

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL EN BOGOTÁ
USANDO MUROS DELGADOS EN CONCRETO REFORZADO EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE PISOS**

Brayan Estiven Pinzón Pineda, Sebastián Fernando Gómez Arango



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2023

**Análisis del comportamiento estructural de una edificación residencial en Bogotá usando muros
delgados en concreto reforzado en función de la cantidad de pisos**

Brayan Estiven Pinzón Pineda, Sebastián Fernando Gómez Arango

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. Jhon Sebastian Cortes García

Asesora Metodológica:

Laura Milena Cala Cristancho



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2023

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
ANTECEDENTES	14
ALCANCE	16
MARCO TEÓRICO	19
MARCO CONCEPTUAL	19
<i>Características de los muros en concreto reforzado</i>	<i>21</i>
<i>Ventajas y Desventajas de los Muros en Concreto Reforzado</i>	<i>22</i>
<i>Comportamiento de los muros delgados en concreto reforzado</i>	<i>22</i>
<i>Grado de Disipación de Energía para el Proyecto.....</i>	<i>23</i>
MARCO NORMATIVO	24
<i>NSR – 10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente:.....</i>	<i>24</i>
<i>ACI CODE 318-08: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary</i>	<i>26</i>
<i>Software de Análisis Estructural - RCB</i>	<i>26</i>
<i>Arquitectura de la Edificación.....</i>	<i>27</i>
ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	28
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	29
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROYECTO USANDO EL SOFTWARE ENGSOLUTIONS RCB	29
ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA	40

ANÁLISIS ESTRUCTURAL USANDO MUROS DELGADOS EN CONCRETO REFORZADO	4
ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO	43
ANÁLISIS DE DERIVAS.....	49
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
AVALÚO DE CARGAS	53
ESPECTRO DE DISEÑO.....	58
MODELO MATEMÁTICO	60
<i>Derivas</i>	60
<i>Chequeo de Irregularidades en Altura</i>	62
<i>Chequeo de Irregularidad Torsional</i>	63
PROCEDIMIENTO DE PREDISEÑO DE LA SUPER ESTRUCTURA.....	64
<i>Muros Estructurales</i>	64
CÁLCULO DE CUANTÍA DE LAS ESTRUCTURAS.....	68
<i>Cantidad de Concreto en Muros</i>	68
<i>Cantidad de Acero</i>	68
<i>Cuantía de la Estructura</i>	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	74
ANEXOS.....	76

Lista de Figuras

Figura 1 Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño	15
Figura 2 Zonas de amenaza sísmica para la Ciudad de Bogotá	17
Figura 3 Vivienda construida con muros en concreto reforzado	20
Figura 4 Tipos de Sistemas de Construcción y Características	20
Figura 5 Acciones externas de un muro.....	21
Figura 6 Daños en los extremos de muros en el terremoto de Chile 2010.	23
Figura 7 Interfaz Software RCB	27
Figura 8 Arquitectura del Edificio Modelo	28
Figura 9 Elaboración grilla sobre plano arquitectónico - vista de planta	30
Figura 10 Inicio de programa RCB	30
Figura 11 Selección de pisos de la estructura	31
Figura 12 Altura entre pisos	31
Figura 13 Selección tipo de grilla.....	32
Figura 14 Selección tipo de losa y diligenciamiento avalúo de cargas	32
Figura 15 Primera vista espacio de trabajo y grilla	33
Figura 16 Edición de muros y propiedades de muros	34
Figura 17 Dibujo de muros y vigas	35
Figura 18 Edición de losas	36
Figura 19 Edición de elementos estructurales	37
Figura 20 Botón replica de pisos	37
Figura 21 Creación de nuevos pisos	38
Figura 22 Estructura completa	38

Figura 23	39
Figura 24 <i>Modelo estructural</i>	40
Figura 25 <i>Agregar cargas en la estructura</i>	41
Figura 26 <i>Cinta de opciones análisis</i>	41
Figura 27 <i>Selección de piso para el análisis</i>	42
Figura 28 <i>Selección de los modos</i>	42
Figura 29 <i>Análisis del programa una vez configuradas las opciones</i>	43
Figura 30 <i>Análisis del programa una vez configuradas las opciones</i>	43
Figura 31 <i>Selección de normatividad aplicable al proyecto</i>	44
Figura 32 <i>Selección de coeficiente de disipación de energía</i>	45
Figura 33 <i>Ingreso de coeficientes de disipación de energía</i>	46
Figura 34 <i>Ingreso de coeficientes para cálculo de espectro</i>	47
Figura 35 <i>Ingreso de coeficientes de irregularidad</i>	48
Figura 36 <i>Inicio de análisis de datos ingresados</i>	49
Figura 37 <i>Selección para análisis de las derivas</i>	49
Figura 38 <i>Cinta de opciones para cargue de las combinaciones de carga</i>	50
Figura 39 <i>Ventana que solicita el factor de efecto bidireccional</i>	51
Figura 40 <i>Combinaciones de carga</i>	51
Figura 41 <i>Opciones para diseño de vigas y columnas</i>	52
Figura 42 <i>Plano de planta con cargas</i>	53
Figura 43 <i>Cálculo de dimensiones y peso</i>	54
Figura 44 <i>Avalúo de Cargas – Vivienda</i>	55
Figura 45 <i>Avalúo de Cargas – Corredor</i>	55
Figura 46 <i>Avalúo de Cargas – Escaleras</i>	56

Figura 47 <i>Avalúo de Cargas – Balcón</i>	56
Figura 48 <i>Avalúo de Cargas – Cubierta</i>	57
Figura 49 <i>Cálculo de dimensiones y peso.</i>	58
Figura 50 <i>Parámetros NSR - 10.</i>	59
Figura 51 <i>Espectro Sísmico de Diseño</i>	59
Figura 52 <i>Ejemplo de diseño de muros estructurales</i>	65
Figura 53 <i>Espesores de muro</i>	67
Figura 54 <i>Resistencia de Concretos</i>	67
Figura 55 <i>Gráfica de cuantía VS Tipo de torre</i>	70

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Valores de R_0 y Ω_0 para el sistema de muros de carga.</i>	24
Tabla 2 <i>Requisitos mínimos de reforzamiento y detallado de muros estructurales según NSR-10</i>	25
Tabla 3 <i>Descripción del Proyecto</i>	29
Tabla 4 <i>Cambio propuesto para la Tabla A.3-1. Sistema estructural de muros de carga de la NSR-10.</i>	46
Tabla 5 <i>Periodos fundamentales para los cinco (5) modelos</i>	60
Tabla 6 <i>Chequeo de las Derivas obtenidas del modelo matemático</i>	61
Tabla 7 <i>Chequeo de irregularidades en altura</i>	62
Tabla 8 <i>Chequeo de irregularidades torsional</i>	63
Tabla 9 <i>Cantidades de concreto en los muros</i>	68

Tabla 10 *Cantidades de acero en los muros* 68

Tabla 11 *Cuadro de cálculo de cuantía* 69

Introducción

De acuerdo con la Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL, 2022) para octubre del año 2022 las viviendas nuevas vendidas fueron alrededor de 246.831 incluyendo viviendas de tipo social, muchas de estas viviendas están constituidas en edificios tipo residencial, los cuales benefician a la población colombiana por su fácil adquisición, producto de las ayudas que destina el estado para que las familias más vulnerables accedan a una vivienda digna. De igual manera, estas construcciones benefician a más de 1.48 millones de trabajadores, los cuales hacen parte del sector de la construcción de viviendas en Colombia (CAMACOL, 2022).

En Colombia se ha evidenciado, que el uso de sistemas industrializados ha tenido un mayor auge, esto se debe a su facilidad de construcción, donde se utilizan formaletas metálicas construyendo piso a piso en un proceso repetitivo, resultando una estructura homogénea y sólida, que concluye en ahorro de tiempo y eficiencia arquitectónica que ayuda a delimitar los espacios. Con la demanda de edificios residenciales debido al crecimiento que se presenta en la ciudad de Bogotá y en busca de reusar casas con áreas grandes, las empresas actualmente construyen edificios con mayor altura y espesores de muros menores.

Todo se rige bajo el Reglamento Colombiano Construcción Sismo Resistente NSR-10 en su Título C, el comportamiento en muros delgados y esbeltos está aún por ser comprobada en su totalidad, ya que por su longitud, altura, espesor y materiales a usar en los sistemas industrializados que consiste típicamente en mallas electrosoldadas que se componen de alambres delgados de acero formado en frío, no se contempla un confinamiento adecuado en los bordes, por lo que, esto hace que estas estructuras sean poco dúctiles. Por lo que, en casos de sismos en pueden existir afectaciones considerables en las estructuras, lo que vulneraría a la población que adquiere vivienda que se componente de este tipo de elementos estructurales.

Sin embargo, en el Reglamento Colombiano Construcción Sismo Resistente, no especifica los lineamientos para el uso de muros en concreto reforzado delgado, existen investigaciones acerca del uso de este tipo de muros, el más reconocido es el realizado por Colombian Earthquake Engineering Research Network por sus siglas CEER donde se realizó el artículo Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado, donde se detalla el estudio de su título, el cual se considera se puede tomar como base para el análisis estructural y modelación de muros en concreto que son delgados.

Por lo anterior, se realizará el análisis de una estructura tipo residencial con base en la NSR 10 y tendrá en cuenta el artículo publicado Colombian Earthquake Engineering Research Network donde se habla de los muros en mención, esto con el fin de evaluar el comportamiento sísmico de una estructura modelada con el software con el Software RCB.

Planteamiento del Problema

En Colombia se ha evidenciado que el uso de sistemas industrializados ha sido cada vez más utilizado entre las grandes constructoras del país, la eficiencia a la hora de construir, permite que obtengan rendimientos optimizados, generando ahorros en tiempo y dinero, a día de hoy las empresas apuestan por este método de construcción, el proceso se encuentra permitido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el cual contempla un sistema estructural de muros en concreto reforzado, sin embargo, para el comportamiento en muros delgados y esbeltos está aún por ser comprobado su comportamiento, ya que, por su longitud, altura, espesor y materiales a usar en los sistemas industrializados, el cual consiste típicamente en mallas electrosoldadas que son alambres delgados de acero formado en frío, no se contempla un confinamiento adecuado en los bordes, y esto hace que estas estructuras sean poco Dúctiles.

De acuerdo a lo anterior, es necesario dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el comportamiento estructural óptimo para una edificación residencial ubicada en la ciudad de Bogotá, compuesta de muros de espesores menores a 15 cm en función de la cantidad de pisos, tomando como base los lineamientos de la NSR-10 y el estudio realizado por la Red Colombiana de Investigación CEER?

Justificación

En Colombia uno de los sistemas más usados para construir edificaciones, es sistema industrializado de muros reforzados en concreto, los cuales principalmente van dirigidos a viviendas de interés social que son en su mayoría estratos bajos y medios, los sistema de muros en concreto reforzado están incluidos en el Reglamento Colombiano Construcción Sismo Resistente NSR-10, sin embargo, no es clara a aplicabilidad de la norma para muros que van desde los 8cm a los 15 cm como máximo y los cuales tienen una relación de esbeltez alta. (Rodríguez J. L., 2021)

El sistema industrializado de muros en concreto reforzado delgados no son comunes en países fuera de Latinoamérica, es importante promover parámetros y lineamientos de diseños para este tipo de muros y construcciones, se considera procedente realizar estudios como los realizados por el COLOMBIAN EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH NETWORK - CEER, esta Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica realizó ensayos en este tipo de muros realizando conclusiones sobre el diseño de estos muros, y presentó recomendaciones para que sirvan como aporte para próximas versiones de la NSR-10.

Con el fin de mitigar las malas prácticas relacionadas al diseño y construcción de los muros delgados en concreto reforzado, estas recomendaciones dieron origen al presente proyecto, donde teniendo en cuenta los parámetros del artículo Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado artículo publicado por el CEER (2018), tomaron parámetros del estudio para el análisis estructural y determinar la altura máxima en pisos de un edificio en la ciudad de Bogotá con un suelo con condiciones de suelo de perfil tipo D clasificación que se encuentra en la NSR-10.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el comportamiento estructural de una edificación residencial en Bogotá usando muros delgados en concreto reforzado sin elementos de borde en función de la cantidad de pisos, a partir de la NSR-10 y la Red Colombiana de Investigación CEER.

Objetivos Específicos

- Desarrollar la modelación estructural de la edificación en función del número de pisos identificando las mejoras o resistencias que requiere el sistema en el software RCB.
- Comparar las cuantías de los modelos estructurales para cada uno de los pisos.
- Realizar los diseños preliminares de las estructuras empleando los coeficientes de disipación de energía R y de sobre resistencia Ω_0 , propuestos por el estudio del CEER para muros delgados.
- Verificar que las derivas e irregularidades de la estructura cumplan con la normatividad vigente.

Antecedentes

En el año 2010 se registró en Chile un terremoto, el cual alcanzó una magnitud de 8.8 Magnitud de Momento (Mw), donde se evidenció que, los muros delgados que son sometidos a deformaciones de alta compresión en sus extremos no se comportan de manera dúctil generalmente, por lo que este tipo de muros son vulnerables a falla frágiles; por lo cual, el CEER (2018) propuso en su artículo Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado ajustes a los Títulos A y C de la Norma NSR-10, con base en los estudios y/o ensayos que se realizaron en el desarrollo del artículo mencionado.

En Colombia, se han realizado avances en la construcción de edificios y sus métodos, adaptándose a los tiempos y necesidades requeridos por el mercado, de acuerdo con el último censo realizado en el año 2018 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE D. A., 2018) reflejó un crecimiento en la población del país con un total 48.258.494 colombianos. Por lo que, la construcción de viviendas ha sido una constante para el país, la Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL, 2022) reportó que, para octubre del año 2022, las viviendas nuevas vendidas fueron alrededor de 246.831, incluyendo viviendas de tipo social, muchas de estas viviendas están constituidas como edificios de tipo residencial.

El crecimiento poblacional que ha tenido Colombia a través de los años ha hecho que la infraestructura en el país se actualice y adapte a lo requerido por la población, actualmente las constructoras del país construyen conjuntos residenciales, que pueden ir desde los 5 pisos hasta los 20 pisos, por lo general estas edificaciones se realizan en breves periodos de tiempo.

De acuerdo con la información proporcionada por la NSR-10 (2010), en Colombia se presentan zonas de amenaza sísmica intermedia o alta para ciudades como Bogotá o Medellín tal como se identifica en la **Figura 1** (NSR-10, 2010, p. A-17), existen edificios construidos con muros en concreto delgado, los cuales pueden ser vulnerables a daños considerables en caso de eventos sísmicos.

Figura 1

Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño

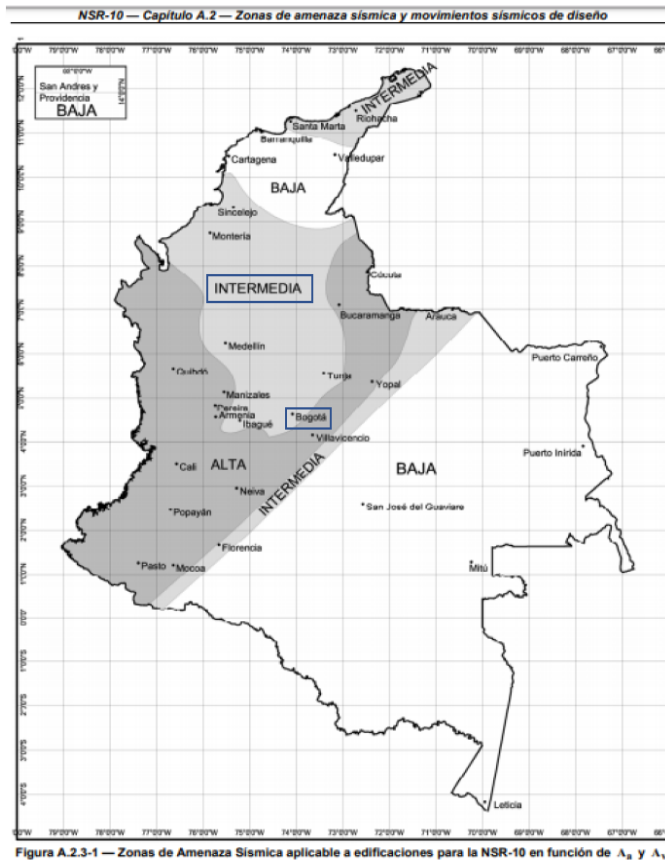


Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_a y A_v

Nota. En la figura se identifican las zonas de amenaza sísmica. Tomado de “Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_a y A_v ”. NSR-10(2010). (<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>)

Sin embargo, la normatividad vigente para Colombia, no es clara en los parámetros para muros de espesores menores a 15 centímetros, por lo que existe cierto grado de vulnerabilidad sobre estos muros. Tal como se indica en el estudio realizado por el (CEER, 2018) “Estos resultados confirman que los sistemas de muros delgados en concreto reforzado no son adecuados para edificaciones altas, y que los requisitos actuales de diseño presentes en el reglamento no son suficientes para garantizar el buen comportamiento de la estructura” (p. 94).

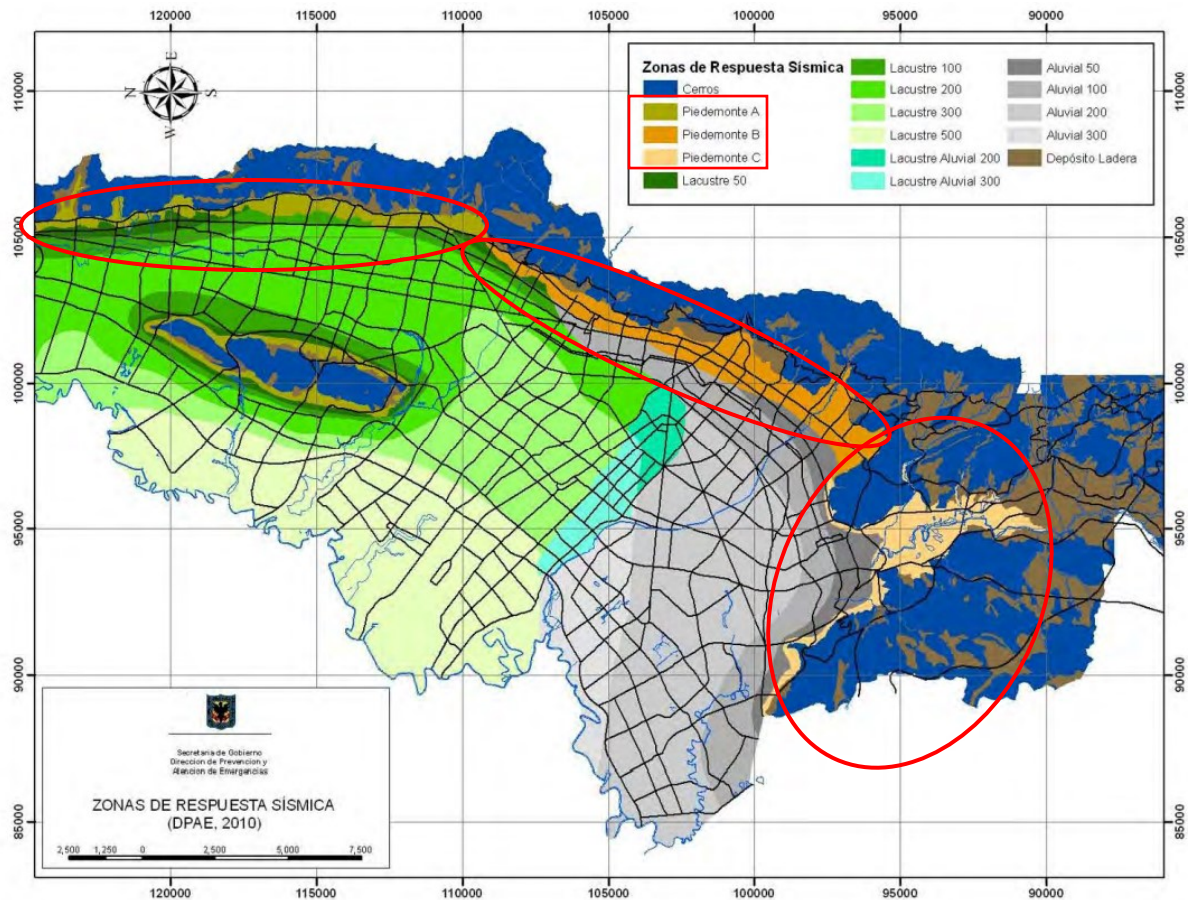
Alcance

La presente monografía presenta las siguientes consideraciones de diseño:

Realizar el análisis estructural de muros delgados en concreto reforzado con espesores entre 8 a 15 centímetros, teniendo en cuenta el Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado autoría de la Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica (CEER, 2018). En el documento se presenta el comportamiento de una estructura tipo, el cual, por medio del software Eng Solutions RCB se crearon 5 modelos estructurales a los que se le variaron el número de pisos que van desde 3 pisos hasta 15 pisos, para comparar el comportamiento de las estructuras con diferentes espesores de muros y con mayor cantidad de niveles donde, con base en los resultados obtenidos se estimará la eficiencia con la cantidad de pisos ideal para que la estructura funcione de manera óptima.

En el presente análisis se tendrá en cuenta el suelo de perfil tipo D, el cual se encuentra en el Capítulo A.2 en su numeral A.2.4.4 de la Norma Sismo Resistente (NSR-10, 2010), también en el DECRETO N° 523 DE 2010, se indica que las zonas de Piedemontes (A, B,C) corresponden a perfil Tipo D, este tipo de suelo abarca una gran extensión de zonas poblacionales acomodadas, como vulnerables tal como se puede evidenciar en la **Figura 2** (Hábitat, 2010)

Figura 2

Zonas de amenaza sísmica para la Ciudad de Bogotá

Nota. En la figura se identifican las zonas de amenaza sísmica para Bogotá. Tomado de “Figura 7.1. Mapa de zonificación de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá”. (FOPAE, 2010). ([https://www.idiger.gov.co/documents/20182/112614/Zonificacion_Respuesta_Sismica-FOPAE 2010.pdf](https://www.idiger.gov.co/documents/20182/112614/Zonificacion_Respuesta_Sismica-FOPAE%202010.pdf))

Teniendo en cuenta la extensión de zonas de Piedemontes (A, B,C) o suelo de perfil Tipo D, y que pueden ser suelos con problemas de inestabilidad, se adoptó lo dispuesto para este tipo de suelo en la NSR-10 (FOPAE, 2010).

De igual manera, el reglamento de diseño sismo resistente NSR-10 da tres categorías de disipación de energía el cual por el uso y localización del presente proyecto es Moderada (DMO), también, suministra parámetros de diseño en muros en el capítulo C.21.4, en su numeral C.21.4.4 donde

especifica que se debe cumplir los requisitos de C.21.9 para muros estructurales especiales (DES), esta sección detalla el refuerzo de los muros, y de haber la necesidad de usar elementos de borde en los límites verticales de muros se deben satisfacer unos requisitos descritos en su numeral C.21.9.6.1, los cuales no se tendrá en cuenta los elementos de borde, ya que por los espesores de muros trabajados no hay un espacio de desarrollo acorde para confinar los muros en los extremos y no se cumpliría con los recubrimientos mínimos y el núcleo de confinamiento exigidos en la norma.

Marco Teórico

Marco Conceptual

La ciudad de Bogotá, capital de Colombia, donde se ha evidenciado que su población ya supera los 8 millones de habitantes (DANE, 2022), ha tenido la necesidad de crear nuevos espacios habitacionales, además del avance de ingeniería, donde se observaban construcciones de 1 y 2 pisos en los barrios tradicionales de la capital, han sido reemplazados por edificios de tipo residencial. Actualmente Bogotá como parte de su desarrollo y como parte de los cambios realizados en los Planes de Ordenamiento Territorial y sus Unidades de Planeamiento Zonal , donde se permite construir edificios residenciales con más de 18 pisos (dependiendo el área y si se cumple con la norma urbana que rige en Bogotá), es por ello que se ha vuelto un atractivo por la población adquirir viviendas de interés social (VIS), lo cual demuestra que es una industria en crecimiento, y en la que se deben implementar métodos constructivos eficientes, seguros e innovadores. (MINVIVIENDA, 2021).

Para la construcción de edificaciones que sean para viviendas de interés social (VIS), se deben contemplar los espacios para que el movimiento humano no se vea limitado por la falta de planeación arquitectónica dentro de los hogares, por lo anterior es imperativo que los espacios construidos tengan la armónica suficiente para que le sea agradable al usuario final que habitará el sitio, un ejemplo es el apartamento modelo presentado en la **Figura 3**, donde se evidencia que con 42 m² se pueden crear espacios agradables para el usuario que habitará este espacio de vivienda.

Figura 3

Vivienda construida con muros en concreto reforzado



Nota. Tomado de “Un increíble apartamento en Ibagué de 42 metros cuadrados”. AXIS (2020).
<https://www.revistaaxis.com.co/arquitectura/arquitectura-dinamica-soluciones-para-espacios-pequenos/>

Las principales constructoras del país han buscado optimizar sus procesos constructivos para crear los espacios habitacionales demandados por la población, dentro de los procesos constructivos se encuentra el sistema de muros industrializados, donde por medio de formaletas metálicas moduladas, las cuales se pueden rotar diariamente optimizando el proceso constructivo, generando menores costos de obras y aumentando los rendimientos en obra, en la **Figura 4** se evidencian los sistemas de construcción y características (CEMEX, 2022; Miranda, 2005).

Figura 4

Tipos de Sistemas de Construcción y Características

Sistema de Construcción				
Producción	Trabajadores	Herramientas	Operaciones	Características
Artisanal	Muy calificados y polivalentes	Simples	Manuales	Operaciones completamente realizadas por personas.
Mecanizada	Especializados	Mecanizadas	Semi automáticas	Personas y máquinas se distribuyen las operaciones.
Industrial	Poco calificados	Automatizadas	Automáticas	Las personas se limitan a la guía y control de las operaciones realizadas por máquinas.

Nota. En la figura se evidencia los sistemas constructivos y sus características Tomado de “Los sistemas constructivos”. (Dataconstrucción) (<https://www.dataconstruccion.com/blog/que-es-exactamente-un-sistema-de-construccion>)

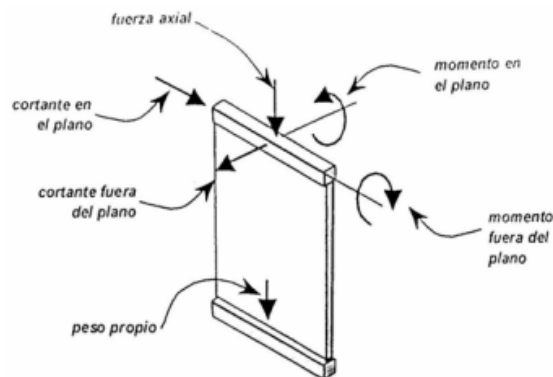
Sin embargo, en el Estudio de Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado de desarrollado por el CEER (2018), explicó los primeros estudios acerca de muros delgados para Colombia, donde se realizaron ensayos de laboratorio para determinar y caracterizar este tipo de muros.

Características de los muros en concreto reforzado

Los muros de concreto reforzados, también conocidos como muros estructurales debido a su uso, son muros de cortante que son capaces de soportar cargas laterales, estos muros están sujetos a fuerzas axiales, momentos de flexión y fuerza cortante (Miranda, 2005), como se evidencia en la **Figura 5**. Estos muros son capaces de soportar cargas laterales y verticales, en el caso de los muros delgados, su espesor varía entre los 8 cm a 15 cm, esto de acuerdo a la cantidad de pisos que se requieran en el edificio y su altura (Rodríguez J. L., 2021).

Figura 5

Acciones externas de un muro



Nota. "Aplicaciones para análisis y diseño de elementos de concreto reforzado" (Miranda, 2005).

Fuente: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/268/ProyectoCompleto.pdf;sequence=1>.

Para los muros de concreto reforzado delgados en Colombia, los parámetros de diseño se rigen bajo la NSR-10, la cual está basada en la normativa del ACI-318-08 (ACI-Committee-318, 2008), norma americana que fue adaptada para Colombia, sin embargo, dadas las condiciones geomorfológicas que se

presentan, no se hace completamente adaptable a los requerimientos para la construcción del componente estructural en el país, en el Título A y su Título C de la NSR-10, no se evidencian los lineamientos para el diseño y construcción de muros en concreto reforzado que sean de espesores menores a 15 cm.

Ventajas y Desventajas de los Muros en Concreto Reforzado

Las grandes ventajas de los muros en concreto reforzado son en el ámbito constructivo, al ser un sistema industrializado de construcción la rapidez como se realizan estos muros es eficaz lo que genera grandes rendimientos en obra con menor personal respecto a la mampostería convencional. Este tipo de estructuras presentan una gran resistencia los sismos, y ha esfuerzos de compresión, flexión, corte, y tracción, arquitectónicamente es muy versátil ya que se puede acomodar a figuras solicitadas, se requiere de muy poco mantenimiento (Palacios Delgado & Jimenez Ortega, 2021).

Dentro de las desventajas asociadas a este tipo de muros es que al ser usados para edificios altos tiene que soportar grandes pesos y volúmenes, también se debe decir que el valor del concreto y acero hace que los costos en obra se incrementen, los elementos tienden a ser demasiado rígidos.

Comportamiento de los muros delgados en concreto reforzado

Una de las principales razones para que el CEER (2018) desarrollara el estudio sobre el comportamiento sísmico de muros de concreto reforzado delgados, fueron los hallazgos realizados en el terremoto de Chile ocurrido el 27 de febrero de 2010, el cual alcanzó una magnitud de 8.8 Magnitud de Momento (M_w), su epicentro fue en el mar de Chile, el cual inició a 31 km de profundidad, su duración fue aproximadamente de 4 o 5 minutos, cerca de 500 mil viviendas sufrieron daños severos en su estructura (MINEDUC, 2010).

Se evidenció en este evento sísmico que los muros delgados sometidos a deformaciones, no necesariamente se comportan de manera dúctil si su geometría y su detallado antisísmico es pobre (CEER, 2018).

Figura 6

Daños en los extremos de muros en el terremoto de Chile 2010.



Nota. Las figuras muestran los daños en los extremos de los muros. Tomado de: Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado Adoptado de: Arteta y Moehle, (2015). CEER (2018).

Grado de Disipación de Energía para el Proyecto

Dentro de la NSR-10 se encuentran tres categorías de disipación de energía, las cuales son de capacidad mínima (DMI), capacidad moderada (DMO), y capacidad especial (DES), estas categorías dependen del nivel de amenaza sísmica de la zona de estudio o donde se proyectará construir la estructura, para muros en concreto reforzado, se deben tener en cuenta los valores del coeficiente de disipación de energía R_0 . El grado de disipación implica que, al ser un número elevado implicará mayores condiciones de cantidad de refuerzo para que la estructura pueda soportar los sismos de diseño. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Marco Normativo

Las especificaciones y parámetros de diseño para los muros de concreto reforzado, se encuentran en las siguientes normas:

NSR – 10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente:

Título A

En el título A se contempla los requisitos generales para el diseño sismo resistente de edificaciones en Colombia, en la Tabla A.1.3 -1 Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes (NSR-10, 2010) se evidencia el procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes. Dentro del procedimiento se debe tener en cuenta los coeficientes de disipación de energía R , así como el coeficiente de sobrerresistencia Ω_0 , estos coeficientes se determinan de acuerdo al tipo de estructura, zona de amenaza sísmica, y a los grados de disipación de energía (CEER, 2018). En la **Tabla 1** se evidencia los coeficientes que se pueden encontrar en la norma NSR-10:

Tabla 1

Valores de R_0 y Ω_0 para el sistema de muros de carga.

Muros de Concreto	R_0	Ω_0	Zona de Amenaza Sísmica		
			Alta	Intermedia	Baja
Capacidad especial de disipación de energía, DES	5	2.5	Permitido hasta 50 m de altura	Permitido sin límite de altura	Permitido sin límite de altura
Capacidad moderada de disipación de energía, DMO	4	2.5	No permitido	Permitido hasta 50 m de altura	Permitido sin límite de altura.
Capacidad mínima de disipación de energía, DMI	2.5	2.5	No permitido	No permitido	Permitido hasta 50 m de altura

Nota. En la presente tabla se visualizan los valores de los coeficientes de disipación de energía R_0 y Ω_0 Tomado de (CEER, 2018). Adaptado de: (NSR-10, 2010, p. A-52).

Título C – NSR -10

En el Título C de la NSR – 10 se define los parámetros o lineamientos para el diseño o construcción de concreto estructural, esto con el fin de resistir cargas combinadas gravitacionales y sísmicas.

Sin embargo, se debe considerar que el Título C de la NSR – 10, está basada en la ACI CODE 318-08, es decir que, aunque la ACI 318-08 es una normativa estadounidense, es una norma usada en el mundo para la construcción. Sin embargo, la ACI 318-08 se realiza con base en experiencia constructiva y datos experimentales, donde no aplicaría para Colombia dado el contexto técnico, normativo y constructivos que se aplica en el País.

Para el diseño de muros en concreto reforzado, se deben tener en cuenta los requisitos como las cuantías mínimas horizontales y verticales, espaciamiento máximo de refuerzo, y recubrimiento para los elementos de acero, en la **Tabla 2** se presentan los requisitos presentados en la NSR-10 (2010).

Tabla 2

Requisitos mínimos de reforzamiento y detallado de muros estructurales según NSR-10

Cuantía mínima de refuerzo vertical	$P_l \geq$	0.0012 si $db \leq 16$ mm (#5) o malla electrosoldada 0.0015 si $db > 16$ mm
Cuantía mínima de refuerzo horizontal	$P_t \geq$	0.0020 si $db \leq 16$ mm (#5) o malla electrosoldada 0.0025 si $db > 16$ mm
Espaciamiento vertical (s_x) y horizontal (s_y)	$(s_x \text{ o } s_y) \leq$	0.0020 si $db \leq 16$ mm (#5) o malla electrosoldada 0.0025 si $db > 16$ mm
Número mínimo de capas de refuerzo	Ncortinas	1 si $tw < 250$ mm 2 si $tw \geq 250$ mm 2 si $Vu > 0.17A_{cv}\lambda v f'c$

Nota. En la presente tabla se encuentran las cuantías, espaciamiento, y número mínimo de capas de refuerzo para el reforzamiento y detallado de muros estructurales *Tomado de* (CEER, 2018). Adaptado de: (NSR-10, 2010, p. C-137).

De igual manera, se deben tener en cuenta para los muros en concreto reforzado la capacidad de disipación de energía.

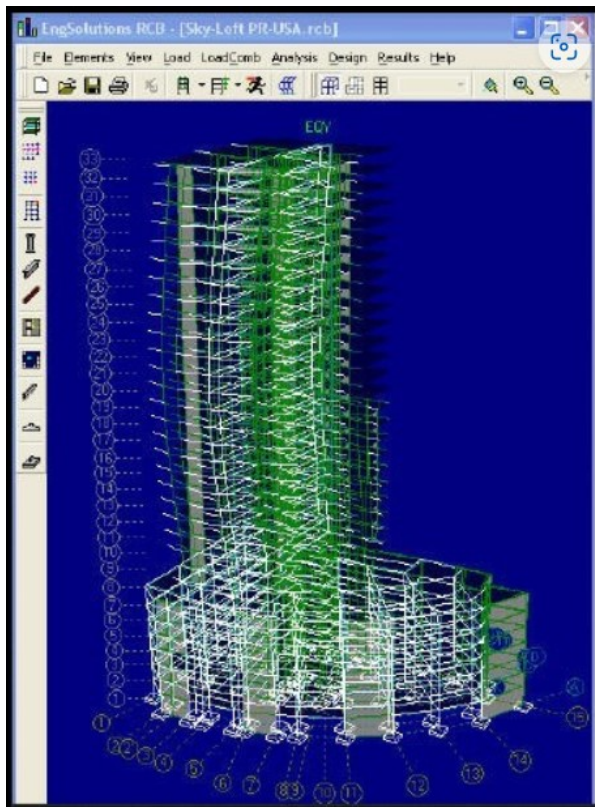
ACI CODE 318-08: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

La ACI 318-08 es la norma estadounidense que ha sido modificada y adaptada para Colombia dadas las condiciones que se presentan en el país. La NSR-10 en su Título A y su Título C, no se encuentra lineamientos para el diseño y construcción específicos para muros en concreto reforzado delgados.

Para lograr el objetivo y realizar el diseño estructural óptimo se tomó en cuenta el estudio realizado por el CEER (2018).

Software de Análisis Estructural - RCB

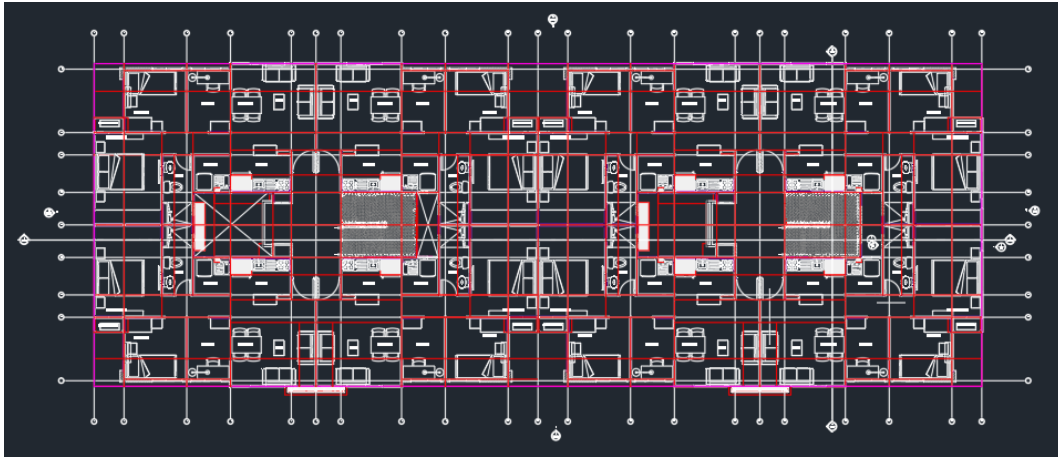
RCB EngSolutions es un software de ingeniería estructural para el análisis y diseño en 3D edificios en concreto reforzado es posible crear, analizar y diseñar, estructuras complejas, donde simula las disposiciones de carga de las fuerzas sísmicas y de viento, de acuerdo a la norma NSR-10.

Figura 7*Interfaz Software RCB*

Nota. En la imagen se visualiza un modelo estructural de 3D. Tomado de: EngSolutions RCB v9.1.1 (<https://www.engsolutionsrcb.com/products>)

Arquitectura de la Edificación

Para el presente estudio se tomó como base la arquitectura de un proyecto de vivienda de la Consultora ADN Ingeniería Estructural, se escogió por ya que es un proyecto de apartamentos donde se puede aplicar subsidio de vivienda, adicionalmente se tiene un escenario el cual aporta realidad al presente proyecto.

Figura 8*Arquitectura del Edificio Modelo*

Nota. Plano realizado con base en proyecto realizado por ADN Ingeniería Estructural, 2022.

Aspectos Metodológicos

Esta investigación surge de la necesidad de recopilar información existente para después hacer un análisis, que determine por medio de modelaciones el comportamiento de estructuras, dicho lo anterior, se debe tener un conocimiento previamente adquirido para llevar a cabo el presente estudio, lo cual quiere decir que este estudio es explicativo.

Este tipo de estudio o metodología se desarrolla trata de explicar como ocurre un evento, en qué condiciones se da, y dar las posibles causas. (Hernández, Fernández, Baptista, 1991)

Para realizar el análisis estructural se tomó como base, el diseño y distribución de un edificio el cual es el proyecto de vivienda de VIS, el cual se modeló y se le realizó el análisis de su estructura, cabe aclarar que se realizaron modelaciones cada cierta cantidad de pisos y con diferentes espesores de muros estructurales, con el fin de identificar los comportamientos de los muros, concluyendo que estructura tiene el comportamiento estructural óptimo en caso de eventos sísmicos.

A continuación, se presenta la descripción del presente proyecto, así como consideraciones a tener en cuenta como insumo para el análisis estructural.

Descripción del proyecto

A continuación, en la **Tabla 3** se describe el edificio objeto de estudio para este proyecto.

Tabla 3

Descripción del Proyecto

Tipo de uso	Residencial
No. de pisos	Determinado, por el análisis estructural
Altura libre	2.35 m

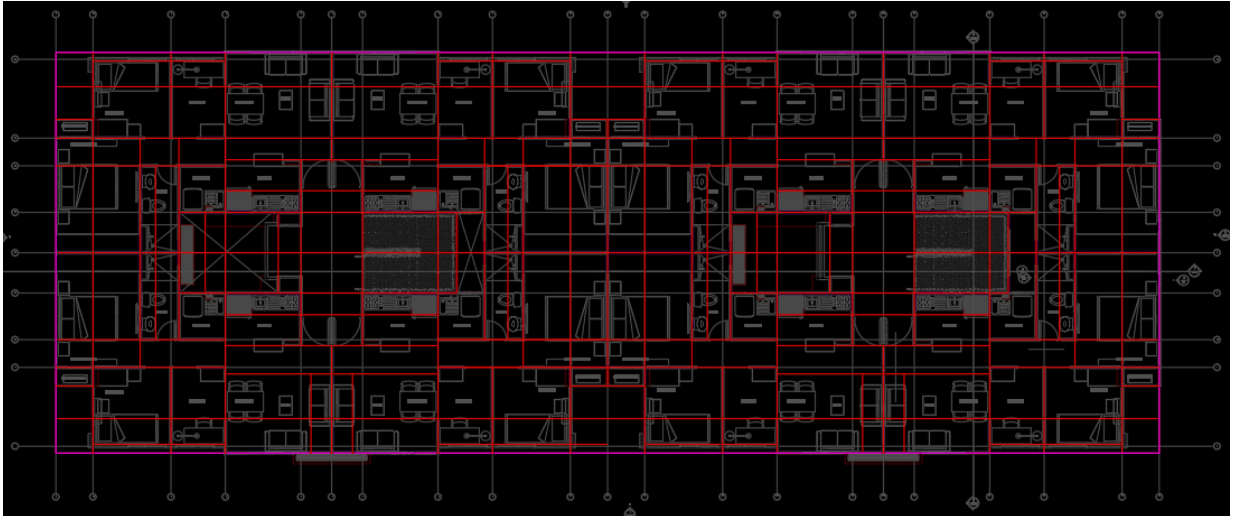
Nota. En la presente tabla se indica la descripción del proyecto. Elaboración propia, 2023.

Análisis Estructural del Proyecto Usando el Software EngSolutions RCB

Una vez obtenido el plano arquitectónico para el proyecto tal como se evidencia en la **Figura 9**, se debe realizar una grilla la cual pasará por el centro de todos los elementos estructurales, la grilla funcionó para tener un trazado de la estructura, para en el momento de modelar en el software RCB sea más sencillo conocer las longitudes de muros respetando los espacios proyectados por la arquitectura, la grilla se exportará el archivo en extensión. dwf, este formato es el que recibe el programa de diseño RCB como insumo para la modelación estructural. Cabe recordar que lo anterior se debe realizar con el programa AUTOCAD.

Figura 9

Elaboración grilla sobre plano arquitectónico - vista de planta

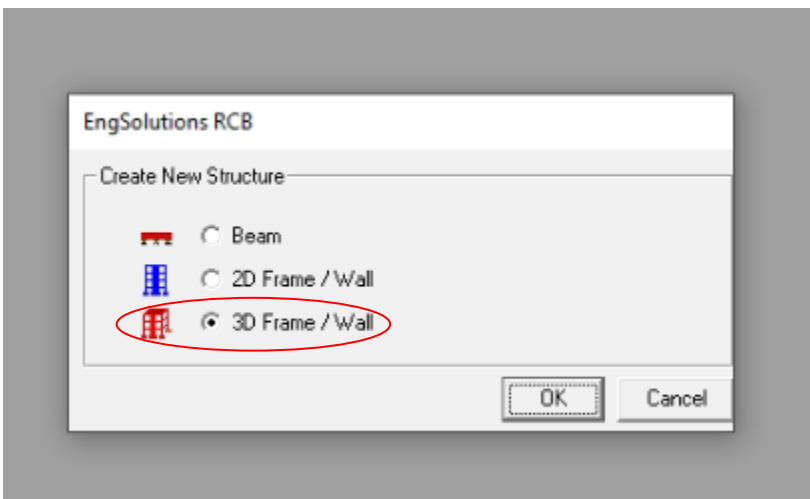


Nota. La figura muestra la elaboración de la grilla sobre el plano de planta como primer insumo para el modelo estructural. Elaboración propia usando AUTOCAD 2020.

Al iniciar el programa EngSolutions RCB la primera ventana que se visualizó es la opción de crear nueva estructura tal como se evidencia en la **Figura 10**.

Figura 10

Inicio de programa RCB

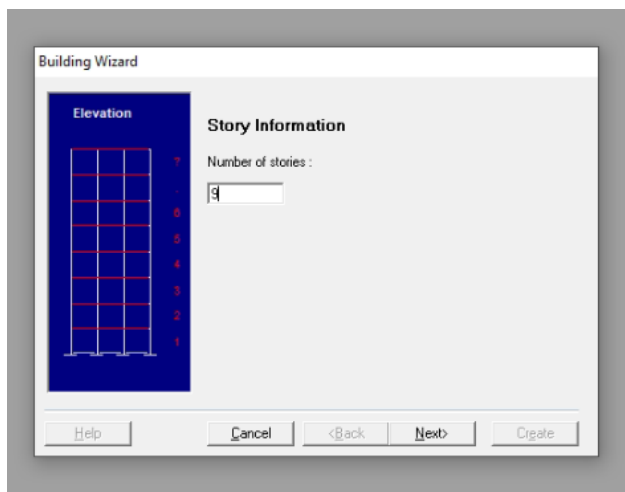


Nota. La figura muestra el inicio y primera ventana donde se elige la opción para modelado de la estructura. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Posteriormente en la **Figura 11** se indicó que se debe ingresar el número de pisos de la estructura a modelar.

Figura 11

Selección de pisos de la estructura

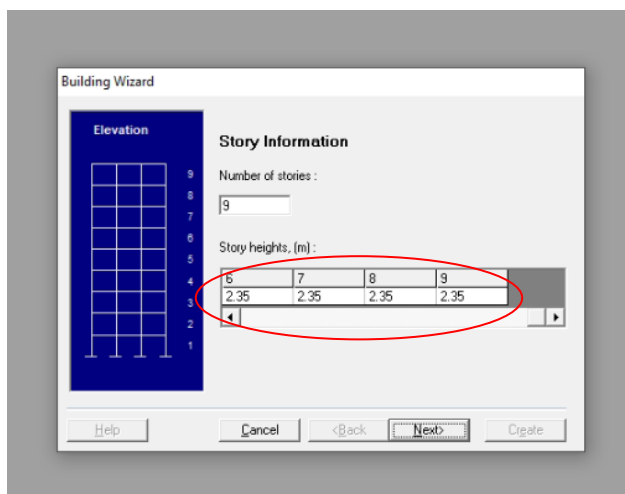


Nota. La figura muestra la ventana donde se elige la cantidad de pisos de la estructura. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

En cada casilla se debe indicar la altura entre cada piso de la estructura para el caso de la de la modelación realizada la altura fue de 2.35 m. Tal como señala en la **Figura 12**.

Figura 12

Altura entre pisos

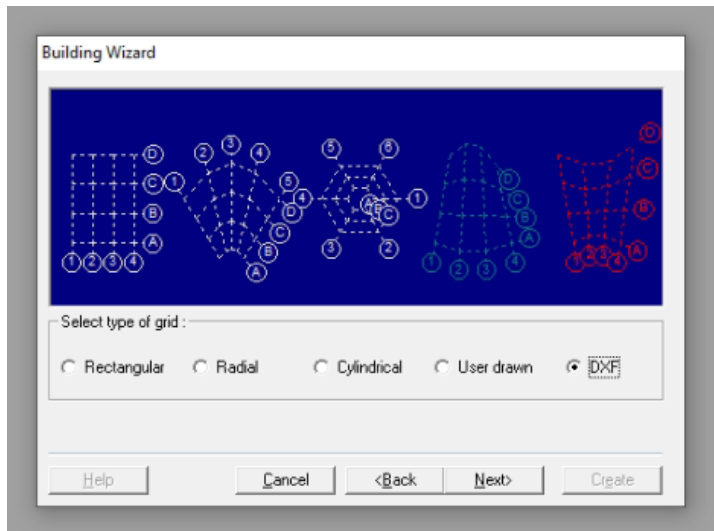


Nota. La figura muestra la ventana donde se ingresa la altura de los pisos de la estructura. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Una vez realizado el paso de la **Figura 12**, aparecen las opciones de los tipos de grillas que se pueden crear, como previamente se obtuvo el insumo de grilla para el modelo en el repositorio del proyecto, se seleccionó la opción *DXF*.

Figura 13

Selección tipo de grilla

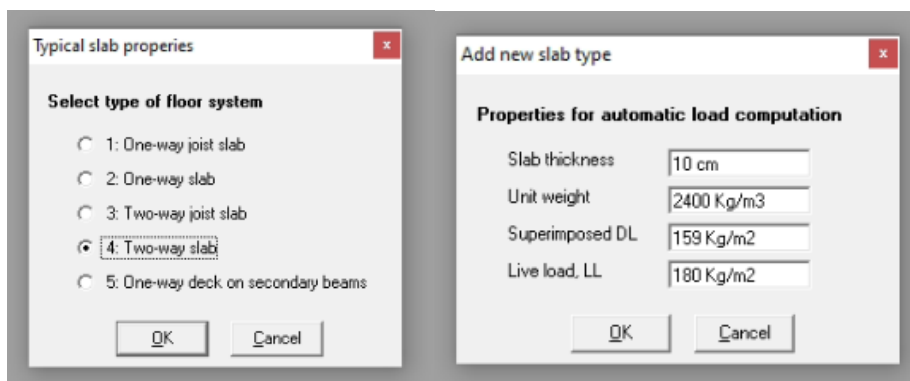


Nota. La figura muestra la ventana donde selecciona el tipo de grilla para el insumo. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Se evidenciará en pantalla la grilla que se seleccionó, se debe elegir el tipo de losa a usar y se indican los valores iniciales dependiendo del avalúo de cargas realizado.

Figura 14

Selección tipo de losa y diligenciamiento avalúo de cargas

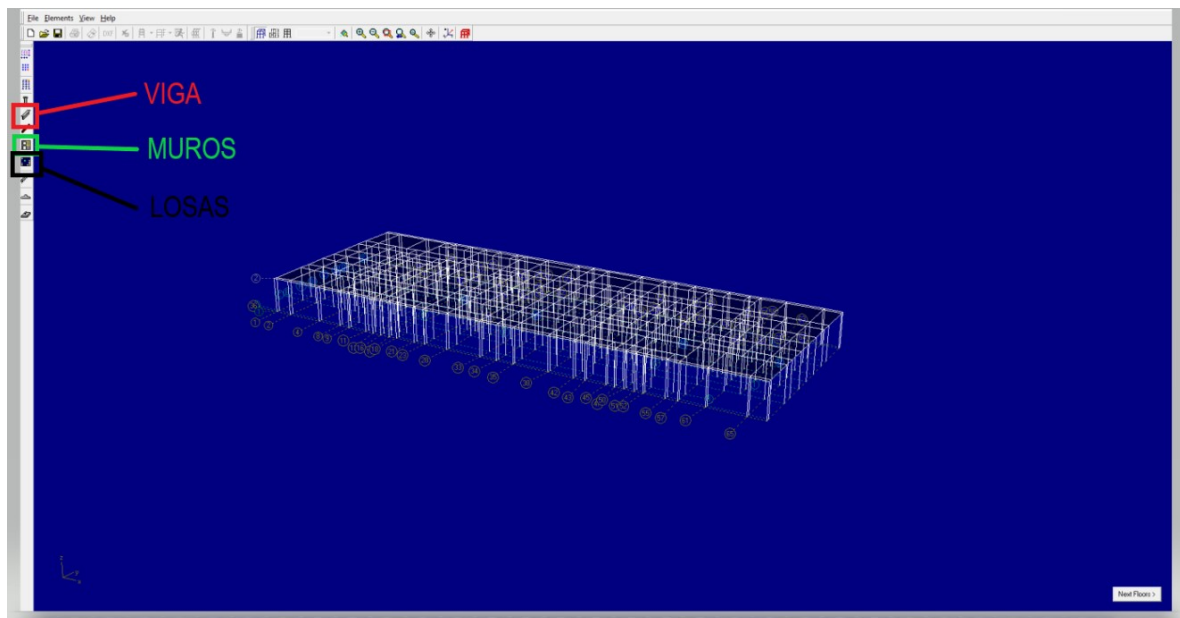


Nota. La figura muestra la ventana donde selecciona el tipo de losa e ingreso de datos de avalúo de cargas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

En la primera vista de la ventana, se evidenció la cinta de opciones con todas las herramientas que se pueden usar, y el modelo básico creado con la grilla que previamente se cargó, se procedió a eliminar todos los elementos que salen por defecto que no son necesarios para el proyecto, para así crear todos los elementos estructurales como muros, vigas y losas.

Figura 15

Primera vista espacio de trabajo y grilla

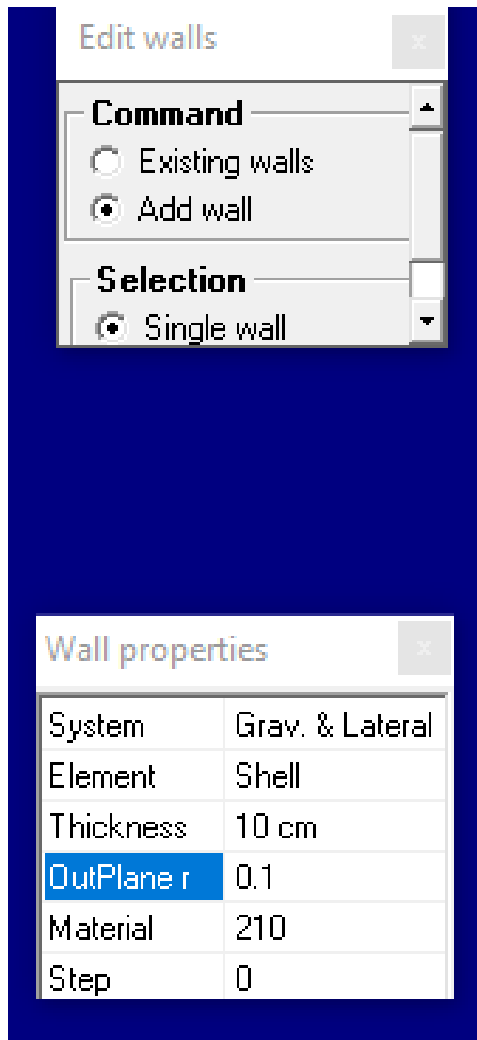


Nota. La figura muestra la ventana donde se visualiza la primera vista al modelo. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Se seleccionó la planta del piso 1, eligiendo la pestaña muro o viga, según lo que se requiera, apareció una pestaña llamada Edit Walls, se podrán seleccionar los muros existentes o añadir nuevos elementos estructurales, una vez se seleccionó la opción *Add Wall*, apareció una pestaña llamada *Wall Properties* en la cual se indicaron las características del muro, como el material, el espesor y el sistema en cómo trabajará el elemento.

Figura 16

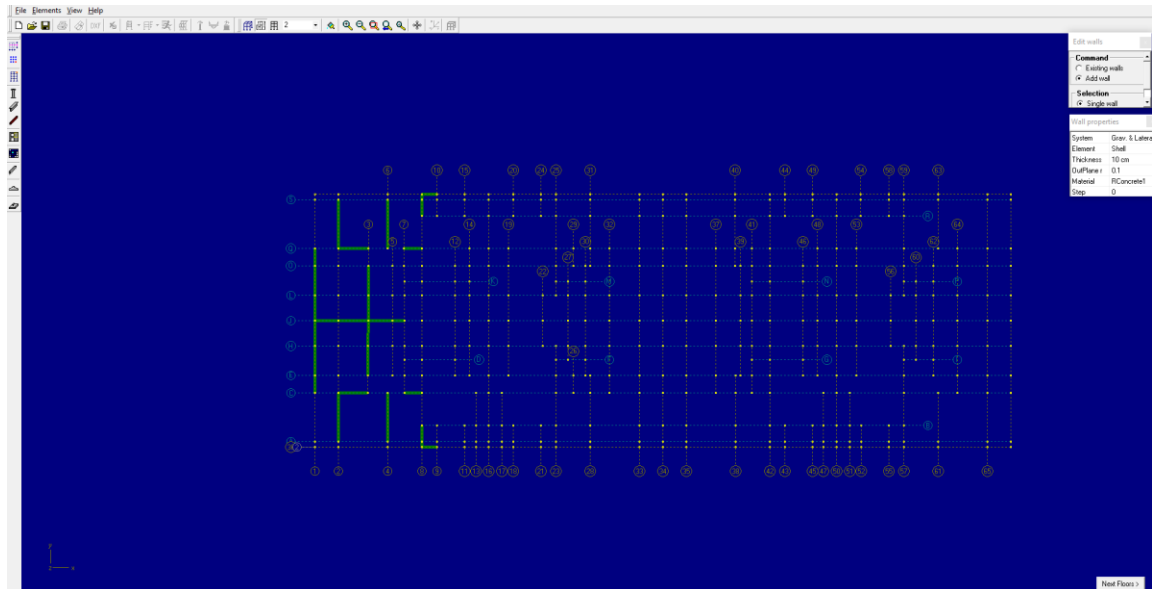
Edición de muros y propiedades de muros



Nota. La figura muestra las pestañas para la edición de muros y sus propiedades. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

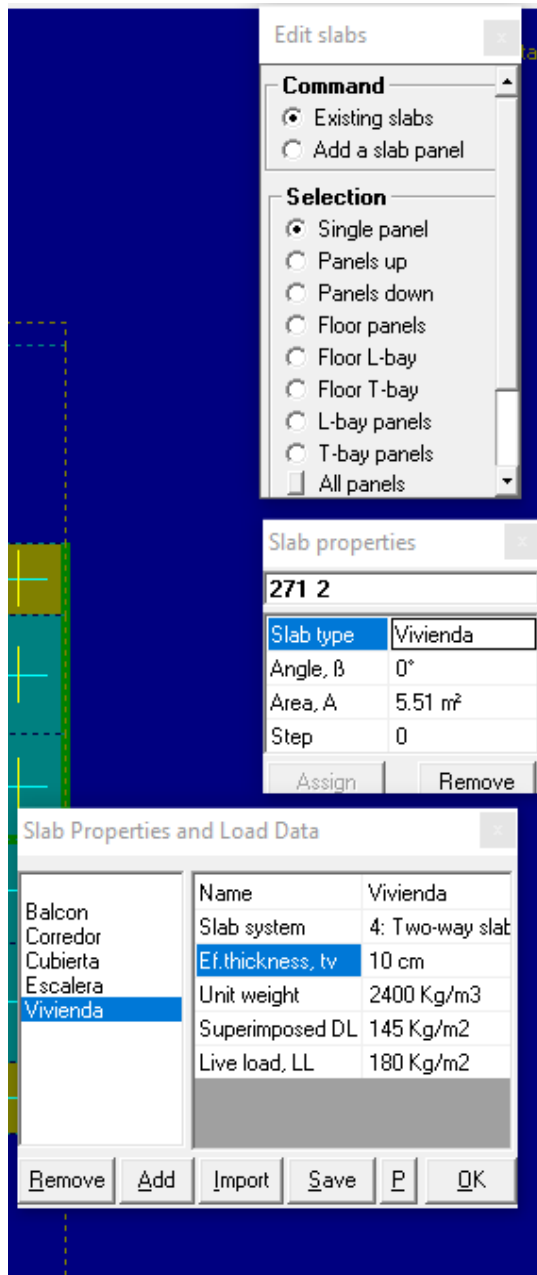
Con las propiedades ajustadas se procede a dibujar los muros y vigas como se muestra en la

Figura 17.

Figura 17*Dibujo de muros y vigas*

Nota. La figura muestra el escenario para dibujar muros y vigas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Se dibujan los muros según con base en el diseño arquitectónico, se continuó el mismo proceso con las vigas, donde sean requeridas, teniendo en cuenta las luces más grandes, la grilla se realizó de manera rectangular, para que el programa no tuviese problemas al adjuntar el archivo DWF, se eliminó el excedente de losas tomando en consideración el borde de placa de acuerdo con la planta arquitectónica, y se insertaron las cargas o tipos de losas que se usaron con los datos de los avalúos de carga, como se observa en la **Figura 18**.

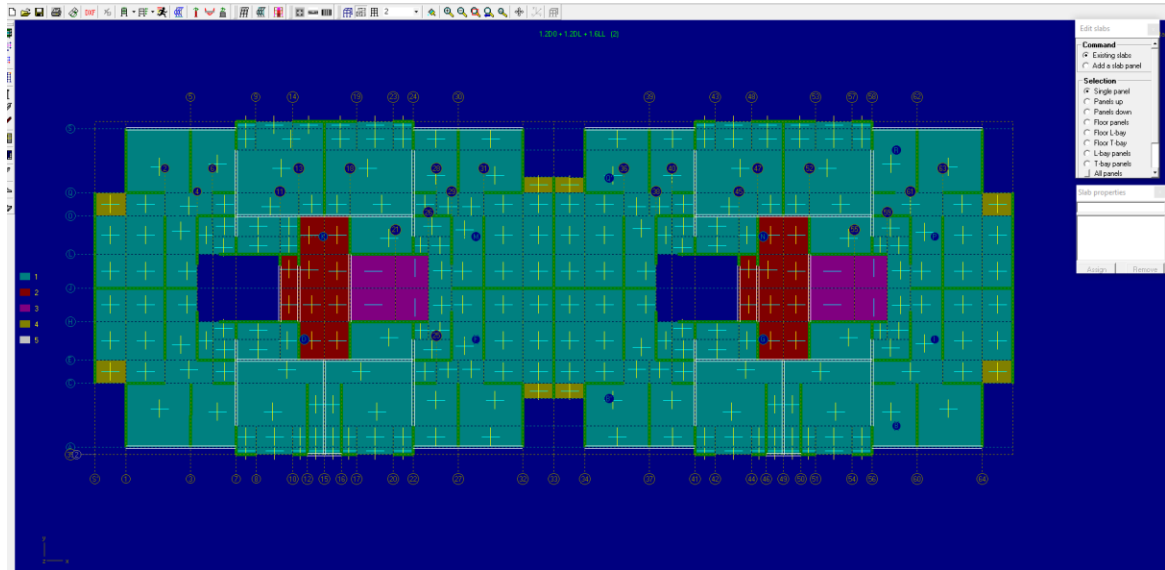
Figura 18*Edición de losas*

Nota. La figura muestra las pestañas para edición de las losas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Luego se seleccionó el tipo de losa, se le asigna en la planta los elementos estructurales que se requieran, por lo que, quedarán como se muestra en la **Figura 19**, cada color es asignado a cada tipo de losa a usar.

Figura 19

Edición de elementos estructurales



Nota. La figura muestra la planta para la edición de las losas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Luego en la parte inferior izquierda apareció una pestaña, la cual funciona para replicar lo hecho en la planta base a los demás pisos de nuestra estructura.

Figura 20

Botón replica de pisos



Nota. La figura muestra las pestañas para continuar con la edición de las losas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Al seleccionar la opción de la **Figura 20**, apareció una nueva ventana, que indica el piso a copiar y hasta qué nivel se requiere que se replique esta planta tipo, se da clic en ok.

Figura 21

Creación de nuevos pisos

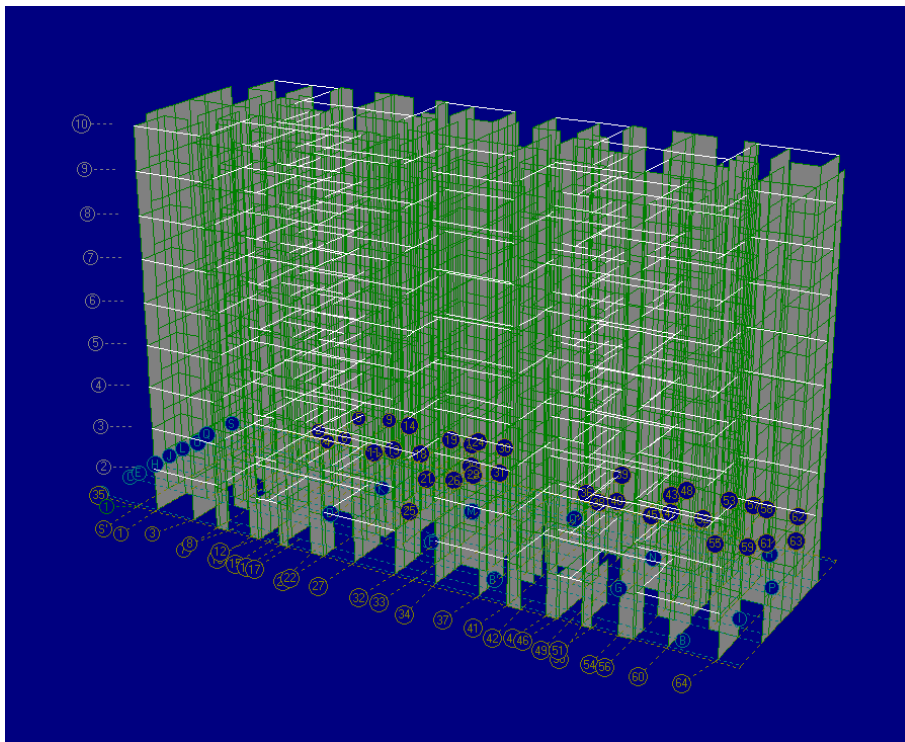


Nota. La figura muestra el número de pisos y hasta donde se deberá replicar el piso tipo. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Se generan todos los pisos con los mismos avalúos de carga que le asignaron al piso 2, sin embargo, se deben verificar los avalúos, o los bordes de placa piso a piso, según la configuración que tenemos en arquitectura.

Figura 22

Estructura completa

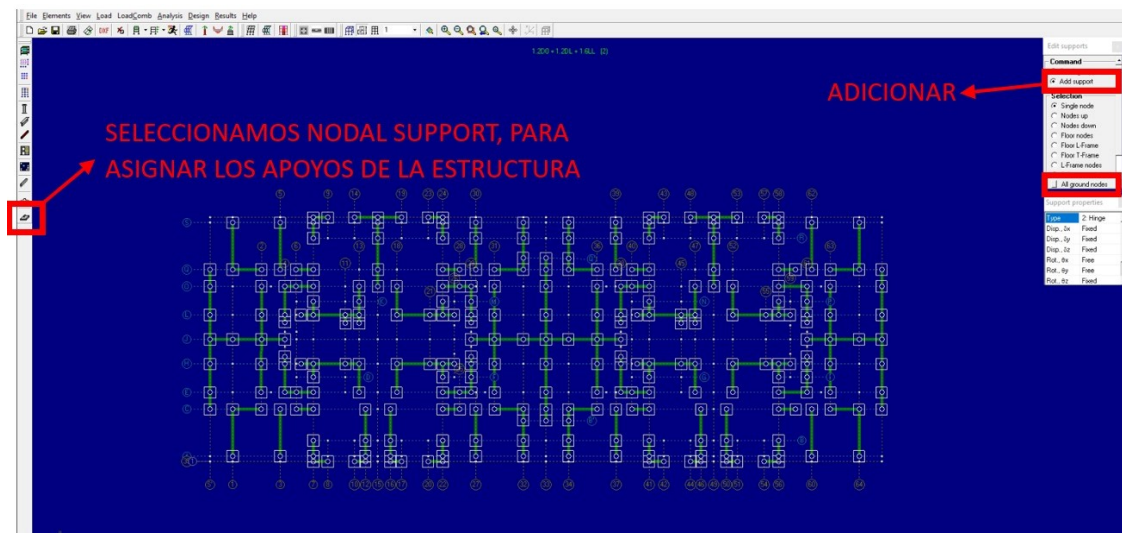


Nota. La figura muestra la estructura con los pisos completos. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

El siguiente paso se asignaron los apoyos que requirió la edificación, se realizó por medio de la opción *nodal support*, posteriormente en la pestaña que aparece en la parte derecha de la **Figura 23** se seleccionó *add support* para añadir los apoyos, para este tipo de análisis se tomó la opción simple (Hinge), esto ya que para sistemas de muros delgados el software RCB End Solutions cuenta con la posibilidad de emplear el parámetro out plane “r” el cual degrada la rigidez de los muros fuera del plano. Para los modelos realizados este parámetro ha sido reducido a 0.1 esta manera se garantiza que no se cuenta con la rigidez del muro fuera del plano, por último, se eligió en la pestaña *All ground nodes* para crear en todos los nodos un apoyo.

Figura 23

Creación de apoyos en modelo

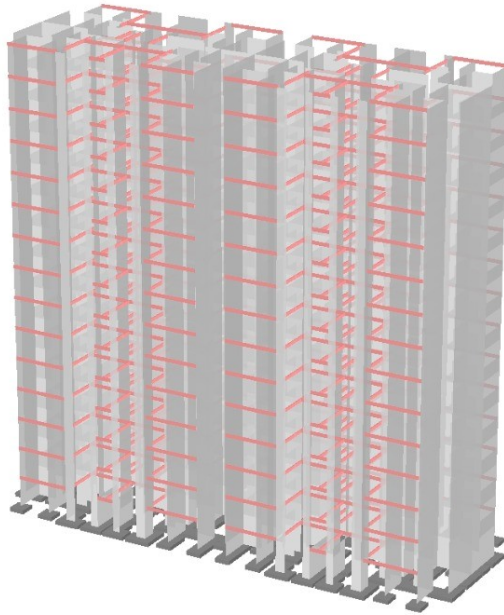


Nota. La figura muestra las opciones para creación de apoyos. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Con este paso se finalizó, la creación del modelo de la estructura.

Figura 24

Modelo estructural



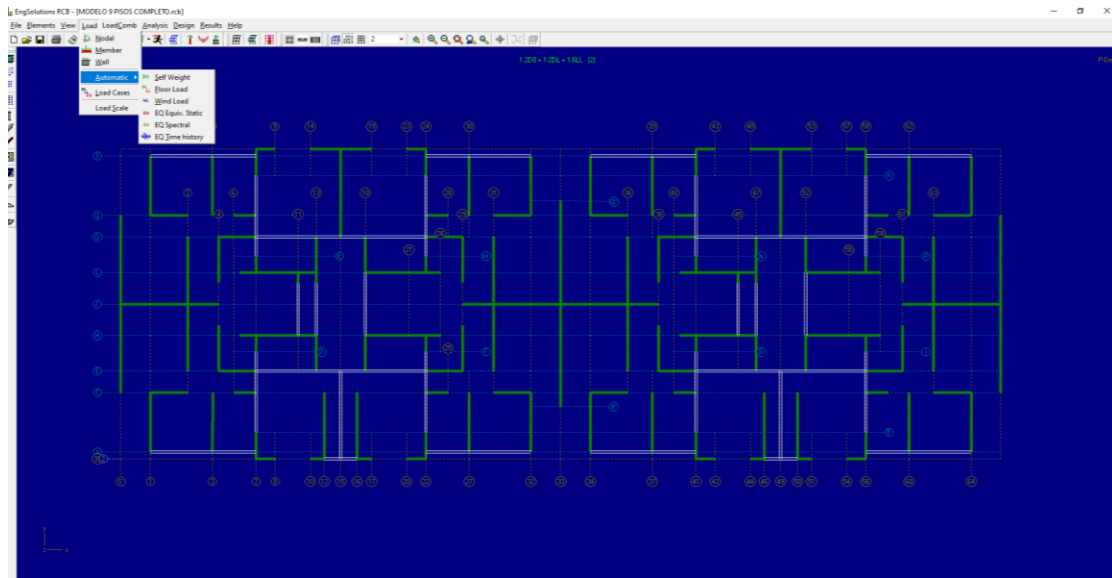
Nota. La figura muestra el modelo estructural completo. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Análisis De La Estructura

Como primer paso, se incluyeron las cargas muertas y vivas (en este orden), esto se hizo en la cinta de opciones *Load* como se evidencia en la **Figura 25**, el cual desplegó una bandeja y se debe ir a la opción *Automatic*, se seleccionó *Self Weigth* (carga muerta), y posteriormente *Floor Load* (carga viva).

Figura 25

Agregar cargas en la estructura



Nota. La figura muestra el modelo estructural completo donde se muestra la pestaña para agregar las cargas en la estructura. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Se debe desplegar la pestaña *Analysis* como se muestra en la **Figura 26** se debe seleccionar *Modes/Freq*, donde se abre una nueva pestaña llamada *Select Seismic Base Level* como se evidencia en la **Figura 27**, el programa indicó el nivel donde se tomará para hacer el análisis, al elegir el piso donde se realizó el análisis, se abrió una nueva ventana donde se visualizó la opción de *Modes and Frequency Analysis* como se evidencia en la **Figura 28**, se tuvo en cuenta que por cada piso que tenga la estructura se asignaron tres (3) modos por piso, para este ejemplo se usaron 27 modos y se debe seleccionar el botón *ok*.

Figura 26

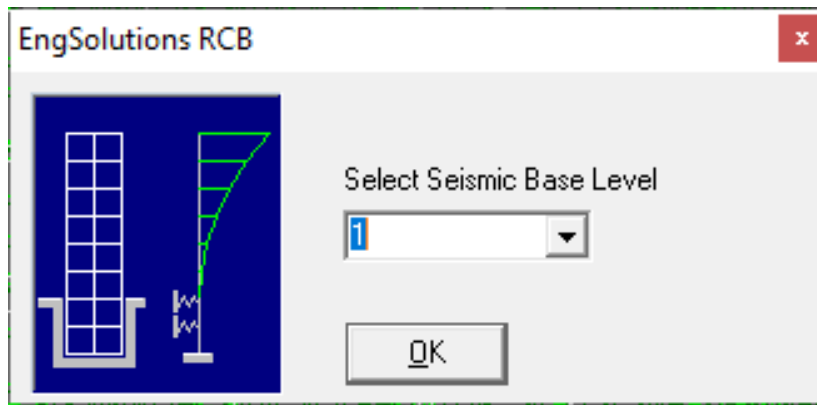
Cinta de opciones análisis



Nota. La figura muestra la cinta de opciones de análisis mencionada previamente. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Figura 27

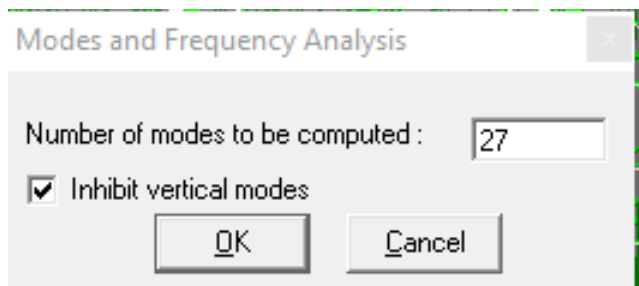
Selección de piso para el análisis



Nota. La figura muestra la selección del piso para análisis. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Figura 28

Selección de los modos



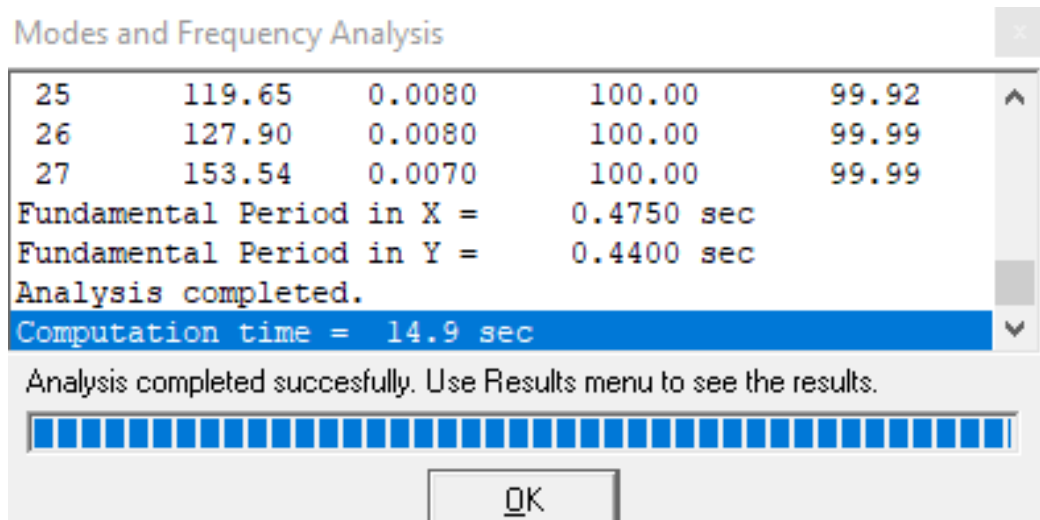
Nota. La figura muestra la selección de los modos. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Posteriormente, el programa realizó un análisis de periodos fundamentales, como se evidencia en la

Figura 29.

Figura 29

Análisis del programa una vez configuradas las opciones



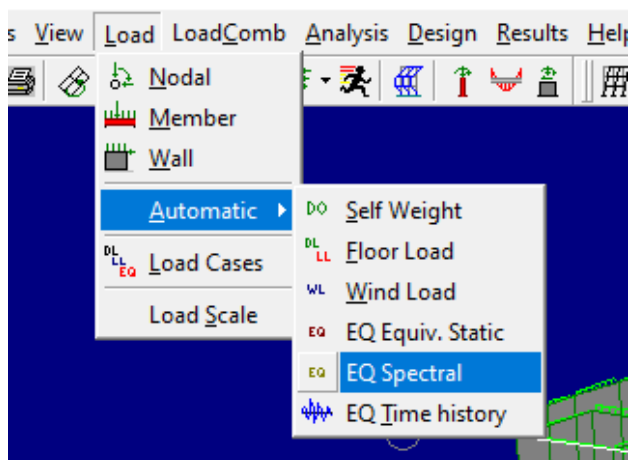
Nota. La figura muestra el proceso de análisis realizado por el software. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Asignación del espectro

Para asignar el espectro de diseño de la edificación, se seleccionó en la cinta de opciones el botón *Load*, donde se desplegó una bandeja, y se seleccionó la opción *Automatic*, elegimos *EQ Spectral*, en el cual salió una pestaña nueva para seleccionar la norma aplicable en el país.

Figura 30

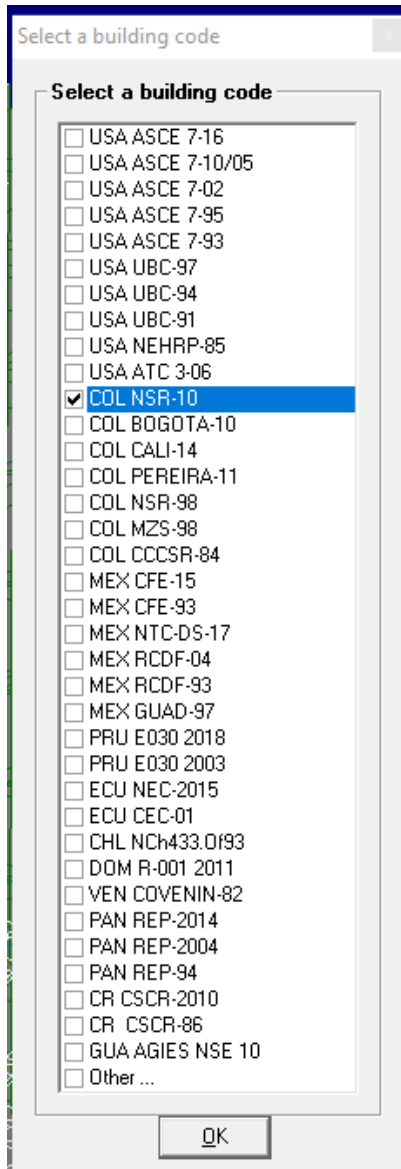
Análisis del programa una vez configuradas las opciones



Nota. La figura muestra el proceso de análisis realizado por el software. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Figura 31

Selección de normatividad aplicable al proyecto.



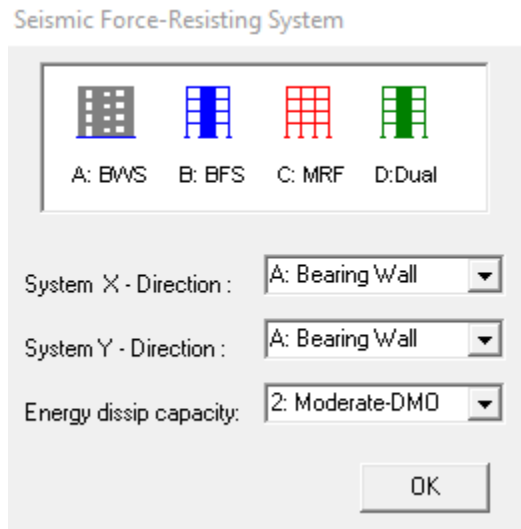
Nota. La figura muestra las normas que se pueden elegir para el análisis. Elaboración propia usando EngSolutions RCB,

2023.

Al seleccionar la normatividad, se indicó el sistema de la estructura y la capacidad de disipación de energía.

Figura 32

Selección de coeficiente de disipación de energía.



Nota. La figura muestra el coeficiente de disipación de energía a elegir para el análisis. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Se visualizó una nueva pestaña, en la cual se ingresaron los valores pertinentes al coeficiente de disipación de energía, para amenaza sísmica intermedia, en la tabla A.3-1 Sistema estructural de muros de carga (NSR-10, 2010), para muros en concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) aplica un $R_0 = 4$, sin embargo, para el presente análisis estructural se tuvo en cuenta los estudios del comportamiento sísmico de edificios de muros delgados de concreto reforzado propuestos por el CEER en la Tabla 23 del artículo (CEER, 2018, p. 95), la cual se evidencia en la **Tabla 4**, se propuso para un sistema de muros delgados un $R_0 = 3$, para lo cual el edificio no puede superar la altura de 20m; en la actualidad se construyen edificios con este sistema, pero por los espesores manejados estos muros, no cuentan con un espacio adecuado para crear un detalle o zonas de confinamiento a sus extremos. Por ende, estos muros de carga son de ductilidad limitada y con este criterio se asignó un valor de muros en concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) es decir un $R_0 = 2.5$, como se evidencia en la **Figura 33**.

Tabla 4

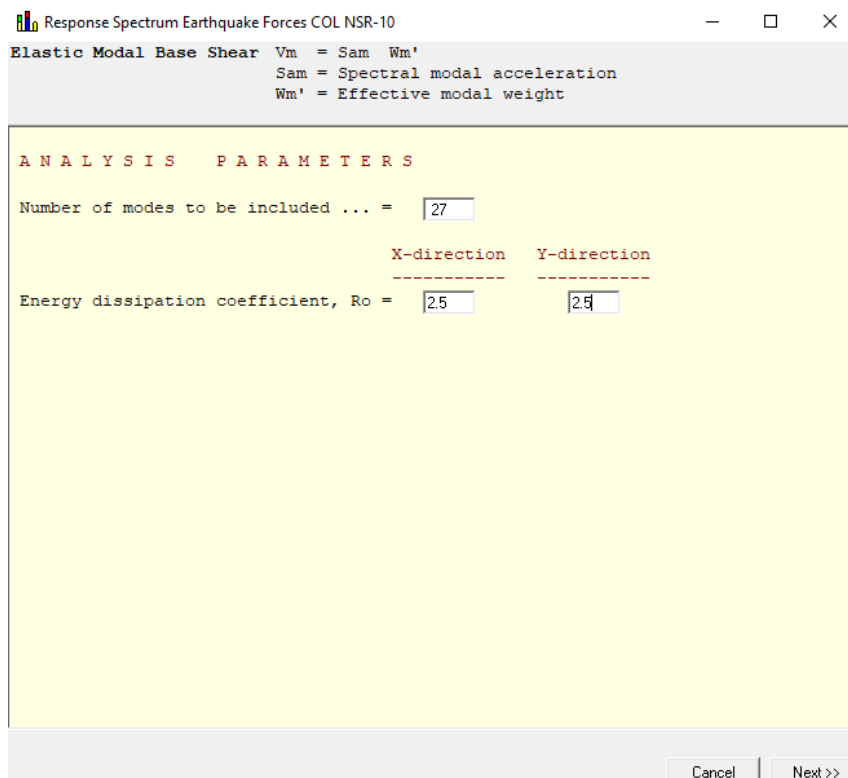
Cambio propuesto para la Tabla A.3-1. Sistema estructural de muros de carga de la NSR-10

A. SISTEMAS DE MUROS DE CARGA		Zona de Amenaza Sísmica							
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema de resistencia para cargas verticales	R_0	Ω_0	Alta		Intermedia		Baja	
				Uso permit.	Altura max.	Uso permit.	Altura max.	Uso permit.	Altura max.
2. Muros estructurales									
j. Sistema de muros delgados de concreto reforzado de ductilidad limitada.		3	2.5	si	12m	Si	20m	si	24m

Nota. En la tabla se visualiza los valores para los coeficientes de R_0 y Ω_0 . Tomado de (CEER, 2018)

Figura 33

Ingreso de coeficientes de disipación de energía.



Nota. La figura muestra la ventana para ingresar el coeficiente de disipación de energía. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

En la nueva pestaña se asignó las aceleraciones espectrales, el coeficiente de importancia dependiendo la ocupación de la estructura, y el tipo del suelo el cual es Tipo D para el presente estudio

ver **Figura 34**. Al continuar el software calculará los periodos, los espectros de aceleración y espectros de velocidad.

Figura 34

Ingreso de coeficientes para cálculo de espectro.

Response Spectrum Earthquake Forces COL NSR-10

Elastic Modal Base Shear $V_m = S_{am} W_m'$
 S_{am} = Spectral modal acceleration
 W_m' = Effective modal weight

S P E C T R A L M O D A L A C C E L E R A T I O N

$S_{am} = 2.5 A_a F_a I [0.4 + 0.6T/T_0]$ For $T_m \leq T_0$
 $S_{am} = 2.5 A_a F_a I$ For $T_0 < T_m \leq T_c$
 $S_{am} = 1.2 A_v F_v I/T_m$ For $T_c < T_m < T_l$
 $S_{am} = 1.2 A_v F_v T_l I/T_m^2$ For $T_m > T_l$

Eff. peak acceleration & veloc., $A_a =$ $A_v =$

Region:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Aa or Av	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

LOCATION	Aa	Av	Menace
Barranquilla, Cartagena, San Andres, Valledupar	0.10	0.10	Low
Bogota, Medellin	0.15	0.20	Interm
Armenia, Bucaramanga, Cali, Manizalez, Pereira	0.25	0.25	High
Cucuta, Villavicencio	0.35	0.30	High
Quibdo	0.35	0.35	High

Importance coefficient, I =

GROUP	COEFFICIENT
IV - Essential facilities	1.50
III- Public assistance facilities	1.25
II - Especial occupancy buildings	1.10
I - Normal occupancy buildings	1.00

Site profile type, S =

TYPE	SOIL PROFILE TYPE	Shear Wave Velocity
A	Hard Rock	> 1500 m/s
B	Rock	1500 - 760 m/s
C	Very Dense Soil & Soft Rock	760 - 360 m/s
D	Stiff Soil Profile	360 - 180 m/s
E	Soft Soil Profile	< 180 m/s
F	Soils requiring site-specific evaluations	

Cancel Next >>

Nota. La figura muestra la ventana para ingresar el coeficiente de para el espectro de diseño. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Como últimos datos insumo para el cargue de nuestro espectro de diseño, el software pregunta los valores de las irregularidades en planta y en altura de la estructura, el cual en este caso particular se concluye que no contiene ninguna de las irregularidades, según las descripciones que se pueden consultar en las tablas A.3-6 y A.3-7 de la NSR-10 (2010).

Una vez verificados los coeficientes de irregularidad se deben indicar en el programa RCB, tal como se muestra en la **Figura 35**.

Figura 35

Ingreso de coeficientes de irregularidad.

Response Spectrum Earthquake Forces COL NSR-10

Elastic Modal Base Shear $V_m = S_{am} W_m'$
 S_{am} = Spectral modal acceleration
 W_m' = Effective modal weight

Reduction in R for Irregularity and Lack of Redundancy:

PLAN IRREGULARITIES			ELEVATION IRREGULARITIES		
Type	Description	ϕ_p	Type	Description	ϕ_a
1aP	Torsional	0.9	1aA	Flexible	0.9
1bP	Torsional Extrme	0.8	1bA	Flexible Extrme	0.8
2P	Reentrant corners	0.9	2A	Mass	0.9
3P	Diaph. discontin.	0.9	3A	Geometrical	0.9
4P	Plane shifting	0.8	4A	Plane shifting	0.8
5P	Unparallel grid	0.9	5aA	Weak Story	0.9
			5bA	Weak Story Extr	0.8

NOTE: EngSolutions RCB assumes irregular but redundant building.
 For regular buildings make $(\phi_p \cdot \phi_a) = 1.0$

	X - DIRECTION	Y - DIRECTION
Reduct. factor, $(\phi_p \cdot \phi_a) =$	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
Redundancy factor, $\phi_r =$	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

$R = (\phi_p \phi_a) \phi_r R_o$

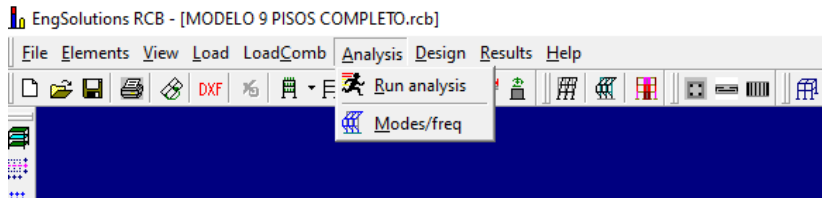
Cancel Next >>

Nota. La figura muestra la ventana para ingresar el coeficiente de irregularidad. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Luego de tener el espectro de diseño cargado, en la cinta de comandos, se seleccionó la opción *Analysis*, la cual desplegó una ventana, se eligió la opción *Run analysis*, la cual hace un análisis completo con los datos previamente ingresados, como se muestra en la figura **Figura 36**.

Figura 36

Inicio de análisis de datos ingresados.



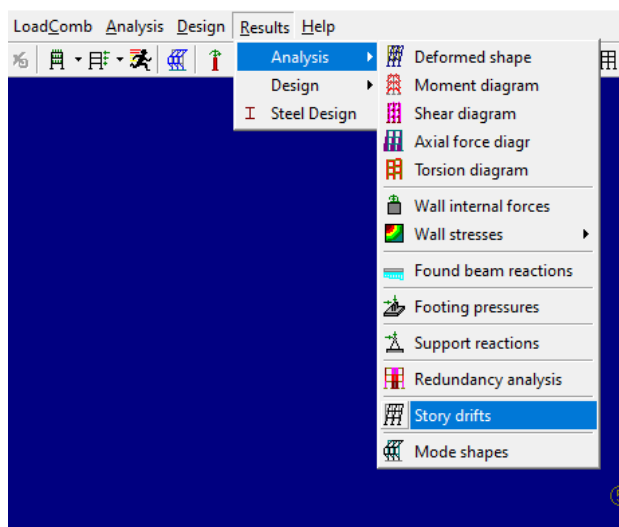
Nota. La figura muestra la ventana dar inicio al análisis de los datos ingresados. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Análisis de derivas

Para hacer el análisis de derivas del modelo, en la cinta de opciones se dio clic en *Results*, posteriormente en *Analysis*, ver **Figura 37** el cual desplego un menú, donde se seleccionó *Story drifts*, el cual indicó un análisis de estudio de las derivas máximas por cada piso (el informe se puede imprimir, si se requiere).

Figura 37

Selección para análisis de las derivas.



Nota. La figura muestra la ventana para realizar el análisis de las derivas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

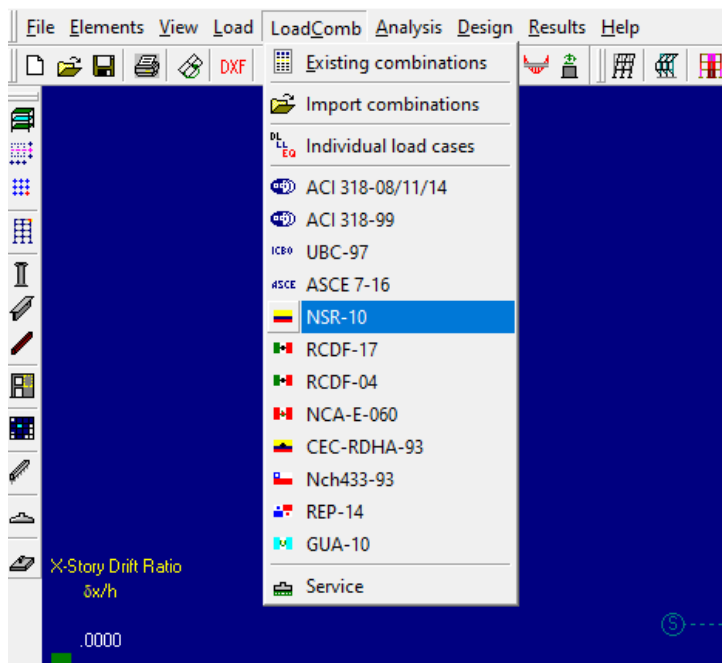
Luego de haberse realizado el análisis de derivas, se cargó al modelo las combinaciones de carga para esto, en la cinta de opciones se seleccionó *LoadComb*, luego se seleccionó la norma NSR-10, ver

Figura 38.

Al seleccionar la norma a usar, se visualizó una ventana emergente, la cual solicitó el factor de efecto bidireccional, para el sistema del presente proyecto de muros no se considera este factor.

Figura 38

Cinta de opciones para cargue de las combinaciones de carga.

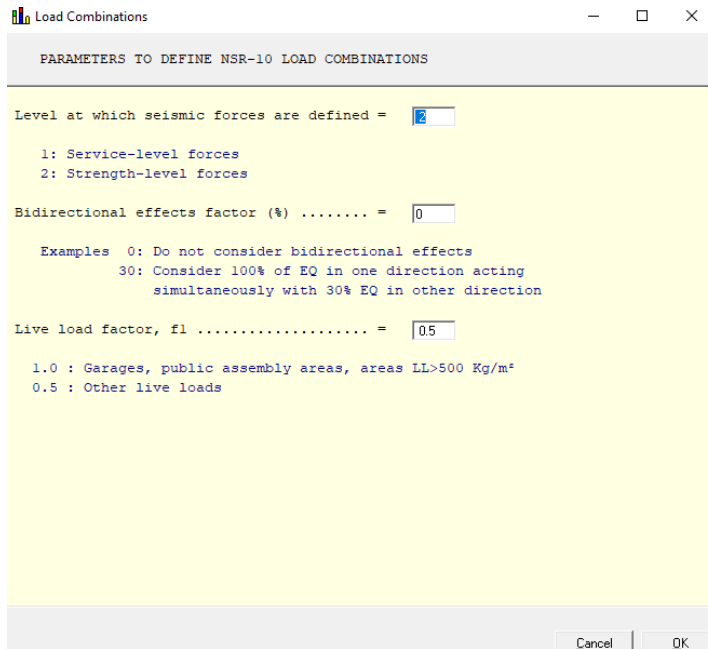


Nota. La figura muestra la ventana para el cargue de las combinaciones de carga. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Seguidamente se visualizó la ventana para asignar el factor de efecto bidireccional, de acuerdo a las opciones que permite el software, ver **Figura 39.**

Figura 39

Ventana que solicita el factor de efecto bidireccional.

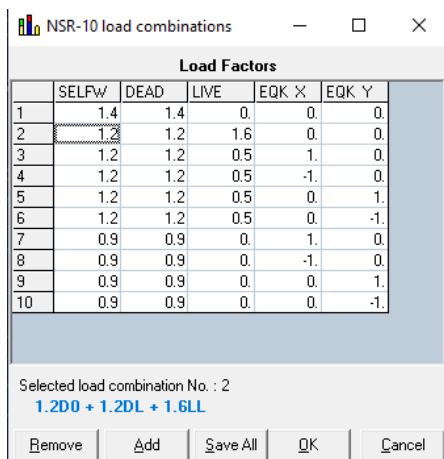


Nota. La figura muestra la ventana para el ingresar el factor de efecto bidireccional. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

El software genera un resumen de las combinaciones de carga que se usan para el análisis de la estructura como se evidencia en la **Figura 40**.

Figura 40

Combinaciones de carga.

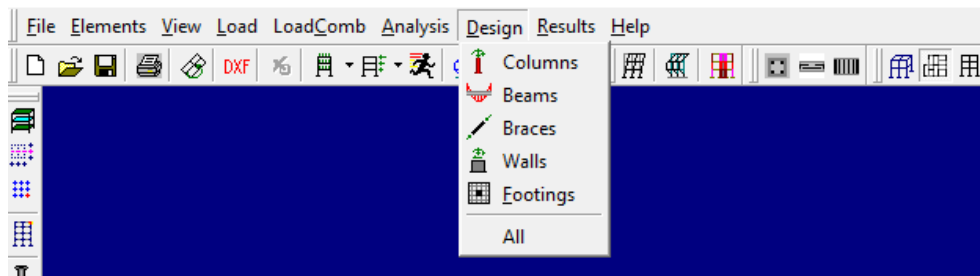


Nota. La figura muestra las combinaciones de carga suministradas por el software. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Por último, se diseñaron los elementos de la estructura, como son vigas y muros estructurales, para lo cual, se seleccionó la opción *Desing* y *Walls y Beams*, como se evidencia en la **Figura 41**.

Figura 41

Opciones para diseño de vigas y columnas.



Nota. La figura muestra las opciones para diseño de vigas y columnas. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Para imprimir todos los informes y parámetros de análisis de la estructura, se selecciona el icono de la impresora, y se eligen los parámetros que se requieren ver.

Análisis y Discusión de Resultados

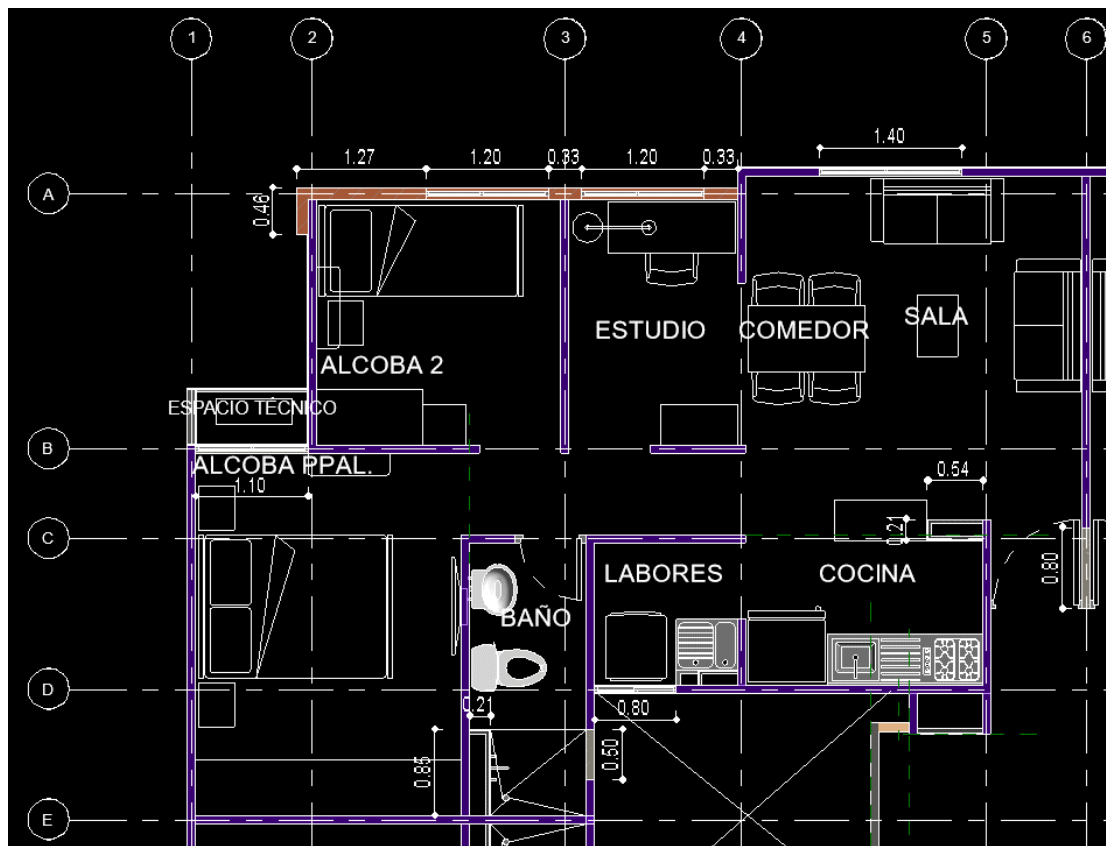
Se analizaron cada uno de los cinco (5) modelos realizados anteriormente en una zona sísmica intermedia, con un suelo tipo D. Obteniendo el diseño de los muros con un espesor no mayor a 15cm según el estudio propuesto.

Avalúo de Cargas

En la **Figura 42** se evidencia el plano para el avalúo de cargas realizado para la edificación.

Figura 42

Plano de planta con cargas.



Nota. Apartamento tipo. Elaboración propia AutoCAD, 2023.

Se tomaron las dimensiones longitudinales, de todos los elementos no estructurales, los cuales se multiplican por los pesos en m² de superficie vertical para obtener unas dimensiones acordes a la estructura a analizar, como se muestra en la **Figura 43**.

Figura 43


Cálculo de dimensiones y peso.

	Longitud	Altura	Espesor	Peso
	[m]	[m]	[m]	[Ton]
Muro Mamposteria	2.39	2.35	0.12	0.93
Ventanales	4.29	2	-	0.21
Baranda	1.1	1	-	0.03
Muro Drywall	2.35	2.35	-	0.06
Muro Concreto	1.50	2.35	0.1	0.65
			Σ	1.88
Area losa	47.0 m²			

Nota. Se detalla la relación de los pisos y su peso. Elaboración propia, 2023.


El software RCB toma el peso propio, por ende, se debió añadir una carga super impuesta, la cual fue calculada en una hoja de cálculo que se encuentra en el *Anexo 1 Avalúo De Cargas Tesis*, en la figura **Figura 44** se señala en color rojo para más claridad.

Figura 44*Avalúo de Cargas – Vivienda*

		AVALUO DE CARGAS			
USO I	VIVIENDA	Estructuras de ocupacion normal			
Placa	0.1 m				
	Espesor				
Losa	0.1	x	2.4 T/m3	=	0.240 T/m ²
Acabados	0.05	x	2.2 T/m3	=	0.110 T/m ²
Cieloraso				=	0.015 T/m ²
Muros divisorios mamposteria y livianos				=	0.034 T/m ²
	Total cargas muertas			=	0.399 T/m ²
	Total cargas vivas			=	0.18 T/m ²
	Carga última = 1,2DL+1,6LL			=	0.76631 T/m ²
	Carga última para RCB			=	0.159 T/m²


Nota. Se detalla la carga ultima de vivienda como insumo para el programa RCB. Elaboración propia, 2023

Figura 45*Avalúo de Cargas – Corredor.*

		AVALUO DE CARGAS			
USO I	CORREDOR				
Placa	0.1 m				
	Espesor				
Losa	0.1	x	2.4 T/m3	=	0.240 T/m ²
Acabados	0.07	x	2.2 T/m3	=	0.154 T/m ²
Cieloraso				=	0.015 T/m ²
	Total cargas muertas			=	0.409 T/m ²
	Total cargas vivas			=	0.180 T/m ²
	Carga última = 1,2DL+1,6LL			=	0.7788 T/m ²
	Carga a Emplear en modelo RCB			=	0.169 T/m²

Nota. Se detalla la carga de corredor a emplear como insumo para el programa RCB. Elaboración propia, 2023

Figura 48*Avalúo de Cargas – Cubierta*

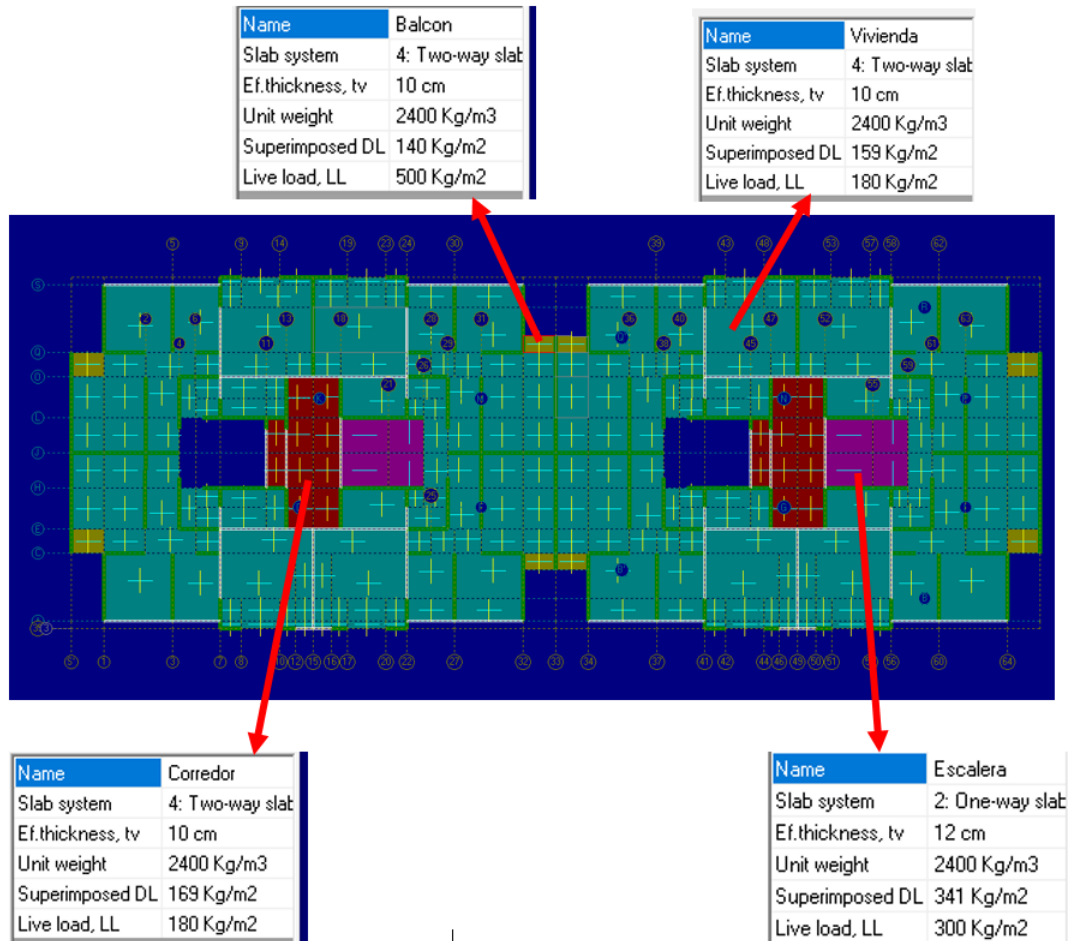
USO I		AVALUO DE CARGAS		CUBIERTA	
Placa	0.1 m				
	Esesor				
Losa	0.1	x	2.4 T/m ³	=	0.240 T/m ²
Acabados	0.05	x	2.2 T/m ³	=	0.110 T/m ²
Cieloraso				=	0.015 T/m ²
Impermeabilización				=	0.025 T/m ²
			Total cargas muertas	=	0.390 T/m ²
			Total cargas vivas	=	0.180 T/m ²
			Carga última = 1,2DL+1,6LL	=	0.756 T/m ²
			Carga a Emplear en modelo RCB	=	0.150 T/m²

Nota. Se detalla la carga de corredor a emplear como insumo para el programa RCB. Elaboración propia, 2023.

En la **Figura 49**, se evidencia un esquema del resultado final de los avalúos de carga en el software.

Figura 49

Cálculo de dimensiones y peso.



Nota. Se detalla el esquema de cargas como insumo para el programa RCB. Elaboración propia, 2023.

Espectro de Diseño

De acuerdo con la ubicación del proyecto y los parámetros para el diseño sísmico contenidos en la norma NSR-10, se toman los datos del suelo tipo D en una zona sísmica intermedia.

Se presenta el espectro de diseño que se encuentra en el *Anexo 2 Espectro de Diseño* utilizado en el modelo matemático realizado para las diferentes edificaciones, como se evidencia en la **Figura 50**.

Figura 50

Parámetros NSR - 10.

SEISMIC PARAMETERS - NSR-10

```

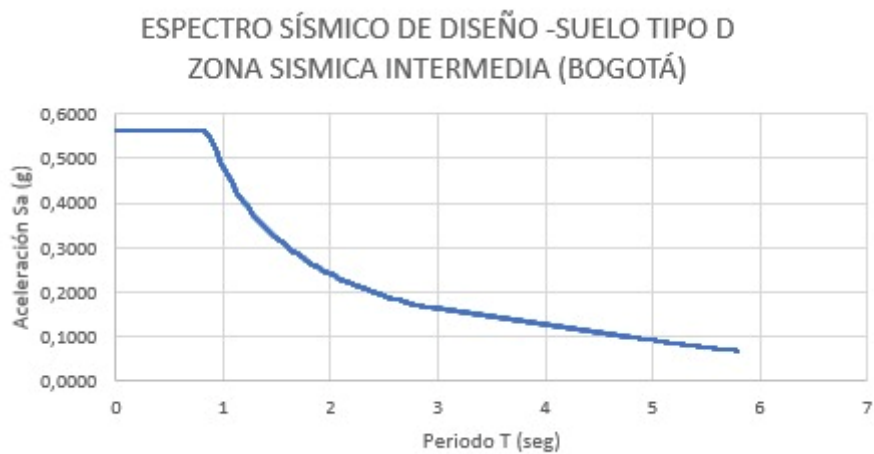
Effective peak acceleration, Aa . . . . . = 0.15
Effective peak velocity coeff, Av . . . . . = 0.20
Importance coefficient, I . . . . . = 1.00
Site profile type, S . . . . . = D
Amplification coefficient, Fa . . . . . = 1.50
Amplification coefficient, Fv . . . . . = 2.00
Limit period, To (sec) . . . . . = 0.17
Limit period, Tc (sec) . . . . . = 0.83
Long-period transition period, Tl (sec) . . = 4.80
Amplified peak acceleration Aa Fa . . . . . = 0.23
Amplified peak veloc. coefficient Av Fv . . = 0.40
Effective Building Weight . . . . . = 796.9 ton
Seismic base level . . . . . = 1
    
```

	X - DIRECTION	Y - DIRECTION
Seismic Force-resisting system	A: Wall	A: Wall
Fundamental period, T	0.097	0.076
Energy Dissipation Coefficient, Ro	2.50	2.50
Reduced Energy Dissipation Coefficient, R	2.50	2.50
Design base shear, V	366.6	366.6

Nota. En la figura se evidencia los parámetros para usar por el programa EngSolutions RCB. Elaboración propia usando EngSolutions RCB 2023.

Figura 51

Espectro Sísmico de Diseño



Nota. En la figura se evidencia el espectro de diseño para un suelo tipo D para el programa RCB. Elaboración propia, 2023.

Tabla 5*Periodos fundamentales para los cinco (5) modelos*

Periodos Fundamentales		
Modelo	X	Y
Torre de 3 Pisos	0,099	0,078
Torre de 6 Pisos	0,268	0,237
Torre de 9 Pisos	0,458	0,425
Torre de 12 Pisos	0,654	0,634
Torre de 15 Pisos	1,018	0,0992

Nota. En la tabla se visualizan los periodos fundamentales para cada uno de los modelos realizados por el programa RCB. Elaboración propia usando RCB EngSolutions, 2023

Modelo matemático***Derivas***

Se efectuó el chequeo de las derivas de los 5 modelos matemáticos realizados.

De acuerdo con toda la información empleada según lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR-10, donde se establece que la deriva resultante del edificio sea menor al 1% de la altura total, y con ayuda del programa se calculan derivas de piso, en cualquier nodo de la estructura.

A continuación, se evidencian las tablas donde se verificaron las derivas por piso:

Tabla 6*Chequeo de las Derivas obtenidas del modelo matemático*

N° Pisos	Derivas									
	Torre de 3 Pisos		Torre de 6 Pisos		Torre de 9 Pisos		Torre de 12 Pisos		Torre de 15 Pisos	
	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina
15									0.86%	0.87%
14									0.86%	0.87%
13									0.85%	0.87%
12							0.51%	0.52%	0.85%	0.86%
11							0.51%	0.52%	0.84%	0.84%
10							0.51%	0.52%	0.82%	0.82%
9					0.30%	0.30%	0.50%	0.51%	0.80%	0.80%
8					0.30%	0.30%	0.49%	0.49%	0.76%	0.77%
7					0.31%	0.31%	0.46%	0.47%	0.73%	0.73%
6			0.14%	0.14%	0.30%	0.30%	0.43%	0.43%	0.68%	0.69%
5			0.14%	0.14%	0.28%	0.28%	0.38%	0.38%	0.64%	0.64%
4			0.14%	0.14%	0.25%	0.25%	0.33%	0.33%	0.57%	0.57%
3	0.03%	0.03%	0.12%	0.12%	0.21%	0.21%	0.26%	0.26%	0.45%	0.45%
2	0.03%	0.03%	0.10%	0.10%	0.15%	0.15%	0.18%	0.18%	0.31%	0.31%
1	0.02%	0.02%	0.05%	0.05%	0.06%	0.06%	0.08%	0.08%	0.13%	0.13%

Nota. En la tabla el chequeo de derivas de los datos suministrados por el software RCB. Elaboración propia usando RCB EngSolutions, 2023.

Como se visualiza en la **Tabla 6**, las derivas obtenidas son menores al 1% de la altura de piso. Por lo tanto, la estructura cumple con este requisito teniendo en cuenta lo dispuesto en la NSR-10.

Chequeo de Irregularidades en Altura**Tabla 7***Chequeo de irregularidades en altura*

Se realiza el chequeo de irregularidades del modelo matemático para los cinco modelos propuestos obteniendo lo siguiente.

N° Pisos	Irregularidad en Altura									
	Torre de 3 Pisos		Torre de 6 Pisos		Torre de 9 Pisos		Torre de 12 Pisos		Torre de 15 Pisos	
	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina
15										
14									1.0037	0.9999
13									1.0008	0.9960
12									0.9937	0.9896
11							1.0101	1.0012	0.9874	0.9832
10							1.0038	0.9924	0.9787	0.9750
9							0.9906	0.9788	0.9712	0.9670
8					1.0176	1.0006	0.9733	0.9611	0.9611	0.9569
7					1.0045	0.9828	0.9516	0.9388	0.9520	0.9466
6					0.9784	0.9554	0.9227	0.9096	0.9394	0.9332
5			1.0258	0.9976	0.9429	0.9188	0.8881	0.8767	0.9289	0.9192
4			0.9827	0.9479	0.8953	0.8684	0.8576	0.8414	0.8932	0.8716
3			0.9035	0.8682	0.8203	0.7912	0.7913	0.7708	0.7996	0.7766
2	0.9756	0.9213	0.7848	0.7386	0.7058	0.6705	0.6841	0.6558	0.6902	0.6598
1	0.5786	0.5269	0.4774	0.4250	0.4401	0.3927	0.4241	0.3796	0.4151	0.3693

Nota. En la tabla se visualiza el chequeo de irregularidades realizado por el programa RCB. Elaboración propia usando RCB EngSolutions, 2023

De acuerdo con los datos proporcionados por el modelo matemático se evidencia que la irregularidad en altura de los modelos propuestos cumple con los parámetros establecidos en la NSR-10, como se evidencia en la **Tabla 7**.

Chequeo de Irregularidad Torsional**Tabla 8***Chequeo de irregularidades torsional*

N° Pisos	Irregularidad en Torsional									
	Torre de 3 Pisos		Torre de 6 Pisos		Torre de 9 Pisos		Torre de 12 Pisos		Torre de 15 Pisos	
	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina	Centro de Masa	Esquina
16									1.0024	1.0165
15									1.0023	1.0166
14									1.0023	1.0166
13							1.0021	1.0163	1.0023	1.0166
12							1.0020	1.0163	1.0022	1.0166
11							1.0020	1.0164	1.0022	1.0166
10					1.0012	1.0211	1.0019	1.0164	1.0022	1.0166
9					1.0009	1.0212	1.0018	1.0164	1.0022	1.0166
8					1.0007	1.0212	1.0017	1.0164	1.0021	1.0166
7			1.0002	1.0213	1.0006	1.0212	1.0016	1.0164	1.0021	1.0166
6			1.0005	1.0214	1.0004	1.0213	1.0016	1.0165	1.0021	1.0166
5			1.0009	1.0216	1.0001	1.0214	1.0015	1.0166	1.0018	1.0167
4	1.0000	1.0000	1.0011	1.0219	1.0002	1.0217	1.0012	1.0169	1.0016	1.0169
3	1.0000	1.0000	1.0019	1.0224	1.0009	1.0221	1.0009	1.0173	1.0012	1.0173
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0024	1.0000	1.0000	1.0181	1.0005	1.0178
1										

Nota. En la figura se visualiza el chequeo de irregularidades torsionales realizado para el programa RCB. Elaboración propia usando RCB EngSolutions, 2023.

Según los resultados y el análisis de la **Tabla 8**, se cumple con el chequeo de irregularidades según el reglamento colombiano de construcciones sismo resistentes NSR-10.

Procedimiento de Prediseño de la Super Estructura.

Muros Estructurales

Según los modelos matemáticos realizados bajo las consideraciones de análisis se chequean los diseños de los muros estructurales de cada una de las edificaciones.

- Para el diseño de todos los muros dado que los espesores empleados van desde 8cm hasta 15cm no es posible proveer un confinamiento adecuado, y estos muros de carga son de ductilidad limitada se garantizó que ningún muro de las 5 edificaciones realizadas sea necesario un elemento de borde.

Con ayuda del software se chequeo estructura por estructura y piso por piso el diseño de cada muro estructural, se mostrará un ejemplo del diseño de resultados de la estructura de 15 pisos en la **Figura 52**, la cual nos dará la información relacionada con cada uno de los elementos estructurales como el piso donde está ubicado el elemento, sus dimensiones y los refuerzos requeridos horizontal y verticalmente.

Figura 52

Ejemplo de diseño de muros estructurales

Design Results - Walls (DMO)

NOTE: Shear Walls are designed according to NSR-10
 Method selected for design of boundary elements: Displacement-based method
 Height of plastic zone: Larger of L_w and $M_u/4V_u$ (L_w : Individual wall length)
 Provisions for confinement above plastic zone to prevent compression failure were considered
 Boundary elements were extended vertically above hinge area until $f_{max}/f'_c < 0.4$

Wall	Story	B	H	t	Mat	HORIZONTAL REINFORCEMENT				VERTICAL REINFORCEMENT						
						LCmb	Vu	Reinforcement	LCmb	Pu	Mu2	As tot	As ctr	As end	Ends	
C(40-41)	1	0.89	2.35	15.0	6	3	3.36	#3@23 .0020	3	34.09	11.80	1.60	-	-	-	
C(34-36)	1	1.50	2.35	15.0	6	3	11.89	#3@23 .0020	7	-55.90	60.29	39.59	5.40	17.09	15x30	Nota 1
C(31-32)	1	1.49	2.35	15.0	6	4	11.76	#3@23 .0020	8	-54.41	59.56	39.36	5.36	17.00	15x30	
C(22-25)	1	0.89	2.35	15.0	6	4	3.36	#3@23 .0020	4	34.93	11.77	1.60	-	-	-	Nota 2
C(6-7)	1	0.89	2.35	15.0	6	3	3.38	#3@23 .0020	3	34.00	11.85	1.60	-	-	-	
58(L-P)	1	0.69	2.35	15.0	5	3	1.30	#3@23 .0020	7	-75.84	2.00	23.70	0.81	11.44	15x30	Nota 3
36(E-O)	1	5.52	2.35	15.0	5	5	36.27	#3@23 .0020	7	-1088.1	11.50	297.35	4.67	146.33	15x25	Nota 4
								* 7 Confine 250 cm each end	Est #4 @7.5 cm			XTies: T: 0 X: 11	@20 cm			
50(35-C)	1	2.72	2.35	15.0	6	6	92.79	#3@15 .0061	9	-7.53	165.36	37.06	17.45	9.80	15x40	Nota 5
									Est #3 @15 cm			XTies: T: 0 X: 1				

: Design of wall element is controlled by Out-of-plane bending.
 Vert. reinf. could be reduced by assigning a lower OutPlane stiffness reduction factor.
 * : Wall requires confinement Boundary Elements at its ends. Provide confinement Stirrups (Est)
 Cross-ties (Xties) are assumed same diameter as stirrups. T: Long. X-ties, X: Transv. X-ties

Nota. En la figura se visualiza los parámetros para el diseño de los muros estructurales. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

Nota 1

En la fila Ends, que está al final de refuerzo vertical nos indica las dimensiones de zona del muro que se necesita un mayor refuerzo, donde el elemento localizado en los ejes C(34-36) nos dicta unas dimensiones de 15 = espesor de muro y 30 = la longitud del muro, esto no nos asegura que este muro estructural necesite elemento de borde si no una mayor cuantía en sus extremos.

Nota 2

Para el ejemplo de este elemento estructural C(22-25) cuando tenemos guiones significa que en la zona final del muro no necesitamos un mayor refuerzo y su configuración a lo largo del muro es uniforme.

Nota 3

Para el ejemplo de este elemento estructural, aunque aplica lo explicado en la Nota 1, nos muestra una convención (⌘) el cual, aunque el muro diseñó nos da una alerta de que el muro presenta deformaciones fuera del plano y por lo tanto no tiene la capacidad de disipar la energía.

Nota 4

Para el análisis de resultados se tuvo que evaluar que en la fila Ends no se encontrará la convención asterisco (*) el ejemplo presentado en la **Figura 52**, fue sacado en un ejercicio anterior buscando que los muros no tengan esta variable de diseño en ninguno de los elementos de la estructura, ya que al contener esto el muro requeriría confinamiento en la zona final del elemento y por el manejo de los espesores empleados y las recomendaciones dadas por el Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado no estaríamos cumpliendo con el diseño de los muros estructurales.

Nota 5

El elemento localizado en los ejes 50(35-C), nos muestra que el muro tiene una cuantía mayor y el programa asume que se debe configurar el refuerzo en dos parrillas el cual la muestra con la convención (2Ly), sin embargo, por los espesores de los muros utilizados en las edificaciones, es una alerta de que esos elementos estructurales se deben aumentar de espesores.

- Se presenta un resumen de espesores de muros según la torre con la cantidad de número de pisos en la **Figura 53**.

Figura 53*Espesores de muro*

Características	Torre 3 pisos	Torre 6 pisos	Torre 9 pisos	Torre 12 pisos	Torre 15 pisos
Espesor de muros (cm)	8	8 (90.2%)	10 (85%)	12 (46,44%)	15
			12 (11,71%)		
		10 (9.8%)	15 (3,29%)	15 (52,56%)	

Nota. En la figura se evidencia los espesores de muros para cada una de las torres. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

- De acuerdo al cuadro de la **Figura 53** Se observó que para las estructuras desde 9 pisos se requería elemento de borde. Dado que para los espesores empleados no era posible se revisó y evaluó la necesidad de aumentar la resistencia del concreto en los pisos que sean necesarios para cumplir con este requisito, se muestra en la **Figura 54** los concretos usados para cada una de las estructuras.

Figura 54*Resistencia de Concretos*

Características	Torre 3 pisos	Torre 6 pisos	Torre 9 pisos	Torre 12 pisos	Torre 15 pisos
Espesor de muros (cm)	8	8 (90.2%)	10 (85%)	12 (46,44%)	15
			12 (11,71%)		
		10 (9.8%)	15 (3,29%)	15 (52,56%)	
Resistencia de concreto $f'c$ (Mpa)	21	21	21 (7 Pisos)	21 (7 Pisos)	21 (3 Pisos)
					28 (2 Pisos)
				28 (3 Pisos)	35 (2 Pisos)
			28 (2 Pisos)		42 (2 Pisos)
				35 (2 Pisos)	49 (2 Pisos)
					55 (4 Pisos)
				62 (4 Pisos)	

Nota. Resistencias del concreto por torre. Elaboración propia usando EngSolutions RCB, 2023.

En la **Figura 54** se especifica que a medida que el número de pisos aumenta se necesitan resistencias de concreto mayores, y que para las torres más altas son los pisos inferiores donde se ven reflejados las mayores resistencias y se va disminuyendo según va aumentando el nivel estructural.

Cálculo de Cuantía de las Estructuras.

Cantidad de Concreto en Muros.

En la memoria de cálculos de cada estructura, se tiene un índice para cada estructura llamado “GENERAL INPUT DATA”, el cual se refiere a todos los datos de entrada de cada modelo matemático, en la parte final del informe el software nos da una sumatoria de cantidades del material en concreto.

Tabla 9

Cantidades de concreto en los muros

Torres	W Concreto (T)
Torre 3 pisos	300.24
Torre 6 pisos	602.4
Torre 9 pisos	1148.16
Torre 12 pisos	1990.08
Torre 15 pisos	2777.28

Nota. Peso del concreto por torre expresado en toneladas. Elaboración con datos del software EngSolutions RCB, 2023.

Cantidad de Acero

Al momento de diseñar los muros de cada una de las estructuras con ayuda del software, el modelo matemático nos da unas cuantías aproximadas del refuerzo y volumen del concreto de cada estructura, para el acero el programa RCB tiene como predeterminado barras corrugadas establecidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 2289, material con el cual se desarrolló el presente trabajo.

Tabla 10

Cantidades de acero en los muros

Torres	W Refuerzo (kg)
Torre 3 pisos	5625
Torre 6 pisos	12641
Torre 9 pisos	30579
Torre 12 pisos	64430
Torre 15 pisos	116469

Nota. Peso del acero de refuerzo por torre expresado en toneladas. Elaboración con datos del software EngSolutions RCB, 2023.

Cuantía de la Estructura

Ya teniendo los pesos del concreto y del acero de cada una de las estructuras, calculamos la cuantía que se necesita en kg de acero por cada m3 de concreto de la siguiente forma:

$$\frac{W \text{ Refuerzo } kg}{V \text{ concreto } m^3} = \text{Cuantía } \frac{kg}{m^3}$$

Tabla 11

Cuadro de cálculo de cuantía

# de Pisos	Torres	ρ concreto (T/m3)	W Concreto (T)	V Concreto (m3)	W Refuerzo (kg)	Cuantía (kg/m3)
3	Torre 3 pisos		300.24	125.10	5625	44.96
6	Torre 6 pisos		602.4	251.00	12641	50.36
9	Torre 9 pisos	2.4	1148.16	478.40	30579	63.92
12	Torre 12 pisos		1990.08	829.20	64430	77.70
15	Torre 15 pisos		2777.28	1157.20	116469	100.65

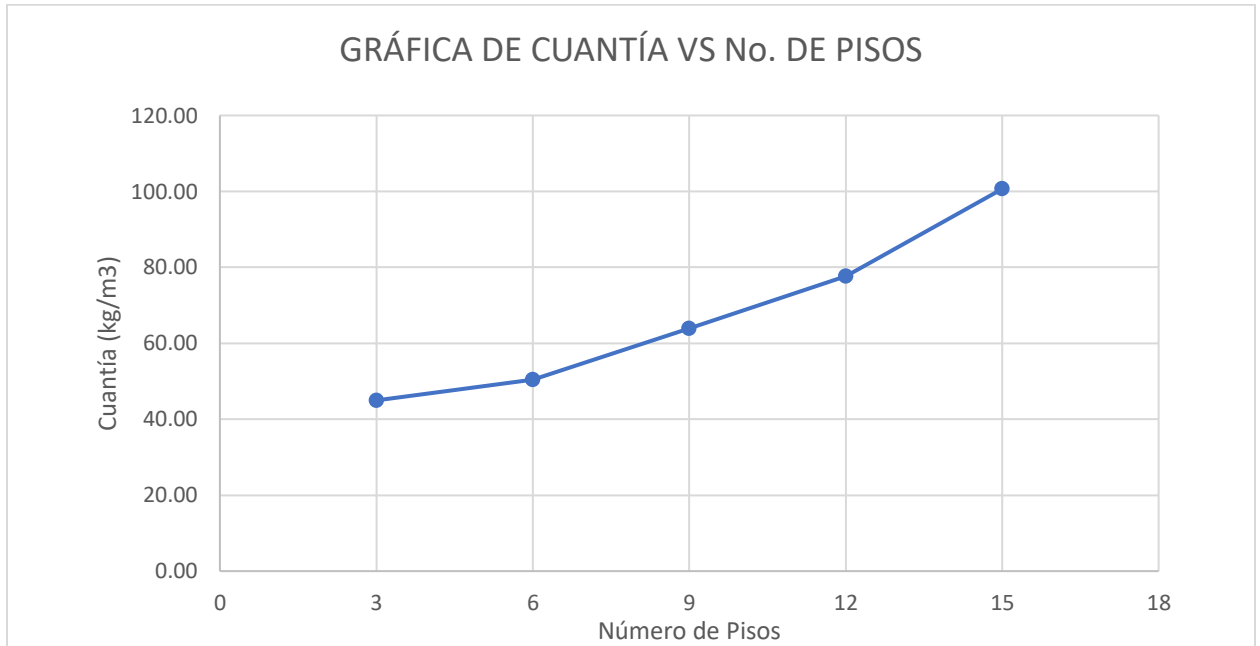
Nota. Cálculo de cuantía de las estructuras. Elaboración propia, 2023

Se grafican los datos obtenidos del software RCB.

Figura 55

Gráfica de cuantía VS Tipo de torre

Graficamos los datos:



Nota. Gráfica de eficiencia de las estructuras. Elaboración propia, 2023.

De la gráfica de la figura **Figura 55** se puede concluir que las edificaciones más eficientes en kg/m³ son las de 6, 9 y 12 pisos.

Conclusiones y Recomendaciones

A lo largo del presente proyecto se usaron parámetros de la norma y el Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado autoría de la Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica. Teniendo en cuenta estos estudios, se realizaron los modelos matemáticos verificando la resistencia de los concretos, con el fin de que las estructuras no tuviesen elemento de borde dada la imposibilidad de confinar los extremos de los muros, esto con la premisa de que los espesores usados, no tienen un espacio óptimo de desarrollo para el núcleo de confinamiento y recubrimientos mínimos.

Se evidenció que entre mayor sea la altura en pisos, mayor será la resistencia a compresión en los primeros pisos y varía desde 21Mpa a 62Mpa.

Se evidenció que las torres de 3 y 6 pisos se usaron en su mayoría espesores de muros de 8cm sin la necesidad de subir resistencias de concretos, para ambas torres se usó concreto de 21MPa.

Para las torres de 9 y 12 pisos se tuvo en cuenta un aumento en los espesores de muros, por la cantidad de pisos las torres exigían unas mayores solicitaciones, para la torre de 9 pisos se utilizaron espesores de entre 10cm, 12cm y 15cm en sus muros, para la torre de 12 pisos se usaron espesores de 12cm y 15cm. Analizando las 2 estructuras con los aumentos de espesores, no se lograba cumplir con el diseño sin la necesidad de usar elementos de borde, para solucionar esto, se encontró la necesidad de subir la resistencia de los concretos, y quedaron de la siguiente manera, para la torre de 9 pisos se usaron concretos de 21MPa y 28MPa, para la torre de 12 pisos se utilizaron concretos de 21MPa, 28MPa y 35MPa.

Para la torre de 15 pisos, se vio la necesidad de aumentar en su totalidad los espesores de los muros a 15cm, sin embargo, requerían zonas de confinamiento en los extremos de los muros, para esto se manejó concretos de alta resistencia no convencionales para este tipo de edificaciones, los cuales van

desde 21MPa hasta 62MPa según lo mostrado en la **Figura 56**, la torre de 15 pisos y torres de pisos superiores serían inviables constructivamente por el costo que conllevaría dicha obra, la solución más eficiente es aumentar los espesores de muros y de evaluar este sistema, con todos los requisitos para estructuras DMO y DES descritos en la NSR-10, el cual, el alcance de dicho estudio no sería parte de este trabajo de grado.

También se evidencio que a medida que iba en aumento la altura de las edificaciones, el diseño de los muros empezó a presentar una alerta en el software, aunque se diseñe el muro estructural, está condicionado a las deformaciones fuera del plano, por lo que algunos elementos estructurales al ocurrir un sismo no tendrían la capacidad de disipar la energía. Lo que da veracidad a los límites establecidos por el sistema propuesto por el CEER en la **Tabla 4** donde se relaciona las limitantes de altura según la zona sísmica de amenaza, para nuestro proyecto que está localizado en una zona sísmica intermedia su limitante es de 20m de altura y la alerta generada comienza a presentarse a partir de la torre de 9 pisos, la cual su altura máxima es de 21.15m.

Se obtuvieron los resultados de las cuantías, las cuales se visualizan en la **Tabla 11**, evidenciando el volumen del concreto y el peso del refuerzo en cada una de las estructuras. Se determinó que las cuantías de las Torres se mantienen en aumento proporcional a medida que va en aumento la cantidad de pisos y espesores de muros.

Cuando se observa el diseño de los muros estructurales, algunos elementos desde la torre de 6 pisos en adelante, se deben disponer 2 parrillas de refuerzo, por los espesores utilizados en las edificaciones, es una alerta de que esos elementos estructurales se deben aumentar de espesores.

Se tuvo en cuenta los coeficientes de disipación de energía R , así como el coeficiente de sobre resistencia Ω_0 , propuestos por el estudio del CEER (2018) para muros delgados, los cuales, para los diseños de los elementos son más críticos que los que propone la NSR-10, lo que da como resultado mayores solicitaciones y un diseño más exigente para este tipo de estructuras de ductilidad limitada.

Para la evaluación de irregularidades de las estructuras, se llegó a una configuración estructural distribuida, tanto en planta, como en altura, dando cumplimiento a los parámetros establecidos en las tablas A.3-6 y Tabla A.3-7 de la norma NSR-10.

Se verificó que todas las estructuras presentarán deformaciones horizontales menores al 1% de la altura total correspondiente a lo estipulado en el capítulo A.6 de la NSR-10, sin embargo, verificando estas deformaciones respecto a la propuesta normativa establecida por el CEER, la cual su deriva máxima corresponde al 0.5% la torre de 12 pisos y 15 pisos serían las únicas edificaciones que no estarían cumpliendo ya que su deriva máxima es de 0.52% y 0.86%.

Ya que este estudio abarca varias zonas importantes del territorio, aún está por fuera de un alcance global, haciendo énfasis que se pueden trabajar diferentes tipos de suelos y zonas de amenaza sísmica, esto con el fin de comparar estas edificaciones con espectros de menor o mayor envergadura, y así obtener una mejor visión de este tipo de sistema estructural.

Como recomendación final, la norma colombiana sismorresistente NSR-10 debería incluir un sistema estructural particular de muros delgados, distinto a los requisitos planteados en los sistemas de muros, basados en la norma americana (ACI 318-08). En esta revisión se identifica que es un sistema diferente planteado por la norma vigente, y se debería incluir un sistema particular con requisitos mayores y limitaciones en alturas de acuerdo con los resultados obtenidos.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-10*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- CAMACOL, C. C. (octubre de 2022). *Camacol.co*. Obtenido de <https://camacol.co/revista-urbana/95/mobile/index.html>
- CEER, C. E. (2018). *Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado*. CEER.
- CEMEX. (2022). *Sistema Industrializado Muro*. Bogotá: CEMEX. Obtenido de CEMEX: <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/60426997/Ficha-Sistema-Industrializado-Muro.pdf/8d679cbd-0023-4de2-2c5c-7db49e24fa4b?t=1661356918045>
- DANE. (2022). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. Bogotá: Departamento Administrativo de Nacional de Estadística.
- DANE, D. A. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Dataconstrucción. (s.f.). *Dataconstrucción*. Obtenido de <https://www.dataconstruccion.com/blog/que-es-exactamente-un-sistema-de-construccion>
- FOPAE. (2010). *ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMO RESISTENTE DE EDIFICACIONES*. Bogotá.
- Hábitat, S. d. (2010). *Decreto 523 de 2010*. Bogotá D.C.
- MINEDUC, U. D. (2010). *El terremoto de Chile de 2010*. Chile: Ministerio de Educación de Chile . Obtenido de <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/el-terremoto-de-chile-de-2010/>
- MINVIVIENDA. (2021). *Con 209.638 viviendas nuevas vendidas en los últimos 11 meses, el 2021 ya es el mejor año en ventas para Colombia*. Bogotá D.C.: MINVIVIENDA.

Miranda, P. Z. (junio de 2005). *Repositorio TEC*. Obtenido de Repositorio TEC:

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/268>

NSR-10, C. A. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10*.

Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Palacios Delgado, J. T., & Jiménez Ortega, J. M. (2021). *PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN*

CONCRETO DE ACUERDO AL REGLAMENTO NSR-10. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Rodríguez, A. A. (15 de octubre de 2022). La historia desconocida del primer 'rascacielos' en Bogotá: 101

años en pie. *El Tiempo*, pág. 1.

Rodríguez, J. L. (2021). Muros Delgados en Concreto Reforzado Riesgo Construido. *Noticias Uninorte*, 1.

Anexos

Archivo en formato Excel denominado *Anexo 1 Avalúo De Cargas Tesis*

Archivo en formato Excel denominado *Anexo 2 Espectro de Diseño*

Carpeta denominada *Anexo 3 Resultados RCB Suelo tipo D*

Archivo en formato Excel denominado *Anexo 4 Análisis de cuantía*

Archivo en formato PDF denominado *Anexo 5 Autorización*