



**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN CONCRETO DE ACUERDO
AL REGLAMENTO NSR-10**

**Jennifer Tatiana Palacios Delgado
Johanna Marcela Jiménez Ortega**

**Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Estudios a Distancia
Programa De Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2021**

**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN CONCRETO DE ACUERDO
AL REGLAMENTO NSR-10**

**Jennifer Tatiana Palacios Delgado
Johanna Marcela Jiménez Ortega**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Darwin Mora Villota

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia

Programa De Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2021

Bogotá, D.C., 12 de julio de 2.021

Señores

**COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

Ref. Presentación propuesta

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para los fines pertinentes la propuesta titulada: “Procedimiento para el diseño de muros en concreto de acuerdo al Reglamento NSR-10”.

El director es el Ingeniero Darwin Mora Villota.

Atentamente,



Johanna Marcela Jiménez Ortega
Código estudiantil: d7302971
Estudiante de Ingeniería Civil



Jenniffer Tatiana Palacios Delgado
Código estudiantil: d7303704
Estudiante de Ingeniería Civil

APROBACIÓN TUTOR

La propuesta de grado titulada “Procedimiento para el diseño de muros en concreto de acuerdo al Reglamento NSR-10”, opción de trabajo de grado es presentada por las estudiantes Johanna Marcela Jiménez Ortega y Jenniffer Tatiana Palacios Delgado, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el tutor:



Ing. Darwin Mora Villota

Tutor Universidad Militar Nueva Granada

APROBACIÓN COMITÉ

NOTA DE APROBACIÓN

FIRMA JURADO
Universidad Militar Nueva Granada

FIRMA JURADO
Universidad Militar Nueva Granada

*“Nunca consideres el estudio como una obligación,
sino como la oportunidad para penetrar en el bello y
maravilloso mundo del saber”.*

Albert Einstein.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios por su amor y bondad. Día a día nos concede de su sabiduría para seguir cumpliendo con nuestros sueños, metas y objetivos. Le agradecemos por permitirnos culminar nuestra carrera con este trabajo de grado que realizamos con mucho amor, esfuerzo y dedicación; a familiares y amigos que compartieron junto a nosotras este proceso, nos apoyaron y motivaron diariamente a seguir adelante; a la Universidad Militar Nueva Granada y su cuerpo docente por todo el proceso de formación ético profesional en nuestra etapa como estudiantes. Por último, agradecemos a nuestro docente y tutor, el Ing. Darwin Mora Villota por su asesoría y acompañamiento durante el desarrollo del trabajo y al Ing. Andrés Aldana Anzola por su esfuerzo y compromiso en la explicación de diversas temáticas necesarias para su desarrollo.

Contenido

	Pág.
Resumen	14
Abstract	15
Introducción	16
CAPÍTULO I	17
1. EL PROBLEMA	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Justificación.....	20
1.4 Estado del arte	21
CAPÍTULO II	24
2. MARCO TEÓRICO	24
2.1 Antecedentes	24
2.2 Definición muros estructurales.....	27
2.3 Ventajas y desventajas	29
2.4 Definición grados de disipación de energía	30
2.6 Requisitos generales de diseño.....	31
2.6.1 Sistema de unidades	31
2.7 Requisitos generales de diseño.....	32
2.7.1 Anexo A.....	32
2.7.2 Procedimiento de diseño.	33
CAPÍTULO III	34
3. PROPUESTA	34

3.1	Título	34
3.2	Áreas.....	34
3.2.1	Área de estructuras.....	34
3.3	Alcance.....	35
3.4	Delimitación	35
3.4.1	Geográfica.....	35
3.4.2	Cronológica.....	35
3.4.3	Conceptual	39
3.5	Metodología	39
3.6	Resultados esperados.....	40
3.7	Aspectos administrativos.....	41
3.7.1	Institucionales	41
3.7.2	Humanos	41
3.7.3	Técnicos	41
3.7.4	Económicos.....	41
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
6.	ANEXOS.....	47
6.1	Anexo A. Tablas para clasificación de sistemas estructurales A.3.1, A.3.2, A.3.3 y A.3.4	47
6.2	Anexo B. Procedimiento de diseño según la NSR-10.....	54
6.3	Manual de procedimiento de diseño para el diseño de muros en concreto de acuerdo al reglamento NSR-10.....	59

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1. Árbol de problemas.....	19
Ilustración 2. Edificio Manuel M. Peraza.....	24
Ilustración 3. Edificio UGI.....	25
Ilustración 4. Edificio Salamanca Amarilo.....	27
Ilustración 5. Acciones que ocurren sobre el muro.....	28
Ilustración 6. Ventajas.....	29
Ilustración 7. Desventajas.....	30
Ilustración 8. Grados de disipación de energía.....	31
Ilustración 9. Sistema internacional de unidades.....	32
Ilustración 10. Paso a paso.....	33
Ilustración 11. Cronograma del proyecto parte 1.....	37
Ilustración 12. Cronograma del proyecto parte 2.....	37
Ilustración 13. Paso 1.....	54
Ilustración 14. Paso 2.....	54
Ilustración 15. Paso 3.....	55
Ilustración 16. Paso 3.....	56
Ilustración 17. Paso 4.....	57
Ilustración 18. Paso 5.....	57
Ilustración 19. Paso 6 y 7.....	58
Ilustración 20. Paso 8.....	58
Ilustración 21. Paso 9.....	59

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Sistema estructural de muros de carga.....	47
Tabla 2. Sistema estructural combinado.	49
Tabla 3. Sistema estructural de pórtico resistente a momentos.	50
Tabla 4. Sistema estructural dual.	52
Tabla 5. Mezcla de sistemas estructurales en la altura.	53

Lista de símbolos

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, mm².

D : Cargas muertas, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

E : Efectos de carga producidos por el sismo o momentos y fuerza internas correspondientes.

F : Cargas debidas al peso y presión de fluidos con densidades bien definidas y alturas máximas controlables, o momentos y fuerza internas correspondientes.

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa.

G : Carga por granizo, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

H : Cargas debidas al empuje lateral del suelo, del agua en el suelo, u otros materiales, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

L : Cargas vivas, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

L_e : Cargas por empozamiento de agua, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

L_r : Cargas vivas de cubierta, o momentos y fuerzas correspondientes.

R : Coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño.

R_0 : Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.

Ω_0 : Coeficiente de sobrerresistencia.

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_s : Resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo de cortante, N.

V_u : Fuerza cortante mayorada en la sección, N.

W : Carga por viento, o momentos y fuerzas internas correspondientes.

(ρ_l) : Relación entre el área de refuerzo longitudinal distribuido al área bruta de concreto perpendicular a este refuerzo (cuantía vertical).

(ρ_t) : Cuantía del área de refuerzo transversal distribuido al área bruta de concreto de una sección perpendicular a este refuerzo (cuantía horizontal).

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

ϕ_a : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación.

ϕ_p : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en planta de la edificación.

ϕ_r : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica.

Resumen

A través de la experiencia en el área de la ingeniería civil, donde se ha venido desarrollando un proceso constructivo industrializado para el diseño de muros en concreto, surge la necesidad de presentar un manual didáctico adecuado, enmarcado en la academia, que facilite el entendimiento de los procesos a tener en cuenta para tal fin. Por ello, a continuación, se presentarán tres ejemplos que sintetizan de mejor manera las condiciones de las categorías de desempeño sísmico, la capacidad de disipación de energía que ocurre en el sistema y los estándares de verificación de acuerdo a sus cargas.

Es importante señalar que, a través de la indagación de la bibliografía propuesta, se logró identificar los aspectos más relevantes para dicha síntesis en los casos de diseño más frecuentes que ocurren en Colombia. Por otra parte, se resaltan algunos casos especiales que requieren diferentes procedimientos y aspectos para una correcta ejecución. Este manual didáctico está referenciado al área de estructuras, realizando un estudio del comportamiento estructural de los muros en concreto, que son usados para la construcción de viviendas de interés prioritario o de conjuntos privados en Colombia, con base el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), su gran finalidad es garantizar que las estructuras diseñadas por ingenieros en proceso de formación y en ejecución de su labor, cumplan con su vida útil, dentro de parámetros de calidad y que a toda costa protejan la vida en caso de un evento sísmico de pequeña o gran magnitud.

Palabras clave: Muros, refuerzo, diseño, estructura, concreto.

Abstract

The industrialized construction of concrete walls has been used for a great amount of time as one the most important structural systems in Colombia. Through the experience of understanding, design and construction, there is a lack of didactic tools to make the design process of these kind of structures more easier. Due to this, the need to create a summary by mean of three examples from that synthesize the conditions of seismic performance categories, the structure dissipation capacity energy, and verification standards, according to the loads it supports, was identified.

In the beginning of the project, a bibliographic review was made, and it allows to identify the relevant aspects and the most frequent design cases in Colombia. Also, other and special cases requires different procedures for proper execution were found. With this information identified, a didactic manual for structural wall system design was proposed. This manual was based on the Colombian Regulation of Construction for Earthquake Resistance (NSR10) and this purpose is to ease design process of this kind of structures based on the study of structural behavior of walls for home priority and private ensembles buildings guaranteeing quality parameters and protection of life in small- or large-scale seismic events.

Keywords: Walls, reinforcement, design, structure, concrete.

Introducción

En los sistemas estructurales de nuestro país predominan los muros de carga, los cuales ofrecen un gran número de ventajas de tipo técnico y económico. Los muros de concreto reforzado son elementos estructurales de suma importancia, que al trabajar en conjunto con otros elementos como vigas, columnas o losas ofrecen a las edificaciones una elevada rigidez. El diseño de sistemas estructurales basados en muros de carga es una práctica ingenieril que requiere la aplicación de los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera y los parámetros descritos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Actualmente se cuenta con dicho reglamento como la normativa vigente para el diseño, construcción y supervisión de las edificaciones en el país, donde se encuentran consignados los criterios correspondientes al diseño de muros en concreto y otros sistemas estructurales, requisitos que en algunos aspectos resultan de difícil comprensión y no permiten alcanzar el objetivo deseado el cual se basa en diseñar cierto tipo de estructura.

Dicho lo anterior el trabajo de grado que se presenta a continuación consiste en un manual didáctico dirigido a estudiantes y profesionales con especial interés en el área de estructuras, el cual busca brindar una herramienta que sirva de guía para el análisis y diseño de muros en concreto teniendo en cuenta los requisitos consignados en el Reglamento NSR-10. El objetivo del manual es presentar la metodología de diseño, junto con tres ejemplos de fácil comprensión para el lector que permita analizar y conocer el tema en cuestión, teniendo en cuenta los diferentes grados de disipación de energía.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente el diseño de sistemas industrializados es un tema que puede llegar a sorprender a un ingeniero civil en formación o que esté comenzando a ejercer su profesión, ya que es fundamental tener conocimiento de diferentes aspectos y criterios indispensables para realizar el diseño de muros en concreto de forma correcta y segura. Existen diversas fuentes de información acerca del diseño de muros de concreto reforzado, por lo que llega a ser confuso comprender la información encontrada, ya que no toda está enmarcada en el reglamento NSR-10; además, no es sencillo hallar ejemplos para los diferentes casos de disipación de energía lo que genera incertidumbre en ingenieros que están próximos a iniciar su vida laboral, ya que no se tiene claridad para analizar la información encontrada del tema en cuestión. El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es la normativa vigente cuando se habla del diseño de muros en concreto, allí están consignados diferentes criterios que deben ser cumplidos a cabalidad, lo anterior sumado al sinnúmero de documentos y fuentes de información que dan como resultado una lluvia de ideas que pueden llegar a generar confusión.

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema:

“Ausencia de ejemplos en la literatura existente sobre el diseño de muros de concreto reforzado que relacionen los distintos parámetros de diseño con los grados de disipación de energía de la normativa vigente en el país, lo que genera confusión en ingenieros en formación o próximos a

iniciar su vida laboral, ya que el análisis de la temática no es fácil de comprender y no se cuenta con ejemplos claros”.

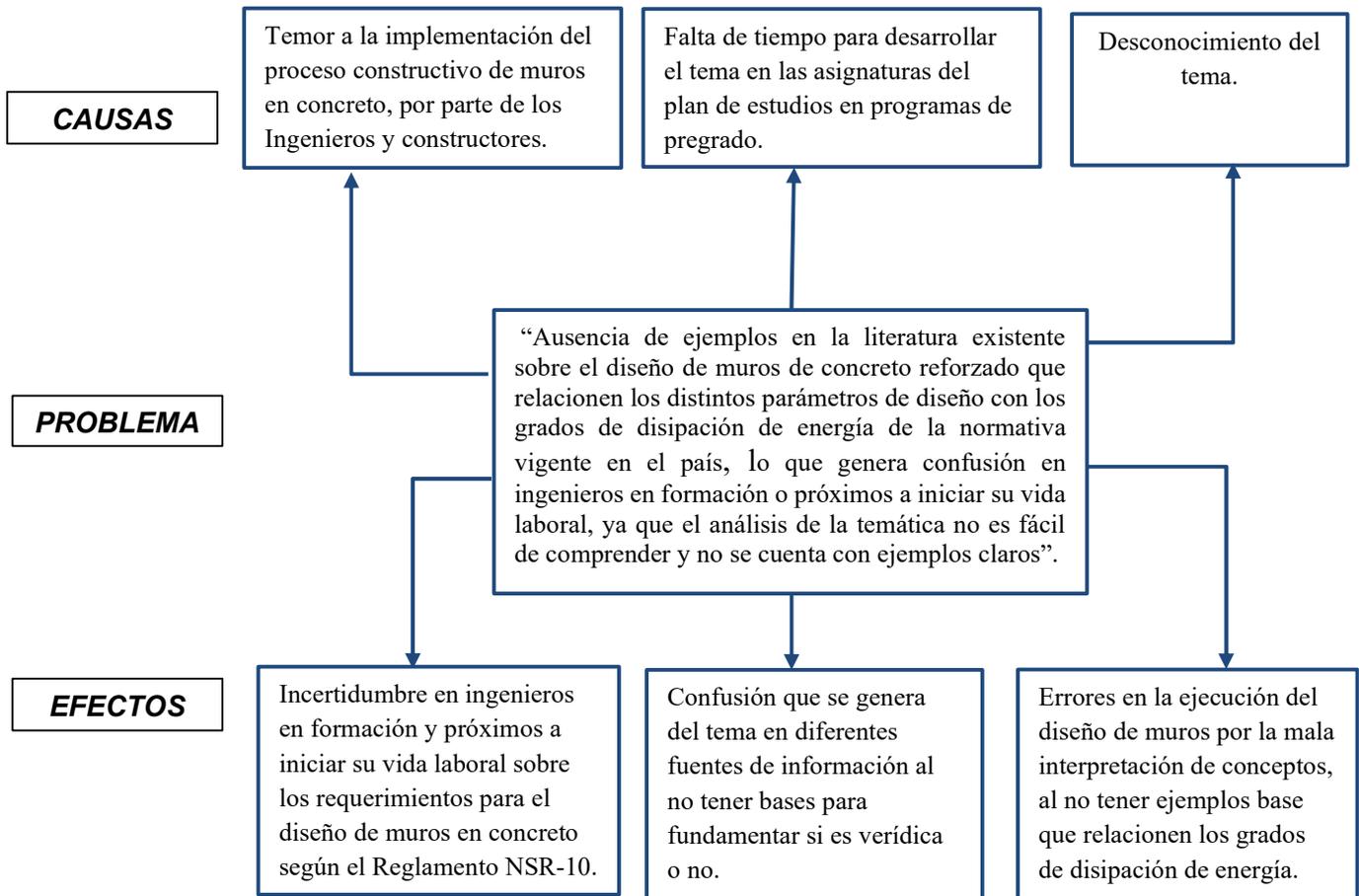


Ilustración 1. Árbol de problemas.
Fuente: Elaboración propia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Generar un manual que muestre el diseño de muros estructurales en concreto reforzado (MECR) para edificaciones en Colombia que permita describir los requisitos mínimos con base en la lectura, estudio y análisis del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un diseño arquitectónico y estructural básico en el software AutoCAD verificando el cumplimiento de requisitos mínimos disponibles en el Reglamento NSR-10.
- Elaborar un manual didáctico que muestre el paso a paso del modelado estructural en el software ETABS 2016 para un proyecto concebido con el sistema industrializado de MECR.
- Determinar los parámetros básicos de diseño correspondientes para cada una de las categorías de desempeño sísmico del sistema estructural en términos de los grados de disipación de energía definidos en el Reglamento NSR-10.
- Identificar los procedimientos de verificación que se deben tener en cuenta para el diseño y análisis de MECR.

1.3 Justificación

El manual didáctico para el diseño de MECR según el Reglamento NSR-10 nace con el fin de suplir la necesidad en la comunidad académica y en ingenieros civiles en ejercicio de su profesión, que no comprenden adecuadamente el procedimiento de diseño de estos elementos estructurales. Las causas de lo anterior radican en la falta de dominio para diseñar MECR y en la mala interpretación de la normativa que rige actualmente en el país; en la mayoría de las universidades esta temática se aborda en los programas de postgrado y si se desea abarcar en el pregrado se debe ejecutar de manera individual y puede llegar a ser contraproducente debido al exceso de información que arroja internet al ser uno de los recursos más usados para la solución de dudas en la carrera se podrían cometer falencias. Sería de gran ayuda ofrecer una herramienta que reúna aspectos y procedimientos de diseño que nos indique por medio de tres ejemplos base, la manera

adecuada de llegar a diseñar MECR cumpliendo con los requisitos mínimos de la normativa; en el arduo recorrido de la búsqueda se puede hacer una mala elección o comprensión de la bibliografía que va arrojando internet, es por ello que nace esta alternativa basada en el Reglamento NSR-10.

En dicho manual se busca brindar un instrumento donde se reflejen todos los elementos necesarios para el diseño de MECR, como lo son: definición de la capacidad de disipación de energía, la distribución del refuerzo vertical y horizontal, la determinación de esfuerzos de flexión, compresión, tensión, las cuantías mínimas y la determinación del uso de elementos especiales de borde. Dichos parámetros anteriormente mencionados hacen parte de las consideraciones del diseño mostradas en el Reglamento NSR-10, no obstante, si se dificulta su entendimiento se puede errar en su aplicación en el diseño. Por ello se considera dar a conocer un manual que exprese de manera clara y entendible un paso a paso para el análisis estructural de los MECR, y además que pueda quedar como bibliografía de consulta en nuestra carrera tanto en la modalidad presencial como a distancia.

1.4 Estado del arte

A lo largo de los años, las necesidades han ido evolucionando en busca de satisfacer el aprovechamiento de espacios con un sistema constructivo que permite la creación de edificaciones que manejan pequeños espesores en sus elementos, alturas considerables si se desea rapidez en la construcción y fácil distribución de espacios arquitectónicos. En el Reglamento NSR-10 (Ministerio de Ambiente, 2010) las categorías de desempeño sísmico del sistema estructural se definen en términos de la capacidad de disipación de energía esperada del sistema, en las cuales encontramos DMI (capacidad mínima), DMO (capacidad moderada) y DES (capacidad especial) dicha clasificación está arraigada con el nivel de amenaza sísmica del lugar donde se desea

construir el proyecto y a su vez definen los factores y condiciones a tener en cuenta en el diseño estructural.

Otra de las grandes ventajas que presenta el sistema de muros según (Carrillo & Alcocer, 2013) es la aplicación de formaletas industriales que permiten una secuencia exacta de armado, fundición y retiro. Entre las cualidades más importantes a la hora de elegir el sistema se encuentra la rigidez, la gran resistencia lateral, la respuesta a las ondas sísmicas y los bajos desplazamientos. Es importante develar que debido al gran auge de dicho sistema en Latinoamérica los diseños estructurales que se realizan no están del todo parametrizados y verificados, es por ello que arbitrariamente los ingenieros toman atribuciones como la reducción de los espesores de los muros, sin tener ningún tipo de consideración en cuanto a verificación de refuerzo, ya que no se han realizado pruebas exactas para saber si la disposición del refuerzo es la correcta. Los ensayos de laboratorio realizados nos definen que se debe tener especial cuidado cuando se emplean muros esbeltos (poco espesor y gran longitud), en el caso de Colombia según (Blandón, Arango, & Díaz, 2015) señalan que los niveles de esbeltez son excesivos a comparación de los registrados en la literatura técnica y además no cuentan con elementos especiales de borde para el confinamiento del concreto; debido a estas precarias condiciones ante cargas sísmicas el diseño estructural resulta con un desempeño por debajo del cual se planteó inicialmente.

Los estudios hasta el momento descritos, muestran la mayoría de las consideraciones que se deben tener en cuenta para el diseño estructural de una edificación con el sistema de MECR en Colombia. Para el caso particular de Colombia el Reglamento NSR-10 (Ministerio de Ambiente, 2010) brinda aspectos relacionados con refuerzo mínimo, método empírico de diseño, muros no portantes, diseño de muros esbeltos y diseño a cortante; en cuanto a los artículos se encontró variación de las cuantías de acero de refuerzo (Prada, Carrillo, & Gélvez, 2016), comportamiento

de muros delgados de concreto reforzado ante cargas laterales (Blandón , Arango, & Díaz, 2015). De acuerdo a lo mencionado se debe plantear una alternativa que unifique y relacione los criterios de diseño estructural de MEQR que encontramos en la literatura, ya que resulta de gran importancia contemplar perspectivas de experiencias sísmicas que han ocurrido en los últimos años, y así reevaluar los parámetros desde un inicio planteados con el fin de mejorar las condiciones a tener en cuenta para un diseño basado en la experiencia complementado con la teoría.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A medida que las generaciones y el tiempo ha ido avanzando, Colombia ha sufrido grandes cambios en su planteamiento de país y mucho más Bogotá en su planteamiento de ciudad; la construcción ha sido una de las áreas que más ha tenido grandes reformas en busca de la mejora continua, donde el sistema industrializado surge con la visión de dar un mecanismo práctico, que conlleva producción y montaje en serie de la mayoría de los elementos constructivos que conforman un proyecto estructural. Vale la pena resaltar algunos ejemplos de hitos constructivos que marcaron la historia e impulsaron la innovación. En primer lugar, se encuentra el Edificio Manuel M. Peraza ubicado en la calle 13 con carrera 17, fue concebido y rompió récord en 1.921 siendo considerado un rascacielos y el primer intento por romper las barreras de altura.



Ilustración 2. Edificio Manuel M. Peraza.

Fuente: <https://revistaaxis.com.co/wp-content/uploads/2019/02/edificio-peraza-bogota-revista-axis-1.jpg>

La facilidad constructiva debido a trabajos en espacios reducidos se ve gratamente sorprendida entre los años 1.973 y 1.974, cuando se plantea la construcción del primer edificio con un sistema constructivo nuclear descendente; es el caso del edificio UGI ubicado muy próximo al río Arzobispo y que manejaba una gran área de construcción. La estructura consistió en una columna central de 0.35 m hueca que reposaba en un dado apoyado en 12 pilotes a más de 28 m de profundidad que fueron excavados de manera manual. Para la construcción de tan extremo edificio, y para mejorar su condición sismo resistente se agregó en cada extremo un pilote que se conectaba entre sí por medio de una viga de amarre. (COLOMBIA CO, s.f.)

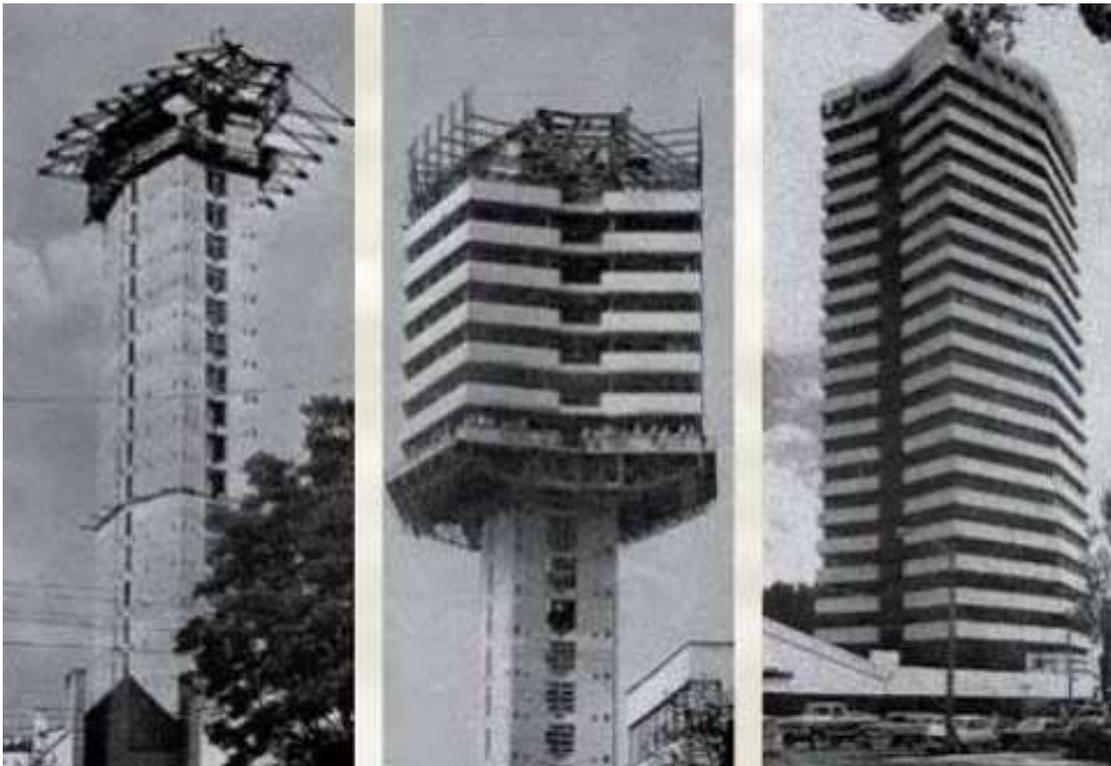


Ilustración 3. Edificio UGI.

Fuente: https://i.ytimg.com/vi/qD6ZqI_WB8E/hqdefault.jpg

Hoy en día, la construcción ha avanzado a grandes pasos, se ha industrializado en gran medida, en realidad se manejan los mismos procesos que hace muchos años, pero de manera

optimizada, eficiente y rápida, y en donde el sistema industrializado de MEQR surge como gran alternativa para permitir fundir muros y placas de manera uniforme, utilizando un concreto con mayor fluidez comparado con el convencional que mejorará en gran medida los tiempos de construcción, los costos del proyecto, el manejo de desperdicios y los posibles imprevistos que pudiesen ocurrir. En los últimos años la implementación del sistema industrializado se ha venido incrementando notablemente, puede definirse un proyecto desde su cimentación con el sistema de muros en concreto reforzado o puede combinarse un sistema de pórticos, por lo general, en los pisos 1 cambia su uso de comercial a residencial, se conectan los dos sistemas por medio de una placa de transición que tiene unas consideraciones especiales.

Un ejemplo de uso de placa de transición entre distintos sistemas estructurales es el caso del proyecto Salamanca de la constructora Amarilo, el cual está construyéndose en este momento en donde funcionaba la sede de la compañía de televisión RTI en la ciudad de Bogotá en la calle 63D #28A – 38. El proyecto nace con la concepción de dar una renovación urbana ofreciendo dos torres con 340 unidades, que irán desde los 71 metros cuadrados y llegando hasta los 88; además, para los comerciantes podemos encontrar una alternativa con los locales comerciales y de vitrinas que se harán de punta a punta, en doble altura, sobre la carrera 30. (AMARILO S.A.S, s.f.)



Ilustración 4. Edificio Salamanca Amarillo.

Fuente: https://amarilo.com.co/sites/default/files/onedrive/salamanca_Fachada_interior_Salamanca_1111x750px.jpg?width=800&height=500

2.2 Definición muros estructurales

Los muros estructurales se definen como muros de cortante capaces de soportar cargas laterales debido a que limitan los desplazamientos, resisten combinaciones de momentos, fuerzas axiales como se muestra en la Ilustración 5. Su desarrollo se debe mantener a lo largo de casi toda la edificación, con alturas que pueden ser de gran magnitud, un ancho moderado y un espesor pequeño. (MIRANDA, 2005); además de esto si se usan en sistema combinado (pórtico y de MECR) pueden resistir cargas verticales.

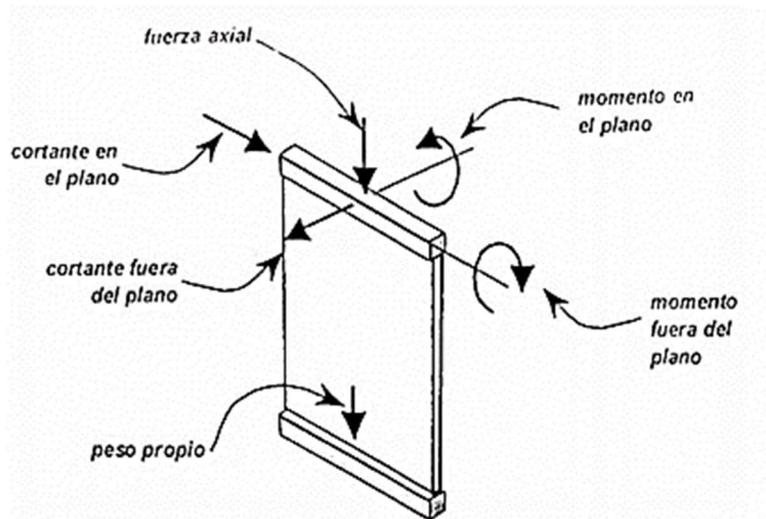


Ilustración 5. Acciones que ocurren sobre el muro.

Fuente: (Miranda, 2005)

Los MECR permiten dar rigidez y resistencia a la estructura si se ubican de manera adecuada, estos permiten controlar los efectos de las deflexiones y el fenómeno de torsión, al poseer estas características se debe considerar la rigidez como el factor fundamental para un diseño adecuado en cuanto a estabilidad se refiere ya que durante acciones sísmicas la minimizan y además cuentan como elementos para disipar energía.

En el caso colombiano, el sistema industrializado ha tenido gran auge debido a que los tiempos de construcción se reducen en comparación con otros sistemas, además su comportamiento estructural ha tenido gran acogida dentro del gremio. A continuación, se describen los requisitos generales descritos en el Reglamento NSR-10 que permitirán un adecuado diseño de muros de carga de acuerdo con la normativa vigente.

2.3 Ventajas y desventajas

El sistema de MECR permite grandes ventajas sobre otro tipo de sistemas constructivos y debido a ello ha tenido un gran auge en nuestro país, a continuación, en el esquema se resumirán las principales razones que permiten optar por este.

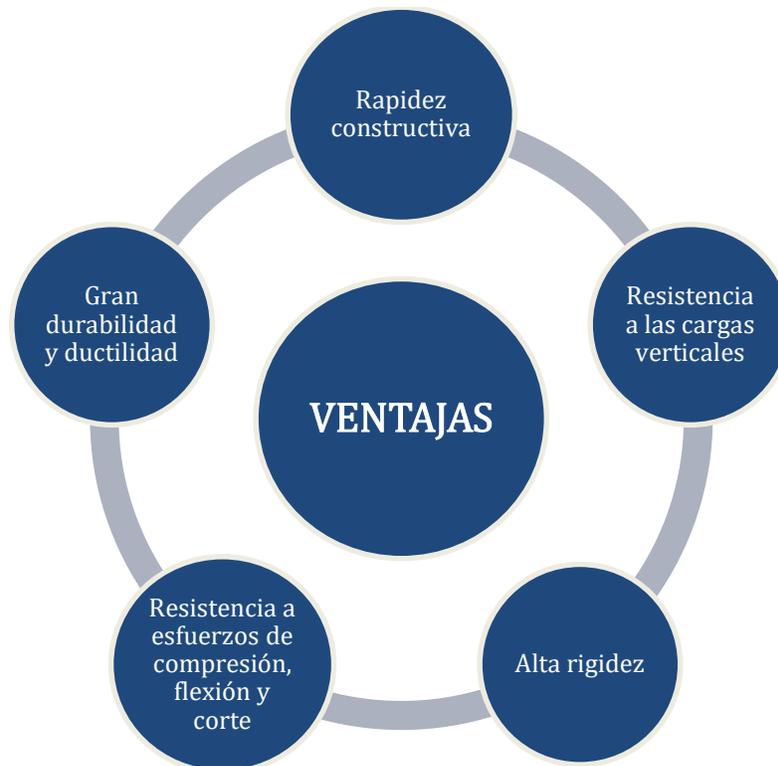


Ilustración 6. Ventajas.
Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que algunos aspectos desfavorecen el sistema constructivo de MECR y entre las principales podemos encontrar que no se opta por este debido a que no permite diseños arquitectónicos muy modernos y la variación que existe entre edificios es poca, ya que las retículas propuestas son replicadas en aras de satisfacer los requisitos. A continuación, se resumen otros aspectos:



Ilustración 7. Desventajas.
Fuente: Elaboración propia.

2.4 Definición grados de disipación de energía

Se encuentran definidas y van de la mano con el concepto de ductilidad ya que permiten grandes deformaciones en el rango inelástico sin perder su resistencia, es así como en el Reglamento colombiano NSR-10 se definen tres categorías de grados de disipación de energía que serán cruciales para definir el nivel de detallado para los elementos estructurales que conforman una edificación. En la siguiente ilustración podremos observar un esquema de detallado para cada grado de disipación de energía.

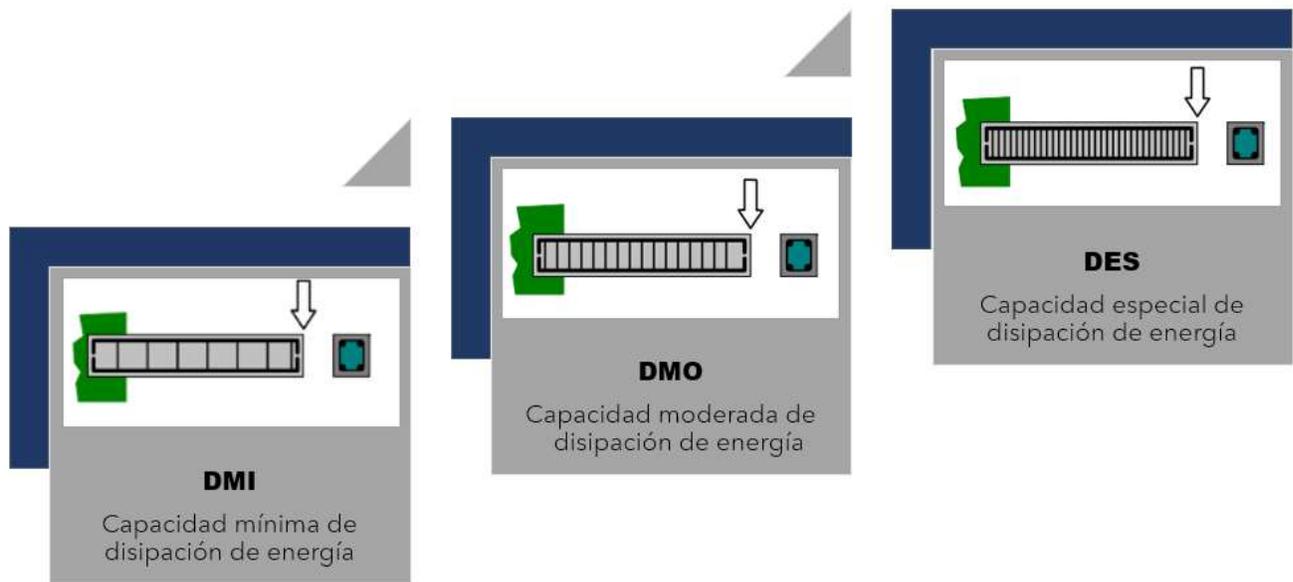


Ilustración 8. Grados de disipación de energía.

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. XXVIII

2.6 Requisitos generales de diseño

2.6.1 Sistema de unidades: Es importante resaltar que el Reglamento NSR-10 exige que los cálculos realizados en herramientas informáticas se realicen de acuerdo con el sistema internacional de unidades, para este caso en particular utilizaremos las siguientes:



Ilustración 9. Sistema internacional de unidades
Fuente: Elaboración propia.

2.7 Requisitos generales de diseño

2.7.1 Anexo A. Para dar inicio a esta temática se debe abordar el capítulo A del Reglamento NSR-10 el cual se titula Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. En el capítulo A.3 se puede encontrar la definición de sistemas estructurales en la sección A.3.2 en la cual se observan 4 tipos generales de sistemas estructurales los cuales se nombran a continuación: Sistema de pórticos, Sistema combinado, Sistema dual y Sistema de muros de carga; cada uno de estos posee características distintas como su grado de disipación de energía y los elementos verticales que tiene en cuenta para la resistencia de fuerzas verticales y laterales, en el anexo A se pueden observar las tablas A.3.1, A.3.2, A.3.3 y A.3.4 las cuales permiten dar la clasificación en los

sistemas estructurales. (Ver anexo A). En el Anexo A se presenta la Tabla A 3-1 del Reglamento NSR-10 Sistema estructural de muros de carga, allí se proporcionan los límites de altura que se miden en metros, desde la base de la edificación o en número de pisos para cada zona de amenaza sísmica. En dicha tabla se muestran los valores de R_0 (coeficiente de capacidad de disipación de energía básico) y de Ω_0 (coeficiente de sobre resistencia).

2.7.2 Procedimiento de diseño. Se da inicio con el procedimiento que se debe usar para cualquier edificación según el Reglamento NSR-10 (Ver anexo B). A continuación, se muestran los pasos mencionados:

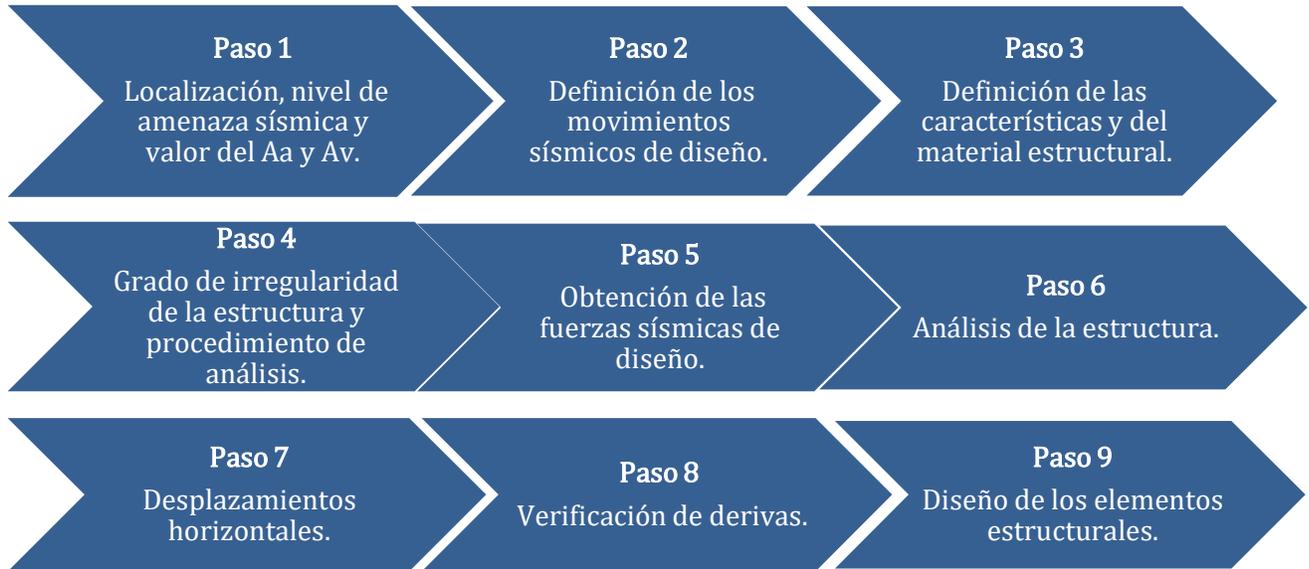


Ilustración 10. Paso a paso
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA

3.1 Título

El título seleccionado para el proyecto es:

**“PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN CONCRETO DE ACUERDO
AL REGLAMENTO NSR-10”.**

3.2 Áreas

3.2.1 Área de estructuras

Este manual está enmarcado en el área de estructuras ya que para su realización es necesario el análisis del comportamiento de los elementos que conforman un sistema industrializado, en el caso particular, haciendo referencia a los muros estructurales. Dentro de este análisis se utiliza la normativa vigente para Colombia en este caso el Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente (NSR-10)¹, por medio del cual se garantiza que las estructuras sean diseñadas con el fin de cumplir su tiempo útil, velen por la integridad, cumplan con los requisitos vigentes y preserven la vida antes, durante y al finalizar un evento sísmico.

¹Fuente: 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

3.3 Alcance

El proyecto se enmarca en la identificación de los procedimientos que se deben llevar a cabo para el diseño de muros estructurales en concreto reforzado que estipula el Título C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), su finalidad es definir un manual que sirva de guía y/o complemento a ingenieros civiles en proceso de formación o profesionales en ejercicio de su labor. Se espera que al culminar el proyecto se obtenga un documento digital didáctico que reúna de manera ordenada los requisitos, procesos y consideraciones especiales para diseñar en Colombia muros estructurales en concreto reforzado.

3.4 Delimitación

3.4.1 Geográfica

El trabajo de grado se realizará en la ciudad Bogotá D.C. y la ciudad de Medellín. El tipo de edificaciones que en Colombia se diseñan debido a su facilidad, rapidez y economía en su mayoría hacen parte del sistema industrializado, por lo tanto, el manual es aplicable para el diseño de muros portantes en concreto reforzado en Colombia bajo el marco normativo del Reglamento NSR-10.

3.4.2 Cronológica

El desarrollo del trabajo de grado se comprenderá en un tiempo aproximado de 12 meses, que inician a partir del mes de junio de 2020 y culminarán en junio de 2021. A continuación, se muestran las principales actividades a lo largo del proyecto



CRONOGRAMA DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO		PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN CONCRETO SEGÚN LA NSR-10																							
DURACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO		12 meses																							
Act. N°	MES	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
	SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Revisión del documento entregado en seminario de investigación y planteamiento del documento de opción de grado.	X																							
2	Redacción del documento Capítulo I (El Problema)		X	X	X																				
3	Revisión y corrección Capítulo I del documento					X																			
4	Redacción del documento Capítulo II (Marco Teórico)						X	X	X																
5	Revisión y corrección Capítulo II del documento									X															
	Redacción del documento Capítulo III (Propuesta)										X	X	X												
6	Revisión y corrección Capítulo III del documento													X											
7	Consulta del Reglamento Colombiano de construcción sismorresistente NSR-10 Título C														X										
8	Planteamiento y definición de criterios a usar en el manual															X	X								
9	Elaboración de plantas y detalles de los diseños en AutoCAD																X	X							
10	Redacción primera parte del manual																		X	X					
11	Modelación ETABS																					X	X	X	
12	Revisión y corrección de modelación																								X

Ilustración 11. Cronograma del proyecto parte 1

Fuente: Elaboración propia



CRONOGRAMA DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO		PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN CONCRETO SEGÚN LA NSR-10																			
DURACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO		12 meses																			
Act. N°	MES	FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
	SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
13	Formulación Excel primera parte	X	X																		
14	Revisión - corrección de formulación y diseño			X																	
15	Redacción segunda parte del manual				X	X															
16	Corrección segundo avance del manual						X														
17	Formulación Excel Segunda parte							X	X												
18	Redacción final del manual									X	X										
19	Corrección final del manual											X	X								
20	Montaje presentación en POWERPOINT preparación exposición final													X	X	X					
21	Entrega final de documento y manual																X	X	X		
22	Impresión del documento y manual																			X	
23	Sustentación final																				X

Ilustración 12. Cronograma del proyecto parte 2.

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Conceptual

En el caso del Procedimiento para el diseño de muros en concreto de acuerdo al Reglamento NSR-10, se tendrán en cuenta los siguientes temas:

- Solicitaciones de diseño.
- Cuantías mínimas.
- Refuerzo vertical.
- Refuerzo horizontal.
- Revisión de elementos especiales de borde.
- Cortante.
- Flexo compresión.

3.5 Metodología

En el marco del avance del proyecto la metodología se basará en la indagación y consulta del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, específicamente el título C; por lo cual, las actividades que se desarrollarán en dicha metodología son:

- Dibujo del planteamiento arquitectónico y estructural en 2D en el software AutoCAD de los MECR que se implementaran en el desarrollo del proyecto.

- Consulta y recopilación de los requerimientos que se deben tener en cuenta para el diseño MEQR en el Título C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Ministerio de Ambiente, 2010).
- Determinación de los aspectos que se enmarcan en el correcto diseño de los MEQR para cada grado de disipación de energía DMI (capacidad mínima), DMO (capacidad moderada) y DES (capacidad especial).
- Manejo básico y modelado de placas y MEQR en 3D en el software ETABS, asignación de cargas, restricciones y espectro de diseño.
- Recopilación de información dada por la modelación en ETABS en el software Microsoft Excel (Cortantes por piso, desplazamientos y derivas por nodos, combinación de carga, datos de piso, asignación de materiales, centros de masa y rigidez, masa por nodo y cortante en la base).
- Unificación y redacción del manual de compilación de criterios a tener en cuenta en el diseño de MEQR en concreto para edificaciones en Colombia según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

3.6 Resultados esperados

En el mes de marzo de 2021 se espera obtener un manual digital que tenga de manera ordenada, clara y concisa los requisitos, y procedimientos necesarios que se tendrán en cuenta para el diseño de MEQR según el Reglamento NSR-10.

3.7 Aspectos administrativos

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se utilizarán los recursos que se nombran a continuación:

3.7.1 Institucionales:

Universidad Militar Nueva Granada.

3.7.2 Humanos:

Ing. Darwin Mora Villota. Universidad Militar Nueva Granada.

Jennifer Tatiana Palacios Delgado. Estudiante de Ingeniería Civil.

Johanna Marcela Jiménez Ortega. Estudiante de Ingeniería Civil.

3.7.3 Técnicos:

Softwares: Paquete de Office 365 versión estudiantil, AutoCAD 2016 versión estudiantil y ETABS 2016. Equipos: Computador, impresora (plotter).

3.7.4. Económicos:

El desarrollo del trabajo de grado se realizará con recursos propios.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el proceso de estructuración de una propuesta de investigación resulta muy importante identificar los aspectos que se planean destacar y a partir de aquí dar enfoque en la consecución de los objetivos que se plantearon, en nuestro caso particular se pudo dar cabida de manera muy esbozada a otras especialidades que van de la mano con la Ingeniería Civil como lo son la Geotecnia y la Arquitectura, las cuales nos sirvieron como base para la realización del manual; cabe resaltar que en el ejercicio profesional se deberán integrar con un mayor énfasis y rigurosidad en busca de la mejora continua con el fin de minimizar los impactos negativos en la gestión de un proyecto.

En el desarrollo de la carrera como Ingenieras Civiles se logra identificar software que son usados a lo largo de nuestra formación como lo son AutoCAD y Excel además estos son usados en nuestro ámbito laboral, desde allí se buscó dar trascendencia al aprendizaje y potencializar nuestros criterios y habilidades aprendidas en las asignaturas para proyectar lo que necesitábamos; por otra parte, al integrar un software como ETABS de manera básica se puede observar las herramientas que se usaron para el desarrollo, estudio, análisis y creación del manual de procedimientos para el diseño de MECR según el Reglamento NSR-10 pero, si se desea realizar otro tipo de análisis o complementar el mostrado, se podrá indagar en los manuales que el programa trae por defecto.

Para el espesor mínimo de los MECR es importante no realizar ningún muro con un espesor menor a 0.10m, aunque el Reglamento NSR-10 no evidencie ninguna restricción con el espesor mínimo para diseñar un MECR en nuestra investigación se pudo evidenciar que si se realizan con un espesor menor a 0.10m los muros no estarían cumpliendo con los requisitos de recubrimiento y

separación mínima, esto se debe a que las dimensiones de los elementos constructivos mallas electrosoldadas, barras de acero y estribos tienen un calibre específico y la reducción de espacio al colocar los elementos impediría un correcto vaciado del concreto.

En las estructuras con capacidad de disipación de energía especial (DES) muchas veces se ve la necesidad de diseñar elementos especiales de borde a medida que el análisis va mostrando las solicitaciones que presenta el muro, cuando se requiere de este tipo de elementos y no se hace por considerar que son de alto costo se puede incurrir en un error de diseño.

Se resalta la importancia de implementar diferentes softwares para el diseño de MEQR en el caso de estudio se utilizó ETABS 2016 que por medio de la modelación permite vistas en 3D y arroja una serie de datos de forma inmediata que son necesarios para diseñar completamente la edificación a implantar; se usó también Microsoft Excel donde es posible ingresar, analizar, condensar los datos numéricos arrojados por el software mencionado anteriormente y así culminar con el diseño.

En el software ETABS 2016 es primordial ser cautelosos al realizar la modelación geométrica de la edificación, dado se puede incurrir en errores como, por ejemplo: superponer elementos, error en asignar el espectro sísmico de diseño, mala asignación de cargas, asignar secciones a elementos que no corresponden o no generar una unión efectiva entre los elementos estructurales, si esto no se verifica a tiempo los errores de geometría nos generarán graves errores de diseño.

En el caso de estudio se logró observar un buen complemento entre los softwares ETABS y Excel ya que obtuvimos en la primera parte (resultados del análisis sísmico por fuerza horizontal

equivalente, los cortantes en la base, los cortantes dinámicos en la base, los factores de ajuste, el chequeo de derivas y el análisis de las irregularidades), posterior a ello y tomando como base estos enriquecidos datos se pudo ejecutar un análisis de cada uno de estos y dar definición al diseño y detallado del proyecto estructural.

Se logra observar la importancia de complementar el diseño estructural con un software que permita mostrar de manera adecuada y ordenada los resultados obtenidos en el análisis; las autoras recomiendan usar AutoCAD para la representación 2D del proyecto estructural ya que permite plasmar el detallado del refuerzo para cualquier grado de disipación de energía sin importar si existen grandes zonas de congestión de refuerzo o si se requiere un nivel de detalle alto, intermedio o bajo.

Por último, y no menos importante se debe tener total responsabilidad, comprensión y cuidado al analizar, procesar y ejecutar los datos que nos arrojan los softwares, pues no es suficiente con saber manejar un software computacional, en el proceso de modelado y análisis del proyecto los conocimientos deben estar sólidos y deben ser cumplir con la normativa exigida por el Reglamento NSR-10.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ACI, P. P. (2005). CAPÍTULO 14 - MUROS. En P. P. ACI, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05) Versión en español y en sistema métrico Es un Estándar del ACI* (pág. 495). Michigan: American Concrete Institute.
- Blandón , C., Arango, J., & Díaz, R. (Mayo de 2015). *VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica organizado por la Universidad de los Andes y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica; Comportamiento de muros delgados de concreto reforzado ante cargas laterales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313632895_Behavior_of_thin_reinforced_concrete_walls_under_lateral_load
- Bondarenko, S., & García, I. (Noviembre de 2012). *Universidad De Carabobo, escuela de ingeniería civil*. Obtenido de MANUAL DE CÁLCULO Y DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/5208/sbondarenko.pdf?sequence=1>
- Briceno , A., & Carreras, N. (Octubre de 2013). *Universidad Católica Andrés Bello, Facultad De Ingeniería Civil- Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011*. Obtenido de https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci38_38236_teg_muros_estructurales_según_chile_2010_y_nz_2011.pdf
- Carrillo , J., & Alcocer, S. (2011). *SciELO; Comportamiento a cortante de muros de concreto para vivienda. Ingeniería sísmica*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2011000200004
- Carrillo, J., & Alcocer, S. (Junio de 2013). *ResearchGate; Resistencia a cortante de muros de concreto reforzado para diseño sísmico de vivienda de baja altura / Shear strength of RC walls for seismic design of low-rise housing*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262003797_Resistencia_a_cortante_de_muros_

de_concreto_reforzado_para_diseno_sismico_de_vivienda_de_baja_altura_Shear_strengt
h_of_RC_walls_for_seismic_design_of_low-rise_housing

- McCormac, J., & Brown, R. (2011). Capítulo 18. Muros. En J. McCormac, & R. Brown, *Diseño de concreto reforzado* (pág. 724). México: Alfaomega.
- Ministerio de Ambiente, V. Y. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sismoresistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica.
- Miranda, P. Z. (Junio de 2005). *Aplicaciones para análisis y diseño de elementos de concreto reforzado*. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/268/ProyectoCompleto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prada, M. A. (2015). *Análisis comparativo en costos del diseño estructural de muros en concreto reforzado, para las categorías de disipación de energía según NSR-10*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/13812>
- Prada, M., Carrillo, J., & Gélvez, C. (2016). Variación de las cuantías de acero de refuerzo de muros de concreto para las categorías de disipación de energía definidas en NSR-10*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 19.
- Romero, G. V. (10 de Agosto de 2016). Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático. *Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático*. Bogotá, Colombia.
- Ruiz, D., Jaramillo, R., Riveros, C., & Gallego, M. (2012). Edificios de concreto reforzado siguiendo la NSR-10 vs sismo de Quetame registrado en Bogotá D.C. *Ingeniería y Ciencia*, 61. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n16/v8n16a06.pdf>

6. ANEXOS

6.1 Anexo A. Tablas para clasificación de sistemas estructurales A.3.1, A.3.2, A.3.3 y A.3.4

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_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
2. Muros estructurales									
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 (DM)	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
j. Muros de mampostería reforzada externamente	el mismo	1.5	2.0	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)									
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 ϕ_a , ϕ_p y ϕ_r para obtener $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$ (Véase A.3.3.3).
- La mampostería no reforzada sólo se permite en las regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde A_a 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 Ω_0 puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.

Tabla 1. Sistema estructural de muros de carga.

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.

B. SISTEMA COMBINADO		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_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.
1. Pórticos de acero con diagonales excéntricas									
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
2. Muros estructurales									
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.

B. SISTEMA COMBINADO		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				alta		intermedia		baja	
				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
3. Pórticos con diagonales concéntricas									
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 ϕ_a , ϕ_p y ϕ_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 Ω_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 20 m en edificios de un piso (naves industriales o similares) que no sean del grupo de uso IV.

Tabla 2. Sistema estructural combinado.

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.

C. SISTEMA DE PÓRTIICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_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.
1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)									
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
2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)									
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
3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)									
a. De concreto (DMI)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
b. De acero (DMI)	el mismo	3.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (DMI)	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 6)	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							
4. Pórticos losa-columna (incluye reticular celulado)									
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 (DMI)	el mismo	1.5	3.0	no se permite		no se permite		si	15 m
5. Estructuras de péndulo invertido									
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:

1. 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.
2. Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de R_0 debe multiplicarse por ϕ_a , ϕ_p y ϕ_r , para obtener $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$ (Véase A.3.3.3).
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.
4. El valor de Ω_0 puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.
5. Se permite hasta una altura de 12m en edificios de un piso (naves industriales o similares) que no sean del grupo de Uso IV.
6. 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.

Tabla 3. Sistema estructural de pórtico resistente a momentos.

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.

D. SISTEMA DUAL		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_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.
1. Muros estructurales									
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
2. Pórticos de acero con diagonales excéntricas									
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.

D. SISTEMA DUAL		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_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.
c. 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 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 excéntricas 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
3. Pórticos con diagonales concéntricas									
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	50 m	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 ϕ_a , ϕ_p y ϕ_r , para obtener $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$ (Véase A.3.3.3).
- El valor de Ω_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.

Tabla 4. Sistema estructural dual.

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.

Descripción de la combinación	Requisitos
Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez	
<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 ($\phi_p = \phi_a = 1.0$), 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 R_0 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 R_0 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 R_0 para la parte superior y el valor de R_0 de la parte inferior.</p>
Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez	
<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>

Tabla 5. Mezcla de sistemas estructurales 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-58.

6.2 Anexo B. Procedimiento de diseño según la NSR-10

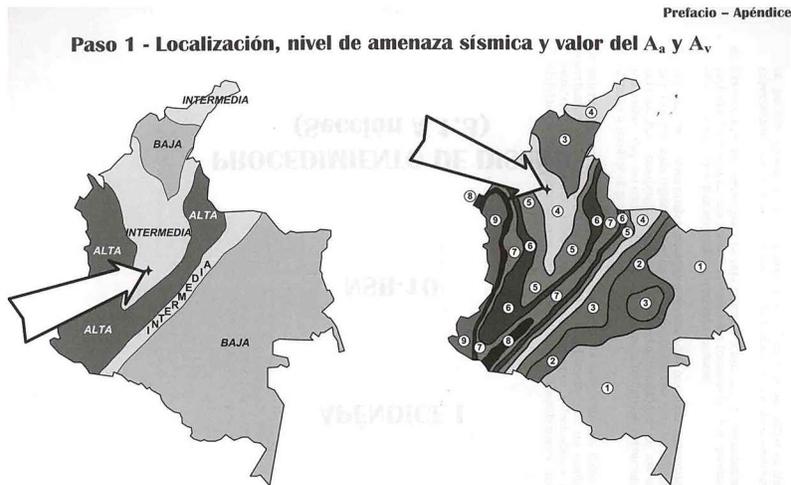


Figura 1 - Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de zonificación sísmica del Capítulo A.2

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

Ilustración 13. Paso 1.

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.

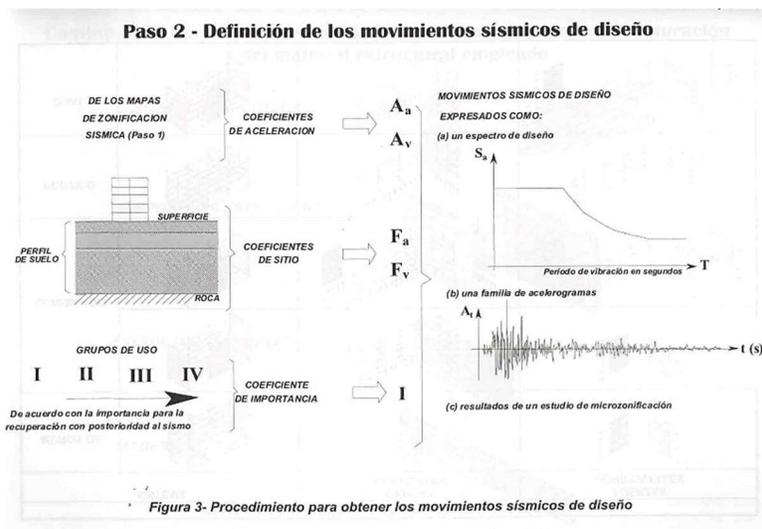


Ilustración 14. Paso 2.

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		
SISTEMA	CARGAS VERTICALES	FUERZAS HORIZONTALES
MUROS DE CARGA		
COMBINADO		
PÓRTICO		
DUAL		

Figura 4 - Sistemas estructurales de resistencia sísmica

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

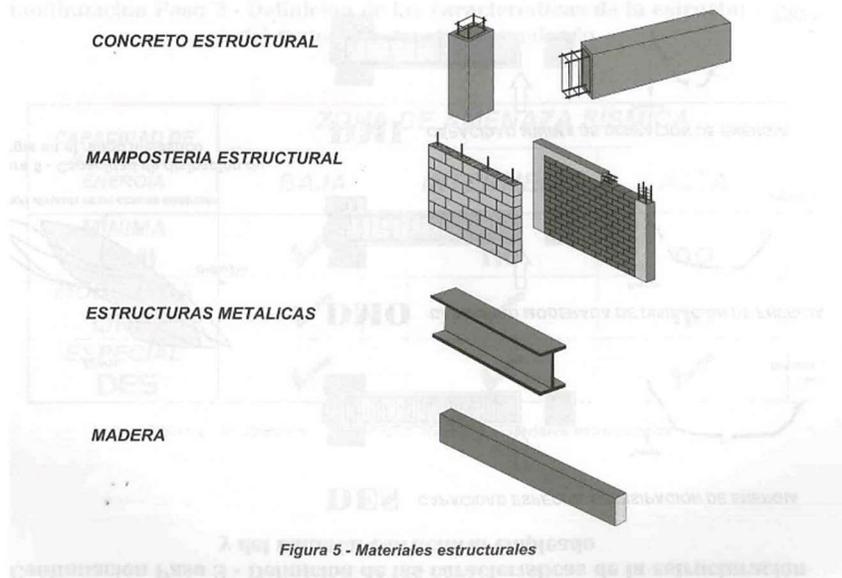


Figura 5 - Materiales estructurales

Ilustración 15. Paso 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. XXIX.

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

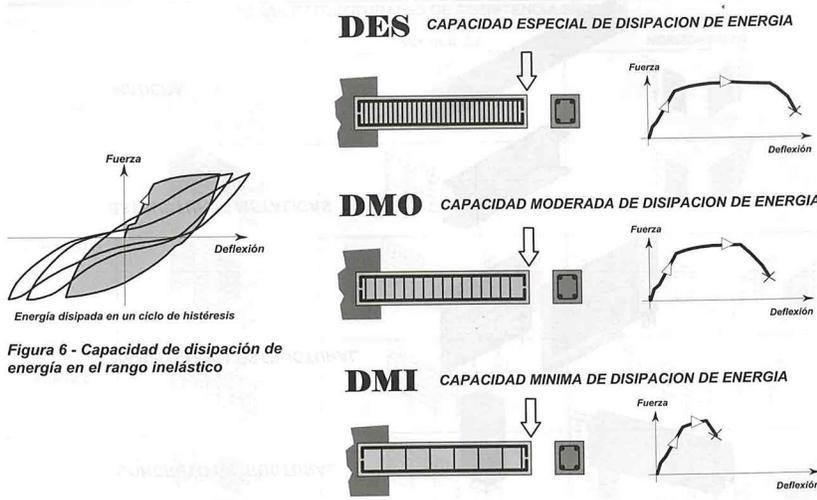


Figura 6 - Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico

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

Continuación 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
MÍNIMA DMI	✓	no	no
MODERADA DMO	✓	✓	no
ESPECIAL DES	✓	✓	✓

Figura 8 - Restricciones al uso de sistemas y materiales estructurales

Ilustración 16. Paso 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. XXIX.

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

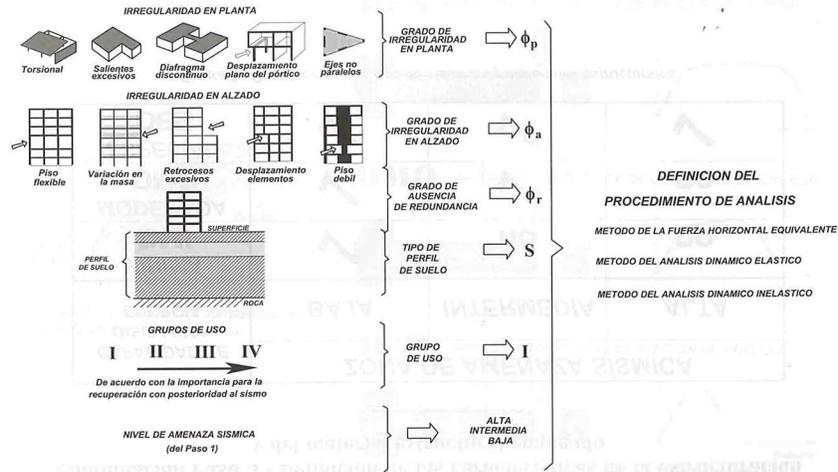


Figura 9 - Procedimiento para definir el grado de irregularidad de la estructura y el método de análisis sísmico

Ilustración 17. Paso 4.

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

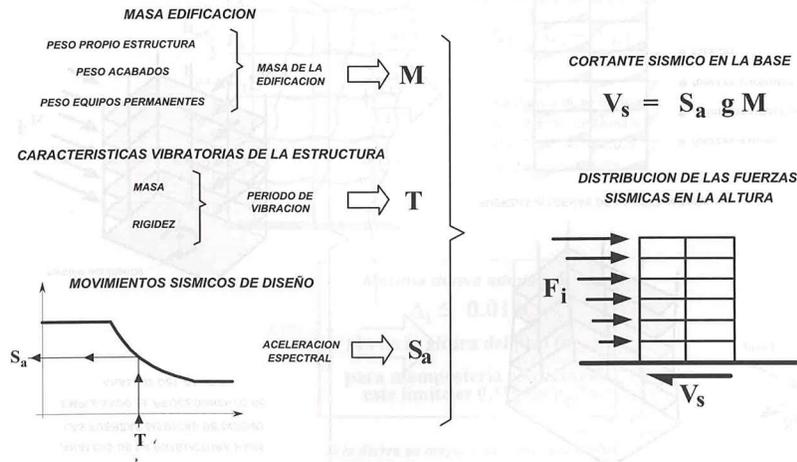


Figura 10 - Procedimiento para obtener las fuerzas sísmicas de diseño

Ilustración 18. Paso 5.

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. XXIII.

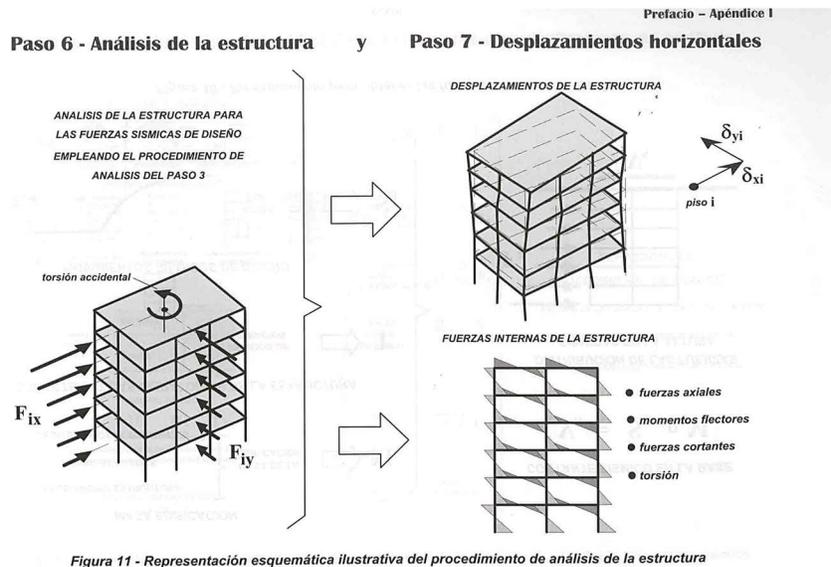


Ilustración 19. Paso 6 y 7.

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. XXIII.

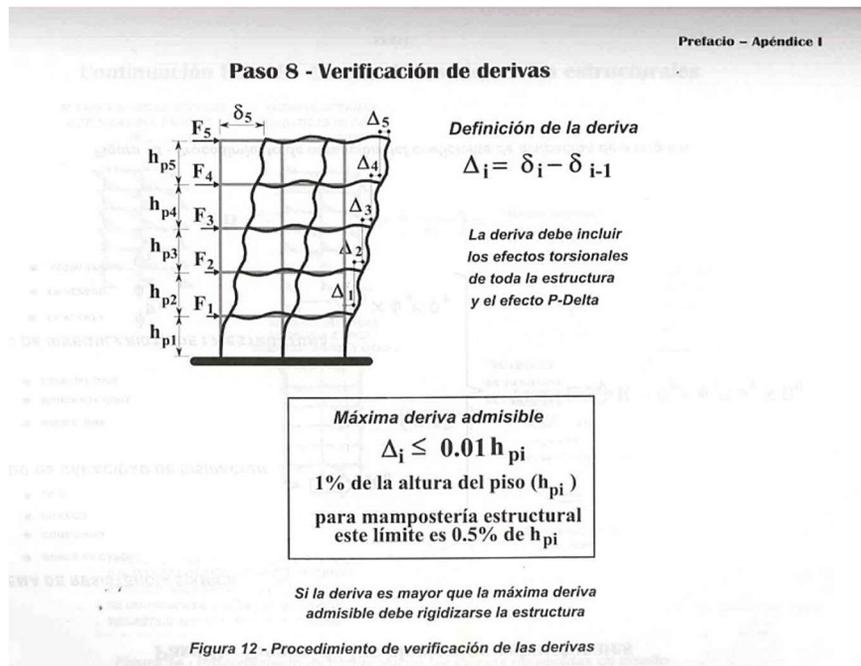


Ilustración 20. Paso 8.

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. XXXV.

Paso 9 - Diseño de los elementos estructurales

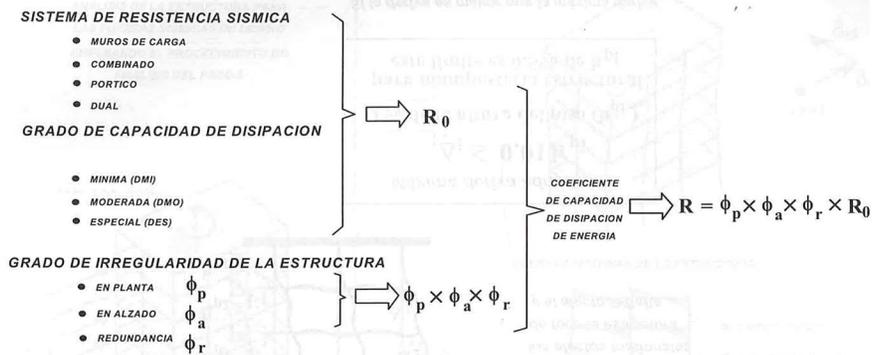


Figura 13 - Procedimiento de obtención del coeficiente de disipación de energía R

Prefacio - Apéndice I

Continuación Paso 9 - Diseño de los elementos estructurales

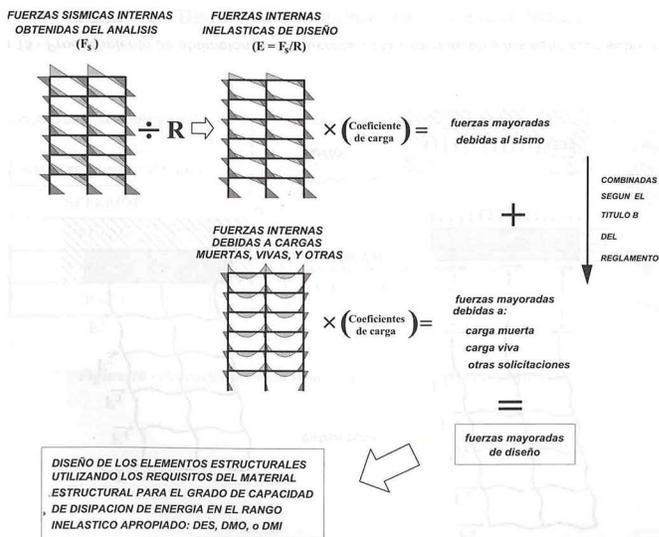


Figura 14 - Procedimiento de obtención de las fuerzas mayoradas de diseño

Ilustración 21. Paso 9.

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.

6.3 Manual de procedimiento de diseño para el diseño de muros en concreto de acuerdo al reglamento NSR-10.



**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MUROS EN CONCRETO DE ACUERDO AL REGLAMENTO NSR-10

BOGOTÁ, COLOMBIA 2021

**Jennifer Tatiana Palacios Delgado
Johanna Marcela Jiménez Ortega**

Contenido

Lista de tablas.....	4
Lista de ilustraciones	5
Lista de símbolos.....	7
1. Procedimiento de definición de criterios generales según capacidad de disipación de energía basado en el Reglamento NSR-10.	8
1.1 Definición emplazamiento del proyecto.	8
1.2 Definición zona de amenaza sísmica	8
1.3 Tipo de perfil de suelo.....	9
1.4 Coeficiente de importancia.....	9
1.5 Espectro de diseño.....	9
1.6 Cargas muertas	10
1.7 Cargas vivas	11
1.8 Combinaciones de carga para diseño.	13
1.9 Combinaciones de carga para el chequeo de derivas.	15
2. Procedimiento de definición de criterios para capacidad moderada de disipación de energía DMO	16
2.1 Definición emplazamiento del proyecto.	16
2.3 Definición zona de amenaza sísmica	16
2.4 Tipo de perfil de suelo.....	16
2.5 Coeficiente de importancia.....	17
2.6 Espectro de diseño.....	17
3. Procedimiento de definición de criterios para capacidad especial de disipación de energía DES	18
3.1 Definición emplazamiento del proyecto.	18
3.2 Definición zona de amenaza sísmica	18

3.3	Tipo de perfil de suelo.....	18
3.4	Coefficiente de importancia.....	19
3.5	Espectro de diseño.....	19
4.	Procedimiento de definición de criterios para capacidad mínima de disipación de energía DMI.....	20
4.1	Definición emplazamiento del proyecto.	20
4.2	Definición zona de amenaza sísmica	20
4.3	Tipo de perfil de suelo.....	20
4.4	Coefficiente de importancia.....	21
4.5	Espectro de diseño.....	21
5.	Procedimiento de diseño general a ejecutar en el software ETABS 2016.	22
5.1	Trazado de ejes o rejilla	25
5.2	Modelación de muros	26
5.3	Modelación de placa.....	29
5.4	Asignación de cargas.....	32
5.5	Asignación de diafragmas	34
5.6	Asignación de restricciones.....	35
5.7	Asignación espectro de diseño	37
5.8	Cargar espectro de diseño al modelo.....	38
5.9	Configuración e inserción combinaciones de diseño.	39
5.10	Chequeo de modelo.....	40
5.11	Análisis de modelo.	41
5.12	Procedimiento para exportar tablas a Microsoft Excel.	41
6.	Procedimiento general a ejecutar en el software Microsoft Excel 2016.	42
7.	Requisitos según Reglamento NSR-10 para el procedimiento de diseño.	47
7.1	Nomenclatura	48

7.2 Cortante.....	49
7.3 Elementos especiales de borde.....	51
7.4 Procedimiento de diseño.....	52
8 Glosario.....	56
9 Bibliografía.....	59

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de los perfiles de suelo.....	9
Tabla 2. Valores del coeficiente de importancia, I.	9
Tabla 3. Valores del coeficiente F_a , para la zona de períodos cortos del espectro.....	10
Tabla 4. Valores del coeficiente F_v , para la zona de períodos intermedios del espectro.	10
Tabla 5. Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos.	10
Tabla 6. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.	11
Tabla 7. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.	17
Tabla 8. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.	19
Tabla 9. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.	21
Tabla 10. Refuerzo en el alma.	50
Tabla 11. Cuantía mínima.	50
Tabla 12. Elementos de borde.	51
Tabla 13. Áreas de estribos para los elementos especiales de borde.	52

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Mapa de amenaza sísmica de Colombia.....	8
Ilustración 2. Configuración de escalera.....	12
Ilustración 3. Combinaciones básicas.....	13
Ilustración 4. Consideración de factores por Fuerza Horizontal Equivalente.....	14
Ilustración 5. Resultados del análisis por el método modal espectral.....	14
Ilustración 6. Localización Medellín - Antioquia.....	16
Ilustración 7. Espectro de diseño Medellín.....	17
Ilustración 8. Localización Bucaramanga - Santander.....	18
Ilustración 9. Espectro de diseño Bucaramanga.....	19
Ilustración 10. Localización Cartagena - Bolívar.....	20
Ilustración 11. Espectro de diseño Cartagena.....	21
Ilustración 12. Planta a diseñar.....	22
Ilustración 13. Muros a diseñar.....	23
Ilustración 14. Pantalla inicial ETABS 2016.....	24
Ilustración 15. Guardar proyecto.....	24
Ilustración 16. Configuración del Grid.....	25
Ilustración 17. Configuración del Grid, parte 2.....	26
Ilustración 18. Ejes proyecto.....	26
Ilustración 19. Configuración muros.....	27
Ilustración 20. Dibujo de muro.....	28
Ilustración 21. Modelado de muros.....	28
Ilustración 22. Configuración de losa.....	30
Ilustración 23. Dibujo de losa.....	31
Ilustración 24. Modelado de losa.....	31
Ilustración 25. Selección por tipo.....	32
Ilustración 26. Asignación cargas.....	33
Ilustración 27. Asignación diafragmas.....	34
Ilustración 28. Copia de elementos.....	35
Ilustración 29. Tipos de restricciones.....	36
Ilustración 30. Asignación restricciones.....	36

Ilustración 31. Modelado 3D.	36
Ilustración 32. Asignación espectro de diseño.....	37
Ilustración 33. Carga espectro de diseño al modelo.	38
Ilustración 34. Configuración e inserción combinaciones de diseño.....	39
Ilustración 35. Chequeo de modelo.	40
Ilustración 36. Analizar modelo.....	41
Ilustración 37. Explorador de Modelos.....	42
Ilustración 38. Combinaciones de carga.	43
Ilustración 39. Datos de pisos.	44
Ilustración 40. Lista de materiales.	44
Ilustración 41. Masas por nodo.....	44
Ilustración 42. Centros de masa y rigidez.....	45
Ilustración 43. Participación masa modal.....	45
Ilustración 44. Cortante en la base.....	45
Ilustración 45. Cortantes de piso.....	46
Ilustración 46. Desplazamientos y derivas de nodos.....	46
Ilustración 47. Desplazamientos del centro de masa de los diafragmas.....	46
Ilustración 48. Resultados derivas.....	47

Lista de símbolos

F_a : Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.

F_v : Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional, dado en A.2.4.5.

A_a : Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva para diseño, de acuerdo con A.2.2.

A_v : Coeficiente de aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva para diseño de acuerdo con A.2.2.

A_e : Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada, dado en A.10.3

A_d : Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para el umbral de daño, dado en A.12.2.

1. Procedimiento de definición de criterios generales según capacidad de disipación de energía basado en el Reglamento NSR-10.

1.1 Definición emplazamiento del proyecto.

En este primer paso se da la ubicación geográfica para la implantación del proyecto.

1.2 Definición zona de amenaza sísmica

En el Reglamento colombiano NSR-10 se encuentra la sección A.2.3 y el mapa de la figura A.2.3-1. el cual nos permite establecer la zona de amenaza sísmica.

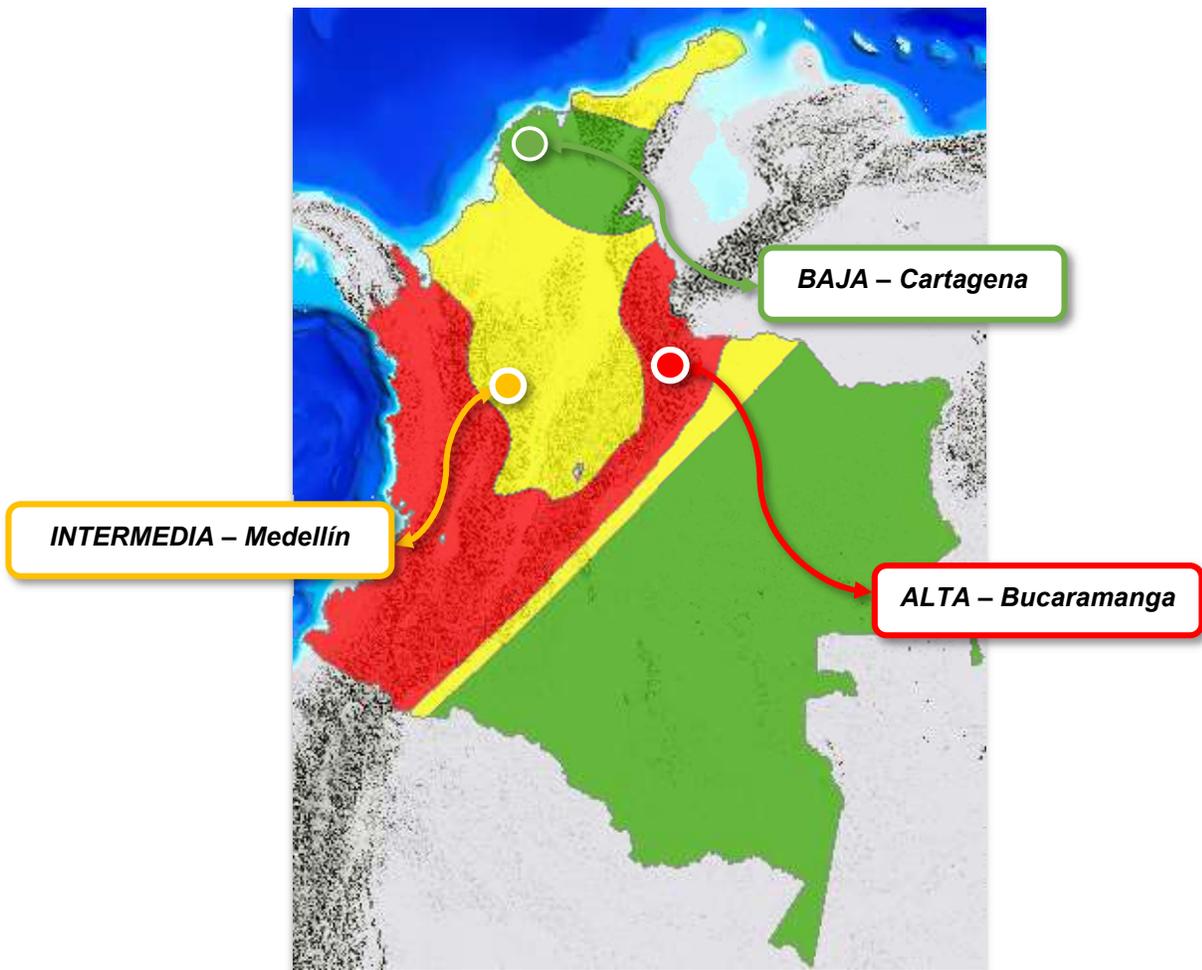


Ilustración 1. Mapa de amenaza sísmica de Colombia.
Fuente: https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/

1.3 Tipo de perfil de suelo

Para este parámetro se debe consultar la sección A.2.4.2 del Reglamento colombiano NSR-10, la cual brindará las opciones según necesitemos en la tabla A.2.4-1.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
B	Perfil de roca rigidez media	$1500\text{m/s} \geq \bar{V}_s \geq 760\text{m/s}$

Tabla 1. Clasificación de los perfiles de suelo.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-22

1.4 Coeficiente de importancia

Se encuentra detallado en la sección A.2.5 del Reglamento NSR-10 y permite definir grupos de uso y los valores del coeficiente de importancia según la tabla A.2.5-1; para el caso definimos un grupo de uso 1 debido a que el edificio de estudio se encuentra catalogado como una estructura de ocupación normal su coeficiente de importancia sería $I = 1.00$.

Grupo de uso	Coeficiente de importancia, I
I	1.00

Tabla 2. Valores del coeficiente de importancia, I.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-26

1.5 Espectro de diseño

Citados en el Reglamento NSR-10 sección A.2.6 y complementada con las tablas específicas en el apéndice A-4 según el emplazamiento del proyecto se indaga en la tabla correspondiente por departamento y se definen los valores de: A_a , A_v , A_e , A_d . Para los tres ejemplos que se efectuarán en el presente manual los valores de parámetros de suelo $F_a = 1.0$ y $F_v = 1.0$

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 3. Valores del coeficiente F_a , para la zona de períodos cortos del espectro.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-23

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 4. Valores del coeficiente F_v , para la zona de períodos intermedios del espectro.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-23

1.6 Cargas muertas

Las cargas a usar en el modelo se basan en el Reglamento NSR-10 sección B.3.4.1, la tabla B.3.4.1-4 permite realizar el cálculo del espesor equivalente de la placa, tomamos en cuenta los siguientes criterios:

Componente	Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Baldosa cerámica (20mm) sobre 12mm de mortero.	0.80	80
Madera densa 25mm	0.20	20

Tabla 5. Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. B-11

$$\text{Baldosa cerámica (20mm) sobre 12mm de mortero} = 80 \text{ kgf/m}^2.$$

$$\text{Madera densa, 25mm} = 20 \text{ kgf/m}^2.$$

$$\text{Peso espesor inicial placa 100mm} = 240 \text{ kgf/m}^2.$$

$$Total = 340 \text{ kgf/m}^2.$$

Para la transformación del espesor que representa los 340 kgf/m^2 y hallar el espesor equivalente:

$$Espesor\ equivalente = \frac{340 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{\gamma\ \text{concreto}}$$

$$Espesor\ equivalente = \frac{340 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}$$

$$Espesor\ equivalente = 0.1416\text{m}$$

1.7 Cargas vivas

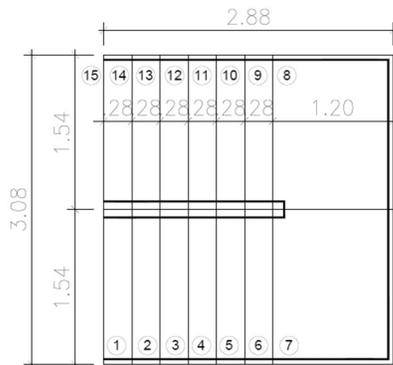
En el Reglamento NSR-10 se encuentra la sección B.3.4.2, la cual contiene la tabla B.4.2.1-1, que establece las cargas vivas mínimas que se distribuirán uniformemente en la placa según el uso de la edificación a analizar, para el caso se define una carga viva para una ocupación residencial con cuartos privados y sus corredores de 180 kgf/m^2 . Por otra parte, para el cálculo de la carga viva de las escaleras se define dicha para una ocupación residencial de 300 kgf/m^2 .

Ocupación o uso		Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Residencial	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300

Tabla 6. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. B-15

Para dar cumplimiento a la normativa vigente en el Reglamento NSR-10 nos remitimos al título K sección K.3.8.3, la cual establece según NTC 4140 y NTC 4145 parámetros de capacidad, anchos mínimos, huellas y contrahuellas, descansos, pasamanos, altura libre mínima y materiales, razón por la cual se adoptaron los siguientes:



$$\text{Altura libre} = 2.60 \text{ m}$$

$$\text{Huella (h)} = 0.28 \text{ m}$$

$$\text{Contrahuella (ch)} = 0.17333 \text{ m}$$

Ilustración 2. Configuración de escalera.

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Ancho mínimo} = 1.20\text{m}$$

$$\text{Ancho adoptado} = 1.54\text{m}$$

$$(a) \text{Ancho mínimo huella} = 0.28\text{m}$$

$$\text{Ancho adoptado} = 0.28\text{m}$$

(b) Altura contrahuella

$$= \frac{\text{altura libre}}{\# \text{ contrahuellas}} \text{ No menor a } 0.10\text{m} \text{ ni mayor a } 0.18\text{m}$$

$$\text{Altura contrahuella adoptada} = \frac{2.60\text{m}}{15} = 0.1733\text{m}$$

$$(c) 2ch + h = \text{entre } 0.62\text{m} \text{ y } 0.64\text{m}$$

$$(2)0.17333m + 0.28 = 0.6266m$$

1.8 Combinaciones de carga para diseño.

Las combinaciones de cargas básicas disponibles en el Reglamento NSR-10 en la sección B.2.4.2 permiten diseñar la estructura para que sus resistencias de diseño puedan igualar los efectos de las cargas mayoradas basándose en las siguientes combinaciones:

$1.4(D+F)$	(B.2.4-1)
$1.2(D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$	(B.2.4-2)
$1.2D+1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)+(L \text{ ó } 0.8W)$	(B.2.4-3)
$1.2D+1.6W+1.0L+0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$	(B.2.4-4)
$1.2D+1.0E+1.0L$	(B.2.4-5)
$0.9D+1.6W+1.6H$	(B.2.4-6)
$0.9D+1.0E+1.6H$	(B.2.4-7)

Ilustración 3. Combinaciones básicas.

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. B-6

Antes de ingresar las combinaciones al Software ETABS debemos realizar los ajustes correspondientes por Fuerza horizontal Equivalente y así castigar el sismo al asignar las combinaciones de carga para diseño y para el chequeo de derivas, se realizan los siguientes chequeos, teniendo como base los siguientes valores:

- *Factor de importancia* $I = 1.00$
- *Coefficiente de disipación* $R_x = 3.20$; $R_y = 3.20$
- *Factor de sobrerresistencia* $\Omega_0 = 2.50$
- **(D)** *Carga muerta.*
- **(L)** *Carga viva.*
- **(LCUB)** *Carga viva de cubierta.*

Procedemos a realizar las consideraciones y análisis con ayuda del software Excel.

Consideración de factores de ajuste por FHE		
Los factores de escala para SX y SY corresponden a los factores de ajuste F_x y F_y .		
Comb.	SX	SY
FSX	1,36	
FSY		1,56
Consideración del coeficiente de importancia I		
Los factores de escala para FSX y FSY corresponden al factor de importancia I.		
Comb.	FSX	FSY
FSXI	1,00	
FSYI		1,00
Consideración del coeficiente de disipación R		
Los factores de escala para FSXI y FSYI corresponden a $1/R_x$ y $1/R_y$ respectivamente.		
Combo	FSXI	FSYI
FEX	0,31	
FEY		0,31
Consideración del factor de sobre-resistencia Ω_0 .		
Los factores de escala para FEX y FEY corresponden al factor de sobre-resistencia Ω_0 .		
Comb.	FEX	FEY
SRFEX	2,50	
SRFEY		2,50

Ilustración 4. Consideración de factores por Fuerza Horizontal Equivalente.
Fuente: Elaboración propia

Resultados del análisis por el método modal espectral			
Periodos fundamentales obtenidos del modelo		Cortantes en la base obtenidos del modelo	
$T_x = 1,11$ s		Derivas	Diseño
$T_y = 0,68$ s		$V_{ix} = 669,4$ tf	669,4 tf
		$V_{iy} = 844,7$ tf	844,7 tf
Ajuste de cortante en la base por Fuerza Horizontal Equivalente NSR-10 - Sección A.5.4.5			
Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base.			
Periodo fundamental de la estructura		Periodo definitivo NSR-10 - Sección A.4.2.2	
Periodo aproximado		Periodo definitivo	
$C_u = 1,75 - 1,2A_v F_v$			
$C_u = 1,51$	$T_x = C_t \cdot h^0 = 0,65$ s	$T_x = 0,98$ s	
$C_t = 0,049$	$C_u \cdot T_u = 0,98$ s	$T_y = 0,68$ s	
$\alpha = 0,75$			
Cortante en la base por FHE			
Derivas	Diseño	Derivas	Diseño
$S_{ox} = 0,246$	0,246	$V_{ix} = 1014,3$ tf	1014,3 tf
$S_{oy} = 0,355$	0,355	$V_{iy} = 1463,4$ tf	1463,4 tf
Factores de Ajuste NSR-10 - Sección A.5.4.5			
Estructura irregular			
$0,90 \cdot V_{ix} / V_{ix} = 1,36$		$F_x = 1,36$	
$0,90 \cdot V_{iy} / V_{iy} = 1,56$		$F_y = 1,56$	

Ilustración 5. Resultados del análisis por el método modal espectral.
Fuente: Elaboración propia

Posterior a este análisis y teniendo como base los valores ingresamos en ETABS de manera ordenada de la siguiente forma:

1.4 (D) → *Básada en (B. 2. 4 – 1) e insertada como M01*

1.2(D) + 1.6(L) + 0.5 (LCUB) → *Básada en (B. 2. 4 – 2) e insertada como M02.*

1.2(D) + 1.0(L) + 1.0 (FEX) → *Básada en (B. 2. 4 – 5) e insertada como M03 en X.*

1.2(D) + 1.0(L) + 1.0 (FEY) → *Básada en (B. 2. 4 – 5) e insertada como M05 en Y.*

0.9(D) + 1.0 (FEX) → *Básada en (B. 2. 4 – 7) e insertada como M07 en X.*

0.9(D) + 1.0(FEY) → *Básada en (B. 2. 4 – 7) e insertada como M09 en Y.*

1.9 Combinaciones de carga para el chequeo de derivas.

Se ingresarán e identificarán de manera ordenada de la siguiente forma:

$1.2(D) + 1.0(L) + 1.0 (FSX) \rightarrow$ *Básada en (B. 2. 4 – 5) e insertada como 1.*

$1.2 (D) + 1.0 (L) + 1.0 (FSY) \rightarrow$ *Básada en (B. 2. 4 – 5) e insertada como 3.*

$0.9 (D) + 1.0 (FSX) \rightarrow$ *Básada en (B. 2. 4 – 7) e insertada como 5.*

$0.9 (D) + 1.0 (FSY) \rightarrow$ *Básada en (B. 2. 4 – 7) e insertada como 7.*

2. Procedimiento de definición de criterios para capacidad moderada de disipación de energía DMO

2.1 Definición emplazamiento del proyecto.

Procedemos a elegir departamento y municipio: Antioquia – Medellín

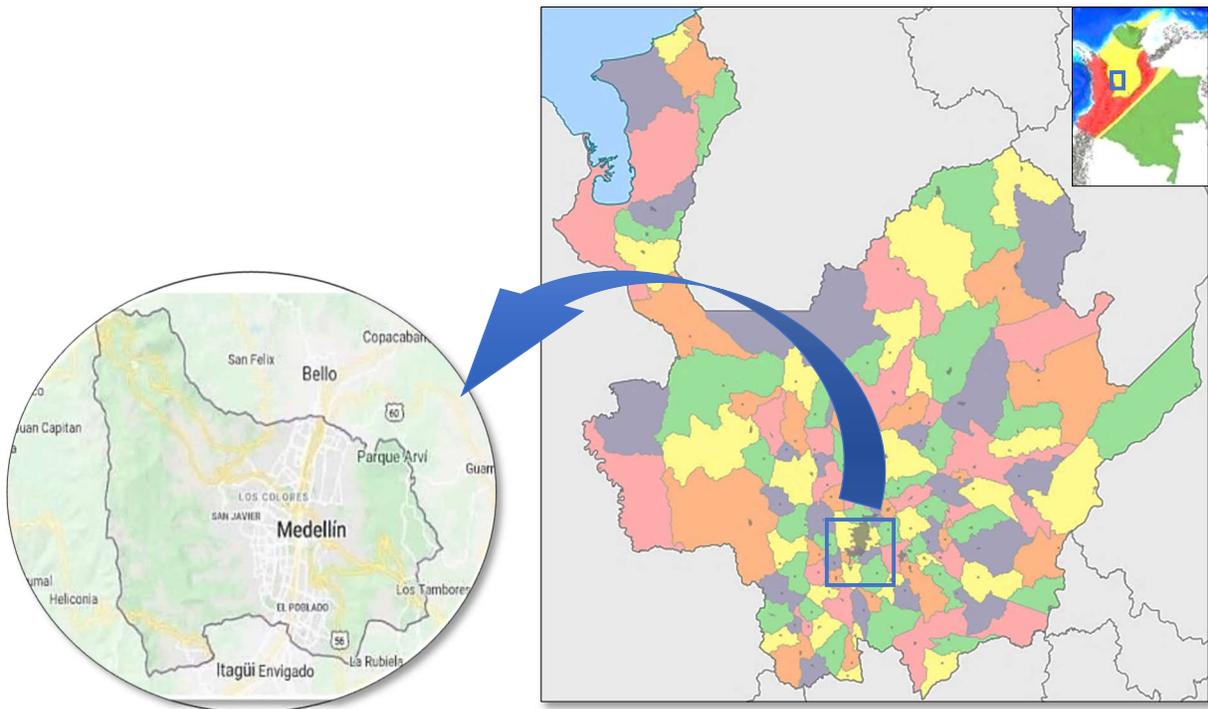


Ilustración 6. Localización Medellín - Antioquia.
Fuente: Elaboración propia basada en Google Maps.

2.3 Definición zona de amenaza sísmica

Para el caso de Medellín-Antioquia definimos una zona de amenaza sísmica **Intermedia**.

2.4 Tipo de perfil de suelo

Para el ejemplo de estudio se define **perfil Tipo B**.

2.5 Coeficiente de importancia

Para el caso definimos un grupo de uso 1 debido a que el edificio de ejemplo se encuentra catalogado como una estructura de ocupación normal su coeficiente de importancia sería $I = 1.00$.

2.6 Espectro de diseño

Para el caso de Medellín se asignan los siguientes valores:

Departamento de Antioquia						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de amenaza sísmica	A_e	A_d
Medellín	05001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07

Tabla 7. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-153

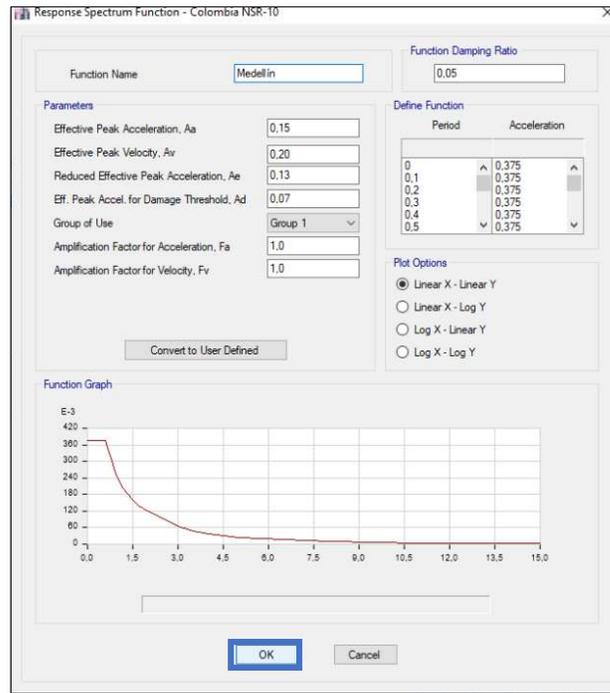


Ilustración 7. Espectro de diseño Medellín.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

3. Procedimiento de definición de criterios para capacidad especial de disipación de energía DES

3.1 Definición emplazamiento del proyecto.

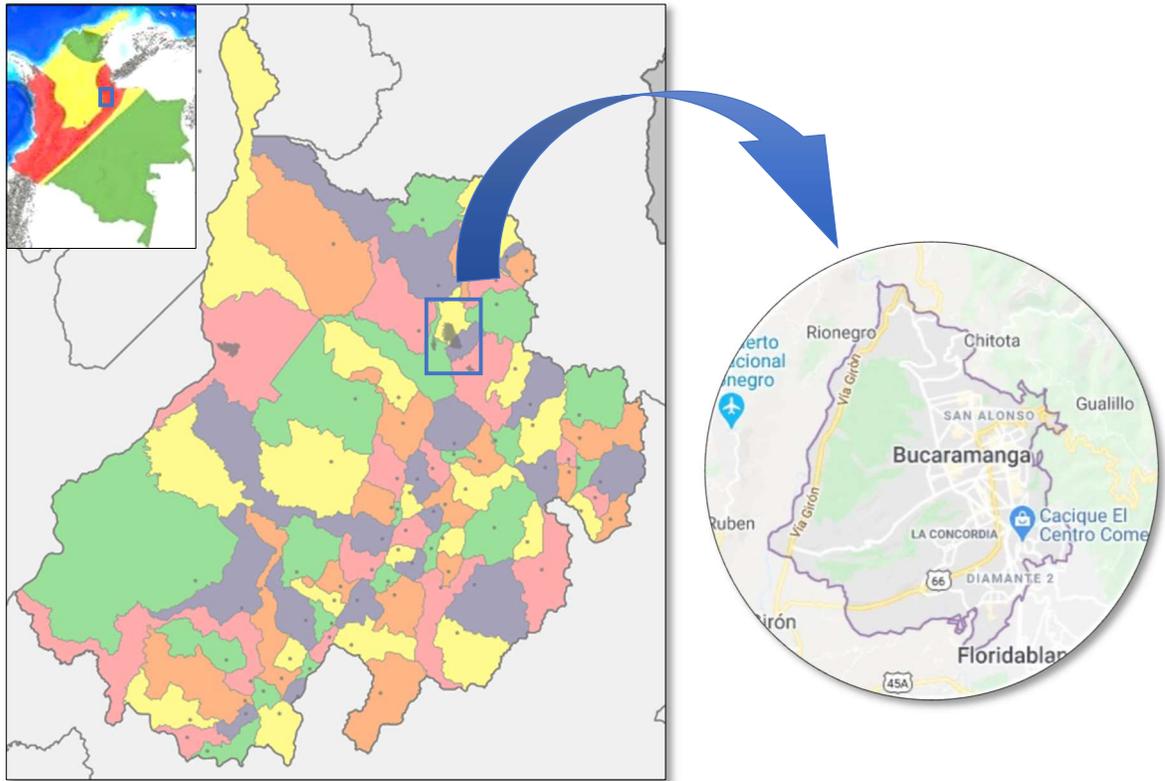


Ilustración 8. Localización Bucaramanga - Santander.
Fuente: Elaboración propia basada en Google Maps.

3.2 Definición zona de amenaza sísmica

Para el caso de Bucaramanga-Santander definimos una zona de amenaza sísmica **Alta**.

3.3 Tipo de perfil de suelo

Para el ejemplo de estudio se define **perfil Tipo B**.

3.4 Coeficiente de importancia

Para el caso definimos un grupo de uso 1 debido a que el edificio de ejemplo se encuentra catalogado como una estructura de ocupación normal su coeficiente de importancia sería $I = 1.00$.

3.5 Espectro de diseño

Para el caso de Santander se asignan los siguientes valores:

Departamento de Santander						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de amenaza sísmica	A_e	A_d
Bucaramanga	68001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09

Tabla 8. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-170

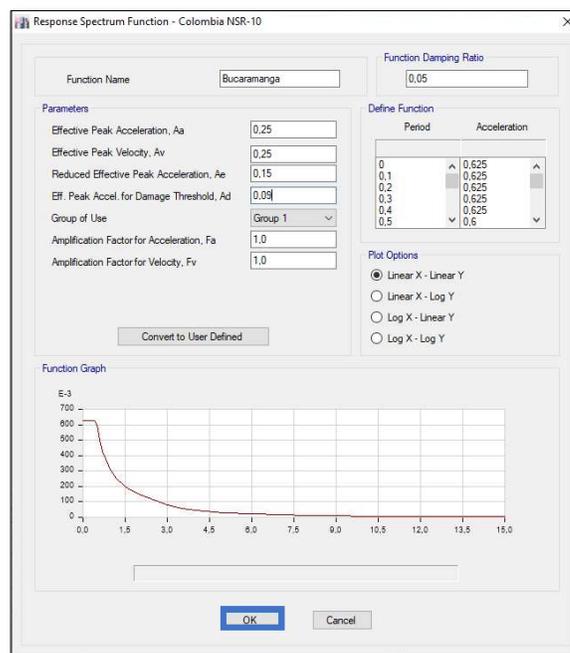


Ilustración 9. Espectro de diseño Bucaramanga
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

4. Procedimiento de definición de criterios para capacidad mínima de disipación de energía DMI

4.1 Definición emplazamiento del proyecto.

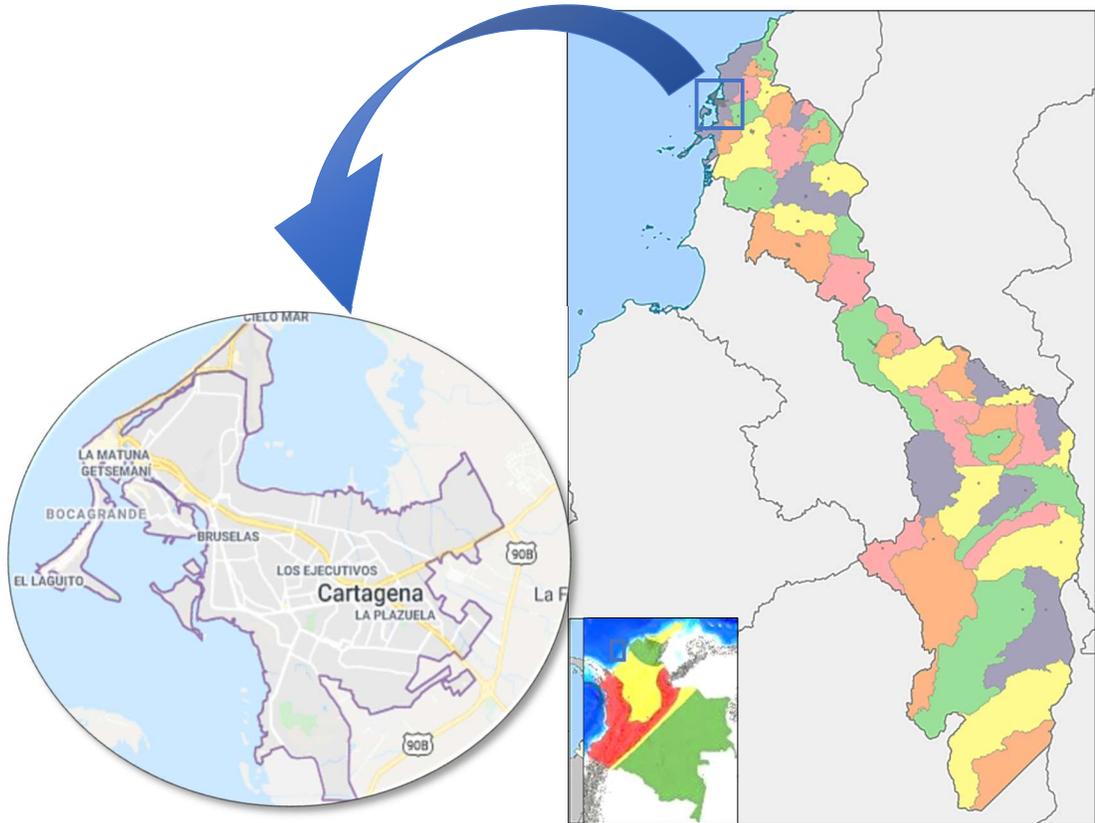


Ilustración 10. Localización Cartagena - Bolívar.
Fuente: Elaboración propia basada en Google Maps.

4.2 Definición zona de amenaza sísmica

Para el caso de Cartagena - Bolívar definimos una zona de amenaza sísmica **baja**.

4.3 Tipo de perfil de suelo

Para el ejemplo de estudio se define **perfil Tipo B**.

4.4 Coeficiente de importancia

Para el caso definimos un grupo de uso 1 debido a que el edificio de ejemplo se encuentra catalogado como una estructura de ocupación normal su coeficiente de importancia sería $I = 1.00$.

4.5 Espectro de diseño

Para el caso de Cartagena se asignan los siguientes valores:

Departamento de Bolívar						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de amenaza sísmica	A_e	A_d
Cartagena	13001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03

Tabla 9. NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2012. p. A-156

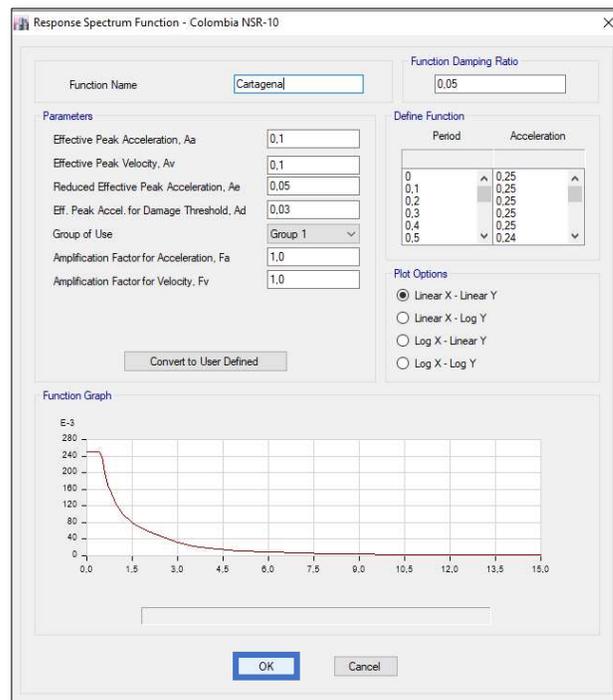


Ilustración 11. Espectro de diseño Cartagena

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5. Procedimiento de diseño general a ejecutar en el software ETABS 2016.

Antes de iniciar con el procedimiento de modelación realizamos el dibujo 2D de la edificación a usar para los tres ejemplos de diseño (DMI, DMO y DES), dicho dibujo se realizó en AutoCAD 2016 versión estudiantil (AUTODESK, 1982) y posteriormente es modelado en el software ETABS (CSI Computers and Structures, Inc. Spain, 1975) para analizar el comportamiento estructural y tomar como base los valores arrojados aquí para el diseño en Microsoft Excel (Microsoft , 1985) .

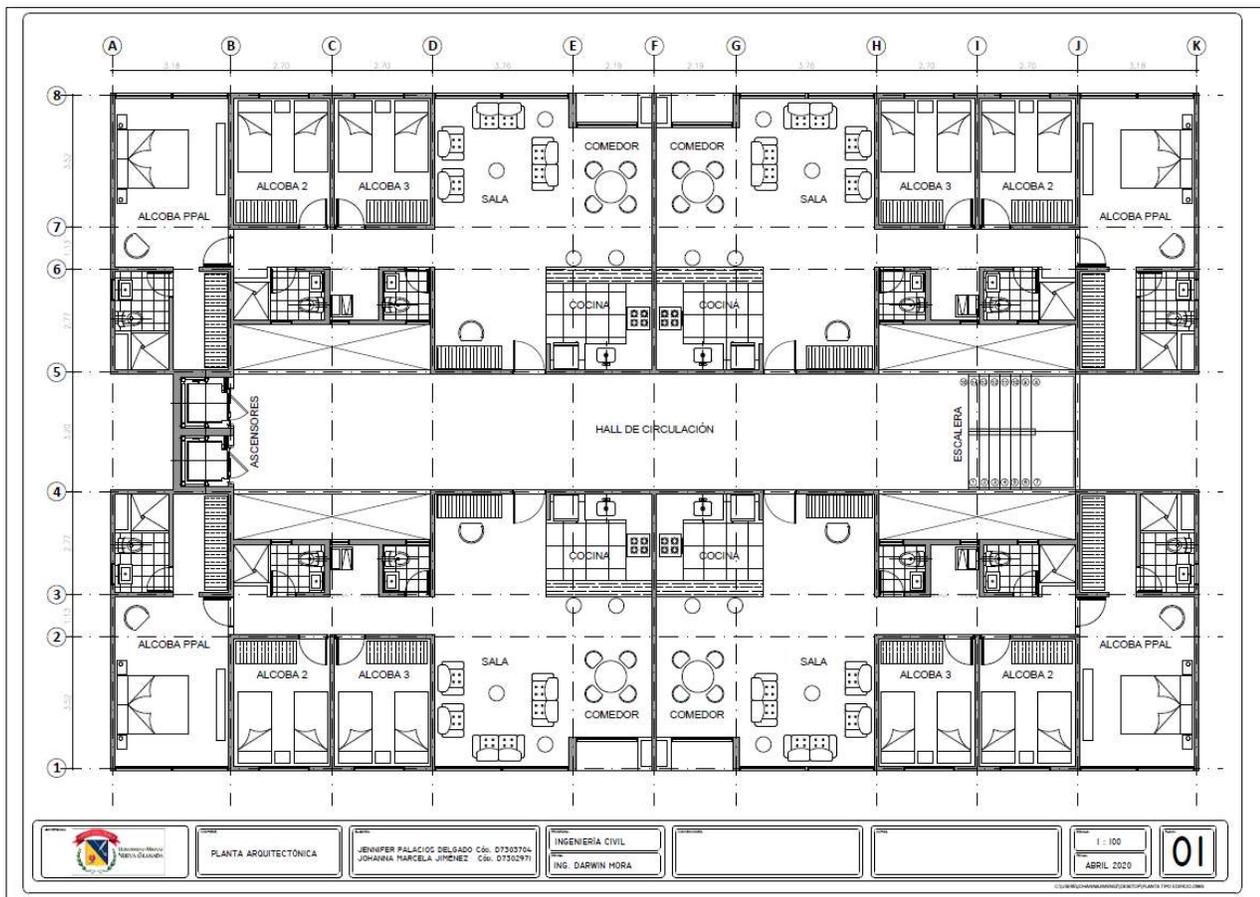


Ilustración 12. Planta a diseñar.
Fuente: Elaboración propia

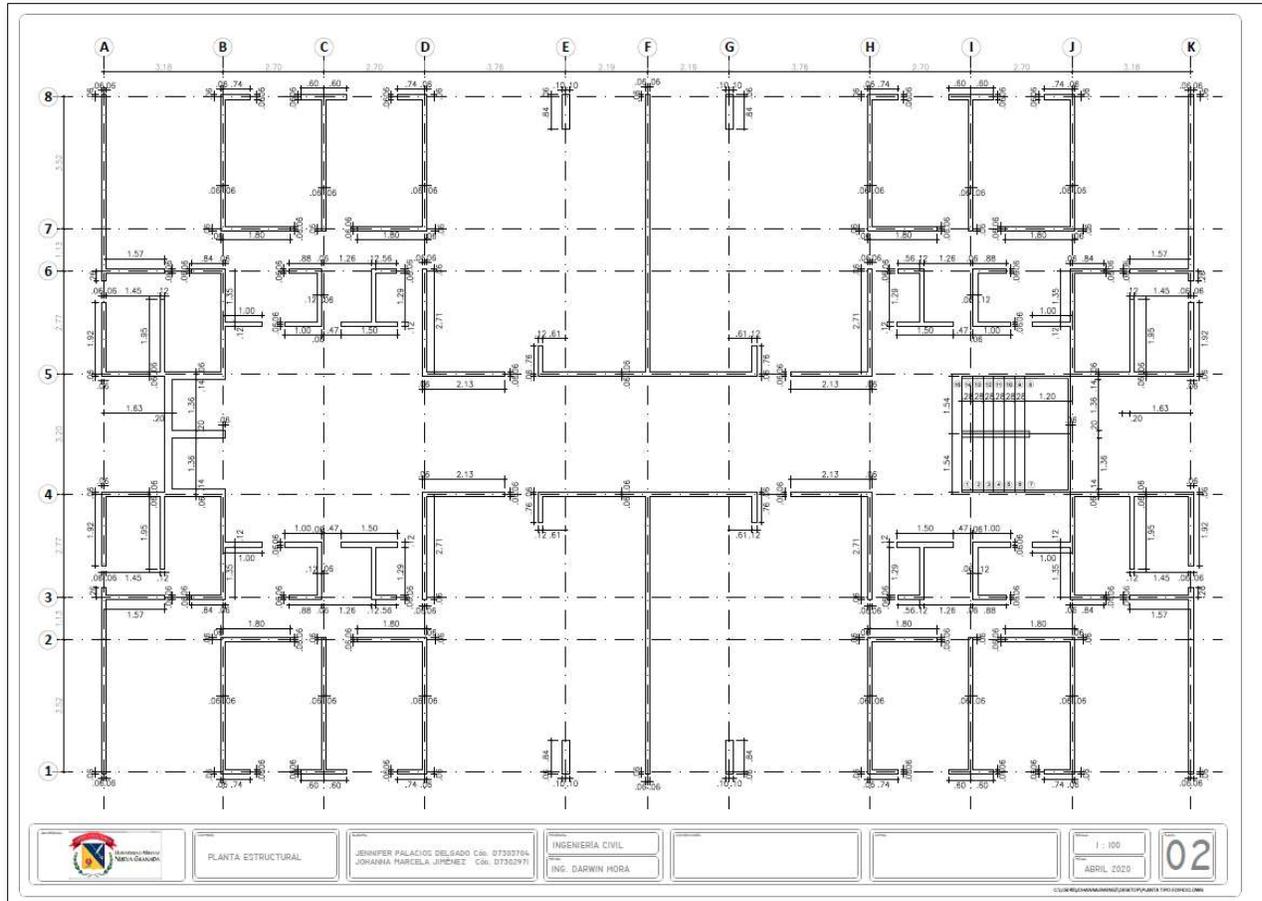


Ilustración 13. Muros a diseñar.

Fuente: Elaboración propia

Para dar inicio con el modelado general procedemos a abrir el software ETABS 2016, es posible acceder de dos formas para la creación del archivo:

- Opción 1: Combinación de teclas **CTRL+N**
- Opción 2: Dando clic en la cinta de opciones y al abrir el menú file se da clic en la opción **New Model** (Nuevo modelo), allí se da apertura a la ventana **Model Initialization** (inicialización de modelo) en la cual se elige la siguiente configuración y se da clic en **OK**.

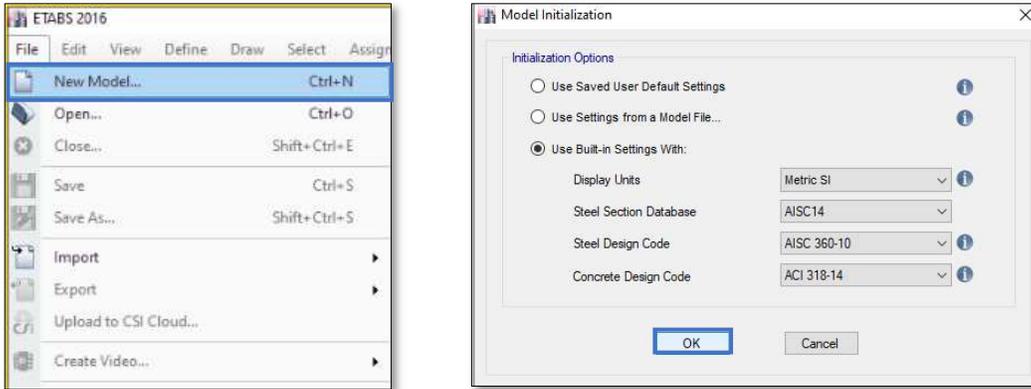


Ilustración 14. Pantalla inicial ETABS 2016.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Como paso final se debe guardar el archivo. Para ello se debe dar clic en la cinta de opciones y al abrir el menú file se da clic en la opción **Save As...** (Guardar como...) inmediatamente se da apertura a la ventana **Save Model File As** (Guardar archivo de modelo como) donde se elige:

- La ruta
- Nombre del archivo
- Extensión o tipo de archivo

Para finalizar se da clic en **Guardar**.

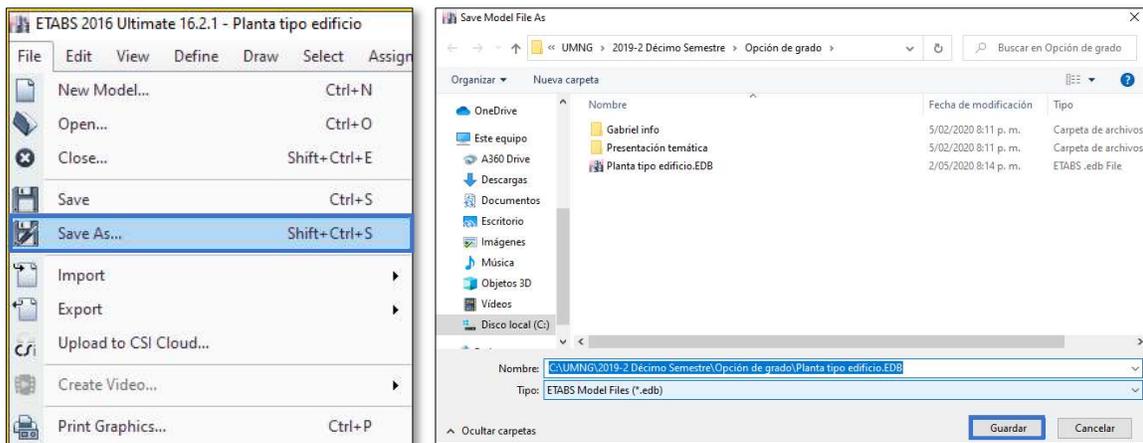


Ilustración 15. Guardar proyecto.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.1 Trazado de ejes o rejilla

El paso siguiente es realizar el Grid, conocido como cuadrícula que serán los ejes base para la implantación del edificio en la sección **Story Dimensions** (dimensiones de pisos) podremos configurar de antemano los siguientes parámetros:

- Number of Stories (Número de pisos)
- Typical Story Height (Altura típica de piso)
- Bottom Story Height (Altura piso base)

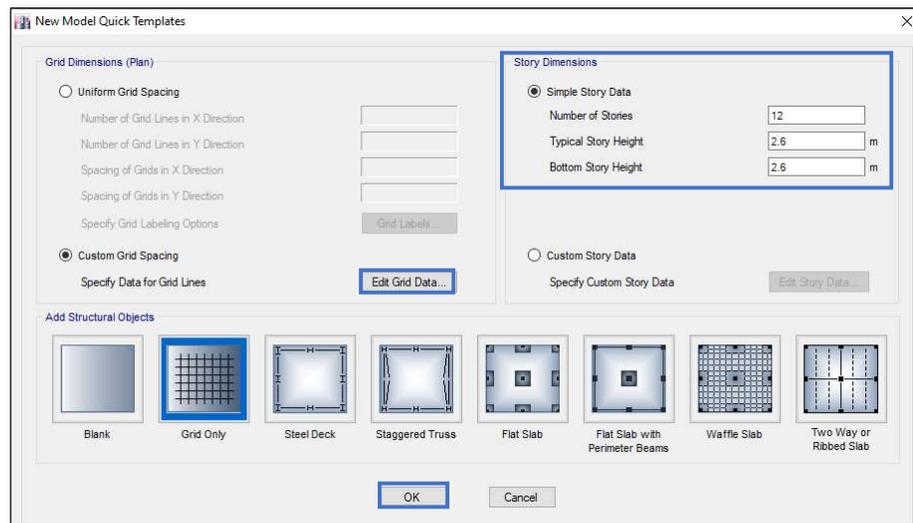


Ilustración 16. Configuración del Grid.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Al configurar estos parámetros procedemos a dar clic en el botón **Edit Grid Data** (editar datos de cuadrícula o rejilla) allí permitirá dar las distancias entre los ejes tanto en X como en Y, al finalizar se da clic en **OK**.

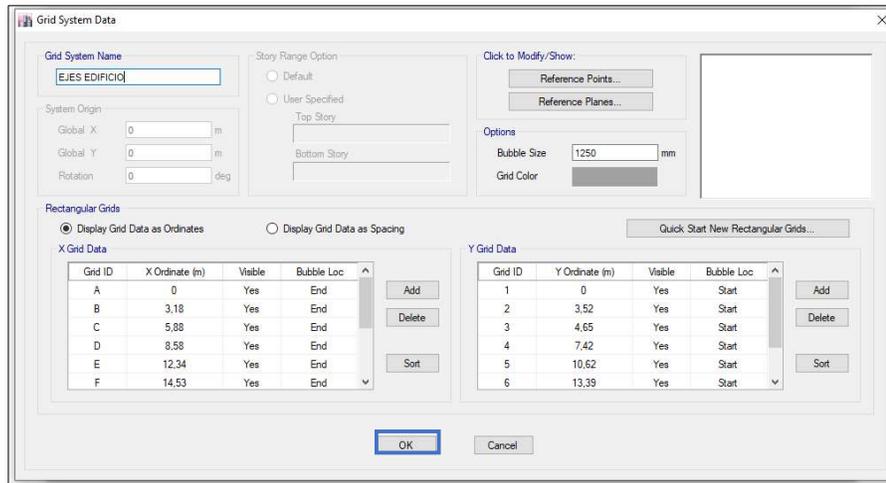


Ilustración 17. Configuración del Grid, parte 2.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Al finalizar la edición de los ejes el resultado obtenido debe ser acorde a el dibujo 2D.

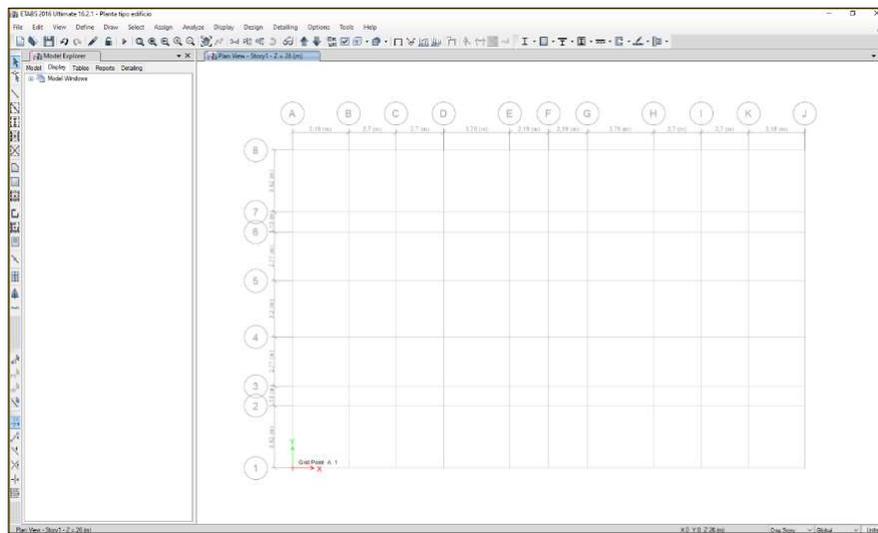


Ilustración 18. Ejes proyecto.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.2 Modelación de muros

Posterior al trazado de los ejes, podemos iniciar con el proceso de modelación de los muros.

Partimos de una configuración base que permitirá dar las propiedades a los muros, para ello

se debe seleccionar en la cinta de opciones la pestaña **Define** (Definir) se despliega el primer menú en el cual se posiciona con el mouse sobre **Section Properties** (Propiedades de la sección) que nos ofrece un segundo menú en el cual se da clic en la opción **Wall Sections** (Secciones de muros). Al abrir esta nueva ventana se da clic en **Add New Property** (añadir nueva propiedad) y configuramos lo siguiente:

- Property Name (Nombre de la propiedad)
- Wall Material (Material de muro)
- Modeling Type (Tipo de modelado)
- Display Color (Monitor de color)
- Thickness (Espesor)

Es importante resaltar que este proceso se debe realizar según las variaciones que se necesiten, por ejemplo: espesores, resistencias de concreto, etc.

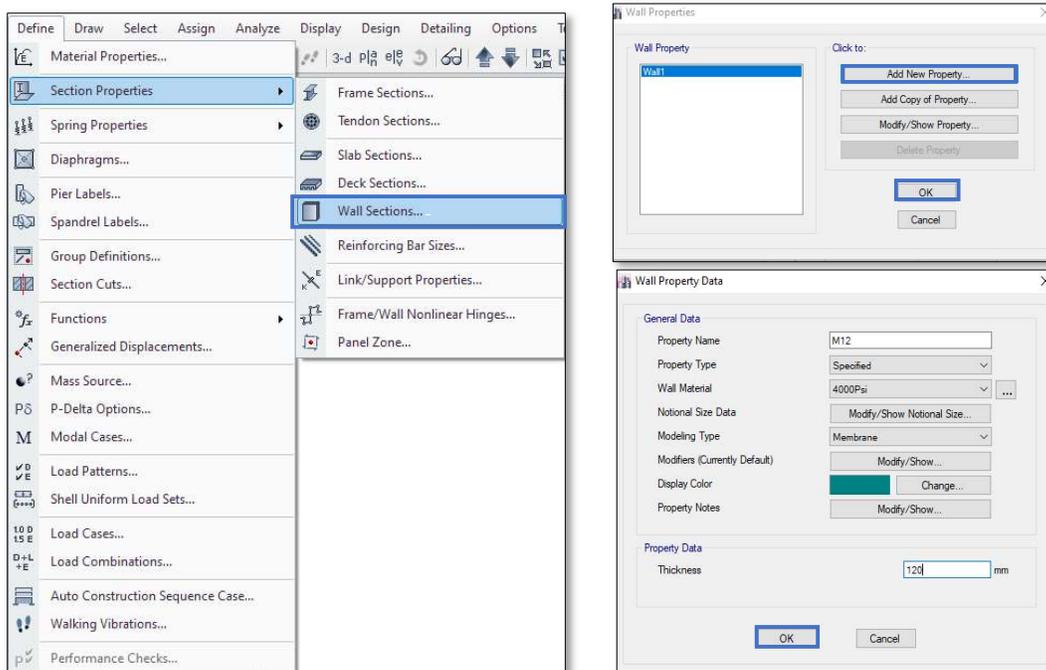


Ilustración 19. Configuración muros.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Al realizar la configuración de los muros, procedemos a realizar el dibujo de los muros, teniendo en cuenta espesores y longitudes. Para dar inicio vamos a la cinta de opciones y se da clic en la opción **Draw** (Dibujar) y vamos a **Draw Floor/Wall Objects** (Dibujar placa/ Muros) allí se despliega un listado de opciones y la más acorde para el caso es **Draw Walls** (Plan) (Dibujar Muros (plano)) está nos permitirá dibujar en planta los muros.

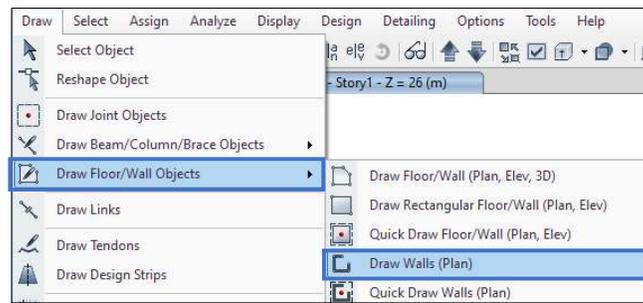


Ilustración 20. Dibujo de muro.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Al realizar el dibujo 2D el resultado debe ser acorde a el planteamiento definido en AutoCAD y al verificar nuestra vista 3D dando clic en el icono **3-d Set Default 3D View** (Establecer vista 3D predeterminada) se obtiene lo siguiente:

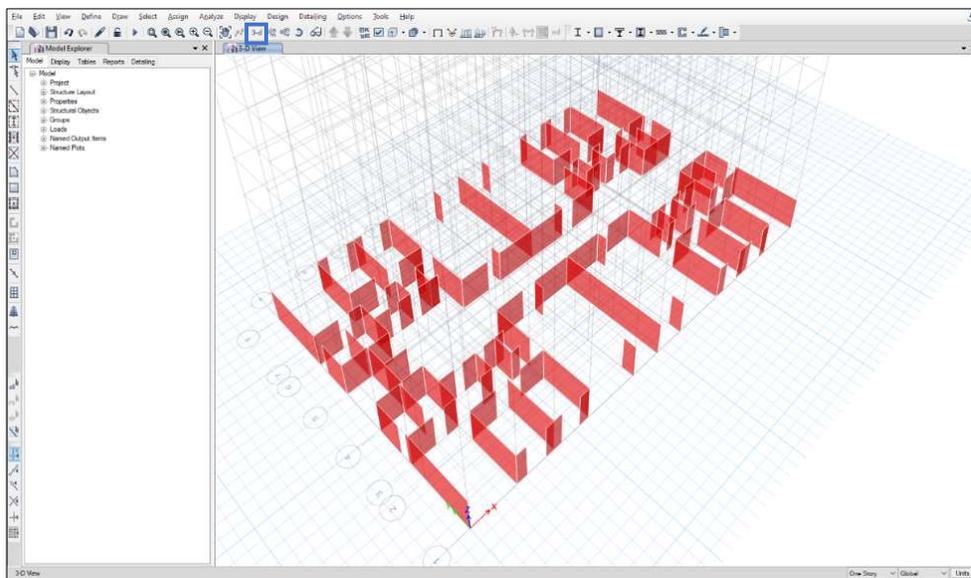


Ilustración 21. Modelado de muros.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.3 Modelación de placa

Para la definición de la placa, partimos de una configuración base que permitirá dar las propiedades a la placa; para ello se debe seleccionar en la cinta de opciones la pestaña **Define** (Definir) se despliega el primer menú en el cual se posiciona el mouse sobre **Section Properties** (Propiedades de la sección) que nos ofrece un segundo menú en el cual se da clic en la opción **Slab Sections** (Secciones de losa). Al abrir esta nueva ventana se da clic en **Add New Property** (añadir nueva propiedad) y configuramos lo siguiente:

- Property Name (Nombre de la propiedad)
- Slab Material (Material de losa)
- Notional Size Data (Datos de tamaño)
- Modeling Type (Tipo de modelado)
- Modifiers Currently Default (Modificadores actualmente predeterminados)
- Display Color (Monitor de color)
- Property Notes (Notas de propiedad)
- Thickness (Espesor)

Es importante resaltar que este proceso se debe realizar según las variaciones que se necesiten, por ejemplo: espesores, resistencias de concreto, etc.

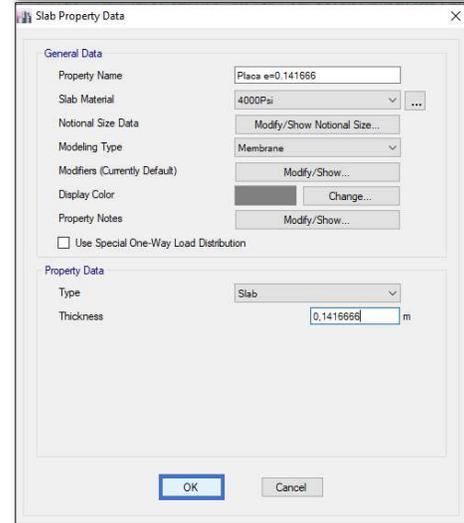
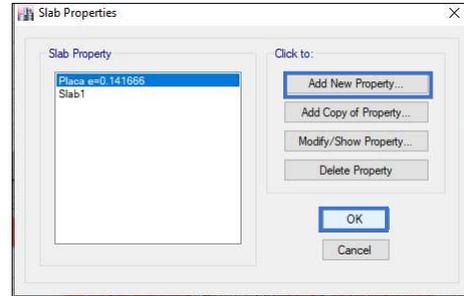
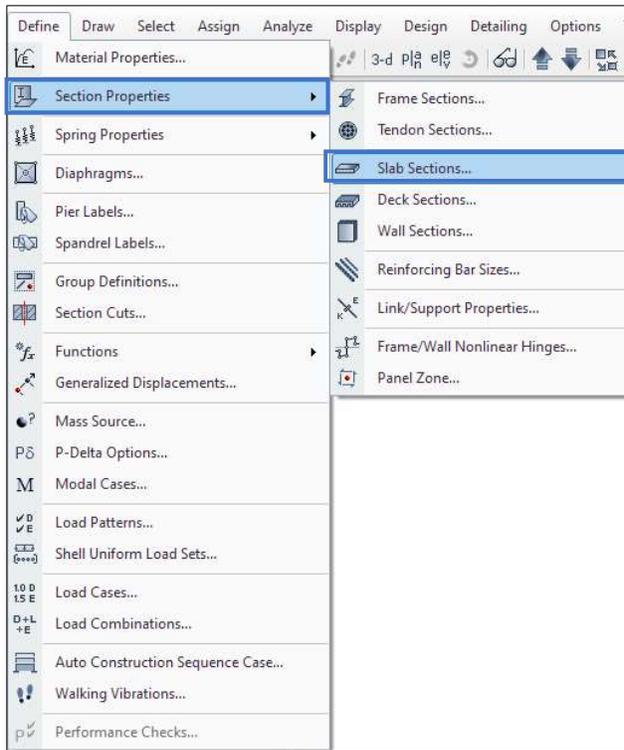


Ilustración 22. Configuración de losa.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Al realizar la configuración de la losa, procedemos a realizar el dibujo. Para dar inicio vamos a la cinta de opciones y se da clic en la opción **Draw** (Dibujar) y vamos a **Draw Floor/Wall Objects** (Dibujar placa/ Muros) allí se despliega un listado de opciones y la más acorde para el caso es **Draw Floor/Wall** (Plan, Elev,3D) (Dibujar piso/pared (plano, elevación 3D)) está nos permitirá dibujar en planta nuestra losa.

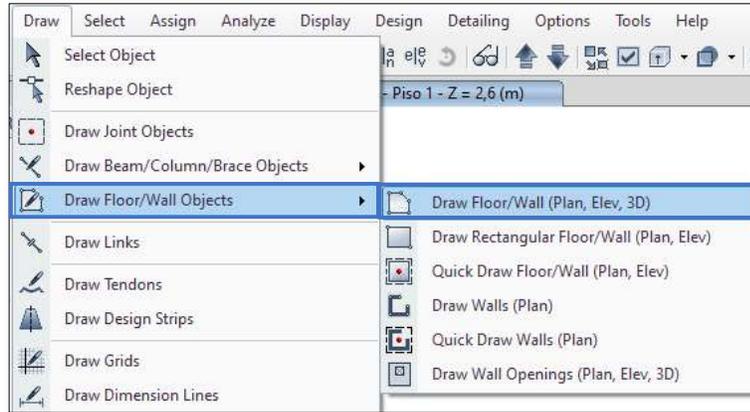


Ilustración 23. Dibujo de losa.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Al realizar el dibujo 2D el resultado debe ser acorde a el planteamiento definido en AutoCAD y al verificar nuestra vista 3D se obtiene lo siguiente:

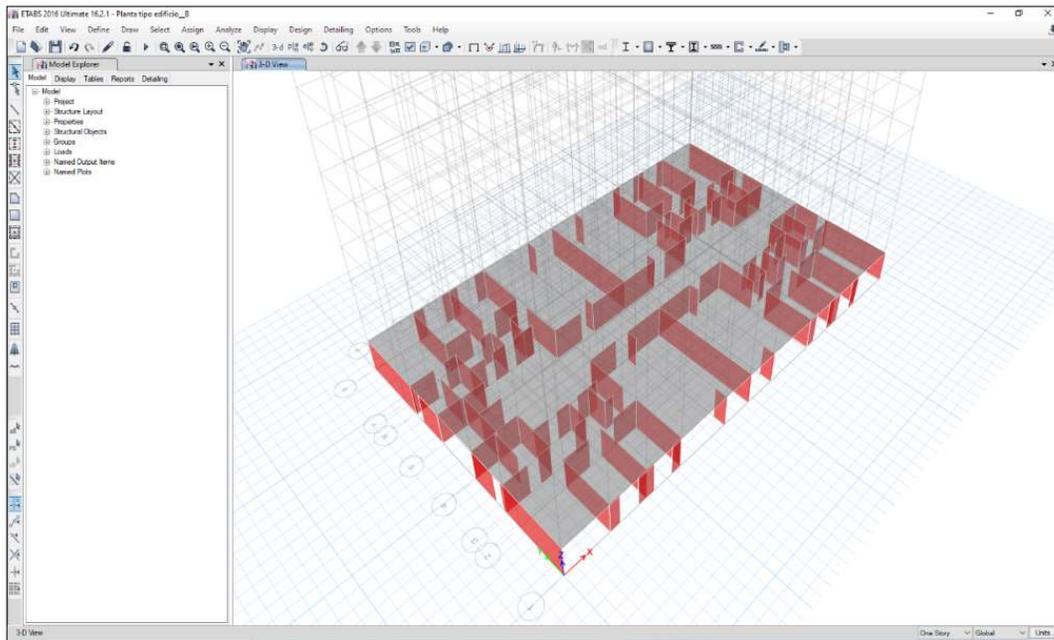


Ilustración 24. Modelado de losa.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

Consecutivo a la creación de la placa procedemos a realizar el proceso de asignar las cargas que se necesiten, ese procedimiento se realiza en primera medida por medio de la cinta de opciones y se da clic en la opción **Select** (Seleccionar) y vamos al icono **Select** (Seleccionar)

allí se despliega un listado de opciones y la más acorde para el caso es **Object Type** (Tipo de objeto) está opción permitirá seleccionar los objetos que necesitemos, a continuación, se darán algunas:

- Joints (Puntos).
- Columns (Columnas).
- Walls (Muros).
- Floors (Losas).
- Beams (Vigas).
- Null Lines (Líneas nulas).
- Null Areas (Áreas nulas).

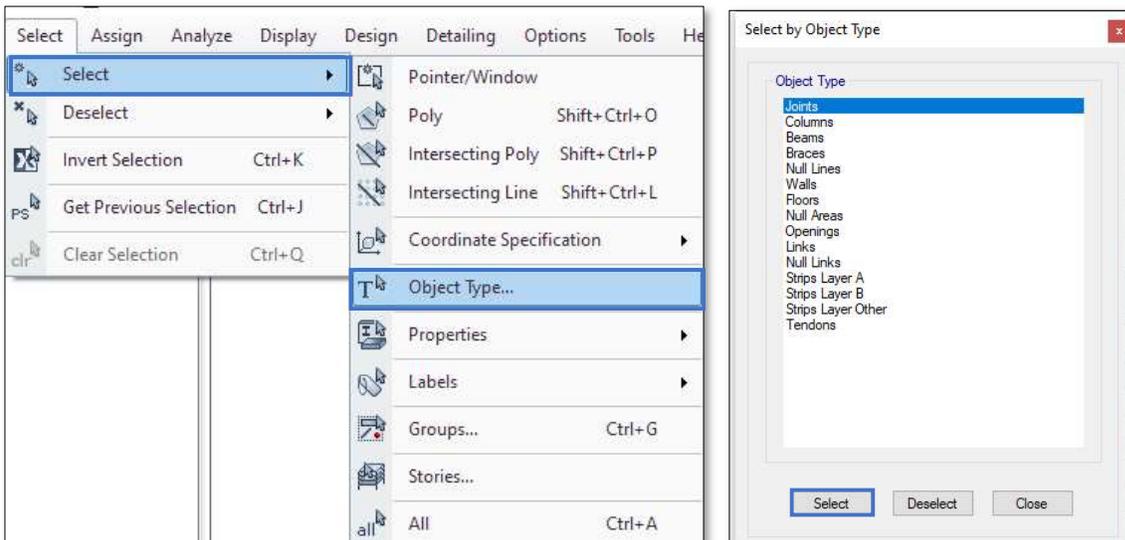


Ilustración 25. Selección por tipo.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.4 Asignación de cargas

Para la asignación de cargas se realiza por medio de la cinta de opciones y se da clic en la opción **Assign** (Asignar), allí se despliega un listado de opciones vamos a la opción **Shell**

Loads (Cargas en cáscara) posteriormente **Uniform** (Uniforme), al ejecutar estas opciones podemos elegir en la ventana **Shell Load Assignment - Uniform** (Asignación de carga de cáscara) y en la opción **Load Pattern Name** (Nombre del patrón de carga) asigno el tipo de carga a asignar: **Dead** (muerta), **Live** (viva), además el valor en la opción **Load** (carga) en las unidades kgf/m^2 (kilogramo fuerza por metro cuadrado); la dirección en que se debe aplicar y definir la manera de ejecutar las cargas según las siguientes opciones: **Add to Existing Loads** (agregar cargas existentes), **Replace Existing Loads** (reemplazar cargas existentes), **Delete Existing Loads** (eliminar cargas existentes).

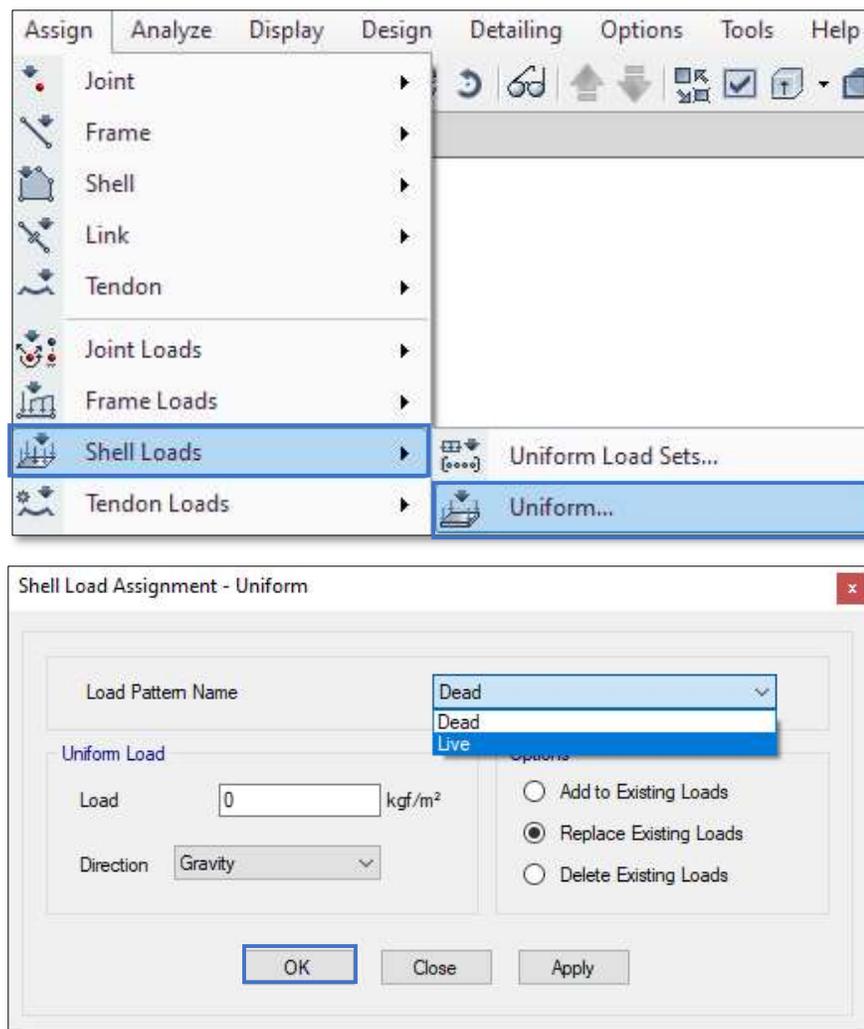


Ilustración 26. Asignación cargas.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.5 Asignación de diafragmas

Para asignar los diafragmas vamos a la cinta de opciones y se da clic en la opción **Assign** (Asignar) allí se despliega un listado de opciones vamos a la opción **Shell** (carga) posteriormente a **Diaphragms** (Diafragmas), al ejecutar estas opciones podemos elegir en la ventana **Shell Assignment – Diaphragms** agregamos el diafragma rígido D1 y en **OK**.

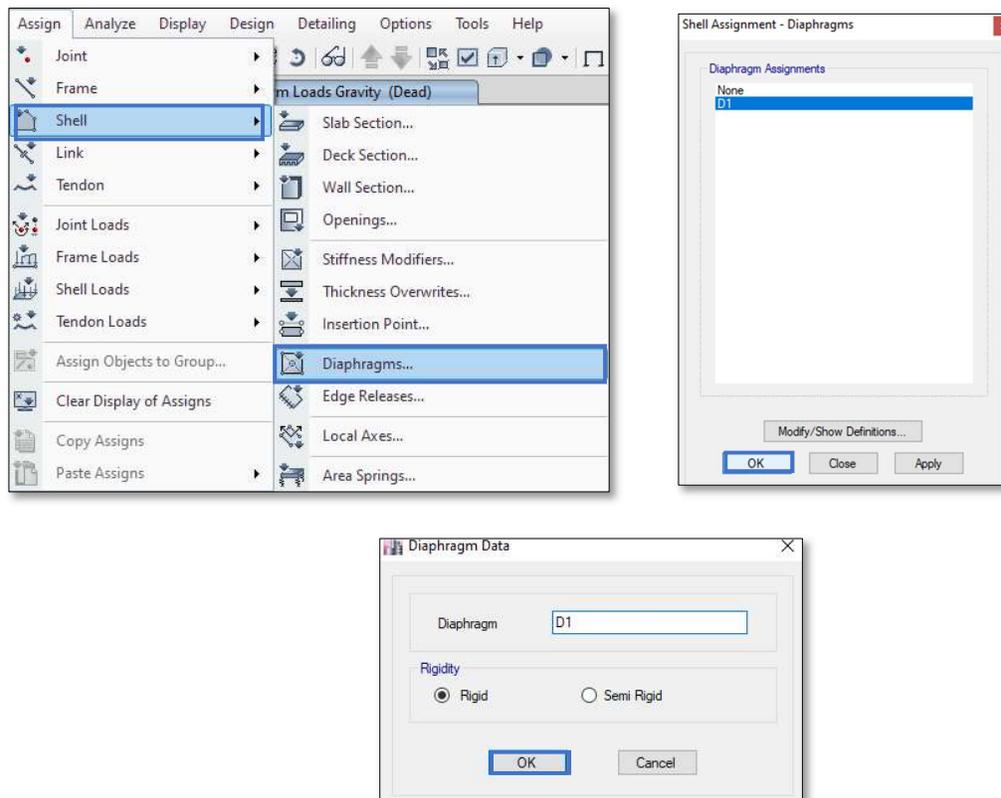


Ilustración 27. Asignación diafragmas.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

En última instancia para replicar los muros y placas realizados en los pasos anteriores, y tener los 12 pisos para realizar el análisis estructural del edificio completo, vamos a la cinta de opciones a **Edit** (Editar) posterior a ello vamos al icono **Replicate...** también podemos simplificar estos pasos ejerciendo el comando en el teclado con las teclas **CTRL + R**; en

cualquiera de las dos circunstancias se abre la ventana **Replicate** (duplicar) donde podremos hacer selección del número de pisos que se necesite según sea el caso se da clic en **OK**.

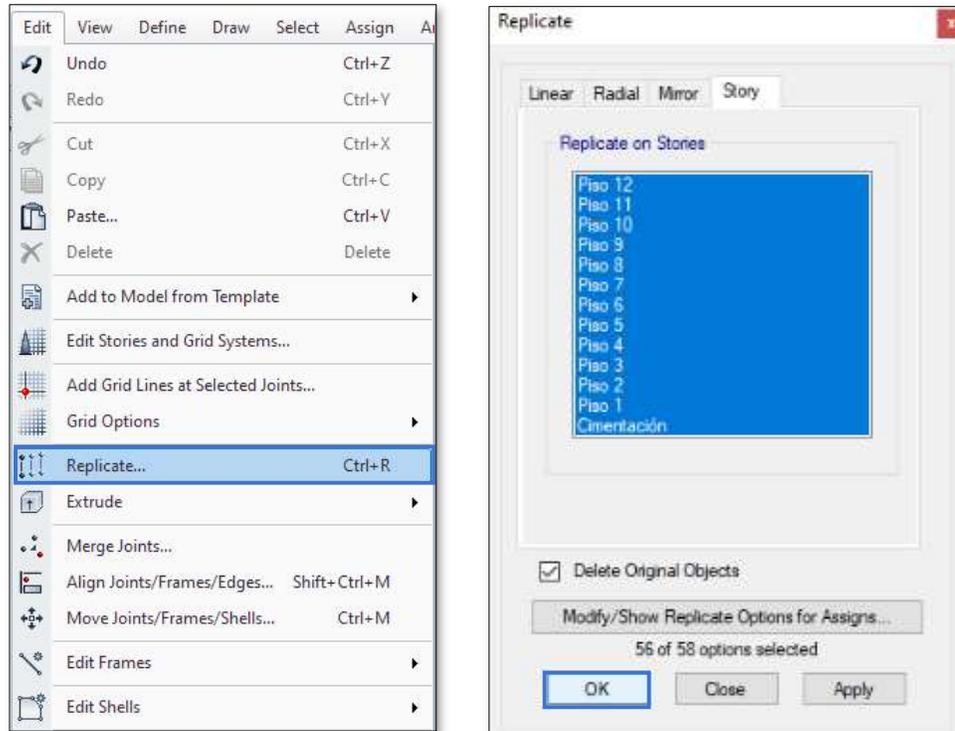


Ilustración 28. Copia de elementos.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.6 Asignación de restricciones

Para asignar los apoyos que requieran las edificaciones se hará por medio de la cinta de opciones **Assign** (Asignar) posteriormente vamos a Joints (Articulaciones) y al desplegarse el menú se da clic en **Restraints...** (Restricciones) y se abre la ventana **Joint Assignment – Restraints** (Asignación conjunta de restricciones) esta permite dar a los muros las **Restraints in Global Directions** (Restricciones en direcciones globales) también se podrán asignar rotaciones sobre los ejes X, Y, Z. Las restricciones que permite asignar el programa son las siguientes:



Ilustración 29. Tipos de restricciones.
 Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

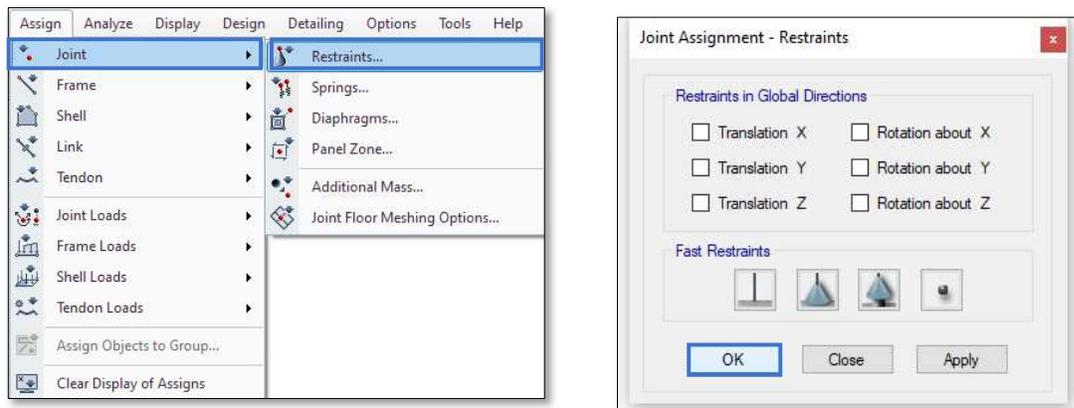


Ilustración 30. Asignación restricciones.
 Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

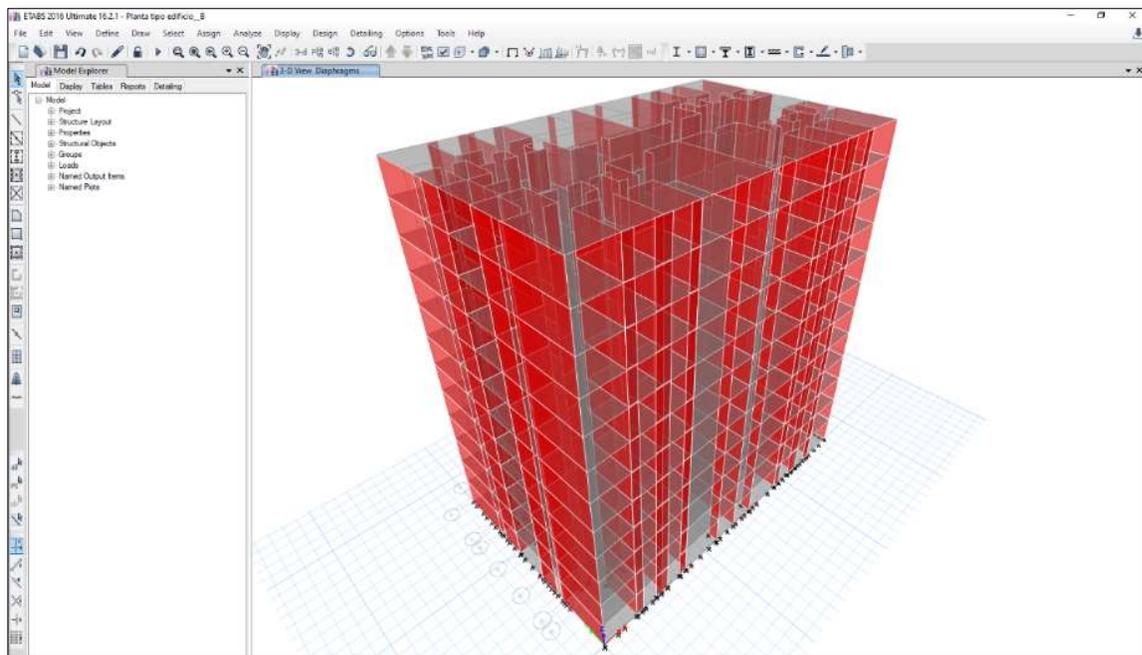


Ilustración 31. Modelado 3D.
 Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.7 Asignación espectro de diseño

Para asignar los apoyos que requieran las edificaciones se hará por medio de la cinta de opciones **Define** (Definir) posteriormente vamos a **Functions** (Funciones) y al desplegarse el menú se da clic en **Response Spectrum...** (Espectro de respuesta) y se abre la ventana **Define Response Spectrum Functions** (Definir funciones del espectro de respuesta) allí se podrá asignar en el modelo la norma a aplicar según el país en la opción **Choose Function Type to Add** (elijer el tipo de función para agregar) en este caso se asigna Colombia NSR-10 y en la opción **Add New Function...** (añadir nueva función) se asigna el espectro de la ciudad previamente creado, al finalizar se da clic en **OK**.

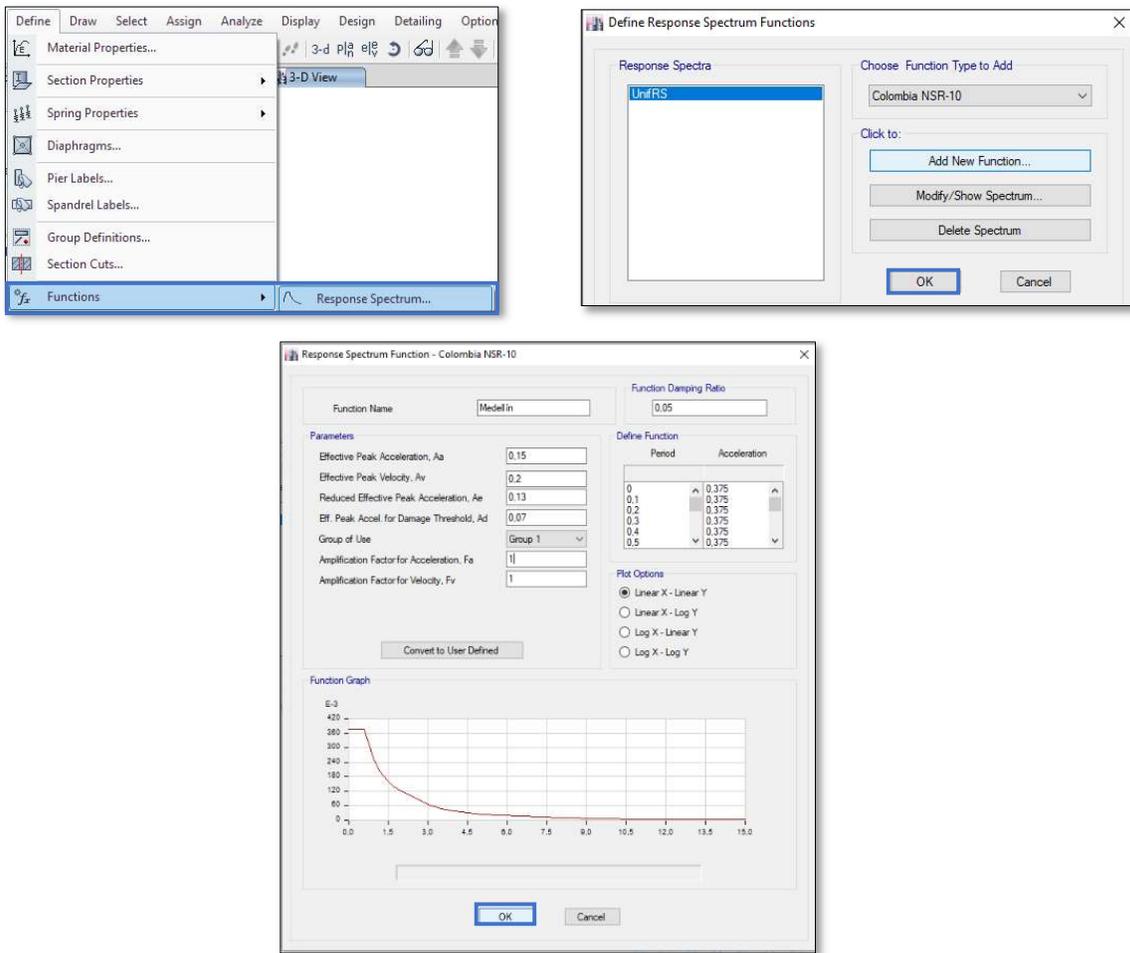


Ilustración 32. Asignación espectro de diseño
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.8 Cargar espectro de diseño al modelo

Para cargar el espectro de diseño a el modelo vamos a la cinta de opciones **Define** (Definir) posteriormente vamos a **Load Cases** (Casos de carga) y se abre la ventana **Load Case Data** (Cargar datos de caso) esta permite añadir en la sección General en **Load Case Name** (Nombre del caso de carga), **Load Case Type** (Tipo del caso de carga) y en la sección **Loads Applied** (Cargas aplicadas), añadimos los correspondientes y por último en **Scale Factor** (factor de escala) se asigna el valor de la gravedad y se da clic en **OK**.

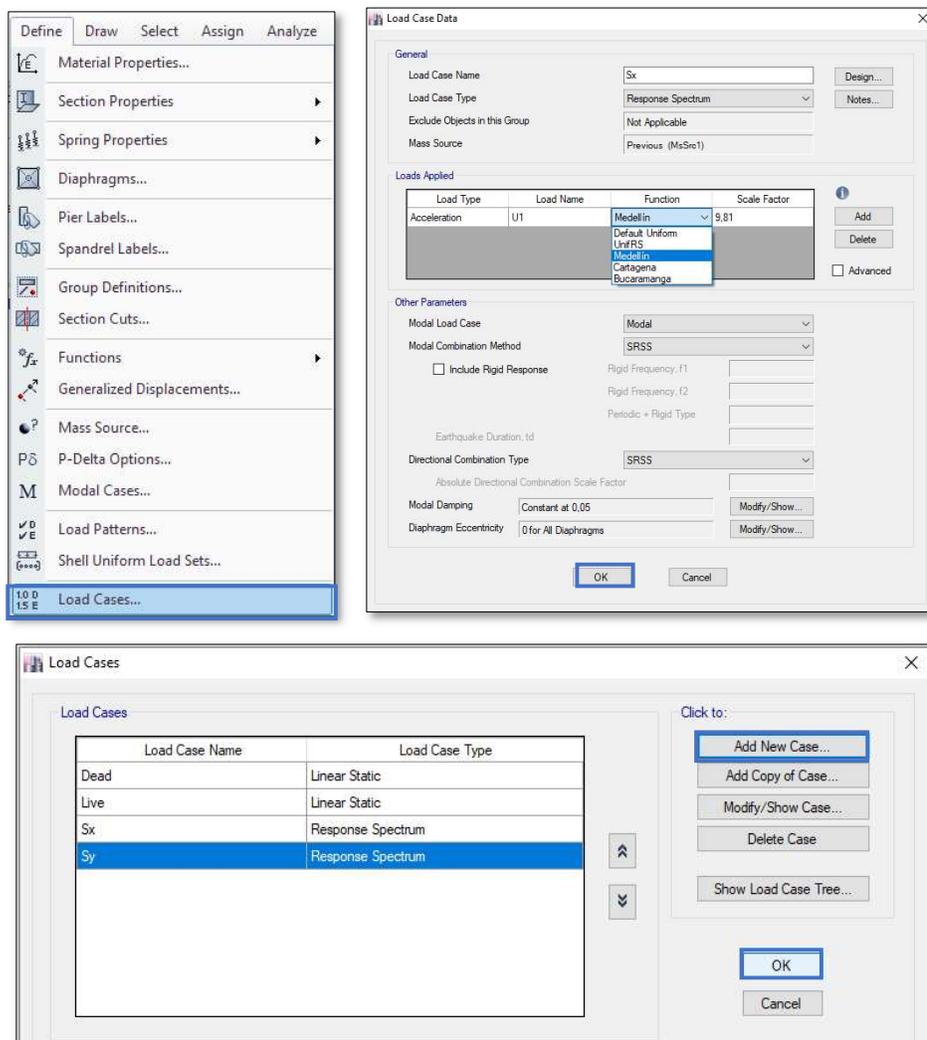


Ilustración 33. Carga espectro de diseño al modelo.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.9 Configuración e inserción combinaciones de diseño.

Para realizar la configuración e inserción de las combinaciones de diseño que permiten analizar la estructura se debe seleccionar en la cinta de opciones la pestaña **Define** (Definir) se despliega el primer menú en el cual se posiciona el mouse sobre **Load Combinations...** (Combinaciones de carga) que nos ofrece un segundo menú en el cual se da clic en la opción **Add New Combo...** (Agregar nueva combinación), en esta sección se configura **Load Combination Name** (Nombre de combinación de carga), **Combination Type** (Tipo de combinación), se puede ajustar el tipo de carga y el factor de escala, para finalizar se da clic en **OK** o si se desea añadir otra combinación se da clic en **Add** (agregar).

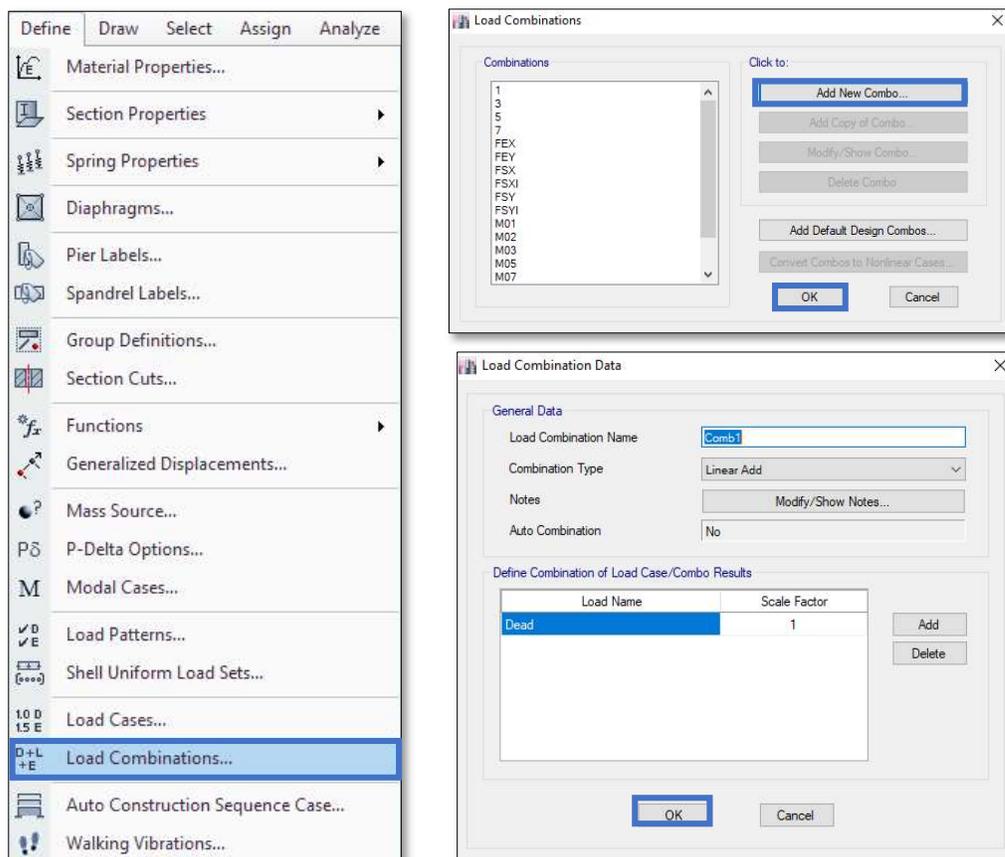


Ilustración 34. Configuración e inserción combinaciones de diseño.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.10 Chequeo de modelo.

Para realizar este procedimiento se debe seleccionar en la cinta de opciones la pestaña **Analyze** (Analizar) se despliega el menú en el cual se posiciona el mouse sobre **Check Model...** (Chequear modelo) allí debemos elegir que ítems deseamos chequear, y el valor de la tolerancia con que deseamos ejecutar ese chequeo.

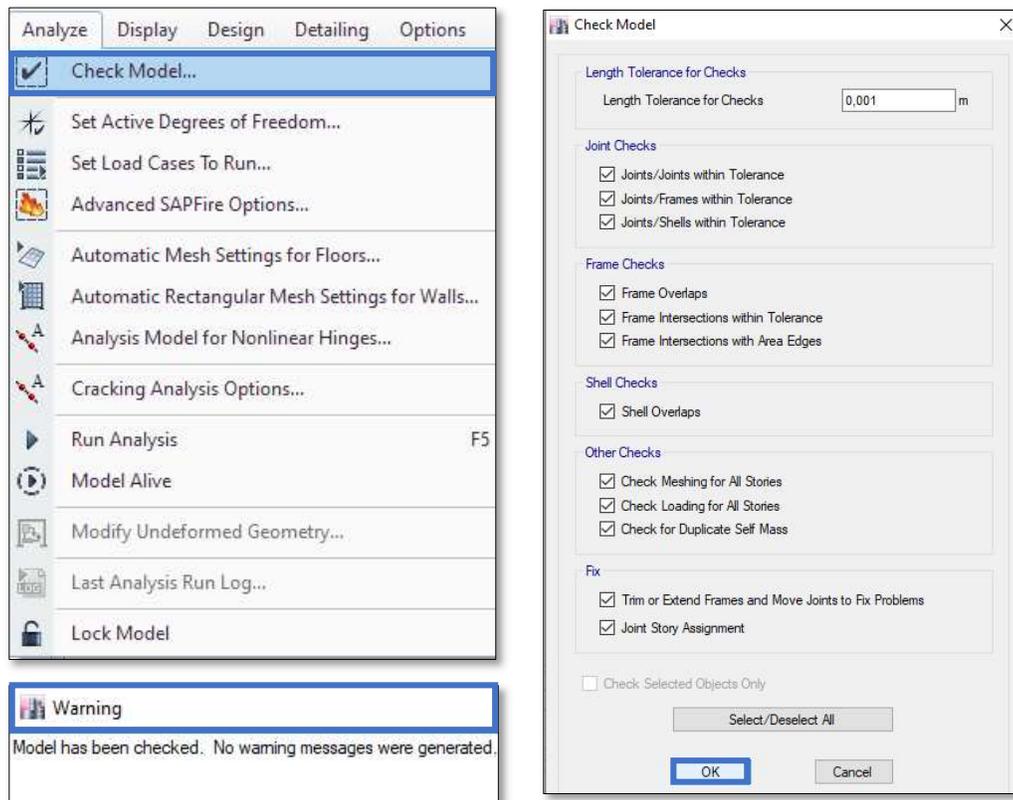


Ilustración 35. Chequeo de modelo.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.11 Análisis de modelo.

Para realizar este procedimiento se debe seleccionar en la cinta de opciones la pestaña **Analyze** (Analizar), se despliega el menú en el cual se posiciona el mouse sobre **Run Analysis...** (Ejecutar análisis) también podemos ejecutar esta opción con la tecla de función **F5**.

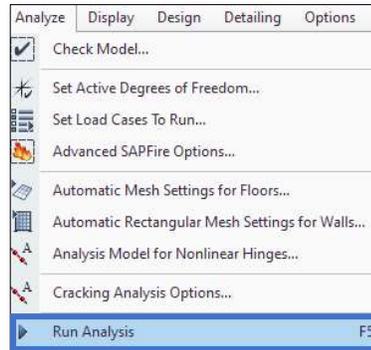


Ilustración 36. Analizar modelo.

Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

5.12 Procedimiento para exportar tablas a Microsoft Excel.

Para realizar la activación del explorador de modelos se debe seleccionar en la cinta de opciones la pestaña **Options** (Opciones), se despliega el primer menú en el cual se posiciona el mouse sobre **Show Model Explorer** (Mostrar explorador de modelos), este despliega una ventana en el costado izquierdo sobre la que nos ubicamos en **Tables** (Tablas) y vamos eligiendo con clic derecho sobre la tabla que deseamos exportar le damos en la opción **Export Tables to Excel...** (Exportar tablas a Excel).

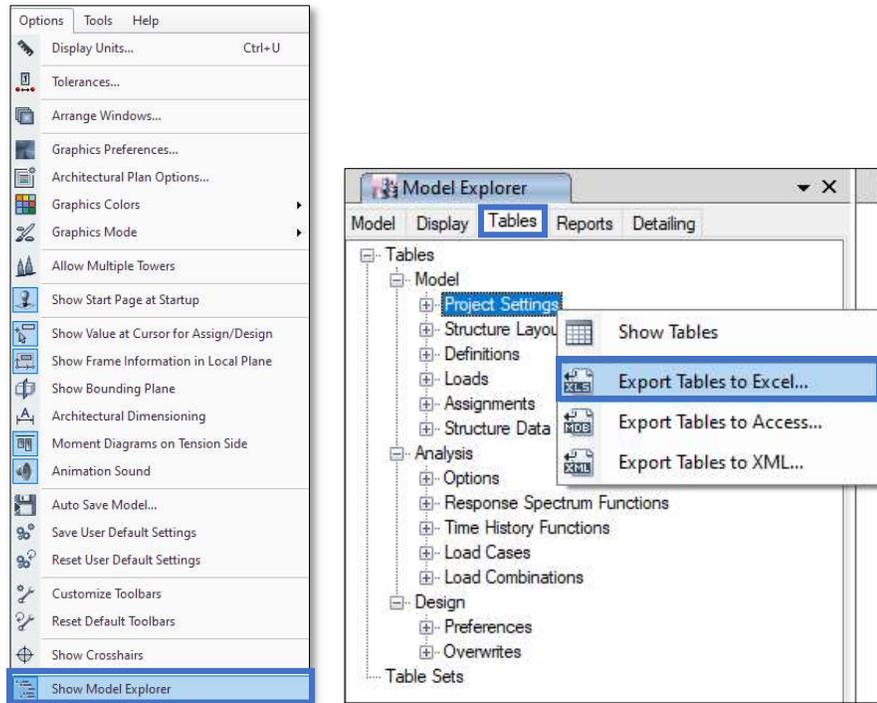


Ilustración 37. Explorador de Modelos.
Fuente: Basado en ETABS 2016 - Elaboración propia.

6. Procedimiento general a ejecutar en el software Microsoft Excel 2016.

Las tablas exportadas nos van a permitir el Análisis Sísmico por el método dinámico modal espectral con el programa de análisis estructural ETABS, complementado con Microsoft Excel, se muestra a continuación los chequeos realizados para verificar el cumplimiento del Reglamento NSR-10 por el método de la fuerza horizontal equivalente y parámetros definidos, cabe resaltar que se realizó el mismo procedimiento con cada uno de los ejemplos para cada grado de disipación de energía.

1

- Combinaciones de carga.

- 2 • Datos de piso.
- 3 • Lista de materiales.
- 4 • Masas por nodo.
- 5 • Masas totales por pisos, centros de masas y centros de rigidez.
- 6 • Relaciones de participación de la masa modal.

- 7 • Reacciones de cortante en la base.
- 8 • Cortantes por piso.
- 9 • Desplazamientos y derivas de nodos.
- 10 • Desplazamiento del centro de masa de los diafragmas.
- 11 • Derivas.

Ilustración 38. Tablas exportadas de Microsoft Excel para el análisis sísmico.
Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.

COMBINACIONES DE CARGA											
Sistema estructural Muros concreto - DMO	Factor de importancia <table border="1"><tr><td>I</td></tr><tr><td>1,00</td></tr></table>		I	1,00							
I											
1,00											
Casos de carga D: Carga muerta DSI: Carga muerta sobreimpuesta DSIO: Carga muerta sobreimpuesta (sin masa) L: Carga viva LRED: Carga viva reducida LCUB: Carga viva de cubierta (cubiertas livianas) SX, SY: Caso de carga sísmico (espectral)	Coefficiente de disipación <table border="1"><tr><td>R_x</td><td>R_y</td></tr><tr><td>4,00</td><td>4,00</td></tr></table>		R_x	R_y	4,00	4,00					
R_x	R_y										
4,00	4,00										
	Factor de sobrerresistencia <table border="1"><tr><td>Ω_0</td></tr><tr><td>2,5</td></tr></table>		Ω_0	2,5							
Ω_0											
2,5											
Factores de ajuste por Fuerza Horizontal Equivalente <table border="1"><tr><td>F_x</td><td>F_y</td></tr><tr><td>1,21</td><td>1,38</td></tr></table>	F_x	F_y	1,21	1,38	Reducción de carga viva <table border="1"><tr><td>NO</td></tr></table>		NO				
F_x	F_y										
1,21	1,38										
NO											
Combinaciones sísmicas básicas Consideración de factores de ajuste por FHE Los factores de escala para SX y SY corresponden a los factores de ajuste F_x y F_y .	<table border="1"><tr><td>Comb.</td><td>SX</td><td>SY</td></tr><tr><td>FSX</td><td>1,21</td><td></td></tr><tr><td>FSY</td><td></td><td>1,38</td></tr></table>		Comb.	SX	SY	FSX	1,21		FSY		1,38
Comb.	SX	SY									
FSX	1,21										
FSY		1,38									
Consideración del coeficiente de importancia I Los factores de escala para FSX y FSY corresponden al factor de importancia I .	<table border="1"><tr><td>Comb.</td><td>FSX</td><td>FSY</td></tr><tr><td>FSXI</td><td>1,00</td><td></td></tr><tr><td>FSYI</td><td></td><td>1,00</td></tr></table>		Comb.	FSX	FSY	FSXI	1,00		FSYI		1,00
Comb.	FSX	FSY									
FSXI	1,00										
FSYI		1,00									
Consideración del coeficiente de disipación R Los factores de escala para FSXI y FSYI corresponden a $1/R_x$ y $1/R_y$ respectivamente.	<table border="1"><tr><td>Combo</td><td>FSXI</td><td>FSYI</td></tr><tr><td>FEX</td><td>0,25</td><td></td></tr><tr><td>FEY</td><td></td><td>0,25</td></tr></table>		Combo	FSXI	FSYI	FEX	0,25		FEY		0,25
Combo	FSXI	FSYI									
FEX	0,25										
FEY		0,25									
Consideración del factor de sobre-resistencia Ω_0 Los factores de escala para FEX y FEY corresponden al factor de sobre-resistencia Ω_0 .	<table border="1"><tr><td>Comb.</td><td>FEX</td><td>FEY</td></tr><tr><td>SRFEX</td><td>2,50</td><td></td></tr><tr><td>SRFEY</td><td></td><td>2,50</td></tr></table>		Comb.	FEX	FEY	SRFEX	2,50		SRFEY		2,50
Comb.	FEX	FEY									
SRFEX	2,50										
SRFEY		2,50									

Ilustración 39. Combinaciones de carga.
Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.



DATOS DE PISOS

(Datos por piso) Story Data

Name (Nombre)	Height (Altura) (m)	Elevation (Elevación) (m)	Master Story (Piso Superior)	Similar To (Similar a)	Splice Story (Piso de Corte)	Pesos por tipo de elemento [kgf]	(Muro)	(Piso)
						FloorArea (Superficie del piso)	Wall	Floor

Parámetros definidos para los 3 ejemplos.

Ilustración 40. Datos de pisos.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 Elaboración propia.



LISTA DE MATERIALES

(Lista de materiales por piso) Material List by Story

Story (Piso)	Element Type (Tipo de Elemento)	Material (Material)	Total Weight (Peso Total) (kgf)	Floor Area (Superficie del piso) (m ²)	Unit Weight (Unidad de Peso) (kgf/m ²)
--------------	---------------------------------	---------------------	---------------------------------	--	--

Parámetros definidos para los 3 ejemplos.

Ilustración 41. Lista de materiales.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.



MASAS POR NODO

(Ensamblado de articulaciones en masa) Assembled Joint Masses

Story (Piso)	Label (Etiqueta)	Name (Nombre)	UX (kgf-s ² /m)	UY (kgf-s ² /m)	UZ (kgf-s ² /m)	RX (kgf-m-s ²)	RY (kgf-m-s ²)	RZ (kgf-m-s ²)	X (m)	Y (m)	Z (m)
--------------	------------------	---------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-------	-------	-------

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 42. Masas por nodo.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA						
MASAS TOTALES POR PISO, CENTROS DE MASA Y CENTROS DE RIGIDEZ						
Masas en [kgf·s ² /m], coordenadas en [m]						
PISO	Masa		Centros de masa		Centros de rigidez	
	X	Y	XCM	YCM	XCR	YCR

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 43. Centros de masa y rigidez.
Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA														
RELACIONES DE PARTICIPACIÓN DE LA MASA MODAL														
[Participación de la masa modal] Modal Participating Mass Ratios														
Case (Caso)	Mode (Modo)	Period (Período) sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	FY	RZ	Sum RX	Sum FY	Sum RZ

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 44. Participación masa modal.
Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA									
REACCIONES DE CORTANTE EN LA BASE									
Combinación modal por el método CQC									
				V _{ox} [kgf]	V _{ox} [tf]	V _{oy} [kgf]	V _{oy} [tf]		
				669425,89	669,43	844679,88	844,68		
[Reacciones en la base] Base Reactions									
Load Case/Combo (Casos de carga o combinaciones)	FX (kgf)	FY (kgf)	FZ (kgf)	MX (kgf-m)	MY (kgf-m)	MZ (kgf-m)	X (m)	Y (m)	Z (m)

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 45. Cortante en la base.
Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

CORTANTES DE PISO

(Fuerzas por piso) Story Forces

Story (Piso)	Load Case/Combo (Casos de carga o combinaciones)	Location (Ubicación)	P (kgf)	VX (kgf)	VY (kgf)	T (kgf-m)	MX (kgf-m)	MY (kgf-m)
--------------	--	----------------------	---------	----------	----------	-----------	------------	------------

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 46. Cortantes de piso.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS DE NODOS

(Puntos de deriva) Joint Drifts

Story (Piso)	Label (Etiqueta)	Unique Name (Nombre Único)	Load Case/Combo (Casos de carga o combinaciones)	Displacement X (Desplazamiento en X)	Displacement Y (Desplazamiento en Y)	Drift X (Deriva en X)	Drift Y (Deriva en Y)
--------------	------------------	----------------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------	-----------------------

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 47. Desplazamientos y derivas de nodos.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

DESPLAZAMIENTOS DEL CENTRO DE MASA DE LOS DIAFRAGMAS

TABLE: Diaphragm Center of Mass Displacements

Story (Piso)	Diaphragm (Diafragma)	Load Case/Combo (Casos de carga o combinaciones)	UX (m)	UY (m)	RZ (rad)
--------------	-----------------------	--	--------	--------	----------

Parámetros analizados según grado de disipación de energía.

Ilustración 48. Desplazamientos del centro de masa de los diafragmas.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.

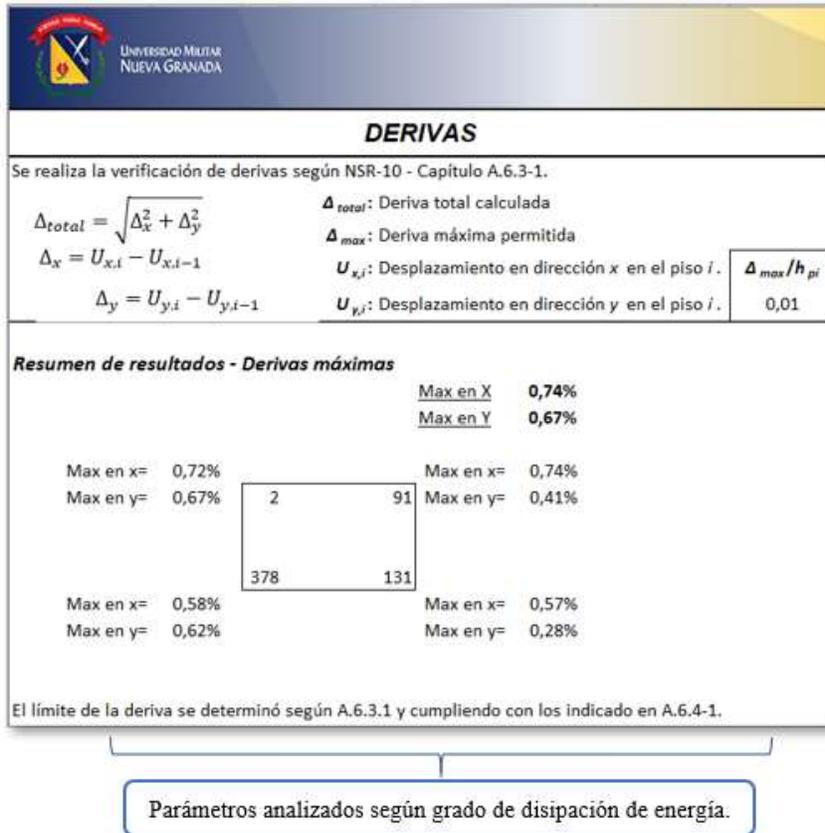


Ilustración 49. Resultados derivas.

Fuente: Basado en Microsoft Excel 2016 - Elaboración propia.

7. Requisitos según Reglamento NSR-10 para el procedimiento de diseño.

Para el procedimiento de diseño se tomó como referencia el capítulo C del Reglamento NSR-10 en el cual se establecen las generalidades según su grado de disipación de energía, cabe resaltar que en esta sección se mostrará el detallado del refuerzo que permite a los muros soportar las diferentes solicitaciones de los esfuerzos a los cuales son sometidos. A continuación, se puede observar la nomenclatura usada, formulas y parámetros a tener en cuenta.

7.1 Nomenclatura

A_{cv} : Área de la sección de concreto limitada por el espesor del alma y la longitud de la sección en la dirección de la fuerza cortante.

b_w : Ancho del alma.

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del concreto.

d_w : Largo efectivo del muro $0.8l_w$.

h_w : Altura del muro medida desde la base hasta la parte superior.

l_w : Longitud del muro completo.

M_u : Momento mayorado de la sección.

N_u : Carga axial mayorada normal a la sección transversal.

V_c : Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

V_n : Resistencia nominal al cortante.

V_s : Resistencia nominal a cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.

V_u : Fuerza cortante mayorada en la sección.

ρ_l : Relación entre el área del refuerzo longitudinal distribuido al área bruta de concreto perpendicular a este refuerzo.

7.2 Cortante.

Para el caso de los esfuerzos de cortante el Reglamento NSR-10 en el capítulo C.14 aplica de manera general los siguientes chequeos.

Resistencia a cortante:

$$\phi V_n \geq V_u \text{ y } V_n = V_c + V_s$$

ϕV_n no debe tomarse mayor que:

$$\phi 2.65 \sqrt{f'c} h_w d_w$$

ϕV_n máximo debe ser el menor de los valores:

$$V_c = \phi 0.88 \sqrt{f'c} h_w d_w + \frac{N_u d_w}{4 l_w}$$

$$V_c = \left[0.16 \sqrt{f'c} + \frac{l_w 0.33 \sqrt{f'c} + \frac{0.2 N_u}{l_w h_w}}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] h_w d_w$$

Por otra parte, existen requisitos que dependen de la categoría de disipación de energía y se describen en el capítulo C.21, a partir de estos se generan los requisitos para detallar el refuerzo.

Refuerzo en el alma.

Es aquel que tiene como objetivo resistir esfuerzos de cortante, y debe cumplir con las disposiciones que se muestran en las tablas 10 y 11. En la tabla 10 podemos observar la separación mínima de los alambres corrugados de las mallas electrosoldadas y en la tabla 11 podemos ver los requerimientos adicionales para el refuerzo en el eje central de los MECR.

	ESPACIAMIENTO VERTICAL	ESPACIAMIENTO HORIZONTAL
DMI	El menor de 450mm y $3h_w$	El menor de 450mm y $3h_w$
DMO y DES	El menor de: 450mm, $3h_w$ y $l_w/5$	El menor de: 450mm, $3h_w$ y $l_w/3$

Tabla 10. Refuerzo en el alma.
Fuente: Elaboración propia.

	CUANTÍA VERTICAL MÍNIMA	CUANTÍA HORIZONTAL MÍNIMA
DMI	$\rho_l \text{mín} = 0.0012$ $b_w > 250\text{mm}$ requiere dos capas de refuerzo	$\rho_l \text{mín} = 0.0012$ $b_w > 250\text{mm}$ requiere dos capas de refuerzo
DMO y DES	$V_u > 0.27A_{cv}\sqrt{f'c}$ $\rho_l \text{mín} = 0.0025$ $V_u > 0.53A_{cv}\sqrt{f'c}$ $\rho_l \text{mín} = 0.0025$ requiere dos capas de refuerzo	$V_u > 0.27A_{cv}\sqrt{f'c}$ $\rho_l \text{mín} = 0.0025$ $V_u > 0.53A_{cv}\sqrt{f'c}$ $\rho_l \text{mín} = 0.0025$ requiere dos capas de refuerzo

Tabla 11. Cuantía mínima.
Fuente: Elaboración propia.

7.3 Elementos especiales de borde.

Son los encargados de brindar ductilidad y mayor capacidad de desplazamiento horizontal a los MEQR, para ello se debe tener en cuenta el porcentaje que brinda la resistencia del concreto comparado con el esfuerzo que se ejerce sobre el muro. En el caso del grado de disipación de energía mínimo DMI no se requieren los elementos de borde, a continuación, se presentarán los porcentajes los grados de disipación de energía moderado DMO y especial DES.

	Porcentaje $f'c$ que requiere	Porcentaje $f'c$ que NO requiere
DMI	NO requiere	NO requiere
DMO	≥ 33	≤ 22
DES	≥ 20	≤ 15

Tabla 12. Elementos de borde.
Fuente: Elaboración propia.

Para los elementos especiales de borde el confinamiento de los estribos se debe tener en cuenta según las expresiones:

<i>DMO</i>	<i>DES</i>
$A_{sh} = 0.06 \frac{s_b c f'_c}{f_{yt}}$	$A_{sh} = 0.09 \frac{s_b c f'_c}{f_{yt}}$

Tabla 13. Áreas de estribos para los elementos especiales de borde.

Fuente: Elaboración propia.

7.4 Procedimiento de diseño.

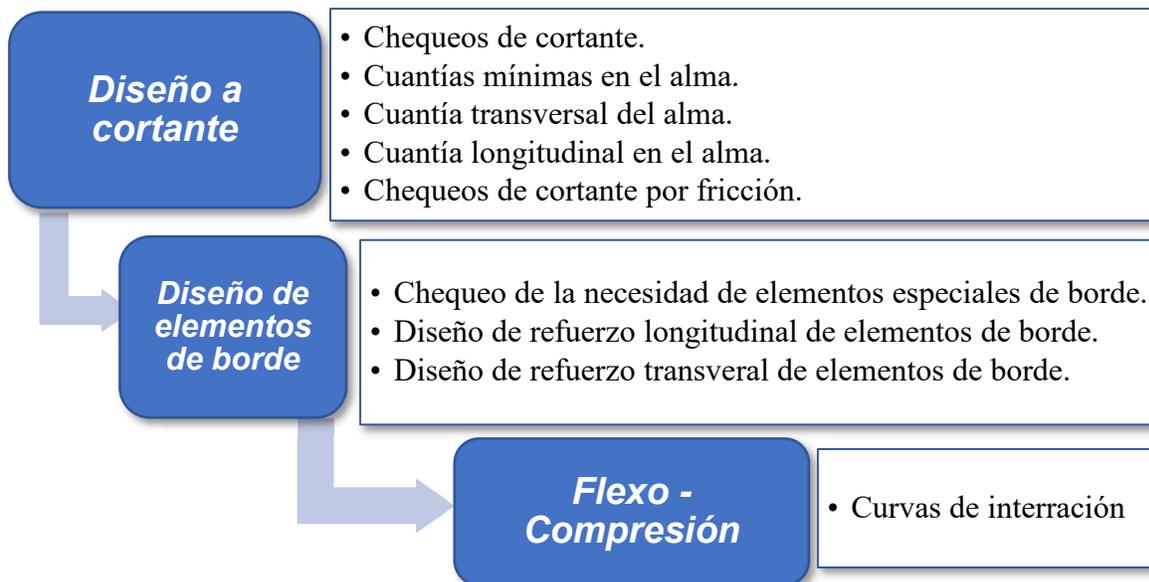


Ilustración 50. Procedimiento de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

Detallado del refuerzo.

Aquí se podrán observar los resultados obtenidos a partir del análisis previo en ETABS y Microsoft Excel por medio del dibujo detallado en el software AutoCAD para cada uno de los ejemplos según el grado de disipación de energía.

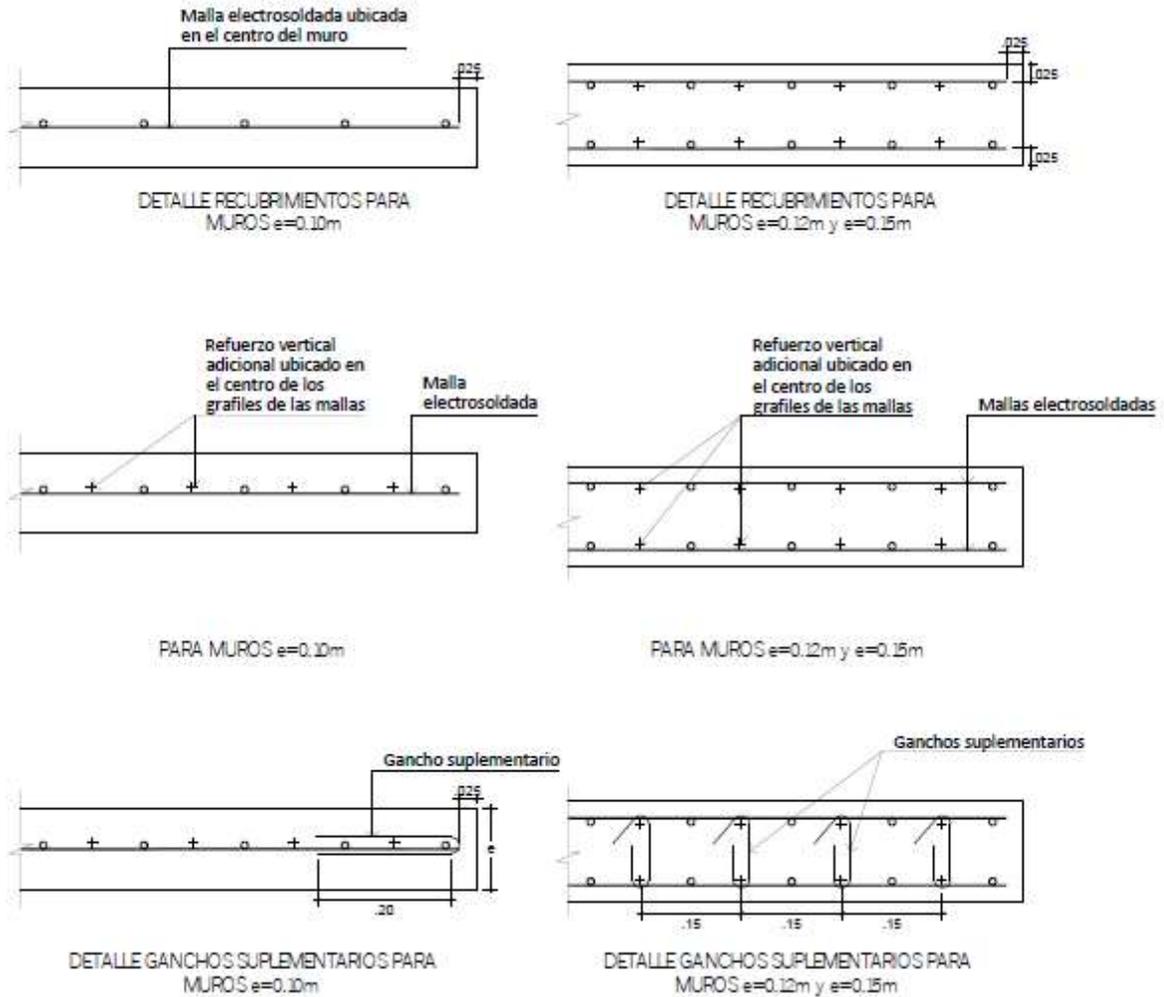
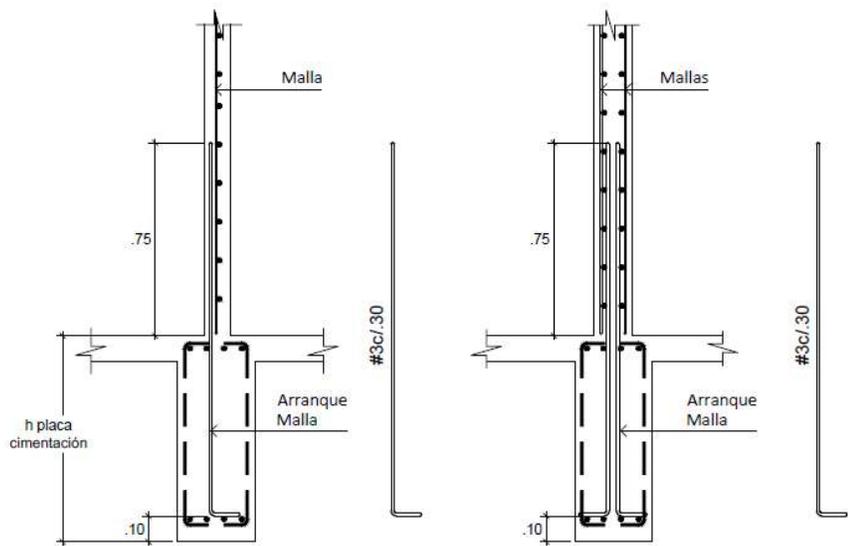


Ilustración 51. Detalles Muros parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

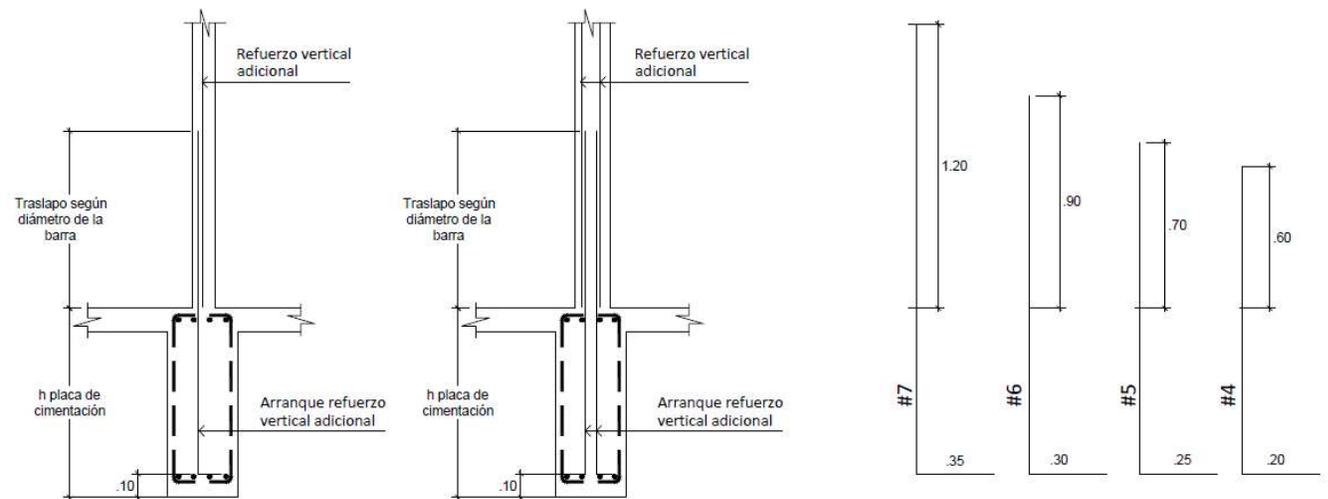


DETALLE ARRANQUES DE MALLAS PARA MUROS $e=0.10m$

DETALLE ARRANQUES DE MALLAS PARA MUROS $e=0.12m$ y $e=0.15m$

Ilustración 52. Detalles muros parte 2.

Fuente: Elaboración propia.



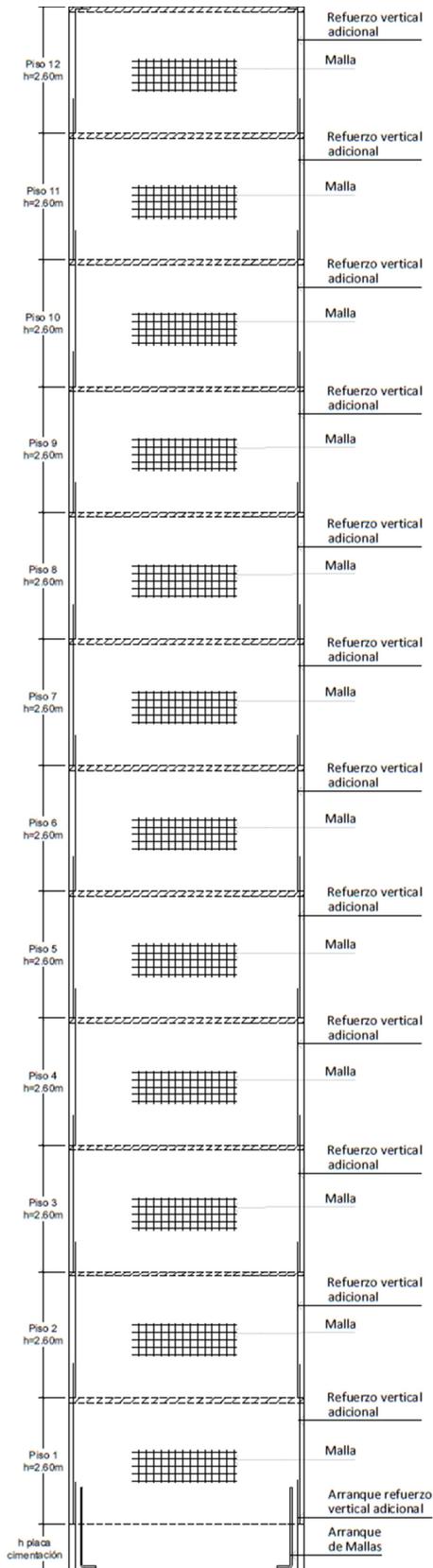
DETALLE ARRANQUES REFUERZO VERTICAL ADICIONAL PARA MUROS $e=0.10m$

DETALLE ARRANQUES REFUERZO VERTICAL ADICIONAL PARA MUROS $e=0.12m$ y $e=0.15m$

DIMENSIONES DE LOS ARRANQUES DEL REFUERZO VERTICAL ADICIONAL

Ilustración 53. Detalles muros parte 3.

Fuente: Elaboración propia.



ALZADO
TÍPICO
MUROS

Ilustración 54. Detalles de muros parte 4.
Fuente: Elaboración propia.

8 Glosario

- **Carga axial:** Fuerza actuante en un miembro estructural paralelamente a su eje de simetría, esta carga puede ser de compresión o tensión.
- **Carga concéntrica:** Fuerza actuante en un miembro estructural cuya línea de acción pasa por el centroide del elemento coincidiendo con el eje de simetría.
- **Carga excéntrica:** Fuerza actuante en un miembro estructural cuya línea de acción no es simétrica con respecto al eje de simetría del elemento, produciendo momento flector.
- **Carga lateral:** Carga sobre un elemento estructural o estructura que actúa horizontalmente.
- **Concreto:** Mezcla utilizada en construcción de cemento, agregado (fino – grueso), agua en cantidades adecuadas, aire y en algunos casos aditivos cuando se desea proporcionar características especiales, que al solidificarse obtiene propiedades como la resistencia.
- **Cortante:** Conocido también como de corte o cizalla, es un esfuerzo interno resultado de aplicar fuerzas paralelas en la sección transversal y en sentido contrario a una superficie.
- **Flexión:** Deformación que se presenta perpendicular al eje longitudinal de un elemento estructural alargado como vigas pues son diseñadas para trabajar por tracción, la flexión también es aplicada en placas y láminas.
- **Muro:** Elemento utilizado para cerrar o dividir espacios, en otros casos son destinados para soportar cargas, su altura y longitud siempre son mayores a su espesor.

- **Sistema industrializado:** Sistema constructivo con diseño de producción mecanizado, sus componentes y subsistemas son integrados por un proceso global de ejecución y montaje acelerado su construcción.
- **Fuerza:** Acción que ejerce un cuerpo sobre otro que tiende a moverlo, detenerlo, alterar su velocidad o dirección de movimiento.
- **Momento:** Es la capacidad que tiene una fuerza para alterar la velocidad de giro de un cuerpo. Se conoce también como torque o momento dinámico.
- **Solicitación:** Termino utilizado en estructuras para designar una acción sea de tipo interna o externa que afectar algún elemento o material de la estructura y que debe ser tenido en cuenta ya sea en la estimación de la resistencia o dimensionado.
- **Carga viva:** Es una carga móvil externa que se encuentra situada sobre la estructura, esta incluye el propio peso de la estructura, las personas, el equipamiento, mobiliario, etc. No incluye sismo ni fuerza de viento.
- **Espectro de diseño:** Son los valores de velocidad, aceleración o desplazamiento máximos que tienen los sistemas de un grado de libertad correspondiente a los movimientos sísmicos de diseño.
- **Cuantía:** Es la relación existente en una sección transversal (columnas, losas, vigas, etc.) entre el área del acero y el área bruta de hormigón.
- **Esfuerzo:** Es aquella fuerza por unidad de área; es una fuerza que se ejerce sobre otro cuerpo y que busca deformarlo, las variaciones dependen de como sea aplicada dicha fuerza.
- **Deformación:** Es aquel cambio que ocurre en un cuerpo que hace que varíe su forma y su tamaño debido a las fuerzas que se ejercen sobre él.

- **Carga muerta:** Son aquellas que siempre están constantes y actuantes en la edificación, por ejemplo: peso propio de la estructura y equipos fijos.
- **Coefficiente de importancia:** Valor que permite clasificar en un grupo las edificaciones y conforme a este asignar un valor para calcular las fuerzas sísmicas o de viento.
- **Deriva:** Es aquella variación que ocurre en la edificación partiendo de un valor determinado o un punto de partida.
- **Diafragma:** Es aquel que permite enlazar la estructura como un todo.

9 Bibliografía

- ACI, P. P. (2005). *CAPÍTULO 14 - MUROS. En P. P. ACI, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05) Versión en español y en sistema métrico Es un Estándar del ACI (pág. 495). Michigan: American Concrete Institute.*
- ACI, P. P. (2005). *CAPÍTULO 14 - MUROS. En P. P. ACI, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05) Versión en español y en sistema métrico Es un Estándar del ACI (pág. 495). Michigan: American Concrete Institute.*
- AMARILO S.A.S. (s.f.). *AMARILO Vivienda SALAMANCA*. Obtenido de <https://amarilo.com.co/proyecto/salamanca>
- AUTODESK. (1982). *www.autodesk.com*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/education/free-software/featured>
- Blandón , C., Arango, J., & Díaz, R. (Mayo de 2015). *VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica organizado por la Universidad de los Andes y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica; Comportamiento de muros delgados de concreto reforzado ante cargas laterales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313632895_Behavior_of_thin_reinforced_concrete_walls_under_lateral_load
- Bondarenko, S., & García, I. (Noviembre de 2012). *Universidad De Carabobo, escuela de ingeniería civil*. Obtenido de MANUAL DE CÁLCULO Y DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/5208/sbondarenko.pdf?sequence=1>
- Briceño , A., & Carreras, N. (Octubre de 2013). *Universidad Católica Andrés Bello, Facultad De Ingeniería Civil- Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011*. Obtenido de https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci38_38236_teg_muros_estructurales_según_chile_2010_y_nz_2011.pdf
- Carrillo , J., & Alcocer, S. (2011). *SciELO; Comportamiento a cortante de muros de concreto para vivienda. Ingeniería sísmica*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2011000200004

Carrillo, J., & Alcocer, S. (Junio de 2013). *ResearchGate; Resistencia a cortante de muros de concreto reforzado para diseño sísmico de vivienda de baja altura / Shear strength of RC walls for seismic design of low-rise housing*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262003797_Resistencia_a_cortante_de_muros_de_concreto_reforzado_para_diseno_sismico_de_vivienda_de_baja_altura_Shear_strength_of_RC_walls_for_seismic_design_of_low-rise_housing

COLOMBIA CO. (s.f.). *COLOMBIA CO*. Obtenido de <https://www.colombia.co/pais-colombia/hechos/ugi-torre-colpatria-y-novartis-3-hitos-de-la-arquitectura-colombiana/>

Concepto Definición. (2019). *Concreto*. Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/concreto/>

Construmática . (2019). *Carga Excéntrica*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Carga_Exc%C3%A9ntrica

CSI Computers and Structures, Inc. Spain. (1975). *Computers and Structures, Inc. (CSI)* . Obtenido de <https://www.csiespana.com/software-features/5/etabs>

Diccionario de arquitectura y construcción . (2019). *Construcción industrializada*. Obtenido de <https://www.parro.com.ar/definicion-de-construcci%F3n+industrializada>

Diccionario de arquitectura y construcción. (2019). *Carga lateral* . Obtenido de <https://www.parro.com.ar/definicion-de-carga+lateral>

Ecured. (2019). *Muro*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Muro>

McCormac, J., & Brown, R. (2011). Capítulo 18.Muros. En J. McCormac, & R. Brown, *Diseño de concreto reforzado* (pág. 724). México: Alfaomega.

Microsoft . (1985). *Microsoft Office 365 Education*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/education/products/office>

Ministerio de Ambiente, V. Y. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sísmoresistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica.

MIRANDA, P. Z. (Junio de 2005). Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/268/ProyectoCompleto.pdf?sequen>

Miranda, P. Z. (Junio de 2005). *Aplicaciones para análisis y diseño de elementos de concreto reforzado*. Obtenido de

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/268/ProyectoCompleto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Prada, M. A. (2015). *Análisis comparativo en costos del diseño estructural de muros en concreto reforzado, para las categorías de disipación de energía según NSR-10*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/13812>
- Prada, M., Carrillo, J., & Gélvez, C. (2016). Variación de las cuantías de acero de refuerzo de muros de concreto para las categorías de disipación de energía definidas en NSR-10*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 19.
- Romero, G. V. (10 de Agosto de 2016). Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático. *Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático*. Bogotá, Colombia.
- Ruiz, D., Jaramillo, R., Riveros, C., & Gallego, M. (2012). Edificios de concreto reforzado siguiendo la NSR-10 vs sismo de Quetame registrado en Bogotá D.C. *Ingeniería y Ciencia*, 61. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n16/v8n16a06.pdf>
- Zapata, F. (2019). *Carga Axial* . Obtenido de <https://www.lifeder.com/carga-axial/>
- Zapata, F. (2019). *Esfuerzo cortante*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/esfuerzo-cortante/>