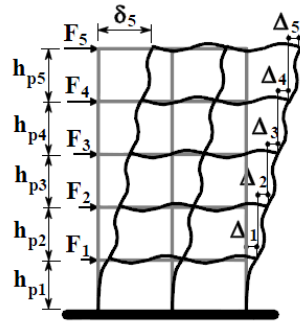


Figura 11 - Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de análisis de la estructura



**Paso 8 - Verificación de derivas**



*Definición de la deriva*

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1}$$

*La deriva debe incluir los efectos torsionales de toda la estructura y el efecto P-Delta*

**Máxima deriva admisible**  
 $\Delta_i \leq 0.01 h_{pi}$   
 1% de la altura del piso ( $h_{pi}$ )  
 para mampostería estructural  
 este límite es 0.5% de  $h_{pi}$

*Si la deriva es mayor que la máxima deriva admisible debe rigidizarse la estructura*

Figura 12 - Procedimiento de verificación de las derivas

**Paso 9 - Diseño de los elementos estructurales**

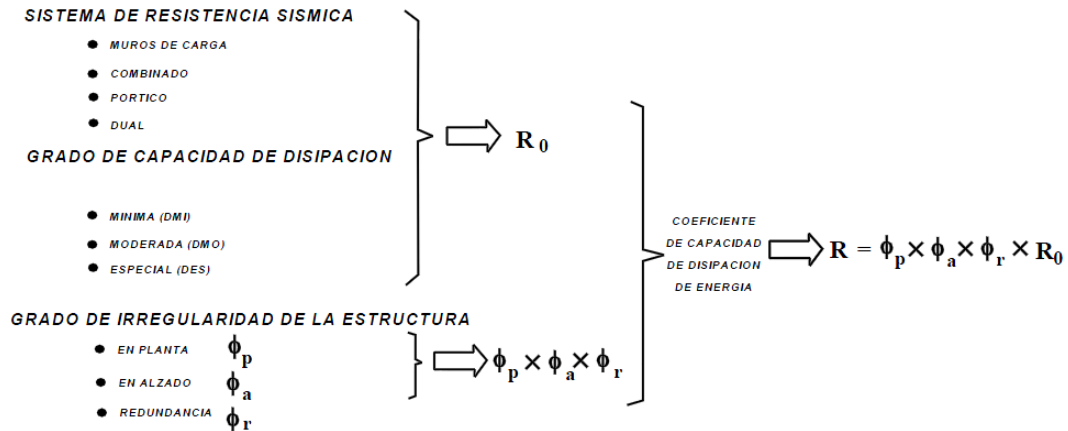


Figura 13 - Procedimiento de obtención del coeficiente de disipación de energía R

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XXXV.

**Paso 9 - Diseño de los elementos estructurales**

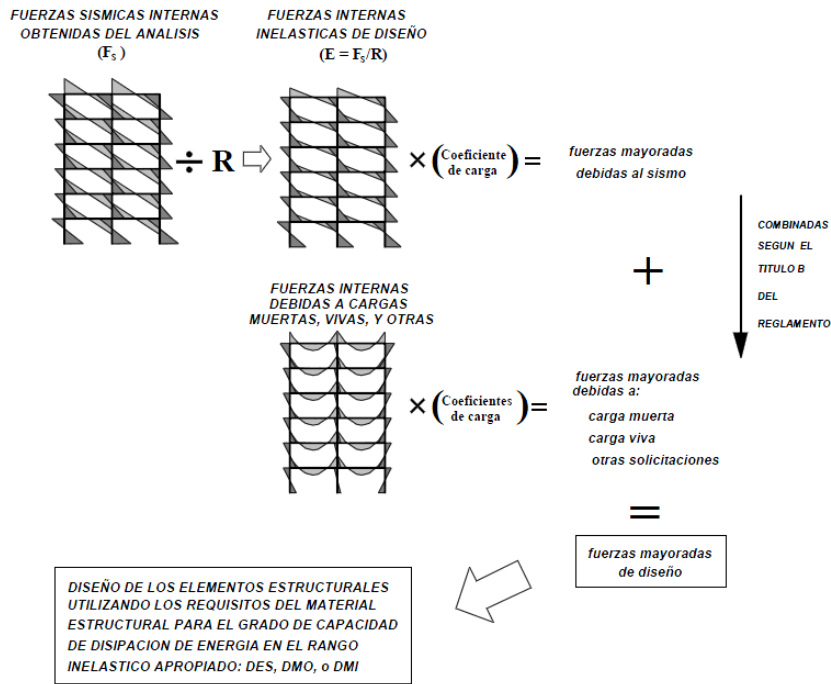


Figura 14 - Procedimiento de obtención de las fuerzas mayoradas de diseño

**Paso 10 - Cimentación**

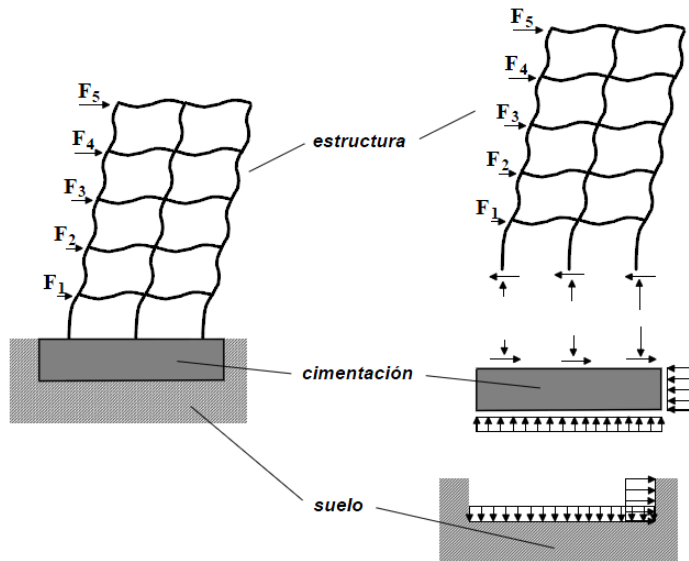


Figura 15 - Procedimiento de obtención de las fuerzas en la cimentación y los esfuerzos sobre el suelo

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XXVII.

**Paso 11 - Diseño de los elementos no estructurales**

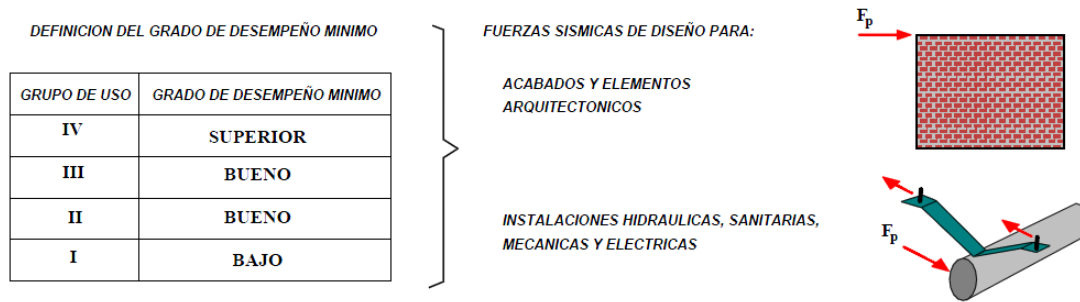


Figura 16 - Procedimiento de diseño de los elementos no estructurales

**Paso 12 - Revisión de los Diseños**



Figura 17 - Revisión de los diseños

Los planos, memorias y estudios realizados deben ser revisados para efectos de la obtención de la licencia de construcción tal como lo indica la Ley 400 de 1997, la Ley 388 de 1997 y sus respectivos reglamentos. Esta revisión debe ser realizada en la curaduría o en las oficinas o dependencias encargadas de estudiar, tramitar, y expedir las licencias de construcción, o bien por un profesional independiente, a costo de quien solicita la licencia. Los revisores de los diseños deben tener las cualidades establecidas en la Ley 400 de 1997.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XXXIX.

**Paso 13 - Construcción y Supervisión Técnica**

*Figura 18 - Construcción y Supervisión Técnica*

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. XLI.

## C. Anexo: Tablas A.3-5 a A.3-7 del Reglamento NSR-10.

Tabla A.3-5  
Mezcla de sistemas estructurales en la altura

Descripción de la combinación	Requisitos
<b>Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez</b>	
<p>Puede utilizarse los requisitos dados aquí si la estructura cumple las siguientes condiciones:</p> <p>(a) Ambas partes de la estructura, consideradas separadamente, puedan ser clasificadas como regulares de acuerdo con los requisitos de A.3.3,</p> <p>(b) El promedio de las rigideces de piso de la parte baja sea por lo menos 10 veces el promedio de las rigideces de piso de la parte alta y</p> <p>(c) El período de la estructura, considerada como un todo, no sea mayor de 1.1 veces el período de la parte superior, al ser considerada como una estructura independiente empotrada en la base.</p> <p>Si no se cumplen las condiciones anteriores la estructura se considera irregular y deben seguirse los requisitos de A.3.3.</p>	<p>Se permite que esta combinación de sistemas estructurales no se considere irregular (<math>\phi_p = \phi_a = 1.0</math>), y el sistema puede diseñarse sísmicamente utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4, de la siguiente manera:</p> <p>(1) La parte superior flexible puede ser analizada y diseñada como una estructura separada, apoyada para efecto de las fuerzas horizontales por la parte más rígida inferior, usando el valor apropiado de <math>R_0</math> para su sistema estructural</p> <p>(2) La parte rígida inferior debe ser analizada y diseñada como una estructura separada, usando el valor apropiado de <math>R_0</math> para su sistema estructural, y las reacciones de la parte superior, obtenidas de su análisis, deben ser amplificadas por la relación entre el valor de <math>R_0</math> para la parte superior y el valor de <math>R_0</math> de la parte inferior.</p>
<b>Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez</b>	
<p>Corresponde a edificaciones en las cuales se suspende antes de llegar a la base de la estructura, parcial o totalmente, un sistema estructural más rígido que el que llega a la base de la estructura.</p> <p>Este tipo de combinación de sistemas estructurales en la altura presenta inconvenientes en su comportamiento sísmico. No es aceptable como una solución estructural para el presente Reglamento.</p>	<p>(1) No es aceptable como solución estructural para el presente Reglamento.</p>

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-58.

Tabla A.3-6  
Irregularidades en planta

Tipo	Descripción de la irregularidad en planta	$\phi_p$	Referencias
1aP	<i>Irregularidad torsional</i> — La irregularidad torsional existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.2 y menor o igual a 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.9	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
1bP	<i>Irregularidad torsional extrema</i> — La irregularidad torsional extrema existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.8	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
2P	<i>Retrocesos excesivos en las esquinas</i> — La configuración de una estructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.8.5, A.5.2.1.
3P	<i>Discontinuidades en el diafragma</i> — Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50 por ciento del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50 por ciento, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
4P	<i>Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales</i> — La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene a un grupo de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.12, A.5.2.1.
5P	<i>Sistemas no paralelos</i> — Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.5.2.1.

**Notas:**

1. En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 1aP, 1bP, 3P y 4P (Véase A.3.3.7).
2. En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades tipo 1aP e 1bP (Véase A.3.3.8).

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-59.

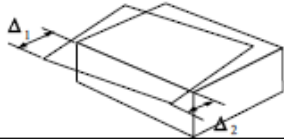
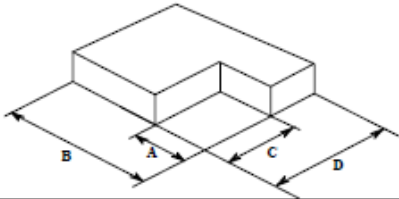
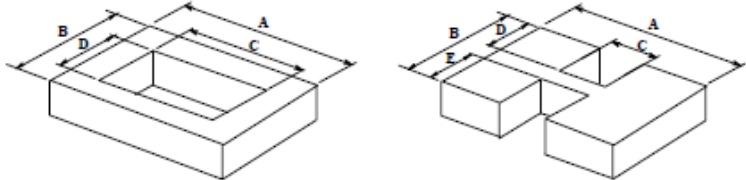
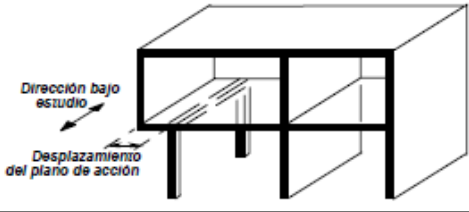
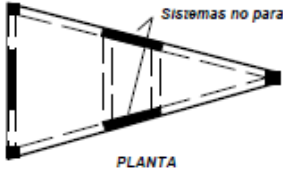
<p>Tipo 1aP — Irregularidad torsional  <math>\phi_p = 0.9</math>  <math>1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right) \geq \Delta_1 &gt; 1.2 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)</math></p>	<p>Tipo 1bP — Irregularidad torsional extrema  <math>\phi_p = 0.8</math>  <math>\Delta_1 &gt; 1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)</math></p>
	
<p>Tipo 2P — Retrocesos en las esquinas — <math>\phi_p = 0.9</math>  <math>A &gt; 0.15B</math> y <math>C &gt; 0.15D</math></p> 	
<p>Tipo 3P — Irregularidad del diafragma — <math>\phi_p = 0.9</math>          1) <math>C \times D &gt; 0.5 A \times B</math>      2) <math>(C \times D + C \times E) &gt; 0.5 A \times B</math></p> 	
<p>Tipo 4P — Desplazamiento de los planos de Acción — <math>\phi_p = 0.8</math></p> 	
<p>Tipo 5P — Sistemas no paralelos — <math>\phi_p = 0.9</math></p> 	

Figura A.3-1 — Irregularidades en planta

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-61.



Tabla A.3-7  
Irregularidades en la altura

Tipo	Descripción de la irregularidad en altura	$\phi_a$	Referencias
1aA	<i>Piso flexible (Irregularidad en rigidez)</i> — Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70 por ciento pero superior o igual al 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 80 por ciento pero superior o igual al 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
1bA	<i>Piso flexible (Irregularidad extrema en rigidez)</i> — Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
2A	<i>Irregularidad en la distribución de las masas</i> — Cuando la masa, $m_i$ , de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso de abajo.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2.
3A	<i>Irregularidad geométrica</i> — Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos de un solo piso.	0.9	A.3.4.2.
4A	<i>Desplazamientos dentro del plano de acción</i> — La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.12.
5aA	<i>Piso débil — Discontinuidad en la resistencia</i> — Cuando la resistencia del piso es menor del 80 por ciento de la del piso inmediatamente superior pero superior o igual al 65 por ciento, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.
5bA	<i>Piso débil — Discontinuidad extrema en la resistencia</i> — Cuando la resistencia del piso es menor del 65 por ciento de la del piso inmediatamente superior, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.

**Notas:**

1. Cuando la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A, ó 3A (Véase A.3.3.5.1).
2. En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Véase A.3.3.7).
3. En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de usos I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a la irregularidad tipo 5aA y 5bA (Véase A.3.3.6).

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-60.



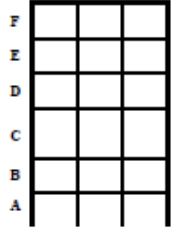
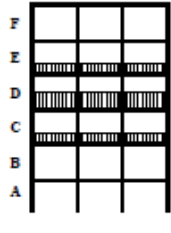
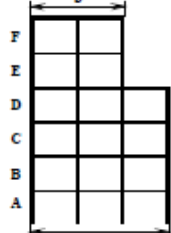
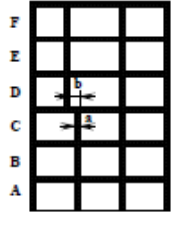
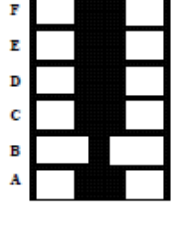
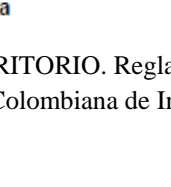

<p>Tipo 1aA — Piso flexible  <math>\phi_a = 0.9</math>  <math>0.60 \text{ Rigidez } K_D \leq \text{Rigidez } K_C &lt; 0.70 \text{ Rigidez } K_D</math>  <math>0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3 \leq \text{Rigidez } K_C &lt; 0.80 (K_D + K_E + K_F) / 3</math></p>	
<p>Tipo 1bA — Piso flexible extremo  <math>\phi_a = 0.8</math>  <math>\text{Rigidez } K_C &lt; 0.60 \text{ Rigidez } K_D</math>  <math>\text{Rigidez } K_C &lt; 0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3</math></p>	
<p>Tipo 2A — Distribución masa — <math>\phi_a = 0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p>	
<p>Tipo 3A — Geométrica — <math>\phi_a = 0.9</math>  <math>a &gt; 1.30 b</math></p>	
<p>Tipo 4A — Desplazamiento dentro del plano de acción — <math>\phi_a = 0.8</math>  <math>b &gt; a</math></p>	
<p>Tipo 5aA — Piso débil  <math>\phi_a = 0.9</math>  <math>0.65 \text{ Resist. Piso C} \leq \text{Resist. Piso B} &lt; 0.80 \text{ Resist. Piso C}</math></p>	
<p>Tipo 5bA — Piso débil extremo  <math>\phi_a = 0.8</math>  <math>\text{Resistencia Piso B} &lt; 0.65 \text{ Resistencia Piso C}</math></p>	

Figura A.3-2 — Irregularidades en la altura

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-62.



**D. Anexo: CD con aplicación, plantilla de diseño y ejemplo práctico.**



## **E. Anexo: Análisis sísmico de la edificación.**

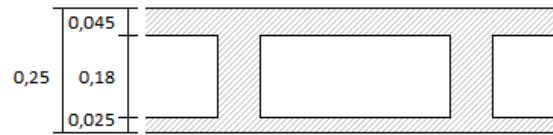
En este anexo se muestra el análisis de los parámetros sísmicos de la edificación, de acuerdo a los requisitos descritos en el Título A y B del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Los aspectos analizados son los siguientes:

- Evaluación de cargas para el nivel de cubierta y piso tipo
- Definición de nivel de amenaza sísmica
- Valores de los coeficientes  $A_a$  y  $A_v$
- Efectos locales
- Grupo de uso y coeficiente de importancia
- Características de la estructura y material empleado
- Análisis del periodo fundamental de la estructura por el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente y por el Método del Análisis Dinámico
- Espectro elástico de aceleraciones de diseño
- Cálculo del cortante sísmico y modal en la base
- Definición del grado de irregularidad de la estructura
- Combinaciones de carga y factores de mayoración y
- Evaluación de derivas

**AVALUÓ DE CARGAS**

Nivel: CUB  
 Área: 691,26 m<sup>2</sup>

Tipo de placa: Placa aligerada

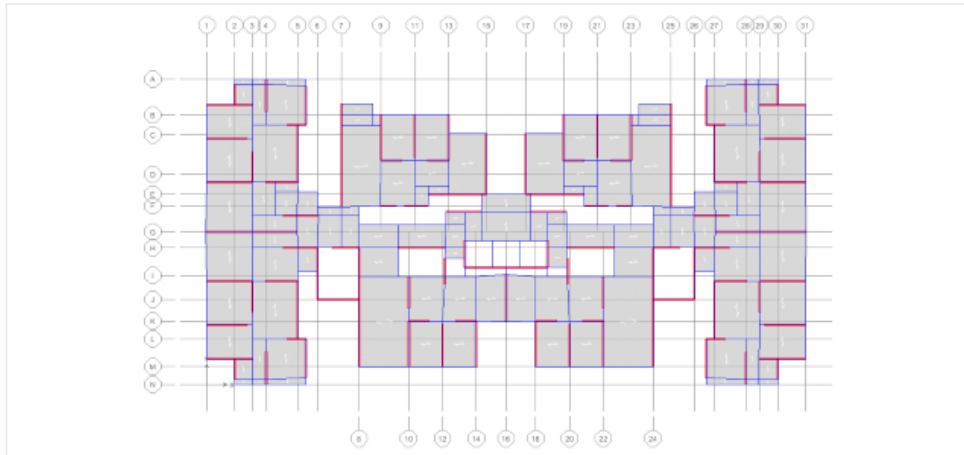
**Avaluó de cargas**

ELEMENTO	$\gamma$ MATERIAL (kN/m <sup>3</sup> )	ESPESOR (m)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	CARGA (kN/m <sup>2</sup> )
Placa	24,00	0,07			1,680
Acabados	20,00	0,08			1,500
Viguetas	24,00	0,15	1,00	0,18	0,648
Antepecho (e = 0.12m)	12,10	0,12	228,73	0,80	0,384
Casetones					0,350
Impermeabilización					0,100
<b>TOTAL</b>					<b>4,66</b>

Carga Muerta:  $D = 4,66 \text{ kN/m}^2$   
 Carga Viva:  $L = 1,80 \text{ kN/m}^2$  (Residencial - Cubierta con acceso a los usuarios de la edificación)  
 Carga ultima:  $(1.2 D + 1.6 L)$ :  $W_u = 8,47 \text{ kN/m}^2$

Altura equivalente placa (No incluye carga de vigas) = **0,194 m**

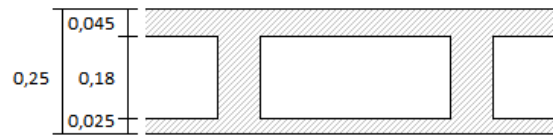
NOTA: el peso propio de las vigas lo asigna directamente el software de analisis y diseño.

**Planta general del nivel**

**AVALUÓ DE CARGAS**

Nivel: PISO 1  
 Área: 691,26 m<sup>2</sup>

Tipo de placa: Placa aligerada



**Avaluó de cargas**

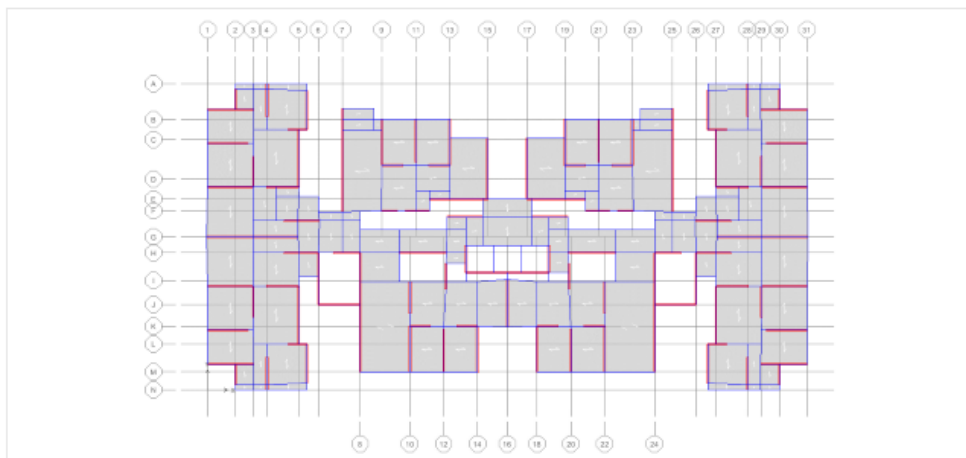
ELEMENTO	γ MATERIAL (kN/m <sup>3</sup> )	ESPESOR (m)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	CARGA (kN/m <sup>2</sup> )
Placa	24,00	0,07			1,680
Acabados	20,00	0,08			1,500
Viguetas	24,00	0,15	1,00	0,18	0,648
Muro divisorio (e = 0.12m)	6,20	0,12	176,67	2,25	0,428
Muro fachada (e = 0.12m)	12,10	0,12	30,72	2,25	0,145
Antepecho (e = 0.12m)	12,10	0,12	50,06	0,50	0,053
Antepecho (e = 0.12m)	12,10	0,12	21,75	0,90	0,041
Ventaneria	0,45		50,06	1,75	0,057
Ventaneria	0,45		21,75	1,35	0,019
Ventaneria	0,45		24,08	2,25	0,035
Casetones					0,350
<b>TOTAL</b>					<b>4,96</b>

Carga Muerta:  $D = 4,96 \text{ kN/m}^2$   
 Carga Viva:  $L = 1,80 \text{ kN/m}^2$  (Residencial - Cuartos privados y sus corredores)  
 $L = 5,00 \text{ kN/m}^2$  (Residencial - Balcones)  
 $L = 3,00 \text{ kN/m}^2$  (Residencial - Escaleras)  
 Carga ultima:  $(1.2 D + 1.6 L)$ :  $W_u = 8,83 \text{ kN/m}^2$

Altura equivalente placa (No incluye carga de vigas) = **0,207 m**

NOTA: el peso propio de las vigas lo asigna directamente el software de analisis y diseño.

**Planta general del nivel**



**ANÁLISIS SÍSMICO****Consideraciones:**

El análisis sísmico presentado a continuación se realiza según las disposiciones descritas en el Título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Utilizando los coeficientes y el espectro elástico de aceleraciones de diseño, se realiza el análisis dinámico modal por medio del software de análisis y diseño.

Posteriormente se ajustan los resultados tomando como referencia los obtenidos del análisis sísmico por el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente.

**Localización, nivel de amenaza sísmica y valor del  $A_a$  y  $A_v$  (A.2.3 NSR-10).**

Departamento: Antioquia  
 Ciudad / Municipio: Medellín  
 Código Ciudad / Municipio (Según NSR-10): 5001  
 Zona de amenaza sísmica: Intermedia  
 Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva:  $A_a = 0,15$   
 Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva:  $A_v = 0,20$

**Efectos locales (A.2.4 NSR-10).**

Tipo de perfil de suelo: B   
 Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio:  $F_a = 1,00$   
 Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio:  $F_v = 1,00$

**Coefficiente de importancia (A.2.5 NSR-10).**

Grupo de uso: I Estructuras de ocupación normal  
 Coeficiente de importancia: 1,00

**Características de la estructura y material empleado (A.3.2 NSR-10).**

Sistema estructural de resistencia sísmica: SISTEMA DE MUROS DE CARGA  
 Muros estructurales SMC  
 Muros de concreto (DMO)

Uso permitido: Si   
 Altura máxima: 50

**Análisis del periodo fundamental de la estructura por el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente (A.4 NSR-10).**

Coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura:  $C_t = 0,049$   
 Exponente para ser utilizado en el calculo del periodo aproximado:  $\alpha = 0,75$   
 Coeficiente utilizado para calcular el periodo máximo permisible de la estructura:  $C_u = 1,51$

Periodo de vibración fundamental aproximado (A.4.2.2 - NSR-10):  $T_a = C_t h^\alpha$   $T_a = 0,92 \text{ s}$   
 $C_u T_a = 1,39 \text{ s}$

**Análisis del periodo fundamental de la estructura por el Método del Análisis Dinámico (A.5 NSR-10).**

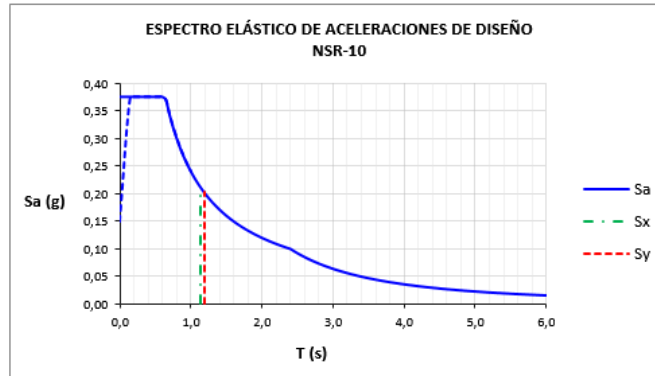
NOTA: Los datos presentados a continuación son obtenidos del análisis dinámico elástico espectral realizado con el software de análisis y diseño.

Periodo fundamental del edificio, UX:  $T_x = 1,13 \text{ s}$   
 Periodo fundamental del edificio, UY:  $T_y = 1,18 \text{ s}$



**Espectro elástico de aceleraciones de diseño (A.2.6 NSR-10).**

Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones:		$T_0 = 0,13 \text{ s}$
Periodo de vibración (periodos cortos):		$T_C = 0,64 \text{ s}$
Periodo de vibración (periodos largos):		$T_L = 2,40 \text{ s}$
Periodo fundamental del edificio, UX (definitivo):	$T_X = 1,13 \text{ s}$	
Periodo fundamental del edificio, UY (definitivo):	$T_Y = 1,18 \text{ s}$	
Aceleración horizontal de diseño para periodos de vibración menores de $T_0$ :	$S_a = 2.5 A_a F_a I (0.4 + 0.6 T / T_0)$	$S_{ax} = 2,06$ $S_{ay} = 2,15$
Aceleración horizontal de diseño para periodos de vibración $T_0 < T < T_C$ :	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 0,38$
Aceleración horizontal de diseño para periodos de vibración $T_C < T < T_L$ :	$S_a = (1.2 A_v F_v I) / T$	$S_{ax} = 0,21$ $S_{ay} = 0,20$
Aceleración horizontal de diseño para periodos de vibración mayores de $T_L$ :	$S_a = (1.2 A_v F_v T_L I) / T^2$	$S_{ax} = 0,45$ $S_{ay} = 0,41$
Aceleración horizontal de diseño, UX (definitiva):	$S_{ax} = 0,21$	
Aceleración horizontal de diseño, UY (definitiva):	$S_{ay} = 0,20$	



Nota: este espectro esta definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5% del critico.

**Calculo del cortante sísmico en la base (A.4.3 NSR-10)**

**CALCULO DEL PESO TOTAL DE LA EDIFICACION**

NIVEL	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ALT. PISO (m)	ELEVACIÓN (m)	MASA (kg-s <sup>2</sup> /m)	RELACIÓN W/A (kN/m <sup>2</sup> )	PESO (W) (kN)
CUB	691	2,50	50,00	49005	6,82	4713
PISO 19	691	2,50	47,50	62233	8,66	5985
PISO 18	691	2,50	45,00	62233	8,66	5985
PISO 17	691	2,50	42,50	62233	8,66	5985
PISO 16	691	2,50	40,00	62233	8,66	5985
PISO 15	691	2,50	37,50	62233	8,66	5985
PISO 14	691	2,50	35,00	62233	8,66	5985
PISO 13	691	2,50	32,50	62233	8,66	5985
PISO 12	691	2,50	30,00	62233	8,66	5985
PISO 11	691	2,50	27,50	62233	8,66	5985
PISO 10	691	2,50	25,00	62233	8,66	5985
PISO 9	691	2,50	22,50	62233	8,66	5985
PISO 8	691	2,50	20,00	62233	8,66	5985
PISO 7	691	2,50	17,50	62233	8,66	5985
PISO 6	691	2,50	15,00	62233	8,66	5985
PISO 5	691	2,50	12,50	62245	8,66	5986
PISO 4	691	2,50	10,00	62257	8,66	5987
PISO 3	691	2,50	7,50	62257	8,66	5987
PISO 2	691	2,50	5,00	62245	8,66	5986
PISO 1	691	2,50	2,50	62233	8,66	5985
<b>Σ =</b>						<b>118434</b>

Cortante sísmico en la base, UX:  $V_{sx} = 25159$  kN

Cortante sísmico en la base, UY:  $V_{sy} = 23991$  kN

**Calculo del cortante modal en la base (A.5.4.3 NSR-10)**

NOTA: Los datos presentados a continuación son obtenidos del análisis dinámico elástico espectral realizado con el software de análisis y diseño.

Cortante dinámico en la base, UX:  $V_{dx} = 16913$  kN

Cortante dinámico en la base, UY:  $V_{dy} = 18961$  kN

**Ajuste de los resultados (A.5.4.5 NSR-10)**

El valor del cortante dinámico en la base,  $V_{dj}$ , obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis,  $j$ , no puede ser menor que el 80% para estructuras regulares, o que el 90% para estructuras irregulares, del cortante sísmico en la base,  $V_{sj}$ , calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente.

Regularidad de la estructura: Estructura irregular

Factores de Ajuste :  $F_x = 22643 / 16913 = 1,34$

$F_y = 21592 / 18961 = 1,14$

Factor de ajuste, UX :  $F_x = 1,34$

Factor de ajuste, UY :  $F_y = 1,14$

Modal Participating Mass Ratios

Number Mode	Period Period	Traslation						Rotation					
		% Mass			% Sum			% Mass			% Sum		
		UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1,335	14,318	0,000	0,000	14,318	0,000	0,000	0,000	21,069	50,744	0,000	21,069	50,744
2	1,185	0,000	64,143	0,000	14,318	64,143	0,000	97,606	0,000	0,000	97,606	21,070	50,744
3	1,130	53,065	0,000	0,000	67,383	64,144	0,000	0,000	77,646	13,640	97,606	98,716	64,384
4	0,312	10,988	0,000	0,000	78,371	64,144	0,000	0,000	0,569	6,016	97,606	99,284	70,399
5	0,270	5,382	0,000	0,000	83,753	64,144	0,000	0,000	0,326	13,084	97,606	99,610	83,483
6	0,256	0,000	19,015	0,000	83,753	83,158	0,000	1,989	0,000	0,000	99,595	99,610	83,483
7	0,138	4,917	0,000	0,000	88,670	83,158	0,000	0,000	0,245	1,209	99,595	99,855	84,692
8	0,118	1,088	0,000	0,000	89,758	83,158	0,000	0,000	0,049	5,442	99,595	99,904	90,134
9	0,108	0,000	6,699	0,000	89,758	89,857	0,000	0,303	0,000	0,000	99,898	99,904	90,134
10	0,081	2,765	0,000	0,000	92,523	89,857	0,000	0,000	0,044	0,528	99,898	99,948	90,662
11	0,071	0,477	0,000	0,000	93,000	89,857	0,000	0,000	0,007	2,841	99,898	99,955	93,503
12	0,063	0,000	3,430	0,000	93,000	93,286	0,000	0,063	0,000	0,000	99,961	99,955	93,503
13	0,055	1,662	0,000	0,000	94,663	93,286	0,000	0,000	0,022	0,320	99,961	99,976	93,823
14	0,050	0,296	0,000	0,000	94,959	93,286	0,000	0,000	0,003	1,621	99,961	99,980	95,444
15	0,044	0,000	1,995	0,000	94,959	95,282	0,000	0,022	0,000	0,000	99,983	99,980	95,444

A.5.4.2 - Numero de modos de vibración - Deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestre que, con el numero de modos empleados, p, se ha incluido en el calculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales de análisis, j, por lo menos el 90% de la masa participante de la estructura.

Participación de masa, UX: Mjx = 95% ≥ 90% **Cumple**  
 Participación de masa, UY: Mjy = 95% ≥ 90% **Cumple**

Response Spectrum Base Reactions (kN)

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
EX	1	U1	3225	-6	0	237	116070	-41853
EX	2	U1	0	31	0	-1152	2	713
EX	3	U1	14111	-26	0	933	506413	-154078
EX	4	U1	5153	-2	0	18	34783	-61454
EX	5	U1	2524	10	0	-99	18418	-25085
EX	6	U1	0	-8	0	72	0	-170
EX	7	U1	2306	-1	0	5	15262	-27117
EX	8	U1	510	2	0	-11	3212	-4727
EX	9	U1	0	-1	0	8	0	-28
EX	10	U1	1297	0	0	1	4866	-15116
EX	11	U1	224	1	0	-3	791	-2081
EX	12	U1	0	0	0	2	0	-11
EX	13	U1	780	0	0	1	2652	-9138
EX	14	U1	139	0	0	-1	437	-1267
EX	15	U1	0	0	0	1	0	-5
EX	All	All	16913	18	0	629	550845	188616
EY	1	U2	-6	0	0	0	-232	84
EY	2	U2	31	16263	0	-595194	1133	368215
EY	3	U2	-26	0	0	-2	-918	279
EY	4	U2	-2	0	0	0	-15	27
EY	5	U2	10	0	0	0	74	-101
EY	6	U2	-8	8917	0	-85558	-51	202159
EY	7	U2	-1	0	0	0	-4	7
EY	8	U2	2	0	0	0	11	-16
EY	9	U2	-1	3141	0	-19830	-8	71202
EY	10	U2	0	0	0	0	-1	3
EY	11	U2	1	0	0	0	2	-6
EY	12	U2	0	1608	0	-6443	-2	36451
EY	13	U2	0	0	0	0	-1	2
EY	14	U2	0	0	0	0	1	-4
EY	15	U2	0	936	0	-2921	-1	21206
EY	All	All	18	18961	0	601968	618	429642

Modal Comb.	U1		U2	
	DIRECTION-X	DIRECTION-Y	DIRECTION-X	DIRECTION-Y
CQC	16913	18	18	18961

Cortante dinámico en la base, sentido x:  $V_{ix} = 16913$  kN  
 Cortante dinámico en la base, sentido y:  $V_{iy} = 18961$  kN

**Response Spectrum Accelerations**

Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	U1	U2	U3	Sa
EX	1	1,335	0,05	1	1,766	0,000	0,000	0,180
EX	2	1,185	0,05	1	1,988	0,000	0,000	0,203
EX	3	1,130	0,05	1	2,085	0,000	0,000	0,213
EX	4	0,312	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	5	0,270	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	6	0,256	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	7	0,138	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	8	0,118	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	9	0,108	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	10	0,081	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	11	0,071	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	12	0,063	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	13	0,055	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	14	0,050	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EX	15	0,044	0,05	1	3,677	0,000	0,000	0,375
EY	1	1,335	0,05	1	0,000	1,766	0,000	0,180
EY	2	1,185	0,05	1	0,000	1,988	0,000	0,203
EY	3	1,130	0,05	1	0,000	2,085	0,000	0,213
EY	4	0,312	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	5	0,270	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	6	0,256	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	7	0,138	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	8	0,118	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	9	0,108	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	10	0,081	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	11	0,071	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	12	0,063	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	13	0,055	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	14	0,050	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375
EY	15	0,044	0,05	1	0,000	3,677	0,000	0,375

**Center Mass Rigidity (kN, m)**

Story	Diaphragm	MassX	MassY	CENTER OF MASS		CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	CENTER OF RIGIDITY	
				ORDINATE-X	ORDINATE-Y					ORDINATE-X	ORDINATE-Y
				XCM	YCM					XCR	YCR
CUB	D1	480,57	480,57	22,66	11,34	480,57	480,57	22,66	11,34	22,66	9,50
PISO 19	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	1090,87	1090,87	22,66	11,33	22,66	9,49
PISO 18	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	1701,17	1701,17	22,66	11,33	22,66	9,46
PISO 17	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	2311,46	2311,46	22,66	11,33	22,66	9,44
PISO 16	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	2921,76	2921,76	22,66	11,33	22,66	9,41
PISO 15	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	3532,06	3532,06	22,66	11,33	22,66	9,37
PISO 14	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	4142,35	4142,35	22,66	11,33	22,66	9,34
PISO 13	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	4752,65	4752,65	22,66	11,33	22,66	9,30
PISO 12	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	5362,95	5362,95	22,66	11,33	22,66	9,26
PISO 11	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	5973,25	5973,25	22,66	11,33	22,66	9,23
PISO 10	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	6583,54	6583,54	22,66	11,33	22,66	9,19
PISO 9	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	7193,84	7193,84	22,66	11,32	22,66	9,17
PISO 8	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	7804,14	7804,14	22,66	11,32	22,66	9,16
PISO 7	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	8414,44	8414,44	22,66	11,32	22,66	9,18
PISO 6	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	9024,73	9024,73	22,66	11,32	22,66	9,23
PISO 5	D1	610,41	610,41	22,66	11,32	9635,15	9635,15	22,66	11,32	22,66	9,34
PISO 4	D1	610,53	610,53	22,66	11,32	10245,68	10245,68	22,66	11,32	22,66	9,55
PISO 3	D1	610,53	610,53	22,66	11,32	10856,21	10856,21	22,66	11,32	22,66	9,88
PISO 2	D1	610,41	610,41	22,66	11,32	11466,63	11466,63	22,66	11,32	22,66	10,37
PISO 1	D1	610,30	610,30	22,66	11,32	12076,92	12076,92	22,66	11,32	22,66	11,06

**DEFINICIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL****Irregularidades en planta (Tabla A.3.6 NSR-10)**

TIPO DE IRREGULARIDAD	SI	NO	$\phi_p$	$\phi_p$ aplicada
Tipo 1aP - Irregularidad torsional		X	1,0	0,9
Tipo 1bP - Irregularidad torsional extrema		X	1,0	
Tipo 2P - Retrocesos excesivos en las esquinas		X	1,0	
Tipo 3P - Discontinuidades en el diafragma	X		0,9	
Tipo 4P - Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales		X	1,0	
Tipo 5P - Sistemas no paralelos		X	1,0	

**Notas:**

1. En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 1aP, 1bP, 3P y 4P (Véase A.3.3.7).
2. En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades tipo 1aP e 1bP (Véase A.3.3.6).

**Irregularidades en altura (Tabla A.3.7 NSR-10)**

TIPO DE IRREGULARIDAD	SI	NO	$\phi_a$	$\phi_a$ aplicada
Tipo 1aA - Piso flexible (Irregularidad en rigidez)		X	1,0	1,0
Tipo 1bA - Piso flexible (Irregularidad extrema en rigidez)		X	1,0	
Tipo 2A - Irregularidad en la distribución de las masas		X	1,0	
Tipo 3A - Irregularidad geométrica		X	1,0	
Tipo 4A - Desplazamiento dentro del plano de acción		X	1,0	
Tipo 5aA - Piso Débil - Discontinuidad en la resistencia		X	1,0	
Tipo 5bA - Piso Débil - Discontinuidad extrema en la resistencia		X	1,0	

**Notas:**

1. Cuando la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A, ó 3A (Véase A.3.3.5.1).
2. En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Véase A.3.3.7).
3. En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de usos I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a la irregularidad tipo 5aA y 5bA (Véase A.3.3.6).

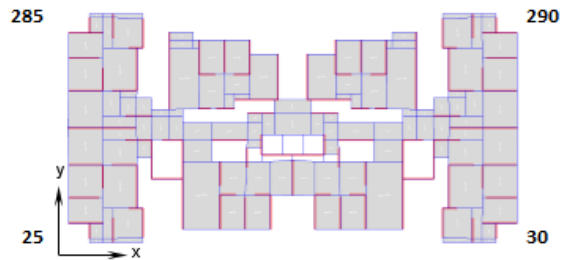
**Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica (A.3.3.8 NSR-10)**

TIPO DE IRREGULARIDAD	SI	NO	$\phi_r$	$\phi_r$ aplicado
Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica		X	1,00	1,00

## EVALUACIÓN DE IRREGULARIDADES EN PLANTA TORSIONAL Y TORSIONAL EXTREMA

Tipo 1aP - Irregularidad torsional:  $1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 > 1.2\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$

Tipo 1bP - Irregularidad torsional extrema:  $\Delta_1 > 1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$



Identificación de puntos para revisión

Sismo en el sentido X

Combinación de carga: 3

NIVEL	$\Delta_1 = 285$ (m)	$\Delta_2 = 25$ (m)	$1.2\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$	$1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$	IRREGULARIDAD TORSIONAL	IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA
CUB	0,009	0,010	0,012	0,014	NO	NO
PISO 19	0,010	0,011	0,012	0,014	NO	NO
PISO 18	0,010	0,011	0,012	0,014	NO	NO
PISO 17	0,010	0,011	0,012	0,015	NO	NO
PISO 16	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 15	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 14	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 13	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 12	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 11	0,010	0,011	0,012	0,015	NO	NO
PISO 10	0,009	0,010	0,012	0,014	NO	NO
PISO 9	0,009	0,010	0,012	0,013	NO	NO
PISO 8	0,009	0,009	0,011	0,013	NO	NO
PISO 7	0,008	0,009	0,010	0,012	NO	NO
PISO 6	0,007	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 5	0,006	0,007	0,008	0,009	NO	NO
PISO 4	0,006	0,006	0,007	0,008	NO	NO
PISO 3	0,004	0,005	0,005	0,006	NO	NO
PISO 2	0,003	0,003	0,004	0,004	NO	NO
PISO 1	0,001	0,001	0,002	0,002	NO	NO

NIVEL	$\Delta_1 = 290$ (m)	$\Delta_2 = 30$ (m)	$1.2 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	$1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	IRREGULARIDAD TORSIONAL	IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA
CUB	0,009	0,010	0,012	0,014	NO	NO
PISO 19	0,010	0,011	0,012	0,014	NO	NO
PISO 18	0,010	0,011	0,012	0,014	NO	NO
PISO 17	0,010	0,011	0,012	0,015	NO	NO
PISO 16	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 15	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 14	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 13	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 12	0,010	0,011	0,013	0,015	NO	NO
PISO 11	0,010	0,011	0,012	0,015	NO	NO
PISO 10	0,009	0,010	0,012	0,014	NO	NO
PISO 9	0,009	0,010	0,012	0,013	NO	NO
PISO 8	0,009	0,009	0,011	0,013	NO	NO
PISO 7	0,008	0,009	0,010	0,012	NO	NO
PISO 6	0,007	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 5	0,006	0,007	0,008	0,009	NO	NO
PISO 4	0,006	0,006	0,007	0,008	NO	NO
PISO 3	0,004	0,005	0,005	0,006	NO	NO
PISO 2	0,003	0,003	0,004	0,004	NO	NO
PISO 1	0,001	0,001	0,002	0,002	NO	NO

Sismo en el sentido Y

Combinación de carga: 5

NIVEL	$\Delta_1 = 285$ (m)	$\Delta_2 = 290$ (m)	$1.2 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	$1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	IRREGULARIDAD TORSIONAL	IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA
CUB	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 19	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 18	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 17	0,008	0,008	0,010	0,011	NO	NO
PISO 16	0,008	0,008	0,010	0,011	NO	NO
PISO 15	0,008	0,008	0,010	0,011	NO	NO
PISO 14	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 13	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 12	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 11	0,007	0,007	0,009	0,010	NO	NO
PISO 10	0,007	0,007	0,008	0,010	NO	NO
PISO 9	0,007	0,007	0,008	0,009	NO	NO
PISO 8	0,006	0,006	0,007	0,009	NO	NO
PISO 7	0,006	0,006	0,007	0,008	NO	NO
PISO 6	0,005	0,005	0,006	0,007	NO	NO
PISO 5	0,004	0,004	0,005	0,006	NO	NO
PISO 4	0,004	0,004	0,004	0,005	NO	NO
PISO 3	0,003	0,003	0,003	0,004	NO	NO
PISO 2	0,002	0,002	0,002	0,003	NO	NO
PISO 1	0,001	0,001	0,001	0,001	NO	NO

NIVEL	$\Delta_1 = 25$ (m)	$\Delta_2 = 30$ (m)	$1.2 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	$1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	IRREGULARIDAD TORSIONAL	IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA
CUB	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 19	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 18	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 17	0,008	0,008	0,010	0,011	NO	NO
PISO 16	0,008	0,008	0,010	0,011	NO	NO
PISO 15	0,008	0,008	0,010	0,011	NO	NO
PISO 14	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 13	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 12	0,008	0,008	0,009	0,011	NO	NO
PISO 11	0,007	0,007	0,009	0,010	NO	NO
PISO 10	0,007	0,007	0,008	0,010	NO	NO
PISO 9	0,007	0,007	0,008	0,009	NO	NO
PISO 8	0,006	0,006	0,007	0,009	NO	NO
PISO 7	0,006	0,006	0,007	0,008	NO	NO
PISO 6	0,005	0,005	0,006	0,007	NO	NO
PISO 5	0,004	0,004	0,005	0,006	NO	NO
PISO 4	0,004	0,004	0,004	0,005	NO	NO
PISO 3	0,003	0,003	0,003	0,004	NO	NO
PISO 2	0,002	0,002	0,002	0,003	NO	NO
PISO 1	0,001	0,001	0,001	0,001	NO	NO



**COMBINACIONES DE CARGA MAYORADAS****Consideraciones**

**A.3.3.3 - Reducción del valor de R para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia** - Cuando una estructura se clasifique como irregular, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$  que se utilice en el diseño sísmico de la edificación, debe reducirse multiplicándolo por  $\phi_p$ , debido a irregularidades en planta, por  $\phi_a$  debido a irregularidades en altura, y por  $\phi_r$  debido a ausencia de redundancia.

**A.3.6.3.2 - Efectos ortogonales** - Los efectos ortogonales pueden tenerse en cuenta suponiendo la concurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular. Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento.

**C.21.3.3.1 - Resistencia al cortante en vigas** - (b) El cortante máximo obtenido de las combinaciones de carga de diseño que incluyan  $E$ , considerando  $E$  como el doble del prescrito por el Título A del Reglamento NSR-10.

**C.21.3.3.2 - Resistencia al cortante en columnas** - (b) El cortante máximo obtenido de las combinaciones de carga de diseño que incluyan  $E$ , con  $E$  incrementado por medio de  $\Omega_0$ .

**Factores de ajuste obtenidos del análisis sísmico (A.5.4.5 NSR-10)**

Factor de ajuste, UX:  $F_x = 1,34$

Factor de ajuste, UY:  $F_y = 1,14$

**Características de la estructura y material empleado (A.3.2 NSR-10)**

Sistema estructural de resistencia sísmica: SISTEMA DE MUROS DE CARGA  
Muros estructurales SMC  
Muros de concreto (DMO)

**Reducción del valor R para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia (A.3.3.3 NSR-10)**

Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico:  $R_0 = 4,0$

Coeficientes de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por:

Irregularidades en planta de la edificación:  $\phi_p = 0,9$

Irregularidades en altura de la edificación:  $\phi_a = 1,0$

Ausencia de redundancia en el sistema de resistencia sísmica:  $\phi_r = 1,0$

Coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño:  $R = 3,6$

**Coeficiente de sobrerresistencia  $\Omega_0$  (A.3.3.9 NSR-10)**

Coeficiente de sobrerresistencia:  $\Omega_0 = 2,5$

**Combinaciones de carga (B.2.3.1 y B.2.4.2 NSR-10)**Chequeo de derivas

- 1. 1.4 D
- 2. 1.2 D + 1.6 L
- 3. 1.2 D + 1.0 L + 1,34 EX
- 4. 1.2 D + 1.0 L - 1,34 EX
- 5. 1.2 D + 1.0 L + 1,14 EY
- 6. 1.2 D + 1.0 L - 1,14 EY
- 7. 0.9 D + 1,34 EX
- 8. 0.9 D - 1,34 EX
- 9. 0.9 D + 1,14 EY
- 10. 0.9 D - 1,14 EY

Nomenclatura

D : Carga muerta.

L : Carga viva.

Lr : Carga viva de cubierta.

EX : Fuerzas sísmicas reducidas de diseño, en la dirección X.

EY : Fuerzas sísmicas reducidas de diseño, en la dirección Y.

Diseño de vigas y columnas - flexión

- ✓ D1. 1.4 D
- ✓ D2. 1.2 D + 1.6 L
- ✓ D3. 1.2 D + 1.0 L + 1.6 Lr
- ✓ D4. 1.2 D + 1.0 L + 0,37 EX + 0,09 EY
- ✓ D5. 1.2 D + 1.0 L + 0,37 EX - 0,09 EY
- D6. 1.2 D + 1.0 L - 0,37 EX + 0,09 EY
- D7. 1.2 D + 1.0 L - 0,37 EX - 0,09 EY
- ✓ D8. 1.2 D + 1.0 L + 0,11 EX + 0,32 EY
- ✓ D9. 1.2 D + 1.0 L - 0,11 EX + 0,32 EY
- D10. 1.2 D + 1.0 L + 0,11 EX - 0,32 EY
- D11. 1.2 D + 1.0 L - 0,11 EX - 0,32 EY
- ✓ D12. 0.9 D + 0,37 EX + 0,09 EY
- ✓ D13. 0.9 D + 0,37 EX - 0,09 EY
- D14. 0.9 D - 0,37 EX + 0,09 EY
- D15. 0.9 D - 0,37 EX - 0,09 EY
- ✓ D16. 0.9 D + 0,11 EX + 0,32 EY
- ✓ D17. 0.9 D - 0,11 EX + 0,32 EY
- D18. 0.9 D + 0,11 EX - 0,32 EY
- D19. 0.9 D - 0,11 EX - 0,32 EY

Diseño de columnas - cortante

- ✓ DC1. 1.4 D
- ✓ DC2. 1.2 D + 1.6 L
- ✓ DC3. 1.2 D + 1.0 L + 1.6 Lr
- ✓ DC4. 1.2 D + 1.0 L + 0,93 EX + 0,24 EY
- ✓ DC5. 1.2 D + 1.0 L + 0,93 EX - 0,24 EY
- DC6. 1.2 D + 1.0 L - 0,93 EX + 0,24 EY
- DC7. 1.2 D + 1.0 L - 0,93 EX - 0,24 EY
- ✓ DC8. 1.2 D + 1.0 L + 0,28 EX + 0,79 EY
- ✓ DC9. 1.2 D + 1.0 L - 0,28 EX + 0,79 EY
- DC10. 1.2 D + 1.0 L + 0,28 EX - 0,79 EY
- DC11. 1.2 D + 1.0 L - 0,28 EX - 0,79 EY
- ✓ DC12. 0.9 D + 0,93 EX + 0,24 EY
- ✓ DC13. 0.9 D + 0,93 EX - 0,24 EY
- DC14. 0.9 D - 0,93 EX + 0,24 EY
- DC15. 0.9 D - 0,93 EX - 0,24 EY
- ✓ DC16. 0.9 D + 0,28 EX + 0,79 EY
- ✓ DC17. 0.9 D - 0,28 EX + 0,79 EY
- DC18. 0.9 D + 0,28 EX - 0,79 EY
- DC19. 0.9 D - 0,28 EX - 0,79 EY

Diseño de muros

- ✓ M1. 1.4 D
- ✓ M2. 1.2 D + 1.6 L
- ✓ M3. 1.2 D + 1.0 L + 0,37 EX
- M4. 1.2 D + 1.0 L - 0,37 EX
- ✓ M5. 1.2 D + 1.0 L + 0,32 EY
- M6. 1.2 D + 1.0 L - 0,32 EY
- ✓ M7. 0.9 D + 0,37 EX
- M8. 0.9 D - 0,37 EX
- ✓ M9. 0.9 D + 0,32 EY
- M10. 0.9 D - 0,32 EY

Diseño de vigas - cortante

- ✓ DV1. 1.4 D
- ✓ DV2. 1.2 D + 1.6 L
- ✓ DV3. 1.2 D + 1.0 L + 1.6 Lr
- ✓ DV4. 1.2 D + 1.0 L + 0,74 EX + 0,19 EY
- ✓ DV5. 1.2 D + 1.0 L + 0,74 EX - 0,19 EY
- DV6. 1.2 D + 1.0 L - 0,74 EX + 0,19 EY
- DV7. 1.2 D + 1.0 L - 0,74 EX - 0,19 EY
- ✓ DV8. 1.2 D + 1.0 L + 0,22 EX + 0,63 EY
- ✓ DV9. 1.2 D + 1.0 L - 0,22 EX + 0,63 EY
- DV10. 1.2 D + 1.0 L + 0,22 EX - 0,63 EY
- DV11. 1.2 D + 1.0 L - 0,22 EX - 0,63 EY
- ✓ DV12. 0.9 D + 0,74 EX + 0,19 EY
- ✓ DV13. 0.9 D + 0,74 EX - 0,19 EY
- DV14. 0.9 D - 0,74 EX + 0,19 EY
- DV15. 0.9 D - 0,74 EX - 0,19 EY
- ✓ DV16. 0.9 D + 0,22 EX + 0,63 EY
- ✓ DV17. 0.9 D - 0,22 EX + 0,63 EY
- DV18. 0.9 D + 0,22 EX - 0,63 EY
- DV19. 0.9 D - 0,22 EX - 0,63 EY

Diseño de cimentación

- ✓ C1. 1.0 D
- ✓ C2. 1.0 D + 1.0 L
- ✓ C3. 1.0 D + 1.0 Lr
- ✓ C4. 1.0 D + 0,75 L + 0,75 Lr
- ✓ C5. 1.0 D + 0,26 EX
- C6. 1.0 D - 0,26 EX
- ✓ C7. 1.0 D + 0,22 EY
- C8. 1.0 D - 0,22 EY
- ✓ C9. 1.0 D + 0,75 L + 0,75 Lr + 0,20 EX
- C10. 1.0 D + 0,75 L + 0,75 Lr - 0,20 EX
- ✓ C11. 1.0 D + 0,75 L + 0,75 Lr + 0,17 EY
- C12. 1.0 D + 0,75 L + 0,75 Lr - 0,17 EY
- ✓ C13. 0.6 D + 0,26 EX
- C14. 0.6 D - 0,26 EX
- ✓ C15. 0.6 D + 0,22 EY
- C16. 0.6 D - 0,22 EY

**EVALUACIÓN DE DERIVAS**

**A.6.2.1.2 - Desplazamientos horizontales en el centro de masa del piso** - En las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso II, III y IV, para la determinación de las fuerzas horizontales que se empleen para calcular los desplazamientos horizontales en el centro de masa, se permite que el coeficiente de importancia I, tenga un valor igual a la unidad (I=1.0), y las fuerzas de diseño a emplear para obtener la resistencia de la estructura deben utilizar el valor del coeficiente de importancia I correspondiente al grupo de uso de la edificación, tal como se define en A.2.5.2.

**A.6.3.1.3 - Deriva máxima** - En los pisos superiores de edificaciones que cumplen las condiciones (a) a (e) presentadas a continuación, se permite calcular la deriva máxima del piso de la forma alternativa que se obtiene con la expresión A.6.3-2.

- (a) La edificación tiene diez o mas pisos de altura sobre su base.
- (b) El procedimiento alternativo solo es aplicable en los pisos superiores localizados por encima de dos tercios de la altura de la edificación medida desde su base.
- (c) El sistema estructural de resistencia sísmica es diferente a pórtico resistente a momento.
- (d) La edificación se clasifica como regular tanto en planta como en altura
- (e) El índice de estabilidad,  $Q_i$ , es menor de 0.10 en todos los pisos donde seria aplicable este procedimiento alternativo.

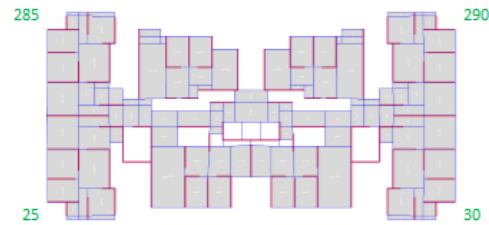
Los siguientes análisis se realizan considerando la inercia total de las secciones de los elementos estructurales.

Evaluación de la deriva (A.6.3-1 NSR-10):

$$\Delta_{max}^i = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (\delta_{tot,j}^i - \delta_{tot,j}^{i-1})^2}$$

Evaluación de la deriva (A.6.3-2 NSR-10):

$$\Delta_j^i = \delta_{cm,j}^i - 0.5 \left[ \frac{(\delta_{cm,j}^{i-1} - \delta_{cm,j}^{i-2})(h_p^i + h_p^{i-1})}{h_p^{i-1}} + \delta_{cm,j}^{i-2} \right] - 0.5 \delta_{cm,j}^{i-1}$$



Limite de la deriva (A.6.4.1 NSR-10):

Estructuras de concreto reforzado, metálicas, de madera: 1.0% ( $\Delta_{max} \leq 0.010h$ )

**RESUMEN DE RESULTADOS**

**Punto de análisis: 285**

En el sentido X                      Combinación de carga: 3

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,115	0,112	0,161	0,009	0,025	0,37	SI
PISO 19	2,50	0,109	0,105	0,151	0,010	0,025	0,38	SI
PISO 18	2,50	0,103	0,098	0,142	0,010	0,025	0,39	SI
PISO 17	2,50	0,097	0,091	0,132	0,010	0,025	0,39	SI
PISO 16	2,50	0,090	0,083	0,123	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 15	2,50	0,083	0,076	0,113	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 14	2,50	0,076	0,069	0,103	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 13	2,50	0,069	0,061	0,093	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 12	2,50	0,062	0,054	0,083	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 11	2,50	0,055	0,047	0,073	0,010	0,025	0,39	SI
PISO 10	2,50	0,048	0,041	0,063	0,009	0,025	0,38	SI
PISO 9	2,50	0,041	0,034	0,053	0,009	0,025	0,37	SI
PISO 8	2,50	0,034	0,028	0,044	0,009	0,025	0,34	SI
PISO 7	2,50	0,028	0,022	0,036	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 6	2,50	0,022	0,017	0,028	0,007	0,025	0,29	SI
PISO 5	2,50	0,016	0,013	0,020	0,006	0,025	0,26	SI
PISO 4	2,50	0,011	0,009	0,014	0,006	0,025	0,22	SI
PISO 3	2,50	0,007	0,005	0,008	0,004	0,025	0,17	SI
PISO 2	2,50	0,003	0,003	0,004	0,003	0,025	0,11	SI
PISO 1	2,50	0,001	0,001	0,001	0,001	0,025	0,05	SI

En el sentido Y

Combinación de carga: 5

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,000	0,122	0,122	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 19	2,50	0,000	0,114	0,114	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 18	2,50	0,000	0,106	0,106	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 17	2,50	0,000	0,098	0,098	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 16	2,50	0,000	0,090	0,090	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 15	2,50	0,000	0,082	0,082	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 14	2,50	0,000	0,075	0,075	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 13	2,50	0,000	0,067	0,067	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 12	2,50	0,000	0,059	0,059	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 11	2,50	0,000	0,051	0,051	0,007	0,025	0,29	SI
PISO 10	2,50	0,000	0,044	0,044	0,007	0,025	0,28	SI
PISO 9	2,50	0,000	0,037	0,037	0,007	0,025	0,26	SI
PISO 8	2,50	0,000	0,030	0,030	0,006	0,025	0,25	SI
PISO 7	2,50	0,000	0,024	0,024	0,006	0,025	0,22	SI
PISO 6	2,50	0,000	0,018	0,018	0,005	0,025	0,20	SI
PISO 5	2,50	0,000	0,013	0,013	0,004	0,025	0,18	SI
PISO 4	2,50	0,000	0,009	0,009	0,004	0,025	0,14	SI
PISO 3	2,50	0,000	0,005	0,005	0,003	0,025	0,11	SI
PISO 2	2,50	0,000	0,003	0,003	0,002	0,025	0,07	SI
PISO 1	2,50	0,000	0,001	0,001	0,001	0,025	0,03	SI

Punto de análisis: 290

En el sentido X

Combinación de carga: 3

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,115	0,112	0,161	0,009	0,025	0,37	SI
PISO 19	2,50	0,109	0,105	0,151	0,010	0,025	0,38	SI
PISO 18	2,50	0,103	0,098	0,142	0,010	0,025	0,39	SI
PISO 17	2,50	0,097	0,091	0,132	0,010	0,025	0,39	SI
PISO 16	2,50	0,090	0,083	0,123	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 15	2,50	0,083	0,076	0,113	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 14	2,50	0,076	0,069	0,103	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 13	2,50	0,069	0,061	0,093	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 12	2,50	0,062	0,054	0,083	0,010	0,025	0,40	SI
PISO 11	2,50	0,055	0,047	0,073	0,010	0,025	0,39	SI
PISO 10	2,50	0,048	0,041	0,063	0,009	0,025	0,38	SI
PISO 9	2,50	0,041	0,034	0,053	0,009	0,025	0,37	SI
PISO 8	2,50	0,034	0,028	0,044	0,009	0,025	0,34	SI
PISO 7	2,50	0,028	0,022	0,036	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 6	2,50	0,022	0,017	0,028	0,007	0,025	0,29	SI
PISO 5	2,50	0,016	0,013	0,020	0,006	0,025	0,26	SI
PISO 4	2,50	0,011	0,009	0,014	0,006	0,025	0,22	SI
PISO 3	2,50	0,007	0,005	0,008	0,004	0,025	0,17	SI
PISO 2	2,50	0,003	0,003	0,004	0,003	0,025	0,11	SI
PISO 1	2,50	0,001	0,001	0,001	0,001	0,025	0,05	SI

En el sentido Y Combinación de carga: 5

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,000	0,122	0,122	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 19	2,50	0,000	0,114	0,114	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 18	2,50	0,000	0,106	0,106	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 17	2,50	0,000	0,098	0,098	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 16	2,50	0,000	0,090	0,090	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 15	2,50	0,000	0,082	0,082	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 14	2,50	0,000	0,074	0,074	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 13	2,50	0,000	0,067	0,067	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 12	2,50	0,000	0,059	0,059	0,008	0,025	0,30	SI
PISO 11	2,50	0,000	0,051	0,051	0,007	0,025	0,30	SI
PISO 10	2,50	0,000	0,044	0,044	0,007	0,025	0,28	SI
PISO 9	2,50	0,000	0,037	0,037	0,007	0,025	0,27	SI
PISO 8	2,50	0,000	0,030	0,030	0,006	0,025	0,24	SI
PISO 7	2,50	0,000	0,024	0,024	0,006	0,025	0,22	SI
PISO 6	2,50	0,000	0,018	0,018	0,005	0,025	0,20	SI
PISO 5	2,50	0,000	0,013	0,013	0,004	0,025	0,18	SI
PISO 4	2,50	0,000	0,009	0,009	0,004	0,025	0,14	SI
PISO 3	2,50	0,000	0,005	0,005	0,003	0,025	0,11	SI
PISO 2	2,50	0,000	0,003	0,003	0,002	0,025	0,07	SI
PISO 1	2,50	0,000	0,001	0,001	0,001	0,025	0,03	SI

Punto de análisis: 25

En el sentido X Combinación de carga: 3

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,138	0,112	0,178	0,010	0,025	0,41	SI
PISO 19	2,50	0,131	0,105	0,168	0,011	0,025	0,42	SI
PISO 18	2,50	0,123	0,098	0,157	0,011	0,025	0,43	SI
PISO 17	2,50	0,115	0,091	0,146	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 16	2,50	0,107	0,083	0,136	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 15	2,50	0,099	0,076	0,124	0,011	0,025	0,45	SI
PISO 14	2,50	0,090	0,069	0,113	0,011	0,025	0,45	SI
PISO 13	2,50	0,082	0,061	0,102	0,011	0,025	0,45	SI
PISO 12	2,50	0,073	0,054	0,091	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 11	2,50	0,064	0,047	0,080	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 10	2,50	0,056	0,041	0,069	0,010	0,025	0,42	SI
PISO 9	2,50	0,047	0,034	0,058	0,010	0,025	0,41	SI
PISO 8	2,50	0,039	0,028	0,048	0,009	0,025	0,38	SI
PISO 7	2,50	0,032	0,022	0,039	0,009	0,025	0,35	SI
PISO 6	2,50	0,025	0,017	0,030	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 5	2,50	0,018	0,013	0,022	0,007	0,025	0,28	SI
PISO 4	2,50	0,013	0,009	0,015	0,006	0,025	0,24	SI
PISO 3	2,50	0,008	0,005	0,009	0,005	0,025	0,18	SI
PISO 2	2,50	0,004	0,003	0,005	0,003	0,025	0,13	SI
PISO 1	2,50	0,001	0,001	0,001	0,001	0,025	0,05	SI

En el sentido Y Combinación de carga: 5

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,000	0,122	0,122	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 19	2,50	0,000	0,114	0,114	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 18	2,50	0,000	0,106	0,106	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 17	2,50	0,000	0,098	0,098	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 16	2,50	0,000	0,090	0,090	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 15	2,50	0,000	0,082	0,082	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 14	2,50	0,000	0,075	0,075	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 13	2,50	0,000	0,067	0,067	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 12	2,50	0,000	0,059	0,059	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 11	2,50	0,000	0,051	0,051	0,007	0,025	0,29	SI
PISO 10	2,50	0,000	0,044	0,044	0,007	0,025	0,28	SI
PISO 9	2,50	0,000	0,037	0,037	0,007	0,025	0,26	SI
PISO 8	2,50	0,000	0,030	0,030	0,006	0,025	0,25	SI
PISO 7	2,50	0,000	0,024	0,024	0,006	0,025	0,22	SI
PISO 6	2,50	0,000	0,018	0,018	0,005	0,025	0,20	SI
PISO 5	2,50	0,000	0,013	0,013	0,004	0,025	0,18	SI
PISO 4	2,50	0,000	0,009	0,009	0,004	0,025	0,14	SI
PISO 3	2,50	0,000	0,005	0,005	0,003	0,025	0,11	SI
PISO 2	2,50	0,000	0,003	0,003	0,002	0,025	0,07	SI
PISO 1	2,50	0,000	0,001	0,001	0,001	0,025	0,03	SI

Punto de análisis: 30

En el sentido X Combinación de carga: 3

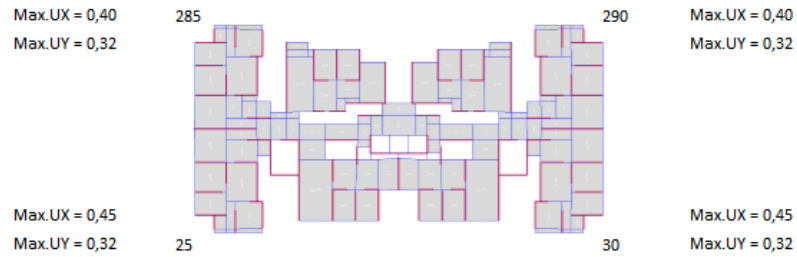
NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,138	0,112	0,178	0,010	0,025	0,41	SI
PISO 19	2,50	0,131	0,105	0,168	0,011	0,025	0,42	SI
PISO 18	2,50	0,123	0,098	0,157	0,011	0,025	0,43	SI
PISO 17	2,50	0,115	0,091	0,146	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 16	2,50	0,107	0,083	0,136	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 15	2,50	0,099	0,076	0,124	0,011	0,025	0,45	SI
PISO 14	2,50	0,090	0,069	0,113	0,011	0,025	0,45	SI
PISO 13	2,50	0,082	0,061	0,102	0,011	0,025	0,45	SI
PISO 12	2,50	0,073	0,054	0,091	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 11	2,50	0,064	0,047	0,080	0,011	0,025	0,44	SI
PISO 10	2,50	0,056	0,041	0,069	0,010	0,025	0,42	SI
PISO 9	2,50	0,047	0,034	0,058	0,010	0,025	0,41	SI
PISO 8	2,50	0,039	0,028	0,048	0,009	0,025	0,38	SI
PISO 7	2,50	0,032	0,022	0,039	0,009	0,025	0,35	SI
PISO 6	2,50	0,025	0,017	0,030	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 5	2,50	0,018	0,013	0,022	0,007	0,025	0,28	SI
PISO 4	2,50	0,013	0,009	0,015	0,006	0,025	0,24	SI
PISO 3	2,50	0,008	0,005	0,009	0,005	0,025	0,18	SI
PISO 2	2,50	0,004	0,003	0,005	0,003	0,025	0,13	SI
PISO 1	2,50	0,001	0,001	0,001	0,001	0,025	0,05	SI



En el sentido Y Combinación de carga: 5

NIVEL	H <sub>PISO</sub> (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta$ (m)	$\Delta_{CALCULADA}$ (m)	$\Delta_{LIMITE}$ (m)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	CUMPLE
CUB	2,50	0,000	0,122	0,122	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 19	2,50	0,000	0,114	0,114	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 18	2,50	0,000	0,106	0,106	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 17	2,50	0,000	0,098	0,098	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 16	2,50	0,000	0,090	0,090	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 15	2,50	0,000	0,082	0,082	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 14	2,50	0,000	0,074	0,074	0,008	0,025	0,32	SI
PISO 13	2,50	0,000	0,067	0,067	0,008	0,025	0,31	SI
PISO 12	2,50	0,000	0,059	0,059	0,008	0,025	0,30	SI
PISO 11	2,50	0,000	0,051	0,051	0,007	0,025	0,30	SI
PISO 10	2,50	0,000	0,044	0,044	0,007	0,025	0,28	SI
PISO 9	2,50	0,000	0,037	0,037	0,007	0,025	0,27	SI
PISO 8	2,50	0,000	0,030	0,030	0,006	0,025	0,24	SI
PISO 7	2,50	0,000	0,024	0,024	0,006	0,025	0,22	SI
PISO 6	2,50	0,000	0,018	0,018	0,005	0,025	0,20	SI
PISO 5	2,50	0,000	0,013	0,013	0,004	0,025	0,18	SI
PISO 4	2,50	0,000	0,009	0,009	0,004	0,025	0,14	SI
PISO 3	2,50	0,000	0,005	0,005	0,003	0,025	0,11	SI
PISO 2	2,50	0,000	0,003	0,003	0,002	0,025	0,07	SI
PISO 1	2,50	0,000	0,001	0,001	0,001	0,025	0,03	SI

Resumen índices de flexibilidad



Máximo índice de flexibilidad, UX: Max. UX = 0,45  
 Máximo índice de flexibilidad, UY: Max. UY = 0,32



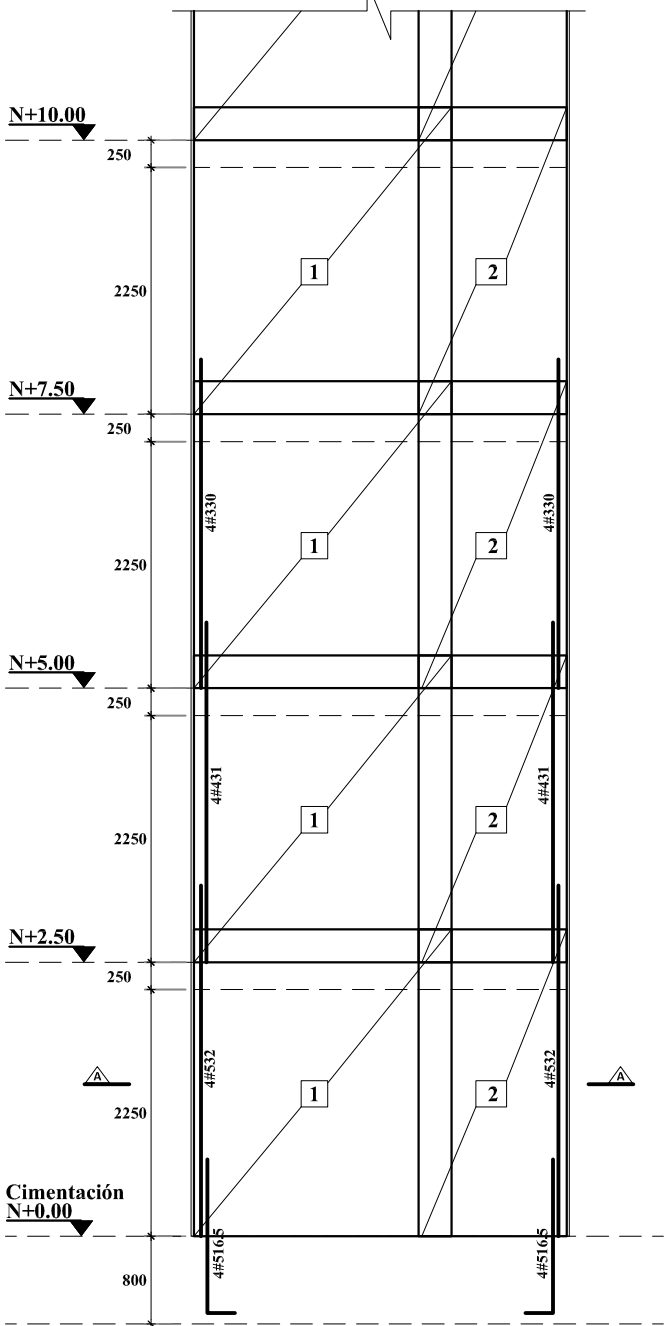
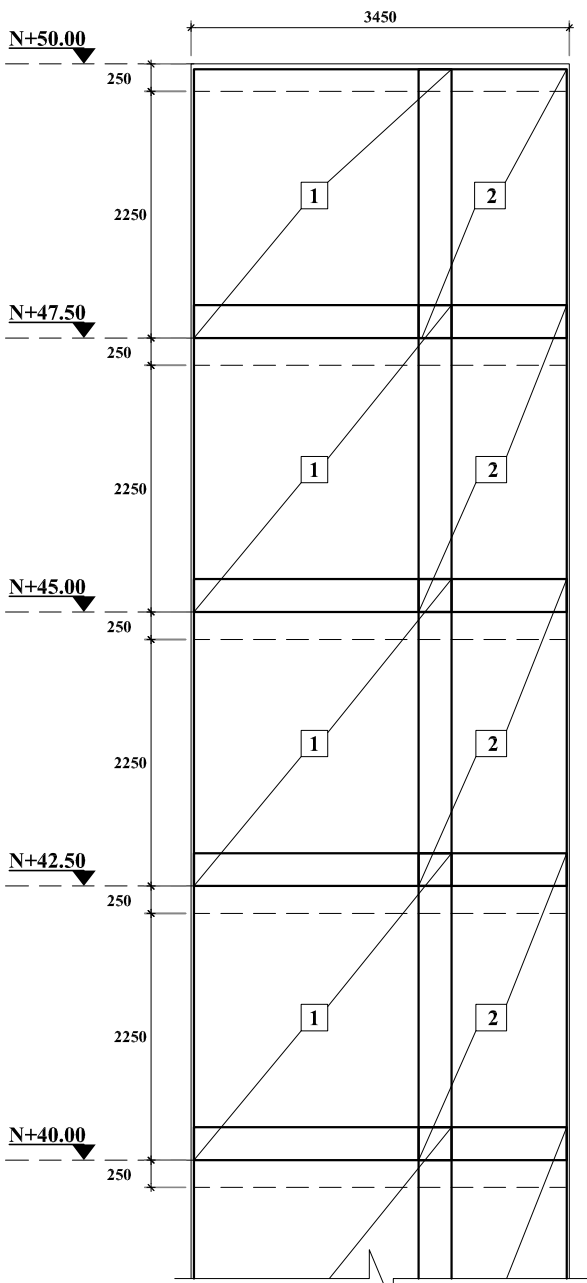


## **F. Anexo: Detallado del refuerzo para muros de concreto reforzado**

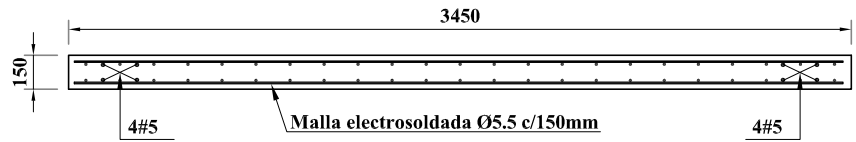
Este Anexo contiene:

- Diseño del muro M11
- Diseño de los elementos de borde del muro M11
- Detallado del refuerzo para muros de concreto reforzado y sus conexiones

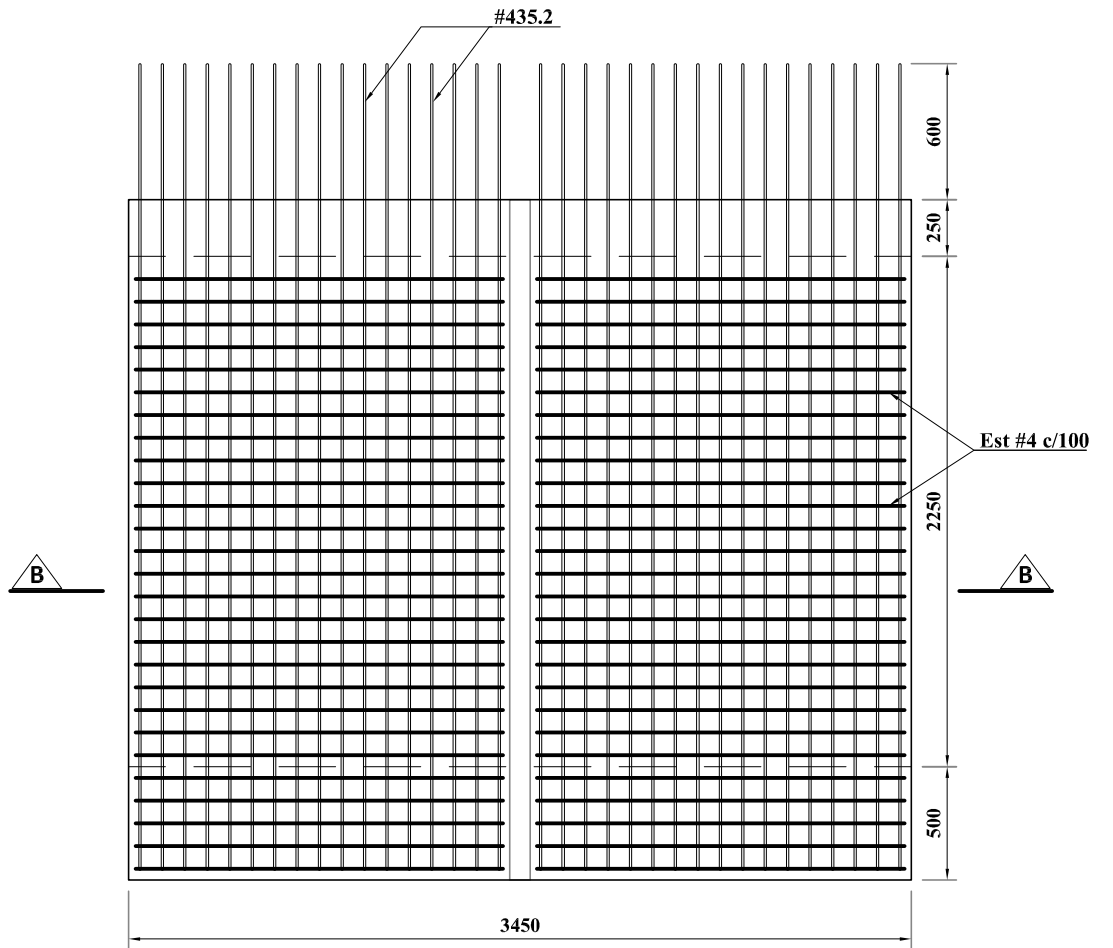




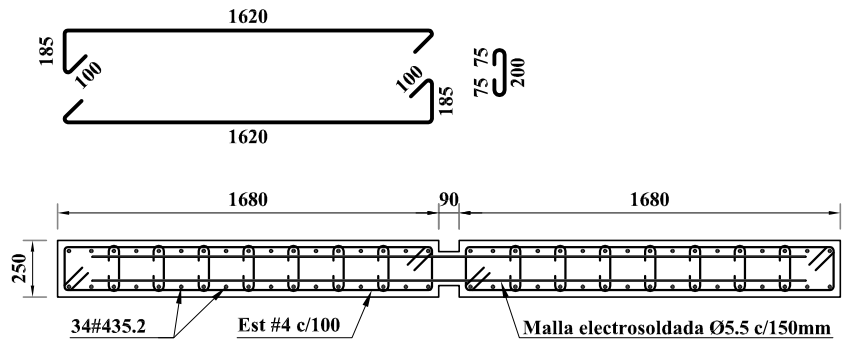
**ALZADO DE MURO M-11 e = 150 mm**



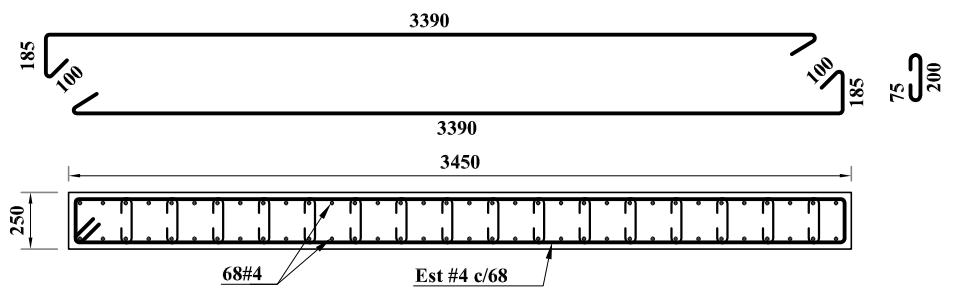
**SECCIÓN A - A MURO M11**



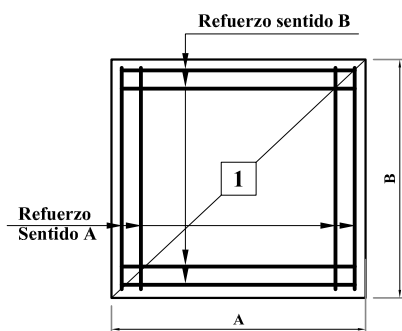
**ALZADO DE MURO M11 CON ELEMENTOS DE BORDE**



**SECCION B - B**

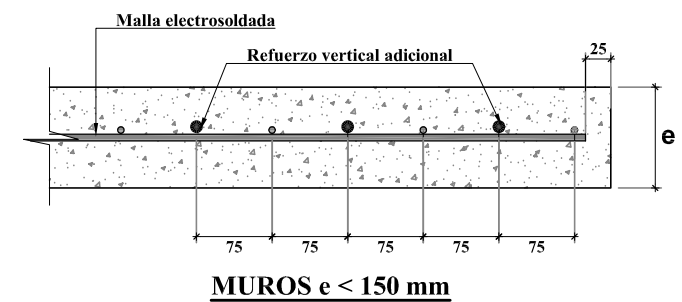
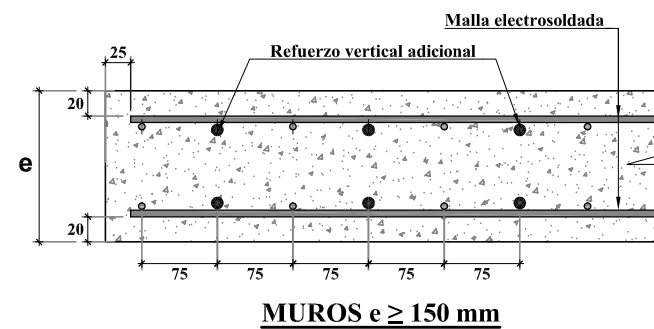
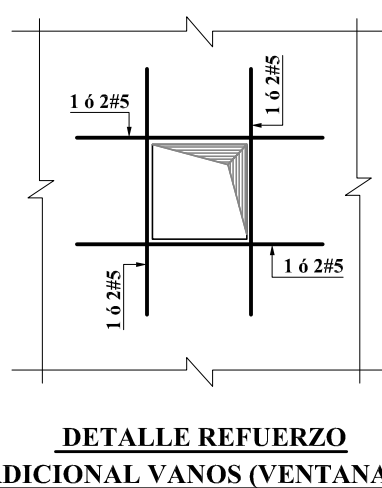
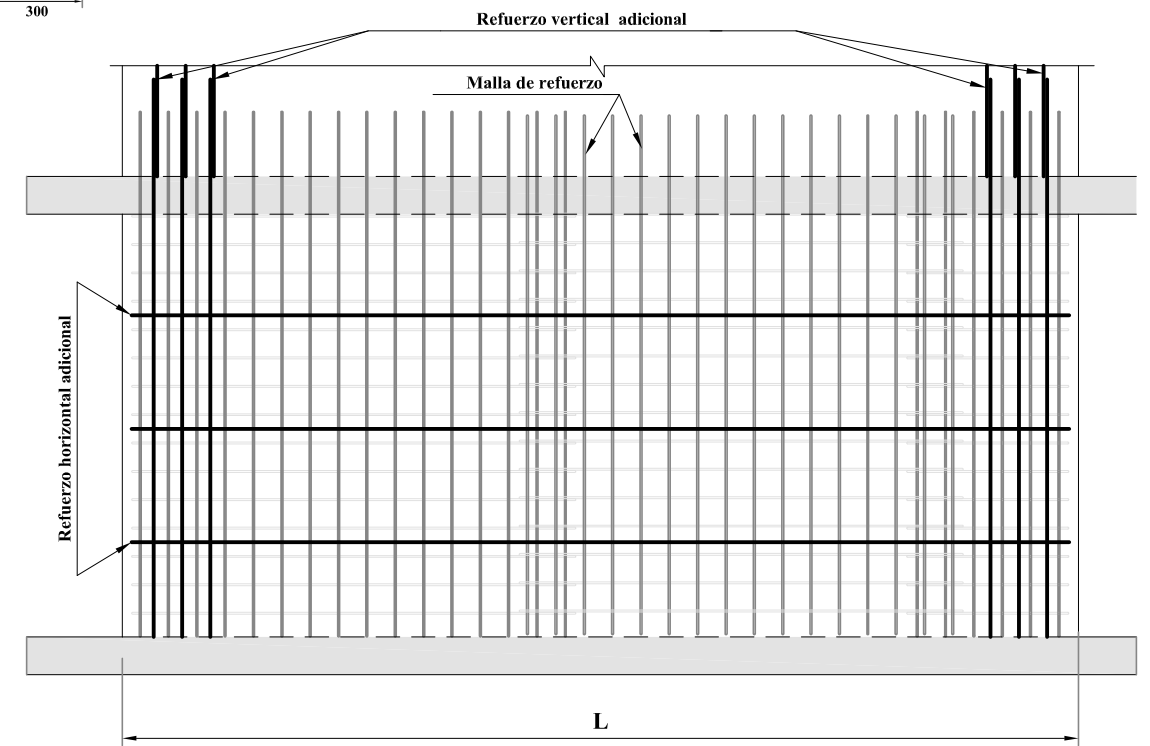
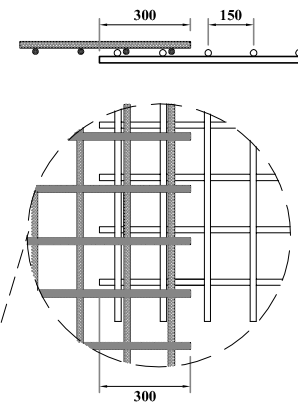
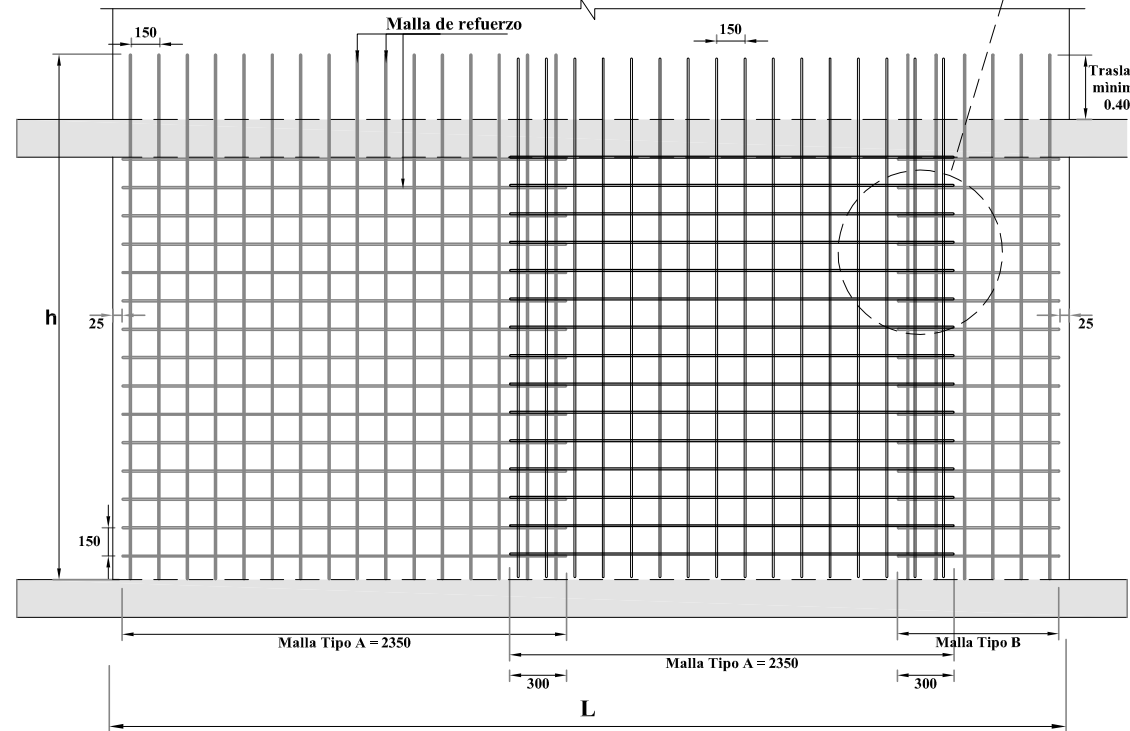
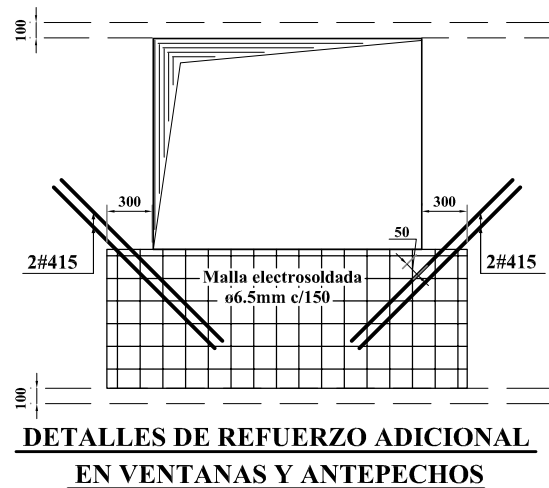
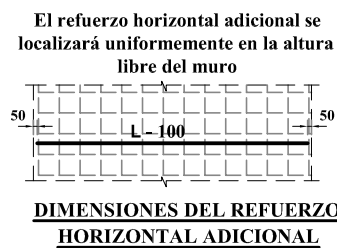
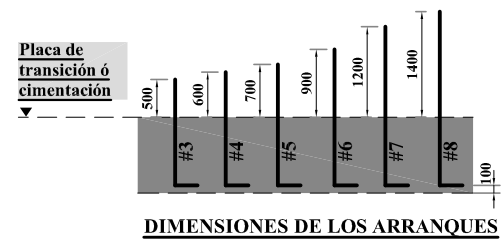
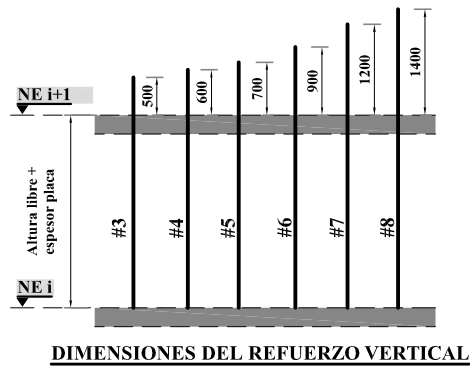
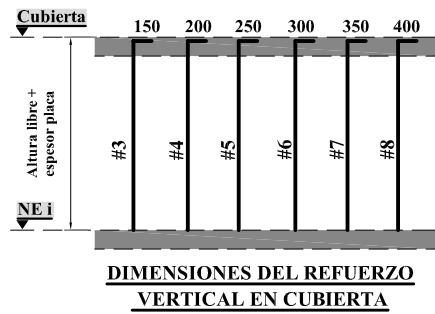


**COLUMNA M11**



**CONVENCION MALLAS**

TIPO	DIMENSIONES		CANT	REFUERZO		PESO (kg)
	A(mm)	B(mm)		Reforzo A	Reforzo B	
1	2350	2800	20	Ø5.5mm c/.15	Ø5.5mm c/.15	721,20
2	1350	2800	20	Ø5.5mm c/.15	Ø5.5mm c/.15	398,80



**LOCALIZACION REFUERZO VERTICAL ADICIONAL EN LAS ESQUINAS**

Escala 1:7.5

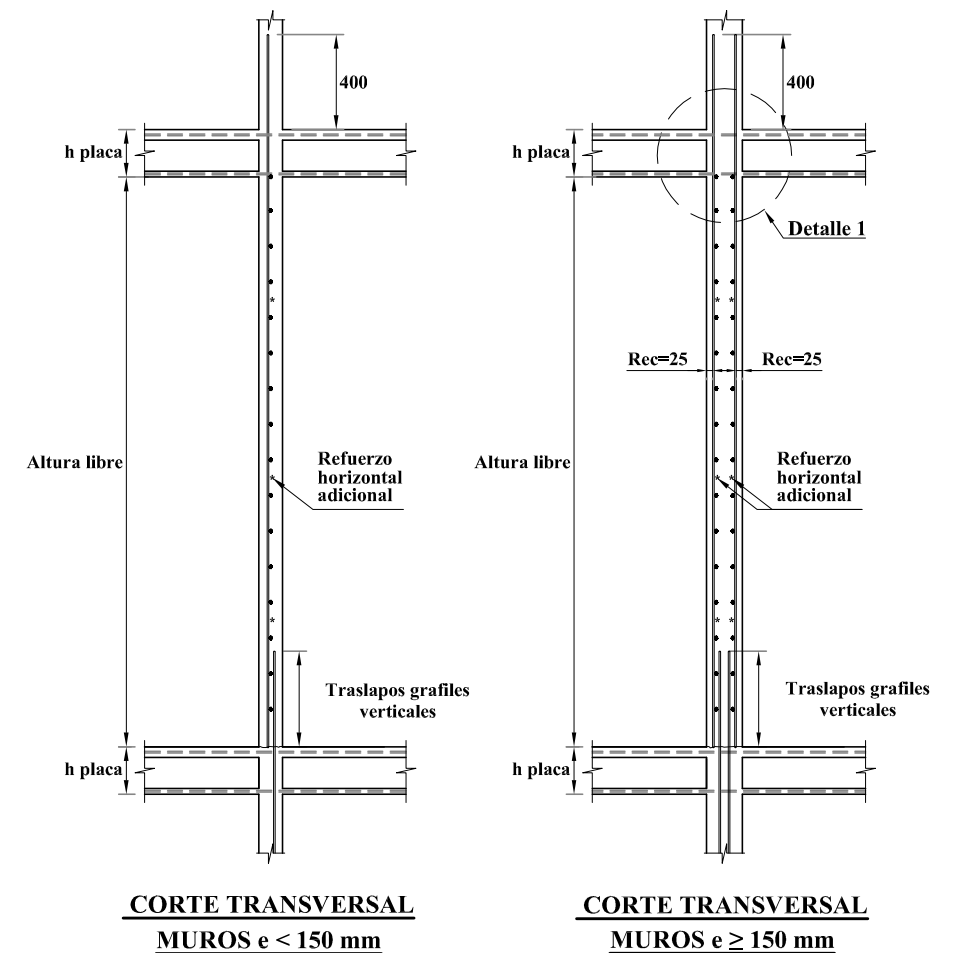
El refuerzo vertical adicional se colocará en cada extremo del muro a partir del borde hacia el interior, según se indica en estos detalles.

**NOTAS:**  
 - Dimensiones en milímetros (mm)  
 - Cortesía P&P Proyectos

UNION MURO - MURO DETALLE UNION ESQUINA		UNION MURO - MURO DETALLE UNION ESQUINA	
ALTERNATIVA CON REFUERZO ADICIONAL	ALTERNATIVA CON TRASLAPO DE MALLAS	ALTERNATIVA CON REFUERZO ADICIONAL	ALTERNATIVA CON TRASLAPO DE MALLAS
	<p>* Longitud adicional a la indicada en el cuadro de mallas del respectivo refuerzo del muro</p>		<p>* Longitud adicional a la indicada en el cuadro de mallas del respectivo refuerzo del muro</p>

UNION MURO - MURO DETALLE UNION "T"		UNION MURO - MURO DETALLE UNION "T"	
ALTERNATIVA CON REFUERZO ADICIONAL	ALTERNATIVA CON TRASLAPO DE MALLAS	ALTERNATIVA CON REFUERZO ADICIONAL	ALTERNATIVA CON TRASLAPO DE MALLAS
	<p>* Longitud adicional a la indicada en el cuadro de mallas del respectivo refuerzo del muro</p>		<p>* Longitud adicional a la indicada en el cuadro de mallas del respectivo refuerzo del muro</p>

UNION MURO - MURO DETALLE UNION "+"		UNION MURO - MURO DETALLE UNION "+"	
ALTERNATIVA CON REFUERZO ADICIONAL	ALTERNATIVA CON TRASLAPO DE MALLAS	ALTERNATIVA CON REFUERZO ADICIONAL	ALTERNATIVA CON TRASLAPO DE MALLAS
	<p>* Longitud adicional a la indicada en el cuadro de mallas del respectivo refuerzo del muro</p>		<p>* Longitud adicional a la indicada en el cuadro de mallas del respectivo refuerzo del muro</p>



UNIÓN MURO PLACA CUBIERTA	UNIÓN PLACA MURO DE FACHADA	DETALLE 1
<p>Último grafil a 30mm del nivel superior de la placa para soporte de la malla</p>		<p>Último grafil a 30mm del nivel superior de la placa para soporte de la malla</p>

**NOTAS:**  
- Dimensiones en milímetros (mm)  
- Cortesia P&P Proyectos S.A.S.

## Bibliografía

ALCOCER M, Sergio. Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado: Muros Estructurales. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería, 1995. p. 272-291. [consultado 15 junio de 2015]. Disponible en <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Diciembre2005/pdf/spa/doc6517/doc6517-contenido.pdf> >

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Farmington Hills, Michigan, USA: ACI, 2015. 587 p.

CÁRDENAS, Alex. y MAGURA, Donald. Strength of High-Rise Shear Walls – Rectangular Cross Sections. Response of Multistory Concrete Structures to Lateral Forces. Publicación Especial. Detroit, Michigan: ACI, 1973. v. 36, p. 119-150.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012.

ROCHEL AWAD, Roberto. Hormigón Reforzado. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2002. v. 2, 235 p.

ROCHEL AWAD, Roberto. Análisis y diseño sísmico de edificios. 2ed. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2012. v. 2, 385 p.

SEGURA FRANCO, Jorge. Estructuras de Concreto I. 7ed. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, 2011, 594 p.