



Análisis Comparativo del Desempeño Sismorresistente en Edificaciones de Hormigón Armado con Sistemas Estructurales: Pórticos Resistentes a Momentos y Sistema Dual.

Autores:

Valle Zambrano Katherin Estefania

Vargas Alcívar Patricia Isabel

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Civil

Asesor académico: Ing. Darío Páez Cornejo, Msc.

Manta – Ecuador

Diciembre 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Valle Zambrano Katherin Estefanía y Vargas Alcívar Patricia Isabel ,egresadas de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, libre y voluntariamente declaramos que la responsabilidad del contenido de la presente tesis titulada “Análisis Comparativo Del Desempeño Sismorresistente En Edificaciones De Hormigón Armado Con Sistemas Estructurales: Pórticos Resistentes A Momentos Y Sistema Dual” Nos corresponde exclusivamente y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Valle Zambrano Katherin Estefanía

CI: 1350967558

Vargas Alcívar Patricia Isabel

CI: 1351002546

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de ingeniería Civil de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante VALLE ZAMBRANO KATHERIN ESTEFANIA, legalmente matriculada en la carrera de ingeniería Civil, período académico 2024-2025, cumpliendo el total de 410 horas, cuyo tema del proyecto es “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO CON SISTEMAS ESTRUCTURALES: PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTOS Y SISTEMA DUAL”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 20 de diciembre de 2024.

Lo certifico,



Ing. Msc. Julio Darío Páez Cornejo

Docente Tutor

Área: Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de ingeniería Civil de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante VARGAS ALCIVAR PATRICIA ISABEL, legalmente matriculada en la carrera de ingeniería Civil, período académico 2024-2025, cumpliendo el total de 410 horas, cuyo tema del proyecto es “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO CON SISTEMAS ESTRUCTURALES: PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTOS Y SISTEMA DUAL”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 20 de diciembre de 2024.

Lo certifico,



Ing. Msc. Julio Darío Páez Cornejo

Docente Tutor

Área: Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO CON SISTEMAS ESTRUCTURALES: PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTOS Y SISTEMA DUAL” elaborado por la egresada: VARGAS ALCIVAR PATRICIA ISABEL de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERO CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. Dolly Delgado Toala
Miembro del tribunal

Ing. Yuri Rodríguez Andrade
Miembro del tribunal

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO CON SISTEMAS ESTRUCTURALES: PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTOS Y SISTEMA DUAL” elaborado por la egresada: VALLE ZAMBRANO KATHERIN ESTEFANIA de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERO CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. Dolly Delgado Toala
Miembro del tribunal

Ing. Yuri Rodríguez Andrade
Miembro del tribunal

Dedicatoria

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, porque sin Su guía y fortaleza esto no habría sido posible.

A mi padre, Hugo Valle, quien, aunque ya no está con nosotros, siempre me apoyó y estuvo orgulloso de que siguiera esta carrera. Sé que me cuida desde el cielo. A mi madre, quien siempre ha hecho todo lo posible para darme lo que necesito y permitirme continuar con mis estudios. A mis hermanos, quienes me han acompañado en todo este proceso, brindándome su apoyo y sus consejos.

A mis amigos que encontré en el camino y que siempre me han brindado su ayuda. En especial, a Leonela Mendoza, quien ha estado a mi lado en los buenos momentos, pero sobre todo en los difíciles. A Hipson Muñoz, por estar siempre dispuesto a ayudarme y sacarme una sonrisa, incluso en los peores momentos.

Katherin Valle Zambrano

Dedicatoria

Dedico esta investigación a Dios, por darme el privilegio de la vida, la salud para recorrer este camino y la fortaleza para enfrentar las adversidades y por permitirme contar con una familia que me ama y me apoya incondicionalmente.

A mis padres, Xavier Vargas y María Alcívar, por estar a mi lado en cada paso de este proceso y por su apoyo. Su aliento en los momentos difíciles y su confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar esta meta. También a mi hermana y mi abuela, por su cariño, comprensión y constante motivación, que me han inspirado a dar lo mejor de mí.

Y a mis amigos, quienes han compartido conmigo cada etapa de la carrera. Gracias por su compañía, por ser un pilar de apoyo y por hacer de este trayecto una experiencia única, me llena de alegría haber llegado aquí junto a ustedes.

Patricia Vargas Alcívar

Agradecimiento

Les expresamos nuestro más profundo agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por su guía y compromiso durante nuestra formación. Sus conocimientos y experiencias compartidas han sido fundamentales para nuestra formación profesional y serán de utilidad en nuestra vida laboral.

En especial, agradezco a nuestro tutor el Ingeniero Darío Páez, por su orientación, sus enseñanzas y las experiencias compartidas durante este proceso. Su apoyo ha sido importante para la culminación de este trabajo.

Patricia Vargas Alcívar & Katherin Valle Zambrano

Resumen

Esta investigación analiza el comportamiento sísmico de edificaciones de hormigón armado empleando dos sistemas estructurales: pórticos resistentes a momentos y sistemas duales, en un contexto de alta peligrosidad sísmica como el de Ecuador. Se realizó una investigación teórico - experimental en donde se incluyeron simulaciones computacionales con el software ETABS para modelar estructuras con diferentes elevaciones, evaluando parámetros como la rigidez, ductilidad y capacidad de disipación de energía.

Los resultados obtenidos en el análisis estático y modal espectral revelaron que los sistemas duales poseen un mejor desempeño sismorresistente, en especial en escenarios de alta actividad sísmica debido a su capacidad de combinar rigidez y flexibilidad, en contraste con los sistemas aporticados, que poseen un buen desempeño, pero destacan por su facilidad constructiva y costos menores con respecto a los duales. Y con la obtención del porcentaje de reducción de ambos análisis se representa una disminución significativa, tanto en derivas como en períodos, al cambiar de un sistema a otro.

Abstract

This research analyzes the seismic behavior of reinforced concrete buildings using two structural systems: moment-resistant frames and dual systems, in a context of high seismic hazard such as that of Ecuador. A theoretical-experimental investigation was carried out where computer simulations were included with the ETABS software to model structures with different elevations, evaluating parameters such as stiffness, ductility and energy dissipation capacity.

The results obtained in the static and modal spectral analysis revealed that dual systems have a better seismic-resistant performance, especially in scenarios of high seismic activity due to their ability to combine stiffness and flexibility, in contrast to framed systems, which have a good performance, but stand out for their ease of construction and lower costs compared to dual systems. And with the percentage reduction of both analyses, a significant decrease is represented, both in drifts and in periods, when changing from one system to another.

Índice de contenido

| | |
|--|----|
| Dedicatoria..... | 2 |
| Dedicatoria..... | 3 |
| Agradecimiento..... | 4 |
| Resumen..... | 5 |
| Abstract..... | 6 |
| Índice de contenido..... | 7 |
| Índice de tablas..... | 11 |
| Índice de figuras..... | 13 |
| 1 Capítulo I Estado del Arte..... | 17 |
| 1.1 Introducción..... | 17 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 19 |
| 1.3 Objetivos..... | 20 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 20 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 20 |
| 1.4 Antecedentes..... | 21 |
| 1.5 Justificación..... | 24 |
| 1.6 Hipótesis..... | 25 |
| 1.7 Variables..... | 25 |

| | |
|-------|---|
| | 8 |
| 1.7.1 | Variables independientes25 |
| 1.7.2 | Variables dependientes.....25 |
| 2 | Capítulo II Marco Teórico26 |
| 2.1 | Sistema estructural.....26 |
| 2.2 | Tipos de sistemas estructurales.....28 |
| 2.2.1 | Sistema estructural de concreto armado29 |
| 2.3 | Elementos estructurales de hormigón armado30 |
| 2.3.1 | Columnas30 |
| 2.3.2 | Vigas31 |
| 2.3.3 | Losas31 |
| 2.3.4 | Muros estructurales.....32 |
| 2.4 | Sistemas estructurales en edificaciones de hormigón armado.....40 |
| 2.4.1 | Pórticos resistentes a momentos41 |
| 2.4.2 | Sistema dual.....45 |
| 2.5 | Prediseño de elementos.....47 |
| 2.5.1 | Prediseño de vigas47 |
| 2.5.2 | Prediseño de losa49 |
| 2.5.3 | Prediseño de columnas52 |
| 2.6 | Cálculo de las fuerzas laterales de acuerdo con el método estático.....54 |
| 2.6.1 | Factor de zona sísmica (z)54 |

| | |
|-------|---|
| | 9 |
| 2.6.2 | Tipo de uso de la edificación54 |
| 2.6.3 | Factor de reducción de resistencia55 |
| 2.6.4 | Coefficientes de amplificación.....56 |
| 2.6.5 | Determinación del período de vibración de la Estructura T57 |
| 2.6.6 | Pseudo-aceleraciones.....58 |
| 2.7 | Análisis estático lineal59 |
| 2.8 | Análisis modal espectral61 |
| 3 | Capítulo III Materiales y Métodos.....63 |
| 3.1 | Metodología de investigación.....63 |
| 3.2 | Métodos de investigación63 |
| 3.2.1 | Método empírico.....64 |
| 3.2.2 | Método análisis – síntesis64 |
| 3.2.3 | Método lógico deductivo64 |
| 3.3 | Materiales de investigación65 |
| 3.4 | Metodología de cálculo.....65 |
| 3.4.1 | Descripción General del Proyecto65 |
| 3.4.2 | Ubicación.....65 |
| 3.4.3 | Estructuración y predimensionado66 |
| 3.5 | Muestras.....69 |
| 3.5.1 | Nomenclatura de las muestras69 |

| | |
|--|-----|
| | 10 |
| 3.5.2 Descripción de las muestras..... | 70 |
| 3.5.3 Dimensiones de los elementos estructurales de las muestras | 72 |
| 4 Capítulo IV Análisis y Resultados | 75 |
| 4.1 Derivas | 75 |
| 4.1.1 Análisis estático | 75 |
| 4.1.2 Análisis modal espectral | 85 |
| 4.2 Períodos | 95 |
| 4.2.1 Comparación de períodos en ambos sistemas | 96 |
| 4.2.2 Coeficiente empírico de reducción | 96 |
| 4.2.3 Correlación de los resultados..... | 97 |
| 4.2.4 Comparación de ecuación empírica del período..... | 98 |
| 5 Capitulo V Conclusiones y Recomendaciones | 101 |
| 5.1 Conclusiones..... | 101 |
| 5.2 Recomendaciones | 102 |
| 6 Bibliografía | 104 |
| 7 Anexos | 109 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Altura mínima de vigas no preesforzadas. Fuente: ACI 318S-14 - NEC 2015...48 | 48 |
| Tabla 2. Límites dimensionales del ancho sobresaliente del ala para vigas T. Fuente: ACI 318S-14 - NEC 201548 | 48 |
| Tabla 3. Espesor mínimo de las losas de dos direcciones con vigas entre los apoyos en todos lados. Fuente: ACI 318S-14 - NEC 2015.....49 | 49 |
| Tabla 4. Valor de factor Z. Fuente: NEC_SE_DS-2015(peligro sísmico)54 | 54 |
| Tabla 5. Coeficiente de importancia. Fuente: NEC_SE_DS-2015(peligro sísmico)55 | 55 |
| Tabla 6. Tipo de Suelo. Fuente: NEC-15(peligro sísmico).....55 | 55 |
| Tabla 7. Factor Fa. Fuente: NEC-15(peligro sísmico).....56 | 56 |
| Tabla 8. Factor Fd. Fuente: NEC-15(peligro sísmico).....56 | 56 |
| Tabla 9 Factor Fs. Fuente: NEC-15(peligro sísmico)57 | 57 |
| Tabla 10 Coeficientes Ct y α según el tipo de estructura Fuente: NEC-15(peligro sísmico).....58 | 58 |
| Tabla 11. Valores de k. Fuente: NEC-15(peligro sísmico).....59 | 59 |
| Tabla 12 Dimensiones de las estructuras con sistema aporticado.....67 | 67 |
| Tabla 13 Dimensiones de las estructuras con sistema dual.....68 | 68 |
| Tabla 14 Modelos tridimensionales en ETABS.69 | 69 |
| Tabla 15 Dimensiones de las columnas.73 | 73 |
| Tabla 16 Dimensiones de vigas.74 | 74 |
| Tabla 17. Resultados de las derivas para sistemas estructurales: aporticado y dual.76 | 76 |
| Tabla 18. Resultados del coeficiente empírico de reducción para ejes X e Y.80 | 80 |
| Tabla 19. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje X.81 | 81 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 20. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje Y. | 83 |
| Tabla 21. Resultados de las derivas para sistemas estructurales: aporticado y dual. | 86 |
| Tabla 22. Resultados de los coeficientes de reducción para los ejes X e Y modal espectral. | 90 |
| Tabla 23. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje X modal espectral. | 91 |
| Tabla 24. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje Y modal espectral. | 92 |
| Tabla 25. Resultados de períodos de las edificaciones. | 95 |
| Tabla 26. Resultados de los coeficientes empíricos para los períodos de vibración. | 97 |
| Tabla 27. Coeficientes para fórmula empírica. Fuente: Patricia Vargas y Katherine Valle | 99 |
| Tabla 28 Grillas del edificio de 15 niveles - sentido X. | 111 |
| Tabla 29 Grillas del edificio de 15 niveles - sentido Y. | 111 |
| Tabla 30 Alturas entrepisos del edificio de 15 niveles. | 111 |
| Tabla 31 Propiedades del hormigón. | 113 |
| Tabla 32 Propiedades del Acero. | 113 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistema estructural más común en Ecuador. Fuente: (Cedeño, 2015) | 28 |
| Figura 2. Esquema de columna. Fuente: Ingeniería real (2020)..... | 30 |
| Figura 3. Esquema de viga. Fuente: Libre Ingeniería civil (2021)..... | 31 |
| Figura 4. Esquema de losa de 20 cm. Fuente: Art Chist (2020) | 32 |
| Figura 5. Muros estructurales en edificación de baja altura. Fuente: Libre Ingeniería civil (2021)..... | 34 |
| Figura 6. Esquema de secciones de muros. Fuente: Alcívar Stalin (2020)..... | 35 |
| Figura 7. Concentración vs distribución de muros (a. Localización concentrada de elementos rigidizantes. b. Distribución uniforme de elementos rigidizantes).Fuente: Diseño de desempeño de Edificios (Bazán y Meli, 2003)..... | 36 |
| Figura 8. Geometría general del muro estructural. Fuente: Alcívar Stalin, 2020 | 38 |
| Figura 9. Sistemas estructurales de hormigón armado, Fuente: (J H Soluciones integrales, s.f.)..... | 41 |
| Figura 10. Sistema de pórticos resistentes a momentos. Fuente: Civil geeks (s,f)..... | 42 |
| Figura 11. Sistema dual. Fuente: CYPE Ingeniería (s,f)..... | 45 |
| Figura 12. Esquema de dimensiones de vigas interiores (T) y vigas de borde (L)..... | 47 |
| Figura 13. Área tributaria..... | 53 |
| Figura 14. Diagrama equivalente de un grado de libertad. Fuente: Calcina R (2017) | 60 |
| Figura 15. Diagrama de análisis modal espectral. Fuente: Inesa Tech (2024)..... | 62 |
| Figura 16. Zonificación sísmica en Ecuador. Fuente: NEC-2015 | 66 |
| Figura 17. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Figura 18 . (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X..... | 77 |
| Figura 19. Gráficas comparativas de las derivas en el eje X en ambos sistemas. | 77 |
| Figura 20. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y. | 78 |
| Figura 21 . (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y. | 79 |
| Figura 22. Gráficas comparativas de las derivas en el eje Y en ambos sistemas. | 79 |
| Figura 23. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje X. | 82 |
| Figura 24. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje Y..... | 83 |
| Figura 25. Correlación de las variables en el eje X. | 84 |
| Figura 26. Correlación de las variables en el eje Y..... | 85 |
| Figura 27. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X..... | 86 |
| Figura 28 . (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X..... | 87 |
| Figura 29. Gráficas comparativas de las derivas en el eje X en ambos sistemas. | 87 |
| Figura 30. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y. | 88 |
| Figura 31 . (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y. | 89 |

| | |
|---|-----|
| | 15 |
| Figura 32. Gráficas comparativas de las derivas en el eje Y en ambos sistemas. | 89 |
| Figura 33. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje X. | 91 |
| Figura 34. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje Y modal espectral. | 92 |
| Figura 35. Correlación de las variables en el eje X. | 93 |
| Figura 36. Correlación de las variables en el eje Y modal espectral. | 94 |
| Figura 37. Gráficas comparativas de los períodos en ambos sistemas. | 96 |
| Figura 38. Correlación de los resultados. | 98 |
| Figura 39 Definición de Grips en ETABS. | 112 |
| Figura 40 Definición de las alturas entrepisos en ETABS. | 112 |
| Figura 41 Propiedades del Hormigón Fuente: ETABS. | 114 |
| Figura 42 Propiedades del Acero. Fuente: ETABS. | 114 |
| Figura 43 Secciones de columna C60x60. Fuente: ETABS | 115 |
| Figura 44 Secciones de columna C55x55. Fuente: ETABS | 116 |
| Figura 45 Secciones de columna C50x50. Fuente: ETABS | 116 |
| Figura 46 Secciones de columna C45x45. Fuente: ETABS | 117 |
| Figura 47 Secciones de columna C40x40. Fuente: ETABS | 117 |
| Figura 48 Secciones de columna C35x35. Fuente: ETABS | 118 |
| Figura 49 Secciones de vigas V45x55. Fuente: ETABS. | 118 |
| Figura 50 Secciones de vigas V40x50. Fuente: ETABS. | 119 |
| Figura 51 Secciones de vigas V35x45. Fuente: ETABS. | 119 |
| Figura 52 Secciones de vigas V30x40. Fuente: ETABS. | 120 |

| | |
|--|-----|
| Figura 53 Losa Aligerada. Fuente: ETABS | 121 |
| Figura 54 Definición de los empotramientos. Fuente: ETABS | 122 |
| Figura 55 Patrones de Cargas. Fuente: ETABS | 123 |
| Figura 56 Coeficiente basal y factor k en SX. Fuente: ETABS..... | 123 |
| Figura 57 Coeficiente basal y factor k en SY. Fuente: ETABS | 124 |
| Figura 58 Espectro Inelástico. Fuente: ETABS | 125 |
| Figura 59 Casos de cargas Modal Espectral. Fuente: ETABS..... | 125 |
| Figura 60 Combinación de Cargas. Fuente: ETABS | 126 |
| Figura 61 Carga de Acabado del Piso 1 al 14. Fuente: ETABS..... | 127 |
| Figura 62 Carga de Acabado del Piso 15. Fuente: ETABS..... | 127 |
| Figura 63 Carga viva del Piso 1 al 14. Fuente: ETABS..... | 128 |
| Figura 64 Carga viva del Piso 15. Fuente: ETABS..... | 128 |
| Figura 65 Diafragmas rígidos. Fuente: ETABS | 129 |
| Figura 66 Definición de los nudos rígidos. Fuente: ETABS | 130 |
| Figura 67 Definición del Peso reactivo. Fuente: ETABS | 130 |

1 Capítulo I

Estado del Arte

1.1 Introducción

Con el paso de los años, la ingeniería estructural ha tenido un papel importante con relación a la reducción de riesgos que están asociados con eventos sísmicos, sobre todo en regiones de alta actividad sísmica, como es el caso de Ecuador, dado que se encuentra en el cinturón de fuego del Pacífico. Velarde Cruz et al (2022) en su artículo “*Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual*”, indica que una de las soluciones constructivas más comunes es el uso de edificaciones de hormigón armado por la versatilidad y resistencia que presenta. Aunque su comportamiento frente a cargas sísmicas dependerá del tipo de sistema estructural implementado, debido a las características particulares y aplicaciones que presentan los pórticos resistentes a momentos y los sistemas duales, que han sido el objeto de estudio.

La seguridad no es el único factor que interviene al momento de elegir un sistema estructural adecuado, también lo hacen el costo, funcionalidad y sobre todo el desempeño frente a sismos. No obstante, siguen existiendo dudas sobre cuál sistema ofrece un mejor comportamiento frente a diferentes condiciones sísmicas y como se puede optimizar el diseño para maximizar la seguridad estructural. Es por esta razón, que se realizó un análisis comparativo entre estos sistemas estructurales, para lograr una mejor comprensión de los comportamientos y contribuir con el diseño de edificaciones seguras y eficiente.

El propósito de esta investigación es comparar el desempeño sismorresistente de edificios de hormigón armado que emplean los sistemas estructurales: pórticos resistentes a momento y sistema dual, por medio del análisis estático lineal y modal espectral. A través de un enfoque teórico y experimental, se buscan evaluar las diferencias en términos de rigidez, ductilidad y

capacidad de disipación de energía, utilizando normativas vigentes y simulaciones computacionales como base para el análisis.

La importancia de este estudio se debe al impacto que tiene en la seguridad de las personas y la protección de las infraestructuras en áreas de alta peligrosidad sísmica. Los resultados obtenidos proporcionan información que permitirán tomar decisiones más fundamentadas para la elección de un sistema estructural de hormigón armado, también podrían contribuir en la identificación de posibles áreas de mejora en la normativa actual y en el campo de la ingeniería sísmica.

El presente trabajo se organiza en cinco capítulos: en el primer capítulo se desarrolla el estado del arte, en donde se revisaron investigaciones previas sobre los sistemas estructurales analizados. En el segundo capítulo se aborda el marco teórico, en el que se incluyen los conceptos fundamentales relacionados con el comportamiento sismorresistente de los sistemas. En el tercer capítulo, se detallan los materiales y métodos que fueron empleados, desde las características de las edificaciones, es decir los modelos, hasta la metodología de simulación. En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos, el análisis comparativo. Y finalmente, en el quinto capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones enfocadas en la implementación práctica y futuras líneas de investigación.

1.2 Planteamiento del problema

A nivel mundial y en Latinoamérica, el diseño sismorresistente en regiones de alta actividad sísmica es una práctica esencial para garantizar la seguridad industrial. Sin embargo, persisten dudas sobre cuál sistema estructural de hormigón armado resulta más eficiente y adecuado para su implementación, particularmente al comparar los sistemas aporticados y duales. Aunque ambos sistemas ofrecen ventajas distintivas, la falta de estudios comparativos limita la capacidad de seleccionar la opción óptima para el diseño estructural en diversas condiciones.

En Ecuador, un país situado en una zona de alta sismicidad, el desempeño estructural enfrenta desafíos significativos. El terremoto del 2016 evidenció deficiencias críticas en muchas edificaciones, destacando la falta de estudios locales sobre el comportamiento y la implementación adecuada de sistemas estructurales sismorresistentes como los aporticados y duales. Esta carencia de investigaciones genera incertidumbre durante la etapa de diseño estructural, dificultando la toma de decisiones fundamentadas, especialmente en contextos donde los recursos son limitados y se deben equilibrar criterios de seguridad, costo y funcionalidad.

La ausencia de criterios claros para determinar cuál sistema estructural es más adecuado, incrementa el riesgo de colapso de las edificaciones durante los eventos sísmicos, así como los costos asociados a reparaciones o rehabilitaciones posteriores. Por ello, surge la necesidad de realizar estudios comparativos que permitan evaluar el desempeño sismorresistente de estos sistemas bajo condiciones específicas.

En base a la problemática surge la siguiente pregunta: ¿Influye el tipo de sistema estructural en el desempeño sismorresistente de las estructuras de hormigón armado?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Analizar los sistemas estructurales: pórticos resistentes a momentos y sistema dual a través del análisis estático y modal espectral, para comparar su desempeño sismorresistente en edificios de hormigón armado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Generar un relevamiento bibliográfico sobre el desempeño sismorresistente de edificaciones de hormigón armado con sistemas estructurales: pórticos resistentes a momentos y sistema dual.
- Analizar el desempeño sismorresistente de edificaciones de hormigón armado mediante el método estático con los diferentes sistemas estructurales.
- Evaluar el desempeño sismorresistente de edificaciones de hormigón armado mediante el análisis modal espectral con los diferentes sistemas estructurales.
- Comparar los resultados de los análisis de acuerdo con lo que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).

1.4 Antecedentes

El diseño de sistemas estructurales sismorresistentes ha sido estudiado de manera amplia en el ámbito internacional, investigaciones como la realizada por Algamati et al (2023) en el “*Estudio y análisis del comportamiento sísmico de edificios de hormigón con estructuras resistentes a momentos*” analizó el comportamiento sísmico de los pórticos resistentes a momentos en edificios de hormigón armado. Utilizando simulaciones numéricas, su investigación reveló que estos sistemas, aunque eficaces para resistir cargas sísmicas de baja a moderada magnitud, presentan limitaciones en términos de flexibilidad y resistencia frente a sismos de mayor intensidad, lo que subraya la importancia de explorar sistemas híbridos o duales para mejorar el rendimiento estructural.

También se han realizado otras investigaciones que guardan relación con lo estudiado, en el artículo “*Comportamiento sísmico de sistemas estructurales duales de muro de corte y marco de hormigón armado*” se analizó sistemáticamente el comportamiento sísmico de los sistemas estructurales duales de muro de corte y armazón de hormigón armado, en los que se utilizan muros de corte para la “integración funcional” y la “separación funcional” donde se pudo observar que el daño de las muestras se distribuye principalmente en las vigas. (Xu, Zhao, Yang, Zhang, & Chen, 2023)

Shakeel (2024) en el estudio “*Comparación de desempeño sísmico y costos de estructuras de hormigón armado resistentes a momentos y de estructuras dobles utilizando UBC 97 e IBC 2021*” que investiga el efecto del uso de nuevos riesgos sísmicos en el desempeño estructural de los edificios de hormigón armado y analizando el impacto financiero en los costos de capital de los edificios nuevos. Brindando así conocimientos útiles para comprender el desempeño

estructural y el impacto financiero de la adopción del IBC 21 para el diseño estructural en contraste con el UBC 97.

En América Latina la alta actividad tectónica ha motivado estudios centrados en la respuesta de las edificaciones frente a los eventos sísmicos, por ejemplo, Velarde et al (2022) en el estudio “*Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual*” compara la confiabilidad estructural de un edificio de concreto reforzado destinado a uso de oficinas y ubicado en el suelo blando de la Ciudad de México, utilizando dos sistemas estructurales distintos. Primero se analiza una edificación que emplea el sistema estructural de pórticos resistentes a momento de hormigón armado (sistema convencional) y en el segundo se incorporan muros estructurales ubicados estratégicamente en los pórticos exteriores (sistema dual), en donde concluye que con los resultados obtenidos se comprueba que utilizar el sistema dual puede ser una buena alternativa de diseño, obteniendo una solución más económica y un mejor comportamiento sísmico.

Entre otras aportaciones investigativas se encuentran:

Chanduví & Santillán (2023) con el estudio “*Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico entre un Sistema de Disipación de Energía Histerético y un Sistema de Aislamiento Elastomérico en Edificios de Hormigón Armado*” donde con los resultados se concluyó que conforme aumentan los niveles de las estructuras, iniciando desde la estructura de ocho niveles, la efectividad de los aisladores se reduce en un (3.13%), mientras que la efectividad de los disipadores aumenta en un (11.56%).

Garrido & Fernández (2024) en el estudio “*Comportamiento sísmico de edificios irregulares en planta considerando sistemas de aislamiento con excentricidad de rigidez*” se

evaluó el efecto de los parámetros dinámicos del sistema de aislamiento, la razón de amortiguamiento crítico, el período de vibración, y la excentricidad de rigidez de la base de aislamiento en el comportamiento torsional de una muestra de edificios con seis niveles y aislados en la base de hormigón armado, considerando las excentricidades de masa o rigidez en la superestructura.

En el caso de Ecuador, los sistemas de concreto armado en especial los pórticos y los sistemas duales son utilizados con más frecuencia en comparación con otros sistemas, debido a la eficiencia en zonas sísmicas, como es el caso del país, por lo que se han realizados algunos estudios relacionados con el desempeño estructural de estos sistemas, tales como:

En su estudio “*Desempeño sísmico de tres sistemas estructurales aporticados diseñados según la norma ecuatoriana de la construcción, NEC2015*”, Vera (2024) indica que la muestra se analizó mediante un análisis no lineal estático (Pushover) haciendo uso del software ETABS y se determinó la curva de capacidad en cada caso, además se empleó el método de los coeficientes de desplazamiento para encontrar su punto de desempeño. Finalmente, se comparó el desempeño sísmico de los tres sistemas, cuyos resultados mostraron que el de acero estructural y sección compuesta se encuentran en el nivel ocupacional, mientras que el nivel de desempeño para un nivel de amenaza de sismo raro en el sistema de hormigón armado se encuentra en seguridad de vida.

Andrade & Jaramillo (2015) con la investigación “*Análisis comparativo entre sistemas estructurales sísmos resistentes para edificios utilizando sistemas combinados con pórticos, muros o diagonales en hormigón y acero*” se concluyó que el sistema de pórticos no arriostrados tendrá un comportamiento más económico con respecto a los demás sistemas a medida.

En la investigación “*Análisis Comparativo Entre un Edificio Con Pórticos Resistentes a Momentos Con la Inclusión de Amortiguadores de Masa Sintonizada y un Edificio Con Sistema Dual de Muros de Corte*” Chavéz et al (2015) exponen que el sistema más óptimo en cuanto a reducción de cortantes y períodos es el Sistema de Muros Cortantes, sin embargo al comparar el sistema aporticado con la inclusión de los AMS y un aporticado tradicional la inclusión del amortiguador, reduce considerablemente los cortantes y períodos dando una buena alternativa para protección sísmica en estructuras.

1.5 Justificación

El diseño sismorresistente es un tema de gran relevancia en regiones de alta sismicidad, debido al riesgo constante que los terremotos representan para las infraestructuras y la seguridad de las personas. Si bien el hormigón armado se ha consolidado como uno de los materiales más utilizados por su resistencia y durabilidad, el desempeño estructural de una edificación no depende únicamente del material, sino también del sistema estructural empleado. Entre los sistemas más utilizados se encuentran el aporticado y el dual, pero persisten interrogantes acerca de cuál ofrece un mejor desempeño bajo condiciones sísmicas específicas.

Esta investigación es importante porque aborda una comparación técnica detallada entre ambos sistemas estructurales, identificando sus fortalezas y limitaciones en contextos específicos. Aunque existen normativas internacionales como la ASCE/SEI 7-22 y regulaciones locales, estas no siempre brindan criterios suficientes para elegir con precisión el sistema estructural más adecuado en función de las características sísmicas y estructurales del entorno. Esto genera

incertidumbre, especialmente en países como Ecuador, donde la alta sismicidad plantea constantes desafíos para el diseño seguro y eficiente de edificaciones.

La pertinencia de este estudio radica en que aporta conocimientos clave para el desarrollo de criterios técnicos que permitan seleccionar de manera fundamentada el sistema estructural más adecuado en función de las condiciones locales. Además, este trabajo tiene el potencial de contribuir el fortalecimiento y actualización de las normativas sismorresistentes en Ecuador, ayudando a reducir el riesgo de colapso estructural, los costos de rehabilitación y, sobre todo, las pérdidas humanas frente a eventos sísmicos.

Por tanto, los resultados de esta investigación no solo buscan mejorar la práctica del diseño estructural, sino también aportar soluciones que fortalezcan la resiliencia sísmica del entorno construido en el país.

1.6 Hipótesis

El desempeño sismorresistente de una edificación de hormigón armado dependerá del tipo de sistema estructural con la que se encuentre construido.

1.7 Variables

1.7.1 Variables independientes

Los sistemas estructurales: pórticos resistentes a momentos y sistema dual.

1.7.2 Variables dependientes

Desempeño sismorresistente.

2 Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Sistema estructural

Un sistema estructural se entiende como todo aquel conjunto de elementos que tiene la función común de resistir cargas y cuyo dimensionamiento tiene una serie de condiciones propias que cumplen con diversos criterios de resistencia. (Bozzo & Barbat, 1999)

Esto quiere decir, que se puede definir un sistema estructural como aquel conjunto de elementos resistentes que se encuentran vinculados entre ellos para poder transmitir las cargas a los apoyos de las edificaciones. Esto para garantizar tanto el equilibrio y la estabilidad, sin poner en riesgo el sufrir deformaciones grandes, es decir que estos elementos son capaces de mantener su forma geométrica sin cambios apreciables en la carga y descarga.

Oviedo J & Duque M (2006) indican que los sistemas estructurales son relevantes, ya que son los encargados de proporcionar soporte a la construcción al tener que soportar todas las cargas solicitadas por la construcción que se quiera desarrollar, teniendo en cuenta que si el sistema estructural usado en alguna obra civil falla significaría poner en riesgo la vida de muchas personas. Aunque es de conocimiento que existen otros factores que pueden influir en el colapso de una estructura, sin duda, que el sistema estructural se encuentre elegido de manera apropiada ayuda a soportar cargas verticales, al igual que el peso propio de la estructura y los usuarios, asimismo cargas laterales que pueden ser sismos o la fuerza del viento.

Las cargas son todos aquellos esfuerzos que tendrá que soportar la obra, por lo que dependiendo de estas el tipo de sistema estructural puede variar, dependiendo cuál de ellos se adapte mejor a lo que se solicita, en diferentes aspectos tanto económicos como técnicos.

Al igual que el sector de la construcción, el ámbito de los sistemas estructurales es sumamente amplio, abarcando una gran variedad de sistemas que pueden clasificarse según diversas características. Entre estas se incluyen:

- Economía
- Problemas de construcción
- Necesidades estructurales especiales
- Materiales y limitación de escala
- Problemas de diseño

De acuerdo con las características mencionadas anteriormente, se puede decir, que existen una variedad de sistemas estructurales que se pueden usar en la construcción, entre ellos el aporticado, sistemas de muros portantes, sistemas mixtos, cerchas o también llamadas armaduras, entre otros, donde se puede considerar que la clasificación más común es la que se realiza de acuerdo con los materiales que se emplean para construir el sistema estructural.

En el caso de Ecuador, el concreto armado se ha consolidado como el material de construcción más utilizado en las últimas décadas, gracias a la confianza generacional que ha adquirido. Morales (2006) indica que las ciudades del país han sido edificadas utilizando el sistema de marcos rígidos, conocido comúnmente como sistema aporticado, compuesto principalmente por columnas, vigas y losas. Este sistema se ha establecido como el método tradicional de construcción debido a su funcionalidad frente a la sismicidad, ya que permite transmitir las cargas de manera eficiente entre los elementos estructurales hasta llegar a la cimentación. Específicamente, las cargas se transfieren desde las losas hacia las vigas, de estas a las columnas y finalmente a los cimientos, como se ilustra a continuación:

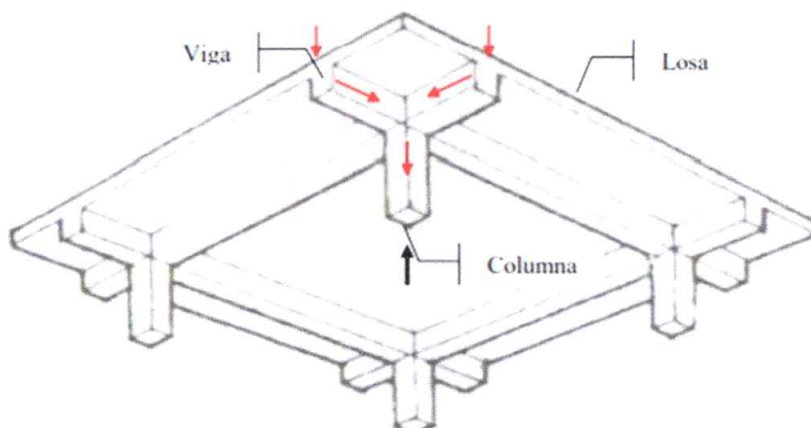


Figura 1. Sistema estructural más común en Ecuador. Fuente: (Cedeño, 2015)

Es importante acotar que, para el uso de los sistemas estructurales se requiere de un diseño que pueda suplir las necesidades sismorresistentes, que se contemplen en los materiales que se van a emplear y que también van a intervenir en el rendimiento que va a presentar el sistema estructural.

2.2 Tipos de sistemas estructurales

Existen diversas maneras de poder clasificar un sistema estructural y una de las más comunes y prácticas es el clasificarlos mediante el material empleado para desarrollar el sistema constructivo, por lo que de acuerdo con los materiales los sistemas estructurales se pueden ver clasificado de la siguiente manera:

- Sistema estructural de Concreto Armado
- Sistema estructural de Albañilería
- Sistema estructural de Acero
- Sistema estructural de Madera
- Sistema estructural de Tierra

2.2.1 Sistema estructural de concreto armado

El concreto u hormigón es un material de construcción que se asemeja a la piedra, es obtenido a través de la mezcla proporcionada de grava, arena u otros agregados que se unen mediante cemento y agua, estos interactúan químicamente conformando una masa sólida que deberá rodear el acero de refuerzo, por lo que es necesario agregar agua para otorgar más trabajabilidad a la mezcla antes de que comience el proceso de fraguado obteniendo como producto final una mezcla endurecida que toma la forma y dimensiones deseadas mediante los encofrados. (Calderón & Proaño, 2021)

Según Nilzon (2001) la importancia del hormigón armado como material de construcción radica en la versatilidad del material, ya que se adapta con facilidad a cualquier tipo de molde o encofrado, permitiendo adquirir diversas formas por lo que ha sido utilizado durante miles de años comenzando probablemente en el antiguo Egipto.

González, (2023) destaca que:

Una estructura de hormigón se identifica porque combina varios elementos, con el objetivo de darle seguridad y durabilidad a las edificaciones, se emplean en construcciones de edificios, lozas, complejos habitacionales y demás edificaciones, que les brindará una construcción rápida y económica con el fin de ahorrar tanto en materiales como en mano de obra y terminación de tiempo, tomando en cuenta que no requiere mucho acabado final, ya que gracias a su empleo de combinación, el encofrado de acero proporciona un producto liso, dejando pequeños detalles.

Entonces, se podría decir que los sistemas estructurales de Concreto Armado son estructuras que estarán conformadas por elementos en donde su composición es concreto u hormigón en conjunto con el acero de refuerzo, que es lo que se conoce como hormigón armado.

2.3 Elementos estructurales de hormigón armado

2.3.1 Columnas

La columna es el elemento estructural vertical utilizado para sostener la carga de la edificación. Es utilizado ampliamente en la ingeniería estructural y la arquitectura por la libertad que proporciona para distribuir espacios, al tiempo que cumple con la función de soportar el peso de la construcción; es un elemento fundamental en el esquema de una estructura y la adecuada selección de su tamaño, forma, espaciamiento y composición influyen de manera directa en su capacidad de carga. (Mero, 2013)

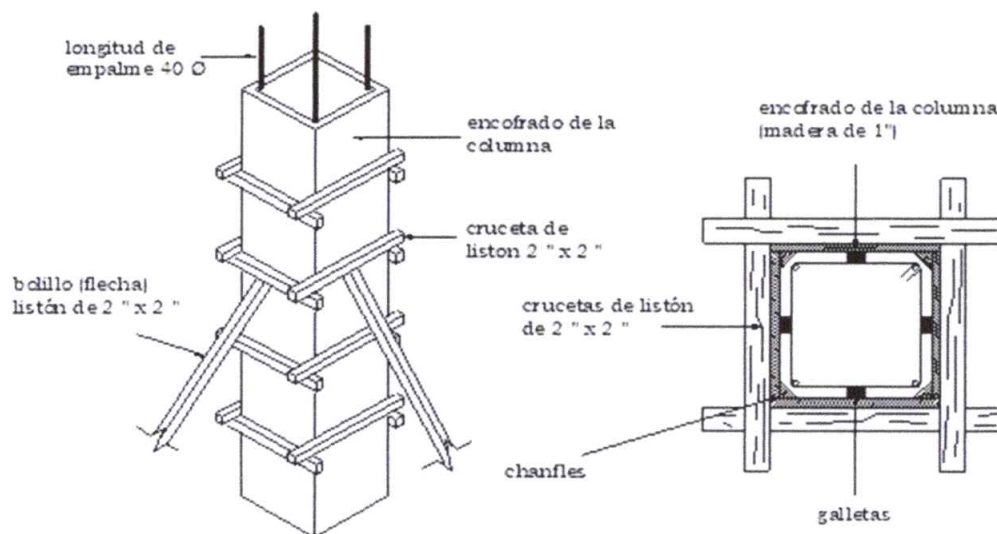


Figura 2. Esquema de columna. Fuente: Ingeniería real (2020)

2.3.2 Vigas

Las vigas son aquellos componentes que funcionan como primarios dentro de marcos rígidos de columnas y vigas, además son empleadas para mantener ciertas losas, dado que su unión a las columnas permite resistir estructuras y cargas de las obras así mismo permiten flexibilidad. Este elemento estructural se encarga de transmitir las cargas a las columnas, el principal funcionamiento de estos elementos es soportar esfuerzos como corte, flexión, torsión o combinación de todas. (Cedeño Calderón & Rodríguez Rodríguez, 2023)

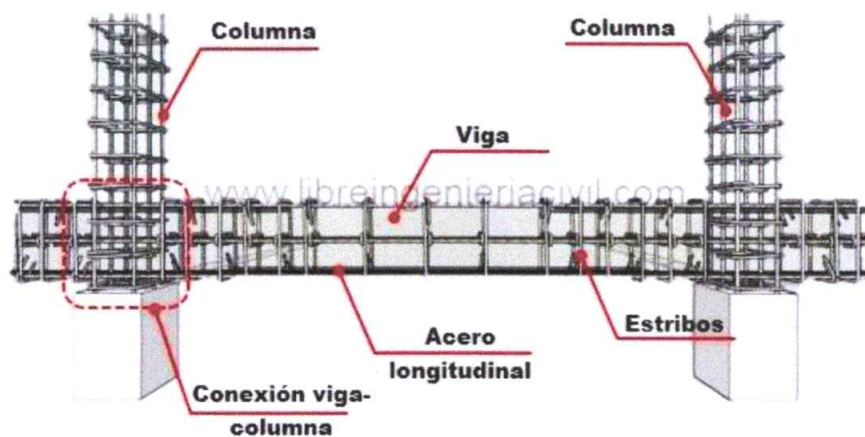


Figura 3. Esquema de viga. Fuente: Libre Ingeniería civil (2021)

2.3.3 Losas

Las losas son elementos estructurales de dos dimensiones predominantes, donde la tercera dimensión es considerablemente menor en comparación con las otras dos. Las cargas que actúan sobre las losas son esencialmente perpendiculares al plano principal de las mismas, por lo que su comportamiento está dominado por la flexión. (Proaño, 2014)

Las losas son los elementos horizontales que recibirán las cargas en primera instancia, cuando se refiere a cargas vivas o estacionarias pero las que se ubican dentro de la edificación, estas serán las encargadas de distribuir estas cargas hacia las vigas para que así estas las distribuyan hacia las columnas.

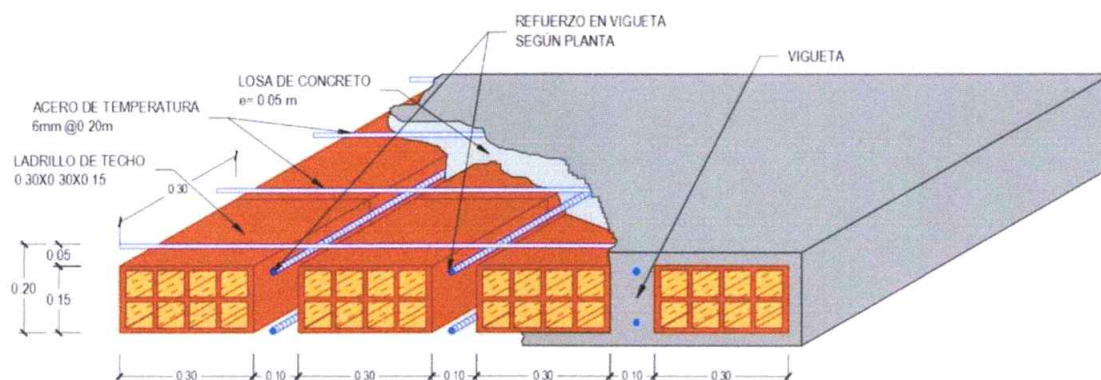


Figura 4. Esquema de losa de 20 cm. Fuente: Art Chist (2020)

2.3.4 Muros estructurales

Dado que, absorben una parte importante de las cargas horizontales mediante el cortante, son conocidos como muros de corte, sin embargo, se someten también a cargas axiales y momentos flectores por lo que, actualmente se los llama muros estructurales. Un muro estructural especial es aquel que satisface los requerimientos del American Concrete Institute ACI (2019), en el que se indica que el propósito de este es obtener la resistencia y resiliencia necesarios para soportar los efectos sísmicos en edificios asignados a las categorías de diseño sísmicos que representan mayor riesgo.

Para Caiza P & Viera P (2019) los muros estructurales son elementos relativamente rígidos que influyen en el comportamiento estructural y la concepción arquitectónica de una edificación. En edificios de baja altura, los muros son sólidos y pueden reemplazar a los pórticos, en dicho caso

se realizan aperturas para puertas y ventanas. En edificios altos, comúnmente los muros estructurales trabajan junto a los pórticos resistentes a momento y regularmente se extienden a toda la altura del edificio, como cantilivers sometidos en la cimentación.

Los muros estructurales son elementos tridimensionales cuya tercera dimensión es significativamente menor en comparación con las otras dos, las cuales definen un plano vertical. Estos elementos están sujetos a diversas cargas que se pueden clasificar en dos grupos principales: aquellas que actúan dentro del plano del muro y aquellas que lo hacen fuera de él.

Aunque, son las cargas dentro del plano las consideradas relevantes, dado que es en este plano en el que el muro genera la mayor resistencia y, por lo tanto, es más útil. Es importante resaltar que el uso de muros es significativo para reducir las derivas de piso ante cargas sísmicas.

Es importante mencionar que, el uso de muros estructurales de concreto armado es muy común en países sísmicos, para el diseño o la rehabilitación de edificios. Debido a su alta rigidez, limitan las deformaciones y permiten a los edificios resistir eficientemente las cargas laterales. Aunque el comportamiento sísmico de estos edificios durante la última década ha sido adecuado en términos de prevenir el colapso y salvaguardar vidas, durante terremotos recientes de gran magnitud, como el terremoto de Maule (Chile, 2010) y de Christchurch (Nueva Zelanda, 2011), se ha observado daños estructurales significativos. (Sritharan et al., 2014)



Figura 5. Muros estructurales en edificación de baja altura. Fuente: Libre Ingeniería civil (2021)

2.3.4.1 Clasificación de muros estructurales

Según Hernandez (2018) en la práctica los muros estructurales se clasifican en:

Muros estructurales especiales de concreto reforzado (SRCSW): Son sistemas capaces de disipar la energía en el rango inelástico de manera estable, ante un evento sísmico. El grado de detalle asegura la resistencia y ductilidad necesarias para cumplir con las condiciones sismorresistentes más demandantes, en cumplimiento con los estándares normativos establecidos.

Muros estructurales ordinarios de concreto reforzado (ORCSW): Estos sistemas presentan una capacidad inelástica limitada frente a un evento sísmico y el nivel de detalle garantiza la resistencia necesaria para un desempeño estable dentro del rango elástico, cumpliendo con los lineamientos normativos.

2.3.4.1.1 Clasificación según su proyección en planta

Los muros pueden categorizarse según su proyección en planta, ya que, en función de los requisitos arquitectónicos y la funcionalidad del proyecto, pueden adoptar diversas formas.

Muros planos: Son muros que, al ser representados en planta, no muestran variaciones en su dirección ni conexiones con otros elementos estructurales.

Muros con elementos extremos: Son muros que presentan un aumento en su sección transversal en los bordes.

Muros con alas: Son muros que, al ser representados en planta, se perciben la intersección de dos muros distintos.

Muros quebrados: Son muros que, en su proyección en planta, muestran variaciones en su dirección y bifurcaciones.

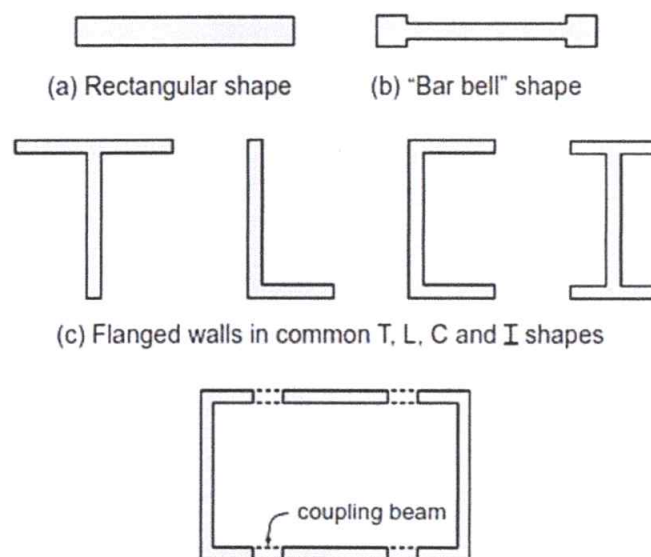


Figura 6. Esquema de secciones de muros. Fuente: Alcívar Stalin (2020)

2.3.4.2 Ubicación de los muros estructurales

Bazán E & Meli R (2003) indican que la ubicación de muros enfrenta dos problemas: torsión en planta y estabilidad del muro. Para minimizar los efectos de la torsión, es fundamental que el centro de masa y el centro de rigidez estén lo más próximos posible. Una solución consiste

en ubicar los muros alrededor del centro de masa o distribuirlos en pares a lo largo del perímetro, generando fuerzas separadas por un brazo de palanca máximo. Además, es crucial destacar que los muros deben disponerse no solo en una dirección resistente principal, sino también en la dirección perpendicular para garantizar un comportamiento sismorresistente equilibrado.

Por otra parte, los muros incrementan su estabilidad cuando la carga axial aumenta moderadamente, sería ideal desplazar los muros hacia el interior, ya que esto permitiría contar con mayores áreas cooperantes. Sin embargo, la carga axial no debe ser excesiva, por lo que es necesario distribuirla entre varios muros.

Puesto que, la torsión y la estabilidad son requerimientos contrapuestos es necesario encontrar una alternativa que los balancee y esta opción debe distribuir los muros evitando concentraciones de esfuerzos peligrosas.

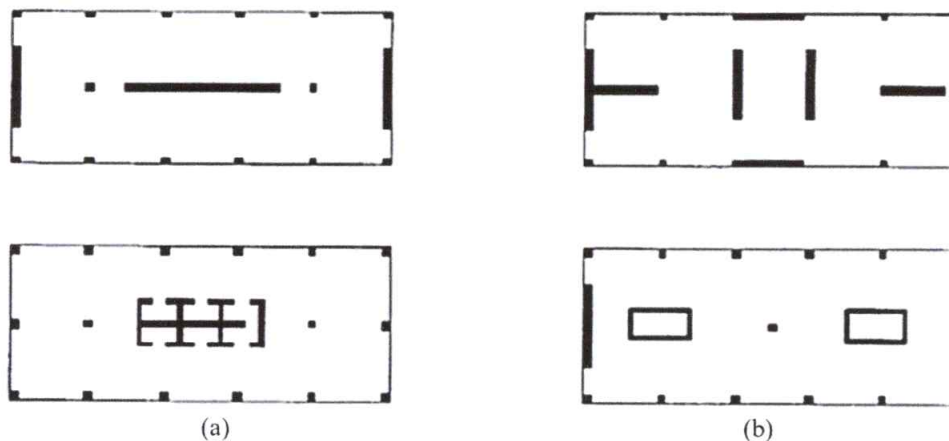


Figura 7. Concentración vs distribución de muros (a. Localización concentrada de elementos rigidizantes. b. Distribución uniforme de elementos rigidizantes). Fuente: *Diseño de desempeño de Edificios* (Bazán y Meli, 2003)

2.3.4.3 Distribución en planta de muros estructurales

Es importante caracterizar los muros según su distribución en planta, ya que al ser elementos estructurales tan rígidos pocas variaciones en la simetría y en su distribución pueden ocasionar grandes diferencias en el comportamiento global de la estructura.

Muros dispuestos simétricamente: Son muros que presentan una distribución simétrica en planta, lo que evita las excentricidades entre el centro de rigidez y la acción de las cargas.

Muros dispuestos asimétricamente: Son muros que presentan una distribución asimétricamente en planta, lo que genera excentricidades entre el centro de rigidez y la acción de cargas.

2.3.4.4 Predimensionamiento de muros estructurales

Es necesario determinar el largo, ancho y espesor del muro, por lo que considerando las proporciones arquitectónicas se obtiene el largo y el alto se define por el número de pisos, así que la dimensión a establecer es el espesor del muro. Para reducir la congestión del armado y mejorar su comportamiento estructural, Moehle y otros autores sugieren un espesor mínimo de 20 cm. El espesor regular sería de 30 cm para muros con elementos bordes especiales y 25 cm en el resto de los muros.

Los muros estructurales de concreto armado son empleados en el diseño de edificaciones sismorresistentes a fin de controlar los desplazamientos laterales de la edificación y lograr un buen comportamiento estructural. De acuerdo con la NEC_SE_DS (2015), se define como un elemento para resistir combinaciones de cortantes, momentos y fuerzas axiales.

Según Alcívar (2020) la ubicación en planta de los muros debe respetar los criterios de regularidad de las edificaciones y evitar torsiones en planta, mientras que en elevación los muros deben ser continuos desde la cimentación hasta la altura máxima del edificio. La geometría general, la longitud y altura del muro, estará dada por las consideraciones globales de la edificación.

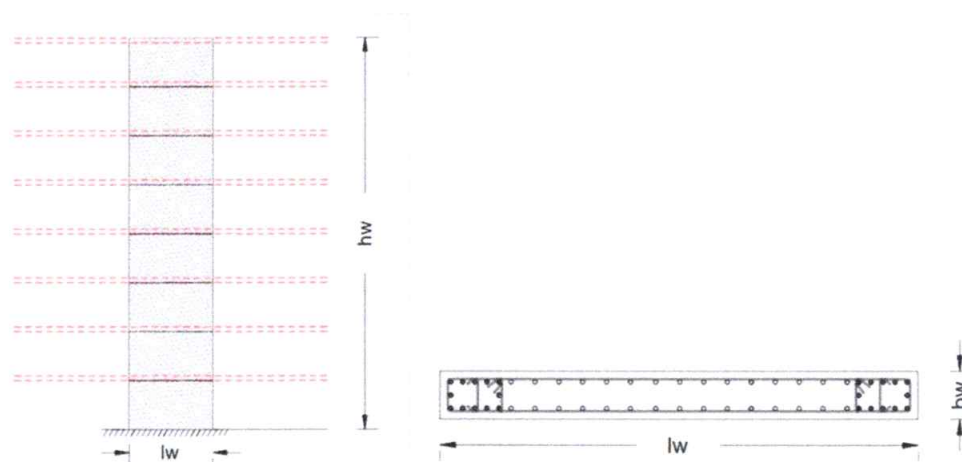


Figura 8. Geometría general del muro estructural. Fuente: Alcívar Stalin, 2020

De acuerdo con lo indicado en la figura l_w es la longitud del muro, h_w es la altura total del muro y b_w es el espesor del muro.

En cuanto al espesor de muros, en caso de que se precise de elementos de borde, se recomienda que el ancho de la zona de compresión sea al menos la altura no apoyada dividida para 16 ($h_u/16$) y para muros con ($h_w/l_w \geq 2$) que son continuos desde la base, diseñados para que tengan una sola sección crítica para la flexión y carga axial y con $c/l_w \geq 3/8$ el ancho de la zona de compresión debe ser mayor o igual a 30 cm. Se recomienda usar al menos 25 cm como espesor de muros. (Alcívar, 2020)

Al ser un elemento de suma importancia dentro del sistema se debe contemplar el uso de un hormigón con una resistencia característica de al menos 280 kg/cm^2 y un acero de fluencia de 4200 kg/cm^2 .

2.3.4.4.1 Control de la sección necesaria por cortante y por derivas de piso

La sección transversal del muro debe ser suficiente para absorber la fuerza del corte en su base y cumplir con los requerimientos para las derivas expresados en la NEC 2015.

$$V'_u \leq \phi V_n$$

V'_u : Es el cortante último mayorado adicionalmente para tomar en cuenta efectos dinámicos

$$V'_u = \omega \phi_0 \cdot V_u$$

$\omega = 0,9 + \frac{N}{10}$ Para edificios de hasta 6 niveles, N es el número de niveles.

$\omega = 1,30 + \frac{N}{30} \leq 1,8$ Para edificios de más de 6 niveles

ϕ_0 : Factor de sobre resistencia dada porque usualmente el armado longitudinal colocado es mayor al necesario por resistencia.

V_n : Es la capacidad a cortante nominal dada por:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t Fy)$$

A_{cv} : Área neta de la sección del muro, $l_w \cdot b_w$

α_c : 0,8 para $h_w/l_w \leq 1,5$; $\alpha_c \leq 0,53$ para $h_w/l_w > 2$; y varía linealmente de 0,8 a 0,53 en otros casos.

ρ_t : Cuantía de acero horizontal

La capacidad de corte en muros estructurales no debe exceder:

$$V_n < 2,12 \cdot A_c \cdot \sqrt{f'c}$$

La sección de muro escogida debe ser resistente y capaz de controlar que las derivas inelásticas sean menores al 2%.

2.3.4.4.2 Recomendaciones para rigidez de los muros

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) incluye recomendaciones para considerar inercias agrietadas, en diferentes elementos estructurales de hormigón armado, para muros estructurales es de 0,6 I_g :

- Para estructuras sin subsuelo, esto se aplicará exclusivamente en los dos primeros pisos de la edificación.
- Para estructuras con subsuelos, estas medidas se aplicarán en los dos primeros pisos y en el primer subsuelo.
- En ningún caso se aplicará a una altura inferior a la longitud en planta del muro.
- Para los demás pisos, la inercia agrietada del muro estructural puede considerarse igual a la inercia no agrietada.

Donde I_g es la inercia no agrietada de la sección transversal del muro.

2.4 Sistemas estructurales en edificaciones de hormigón armado

Los sistemas estructurales de hormigón armado más comunes en edificaciones según la norma ACI 318 son:

- Pórticos resistentes a momento

- Muros portantes o estructurales
- Sistema dual

A continuación, se muestra una figura en representación de este tipo de sistema:

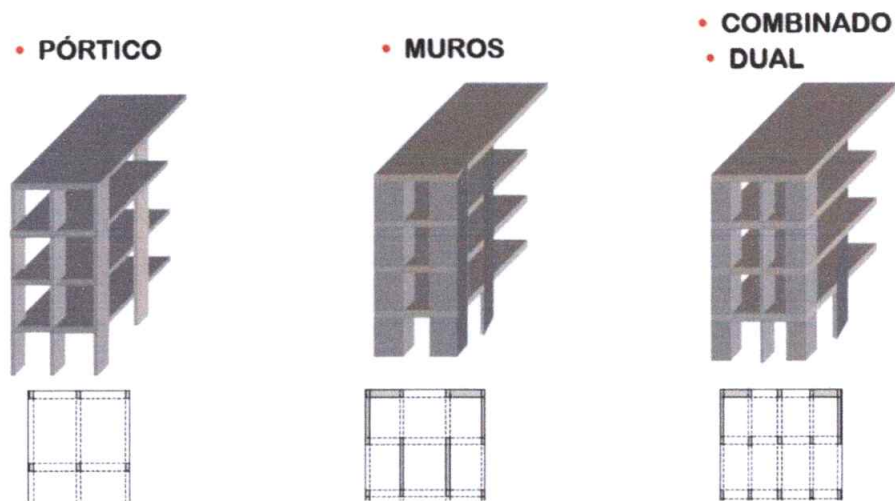


Figura 9. Sistemas estructurales de hormigón armado, Fuente: (JH Soluciones integrales, s.f.)

2.4.1 Pórticos resistentes a momentos

Barros & Peñafiel (2015) expresó lo siguiente:

Este sistema está conformado por vigas y columnas de hormigón armado las cuales están conectadas entre sí por medio de nudos rígidos que permiten la transferencia de los momentos flectores y cargas axiales hacia las columnas. Para el relleno de los pórticos se utiliza mampostería de bloque o ladrillo. (p. 24)

Con este sistema estructural, las edificaciones son capaces de resistir todas las acciones laterales mediante un conjunto de vigas y columnas que forman pórticos con rigidez a flexión y corte. Además, en este tipo de sistema generalmente se emplean losas de entrepisos convencionales que pueden ser macizas, nervadas o reticulares.

Es relevante señalar que este sistema estructural se aplica principalmente en edificaciones de mediana altura debido a su rigidez lateral limitada. Al aplicar un sistema de carga lateral, el pórtico experimenta desplazamientos, lo que resultará en deformaciones y conceptualmente se esperan cambios de curvatura en vigas y columnas, lo que genera momentos de igual sentido.

Es decir que, el pórtico resistente a momento es aquel en el que la resistencia a las cargas laterales se proporciona principalmente por la flexión en vigas y columna, mientras que la losa ofrece rigidez en el plano y en función a la misma se puede obtener un diafragma rígido.



Figura 10. Sistema de pórticos resistentes a momentos. Fuente: Civil geeks (s,f)

2.4.1.1 Clasificación según nivel de desempeño

Pórticos especiales resistentes a momentos: Se diseñan para operar en el rango inelástico, con alta ductilidad y capacidad de disipación de energía. Para lograrlo, es necesario un estricto control de fallas frágiles, asegurando un detallado sismorresistente acorde con los requisitos más exigentes de la norma y estos sistemas se emplean en zonas de alta sismicidad.

Pórticos intermedios resistentes a momentos: Se diseñan para operar en el rango inelástico, con una ductilidad y capacidad de disipación de energía moderada. Para ello, es necesario limitar la generación de fallas frágiles, garantizando un detallado sismorresistente adecuado conforme a la norma. Estos sistemas se emplean en zonas de moderada sismicidad.

Pórticos ordinarios resistentes a momento: Se diseñan para mantener un comportamiento elástico, con una capacidad limitada para entrar en el rango inelástico y disipar energía. El detallado es convencional, sin requisitos sísmicos estrictos y se utilizan en zonas de baja sismicidad.

2.4.1.2 Características del sistema pórticos resistentes a momento

Entre las características de este sistema Guevara (2021) indica que se pueden encontrar las siguientes:

- Es el sistema de construcción más difundido en muchos países y el más antiguo basa su éxito en la solidez, la nobleza y durabilidad.
- Es aquel que cuyos elementos estructurales consisten en vigas y columnas conectados a través de nudos formando pórticos resistentes en las dos direcciones principales de análisis.
- El comportamiento y eficiencia de un pórtico rígido depende, por ser una estructura hiperestática, de la rigidez relativa de vigas y columnas.
- Para que el sistema funcione efectivamente como pórtico rígido es fundamental el diseño y detalle de las conexiones para proporcionarle la rigidez y capacidad de transmitir momentos.

- Económicamente no se puede fijar un límite de altura generalizando para los edificios con sistema aporticado, pero se estima que en zonas poco expuestas a sismos el límite puede estar alrededor de 20 pisos.

2.4.1.3 Ventajas del sistema pórticos resistentes a momento

Entre las ventajas de este sistema aporticado se destacan varias características; en primer lugar, se permite realizar todas las modificaciones deseadas en el interior de la vivienda, ya que los muros no soportan el peso de la estructura y tienen la capacidad de moverse. Además, el proceso de construcción resulta económico para edificaciones de menos de 20 pisos.

Este sistema aporta versatilidad, especialmente en los espacios y permite el uso de ladrillos. Asimismo, el empleo de muros de ladrillo con cámara de aire contribuye a reducir la transferencia de calor hacia el interior de la vivienda, mejorando el confort térmico.

2.4.1.4 Desventajas del sistema pórticos resistentes a momento

Entre las desventajas de este sistema aporticado se incluyen varias limitaciones. En primer lugar, las longitudes están restringidas, ya que cuando se utiliza concreto, las luces deben ser inferiores a 10 metros, aunque esta longitud puede incrementarse mediante el uso de concreto pretensado.

Además, los pórticos siendo estructuras flexibles, suelen tener su diseño dominado por desplazamientos laterales en edificaciones de más de cuatro pisos, este tipo de construcción también es lenta, pesada y, por lo tanto, más costosa. Finalmente, obliga a realizar marcha y contramarcha en los trabajos, lo que puede complicar el proceso de construcción.

2.4.2 Sistema dual

Este sistema utiliza pórticos y muros estructurales, permitiendo que las edificaciones que lo emplean resistan completamente las acciones laterales a través de un sistema combinado, de esta manera, se logra un equilibrio óptimo entre rigidez y resistencia. Es un sistema ampliamente utilizado, ya que facilita el desarrollo de estructuras de gran tamaño en planta, dado que los pórticos aportan ductilidad, mientras que los muros ofrecen alta rigidez y resistencia al corte.

En la estructuración, el objetivo es ubicar los muros en las áreas donde brinden mayor rigidez al conjunto, reduciendo así los problemas de torsión que podrían surgir, todo ello respetando las condiciones arquitectónicas y el funcionamiento de la edificación.

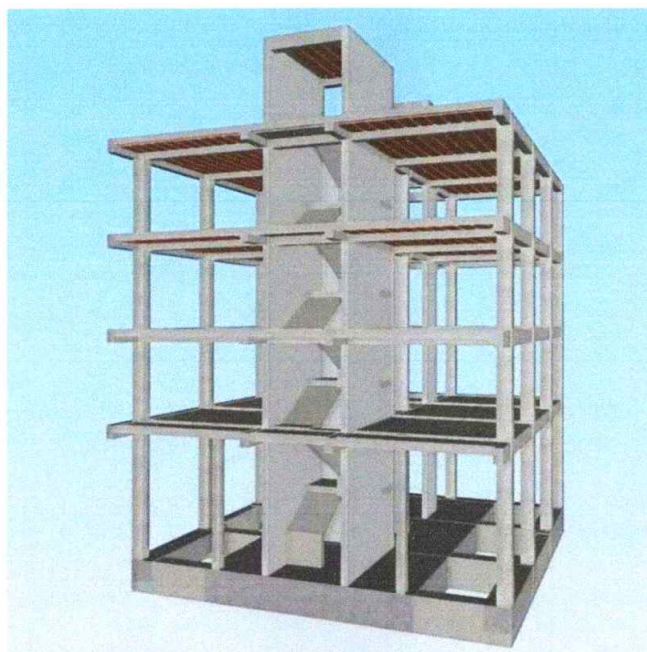


Figura 11. Sistema dual. Fuente: CYPE Ingeniería (s,f)

2.4.2.1 Características del sistema dual

Entre las características de este sistema Guevara (2021) menciona que se pueden encontrar las siguientes:

- Este sistema se emplea cuando el edificio está expuesto a fuerzas de compresión, flexión y tracción.
- Es uno de los sistemas más comunes en países ubicados en zonas sísmicas.
- Los muros son responsables de resistir las cargas laterales, mientras que el sistema aporticado se encarga de las cargas gravitacionales.
- Se utiliza en proyectos con características especiales, como grandes voladizos o concentraciones de carga en puntos específicos.
- Este sistema requiere una mayor cantidad de concreto.
- En los pisos inferiores, la rigidez del muro es muy alta, lo que prácticamente limita el desplazamiento, mientras que en los pisos superiores el muro, en lugar de colaborar en la resistencia a las cargas laterales, el muro tiende a incrementar las fuerzas que deben ser soportadas por los pórticos.

2.4.2.2 Ventajas del sistema dual

Entre las ventajas de este sistema dual se destacan su mejor resistencia sísmica, lo que lo convierte en la opción más recomendable para países ubicados en zonas sísmicas. Además, ofrece un mayor espacio utilizable gracias al sistema de pórticos que incorpora, y cuenta con una excelente rigidez debido al arriostamiento proporcionado por los muros.

2.4.2.3 Desventajas del sistema dual

Entre las desventajas de este sistema dual se encuentran su costo elevado, debido al mayor consumo de concreto necesario. Además, al combinar dos sistemas estructurales el comportamiento de la edificación frente a un sismo puede ser distinto en cada sistema, debido a la interacción entre ambos. Por último, este sistema no es adecuado para edificios muy altos, ya que su factibilidad depende de la zona sísmica y de la sobredimensión requerida.

2.5 Prediseño de elementos

2.5.1 Prediseño de vigas

Existen dos tipos de vigas: las de borde (L) y las internas (T), para las cuales se debe valorar al ancho del alma b_w , el ancho efectivo h_b y la altura de la viga. Estas se presentan a continuación:

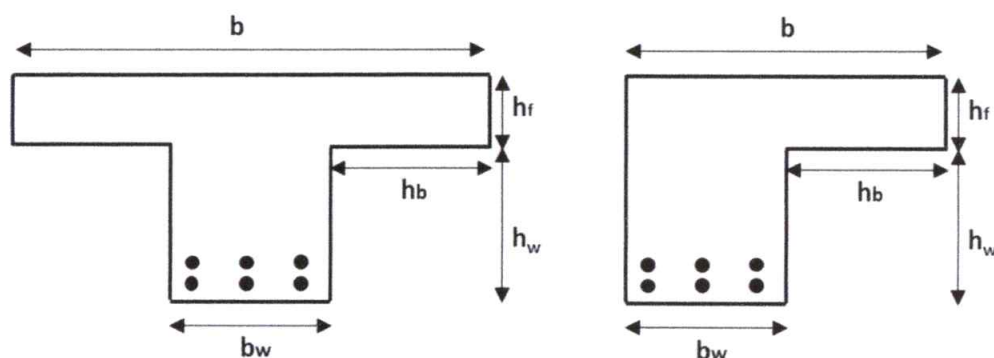


Figura 12. Esquema de dimensiones de vigas interiores (T) y vigas de borde (L).

Para estimar la altura de una viga, la norma ACI 318S-14 sección 9.3.1 propone fórmulas según la condición de apoyo, para dar una aproximación a la altura. En la tabla 1 se proporciona las fórmulas según el apoyo.

Tabla 1. Altura mínima de vigas no preesforzadas. Fuente: ACI 318S-14 - NEC 2015

| Condición de apoyo | Altura mínima, h ⁽¹⁾ |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Simplemente apoyada | $l/16$ |
| Con un extremo continuo | $l/18.5$ |
| Ambos extremos continuos | $l/21$ |
| En voladizo | $l/8$ |

⁽¹⁾ Los valores son aplicables al concreto de peso normal y $f_y = 420$ MPa.

Para otros casos, la altura mínima h debe modificarse de acuerdo con 9.3.1.1.1 a 9.3.1.1.3, según corresponda.

En el prediseño se le da una nomenclatura a cada viga por su longitud, es así como se calcula las alturas de cada viga y se escogerá la más crítica, es decir la que al realizar la división el resultado es el más alto.

La norma ACI 318, establece una serie de criterios para halla el ancho de ala h_b , los cuales se muestran en la tabla 2, además en el comentario R6.3.2.1 se establece que el ancho efectivo de la viga está limitado a $1/4$ de la luz. Es decir:

$$b \leq \frac{L}{4}$$

Tabla 2. Límites dimensionales del ancho sobresaliente del ala para vigas T. Fuente: ACI 318S-14 - NEC 2015

| Ubicación del ala | Ancho sobresaliente efectivo del ala, más allá de la cara del alma | |
|----------------------|--|----------|
| A cada lado del alma | El menor de: | $8h$ |
| | | $s_w/2$ |
| | | $l_n/8$ |
| A un solo lado | El menor de: | $6h$ |
| | | $s_w/2$ |
| | | $l_n/12$ |

Se debe comprobar los criterios para las vigas y en cada caso se escogerá el menor resultado, es decir el menor resultado para las vigas T y el menor para las vigas L. Finalmente se establece que el ancho de la viga será la mitad de su altura, es decir:

$$\frac{h_f + h_w}{2}$$

2.5.2 Prediseño de losa

Para identificar qué tipo de losa se debe diseñar, primero se revisa en la Norma ACI 318S-14 y sus comentarios en ACI 318SR-14, en la sección R8.3.1.2, en donde se indica que una losa será de dos direcciones cuando los paneles cumplan:

$$L_{larga} < 2L_{corta}$$

Para esta condición se escoge el paño con las mayores dimensiones para hacer el análisis de manera apropiada.

Se procede a elegir la Tabla 3 del ACI 318S-14 para calcular el espesor mínimo, ya que se planea diseñar una losa que contenga vigas entre sus apoyos.

Tabla 3. Espesor mínimo de las losas de dos direcciones con vigas entre los apoyos en todos lados. Fuente: ACI 318S-14 - NEC 2015

| $\alpha_{fm}^{[1]}$ | Espesor mínimo, h , mm | | |
|------------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| $\alpha_{fm} \leq 0.2$ | Se aplica 8.3.1.1 | | (a) |
| $0.2 < \alpha_{fm} \leq 2.0$ | Mayor de: | $h = \frac{f_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$ | (b) ^{[2], [3]} |
| | | 125 | (c) |
| $\alpha_{fm} > 2.0$ | Mayor de: | $h = \frac{f_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$ | (d) ^{[2], [3]} |
| | | 90 | (e) |

^[1] α_{fm} es el valor promedio de α_f para todas las vigas en el borde de un panel y α_f se calcula de acuerdo con 8.10.2.7.

^[2] l_n corresponde a la luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de las vigas (mm)

^[3] El término β es la relación de la luz libre en la dirección larga a la luz libre en la dirección corta de la losa.

Para utilizar la tabla anterior se necesitan las inercias de las vigas, por lo que se recurre a la ecuación 12.51 del Libro de Diseño de estructuras de Hormigón armado de Carlos Córdova, con la que se puede calcular el espesor considerando el perímetro del paño, de la siguiente manera:

$$h \approx \frac{P}{180} [mm]$$

Como antes se realizó el prediseño de las vigas se puede hacer la comprobación del espesor de la losa según la tabla 3 del ACI 318S-14.

Se calculan las luces libres:

$$B_{ln} = B_l - 2 * b_v$$

$$H_{ln} = B_l - 2 * b_v$$

Se determina el espesor

$$h = 2 \cdot \frac{(B_{ln} + H_{ln})}{180}$$

Se calcula la Inercia de viga borde

$$h_a = h$$

$$h_c = h$$

$$b_a = 4 \cdot h_a$$

$$b_c = b_v$$

Proceso del cálculo de Momento de inercia

Inercia:

$$I_a = \frac{b_a \cdot h_a^3}{12}$$

$$I_c = \frac{b_c \cdot h_v^3}{12}$$

Área:

$$A_a = b_a \cdot h_a$$

$$A_c = b_c \cdot h_v$$

$$A_t = A_a + A_c$$

y_x :

$$y_a = \frac{h_a}{2} + h_c$$

$$y_c = \frac{h_v}{2}$$

$A \cdot y$:

$$A_{ya} = A_a \cdot y_a$$

$$A_{yc} = A_c \cdot y_c$$

$$A_{yt} = A_{ya} + A_{yc}$$

$$Y = \frac{A_{yt}}{A_t}$$

Distancias:

$$d_a = y_a - Y$$

$$d_c = y_c - Y$$

Inercia total:

$$I_1 = I_a + A_a \cdot d_a^2$$

$$I_2 = I_c + A_c \cdot d_c^2$$

$$I_b = I_1 + I_2$$

Se realiza el mismo proceso para la viga interior para obtener la inercia.

Se calcula la relación entre la luz larga y la luz corta

$$\beta = \frac{L_{mayor}}{L_{menor}}$$

Se calcula el valor de α_{fm} , donde el cálculo de cada α corresponde a un claro, es decir el vertical y el horizontal.

$$\alpha_1 = \frac{E \cdot I_b}{E \cdot I_s} \quad \alpha_2 = \frac{E \cdot I_b}{E \cdot I_s}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

De acuerdo con el valor de α_{fm} se escoge la fórmula para calcular el espesor de la losa que se encuentra en la tabla 3, reemplazando los valores obtenidos anteriormente.

2.5.3 Prediseño de columnas

Lo primero, es obtener el área tributaria mayor, la cual es el área que rodea a la columna, tomando la mitad de cada paño de alrededor de la columna analizada, por ejemplo, en la Figura 13 se muestra el área tributaria de una columna.

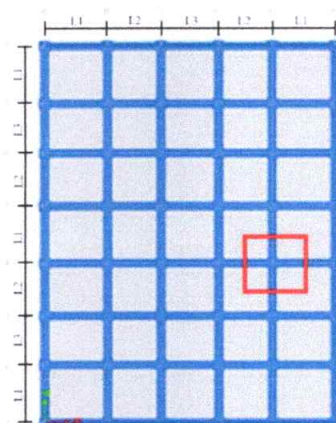


Figura 13. Área tributaria.

Para establecer la carga última que va a soportar las columnas se hace uso de la siguiente ecuación dada por la NEC-SE-CG

$$1.2 D + 1.6 L$$

Para lo cual, la misma norma indica que la carga viva será de acuerdo con el uso que se le dé a la edificación y para la carga muerta se aplica un metrado de cargas con los elementos prediseñados anteriormente.

2.5.3.1 Metrado de carga

En el metrado de cargas se debe calcular todo el peso que tendrá la estructura, sea esta la carga muerta, la producida por los elementos que la componen, es decir el peso propio de la estructura, al igual que el peso propio de la losa, la sobrecarga muerta, peso propio de columnas y vigas, este cálculo se realiza por metro cuadrado.

Se analizan las columnas que se han considerados indispensables para el diseño, que son las columnas que generalmente soportan más carga en una edificación. Una condición que hay que

considerar es la que se menciona en la sección 18.7.2.1 del ACI, que indica que la dimensión mínima de una columna será de 30 cm.

2.6 Cálculo de las fuerzas laterales de acuerdo con el método estático

2.6.1 Factor de zona sísmica (z)

El factor de zona sísmica es aquel valor que representa la máxima aceleración en roca que es esperada para el sismo de diseño, se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad. Entonces mediante el mapa de zonas sísmica para propósito de diseño en el Ecuador se puede identificar a cuál zona sísmica pertenece el lugar en donde se va a construir. En la tabla 7 se puede verificar el valor del factor Z como la caracterización del peligro sísmico.

Tabla 4. Valor de factor Z . Fuente: NEC_SE_DS-2015(peligro sísmico)

| ZONA SÍSMICA | I | II | III | IV | V | VI |
|-------------------------------------|------------|------|------|------|------|----------|
| Valor factor Z | 0,15 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| Caracterización del peligro sísmico | Intermedia | Alta | Alta | Alta | Alta | Muy Alta |

2.6.2 Tipo de uso de la edificación

En la tabla 5 se categorizan las edificaciones por nivel de importancia, lo que le da el valor al coeficiente I según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

Tabla 5. Coeficiente de importancia. Fuente: NEC_SE_DS-2015(peligro sísmico)

| CATEGORÍA | TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA | COEFICIENTE I |
|-----------------------------------|---|---------------|
| Edificaciones esenciales | Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas. | 1,5 |
| Estructuras de ocupación especial | Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. | 1,3 |
| Otras estructuras | Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores | 1 |

2.6.3 Factor de reducción de resistencia

El factor R es aquel que permite reducir las fuerzas sísmicas de diseño, lo que se puede emplear en las estructuras, pero estas deben de cumplir que sus conexiones como la estructura deben desarrollar un mecanismo de falla previsible y que contenga una adecuada ductilidad.

La normativa recomienda que en pórticos especiales sísmos resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas se use un valor de $R=8$.

Tabla 6. Tipo de Suelo. Fuente: NEC-15(peligro sísmico)

| TIPO DE PERFIL | DESCRIPCIÓN |
|----------------|---|
| A | Perfil de roca competente |
| B | Perfil de roca de rigidez media |
| C | Perfiles de suelos muy densos que cumplen con el criterio de velocidad de la onda; Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumpla con cualquiera de los dos criterios. |
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante; Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones. |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante; Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas. |

2.6.4 Coeficientes de amplificación

2.6.4.1 Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto (Fa)

En la tabla 7 se muestran los valores del coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto (Fa), que se determina de acuerdo con el tipo de suelo y la zona sísmica.

Tabla 7. Factor Fa. Fuente: NEC-15(peligro sísmico)

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----|------|------|-----|------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| A | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | 1,4 | 1,3 | 1,25 | 1,23 | 1,2 | 1,18 |
| D | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,25 | 1,2 | 1,12 |
| E | 1,8 | 1,4 | 1,25 | 1,1 | 1 | 0,85 |

2.6.4.2 Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (Fd)

En la tabla 8 se muestran los valores del coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (Fd), que se determina de acuerdo con el tipo de suelo y la zona sísmica.

Tabla 8. Factor Fd. Fuente: NEC-15(peligro sísmico)

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| A | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | 1,36 | 1,28 | 1,19 | 1,15 | 1,11 | 1,08 |
| D | 1,62 | 1,45 | 1,36 | 1,28 | 1,19 | 1,11 |
| E | 2,1 | 1,75 | 1,7 | 1,65 | 1,6 | 1,5 |

2.6.4.3 Coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos (Fs)

En la tabla 9 se muestran los valores del coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos (Fs), que se determina de acuerdo con el tipo de suelo y la zona sísmica.

Tabla 9 Factor Fs. Fuente: NEC-15(peligro sísmico)

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| A | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| C | 0,85 | 0,94 | 1,02 | 1,08 | 1,11 | 1,23 |
| D | 1,01 | 1,06 | 1,11 | 1,19 | 1,28 | 1,4 |
| E | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2 |

2.6.5 Determinación del período de vibración de la Estructura T

Para determinar el período de vibración aproximado de la estructura T se puede emplear uno de los métodos que proporciona la normativa, este será el método 1, en el que se aplica la siguiente expresión.

$$T = C_t h_n^\alpha$$

En donde:

C_t : Coeficiente que depende del tipo de edificación

h_n^α : Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base, en metros.

En la tabla 10 se muestra los valores para C_t y α .

Tabla 10 Coeficientes C_t y α según el tipo de estructura Fuente: NEC-15 (peligro sísmico)

| TIPO DE ESTRUCTURA | C_t | α |
|--|-------|----------|
| Estructura de acero | | |
| Sin arriostramientos | 0,072 | 0,8 |
| Con arriostramiento | 0,073 | 0,75 |
| Pórticos especiales de hormigón armado | | |
| Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores | 0,055 | 0,9 |
| Con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales | 0,055 | 0,75 |

2.6.6 Pseudo-aceleraciones

Para la obtención del espectro de respuesta elástico de aceleración S_a se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$S_a = \eta z F a \quad \text{para: } T_0 \leq T \leq T_C$$

$$S_a = \eta z F a \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad \text{para: } T \geq T_C$$

En donde, T_0 y T_C son los períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño y se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$T_0 = 0.1 F S \frac{F d}{F a} \quad T_C = 0.55 F S \frac{F d}{F a}$$

2.6.6.1 Coeficiente de corte sísmico

$$C = \frac{I S_a T}{R \phi_P \phi_E}$$

2.6.6.2 Coeficiente K

En la tabla 11 se muestran los valores para K según la condición en la que se encuentre.

Tabla 11. Valores de k. Fuente: NEC-15(peligro sísmico)

| Valores de T | K |
|--------------------|---------------|
| $\leq 0,5$ | 1 |
| $0,5 < T \leq 2,5$ | $0,75 + 0,5T$ |
| $> 2,5$ | 2 |

2.6.6.3 Cálculo del cortante basal

$$V = \frac{IS_a}{R\phi_P\phi_E} W$$

2.7 Análisis estático lineal

El método estático lineal se utiliza para determinar los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción generadas por las cargas aplicadas. Calcina R (2017) indica que este análisis se basa en las siguientes suposiciones:

Suposición estática: Las cargas se aplican de manera lenta y progresiva hasta alcanzar su valor completo, manteniéndose constantes sin presentar variaciones temporales.

Suposición de linealidad: Existe una relación directamente proporcional entre las cargas aplicadas y las respuestas del sistema. Por ejemplo, si las cargas se duplican, las respuestas del modelo (como desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones) también se duplican. Esta suposición es válida si se cumplen las siguientes condiciones:

- Los materiales del modelo obedecen la ley de Hooke, es decir, la tensión es proporcional a la deformación unitaria.

- Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños para que el cambio en la rigidez estructural debido a la carga pueda ser ignorado.
- Las condiciones de contorno permanecen constantes durante la aplicación de las cargas y estas conservan una magnitud, dirección y distribución invariables.

En el procedimiento estático lineal, la estructura se representa como un sistema generalizado de un grado de libertad con comportamiento de rigidez lineal, la acción sísmica se simula a través de una distribución de fuerzas laterales equivalentes, calculadas a partir de la distribución en altura del cortante basal. Mediante un análisis estático lineal, se determinan las fuerzas internas y los desplazamientos de la estructura.

El edificio se modela con rigidez lineal elástica y un amortiguamiento viscoso equivalente, ajustados para aproximarse a los valores esperados bajo cargas cercanas al punto de rendimiento máximo. Las demandas sísmicas del diseño se representan mediante fuerzas laterales estáticas, cuya suma equivale a la carga lateral.

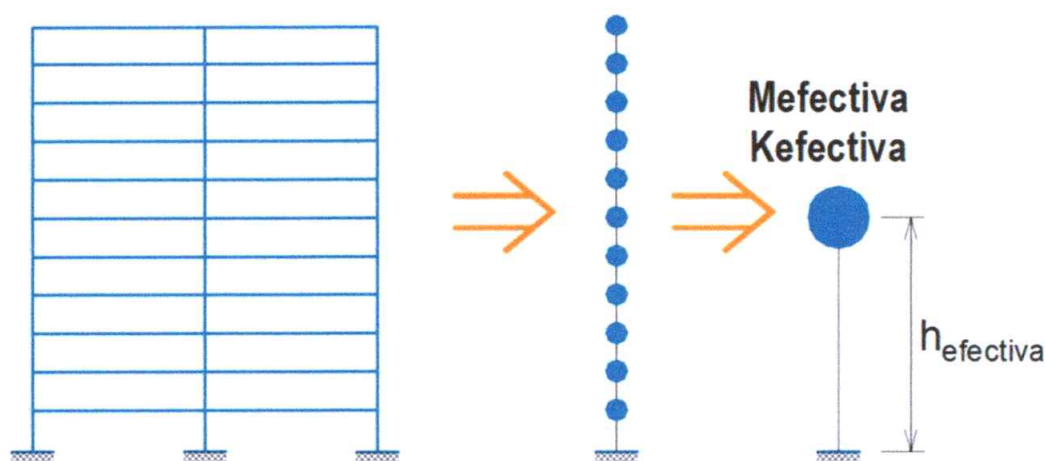


Figura 14. Diagrama equivalente de un grado de libertad. Fuente: Calcina R (2017)

2.8 Análisis modal espectral

El análisis modal espectral es un procedimiento ampliamente utilizado en ingeniería estructural para evaluar la respuesta dinámica de edificaciones ante acciones sísmicas. Este método se basa en el principio de superposición modal, el cual descompone la respuesta total de la estructura en las contribuciones individuales de sus diferentes modos de vibración. (Prato C & Ceballos M, 2015)

Cada modo de vibración se caracteriza por un período, una forma modal y un factor de participación, que representan la respuesta de la estructura en frecuencia y espacio, este análisis es especialmente útil para estructuras complejas donde la interacción entre diferentes modos de vibración puede influir significativamente en su comportamiento. En un país como Ecuador, ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico y altamente sísmico, este análisis es esencial para garantizar la seguridad estructural frente a terremotos.

Falconi R & Contreras J (2011) expresan que la acción sísmica se modela mediante el espectro de diseño definido de la NEC- 2015, que representa las aceleraciones máximas esperadas en función del período de vibración de la estructura, considerando las características regionales y locales. Con este espectro, se calculan las respuestas dinámicas máximas para cada modo de vibración, como desplazamientos, fuerzas internas y aceleraciones.

Posteriormente, estas respuestas modales se combinan empleando métodos estadísticos, como la raíz cuadrática de la suma de los cuadrados (SRSS) o la combinación cuadrática completa (CQC), para obtener una estimación de la respuesta global de la estructura. Este enfoque permite capturar con precisión los efectos dinámicos de los terremotos, especialmente en edificaciones con configuraciones complejas o irregularidades geométricas y de masa.

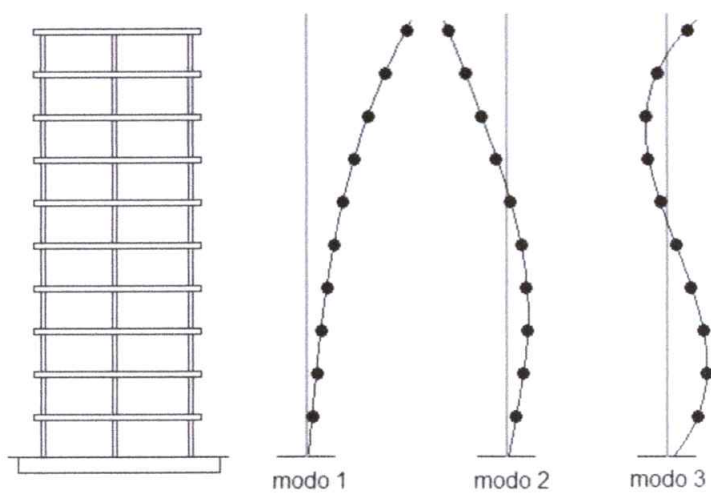


Figura 15. Diagrama de análisis modal espectral. Fuente: Inesa Tech (2024)

3 Capítulo III

Materiales y Métodos

3.1 Metodología de investigación

La investigación se ha fundamentado con bibliografía obtenida de libros académicos, artículos y publicaciones científicas que tenían un enfoque sobre el análisis comparativo de sistemas estructurales, especialmente los que involucraban el sistema aporticado y el sistema dual, en donde se tomó en cuenta cada factor que podía influir en las respuestas de los sistemas como el número de pisos, la sismicidad, el tipo de suelo de la zona, entre otros.

El comportamiento estructural de los sistemas será evaluado mediante el modelamiento de estructuras de hormigón armado de 6, 9, 12 y 15 pisos, para ello se ha escogido situarlos en la ciudad de Manta, que se encuentra en la zona sísmica VI de acuerdo con la NEC y tiene un valor de aceleración de 0.50g, lo que representa peligro sísmico muy alto. Adicional, se establece que el uso será para oficinas. Para alcanzar los objetivos planteados, se empezó con el estudio de cada sistema, es decir, el de pórticos y dual, luego con la estructuración y predimensionado, desarrollo de los modelos, condiciones de análisis sísmico, para concluir con el análisis comparativo.

3.2 Métodos de investigación

Los métodos de investigación son aquellas técnicas que aplicadas de manera coherente y adecuada van a permitir obtener los resultados, soluciones o productos que irán de acuerdo con la investigación, a continuación, se presenta los métodos que han sido empleados para la investigación.

3.2.1 Método empírico

Este método de investigación que parte de la experiencia para poder obtener los conocimientos necesarios.

3.2.1.1 Medición

Según los estándares de la actualidad en base a las construcciones como en el diseño arquitectónico se ha establecido manera de construir las edificaciones como las secciones de las columnas y vigas, el uso de losas aligeradas.

3.2.2 Método análisis – síntesis

En esta investigación se presenta el comportamiento de las estructuras en un evento sísmico, siendo considerado como un peligro eminente para la edificación, teniendo en cuenta las normas y métodos que se emplearon para obtener resultados más cercanos al comportamiento real de la estructura.

De la misma manera procederemos a realizar el proceso de síntesis partiendo desde los resultados del procesamiento del desempeño de cada estructura analizada.

3.2.3 Método lógico deductivo

Para esta investigación se han implementado algunas normas que se encuentran relacionadas con la construcción de elementos de hormigón armado, como es el caso de la norma americana (ACI-318-11), la norma ecuatoriana de la construcción (NEC 2015), complementariamente con la utilización del programa ETABS para realizar el correcto análisis de los elementos estructurales de las edificaciones.

3.3 Materiales de investigación

De acuerdo con la dirección que tomaba la investigación se necesitó asesoría de docentes de la Facultad de Ingeniería que se encontraban relacionados con las áreas de estructuras y de sismos.

Los materiales que fueron necesarios para la investigación fueron:

- Computadoras
- Software (Word, Excel, ETABS)
- Normativa nacional e internacional (NEC 2015, ACI – 318-11)
- Textos bibliográficos

3.4 Metodología de cálculo

3.4.1 Descripción General del Proyecto

Las edificaciones estudiadas poseen seis, nueve, doce y quince niveles, el primer nivel cuenta con una altura de 3.2 m y los demás de 2.85 m. Su distribución en planta es de 6 ejes en el sentido X y 8 ejes en el sentido Y, elementos estructurales como columnas, vigas y losas son de hormigón armado de f_c 240 kg/cm² y los muros estructurales de f_c 280 kg/cm² y el acero de refuerzo de un f_y 4200 kg/cm².

3.4.2 Ubicación

La zona de estudio del proyecto es en la ciudad de Manta, la cual se encuentra en una zona sísmica VI con un valor de aceleración de 0.50g, lo que representa una caracterización del peligro

sísmico muy alta y posee un tipo de suelo D, como se puede verificar en la norma ecuatoriana de la construcción (NEC 2015) y en la figura que se presenta a continuación.

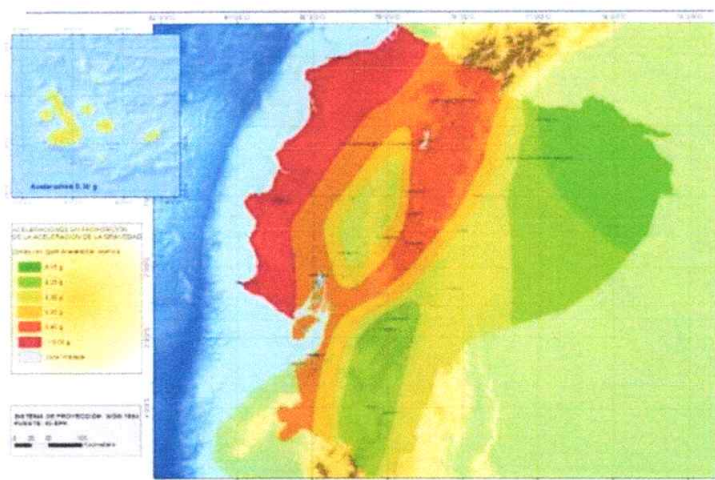


Figura 16. Zonificación sísmica en Ecuador. Fuente: NEC-2015

3.4.3 Estructuración y predimensionado

Para ambos sistemas, es decir para el sistema de pórticos como para el sistema dual se realizó una estructuración y predimensionado de los elementos estructurales de manera simétrica en planta y en altura con variación en el primer piso con respecto a los continuos, lo que ha permitido un buen comportamiento estructural, en la tabla 12 se muestra la planta típica y elevación típica representativa de los modelos estudiados que poseen sistema aporticado y en la tabla 13 se muestra los que poseen sistema dual, en donde los espacios entre ejes varían de 3.50 m, 3.20 m y 3.00 m, y la altura del primer nivel de 3.2 m y los superiores de 2.85 m.

Tabla 12 Dimensiones de las estructuras con sistema aporticado

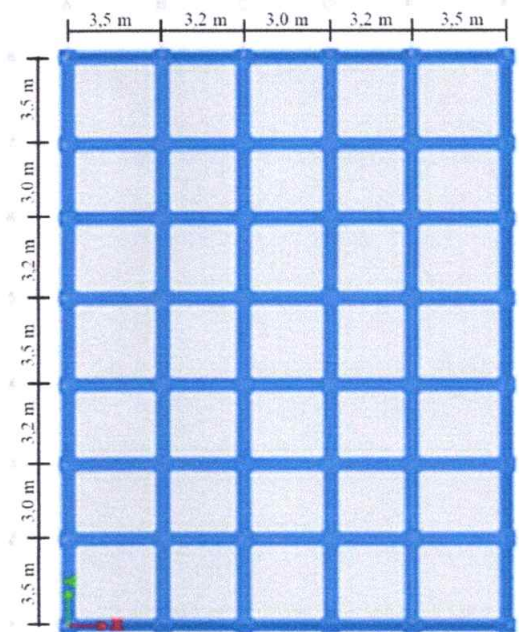
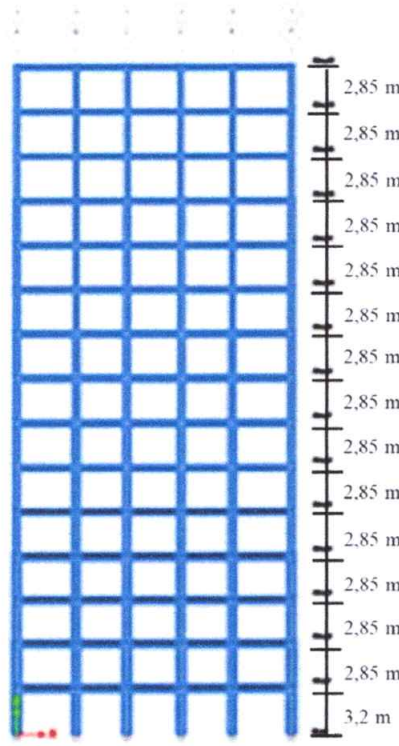
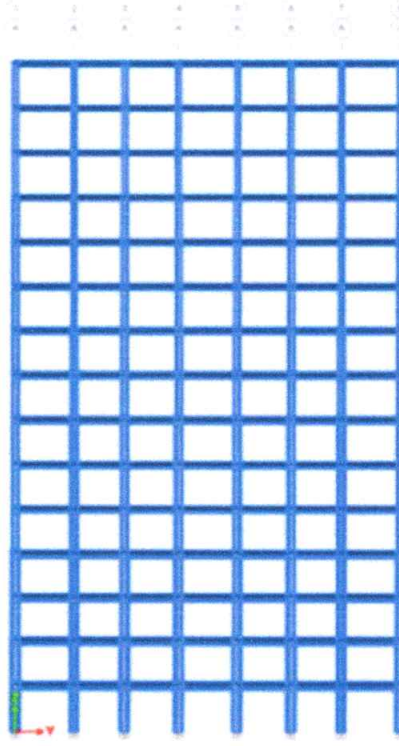
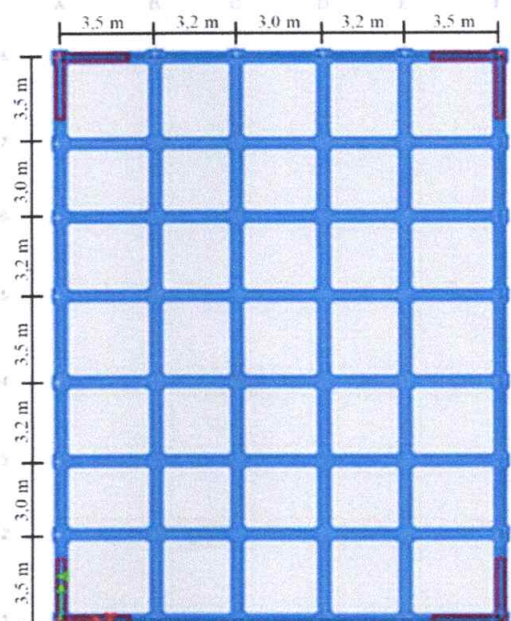
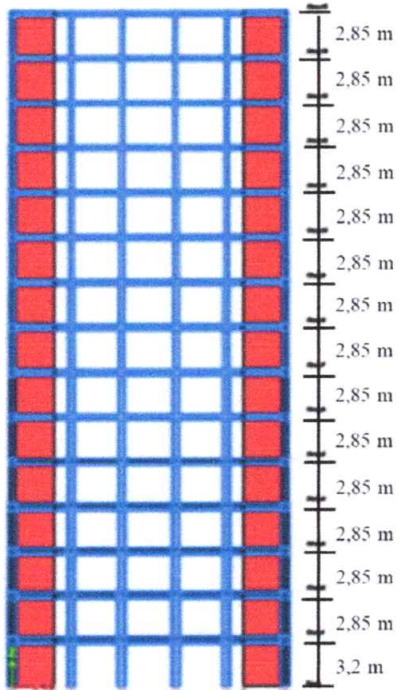
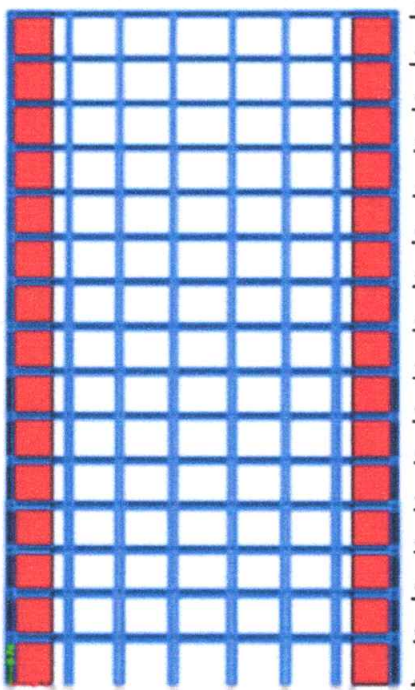
| Tipo de sistema estructural | Sistema Aporticado | |
|-----------------------------|---|--|
| Planta típica |  | |
| Elevación típica | Sentido X | Sentido Y |
| |  |  |




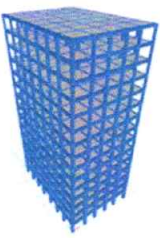
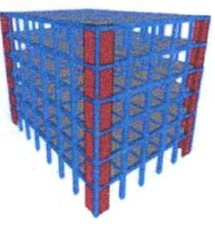

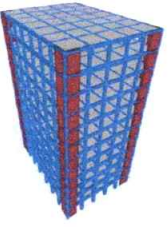
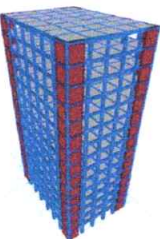
Tabla 13 Dimensiones de las estructuras con sistema dual

| Tipo de sistema estructural | Sistema Dual | |
|-----------------------------|---|--|
| Planta típica |  | |
| Elevación típica | Sentido X | Sentido Y |
| |  |  |

3.5 Muestras

A continuación, en la tabla 14 se presentan los modelos tridimensionales de las variantes usadas para la investigación.

Tabla 14 Modelos tridimensionales en ETABS.

| Sistema | 6 Pisos | 9 Pisos | 12 Pisos | 15 Pisos |
|-------------------|---|---|--|---|
| <i>Aporticado</i> |  |  |  |  |
| | ER-CA-M6 | ER-CA-M9 | ER-CA-A12 | ER-CA-A15 |
| <i>Dual</i> |  |  |  |  |
| | ER-CD-M6 | ER-CD-M9 | ER-CD-A12 | ER-CD-A15 |

3.5.1 Nomenclatura de las muestras

Cada muestra utilizada para el análisis comparativo entre los sistemas aporticados y duales se identifican mediante un código compuesto por varias partes siendo alfanumérico, que logran describir las características estructurales de los edificios usados. El formato general de la nomenclatura es el siguiente:

ER-CX—YZ

Donde:

ER: Significa Estructura Regular, lo que indica que el edificio posee una configuración estructural simétrica y uniforme.

C: Es el material del sistema estructural, en este caso Concreto armado.

X: Esta variable es el tipo de sistema estructural, entre los que se encuentran:

A: Aporticado

D: Dual

Y: Altura del edificio, entre las que se encuentran:

M: Mediano

A: Alto

Z: Número de pisos del edificio.

3.5.2 Descripción de las muestras

3.5.2.1 Muestra ER-CA-M6

Esta muestra representa una estructura regular con una configuración estructural simétrica y uniforme. El sistema estructural está compuesto por marcos de vigas y columnas de concreto, conocidos como sistema aporticado. El edificio tiene una altura mediana, contando con un total de 6 pisos.

3.5.2.2 Muestra ER-CD-M6

Esta muestra corresponde a una estructura regular con una disposición estructural simétrica y equilibrada. Utiliza un sistema estructural dual, que combina marcos de concreto con muros

estructurales para mejorar el desempeño sísmico. El edificio es de altura mediana y cuenta con 6 pisos.

3.5.2.3 Muestra ER-CA-M9

Se refiere a una estructura regular con una configuración simétrica y bien equilibrada. Su sistema estructural es aporticado, compuesto exclusivamente por marcos de concreto. El edificio tiene una altura mediana, con un total de 9 pisos.

3.5.2.4 Muestra ER-CD-M9

Esta muestra describe una estructura regular con características simétricas y bien distribuidas. Su sistema estructural es dual, combinando marcos de concreto con muros estructurales para mayor resistencia. El edificio se clasifica como de altura mediana y consta de 9 pisos.

3.5.2.5 Muestra ER-CA-A12

Representa una estructura regular con una configuración estructural simétrica. El sistema estructural es aporticado, basado en marcos de concreto que soportan las cargas principales. El edificio es de gran altura y cuenta con 12 pisos en total.

3.5.2.6 Muestra ER-CD-A12

Esta muestra corresponde a una estructura regular con una disposición simétrica. Utiliza un sistema estructural dual que combina marcos de concreto con muros estructurales, proporcionando una mayor rigidez y estabilidad. El edificio es considerado de gran altura, con 12 pisos.

3.5.2.7 Muestra ER-CA-A15

Se refiere a una estructura regular con características estructurales simétricas y uniformes. Su sistema estructural es aporticado, compuesto por marcos de concreto que soportan las cargas. El edificio es de gran altura, alcanzando un total de 15 pisos.

3.5.2.8 Muestra ER-CD-A15

Esta muestra describe una estructura regular con una disposición estructural simétrica y estable. El sistema estructural es dual, combinando marcos de concreto con muros estructurales para mejorar su resistencia frente a cargas sísmicas. El edificio es de gran altura y cuenta con 15 pisos.

3.5.3 Dimensiones de los elementos estructurales de las muestras

3.5.3.1 Dimensiones de las columnas

3.5.3.1.1 Metrado de cargas

Para realizar de manera correcta el metrado de carga, el cual se emplea en todas las muestras, se utilizó una hoja de cálculo que se muestra en el apartado de anexos, denominado anexo 1.

De acuerdo con el predimensionamiento de columnas seguido se obtuvieron las siguientes dimensiones para las muestras:

Tabla 15 Dimensiones de las columnas.

| Sistema Estructural | | <i>Aporticado</i> | | | | <i>Dual</i> | | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|
| Edificación | | ER-CA-M6 | ER-CA-M9 | ER-CA-A12 | ER-CA-A15 | ER-CD-M6 | ER-CD-M9 | ER-CD-A12 | ER-CD-A15 |
| Dimensiones de columnas | Nivel 1 | 45/45 | 55/55 | 55/55 | 60/60 | 45/45 | 55/55 | 55/55 | 60/60 |
| | Nivel 2 | 45/45 | 55/55 | 55/55 | 60/60 | 45/45 | 55/55 | 55/55 | 60/60 |
| | Nivel 3 | 40/40 | 45/45 | 50/50 | 55/55 | 40/40 | 45/45 | 50/50 | 55/55 |
| | Nivel 4 | 40/40 | 45/45 | 50/50 | 55/55 | 40/40 | 45/45 | 50/50 | 55/55 |
| | Nivel 5 | 30/30 | 40/40 | 45/45 | 50/50 | 30/30 | 40/40 | 45/45 | 50/50 |
| | Nivel 6 | 30/30 | 40/40 | 45/45 | 50/50 | 30/30 | 40/40 | 45/45 | 50/50 |
| | Nivel 7 | | 40/40 | 40/40 | 50/50 | | 40/40 | 40/40 | 50/50 |
| | Nivel 8 | | 40/40 | 40/40 | 45/45 | | 40/40 | 40/40 | 45/45 |
| | Nivel 9 | | 35/35 | 40/40 | 45/45 | | 35/35 | 40/40 | 45/45 |
| | Nivel 10 | | | 35/35 | 40/40 | | | 35/35 | 40/40 |
| | Nivel 11 | | | 35/35 | 40/40 | | | 35/35 | 40/40 |
| | Nivel 12 | | | 35/35 | 40/40 | | | 35/35 | 40/40 |
| | Nivel 13 | | | | 35/35 | | | | 35/35 |
| | Nivel 14 | | | | 35/35 | | | | 35/35 |
| | Nivel 15 | | | | 35/35 | | | | 35/35 |

3.5.3.2 Dimensiones de las vigas

Las secciones de las vigas obtenidas mediante el proceso de predimensionamiento es la siguiente.

Tabla 16 Dimensiones de vigas.

| Sistema Estructural | | <i>Aporticado</i> | | | | <i>Dual</i> | | | |
|----------------------|----------|-------------------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|
| Edificación | | ER-CA-M6 | ER-CA-M9 | ER-CA-A12 | ER-CA-A15 | ER-CD-M6 | ER-CD-M9 | ER-CD-A12 | ER-CD-A15 |
| Dimensiones de vigas | Nivel 1 | 35/40 | 45/55 | 45/55 | 45/55 | 35/40 | 45/55 | 45/55 | 45/55 |
| | Nivel 2 | 35/40 | 45/55 | 45/55 | 45/55 | 35/40 | 45/55 | 45/55 | 45/55 |
| | Nivel 3 | 30/40 | 35/45 | 40/50 | 45/55 | 30/40 | 35/45 | 40/50 | 45/55 |
| | Nivel 4 | 30/40 | 35/45 | 40/50 | 45/55 | 30/40 | 35/45 | 40/50 | 45/55 |
| | Nivel 5 | 30/40 | 30/40 | 35/45 | 40/50 | 30/40 | 30/40 | 35/45 | 40/50 |
| | Nivel 6 | 30/40 | 30/40 | 35/45 | 40/50 | 30/40 | 30/40 | 35/45 | 40/50 |
| | Nivel 7 | | 30/40 | 30/40 | 40/50 | | 30/40 | 30/40 | 40/50 |
| | Nivel 8 | | 30/40 | 30/40 | 35/45 | | 30/40 | 30/40 | 35/45 |
| | Nivel 9 | | 30/40 | 30/40 | 35/45 | | 30/40 | 30/40 | 35/45 |
| | Nivel 10 | | | 30/40 | 30/40 | | | 30/40 | 30/40 |
| | Nivel 11 | | | 30/40 | 30/40 | | | 30/40 | 30/40 |
| | Nivel 12 | | | 30/40 | 30/40 | | | 30/40 | 30/40 |
| | Nivel 13 | | | | 30/40 | | | | 30/40 |
| | Nivel 14 | | | | 30/40 | | | | 30/40 |
| | Nivel 15 | | | | 30/40 | | | | 30/40 |

4 Capítulo IV

Análisis y Resultados

4.1 Derivas

Considerando que, la deriva es una medida de deformación estructural que evalúa la flexibilidad y el comportamiento sísmico de una edificación, es decir, permitiendo evaluar el desempeño sísmico. En este apartado, se presentarán los resultados obtenidos para los análisis: estático y modal espectral en los sistemas estructurales: aporticado y dual.

4.1.1 Análisis estático

Comprobación de las derivas

Se hace un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso. Según la NEC 2015 los límites de la deriva, es decir, la deriva máxima inelástica Δ_e de cada piso debe calcularse mediante la ecuación:

$$\Delta_e = 0,75 * R * \Delta_1$$

Y debe seguir el siguiente criterio: $\Delta_e \leq 2\%$. A continuación, se presenta una tabla de resumen con los resultados de las derivas para los ejes X e Y en ambos sistemas.

Tabla 17. Resultados de las derivas para sistemas estructurales: aporticado y dual.

| Modelo | DERIVAS | |
|-----------|------------|------------|
| | δ_x | δ_y |
| ER-CA-M6 | 1,88% | 1,79% |
| ER-CD-M6 | 1,15% | 1,11% |
| ER-CA-M9 | 1,82% | 1,72% |
| ER-CD-M9 | 1,04% | 1,00% |
| ER-CA-A12 | 1,92% | 1,81% |
| ER-CD-A12 | 1,25% | 1,19% |
| ER-CA-A15 | 1,88% | 1,74% |
| ER-CD-A15 | 1,16% | 1,10% |

Para un mejor entendimiento, se mostrarán los resultados de las derivas para cada sistema estructural en ambos ejes y luego una comparativa de ambos.

4.1.1.1 Eje X

4.1.1.1.1 Sistema aporticado

a)

| SISTEMA APORTICADO | |
|--------------------|---------|
| N° de Pisos | Derivas |
| 6 | 1,88% |
| 9 | 1,82% |
| 12 | 1,92% |
| 15 | 1,88% |

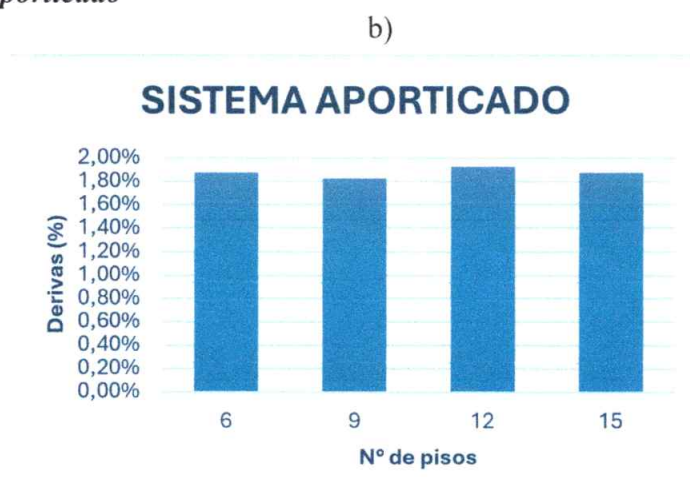


Figura 17. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X.

Se observa que para el sistema aporticado en el eje X, las derivas se encuentran dentro del rango: 1,80 y 1,95%.

4.1.1.1.2 Sistema dual

(a)

| SISTEMA DUAL | |
|--------------|---------|
| Nº de Pisos | Derivas |
| 6 | 1,15% |
| 9 | 1,04% |
| 12 | 1,25% |
| 15 | 1,16% |

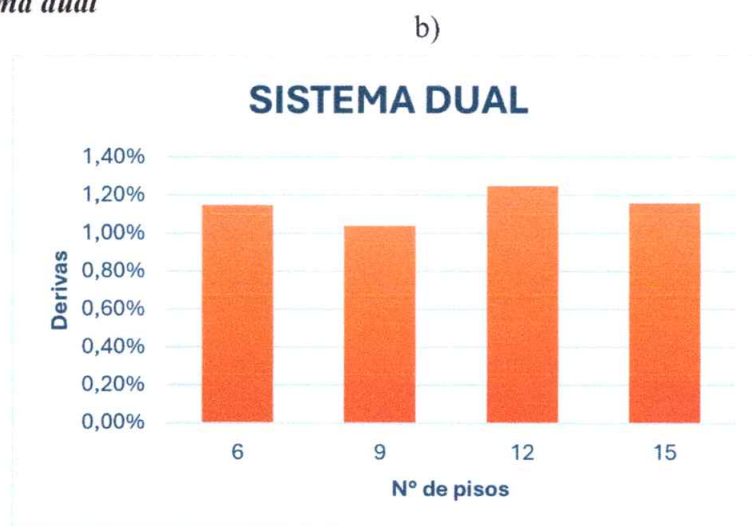


Figura 18 . (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X.

En este sistema, en cambio, las derivas varían entre 1% y 1,3%. Por lo que, es posible percibir una notable reducción en el porcentaje de las derivas entre este sistema y el anterior.

4.1.1.1.3 Comparación de derivas en ambos sistemas



Figura 19. Gráficas comparativas de las derivas en el eje X en ambos sistemas.

En la gráfica (a), se puede denotar de manera más precisa la notable reducción del porcentaje de las derivas en el sistema dual con respecto al aporticado. Esto destaca la efectividad

del sistema dual en la mitigación de desplazamiento laterales, evidenciando un desempeño superior en término de control de derivas frente a cargas sísmicas o laterales en comparación con el sistema aporticado.

Mientras que, en la gráfica (b) se puede observar claramente como las derivas de los sistemas aporticado y dual son casi paralelas entre sí, esto sugiere una relación consistente en los resultados obtenidos, indicando que ambos sistemas mantienen una tendencia similar en respuesta a las variables analizadas. En otras palabras, la reducción del porcentaje de derivas es constante entre ambos sistemas, sin que el número de los pisos sea un factor determinante.

4.1.1.2 Eje Y

4.1.1.2.1 Sistema aporticado

(a)

| SISTEMA APORTICADO | |
|--------------------|---------|
| Nº de Pisos | Derivas |
| 6 | 1,79% |
| 9 | 1,72% |
| 12 | 1,81% |
| 15 | 1,74% |

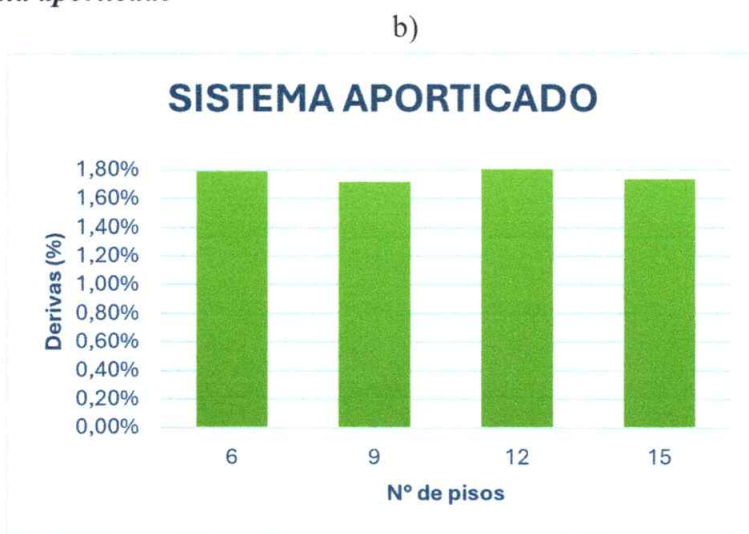


Figura 20. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y.

En el caso de las derivas en el eje Y, se puede denotar que, para el sistema aporticado estas se encuentran dentro del rango: 1,70 y 1,85% y que son menores a las obtenidas para este mismo caso en el eje anterior.

4.1.1.2.2 Sistema dual

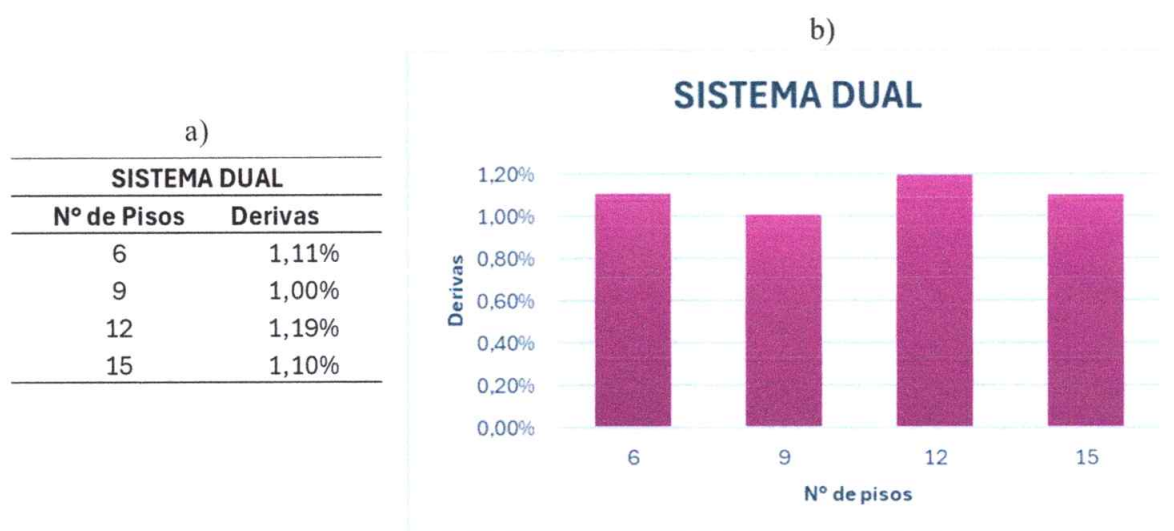


Figura 21. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y.

Para el sistema dual las derivas han disminuido, hasta limitarse entre el 1 y 1,20%.

4.1.1.2.3 Comparación de derivas en ambos sistemas



Figura 22. Gráficas comparativas de las derivas en el eje Y en ambos sistemas.

En la gráfica (a), se puede observar con mayor precisión una reducción significativa en el porcentaje de las derivas cuando se compara el sistema dual con el sistema aporticado, denotando que este primero posee un mejor desempeño.

Y en la gráfica (b) se puede observar cómo, al igual que en el caso anterior, se posee una similitud en la pendiente de ambas líneas, con una pequeña fluctuación en el edificio de nueve pisos. Sin embargo, ambos sistemas responden de manera comparable en términos de tendencia general.

4.1.1.3 Coeficiente empírico de reducción de derivas

Recapitulando, se modelaron ocho estructuras de diferentes alturas (6, 9, 12, 15 pisos); cuatro con el sistema aporticado y cuatro con sistema dual, esto con el propósito de calcular un coeficiente empírico que permita determinar el porcentaje de reducción en derivas, al optar por un sistema estructural en lugar de otro. Dado que se anticipó que el sistema dual presentaría una mayor rigidez y, por lo tanto, un mejor desempeño estructural, el cálculo del coeficiente se realizó de la siguiente manera:

$$\text{coeficiente empírico de reducción de derivas} = \frac{\text{Deriva de sistema dual}}{\text{Deriva de sistema aporticado}}$$

En otras palabras, este coeficiente empírico de reducción permitirá cuantificar la disminución en las derivas al cambiar de un sistema aporticado a un sistema dual.

Tabla 18. Resultados del coeficiente empírico de reducción para ejes X e Y.

| Modelo | Coeficiente empírico de reducción | |
|-----------|-----------------------------------|------------|
| | δ_x | δ_y |
| ER-CA-M6 | 0,60971 | 0,61930 |
| ER-CD-M6 | | |
| ER-CA-M9 | 0,57021 | 0,58449 |
| ER-CD-M9 | | |
| ER-CA-A12 | 0,64807 | 0,66002 |
| ER-CD-A12 | | |
| ER-CA-A15 | 0,618042 | 0,63316 |
| ER-CD-A15 | | |

La tabla presentada muestra los resultados del coeficiente empírico de reducción de derivas para los modelos con diferentes números de pisos, considerando ambos sistemas estructurales y para los ejes X e Y.

4.1.1.4 Dispersión con respecto a la media

4.1.1.4.1 Eje X

Se obtiene un promedio o media de los coeficientes empíricos de reducción y se procede a calcular la diferencia entre este y cada uno de los valores obtenidos para los diferentes números de pisos.

$$\bar{x} = 0,61151$$

Tabla 19. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje X.

| Dispersión con respecto a la media | | | | |
|---|----------|----------|-----------|-----------|
| Nº de pisos | 6 | 9 | 12 | 15 |
| % Dispersión | 0,001797 | 0,041299 | -0,036561 | -0,006536 |

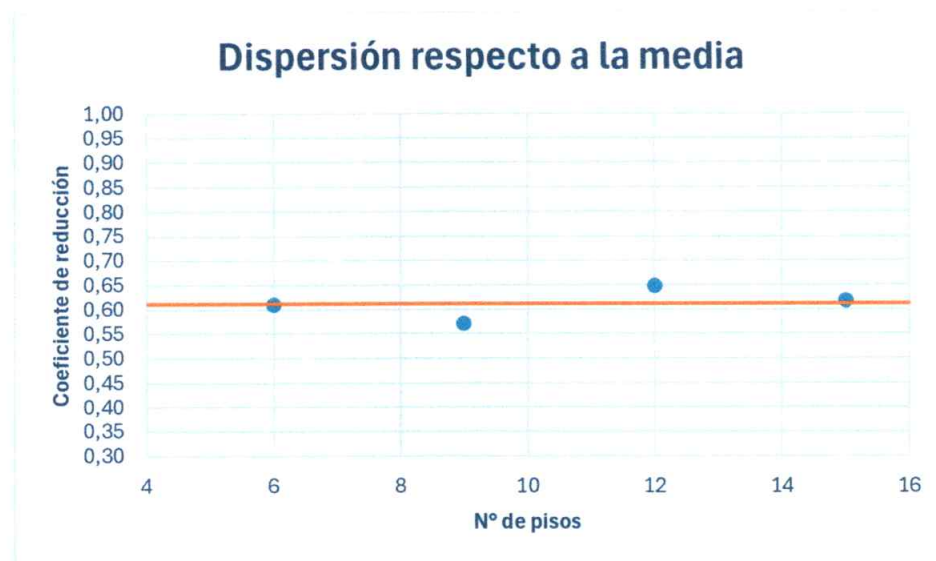


Figura 23. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje X.

En esta Figura se puede observar cómo varían los valores de los coeficientes empíricos de reducción del eje X con respecto al promedio y cuyos valores, los cuales se presentan en la tabla anterior, son mínimos. Por lo cual, se puede inferir que los resultados obtenidos están bastante relacionados entre sí.

Es importante resaltar, que nuestro valor final de coeficiente de reducción de deriva con respecto al eje X es de 0,61151 y que el procedimiento realizado tiene el propósito de demostrar cuanto puede llegar a variar con respecto al número de niveles de una edificación. Por lo que, este coeficiente empírico de reducción puede ser utilizado para determinar la disminución en el porcentaje de la deriva cuando se cambia de un sistema estructural a otro.

4.1.1.4.2 Eje Y

$$\bar{x} = 0,62425$$

Tabla 20. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje Y.

| Dispersión con respecto a la media | | | | |
|---|----------|----------|-----------|-----------|
| N° de pisos | 6 | 9 | 12 | 15 |
| % Dispersión | 0,004944 | 0,039750 | -0,035780 | -0,008914 |

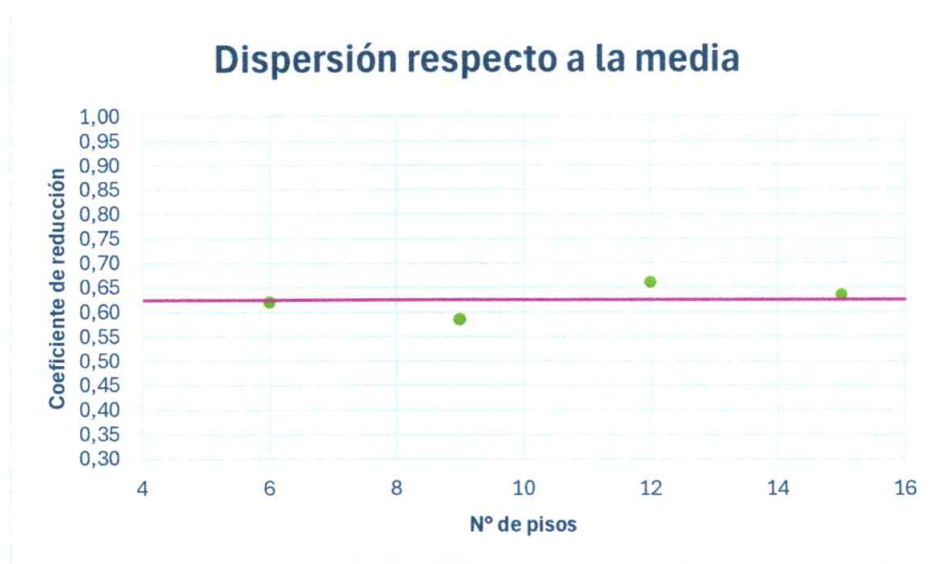


Figura 24. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje Y.

Al igual que en el caso anterior, los valores de los coeficientes de reducción no poseen un valor significativo de dispersión con respecto a la media y el valor final del coeficiente de reducción de derivas en el eje Y es de 0,62425.

4.1.1.5 Correlación de los resultados

4.1.1.5.1 Eje X

Se procede a determinar la correlación de los resultados obtenidos, para conocer la relación o el grado de asociación de nuestras variables. En la siguiente Figura se presentará la ecuación de la línea de tendencia y el coeficiente de Pearson (R).

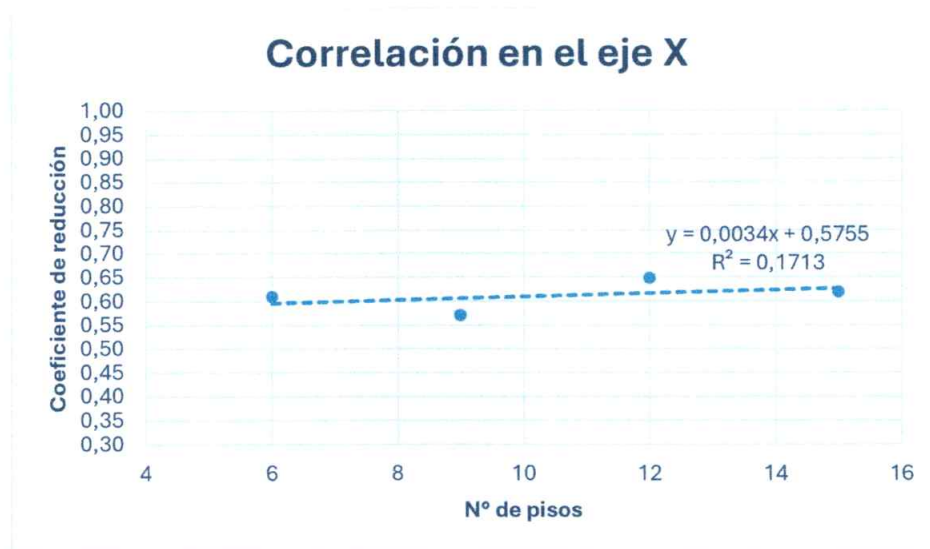


Figura 25. Correlación de las variables en el eje X.

Con la línea de tendencia se puede denotar que se posee una relación directa positiva entre variables y que esta tiene una pendiente leve, esto indica que el coeficiente empírico de reducción no cambia drásticamente a medida que se incrementa el número de pisos. Esto sugiere que, aunque el cambio de sistema mejoraría la deriva, esta mejora es similar en todos los niveles de pisos y no se incrementa significativamente en edificios más altos.

El coeficiente de Pearson (R) para el eje X es del 17,13%, esto indica el porcentaje de variabilidad del coeficiente empírico de reducción, lo que significa que el número de pisos no posee una mayor influencia en este, por lo que la ecuación de la línea de tendencia tendría una capacidad predictiva limitada.

Es decir que, el coeficiente empírico de reducción promedio puede emplearse para predecir cuanto se reducirá la deriva al cambiar el sistema estructural, sin estar sesgado por el número de pisos de la edificación.

4.1.1.5.2 Eje Y

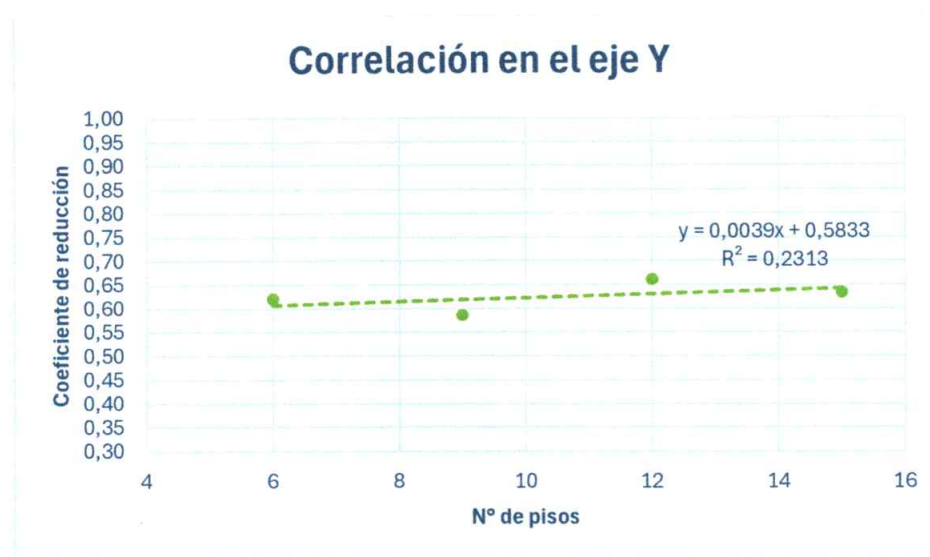


Figura 26. Correlación de las variables en el eje Y.

Al igual que en el caso anterior, la línea de tendencia muestra una relación directa y positiva entre el número de pisos y el coeficiente empírico de reducción, con una pendiente suave, lo que indica que la mejora en la deriva es similar en edificios de diferentes alturas. El coeficiente de Pearson es de 23,13% un poco más alta que en el eje X, aunque sigue sugiriendo que el número de pisos posee poca influencia en el coeficiente empírico de reducción.

4.1.2 Análisis modal espectral

Resultados de las derivas

Tabla 21. Resultados de las derivas para sistemas estructurales: aporticado y dual.

| Modelo | DERIVAS | |
|-----------|----------------------------|----------------------------|
| | δ_x Modal Espectral | δ_y Modal Espectral |
| ER-CA-M6 | 1,54% | 1,49% |
| ER-CD-M6 | 0,99% | 0,96% |
| ER-CA-M9 | 1,45% | 1,40% |
| ER-CD-M9 | 0,86% | 0,85% |
| ER-CA-A12 | 1,45% | 1,39% |
| ER-CD-A12 | 0,96% | 0,93% |
| ER-CA-A15 | 1,36% | 1,30% |
| ER-CD-A15 | 0,85% | 0,82% |

A comparación de las derivas obtenidas en el análisis estático, en el que se aplica una fuerza lateral equivalente, estas presentan una notable reducción. Dado que, el análisis modal espectral al emplear múltiples modos y combinaciones distribuye las deformaciones en toda la estructura y ayuda a conocer su comportamiento real bajo los efectos de un sismo.

4.1.2.1 Eje X

4.1.2.1.1 Sistema aporticado

(a)

| SISTEMA APORTICADO | |
|--------------------|---------|
| Nº de Pisos | Derivas |
| 6 | 1,54% |
| 9 | 1,45% |
| 12 | 1,45% |
| 15 | 1,36% |

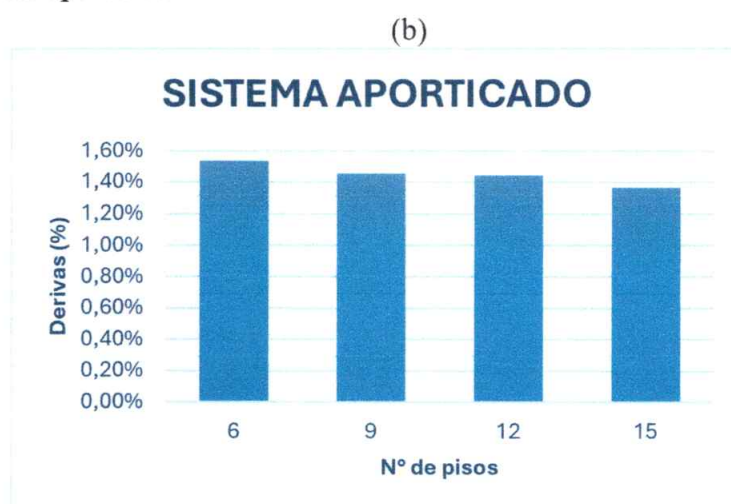


Figura 27. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X.

Para el sistema aporticado en el eje Y, las derivas se redujeron a un rango entre: 1,35 y 1,55%.

4.1.2.1.2 Sistema dual

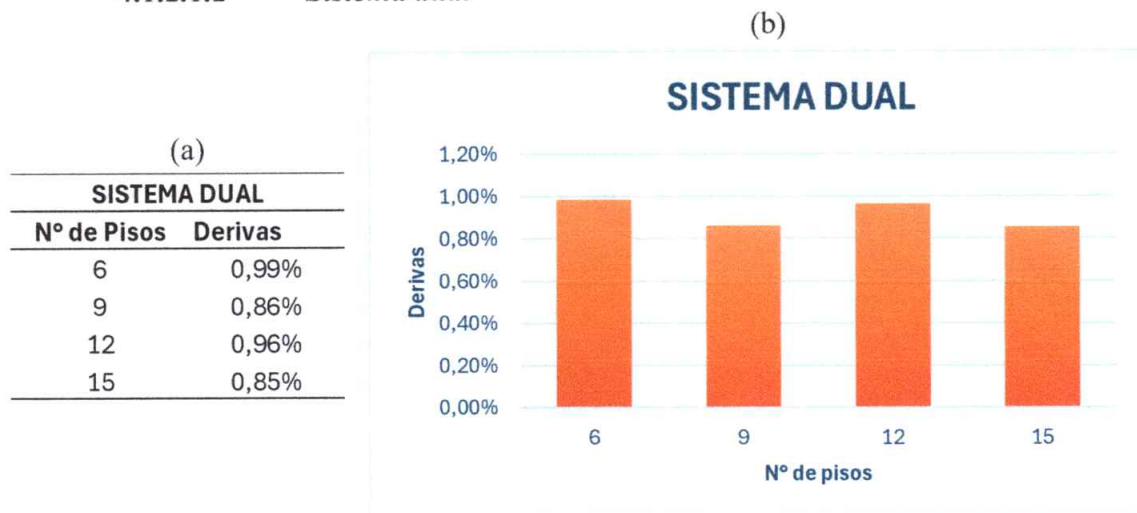


Figura 28. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje X.

En este sistema estructural las derivas varían entre 0,85 y 1%. Por lo que, es posible percibir una notable reducción en el porcentaje de las derivas entre este sistema y el anterior.

4.1.2.1.3 Comparación de derivas en ambos sistemas

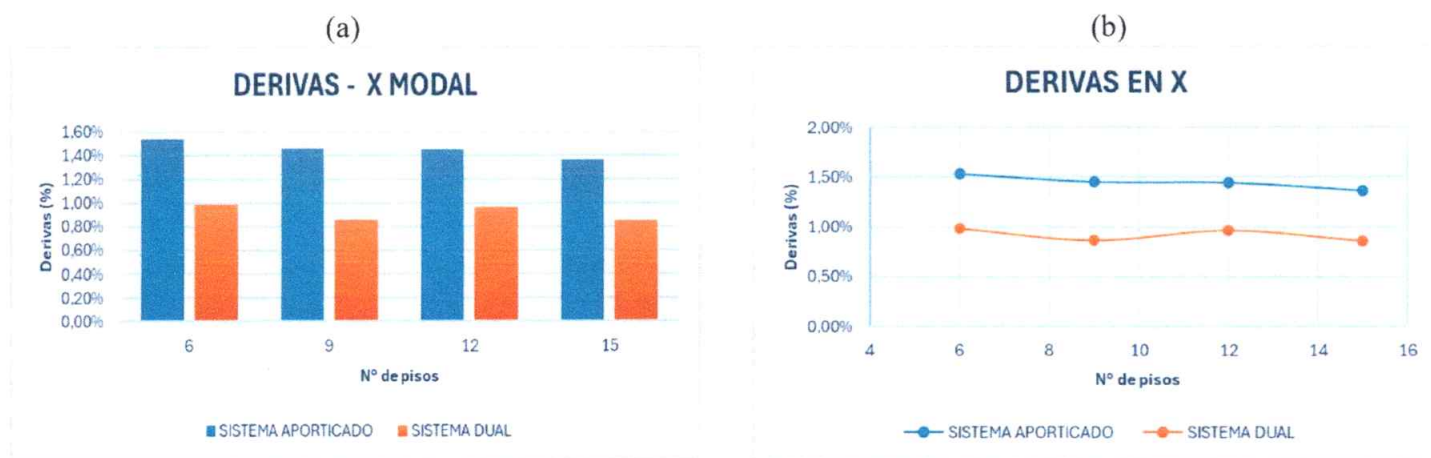


Figura 29. Gráficas comparativas de las derivas en el eje X en ambos sistemas. .

En la gráfica (a), se visualiza de manera más clara la comparación entre las derivas y la notable reducción del porcentaje del sistema dual con respecto al aporticado.

Por otro lado, en la gráfica (b) se denota como las derivas de los sistemas aporticado y dual son casi paralelas entre sí, aunque con una fluctuación en el edificio de nueve pisos, esto sugiere una relación consistente en los resultados obtenidos. Así que, la reducción del porcentaje de derivas es casi constante entre ambos sistemas.

4.1.2.2 Eje Y

4.1.2.2.1 Sistema aporticado

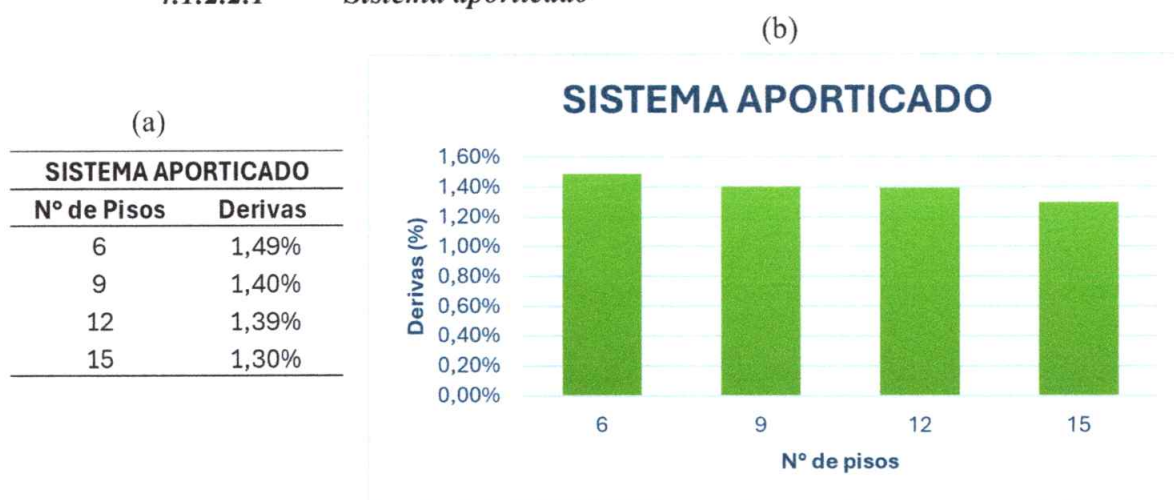


Figura 30. (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y.

En el caso de las derivas en el eje Y, se puede observar que para el sistema aporticado estas se encuentran dentro del rango: 1,30 y 1,50%.

4.1.2.2.2 Sistema dual

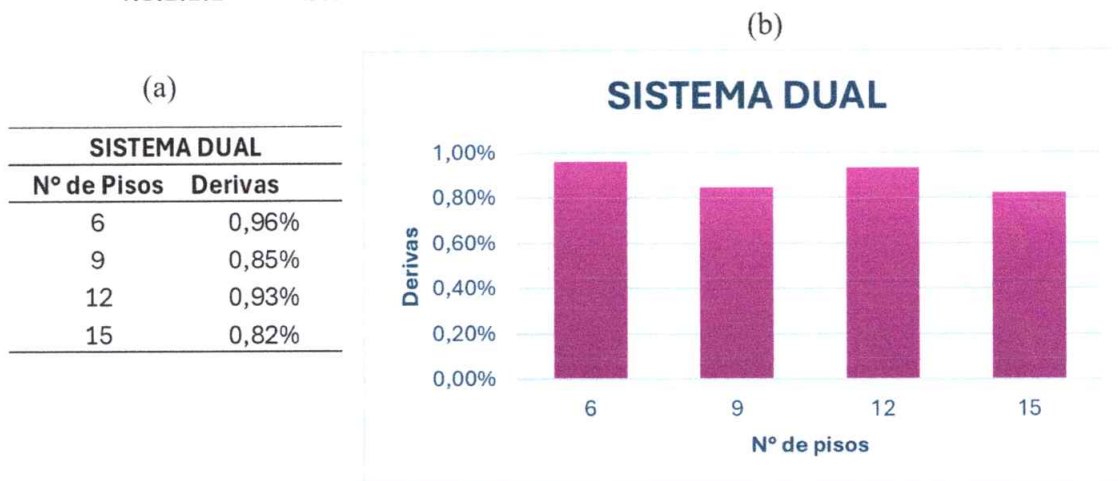


Figura 31 . (a) Cuadro resumen de derivas. (b) Gráfico comparativo de las derivas en el eje Y .

Para el sistema dual las derivas han disminuido hasta limitarse entre 0,85 y 1%. A comparación del Análisis estático, en este la diferencia de las derivas entre el eje X e Y es mínima.

4.1.2.2.3 Comparación de derivas en ambos sistemas

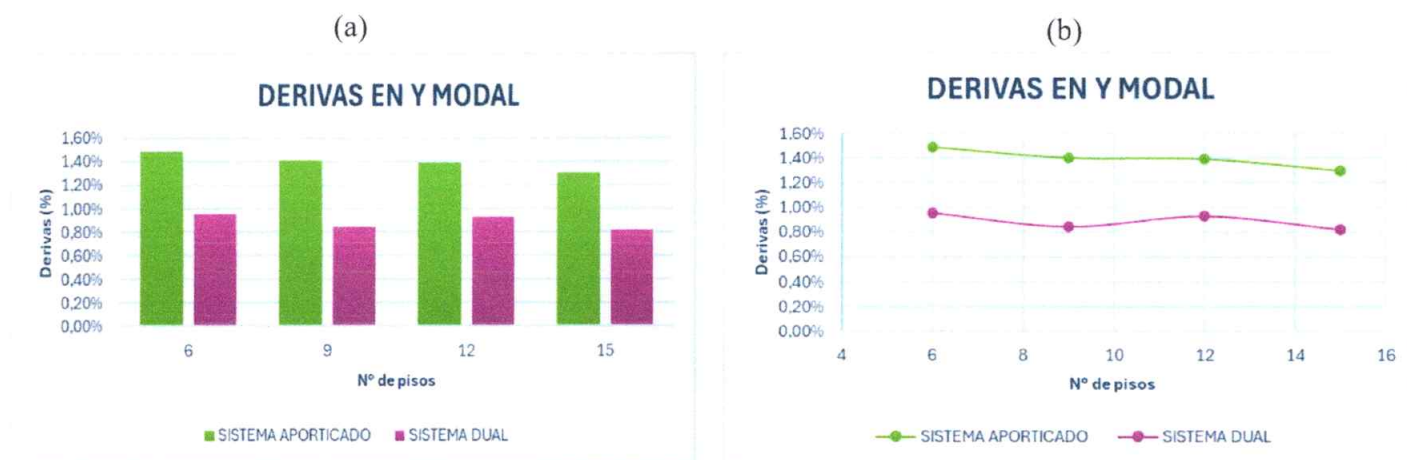


Figura 32. Gráficas comparativas de las derivas en el eje Y en ambos sistemas. .

En la gráfica (a), se precisa una reducción significativa en el porcentaje de las derivas cuando se compara el sistema dual con el sistema aporticado, denotando que este primero posee un mejor desempeño.

Y en la gráfica (b) se puede observar cómo, al igual que en el caso anterior, se posee una similitud en la pendiente de ambas líneas, manteniendo la fluctuación en el edificio de nueve pisos. Sin embargo, ambos sistemas responden de manera comparable en términos de tendencia general.

4.1.2.3 Coeficiente empírico de reducción

Al igual que en el análisis anterior, en este también se obtiene el coeficiente empírico de reducción que permitirá cuantificar el porcentaje de disminución en las derivas al cambiar de un sistema aporticado a un sistema dual. En la siguiente tabla se presentan los coeficientes empíricos de reducción de derivas para los modelos con diferentes números de pisos, considerando ambos sistemas estructurales:

Tabla 22. Resultados de los coeficientes de reducción para los ejes X e Y modal espectral.

| Modelo | Coeficientes empíricos de reducción | |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------|
| | δ_x Modal Espectral | δ_y Modal Espectral |
| ER-CA-M6 | 0,6425781 | 0,6453043 |
| ER-CD-M6 | | |
| ER-CA-M9 | 0,5924092 | 0,6026518 |
| ER-CD-M9 | | |
| ER-CA-A12 | 0,6672199 | 0,670112 |
| ER-CD-A12 | | |
| ER-CA-A15 | 0,6257696 | 0,6318707 |
| ER-CD-A15 | | |

4.1.2.4 Dispersión con respecto a la media

4.1.2.4.1 Eje X

Se obtiene un promedio o media de los coeficientes de reducción y se procede a calcular la diferencia entre este y cada uno de los valores obtenidos para los diferentes números de pisos.

$$\bar{x} = 0,63199$$

Tabla 23. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje X modal espectral. .

| Dispersión con respecto a la media | | | | |
|------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| Nº de pisos | 6 | 9 | 12 | 15 |
| % Dispersión | -0,010584 | 0,039585 | -0,035226 | 0,006225 |

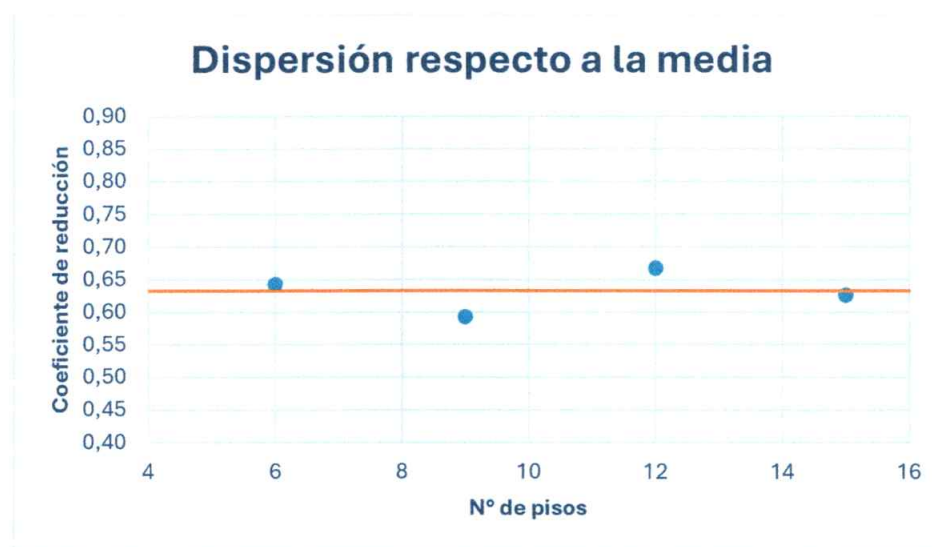


Figura 33. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje X. .

En esta Figura se denota la variación de los valores de los coeficientes empíricos de reducción en el eje X con respecto al promedio y cuyos valores, los cuales se presentan en la tabla anterior, son pequeños, es decir que los resultados obtenidos están bastante relacionados entre sí.

Es importante resaltar, que el valor a emplear como coeficiente de reducción de deriva del análisis modal espectral con respecto al eje X es de 0,63199 y que el procedimiento realizado tiene el propósito de demostrar cuanto puede llegar a variar con respecto al número de niveles de una edificación.

4.1.2.4.2 Eje Y

$$\bar{x} = 0,63748$$

Tabla 24. Resultados de la dispersión con respecto a la media en el eje Y modal espectral. .

| Dispersión con respecto a la media | | | | |
|------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| N° de pisos | 6 | 9 | 12 | 15 |
| % Dispersión | -0,007820 | 0,034833 | -0,032627 | 0,005614 |

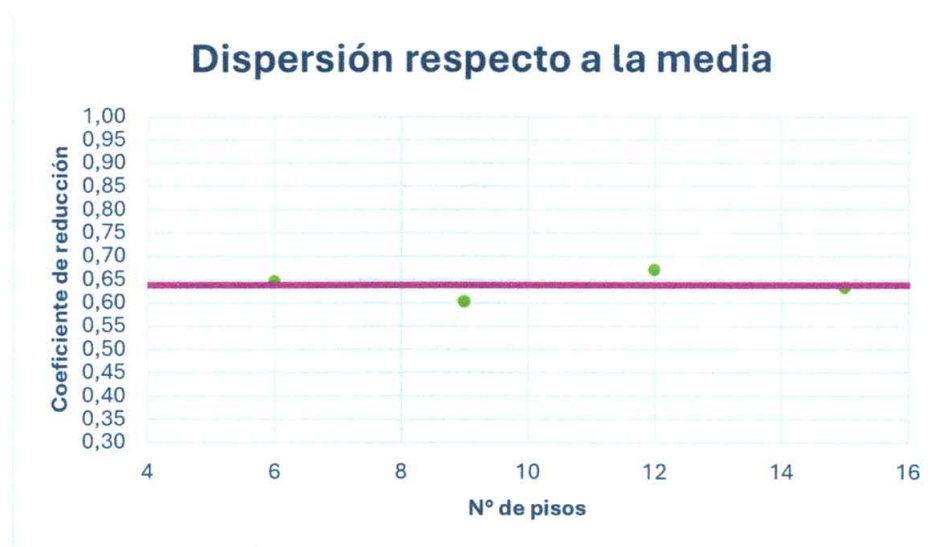


Figura 34. Dispersión con respecto a la media de los coeficientes de reducción en el eje Y modal espectral. .

Al igual que en el caso anterior, los valores de los coeficientes empíricos de reducción no poseen un valor significativo de dispersión con respecto a la media y el valor final de este en el eje Y es de 0,63748, además, es importante resaltar que, a comparación del análisis anterior, en este la diferencia entre los coeficientes de reducción del eje X e Y es mucho menor. Por lo que, se puede

inferir que las estructuras bajo los efectos de un sismo actuarían de manera más parecida en los ejes X e Y en el análisis modal espectral.

4.1.2.5 Correlación de los resultados

4.1.2.5.1 Eje X

En la siguiente Figura se presentará la ecuación de la línea de tendencia y el coeficiente de Pearson (R).

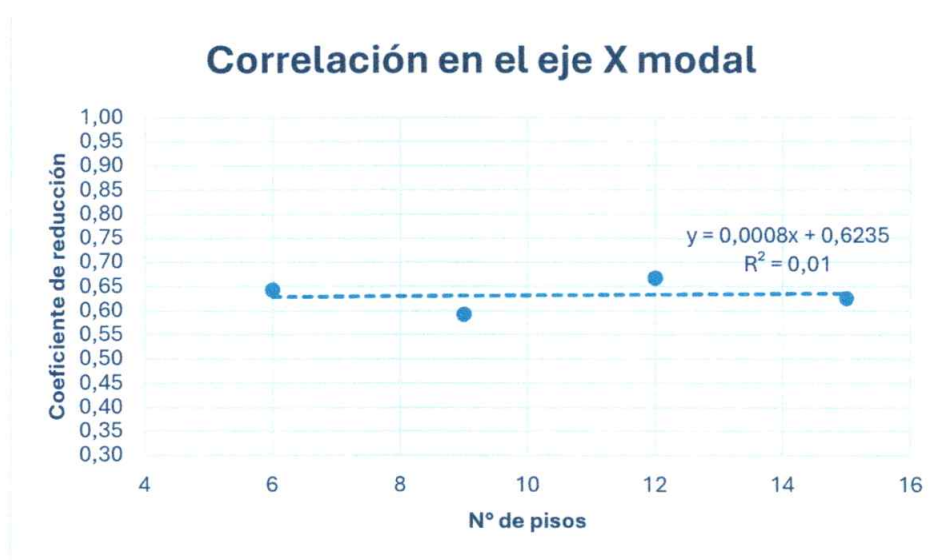


Figura 35. Correlación de las variables en el eje X.

Con la línea de tendencia se puede denotar que se posee una relación directa positiva entre variables y que esta tiene una pendiente insignificante, esto indicaría que el coeficiente de reducción no cambia a medida que se incrementa el número de pisos. Lo que significa que, aunque el cambio de sistema mejoraría la deriva, esta mejora será similar en todos los niveles de pisos y no se incrementa significativamente en edificios más altos.

El coeficiente de Pearson (R) para el eje X es del 1%, esto indica el porcentaje de variabilidad del coeficiente de reducción, lo que significa que el número de pisos no posee influencia en este, por lo que la ecuación de la línea de tendencia tendría una capacidad predictiva casi nula.

Es decir que, el coeficiente de reducción promedio puede emplearse para predecir cuanto se reducirá la deriva al cambiar el sistema estructural, sin estar condicionado por el número de pisos de la edificación.

4.1.2.5.2 Eje Y

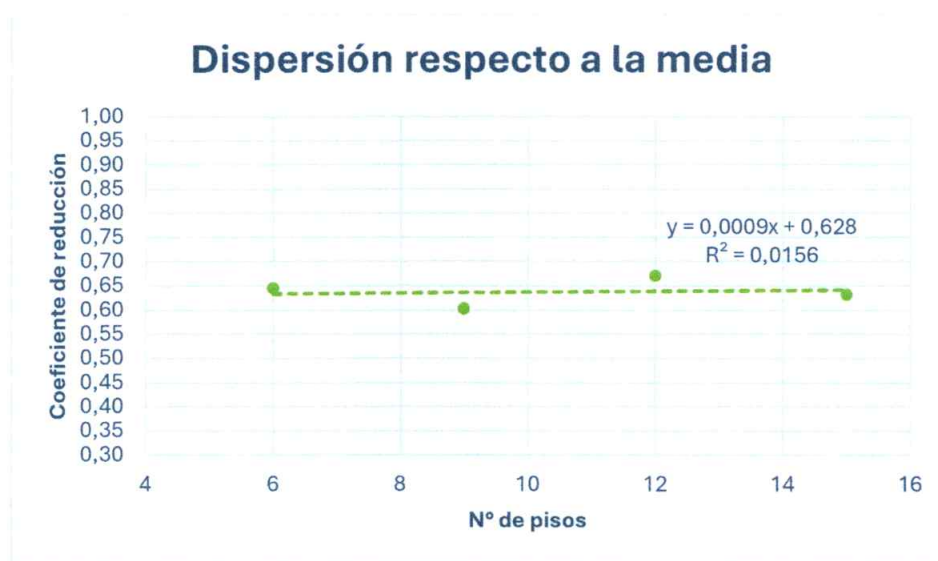


Figura 36. Correlación de las variables en el eje Y modal espectral. .

Al igual que en el caso anterior, la línea de tendencia muestra una relación directa y positiva entre el número de pisos y el coeficiente empírico de reducción, con una pendiente insignificante, lo que indica que la mejora en la deriva es similar en edificios de diferentes alturas. El coeficiente

de Pearson es de 1,56% un poco más alta que en el eje X, aunque sigue sugiriendo que el número de pisos no posee influencia en el coeficiente de reducción.

Los resultados obtenidos en el análisis modal espectral muestran una menor variabilidad entre los ejes X e Y en comparación con los resultados del análisis estático. Esto indica una mayor homogeneidad en la respuesta estructural para ambos ejes en el análisis modal espectral, lo cual puede atribuirse a la capacidad del método para captar las características dinámicas del sistema con mayor precisión en ambas direcciones,

Además, la pendiente del coeficiente de reducción obtenido para el análisis modal espectral es significativamente menor en comparación de la pendiente del otro análisis, esto sugiere que, al emplear el análisis modal espectral la variación de la reducción de la deriva es considerablemente más uniforme.

4.2 Períodos

A continuación, se presentarán los resultados de los períodos obtenidos para las edificaciones con sus diferentes números de pisos.

Tabla 25. Resultados de períodos de las edificaciones. .

| | 6 | 9 | 12 | 5 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| S. Aporticado | 0,821987 | 0,988381 | 1,288997 | 1,479862 |
| S. Dual | 0,642623 | 0,787081 | 1,083716 | 1,233138 |

4.2.1 Comparación de períodos en ambos sistemas

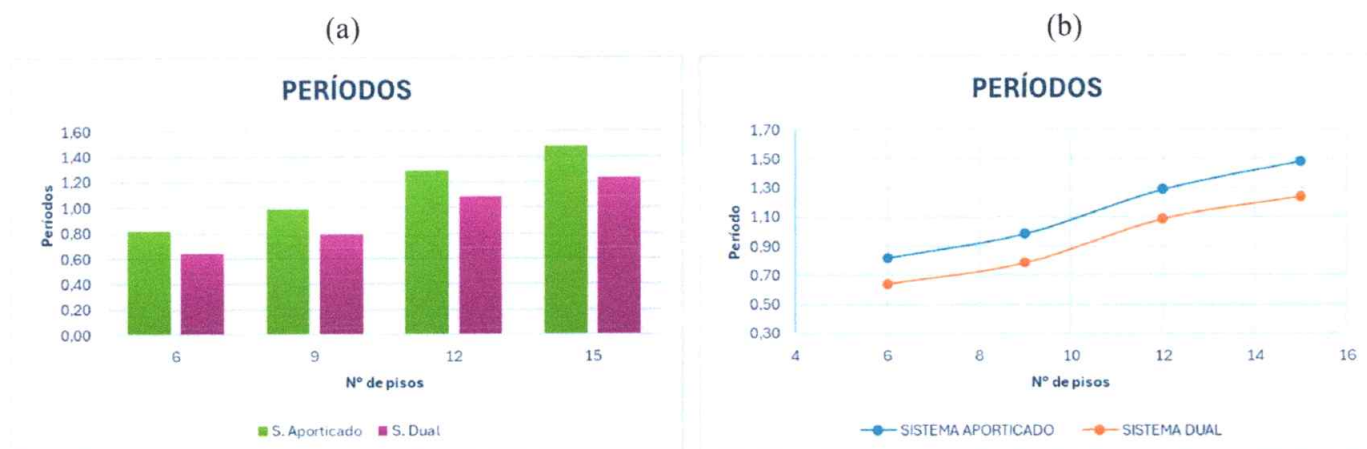


Figura 37. Gráficas comparativas de los períodos en ambos sistemas. .

En la gráfica (a), se puede observar que los períodos de vibración muestran una tendencia creciente a medida que se aumenta el número de pisos de la edificación, al igual que los valores son consistentemente menores en el sistema dual en comparación con el aporticado. Esto evidencia una mayor rigidez en el sistema dual, lo que contribuye a reducir la deformación y la duración de las vibraciones en comparación con el sistema aporticado para edificaciones de alturas similares.

Y en la gráfica (b) se puede observar como las líneas ascendentes que representan los resultados de ambos sistemas estructurales son casi paralelas, lo que indica una tendencia similar en el crecimiento de los períodos con respecto al número de pisos.

4.2.2 Coeficiente empírico de reducción

Se obtiene el coeficiente empírico de reducción, el cual permitirá cuantificar el porcentaje de disminución en los períodos de vibración al cambiar de un sistema aporticado a un sistema dual.

Tabla 26. Resultados de los coeficientes empíricos para los periodos de vibración.

| Modelo | Períodos | | |
|-----------|----------|-------------------------------|-------------------------|
| | Período | Coficiente empírico reducción | Porcentaje de Reducción |
| ER-CA-M6 | 0,821987 | 0,78179217 | 18% |
| ER-CD-M6 | 0,642623 | | |
| ER-CA-M9 | 0,988381 | 0,7963336 | 20% |
| ER-CD-M9 | 0,787081 | | |
| ER-CA-A12 | 1,288997 | 0,84074425 | 21% |
| ER-CD-A12 | 1,083716 | | |
| ER-CA-A15 | 1,479862 | 0,83327934 | 25% |
| ER-CD-A15 | 1,233138 | | |

Se obtiene un promedio o media de los coeficientes empíricos de reducción, que será el valor con el cual se puede predecir la disminución del período al cambiar de un sistema a otro.

$$\bar{x} = 0,8130$$

4.2.3 Correlación de los resultados

En la siguiente Figura se presentará las ecuaciones de la línea de tendencia y los coeficientes de Pearson (R) para ambos sistemas estructurales.

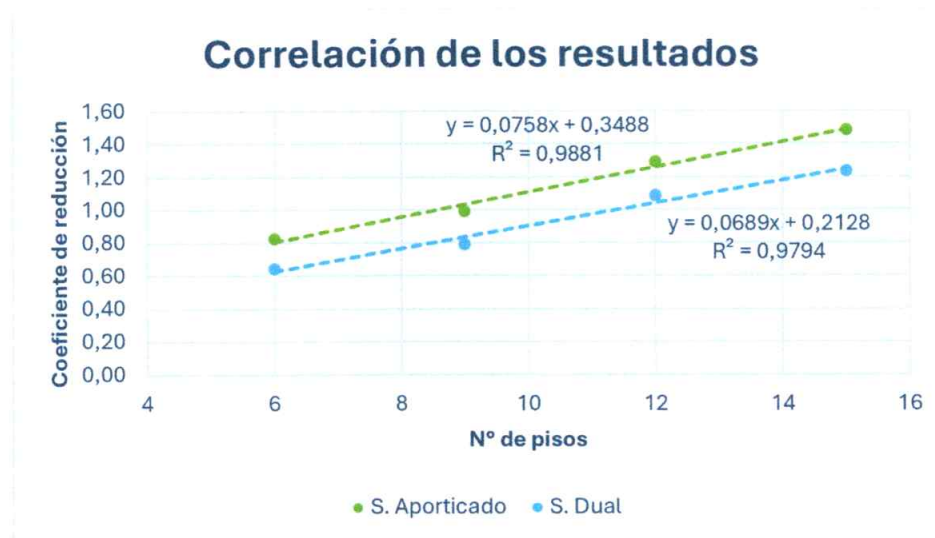


Figura 38. Correlación de los resultados.

La gráfica de dispersión muestra dos líneas de tendencia ascendentes y casi paralelas para los sistemas aporticado y dual, ambas con una pendiente moderada – alta. Esta similitud en las pendientes indica que, aunque los períodos varían de manera similar con el número de pisos en ambos sistemas, los valores para el sistema dual son sistemáticamente menores.

Además, se poseen altos coeficientes de determinación R, siendo del 98,81% para el sistema aporticado y del 97,94% para el sistema dual, confirmando una fuerte correlación entre las variables. Se puede concluir que las ecuaciones de las líneas de tendencia son efectivas para predecir el comportamiento en función del número de pisos.

4.2.4 Comparación de ecuación empírica del período

El ingeniero Genner Villareal Castro emplea en su libro “Ingeniería sismorresistente: Problemas resueltos” una fórmula empírica para predecir el período según el número de pisos. Es importante resaltar que esta fórmula no proviene de una investigación, sino de textos prácticos y

didácticos sobre ingeniería estructural y se encuentra relacionado para fines de enseñanza, la ecuación es:

$$T = 0,1 \cdot n$$

Donde n es el número de pisos de la edificación.

En este apartado se pretende comparar el coeficiente de la ecuación de Genner Villareal con los que se generarán para los sistemas estructurales: aporticado y dual. En la siguiente tabla se presentan los resultados de los períodos para cada sistema estructural y los coeficientes para la ecuación, que se obtuvieron dividiendo el período para el número de pisos.

Tabla 27. Coeficientes para fórmula empírica.

| Nº de pisos | Período S.A | Período S.D | Coeficiente S.A | Coeficiente S.D |
|-------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 6 | 0,821987 | 0,642623 | 0,137 | 0,107 |
| 9 | 0,988381 | 0,787081 | 0,110 | 0,087 |
| 12 | 1,288997 | 1,083716 | 0,107 | 0,090 |
| 15 | 1,479862 | 1,233138 | 0,099 | 0,082 |

Coeficiente para sistema aporticado

$$\bar{x} = \frac{0,137 + 0,110 + 0,107 + 0,099}{4} = \mathbf{0,113}$$

Coeficiente para sistema dual

$$\bar{x} = \frac{0,107 + 0,087 + 0,090 + 0,082}{4} = \mathbf{0,092}$$

Se puede apreciar que, tanto para el sistema aporticado como en el dual, las diferencias entre los coeficientes calculados y el propuesto por el ingeniero Villareal no son significativas.

Sin embargo, los valores obtenidos pueden ofrecer una mayor precisión al momento de predecir los períodos fundamentales de las estructuras.

5 Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se determinó, a través de la revisión bibliográfica científica, que existen algunas investigaciones que analizan el desempeño de estructuras de hormigón armado con los sistemas mencionados; no obstante, no las comparan entre sí, especialmente bajo las condiciones sísmicas locales
- Con los resultados obtenidos mediante el método estático, se puede concluir que el desempeño sismorresistente del sistema dual es superior en términos de control de derivas frente a cargas sísmicas o laterales, evidenciado por una notable reducción porcentual en derivas en comparación con el sistema aporticado. Este comportamiento destaca mayor rigidez y efectividad del sistema dual en mitigación de desplazamientos laterales. Además, dentro de los análisis realizados se obtuvieron: un coeficiente empírico de reducción de derivas que puede ser empleado como un indicador clave para estimar en qué medida varían los resultados al cambiar de un sistema estructural a otro, que al ser indiferente a la cantidad de pisos pueden ser útiles en estudios preliminares y en proyectos donde se requiera una evaluación rápida de alternativas de diseño estructural. Y un análisis de correlación que sirve como una herramienta práctica para evaluar el desempeño sin la necesidad de considerar ajustes específicos por altura.
- Con el análisis modal espectral se precisó una reducción significativa en el porcentaje de las derivas, denotando que el sistema dual posee un mejor desempeño sismorresistente en comparación al aporticado. Por otro lado, los períodos de

vibración del sistema dual son consistentemente menores que los del sistema aporticado, lo que confirma su mayor rigidez, que contribuye a reducir deformaciones y minimizar la duración de las vibraciones bajo cargas sísmicas, mejorando el desempeño estructural del sistema dual.

- Al comparar los sistemas estructurales: dual y aporticado, en el análisis estático y modal espectral, se realizó considerando lo que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción, que establece que el límite en las derivas inelásticas es del 2% y que el período obtenido con el método 2 no es mayor en un 30% al calculado con el método 1.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere continuar con esta línea de investigación, profundizando en el análisis económico. Esto implica evaluar las diferencias de costos entre los sistemas estructurales analizados y realizar un estudio comparativo que contemple tanto las ventajas como desventajas de cada sistema, considerando tanto los costos asociados como la capacidad de resistencia estructural. Esta evaluación permitirá identificar no solo la eficiencia estructural, sino también su viabilidad económica en diversos contextos.
- Se recomienda llevar a cabo una optimización de los modelos estructurales, enfocándose en la reducción de las dimensiones de algunos elementos estructurales, como vigas y

columnas. Esto debe realizarse considerando la incorporación del muro estructural, que contribuye significativamente a la rigidez global del sistema. El objetivo es ajustar las secciones de los elementos de manera que se cumpla con las limitaciones de deriva, evitando que la estructura resulte excesivamente rígida. Este enfoque permite un diseño más eficiente y económico, manteniendo un desempeño adecuado ante demandas sísmicas.

6 Bibliografía

Alcívar S. (2020). *Diseño de muros estructurales de acuerdo con la NEC - 15 y el ACI 318 -19*.

Portoviejo, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí .

Algamati, M., Al-Sakkaf, A., Abdelkader, E., & Bagchi, A. (2023). *Studying and Analyzing the*

Seismic Performance of Concrete Moment-Resisting Frame Buildings. Obtenido de

MDPI: <https://www.mdpi.com/2673-4109/4/1/3>

American Concrete Institute ACI. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*

(ACI 318-19) and Commentary. Farmington Hills. MI: American Concrete Institute.

Andrade, J., & Jaramillo, M. (2015).

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS ESTRUCTURALES SISMO RESISTENTES PARA EDIFICIOS UTILIZANDO SISTEMAS COMBINADOS CON PÓRTICOS, MUROS O DIAGONALES EN HORMIGÓN Y ACERO. Obtenido de academia:

https://www.academia.edu/53264347/An%C3%A1lisis_comparativo_entre_sistemas_estructurales_sismo_resistentes_para_edificios_utilizando_sistemas_combinados_con_p%C3%B3rticos_muros_o_diagonales_en_hormig%C3%B3n_y_acero

Barros, L., & Peñafiel, M. (Enero de 2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO ECONOMICO-*

ESTRUCTURAL ENTRE UN SISTEMA APORTICADO, UN SISTEMA APORTICADO CON MUROS ESTRUCTURALES Y UN SISTEMA DE PAREDES PORTANTES, EN UN EDIFICIO DE 10 PISOS. Obtenido de bibdigital:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10314/3/CD-6143.pdf>

Bazán E, & Meli R. (2003). *Diseño Sísmico de Edificios*. Limusa Noriega Editores.

- Bozzo, L. M., & Barbat, A. H. (1999). *Diseño sismorresistente de edificios*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Caiza P, & Viera P. (2019). *Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas en hormigón armado*. Ecuador: Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Calcina R. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no lineal*. Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Calderón, C., & Proaño, R. (2021). *Análisis comparativo técnico de un sistema aporticado de hormigón armado y un sistema estructural steel framing*. Obtenido de Repositorio EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21897>
- Cedeño Calderón, M., & Rodríguez Rodríguez, W. (2023). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA IRREGULAR DEL CANTÓN PORTOVIEJO APLICANDO LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA*.
- Chanduví, E., & Santillán, R. (2023). *Comparative Analysis of the Seismic Behavior of a Hysteretic Energy Dissipation System and an Elastomeric Isolation System in Reinforced Concrete Buildings*. Obtenido de laccei: https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_372_a.pdf
- Chavéz, M., Barragán, A., & Cevallos, J. (2015). *Análisis Comparativo Entre un Edificio Con Pórticos Resistentes a Momentos Con la Inclusión de Amortiguadores de Masa Sintonizada y un Edificio Con Sistema Dual de Muros de Corte*. Obtenido de dspace.espol: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/34258>

- Falconi R, & Contreras J. (2011). Análisis Modal Espectral En Estructuras Con Aisladores Elastoméricos. *In VI Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 1*, 139-206.
- Garrido, C., & Fernández, V. (2024). *Comportamiento sísmico de edificios irregulares en planta considerando sistemas de aislamiento con excentricidad de rigidez*. Obtenido de researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/379050922_Comportamiento_sismico_de_edificios_irregulares_en_planta_considerando_sistemas_de_aislacion_con_excentricidad_de_rigidez
- Gonzalez, M. (19 de Enero de 2023). *PROYECTOS ESTRUCTURALES EN CONCRETO ARMADO*. Obtenido de slideshare.: <https://es.slideshare.net/slideshow/proyectos-estructurales-en-concreto-armado/255414550>
- Guevara, I. (07 de Diciembre de 2021). *Sistemas estructurales de concreto armado*. Obtenido de ingegeek: <https://www.ingegeek.site/2021/12/07/sistemas-estructurales-de-concreto-armado/>
- Hernandez E. (2018). *Diseño sismorresistente en concreto armado*. Guadalajara: INESA.
- Mero, J. (2013). *Sistemas estructurales*. Obtenido de Universidad de los Andes:
https://issuu.com/niferwidmernietoferrer/docs/predimensionamiento_de_columnas
- Morales R. (2006). *Diseño en Concreto Armado*. Instituto de la Construcción y Gerencia. Fondo Editorial, ICG.
- NEC_SE_DS. (2015). *Peligro sísmico. Diseño Sismo Resistente*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbana y Vivienda.

- Nilzon, A. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: McGRAW-HILL, Inc.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción, N. (2015). *Sección Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS)*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).
- Oviedo J, & Duque M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*, 105-120.
- Prato C, & Ceballos M. (2015). *Método modal espectral*. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Proaño, M. R. (2014). *TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO*. Obtenido de Escuela Politécnica del Ejército: https://d1wqtxtslxzle7.cloudfront.net/35961698/hormigon09-libre.pdf?1418750749=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTEMAS_CAPITULO_IX_DISENO_DE_LOSAS_DE_HOR.pdf&Expires=1725902600&Signature=LfJh8MaNhxhNUUiwPHIdudTRkkuqz~RgOLII5WNU7ozMPFkj7Ipk
- Shakeel, S. (2024). *Comparación de desempeño sísmico y costos de estructuras de hormigón armado resistentes a momentos y de estructuras dobles utilizando UBC 97 e IBC 2021*. Obtenido de Sci Rep: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-67373-3>
- Sritharan et al., S. (2014). *Understanding poor seismic performance of concrete walls and design implications*. Obtenido de Earthquake Spectra, : <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1193/021713EQS036M>
- Velarde Cruz F. D, Bojórquez Mora J, & Bojórquez Mora E. (2022). Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual. *Ingeniería sísmica*, 74-90.

Velarde, F., Bojórquez, J., & Bojórquez, E. (2022). *Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual*. Obtenido de redalyc:

<https://www.redalyc.org/journal/618/61878891004/html/>

Vera, C. (2024). *Desempeño sísmico de tres sistemas estructurales aporticados diseñados según la norma ecuatoriana de la construcción, NEC2015*. Obtenido de polodelconocimiento:

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7916>

Xu, W., Zhao, Y., Yang, W., Zhang, J., & Chen, D. (2023). *Seismic performance of RC frame-shear wall dual structural systems*. Obtenido de science direct:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012423016983>

7 Anexos

Metrado de carga

Pisos sin incluir cubierta

Peso propio de la losa (aligerada de 25cm):

| | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Peso de loseta de comprensión: | $0,05 * 1 * 1 * 2400 =$ | 120 kg/m^2 |
| Bloques: | $8 * 0,10 =$ | 80 kg/m^2 |
| Nervios: | $N_x: (1 * 0,20 * 0,10) 2 * 2400 =$ | 96 kg/m^2 |
| | $N_y: (0,4 * 0,20 * 0,10) 4 * 2400 =$ | 76,8 kg/m^2 |
| | | 373 kg/m^2 |

Sobrecarga muerta:

| | | |
|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Enlucido y mancillado: | $1 * 1 * 0,04 * 2200 =$ | 88 kg/m^2 |
| Enlucido de piso: | $1 * 1 * 0,02 * 2200 =$ | 44 kg/m^2 |
| Baldosa de cerámica: | | 18 kg/m^2 |
| Mampostería: | | 200 kg/m^2 |
| Instalaciones eléctricas: | | 10 kg/m^2 |
| Instalaciones sanitarias: | | 15 kg/m^2 |
| | | 375,0 kg/m^2 |

| | | |
|---|-------------------------------|--------------------------------|
| Peso de vigas y columnas: | (Peso propio de losa * 1,9) = | 627 kg/m^2 |
| Carga viva (oficinas y departamentos): | | 240 kg/m^2 |

Pisos de cubierta

Peso propio de la losa (aligerada de 25cm):

| | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Peso de loseta de comprensión: | $0,05 * 1 * 1 * 2400 =$ | 120 kg/m^2 |
| Bloques: | $8 * 0,10 =$ | 80 kg/m^2 |
| Nervios: | $N_x: (1 * 0,15 * 0,10) 2 * 2400 =$ | 96 kg/m^2 |
| | $N_y: (0,4 * 0,15 * 0,10) 4 * 2400 =$ | 76,8 kg/m^2 |
| | | 373 kg/m^2 |

Sobrecarga muerta:

| | | |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Enlucido y mancillado: | $1 * 1 * 0,04 * 2200 =$ | 88 kg/m^2 |
| Baldosa de cerámica: | | 18 kg/m^2 |
| Mampostería: | | 200 kg/m^2 |
| Instalaciones eléctricas: | | 10 kg/m^2 |
| Instalaciones sanitarias: | | 15 kg/m^2 |
| | | 331 kg/m^2 |

| | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|
| Peso de vigas y columnas: | (Peso propio de losa * 1,9) = | 627 kg/m^2 |
| Carga viva (cubierta no accesible): | | 70 kg/m^2 |

Pasos para modelación en Etabs

Con la implementación del software ETABS, se realizaron los respectivos análisis estructurales a los modelos definidos en esta investigación, con la finalidad de determinar los esfuerzos y las deformaciones de la edificación, en el cual se utilizan técnicas de análisis matricial, análisis por el método de elementos finitos y entre otros más.

El proceso que se siguió en el software antes mencionado consistió en primero definir las propiedades de los materiales a usar, seguido de la definición de la geometría y dimensiones de los elementos, para después realizar el modelado de la estructura para concluir con la definición de las propiedades dinámicas. Como este proceso se realiza de manera similar para todos los modelos estudiados y la configuración estructural también es la misma se tomará de ejemplo la modelación del edificio de 15 niveles por ser el que cuenta con más pisos.

Geometría

En el programa ETABS se deben definir primero las normas a usar en el modelo, aunque se puede trabajar en el predeterminado, una vez escogidas se procede a definir las grids o grillas, lo cual corresponde a la cantidad de ejes que se necesitan para el modelo en ambos sentidos, es decir en sentido X y sentido Y, también se define aquí mismo las distancia que existe entre cada eje, el número de pisos, la altura de cada piso. En la tabla 27 se encuentran las grids del sentido X, de la misma manera en la tabla 28 las del sentido Y en la tabla 29 se muestra la altura de cada piso.

Tabla 28 Grillas del edificio de 15 niveles - sentido X.

| Grids del edificio de 15 niveles | |
|---|--------|
| Sentido X | |
| A | 3,50 m |
| B | 3,00 m |
| C | 3,20 m |
| D | 3,00 m |
| E | 3,50 m |
| F | 0,00 m |

Tabla 29 Grillas del edificio de 15 niveles - sentido Y.

| Grids edificio de 15 niveles | |
|-------------------------------------|--------|
| Sentido Y | |
| 1 | 3,50 m |
| 2 | 3,00 m |
| 3 | 3,20 m |
| 4 | 3,50 m |
| 5 | 3,20 m |
| 6 | 3,00 m |
| 7 | 3,50 m |
| 8 | 0,00 m |

Tabla 30 Alturas entrepisos del edificio de 15 niveles.

| Alturas del edificio de 15 niveles | |
|---|--------|
| 1 | 3,20 m |
| 2 | 2,85 m |
| 3 | 2,85 m |
| 4 | 2,85 m |
| 5 | 2,85 m |
| 6 | 2,85 m |
| 7 | 2,85 m |
| 8 | 2,85 m |
| 9 | 2,85 m |
| 10 | 2,85 m |
| 11 | 2,85 m |
| 12 | 2,85 m |

| | |
|--------------|---------|
| 13 | 2,85 m |
| 14 | 2,85 m |
| 15 | 2,85 m |
| Total | 43,10 m |

En la Figura 38 se encuentra la definición de las grips en el programa ETABS, para el sentido X y sentido Y en la Figura 39 la definición de las alturas entrepisos de la edificación.



Figura 39 Definición de Grips en ETABS.

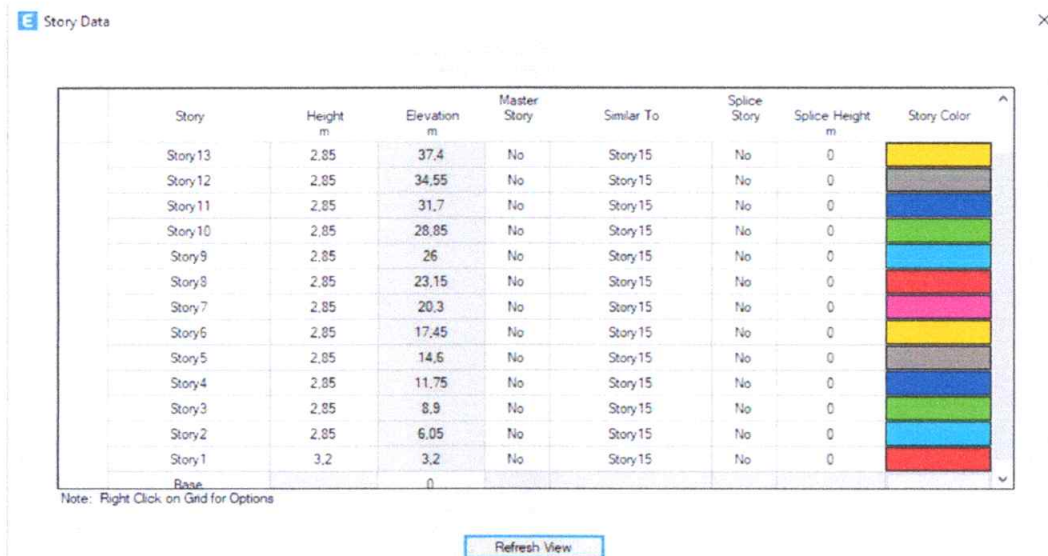


Figura 40 Definición de las alturas entrepisos en ETABS.

Materiales

Una vez realizado el paso anterior definir las grillas, se puede continuar con el siguiente paso que sería la definición de los materiales que se usaran en la modelación de la estructura, es decir el hormigón como el acero, aquí se van a definir las propiedades con las que contara estos materiales ya mencionados. En la tabla 30 se muestran las propiedades del hormigón y en la tabla 31 las del acero.

Tabla 31 Propiedades del hormigón.

| Hormigón | | |
|------------------------------------|---|-------------------------------|
| Resistencia a la compresión | Módulo de elasticidad | Peso volumétrico |
| F_c (kg/cm ²) | $15100 * \sqrt{F_c}$ (kg/cm ²) | γ (kg/m ³) |
| 240 | 233928,19 | 2400 |

Tabla 32 Propiedades del Acero.

| Acero | | |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Resistencia a la fluencia | Módulo de elasticidad | Peso volumétrico |
| F_y (kg/cm ²) | E (kg/cm ²) | γ (kg/m ³) |
| 4200 | 2000000 | 7850 |

En la Figura 40 se encuentra la definición de las propiedades del hormigón y en la Figura 41 las del acero en el programa ETABS.

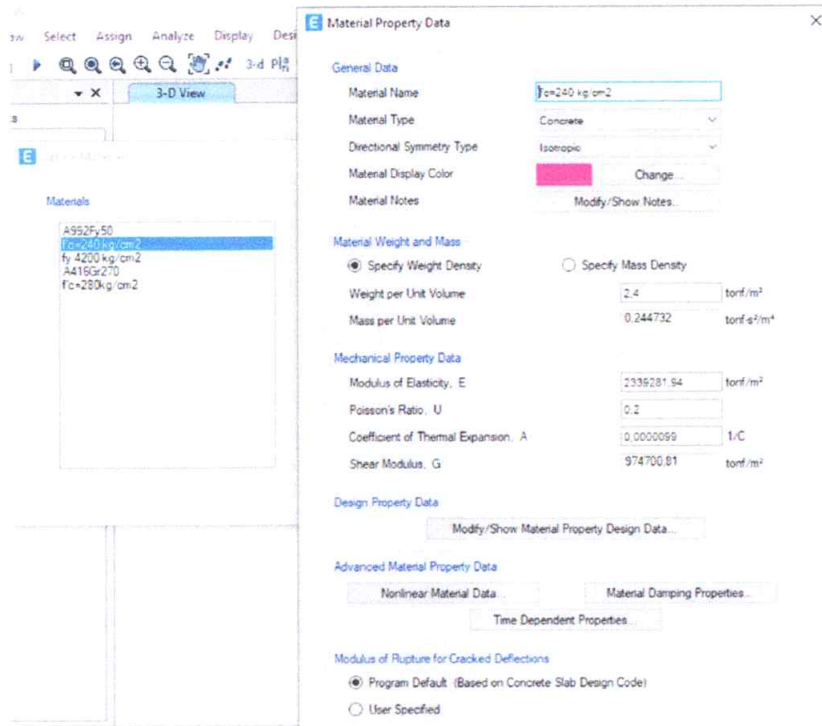


Figura 41 Propiedades del Hormigón Fuente: ETABS

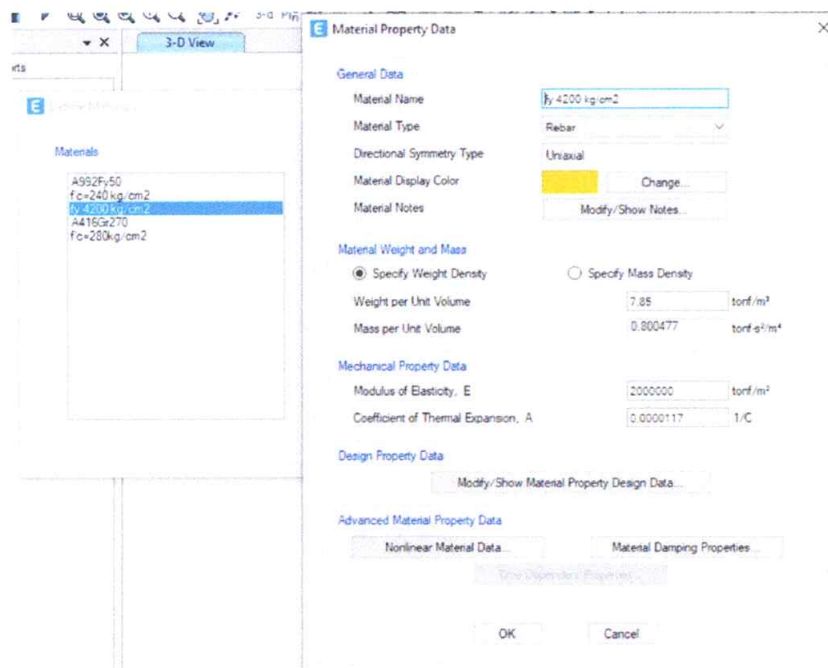


Figura 42 Propiedades del Acero. Fuente: ETABS

Secciones

La definición de las secciones se hizo de acuerdo con el predimensionado que se realizó para la estructura en donde se definían las posibles dimensiones que se deberían adoptar en los elementos, tanto las columnas, las vigas y la losa, aquí hay que tener en cuenta que se hizo uso de la inercia agrietada como lo dispone la norma ecuatoriana de la construcción en la sección 6.1.6.

Se seleccionaron estos elementos porque estos deben responder a la peligrosidad sísmica de la zona, teniendo que resistir y disipar la energía de los sismos transmitiéndola correctamente de elemento a elemento.

En la Figura 42 se presenta la definición de la sección de las columnas usadas en los pisos 1 y 2, en la Figura 43 las usadas en los pisos 3 y 4, en la Figura 44 las usadas en los pisos del 5 al 7, en la Figura 45 las usadas en los pisos 8 y 9, en la Figura 46 las usadas en los pisos del 10 al 12, en la Figura 47 las usadas en los pisos del 13 al 15.

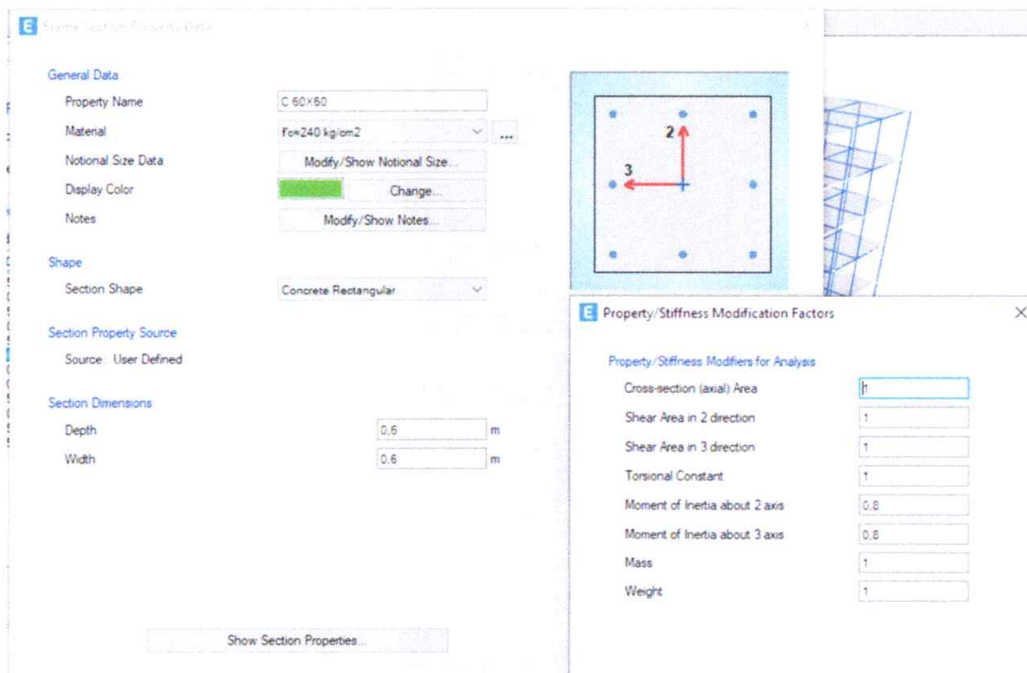


Figura 43 Secciones de columna C60x60. Fuente: ETABS

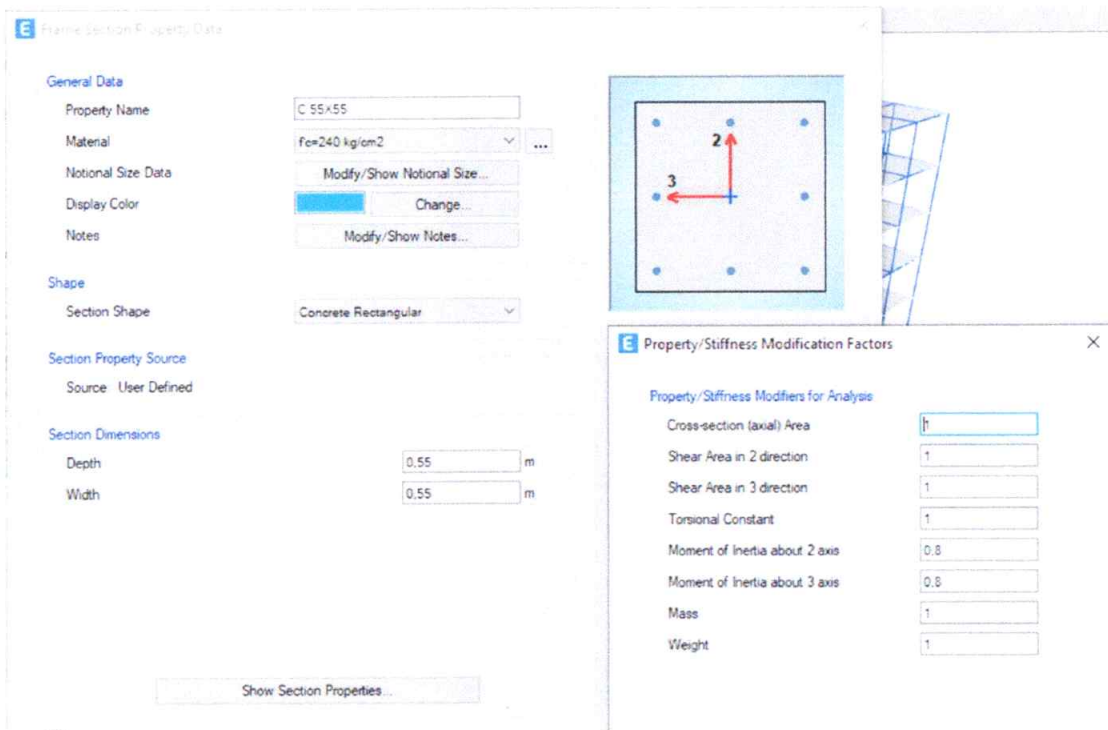


Figura 44 Secciones de columna C55x55. Fuente: ETABS

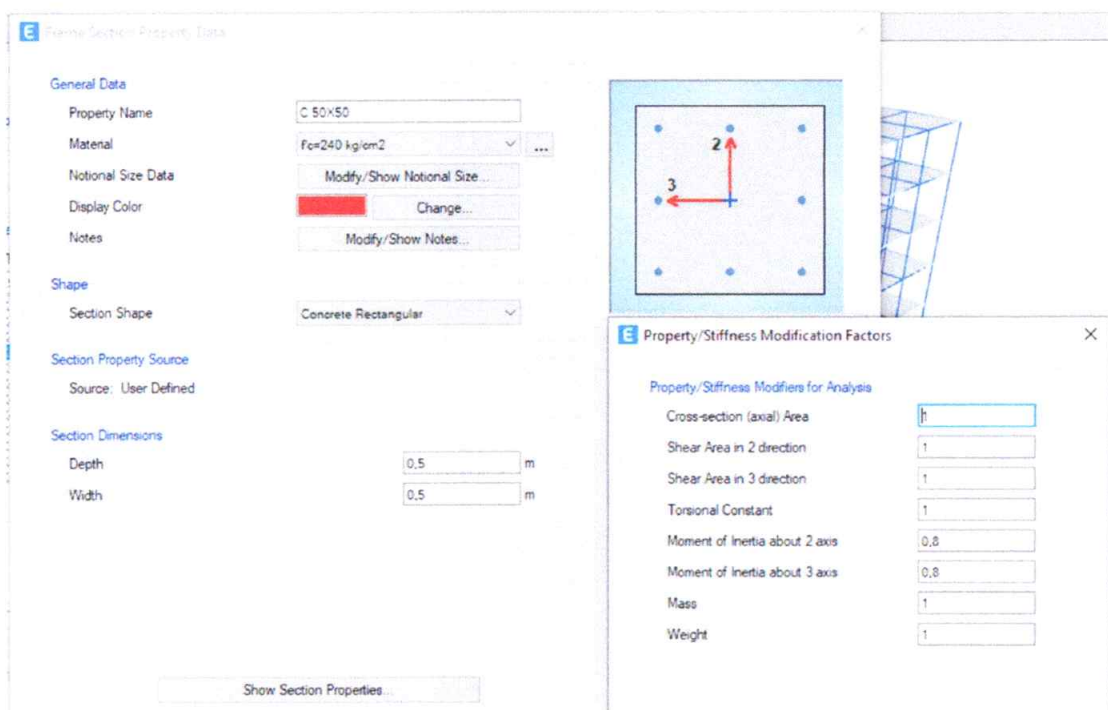


Figura 45 Secciones de columna C50x50. Fuente: ETABS

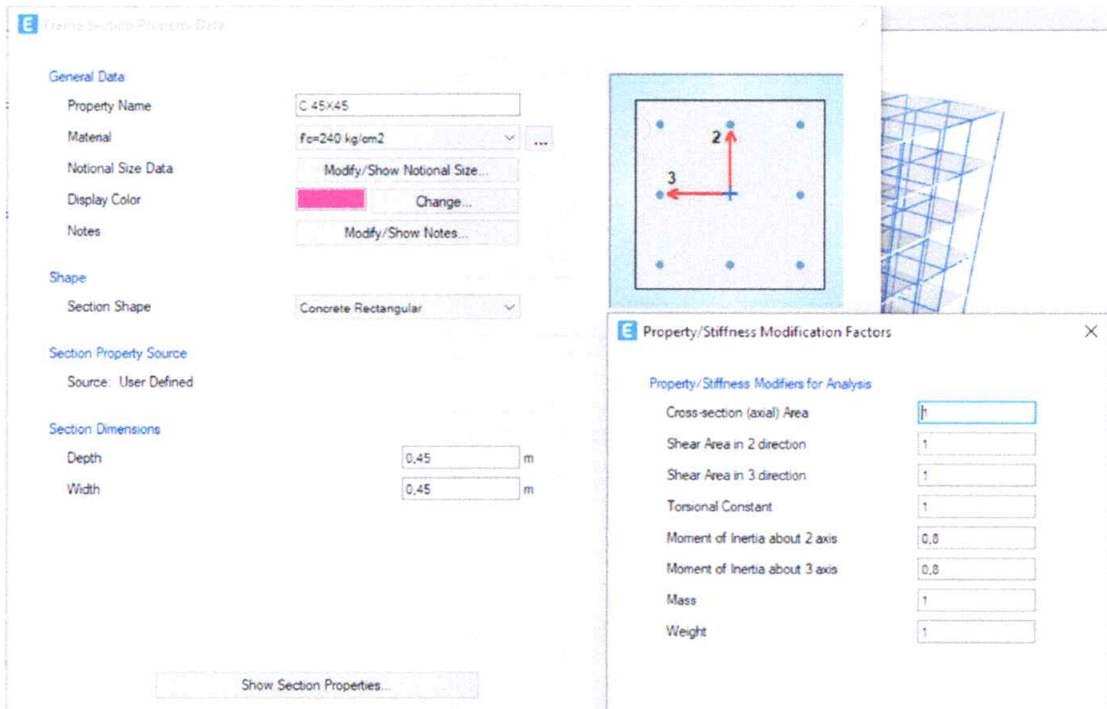


Figura 46 Secciones de columna C45x45. Fuente: ETABS

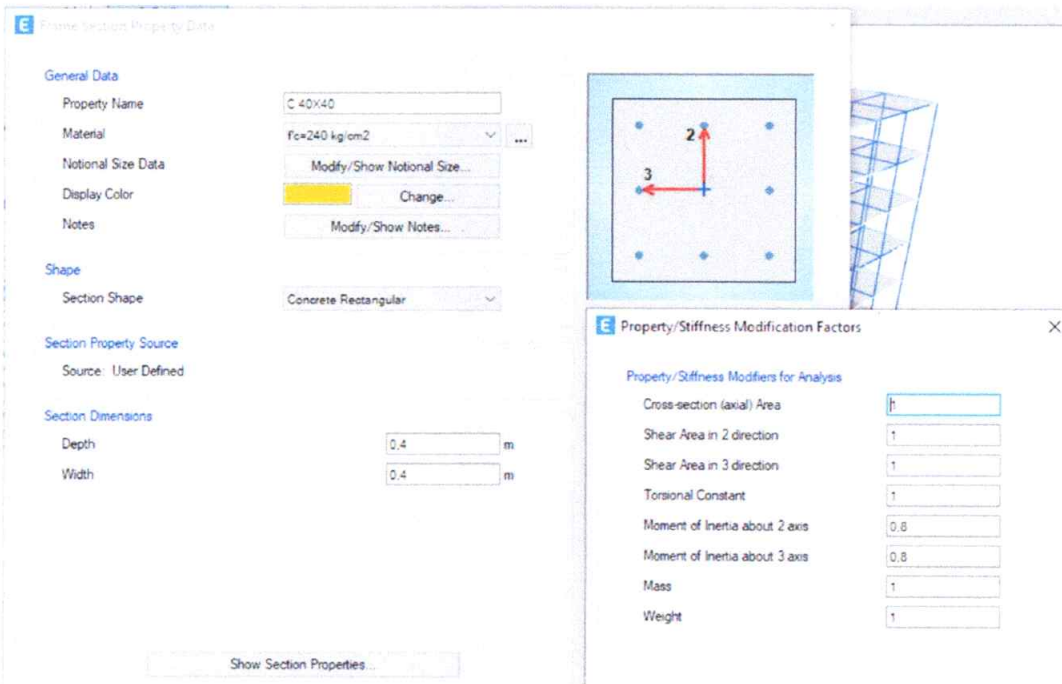


Figura 47 Secciones de columna C40x40. Fuente: ETABS

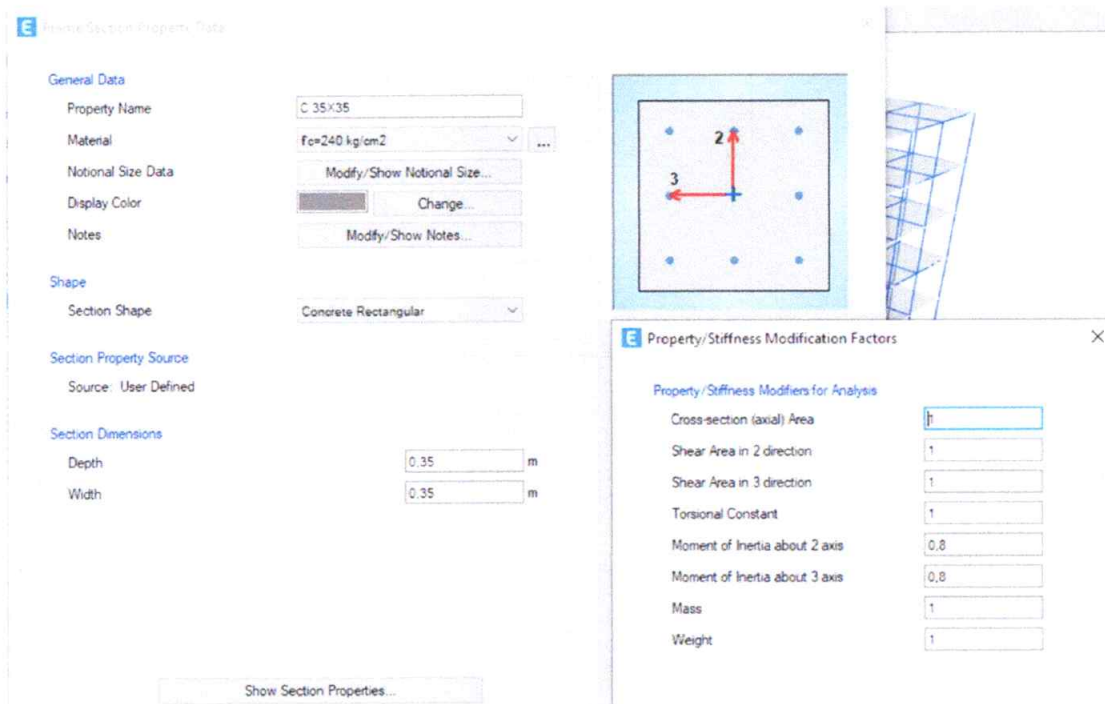


Figura 48 Secciones de columna C35x35. Fuente: ETABS

De la misma manera se presenta la definición de las vigas, en la Figura 48 usadas en los pisos del 1 al 4, en la Figura 49 usadas en los pisos del 5 al 7, en la Figura 50 usadas en los pisos del 8 al 9, en la Figura 51 usadas en los pisos del 10 al 15.

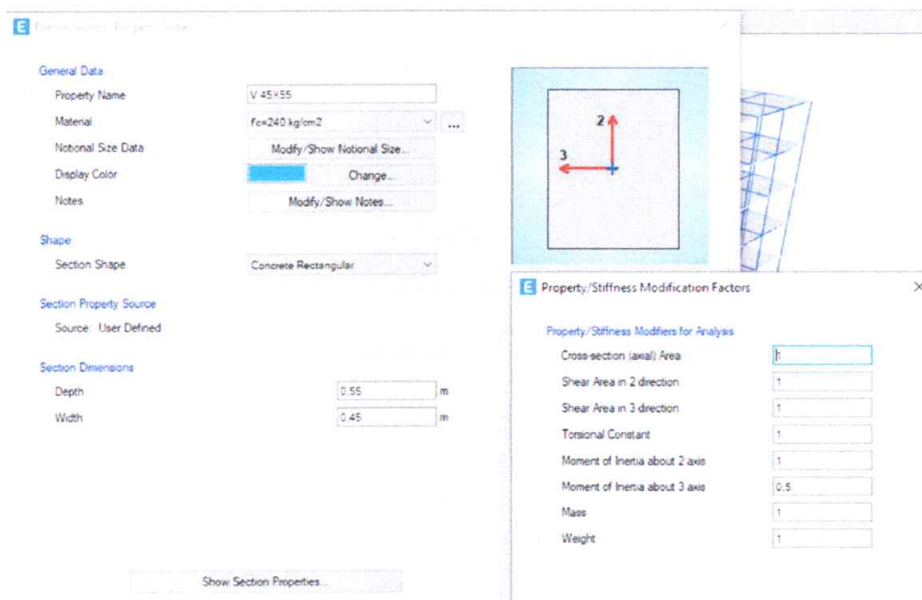


Figura 49 Secciones de vigas V45x55. Fuente: ETABS

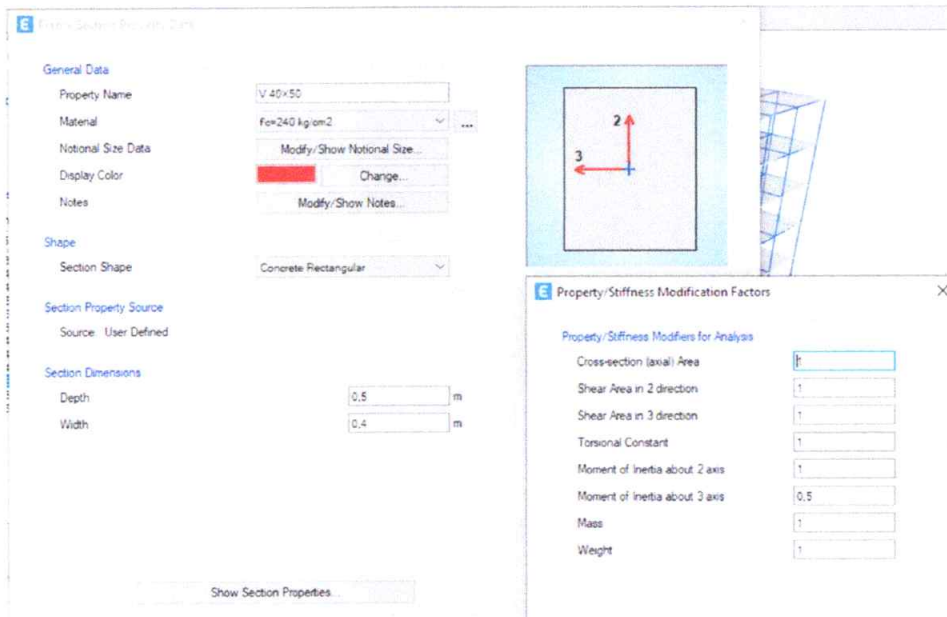


Figura 50 Secciones de vigas V40x50. Fuente: ETABS

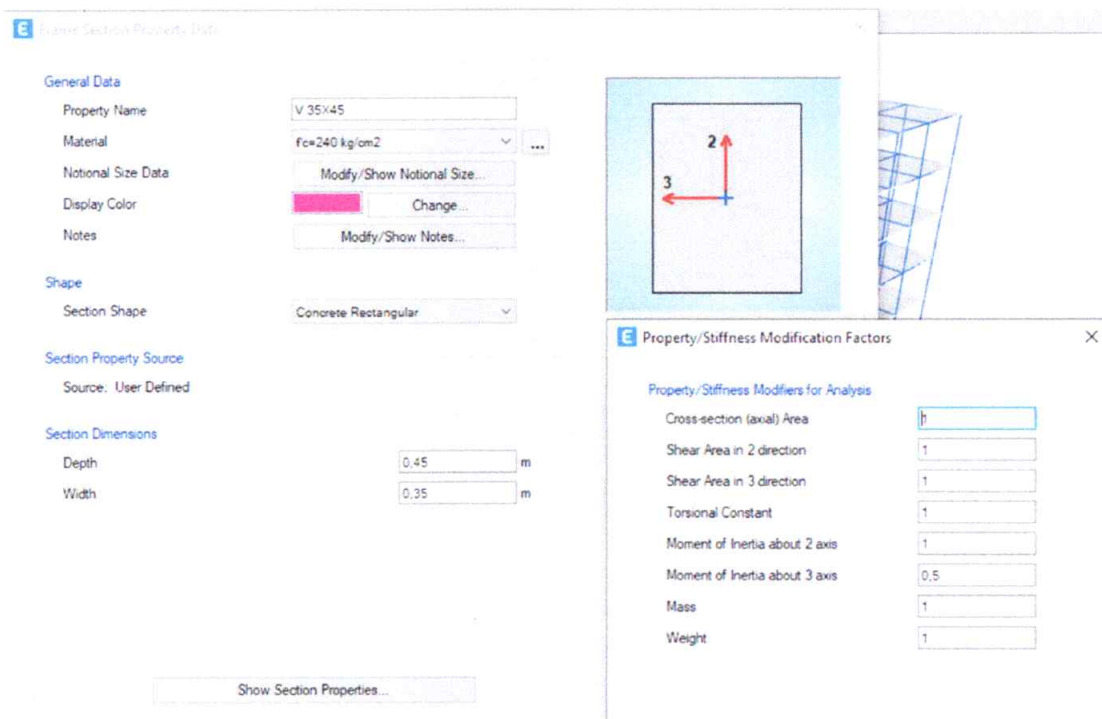


Figura 51 Secciones de vigas V35x45. Fuente: ETABS

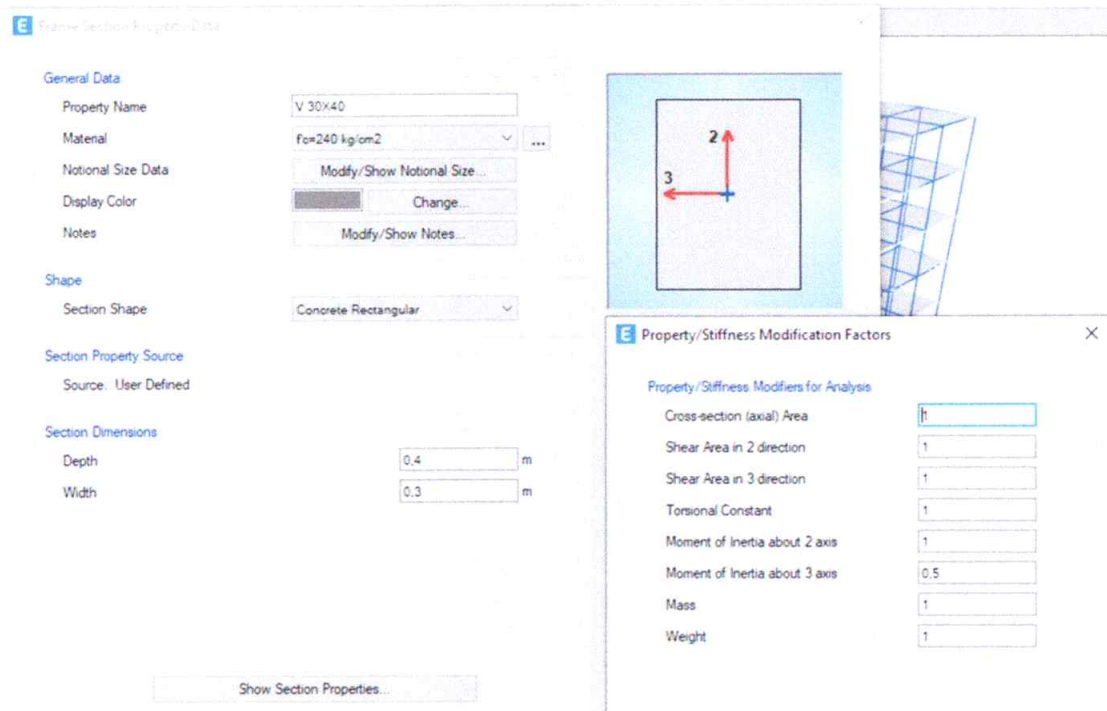


Figura 52 Secciones de vigas V30x40. Fuente: ETABS

Losa aligerada

Por parte de la losa aligerada se recuerda que poseía como características que es alivianada de 25 cm de espesor, posee nervios de 10 x 15 cm y la loseta de compresión que se estableció de 5 cm.

Como en el software se diseñará como un elemento Slab se debe trabajar con las dimensiones de una losa maciza, es decir transformar la losa nervada en una maciza equivalente como se realizó en el predimensionado, en este caso para la losa aligerada de 25 cm le corresponde un espesor de 18.06 cm. En la Figura 52 se muestra la definición de la losa aligerada.

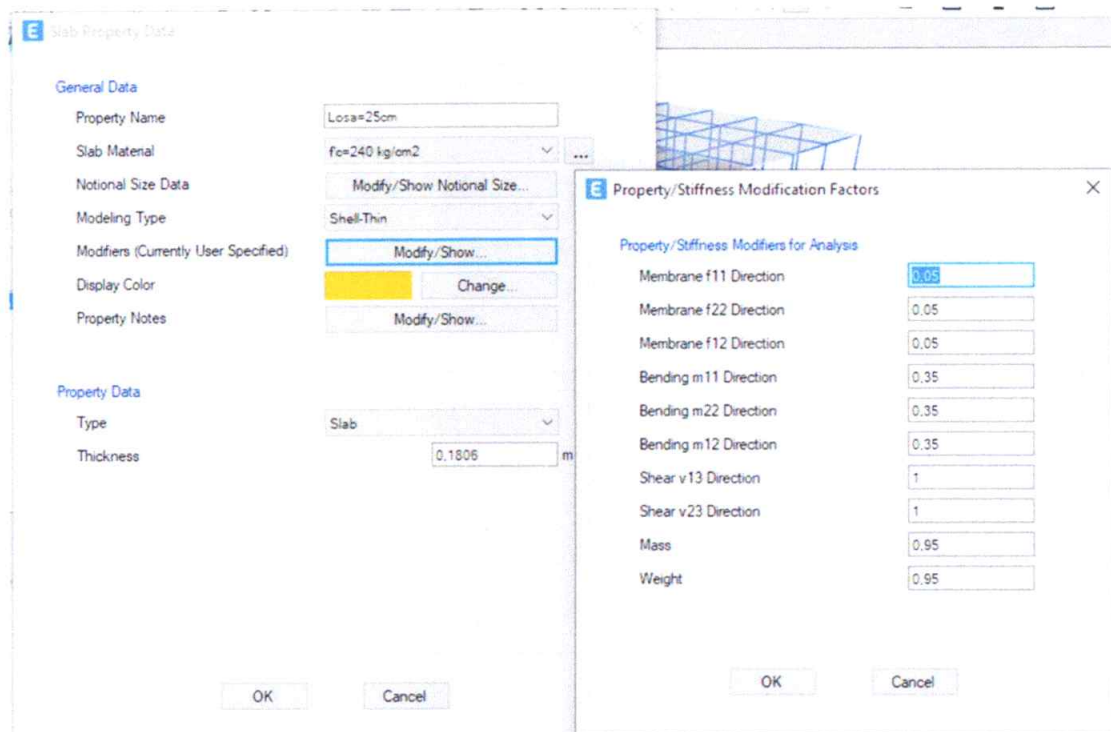


Figura 53 Losa Aligerada. Fuente: ETABS

Modelo Matemático

Luego de haber definidos las secciones de los elementos que se usaran en la estructura se puede comenzar a dibujar la estructura en la pantalla de trabajo, en donde al finalizar de distribuir los elementos estructurales como corresponde se puede visualizar la edificación en cualquier vista, como en planta y en 3D como se presentan en la tabla 13

Apoyos

Se deben definir los apoyos de la base para la estructura para poder realizar el respectivo análisis se considera el empotramiento perfecto. En la Figura se muestra la definición de los empotramientos.

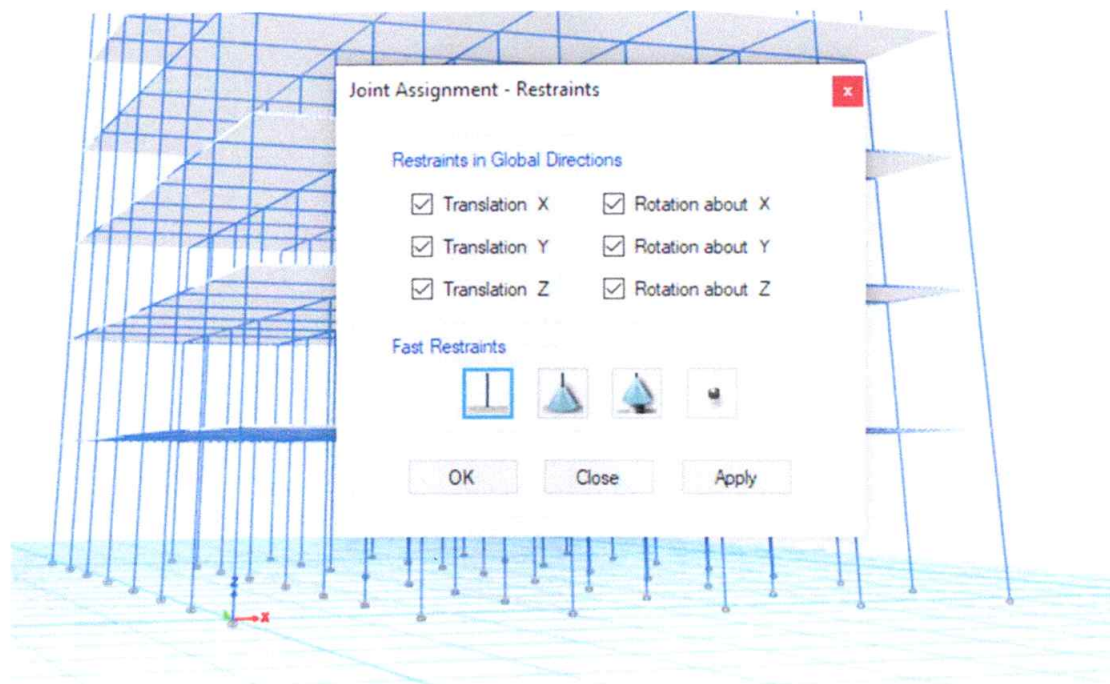


Figura 54 Definición de los empotramientos. Fuente: ETABS

Definición de las cargas estáticas

Luego de ya tener el modelado de la estructura se deben ingresar los datos que el programa usará para efectuar los análisis, es importante tener el conocimiento previo de cuáles son los datos que se deben introducir para evitar errores y que los análisis sean correctos.

Las fuerzas ingresadas en este apartado serán las que dispone la norma ecuatoriana de la construcción (NEC 2015), donde se establece fuerzas sísmicas en ambas direcciones y en este caso se van a representar como SX y SY para poder identificarlas, es importante acotar que también se debe tener en cuenta que no son las únicas fuerzas que se introducirán en los patrones de cargas, se deben incluir las cargas muertas y cargas vivas actuantes. En la Figura 54 se refleja los patrones de cargas definidos en el ETABS.

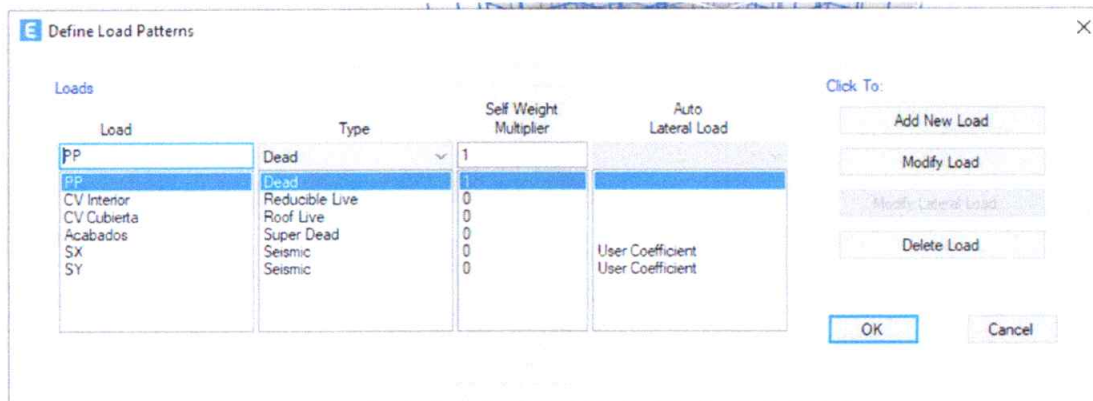


Figura 55 Patrones de Cargas. Fuente: ETABS

Definición de Estados de carga para fuerzas sísmicas

Se debe determinar el estado de carga para ambas fuerzas de sismos que fueron introducidas, lo primero es fijar la dirección del análisis, por ejemplo, para la carga SX su dirección es X por lo que son los cuadros que se dejaron marcados y los de Y se desmarcan, para cuando se esté modificando SY hacer lo contrario, otro paso importante es introducir los valores del coeficiente del cortante basal denominado C y el factor K, que sería los mismos valores para las dos cargas. En la Figura 55 se encuentra la configuración usada para SX y en la Figura 56 la de SY.

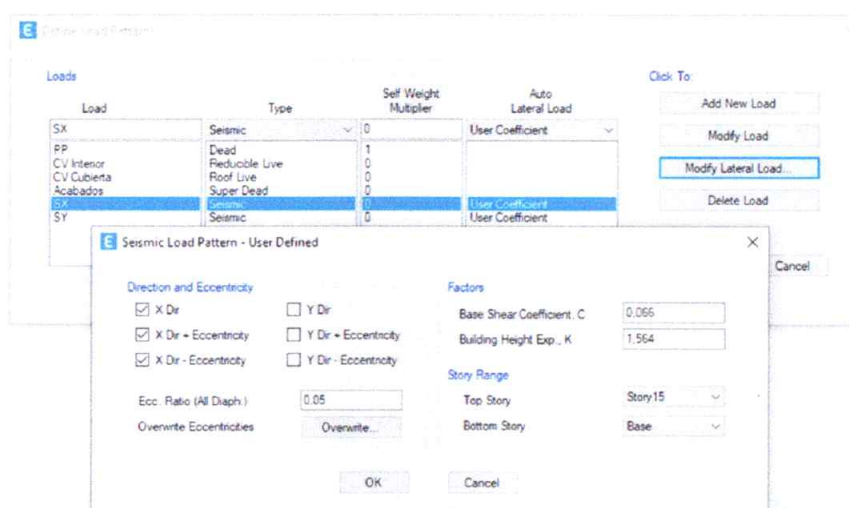


Figura 56 Coeficiente basal y factor k en SX. Fuente: ETABS

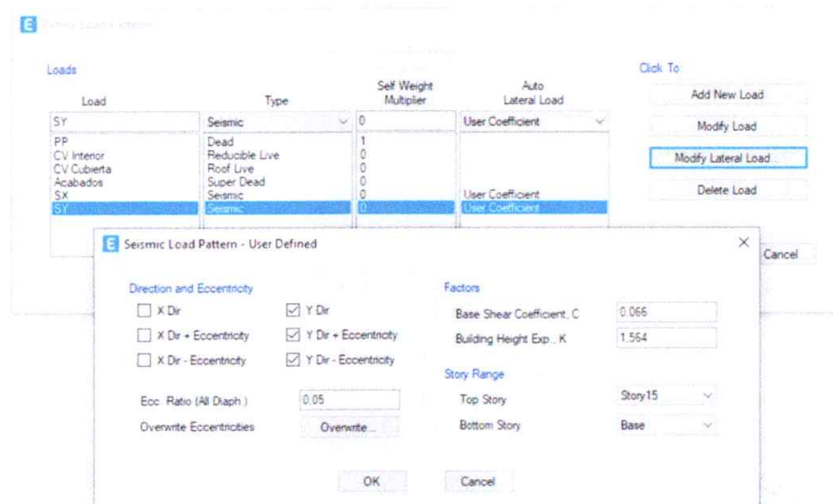


Figura 57 Coeficiente basal y factor k en SY. Fuente: ETABS

Definición de análisis Modal Espectral

La implementación de este método es para el análisis dinámico de la estructura sometido a un sismo, en donde se aplicará propiedades dinámicas como la participación de cada modo en la respuesta o la forma de vibrar, con la finalidad de obtener los resultados más cercanos al comportamiento real de la estructura.

Para este modelo se aplicará el espectro de diseño inelástico que tiene las bases de la NEC-15 se introduce en el apartado de “Response Spectrum Function Definition” y se debe subir mediante un archivo es decir exportarlo.

En la Figura 57 se encuentra la definición del espectro de diseño en el ETABS, mientras que en la Figura 58 se puede visualizar los casos de cargas creados para el análisis modal.



Figura 58 Espectro Inelástico. Fuente: ETABS

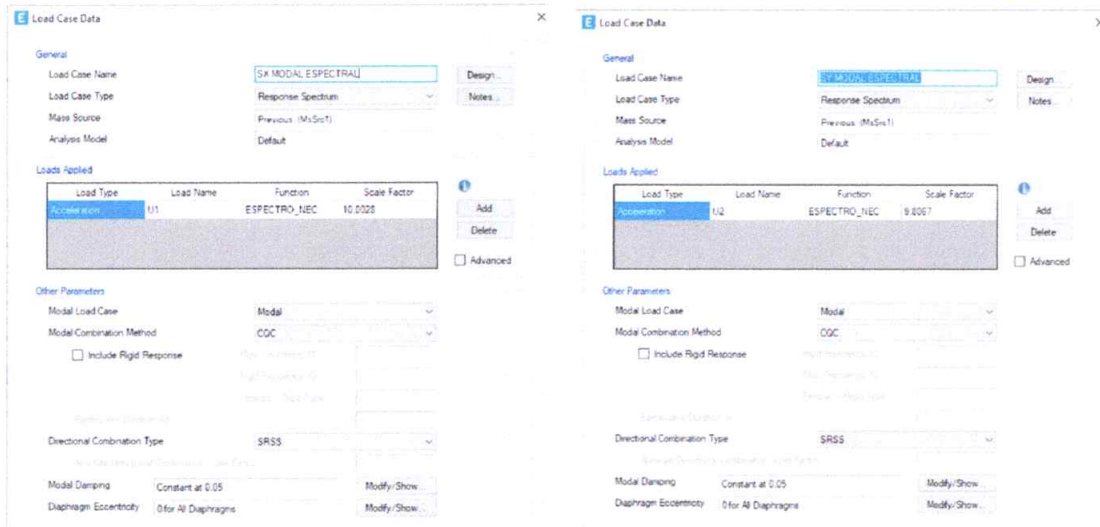


Figura 59 Casos de cargas Modal Espectral. Fuente: ETABS

Combinaciones de carga a utilizar

Según lo que está establecido en la norma NEC_SE_CG-2015 de carga no sísmicas, todos los casos de estado límite deben ser evaluados, por lo que para los modelos se tomaron en cuenta los siguientes casos que se reflejan en la Figura 59

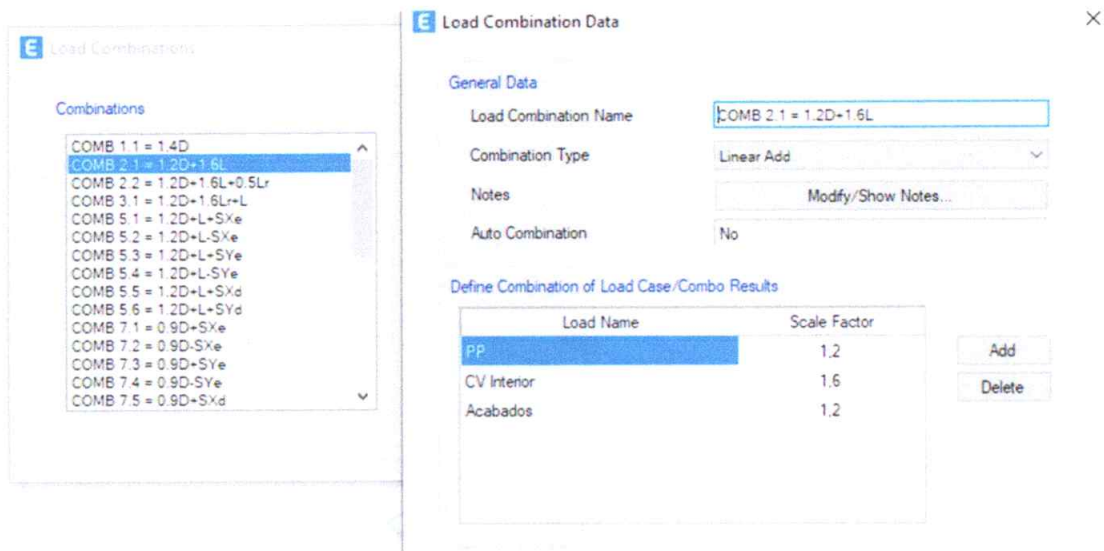


Figura 60 Combinación de Cargas. Fuente: ETABS

Asignación de cargas

Carga Muerta

Se debe asignar la carga muerta que actúa sobre la estructura, esto se realiza sobre la losa en una carga distribuida uniforme, y los valores serán de acuerdo con lo estipulado en el metrado de carga correspondiente a la carga de acabado, considerando que en el último piso va a variar en la carga de acabados. En la Figura 60 se puede visualizar la asignación de la carga muerta de sobrecarga de los primeros 14 pisos y en la Figura 61 la del piso 15 que es la cubierta inaccesible.

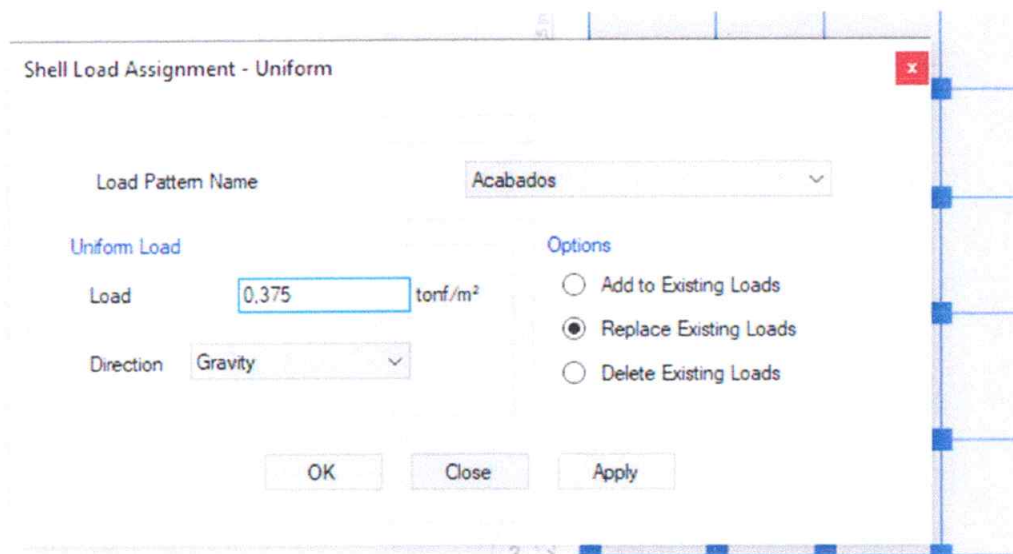


Figura 61 Carga de Acabado del Piso 1 al 14. Fuente: ETABS

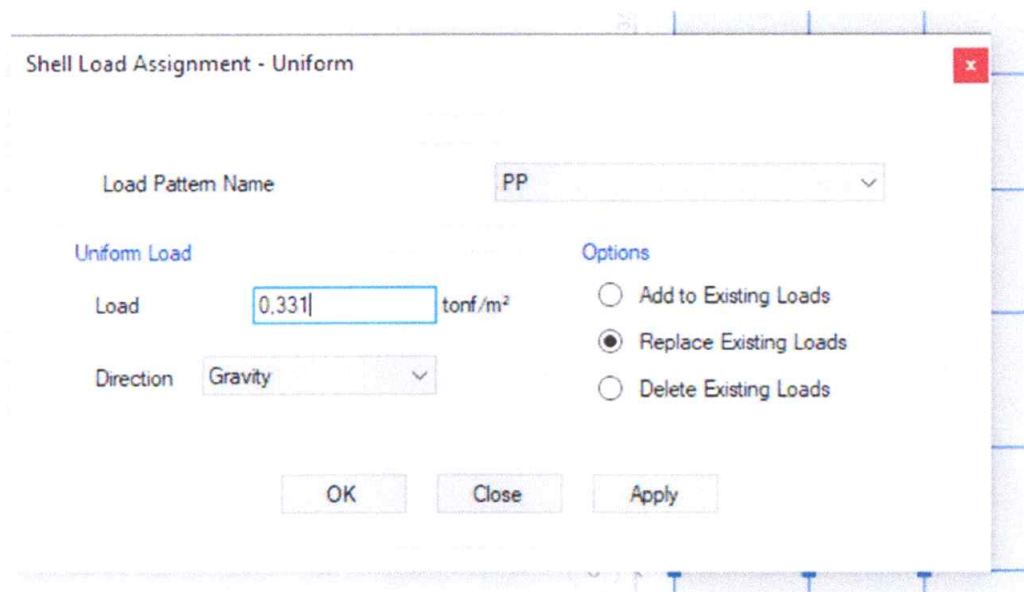


Figura 62 Carga de Acabado del Piso 15. Fuente: ETABS

Carga Viva

De igual manera que con la carga muerta se debe ingresar los valores de la carga viva, en donde los valores serán de acuerdo con el uso que se le dé a la edificación, lo cual se encuentra estipulado en la norma ecuatoriana de la construcción. En la Figura 62 se puede visualizar la

asignación de la carga viva de los primeros 14 pisos y en la Figura 63 la del piso 15 que es la cubierta inaccesible.

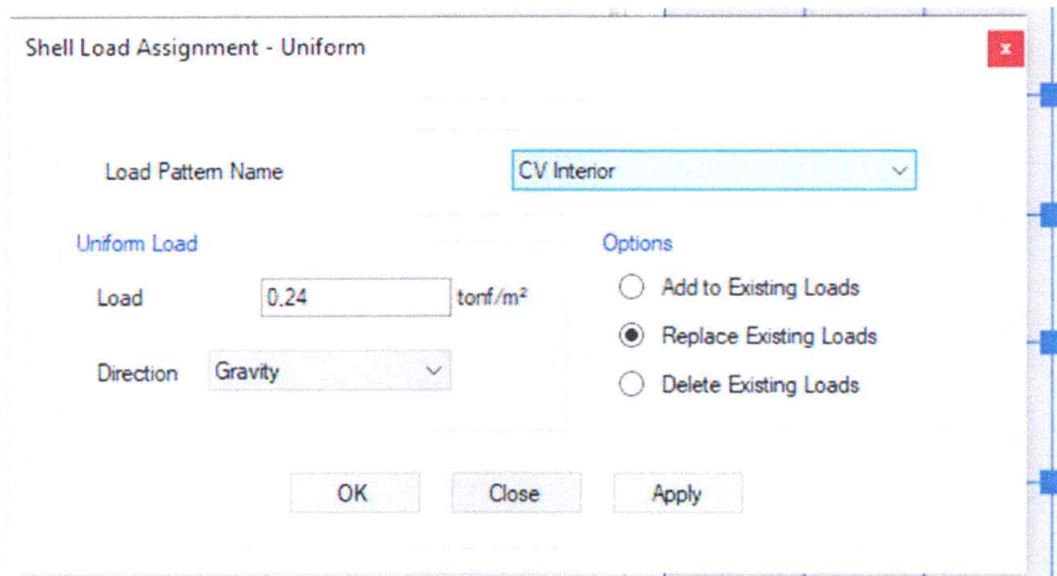


Figura 63 Carga viva del Piso 1 al 14. Fuente: ETABS

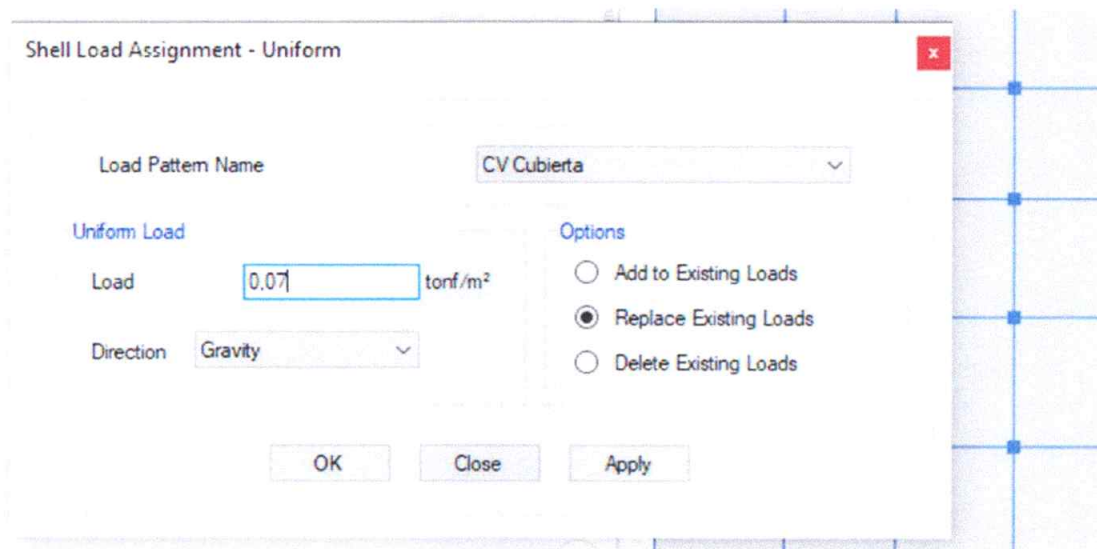


Figura 64 Carga viva del Piso 15. Fuente: ETABS

Losas rígidas y centro de masa

Se establece trabajar con losas rígidas para lo cual se debe definir diafragmas rígidos para cada piso e irlos asignando, asumiendo así la acción uniforme de las fuerzas laterales en ambos sentidos sobre la estructura. En la Figura 64 se muestra la asignación del diafragma rígido.

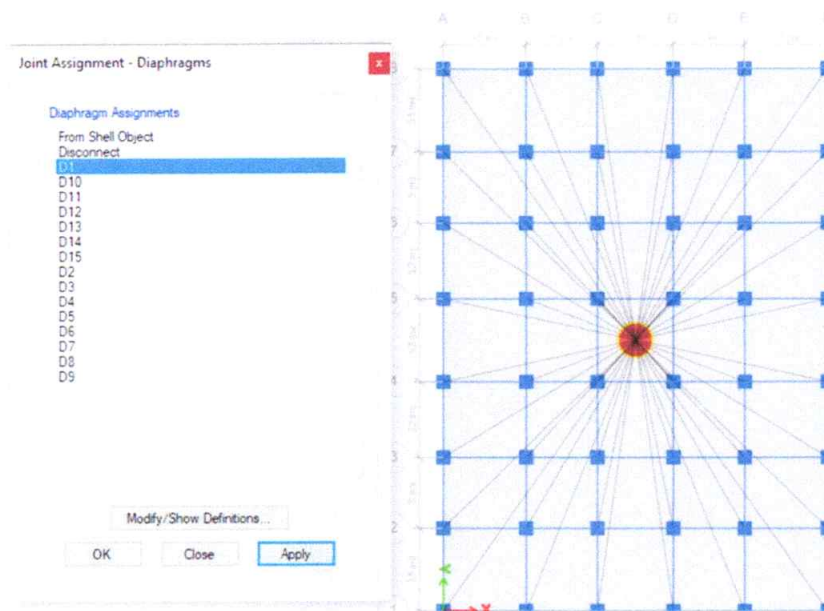


Figura 65 Diafragmas rígidos. Fuente: ETABS

Definición de nudos rígidos

Se debe definir los sectores de rigidez infinita entre los elementos estructurales que conforman la estructura, con la finalidad de que las fuerzas internas se calculen en la cara de los elementos, en consecuencia, se puede considerar la rigidez de cada nudo. Para aplicarlo en ETABS, se debe seleccionar todas las columnas y vigas, posteriormente nos dirigimos a “Frame Assignment” en “End Length Offsets” y lo aplicamos en la estructura. En la Figura 65 se muestra la definición de los nudos rígidos.

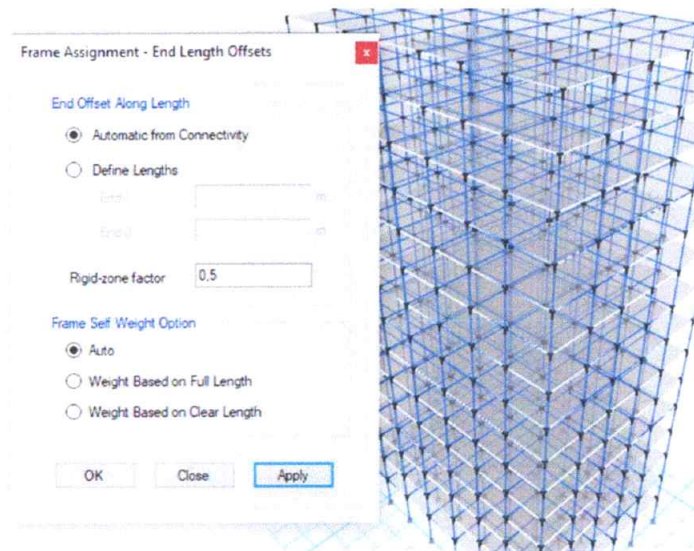


Figura 66 Definición de los nudos rígidos. Fuente: ETABS

Peso reactivo

Debido a que sea ha planteado una estructura simétrica. Tanto en la NEC 2015 como en el ASCE 7-10 se menciona que, para determinar la fuerza estática equivalente, el peso reactivo sísmico de la edificación deberá incluir la participación del 100% de la carga muerta y solo el 25% de la carga vida para edificaciones especiales. A continuación, en la Figura 66 se encuentra la definición del Peso reactivo o llamado también Mass Source.

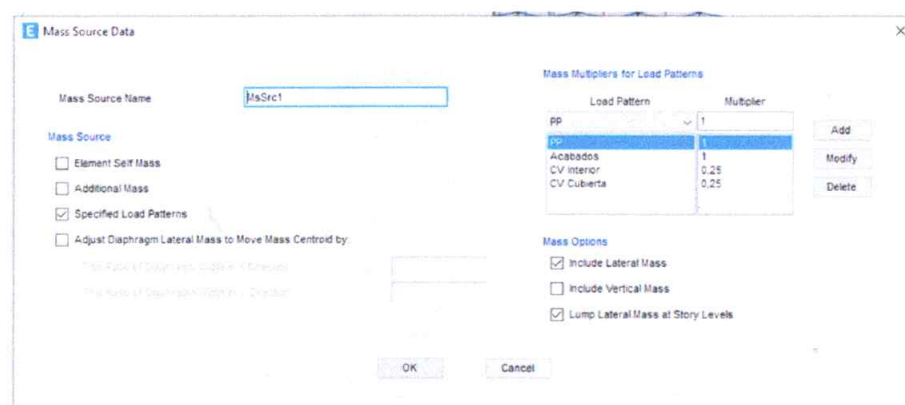


Figura 67 Definición del Peso reactivo. Fuente: ETABS