



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE  
HORMIGÓN ARMADO UTILIZANDO LA NEC-SE-DS, 2015 Y PROPUESTA DE  
ACTUALIZACIÓN NEC-SE-DS, 2024**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Nelson Emilio Calvache Rodríguez  
Oscar Matías Jaramillo Pérez

TUTOR: José Paúl Olmedo Cueva

Quito - Ecuador  
2025

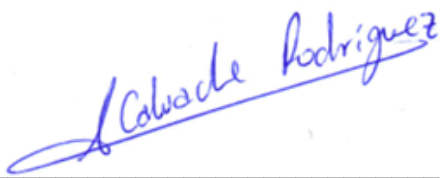
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Nelson Emilio Calvache Rodríguez con documento de identificación N° 1727004929 y Oscar Matías Jaramillo Pérez con documento de identificación N° 1750554782; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



---

Nelson Emilio Calvache Rodríguez  
1727004929



---

Oscar Matías Jaramillo Pérez  
1750554782


## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Nelson Emilio Calvache Rodríguez con documento de identificación N° 1727004929 y Oscar Matías Jaramillo Pérez con documento de identificación N° 1750554782 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de investigación: “Análisis Comparativo del Diseño Estructural de un edificio de hormigón armado utilizando la NEC-SE-DS, 2015 y propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



---

Nelson Emilio Calvache Rodríguez  
1727004929



---

Oscar Matías Jaramillo Pérez  
1750554782

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Paúl Olmedo Cueva con documento de identificación N° 1714108048, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO UTILIZANDO LA NEC-SE-DS, 2015 Y PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN NEC-SE-DS, 2024, realizado por Nelson Emilio Calvache Rodríguez con documento de identificación N° 1727004929 y Oscar Matías Jaramillo Pérez con documento de identificación N° 1750554782, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto de Investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



---

Ing. José Paúl Olmedo Cueva, MSc.  
1714108048

# ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO UTILIZANDO LA NEC-SE-DS, 2015 Y PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN NEC-SE-DS, 2024

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL DESIGN OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING USING NEC-SE-DS, 2015 AND PROPOSED NEC-SE-DS UPDATE, 2024.

Emilio Calvache-Rodríguez<sup>1</sup>, Oscar Jaramillo-Pérez<sup>2</sup>, Paúl Olmedo-Cueva<sup>3</sup>

### Resumen

El trabajo de investigación presentado a continuación tiene como objeto el análisis comparativo entre las consideraciones sísmicas de la normativa ecuatoriana vigente NEC-SE-DS, 2015 y la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, aplicado en una edificación de gran altura, dentro del capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente.

La edificación evaluada no tiene una ubicación específica ya que es analizada con diferentes tipos de suelo dentro del Distrito Metropolitano de Quito, los cuales se han optado para identificar diferentes resultados dentro del espectro de respuesta de diseño y así poder realizar un análisis entre ambas normativas considerando el aumento de la demanda de ser el caso.

Esta investigación se lleva a cabo utilizando el software estructural ETABS, es el programa donde se realizan los modelos con dimensiones preestablecidas, con diferentes características y a la vez la obtención de resultados acerca del comportamiento, y que porcentaje de variación provocan los factores de la actualización.

**Palabras clave:** NEC, Diseño Sismorresistente, Espectro de Respuesta, Periodo de Vibración, Participación Modal, Derivas de Piso.

### Abstract

The purpose of this research work is the comparative analysis between the seismic specifications of the current Ecuadorian standard NEC-SE-DS, 2015, and the proposed update NEC-SE-DS, 2024, applied to a high-rise building, within the chapter of Seismic Hazard and Seismic Resistant Design.

The evaluated building is not assigned a precise geographical location. Instead, its analysis is conducted across a range of representative soil types prevalent within the Metropolitan District of Quito. This methodology facilitates the identification and comparison of differences arising from the application of various design response spectra. The possible increased demands will be used to compare both standards and help identify changes in seismic risk.

The structural analysis for this research is performed using ETABS software. This program facilitates the creation of numerical models with predefined dimensions, incorporating diverse structural characteristics. Through these models, the aim is to obtain comprehensive results regarding structural behavior and to quantify the percentage of variation attributable to the updated design factors.

**Keywords:** NEC, Seismic Resistant Design, Response Spectrum, Vibration Period, Modal Participation, Floor Drifts.

---

<sup>1</sup> Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador.

<sup>2</sup> Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador.

<sup>3</sup> Docente de la Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador.

Autor para correspondencia: [emilio0924@outlook.es](mailto:emilio0924@outlook.es) [jaramillo10503@outlook.es](mailto:jaramillo10503@outlook.es) [jolmedoc@ups.edu.ec](mailto:jolmedoc@ups.edu.ec)

## **1. Introducción**

La ingeniería estructural cumple un papel muy importante en la construcción de todas las obras civiles, las cuales se busca garantizar la seguridad estructural y el desempeño sísmico de las edificaciones.

Todas las edificaciones, desde la más pequeña hasta las de gran envergadura conllevan un análisis exhaustivo, se idealiza cuidadosamente a partir de los requisitos del usuario para el diseño estructural con base al uso e importancia, las estructuras deben ser diseñadas para resistir diferentes cargas y fuerzas que actúan sobre las mismas, ya sean cargas internas o externas, como cargas de servicio y cargas eventuales.

Ecuador se caracteriza como un país alto riesgo sísmico, considerando que este se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona de alta actividad sísmica. En este contexto, las normativas de diseño estructural se rigen como base fundamental, estableciendo los criterios y requisitos mínimos que deben cumplir las construcciones para asegurar su estabilidad y prevenir pérdidas humanas y económicas dentro de un evento extraordinario.

En Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el eje de seguridad estructural desempeña un rol importante al establecer los requisitos mínimos del diseño y construcción de edificaciones.

El capítulo NEC-SE-DS, ha tenido una evolución rigurosa que ha estado enfocada en optimizar los parámetros de diseño estructural en busca de una mejora en el desempeño sísmico.

La propuesta de actualización de los capítulos de la NEC-SE-DS, se da a partir del riesgo que tiene Ecuador por su zona geográfica y geológica, y por el incremento de la demanda sísmica, la cual se evidenció en las lecturas sísmicas registradas en el sismo del 16 de abril de 2016.

Al comparar los capítulos de seguridad estructural de NEC-SE-DS, 2015, con la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, se identificará varias modificaciones en los espectros de respuesta de diseño sísmico, que reflejan una mejor comprensión de la amenaza sísmica en diferentes

zonas del país. Asimismo, será posible identificar que la nueva normativa incorpore avances en los métodos de análisis, permitiendo una representación precisa del comportamiento estructural bajo cargas sísmicas, incluyendo la consideración de la no linealidad de los materiales.

Con la actualización se pretende el incremento de la importancia a los estudios geotécnicos, y así tener menos incertidumbre en la seguridad estructural y en el comportamiento sismorresistente.

En este contexto, la propuesta de actualización surge como una iniciativa para incorporar los sucesos como antecedentes para mejorar el desempeño estructural y optar por criterios más rigurosos de diseño sísmico en el país, y así poder establecer una interacción suelo-estructura adecuada.

En general, se requiere la aplicación de la NEC-SE-DS, 2015 y NEC-SE-DS, 2024 para el entendimiento y comparativa de los diferentes resultados que serán obtenidos, teniendo en cuenta los procedimientos de diseño, análisis, demandas sísmicas en cada sector descrito en “Características del Suelo”, en este caso diferentes tipos de suelos que serán evaluados y a partir de ciertas consideraciones, relacionar la variación en las secciones de los elementos estructurales, considerando que este aumento va a generar el incremento de costos.

Este análisis permite determinar la incidencia en la propuesta de actualización de NEC-SE-DS, 2024, ya que es un análisis más profundo acerca de los riesgos presentes dentro de los diseños estructurales. En conclusión, este estudio busca contribuir a la mejora continua de las prácticas de diseño sismorresistente en Ecuador, promoviendo la construcción de edificaciones más seguras, eficientes y resilientes ante la amenaza sísmica.

### **1.1. Estado del Arte**

El concepto de peligrosidad sísmica según lo explica [1], estos efectos pueden ser representados mediante la aceleración, velocidad o el desplazamiento sísmico del terreno o también utilizando la intensidad macrosísmica de la zona.

Para evaluar la peligrosidad sísmica, es necesario analizar los fenómenos que ocurren desde la emisión de las ondas sísmicas.

Según se explica en [2] es el marco normativo que rige los parámetros dentro de la construcción siendo estos requisitos mínimos o máximos, La Norma Ecuatoriana de la Construcción pretende dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, persiguiendo a su vez, proteger al ciudadano y fomentar un desarrollo urbano sostenible. Definir las diferentes zonas del país con base en la amenaza sísmica, microzonificación que se define en [3], considerando su geología ya que esta información nos ayuda a determinar el tipo de construcción que deberíamos realizar respecto a sus elementos estructurales, asignando coeficientes y espectros de respuesta de diseño específicos para cada zona.

Los principios de diseño basados en el comportamiento real de las estructuras durante un sismo definidos por [4], en el cual aborda la dinámica estructural y la sismología donde se enfoca en el comportamiento y la interacción suelo-estructura y que las estructuras puedan ser diseñadas para disipar la energía siempre y cuando cumpla con los requisitos mínimo que indica [5], donde experimenten un daño controlado y así evitar el colapso total.

El comportamiento de elementos estructurales como vigas, columnas y muros con diferentes tipos de cargas, como indica en [6], donde se busca un fundamento base para el diseño, relacionado con los procedimientos establecidos por reglamentos de la construcción.

La actualización del capítulo de Seguridad Estructural NEC-SE-DS, 2024, se da a partir del terremoto del 2016 ya que incrementa su importancia, dado que en Pedernales el PGA fue de  $1.413g$  según se menciona en [7]; siendo  $g$  la aceleración de la gravedad, y tomando en cuenta que es un valor extremadamente alto en relación con lo contemplado en la aceleración máxima en roca de la zona V. del mapa de peligro sísmico de [2] NEC-SE-DS, 2015.

La microzonificación sísmica que nos indica [8], es la respuesta del suelo donde se puede considerar el comportamiento de las ondas sísmicas

dependiendo de la zona, es por ello la importancia de la actualización de la normativa para ser más rigurosos en la localización del suelo y así evitar fenómenos geotécnicos que ocurren durante un sismo y que afectan a las estructuras.

## 2. Materiales y Método

### 2.1. Recurso para el proyecto

Para el presente estudio se utilizará los siguientes recursos:

#### 2.1.1. Planos Arquitectónicos

De inicio al proyecto de investigación se obtuvo un plano arquitectónico que consta de 8 pisos, teniendo en cuenta que se tiene 3 subsuelos y la terraza accesible, el proyecto está destinado a vivienda y uso comercial en planta baja. El plano Arquitectónico ha sido considerado un edificio de gran altura ya que sobrepasa los 28 metros desde el nivel 0 de planta baja, según se explica en la Regla Técnica Metropolitana RTQ 1/2021 [9].

#### 2.1.2. Software

El software que será utilizado nos permite realizar el análisis estructural en base a un pre-dimensionamiento estructural, que permite modelar, analizar y rediseñar de ser el caso para el cumplimiento de varios requisitos según corresponda la norma, para dicha evaluación el programa nos facilita resultados numéricos con su respectivo uso e interpretación de resultados.

Para la elaboración de la presente investigación se hará uso de la licencia que dispone la Universidad Politécnica Salesiana del software ETABS, que cuenta con disponibilidad de uso.

El software ETABS es un software de ingeniería estructural especializado en el análisis y diseño de edificios.

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Ubicación del proyecto

El proyecto de investigación se encuentra en el Distrito Metropolitano de Quito, sin embargo no tiene una ubicación definida ya que se consideran tres tipos de suelo que se encuentran dentro del mismo.

### 2.2.2. Caracterización del proyecto

La siguiente tabla presenta las diferentes características del proyecto a evaluar.

Tabla 1. Características arquitectónicas

Características arquitectónicas	Unidad	Valores
Altura de entrepiso	m	3,5
Altura de cubierta	m	3,5
Altura Total	m	31,5
Número de niveles	u	9
Número de subsuelos	u	3

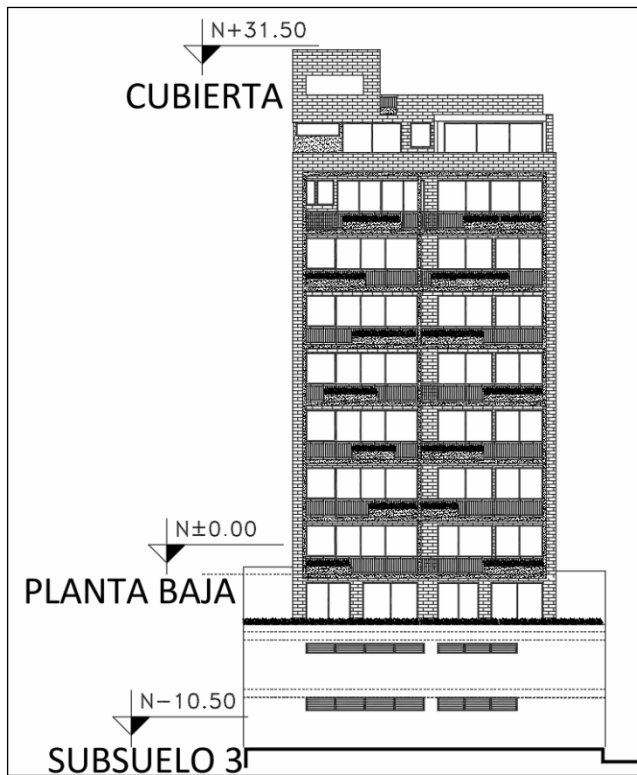


Figura 1. Fachada posterior

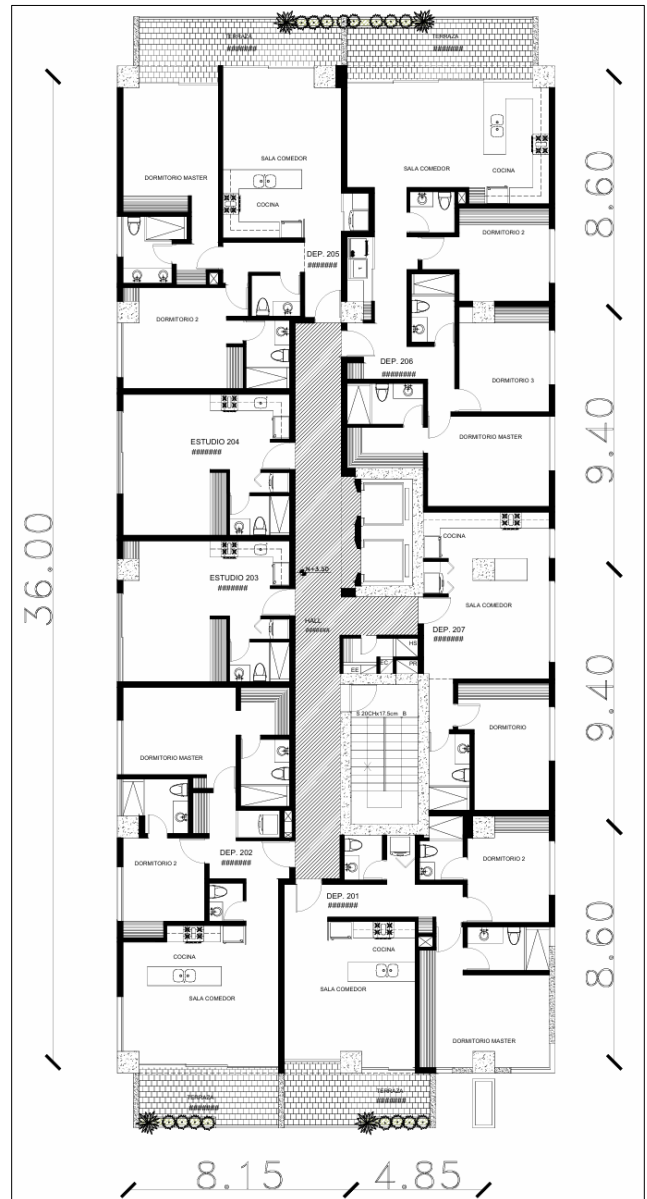


Figura 2. Vista en planta tipo departamento

### 2.2.3 Características de los materiales

El proyecto establecido se evaluará empleando hormigón armado para estructura, las características de cada material se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Características de los materiales

Material	Unidad	Valor
<b>Hormigón</b>		
Peso Específico	kN/m <sup>3</sup>	24
Resistencia a la Compresión	kg/cm <sup>2</sup>	240
Módulo de elasticidad	kg/cm <sup>2</sup>	233928
<b>Acero de Refuerzo</b>		
Peso Específico	kN/m <sup>3</sup>	78,5
Resistencia a la fluencia	kg/cm <sup>2</sup>	4200
Módulo de elasticidad	kg/cm <sup>2</sup>	210000

## 2.3. Análisis de cargas

Para el análisis de cargas de la presente investigación se consideran las cargas vivas, cargas muertas y cargas muertas adicionales, lo cual se obtendrá una carga unificada como carga última, la cual será mayorada para poder evaluar el comportamiento de la estructura.

En este caso, por la ubicación geográfica en donde se encuentra Ecuador, no se considera la carga de nieve, sin embargo, se asume la carga de granizo dependiendo el lugar de construcción.

En la fase del cálculo estructural se empleará las combinaciones de carga tanto para cargas vivas, cargas muertas y cargas sísmicas dadas por la normativa vigente NEC-SE-DS, 2015 y normativa propuesta para su actualización NEC-SE-DS, 2024.

### 2.3.1. Cargas de servicio

#### 2.3.1.1. Carga muerta

La carga muerta dentro del análisis estructural se considera como una carga permanente porque no varía su magnitud, ni lugar y tampoco su condición a lo largo de la vida útil, ya que sus elementos estructurales tienen una posición fija para cada requerimiento.

#### 2.3.1.2. Carga muerta adicional

La carga muerta adicional hace referencia a la carga permanente fuera de los elementos estructurales, como mampostería, acabados, revestimientos y para ello se considera una estimación de carga

adicional mediante una evaluación dependiendo de los materiales.

### 2.3.1.3. Carga viva

La carga viva se determina a partir del uso que se le dará a la edificación, esta carga es analizada a partir de la disposición de muebles, maquinaria, de uso público, eventos, en general la carga no permanente o móvil que actúa sobre la estructura.

### 2.3.1.4. Cargas Ocasionales

Las cargas ocasionales por lo general son cargas exteriores producidas por el medio ambiente o eventos naturales como: viento, lluvia, efectos sísmicos.

A continuación, se presenta el resumen de las cargas utilizadas en el proyecto según lo que indica [NEC-SE-CG]

Tabla 3. Cargas aplicadas a la estructura

Tipo de Carga	Carga uniforme	Valor
CV	KN/m <sup>2</sup>	0,2
CMA	KN/m <sup>2</sup>	0,54
GRANIZO	KN/m <sup>2</sup>	0,1

### 2.3.2. Cargas sísmicas

#### 2.3.2.1. Características del suelo

Conforme al objetivo de investigación no se define un solo tipo de suelo, ya que se evaluará el cambio en el espectro de diseño con ambas normativas y con la idealización del cambio de suelo, sin embargo, se tomó como referencia tres tipos de suelo que se encuentran dentro del distrito metropolitano de Quito.

Los tipos de suelos a ser evaluados serán:

- Suelo Tipo C (NAYON)
- Suelo Tipo D (ARGELIA)
- Suelo Tipo E (LA CAROLINA)

Los sectores han sido definidos según [16].

Las características de los diferentes tipos de suelo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Características del suelo - NEC-SE-DS, 2015.

Caracterización del Suelo	Valores
Zona Sísmica	V
Valor Factor Z	0,40
Caracterización del peligro sísmico	Alta
Tipo de Perfil	C
Fa	1,20
Fd	1,11
Fs	1,11
Tipo de Perfil	D
Fa	1,20
Fd	1,19
Fs	1,28
Tipo de Perfil	E
Fa	1,00
Fd	1,60
Fs	1,90

De la misma forma se debe analizar las características de suelo en base a la propuesta de actualización, identificando los cambios en la microzonificación realizando una comparativa con la normativa vigente.

En la siguiente tabla se detallan las características del suelo de la propuesta de actualización.

Tabla 5. Características del suelo - NEC-SE-DS, 2024

Caracterización del Suelo	Valores
Zona Sísmica	IV
Valor Factor Z	0,47
Caracterización del peligro sísmico	Alta
Tipo de Perfil	C
Fa	1,23
Fd	1,08
Fs	1,17
Tipo de Perfil	D
Fa	1,25
Fd	1,15
Fs	1,32
Tipo de Perfil	E
Fa	1,10
Fd	1,52
Fs	1,94

### 2.3.2.2. Cortante Basal de diseño

El cortante basal de diseño es un concepto dentro del diseño sismorresistente de edificaciones, la cual hace referencia a la fuerza horizontal estática máxima que se estima en la base de la estructura durante un evento sísmico. Esta fuerza se evalúa dependiendo del sistema constructivo.

El cortante basal total de diseño “V”, considerando la carga muerta, aplicadas a una estructura en una dirección especificada, según la NEC-SE-DS, 2015, se determinará mediante la expresión:

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} W \quad (1)$$

Para el cálculo de la expresión descrita se tomará los valores de cada aceleración espectral con sus respectivos periodos según el tipo de suelo, a continuación se presenta los valores obtenidos:

Tabla 6. Factores para cálculo de cortante basa NEC-SE-DS,2015

Características del Suelo	Valores
I	1
R	8
Sa (T)	C: 0,920g D: 1,190g E: 0,992g
Z	0,4
$\phi_p$	1
$\phi_E$	1

El cortante basal total de diseño “V”, según la NEC-SE-DS, 2024, se determinará mediante la expresión:

$$V = \frac{I_e S_{aT}}{R} W \quad (2)$$

De igual manera se realizará el cálculo con sus respectivas características, en las siguientes tablas se describen los resultados.

Tabla 7. Factores para cálculo de cortante basa NEC-SE-DS,2024

Características del Suelo	Valores
I	1
R	8
Sa (T)	C: 0,988g
	D: 1,187g
	E: 1,241g
Z	0,47

Tabla 8. Comparativa cortante basal

Tipo de suelo	NEC-SE-DS, 2015	NEC-SE-DS, 2024
C	0,128	0,137
D	0,158	0,165
E	0,138	0,172

### 2.3.2.3. Espectros de respuesta

El espectro de respuesta es una representación gráfica de la aceleración máxima espectral respecto a un periodo de vibración que experimenta cada estructura ante un sismo. En las siguientes tablas se describen los datos para el desarrollo de los espectros:

Tabla 9. Suelo Tipo C NEC-SE-DS, 2015

Coefficientes	Valores
$\eta$ (Sierra)	2,48
Sa (T)	0,920
T	0,731
To	0,103
Tc	0,565

Tabla 10. Suelo Tipo D NEC-SE-DS, 2015

Coefficientes	Valores
$\eta$ (Sierra)	2,48
Sa (T)	1,137
T	0,731
To	0,127
Tc	0,698

Tabla 11. Suelo Tipo E NEC-SE-DS, 2015

Coefficientes	Valores
$\eta$ (Sierra)	2,48
Sa (T)	0,992
T	0,731
To	0,304
Tc	1,672

Tabla 12. Suelo Tipo C NEC-SE-DS, 2024

Coefficientes	Valores
$\eta$ (Sierra)	2,40
Sa (T)	0,988
T	0,649
To	0,103
Tc	0,462
TL	2,592

Tabla 13. Suelo Tipo D NEC-SE-DS, 2024

Coefficientes	Valores
$\eta$ (Sierra)	2,40
Sa (T)	1,284
T	0,649
To	0,121
Tc	0,546
TL	2,760

Tabla 14. Suelo Tipo E NEC-SE-DS, 2024

Coefficientes	Valores
$\eta$ (Sierra)	2,40
Sa (T)	1,241
T	0,649
To	0,268
Tc	1,206
TL	3,648

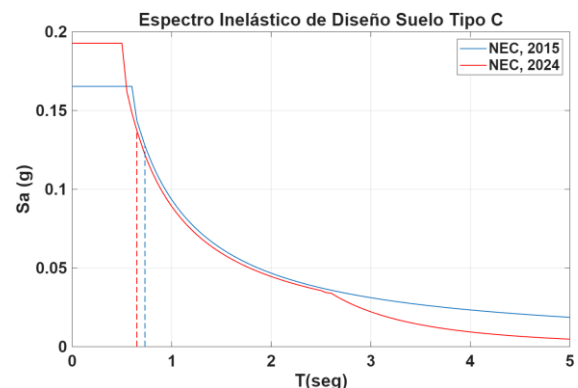


Figura 3. Espectros elásticos de diseño C

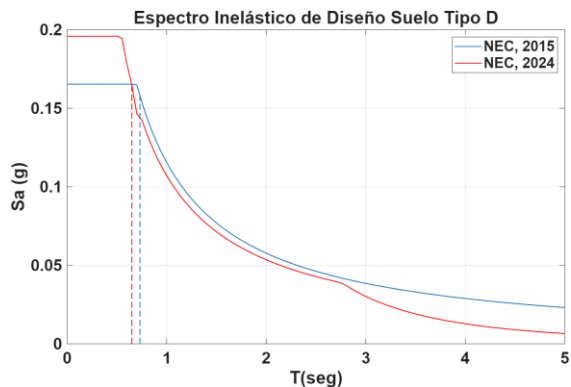


Figura 4. Espectros elásticos de diseño D

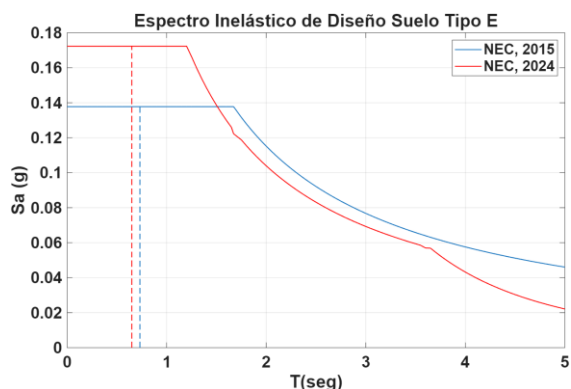


Figura 5. Espectros elásticos de diseño E

### 2.3.3. Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga se refieren a la unión de los diferentes tipos de cargas teniendo en consideración la seguridad de la estructura y así un comportamiento adecuado ante condiciones requeridas mediante su vida útil. Estas cargas tienen un factor de mayoración el cual busca garantizar su estabilidad por una posible sobrecarga.

Las combinaciones de carga utilizadas para este proyecto han sido tomadas de la NEC-SE-DS, 2015, sección 3.4.3. Combinaciones para el diseño por última resistencia que se muestran a continuación:

Tabla 15. Combinaciones de carga

Combinación	Fórmula	
1	1,4D	(3)
2	1,2D + 1,6L + 0,5max[Lr; S; R]	(4)
3	1,2D + 1,6max[Lr; S; R] + max[L; 0,5R]	(5)
4	1,2D + 1,0W + L + 0,5max[Lr; S; R]	(6)
5	1,2D + 1,0E + L + 0,2S	(7)
6	0,9D + 1,0W	(8)
7	0,9D + 1,0E	(9)

**D:** Carga permanente

**E:** Carga de sismo

**L:** Sobrecarga (carga viva)

**Lr:** Sobrecarga cubierta (carga viva)

**S:** Carga de granizo (Para nuestro medio se considera granizo)

**W:** Carga de viento

### 2.3.4. Modelado y Análisis estructural

El modelado computacional del proyecto de investigación se realizó a partir de un prediseño de los elementos estructurales el cual se explica en [11] y [13], para tener una base de datos y así poder generar un modelo inicial el cual nos permita identificar varios aspectos para garantizar la seguridad estructural. Los modelos se ejecutaron mediante los parámetros mínimos de las normativas en el capítulo de Seguridad Estructural.

Para la obtención de los resultados requeridos se analizaron los principios básicos de diseño estructural como: la flexión, flexo-compresión, torsión [14] y [15]. Obteniendo una evaluación de cada elemento estructural que nos ha servido para optimizar las secciones y así modificar y dar cumplimiento frente a las solicitaciones de carga y sismo.

Para dar cumplimiento a los parámetros mínimos del periodo fundamental de vibración, se optó por la implementación de muros de corte para aumentar la rigidez de la estructura, considerando que las secciones de las columnas no fueron suficientes para el cumplimiento de ambas normativas, sin embargo, para el modelo NEC-SE-DS, 2024 se incrementó las dimensiones de columnas y muros para cumplir con la rigidez adecuada.

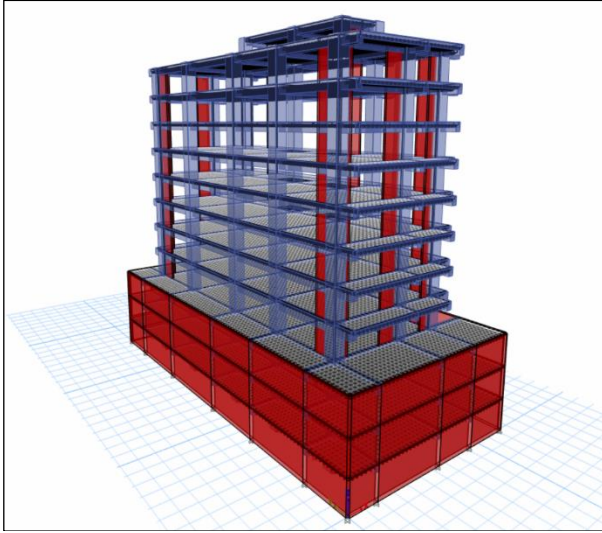


Figura 6. Modelo base ETABS

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Sistema Dual

##### 3.1.1. Análisis estructural

En la evaluación estructural se analizó los elementos considerando el diseño basado en fuerzas, siguiendo los lineamientos que indican [2] y [3], de tal forma que los modelos cumplen con los requisitos sismorresistentes.

Periodo de vibración teórico

##### 3.1.2. Parámetro de Rigidez según el Periodo de la Estructura (método 1)

Como se ha dispuesto en [2] el periodo de vibración teórico se calculó mediante la siguiente ecuación, y el aumento del 30% como límite máximo para el posterior cálculo del método 2 se muestran en las siguientes tablas:

$$T = Ct * h_n^\alpha \quad (10)$$

Tabla 16. Periodo teórico NEC-SE-DS,2015

T	T*1,3
0,731	0,9503

De la misma forma en [3] establece una ecuación similar que tiene una variación en sus coeficientes.

$$T = Ct * h_n^x \quad (11)$$

Tabla 17. Periodo teórico NEC-SE-DS,2024

T	T*1,3
0,649	0,844

##### 3.1.3. Periodo de vibración de la estructura (método 2)

El método hace referencia al periodo de vibración de la estructura determinado por el software ETABS, los mismos que se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Periodo fundamental de vibración

Modelo	T(s)
NEC-SE-DS, 2015	0,900
NEC-SE-DS, 2024	0,837

Los valores obtenidos para ambas normativas por el programa están en el rango del periodo teórico según el método 1 y el aumento del 30% del mismo, esto quiere decir que los periodos están por debajo del máximo permitido.

##### 3.1.4. Reacciones en la base

Como se indica en [2], el valor del cortante dinámico total en la base, obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser menor al 85% del cortante basal del método estático, la información se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 19. Comparativa cortante basal para modelo base

	FX	FY
Sx	1050128,40	-
Sy	-	1050128,40
Dx	1098786,2	-
Dy	-	956963,25
%	95,57%	91,13%

Se identifica que para la normativa vigente y la propuesta de actualización cumple con más del 85%.

### 3.1.5. Participación modal

Las recomendaciones dadas en [2], expresa que se deben tomar en cuenta los tres primeros modos de vibración, siendo los dos primeros modos traslacionales y el tercer modo torsional, se considera también que debe tener al menos el 90% de la participación de masa en los modos de vibración, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 20. Participación modal

Modo	T(s)	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	Sum U <sub>x</sub>	Sum U <sub>y</sub>
NEC-SE-DS, 2015						
1	0,9	2,84E-05	0,4906	0,0016	0	0,4906
2	0,76	0,507	1,13E-05	0,0017	0,5071	0,4906
3	0,6	0,0025	0,0009	0,4133	0,5095	0,4915
27	0,03	2,69E-06	0,0023	0,0002	0,9676	0,9642
NEC-SE-DS, 2024						
1	0,84	0,0001	0,4892	0,0008	0,0001	0,4892
2	0,72	0,5145	3,51E-05	0,0016	0,5146	0,4892
3	0,56	0,0024	0,0004	0,4239	0,5169	0,4895
27	0,02	0,0112	2,38E-06	3,43E-05	0,9916	0,966

### 3.1.6. Derivas de piso

Dentro de la obtención de los parámetros correspondientes a derivas inelásticas de piso se analizaron los estados de carga tanto estáticos como dinámicos en los sentidos x-y generadas por la carga horizontal, los resultados de los modelos aplicando ambas normativas se muestran a continuación, siendo del 2% la deriva máxima según [2] y del 1.5% para [3].

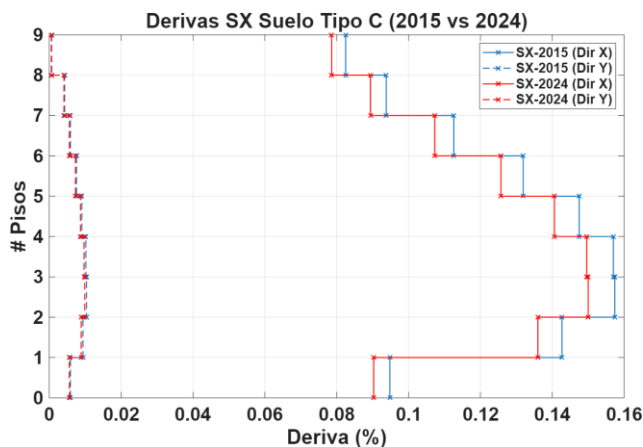


Figura 7. Derivas estado estático "X" (Tipo C)

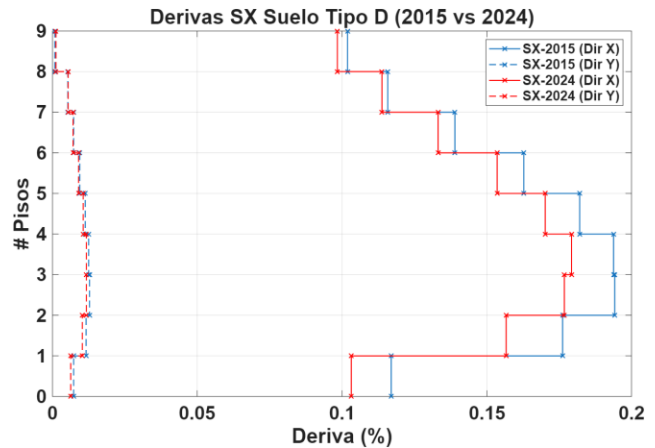


Figura 8. Derivas estado estático "X" (Tipo D)

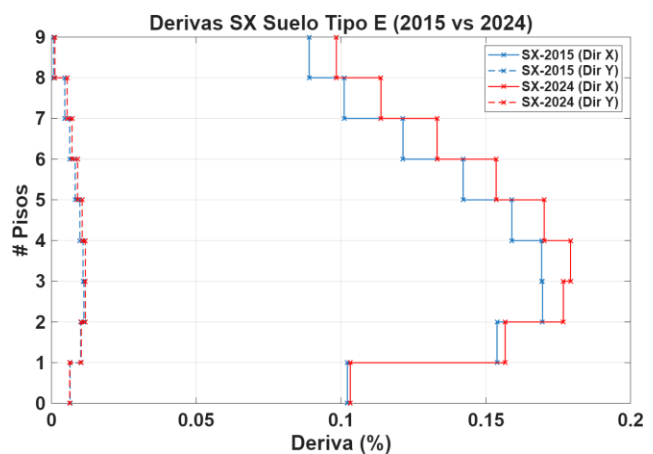


Figura 9. Derivas estado estático "X" (Tipo E)

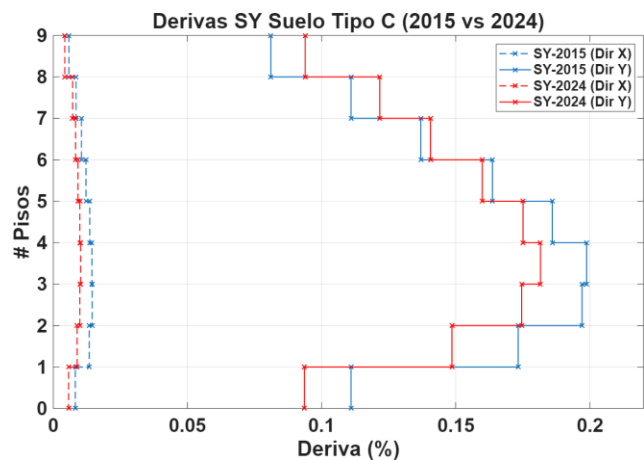


Figura 10. Derivas estado estático "Y" (Tipo C)

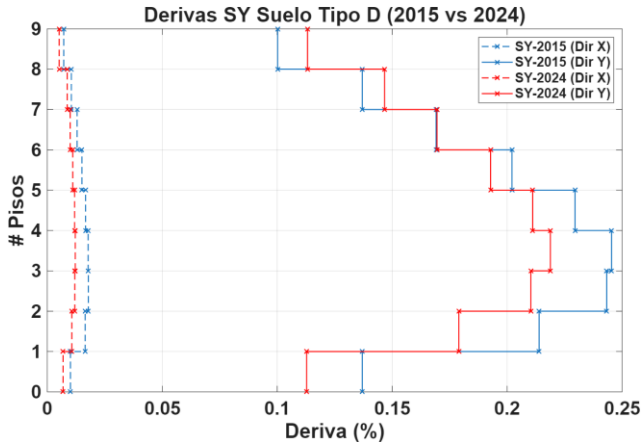


Figura 11. Derivas estado estático “Y” (Tipo D)

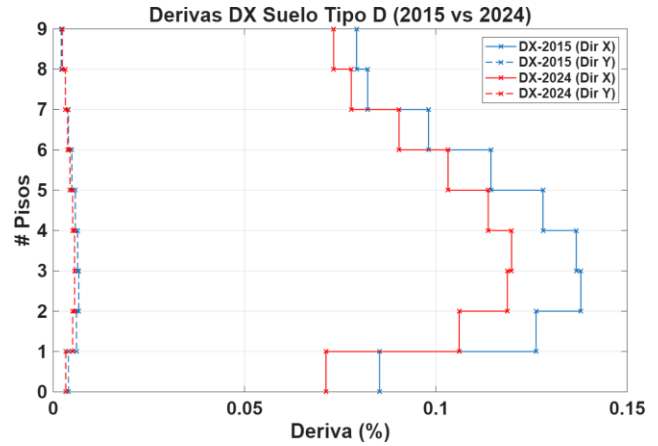


Figura 14. Derivas estado dinámico “X” (Tipo D)

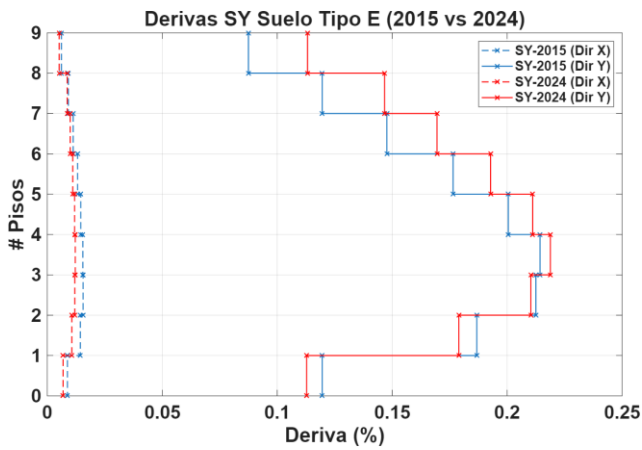


Figura 12. Derivas estado estático “Y” (Tipo E)

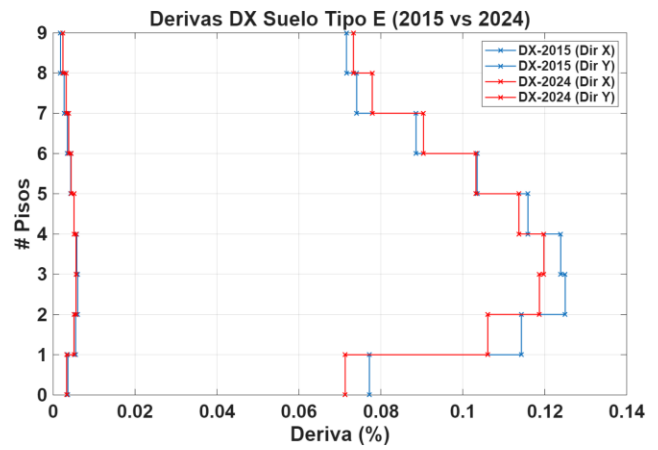


Figura 15. Derivas estado dinámico “X” (Tipo E)

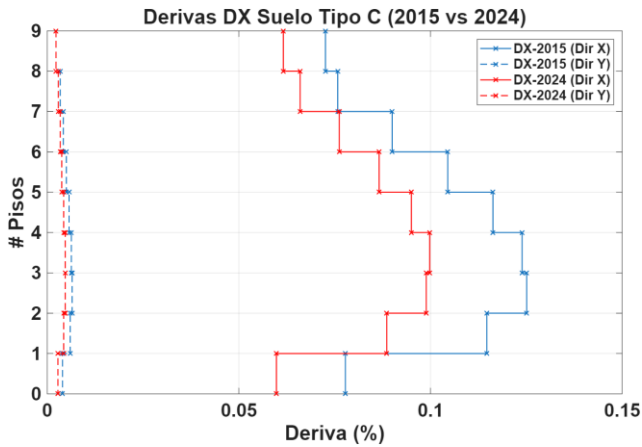


Figura 13. Derivas estado dinámico “X” (Tipo C)

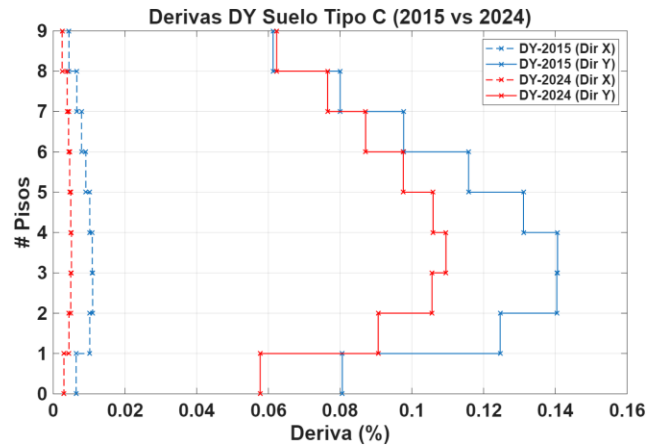


Figura 16. Derivas estado dinámico “Y” (Tipo C)

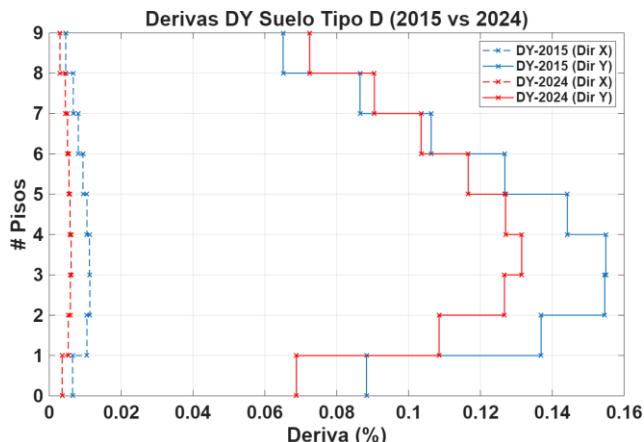


Figura 17. Derivas estado dinámico “Y” (Tipo D)

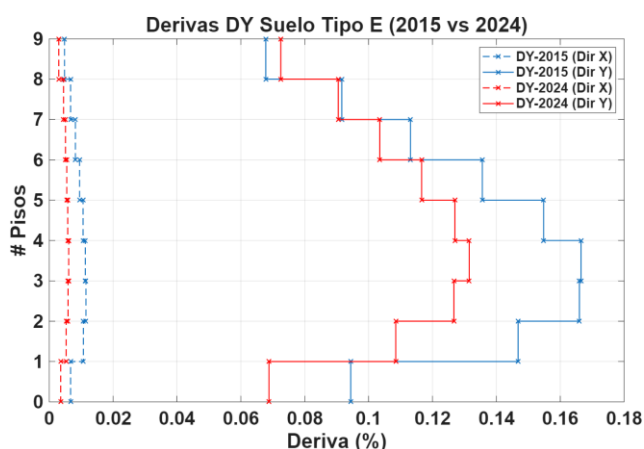


Figura 18. Derivas estado dinámico “Y” (Tipo E)

### 3.1.7. Chequeo de torsión en planta

El análisis torsional se refiere al comportamiento de la estructura ante un evento sísmico, al reaccionar con las fuerzas sísmicas, y así considerando que provoca una rotación alrededor de su eje vertical.

El chequeo torsional se evalúa en el centro de masa ya que es el punto donde se genera el momento torsional alrededor del centro de rigidez lateral de piso. Estos conceptos hacen referencia al punto donde se concentra la masa total del piso y la resistencia a deformaciones horizontales.

La relación de torsión evaluada a través de la derivación máxima de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado (Ratio), no debe sobrepasar un rango permisible, los siguientes datos se presentan en la tabla 21:

Tabla 21. Relación torsional (Ratio)

N piso	Sx	Sy	Dx	Dy
Piso9	1,01	1,02	1,02	1,01
Piso8	1,11	1,02	1,04	1,02
Piso7	1,14	1,02	1,06	1,02
Piso 6	1,17	1,02	1,08	1,02
Piso 5	1,19	1,02	1,1	1,02
Piso 4	1,2	1,02	1,11	1,02
Piso 3	1,21	1,02	1,12	1,02
Piso 2	1,21	1,03	1,12	1,02
Piso 1	1,17	1,03	1,1	1,02

### 3.1.8. Secciones y Cuantías de acero

Las secciones determinadas para cada modelo han sido establecidas mediante un prediseño estructural, las cuales han sido comprobadas mediante el análisis del software, las columnas están trabajando cerca del 90% de su capacidad.

Se han considerado las cuantías para los elementos estructurales de columnas y vigas teniendo en cuenta que se encuentran sobrepasando el rango mínimo establecido en la norma vigente (1%) [2] y [11], los detalles establecidos se muestran a continuación:

Tabla 22. Secciones y cuantías de acero

MODELO	Columna (cm)	Viga (cm)	Cuantía col. (%)	Cuantía viga (%)
NEC-SE-DS, 2015	120 x 120	60 x 90	1,3	1,1
NEC-SE-DS, 2024	130 x 130	60 x 90	1,3	1,1

### 3.1.9. Análisis comparativo

En la tabla 23 se detalla la comparativa de las consideraciones sismorresistentes entre ambas normativas:

Tabla 23. Análisis comparativo

	NEC-SE-DS, 2015		NEC-SE-DS, 2024		Variación			
Periodos de vibración (Método 1)	0,731		0,649		-11,22%			
Periodos de vibración (Método 2)	0,9		0,837		-7,00%			
	Sx	Sy	Dx	Dy				
Derivas máximas (%)	0,157	0,199	0,125	0,141	0,149	0,182	0,100	0,110
Aceleración espectral (Sa)								
Suelo tipo C	0,92		0,998		8,48%			
Suelo tipo D	1,137		1,184		4,13%			
Suelo tipo E	0,992		1,241		25,10%			
Cortante Basal								
Suelo tipo C	0,128		0,137		7,03%			
Suelo tipo D	0,158		0,165		4,43%			
Suelo tipo E	0,138		0,172		24,64%			

En el análisis de los periodos de vibración para ambos métodos antes descritos en el capítulo 3.1, para el método 1 se puede observar una disminución de dicho periodo, lo que nos obliga a rigidizar la estructura para el cumplimiento de los periodos máximos previamente establecidos.

Al relacionar las derivas inelásticas se identificó el cumplimiento de las derivas mínimas, siendo del 2% la deriva máxima para NEC-SE-DS, 2015 y del 1.5% para NEC-SE-DS, 2024. Basado en los resultados se concluye que las derivas para la propuesta de actualización son inferiores que la normativa vigente, dentro de los parámetros establecidos por [3] son consideraciones máximas que evitan el daño en la mampostería y colapsos de esta, salvaguardando las vidas de los usuarios durante un evento sísmico.

Referente a las aceleraciones espectrales de los tipos de suelos, descrito en 2.3.2.3., se determina que existe un aumento para los tres tipos de suelo en relación con la normativa vigente que evidencia un aumento en la demanda sísmica.

## 4. Conclusiones

El análisis comparativo entre la NEC-SE-DS, 2015 y la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024 para el diseño estructural de edificaciones de hormigón armado en Ecuador nos permitió

identificar las principales diferencias en la seguridad estructural y el comportamiento sismorresistente.

Mediante el software ETABS se obtuvo los resultados, como: el periodo fundamental de la estructura, participación modal derivas inelásticas y coeficiente torsional en planta.

En los cambios de la propuesta de actualización 2024, dentro del capítulo de SEGURIDAD ESTRUCTURAL PELIGRO SÍSMICO, DISEÑO SISMORRESISTENTE se pudo distinguir la microzonificación y factores de sitio, los cuales han dado como resultado un aumento en la demanda sísmica y por ende un incremento en la aceleración espectral siendo este influyente en la variación del cortante basal de diseño.

La zonificación sísmica y factor de zona Z, son valores determinantes dentro del diseño y construcción sismorresistente, permiten caracterizar el comportamiento del suelo ante un evento sísmico, identificando zonas con diferentes respuestas como la amplificación y/o periodos teóricos. Se ha identificado que al considerar la misma ubicación geográfica entre ambas normativas [2] y [3], existe un incremento del factor sísmico, y a la vez un cambio en los coeficientes Fa, Fd y Fs, de igual manera existe disminución del periodo teórico, el cual exige que el diseño sea más rígido para su debido cumplimiento.

Se puede establecer un aumento de la demanda para los tres tipos de suelo, sin embargo, podemos destacar el aumento para el suelo tipo E el cual ha presentado un incremento del 25,1% en su aceleración espectral.

Dentro de los parámetros que se encuentran establecidos en las normativas para la obtención del periodo teórico, podemos notar un cambio en los coeficientes “Ct” (coeficiente que depende del tipo de edificio) que pasa de 0.055 para NEC-SE-DS, 2015 a 0.048 para NEC-SE-DS, 2024, el valor disminuye en un 12.73%, valores que influyen directamente en el cálculo del periodo fundamental de la estructura por lo que implica al diseñador estructural concebir estructuras más rígidas, dando como resultado el requerimiento de elementos con mayor sección para alcanzar la rigidez máxima

permitida y estar por debajo del periodo teórico mayorado.

Para los resultados obtenidos de las derivas de piso, en los estados de carga dinámicos, como estáticos los límites máximos disminuyen para la propuesta de actualización, por lo tanto, se tiene un aumento en sus secciones, para generar estructuras más rígidas y con un periodo de vibración menor.

Con base a lo referido anteriormente sobre el cortante basal en [2] y [3] se evidencia la variación y el aumento de este resultado teniendo en cuenta que para la propuesta de actualización no se consideran las irregularidades y coeficientes de configuración estructural de planta y elevación. Se realizó una comparativa de los tres tipos de suelo y se determinó un aumento promedio del cortante basal de diseño en un 12.03%.

Mediante el análisis de los resultados antes obtenidos podemos decir que; la variación de los requisitos sismorresistentes del capítulo NEC-SE-DS, 2015 y la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024 tienen una afectación considerable al momento de diseñar una estructura sismorresistente, ya que al tener parámetros más rigurosos las secciones de las estructuras aumentan, generando un impacto económico que existe una mayor demanda de materiales en el proyecto a desarrollarse, por lo que se vuelve muy importante la gestión y la optimización de los recursos para poder llevar a cabo un proyecto sin que se afecten los estándares de calidad y los requerimientos técnicos mínimos.

En general, se concluye que la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, llega a ser conservadora y minuciosa, ya que se enfoca en el mapa de peligro sísmico, el mismo que permite tener valores detallados, siendo este referente a la aceleración espectral de cada localidad.

Estableciendo que los requisitos mínimos indicados en normativa sean exigentes velando por la seguridad estructural, por ende, se diseñan estructuras más rígidas mejorando el rendimiento sísmico, dando como resultado derivas y periodos fundamentales de vibración menores con relación a NEC-SE-DS, 2015.

## Referencias

- [1]. L. Bozzo and A. H. Barbat, “Diseño Sismorresistente de Edificios: Técnicas Convencionales y Avanzadas”, Barcelona, Spain, Editorial Reverté, 2000.
- [2]. NEC-SE-DS, 2015, “Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente”, Quito, Ecuador, MIDUVI, 2015.
- [3]. NEC-SE-DS, 2024, “Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente (Borrador)”, Quito, Ecuador, MIDUVI, 2024.
- [4]. E. Rosenblueth, “Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos”, Ciudad de México, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.
- [5]. A. Chopra, “Dinámica de Estructuras”, Naucalpan de Juárez, México, Pearson, 2014.
- [6]. R. Meli, “Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado”, Ciudad de México, México, Editorial Limusa, 2004.
- [7]. R. Aguiar y Y. Mieles, "Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016," Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, jun. 2016.
- [8]. J. Alva, “Ingeniería Geotécnica Sísmica: Sismos, Microzonificación, Licuación y Taludes”, Lima, Perú, EDUNI, 2020.
- [9]. Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, “Regla Técnica Metropolitana RTQ 1/2021: Prevención de incendios: Reglas técnicas básicas”, Quito, Ecuador, Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, 2021.
- [10]. NEC-SE-CG, 2015, “Cargas (No Sísmicas)”, Quito, Ecuador, MIDUVI, 2015.

- [11]. M. Guerra y D. Chacón, "Manual de diseño sismorresistente de edificios utilizando el programa ETABS." Quito, Ecuador, 2010.
- [12]. American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318-19). Farmington Hills, MI, USA, American Concrete Institute, 2019.
- [13]. J. McCormac y R. B. Russell, "Diseño de Concreto Reforzado", Ciudad de México, México, Alfaomega Grupo Editor, 2011.
- [14]. R. Hibbeler, "Análisis Estructural", 9th ed. Ciudad de México, México, Pearson Educación, 2015.
- [15]. R. Aguiar, "Análisis Sísmico de Edificios", Sangolquí, Ecuador, Centro de Investigaciones Científicas, 2008.
- [16]. J. Valverde, "Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito". Quito, Ecuador, MDMQ.