



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

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

AUTORES: Santiago André Heredia Salazar

Juan Esteban Quilligana Miranda

TUTOR: José Paúl Olmedo Cueva

Quito –Ecuador
2025

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

Nosotros, Santiago André Heredia Salazar con documento de identificación N° 0503953788 y Juan Esteban Quilligana Miranda con documento de identificación N° 1726247776; 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, 18 de febrero del 2025

Atentamente,



Santiago André Heredia Salazar

0503953788



Juan Esteban Quilligana Miranda

1726247776

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

Nosotros, Santiago André Heredia Salazar con documento de identificación N° 0503953788 y Juan Esteban Quilligana Miranda con documento de identificación N° 1726247776; 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 mediana altura de hormigón armado utilizando la NEC-SE-DS, 2015 y la 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 final del trabajo en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de febrero del 2025

Atentamente,



Santiago André Heredia Salazar

0503953788



Juan Esteban Quilligana Miranda

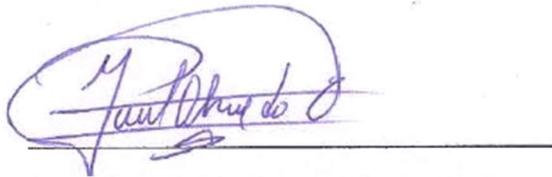
1726247776

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL 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 MEDIANA ALTURA DE HORMIGÓN ARMADO UTILIZANDO LA NEC-SE-DS, 2015 Y LA PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN NEC-SE-DS, 2024, realizado por Santiago André Heredia Salazar con documento de identificación N° 0503953788 y Juan Esteban Quilligana Miranda con documento de identificación N°1726247776, 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, 18 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. José Paúl Olmedo Cueva MSc.

1714108048

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

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL DESIGN OF A MEDIUM-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING USING THE NEC-SE-DS, 2015 AND THE PROPOSAL UPDATE NEC-SE-DS, 2024

Santiago Heredia-Salazar¹, Juan Quilligana-Miranda², Paúl Olmedo-Cueva³

Resumen

El presente estudio tiene como finalidad evidenciar las diferencias de una edificación de mediana altura de hormigón armado aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Eje de Seguridad Estructural en su capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente NEC-SE-DS, 2015 frente a su propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024.

El proyecto se encuentra localizado en el Distrito Metropolitano de Quito, mismo que dentro de su planificación arquitectónica se concebirá como una edificación de uso mixto con la siguiente distribución: las dos primeras plantas destinadas a locales comerciales y sus niveles superiores a un uso residencial.

Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizará como software estructural ETABS, mismo que se utilizará para la puesta en marcha de los modelos y obtención de resultados, mismos que resultan de gran importancia ya que contribuirán a definir los impactos tanto económicos y sociales de la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024.

Palabras Clave: NEC, Espectro de Respuesta, Periodo Fundamental, Cortante Basal, Participación Modal, Sistema Dual, Deriva de Piso.

Abstract

The present study has a purpose highlight the differences of a medium rise reinforced concrete building applying the Norma Ecuatoriana de la Construcción, Structural safety axis in its earthquake resistant design chapter NEC-SE-DS, 2015 front of his update proposal NEC-SE-DS, 2024.

The project is in the Metropolitan District of Quito, same as within architectural planning, it will be conceived as a mixed-use building with the next distribution: the two first floors for commercial use, and the upper levels for residential use.

To develop this investigation, the structural analysis software ETABS will be used. This software will run every model for the comparison and showing the results of the analysis, then define the social and economic impact of designing a four-story building using NEC-SE-DS, 2024.

Keywords: NEC, Response Spectrum, Fundamental Period, Base Shear, Modal Participation, Dual System, Floor Drift.

¹ Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador.

² Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador.

³ Docente de la Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador.

Autores para correspondencia: sheredias1@est.ups.edu.ec jquilligana@est.ups.edu.ec jolmedoc@ups.edu.ec

1. Introducción

El diseño estructural de edificaciones en zonas sísmicas, como Ecuador, requiere de un enfoque normativo riguroso que garantice la seguridad y la durabilidad de las construcciones. La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece los requisitos mínimos para el diseño de estructuras, adaptándose a las condiciones geotécnicas y económicas del país.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción Eje de Seguridad Estructural en su capítulo Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente NEC-SE-DS, 2015, vigente hasta, ha resultado primordial para la construcción de edificaciones con los requerimientos mínimos y hasta cierto punto la construcción precaria e informal en el país; Sin embargo, es necesario una actualización de la normativa, esto debido a eventos naturales que han venido sucediendo durante el tiempo de vigencia de la normativa.

Una muestra clara de la importancia de una actualización es lo sucedido en abril del año 2016, cuando un terremoto de una magnitud de 7.8 grados en la escala de Richter sacudió al país entero, posterior a este acontecimiento se tomó la decisión de desarrollar una actualización a la normativa aún vigente siguiendo el ejemplo de la comunidad internacional que realiza actualizaciones a sus normativas en plazos no mayores a los 5 años como es el caso del American Concrete Institute, (ACI).

Por esta razón, se tiene activos nueve comités técnicos especializados para la actualización de los capítulos del eje de Seguridad Estructural de la Norma Ecuatoriana de la Construcción; como resultado de este arduo trabajo, se tiene disponible en este momento una propuesta borrador del capítulo Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente, además el capítulo Estructuras de Hormigón Armado, mismos que serán utilizados para el análisis

comparativo, objeto del presente trabajo de investigación, el capítulo Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente presenta un notable reajuste en el tema de la demanda sísmica respecto con la normativa vigente, esto tras haberse reportado valores de PGA superiores a los 0.5g en abril de 2016, en la mayoría de estaciones, superando considerablemente las aceleraciones mostradas en el mapa de peligro sísmico vigente.

El presente trabajo se enfoca en un análisis comparativo del diseño estructural de un edificio de cuatro plantas de hormigón armado, planificado para un uso mixto: locales comerciales y residencias como se indica en las figuras siguientes correspondientes a la planificación arquitectónica.

Dicha estructura se modelará y analizará en el software ETABS, bajo los criterios y requisitos mínimos de la normativa NEC-SE-DS, 2015 y la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024. La investigación tiene como objetivo principal identificar las diferencias que puedan surgir entre ambas normativas en términos de resistencia sísmica, optimización de secciones de elementos estructurales.

A partir de dicha comparativa, este estudio busca aportar claridad sobre el impacto de la propuesta de actualización en la práctica del diseño estructural en Ecuador. La investigación será útil para tener una visión más amplia en cuanto a los cambios que trae la propuesta de actualización del capítulo mencionado del Seguridad Estructural en los requisitos mínimos que propone, además de una perspectiva en cuanto al tema económico, asimismo brindar una guía a los profesionales en la aplicación efectiva de esta normativa en proyectos venideros.

1.1. Estado del Arte

Conforme a lo expuesto en la investigación de [1], para un proyecto tal como una edificación de mediana altura, se debe tener información básica como lo es el diseño arquitectónico, un respectivo estudio geotécnico, con la finalidad de brindar al diseñador estructural las bases para un correcto diseño siguiendo las recomendaciones, de esta manera cumplir con los requisitos mínimos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Ecuador al ser un país con un alto peligro sísmico, debido a sus condiciones geográficas y geológicas al igual que varios países de la región como Colombia, Venezuela, Perú [2] y Chile información indicada por [3], la creación y cada cierto tiempo la actualización de normativa que regule los requerimientos mínimos de cálculo y diseño de edificaciones sismorresistentes se vuelve vital para el control de construcción informal garantizando la seguridad y durabilidad de vidas, además de la propia estructura.

La demanda sísmica como lo indica [4], se define como la probabilidad de excedencia de un valor de intensidad en un periodo de tiempo en el punto de análisis. De acuerdo con esta investigación posterior al terremoto de abril del año 2016, se reportaron aceleraciones superiores a los 0.5g en algunas ciudades del país, por encima de lo que muestra la normativa vigente.

De acuerdo con lo expuesto en [5], durante el terremoto de Manabí en 2016 se produjeron valores de PGA muy por encima de lo estipulado en la normativa vigente, como es el caso de Pedernales en donde se registró un valor PGA de 1.413g, por lo que se deja en evidencia una grave deficiencia en la norma Ecuatoriana de la Construcción, en su capítulo correspondiente a Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente, adicionalmente los efectos de sitio del epicentro, la incompatibilidad de materiales, patologías estructurales.

Dentro del diseño y modelamiento de la estructura en algún programa computacional, el uso de los espectros de diseño es primordial como lo indica [6], para el caso de nuestra investigación se hace uso del software ETABS, debido a los cambios alrededor de este tema entre la normativa vigente NEC-SE-DS, 2015 frente a la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024 esta consideración podría influir en los resultados obtenidos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Recursos para el trabajo

2.1.1. Planos Arquitectónicos

Para el presente trabajo de investigación, se dispone el plano arquitectónico de la edificación, conformado por 4 plantas de las cuales las 2 primeras destinadas a uso comercial, mientras las plantas superiores se encuentran planificadas para residencias.

2.1.2. Software utilizado

Para el presente estudio, se hará uso de la licencia que dispone la Universidad Politécnica Salesiana, debido a disponibilidad de información sobre el uso del programa y como diseñar en el mismo.

El software ETABS es un paquete computacional diseñada para el análisis estático y dinámico como lo indica [6], con herramientas importantes y útiles, además de presentarnos una interfaz simple y amigable.

2.1.3. Software ETABS

El software ETABS es un paquete computacional diseñada para el análisis estático y dinámico como lo indica [7], con herramientas importantes y útiles, esenciales para el cálculo, diseño y conformación de modelos estructurales en el ámbito profesional de la Ingeniería Civil.

2.2. Metodología

2.2.1. Ubicación del proyecto

El proyecto base para la presente investigación se encuentra localizada en el Distrito Metropolitano de Quito.

2.2.2. Caracterización de la estructura

La presente tabla expone los aspectos arquitectónicos de la edificación en estudio.

Tabla 1: Características Arquitectónicas.

Características arquitectónicas	Unidad	Estructura
Altura de entrepiso almacenes	m	3.60
Altura de entrepiso Residencias	m	3.00
Altura total	m	13.20
N° de niveles	u	4
N° de vanos en X-X	u	5
N° de vanos en Y-Y	u </td <td>3</td>	3
Distancia entre ejes X-X	m	0.9-5.2
Distancia entre ejes Y-Y	m	5.10-6.85
Grada	m	

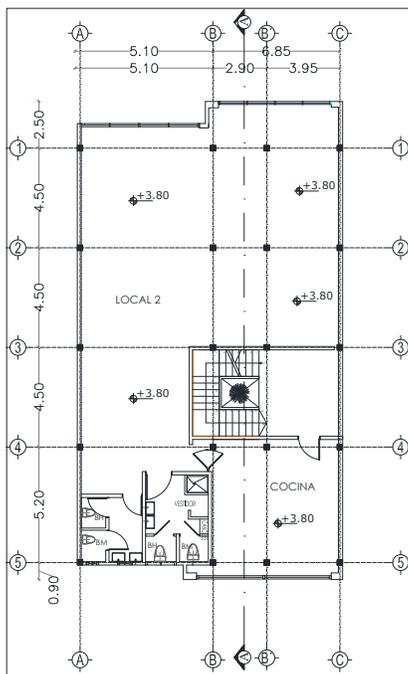


Figura 1. Vista en planta tipo almacén.

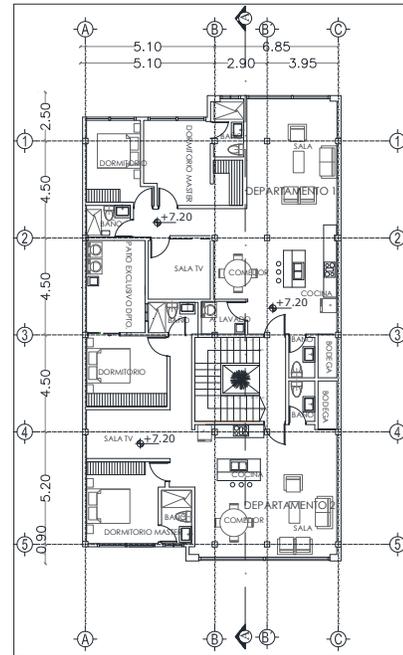


Figura 2. Vista en planta tipo departamento.

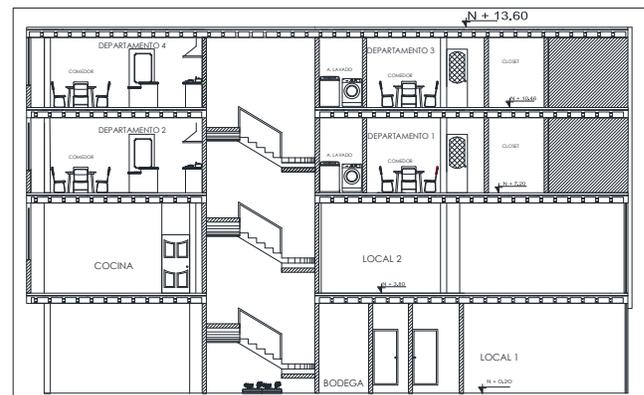


Figura 3. Corte transversal de la estructura en elevación.

2.2.3. Características de los materiales

Para el proyecto de esta investigación, se empleará hormigón armado para todos sus elementos estructurales. En la tabla 2 se muestran las características de cada uno los materiales a emplearse tanto en diseño como análisis en la estructura objeto de esta investigación.

Tabla 2: Características de los materiales

	Unidad	Valor
Hormigón		
Peso específico	kN/m ³	24
Resistencia a la compresión	MPa	21
Módulo de elasticidad	MPa	21459
Acero de Refuerzo		
Peso específico	kN/m ³	78.5
Resistencia a la fluencia	MPa	420
Módulo de elasticidad	MPa	21000

2.3. Análisis de Cargas

Para efectos del presente estudio únicamente se considerarán las siguientes cargas: carga viva, carga muerta adicional que se obtendrá de una cuantificación de acuerdo a los acabados, distribución de mampostería tanto de las plantas destinadas a almacenes como de los departamentos, adicionalmente se tomará en cuenta como carga variable adicional la nieve que en caso de Ecuador se considera como granizo, dicha carga se debe considerar en zonas del país que sobrepasen los 1500 msnm, como se recomienda en [8].

Dentro del diseño y análisis de una estructura es vital tener en cuenta las distintas cargas que actuarán sobre la misma, sean estas: carga muerta, carga muerta adicional, carga viva, cargas adicionales, detalladas a continuación:

Para las cargas mencionadas se toma como base [8] y [9], mientras que para las cargas sísmicas se tomará las consideraciones del capítulo Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente tanto de la normativa vigente NEC-SE-DS, 2015 como de su propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024.

2.3.1. Cargas de Servicio

2.3.1.1. Carga Muerta

Se considera como una carga muerta o carga permanente al peso de los elementos estructurales, esta carga es calculada por el software.

2.3.1.2. Carga Muerta Adicional

Esta carga se encuentra relacionada con los acabados, la distribución de mampostería, para lo cual es indispensable realizar una cuantificación de cargas.

2.3.1.3. Carga Viva

La carga viva como se define en [8] es una carga cuya magnitud depende de la ocupación que se vaya a dar a la estructura, su conformación viene dada por los pesos de personas, muebles, maquinaria, o cualquier carga móvil que pudiera actuar sobre la estructura durante su vida útil, este valor se muestra en la tabla 3.

2.3.1.4. Cargas Ocasionales

Este tipo de cargas son causadas generalmente por efectos medioambientales y geográficos, algunas de estas suelen ser: lluvia, viento, nieve, efectos sísmicos.

Tabla 3. Cargas por aplicarse en la estructura

Tipo de Carga	Carga uniforme	Valor
CV:(Almacenes)	kN/m ²	4.71
CV:(Viviendas)	kN/m ²	1.96
CMA:(Almacenes)	kN/m ²	4.90
CMA:(Viviendas)	kN/m ²	5.39
Granizo	kN/m ²	0.98

2.3.2. Cargas Sísmicas

2.3.2.1. Características del Suelo

De acuerdo con el estudio geotécnico, la estructura se asentará en un suelo tipo D.

Las características del suelo respecto a la normativa vigente se muestran en la tabla 4.

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

Características del Suelo	Valores
Zona sísmica	V
Peligrosidad Sísmica	Alta
Factor de zona	0.40
Perfil de Suelo	D
Fa	1.20
Fd	1.19
Fs	1.28

De igual manera en la tabla 5, se detallan las características de suelo en función de la propuesta de actualización, con cambios significativos en cuanto a la microzonificación respecto a la normativa vigente.

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

Características del Suelo	Valores
Zona sísmica	IV
Peligrosidad Sísmica	Alta
Factor de zona	0.47
Perfil de Suelo	D
Fa	1.14
Fd	1.15
Fs	1.32

2.3.2.2. Cortante Basal de Diseño

El valor corresponde a la fuerza total aplicada de manera lateral en la base de la estructura por acción de un movimiento sísmico, este valor puede ser cálculo con o sin reducción, dependiendo del sistema constructivo a desarrollar y la norma a utilizar.

Para los cálculos se considera las dos normativas en análisis, de esta manera aplicando la [10] se obtiene los datos mostrados en la tabla 6, para su posterior cálculo aplicando la siguiente expresión:

$$V = \frac{ISa(Ta)}{R\phi P\phi E} * W \quad (1)$$

Para el desarrollo de este cálculo se debe tomar en cuenta el periodo de vibración teórico que se obtiene con la expresión (10).

Tabla 6. Cortante Basal aplicando la NEC-SE-DS, 2015

Características del Suelo	Valores
I	1
R	8
Sa(T)	1.19
Z	0.4
ϕ_P	1
ϕ_E	1

De igual manera utilizando la [11] se obtienen los datos detallados en la tabla 7, con su respectiva ecuación de cálculo a continuación:

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

Para el desarrollo del cálculo del cortante basal de acuerdo con las recomendaciones de la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, se prescinde de las irregularidades en planta y elevación, únicamente se calcula en base al periodo de vibración teórico determinado por la expresión (11).

Tabla 7. Cortante Basal aplicando la NEC-SE-DS, 2024

Características del Suelo	Valores
I	1
R	8
Sa(T)	1.29
Z	0.47

2.3.2.3. Espectro de Respuesta

El desarrollo de los espectros de respuesta depende de la zona de ubicación del proyecto, tipo de estructura, tipo de suelo, por lo que se encuentran regidos por [10], esto para el espectro aplicando la normativa vigente.

Tabla 8. Datos Espectro Elástico de Respuesta NEC-SE-DS, 2015

Coeficientes	
η (Sierra)	2.48
Sa	1.19
T	0.38
To	0.13
Tc	0.57

Asimismo, para el espectro de respuesta aplicando la propuesta de actualización se desarrollará en base a los coeficientes de [11].

Tabla 9. Datos Espectro Elástico de Respuesta NEC-SE-DS, 2024

Coeficientes	
η (Sierra)	2.40
Sa	1.29
T	0.51
To	0.13
Tc	0.60

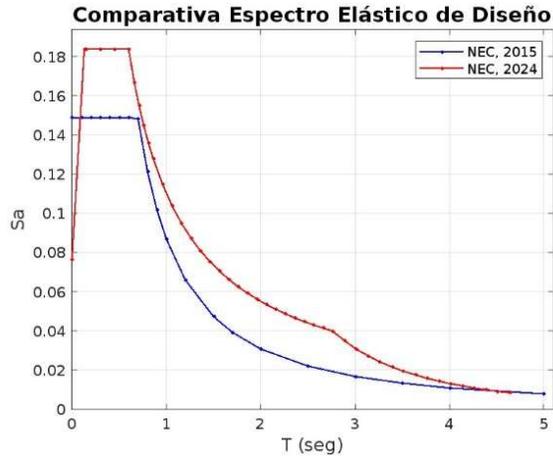


Figura 4. Comparativa Espectros Elásticos de Diseño.

2.3.3. Combinaciones de Carga

Dentro del análisis de una estructura es indispensable considerar todas las combinaciones posibles para la edificación, de tal manera se presenta las siguientes combinaciones según [8].

$$1.4D \quad (3)$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5 \max(Lr; S; R) \quad (4)$$

$$1.2D + 1.6 \max(Lr; S; R) + \max(L; 0.5W) \quad (5)$$

$$1.2D + 1W + L + 0.5 \max(Lr; S; R) \quad (6)$$

$$1.2D + 1E + L + 0.2S \quad (7)$$

$$0.9D + 1W \quad (8)$$

$$0.9D + 1E \quad (9)$$

D: Carga muerta

L: Sobrecarga

Lr: Sobrecarga en cubierta

S: Carga de nieve (En Ecuador se considera granizo)

W: Carga de viento

R: Factor de carga por lluvia

E: Carga por sismo

2.4. Modelación y Análisis Estructural

Para el modelamiento del proyecto objeto de esta investigación, se han desarrollado los modelos computacionales en función de lo establecido en los capítulos del Eje de Seguridad Estructural de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, 2015 y NEC-SE-DS, 2024.

Adicionalmente para el desarrollo en base a cada una de las normativas, se ha tomado en cuenta las consideraciones del capítulo Estructuras de Hormigón Armado del Eje de Seguridad Estructural tanto de la normativa vigente como de la propuesta de actualización del capítulo en mención.

Respecto a las recomendaciones de este capítulo se considerará un adecuado diseño a flexión y flexo-compresión para elementos estructurales tales como vigas y columnas respectivamente, mismos que se encuentran sometidos a cargas gravitacionales y sísmicas, para esto manteniendo siempre el concepto de columna fuerte- viga débil con la finalidad de garantizar una adecuada resistencia y ductilidad de los elementos estructurales al someterse a efectos sísmicos.

De esta manera para el modelo NEC-SE-DS, 2015, se desarrolló la modelación con agrietamiento en las secciones de elementos estructurales como lo indica [12], además de realizar la modelación de cimentación según lo que indica [13].

Para el modelo NEC-SE-DS, 2024, se toma las recomendaciones que se muestra en [14], por lo cual se ha desarrollado dos modelos tal y como se indica en la normativa NEC-SE-HM, 2015, es decir con agrietamiento y sin agrietamiento de secciones, adicionalmente nos indica que se debe desarrollar un modelo en el cual interactúe la estructura con la cimentación, misma que se realizará en base a [15], únicamente como cumplimiento a las recomendaciones que la propuesta de

actualización de la normativa indica, debido a que no es tema de la presente investigación.

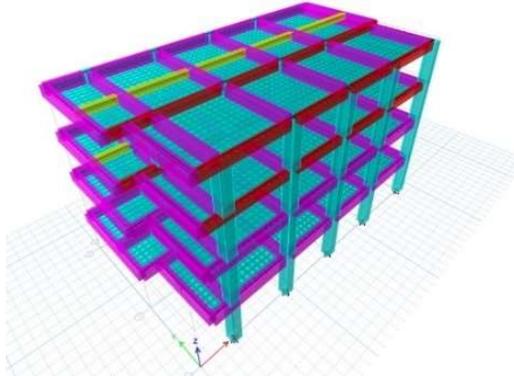


Figura 5. Modelo ETABS NEC-SE-DS, 2015, Sistema Aporticado

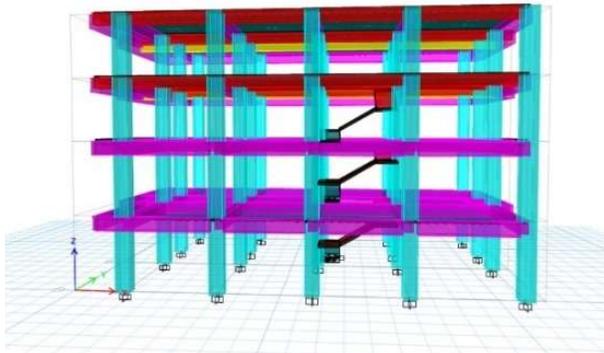


Figura 6. Modelo ETABS NEC-SE-DS, 2024, Sistema Aporticado

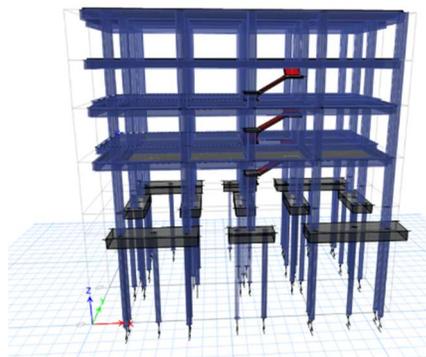


Figura 7. Modelo ETABS NEC-SE-DS, 2024 con cimentación, Sistema Aporticado

Para el desarrollo del presente modelo con interacción con la cimentación, se ha diseñado un pilotaje con base en el tipo de suelo y recomendaciones del estudio geotécnico, como

se mencionó únicamente para cumplimiento de las recomendaciones de [14].

3.Resultados y Discusión

3.1. Sistema Aporticado

3.1.1. Análisis Estructural

Dentro del análisis tanto para la normativa vigente como para la propuesta de actualización se ha desarrollado un diseño basado en fuerzas mismo que se detalla en los capítulos [10], [11] de esta manera se realizaron las consideraciones sismorresistentes descritas a continuación:

3.1.2. Periodo de vibración teórico

Conforme a lo establecido en [10] el periodo se ha calculado por el “método 1” mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$T_a = C_t * h n^\alpha \quad (10)$$

Tabla 10. Periodo calculado en base a NEC-SE-DS, 2015.

T _a	T _a *1.30
0.561	0.729

Dentro de [11], se menciona la misma expresión, pero con abreviaturas distintas de la siguiente forma:

$$T_a = C_t * h n^x \quad (11)$$

Tabla 11. Periodo calculado en base a NEC-SE-DS,2 024.

T _a	T _a *1.30
0.475	0.618

Adicionalmente se muestra el límite del periodo de vibración por el “método 1”, mismo que se determina

3.1.3. Periodo de vibración de la estructura

Los resultados que se muestran en la tabla 12 corresponden a los periodos fundamentales calculados por el programa ETABS.

Tabla 12. Periodo fundamental de vibración Sistema Aporticado

Modelo	Periodo (s)
NEC-SE-DS, 2015	0.581
NEC-SE-DS, 2024	0.558

3.1.4. Cortante Basal de la Estructura

Tabla 13. Comparativa Cortante Basal Sistema Aporticado

NEC-SE-DS, 2015	NEC-SE-DS, 2024
0.1488	0.1607

3.1.5. Participación Modal

Las recomendaciones en [10] indica que se deben considerar los primeros tres modos de vibración libre, mismos que se muestran en la tabla 13.

Tabla 14. Participación modal traslacional Sistema Aporticado

Modo	T(s)	Ux (m)	Uy (m)	Rz (m)
NEC-SE-DS, 2015				
Modo 1	0.581	0.0026	0.7081	0.1784
Modo 2	0.554	0.7723	0.0372	0.2615
Modo 3	0.534	0.1137	0.1401	0.8919
NEC-SE-DS, 2024				
Modo 1	0.558	0.0026	0.7042	0.1858
Modo 2	0.534	0.7647	0.0408	0.2744
Modo 3	0.514	0.1228	0.1442	0.8949

3.1.6. Cuantías de Acero

A continuación, se muestran los valores de una columna y viga central, para su respectiva comprobación según los parámetros establecidos en [12].

Tabla 15. Cuantías de Acero Sistema Aporticado

Modelo	Columna (cm)	Viga (cm)	Cuantía Columnas (%)	Cuantía Vigas (%)
NEC-SE-DS, 2015	50x50	45x60	2.30	1.00
NEC-SE-DS, 2024	50x50	45x65	2.80	1.20

Como se indica en la tabla se han obtenido las cuantías para los elementos estructurales más críticos, al realizar la comprobación respecto a la normativa vigente se determinó que la cuantía de columnas se encuentra cerca del límite superior establecido 1% - 3%, sin embargo, debido al área gruesa de los elementos se requiere barras de refuerzo de gran calibre lo que desencadena en

mayor cantidad de material y aumento de presupuesto.

3.1.7. Derivas de Piso

Para la obtención de estos resultados, se ha utilizado patrones de carga estáticos como dinámicos en 2 direcciones “X-Y”, en ambos modelos con agrietamiento en las secciones con el objetivo de tener una visión cercana a la realidad, dichos resultados se muestran en las siguientes figuras:

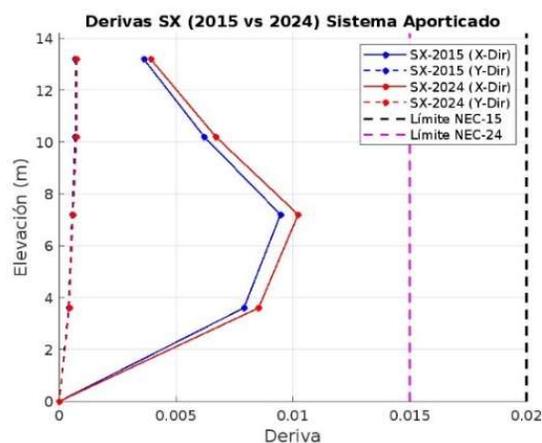


Figura 3. Comparativa de Derivas Estado Estático “X” Sistema Aporticado.

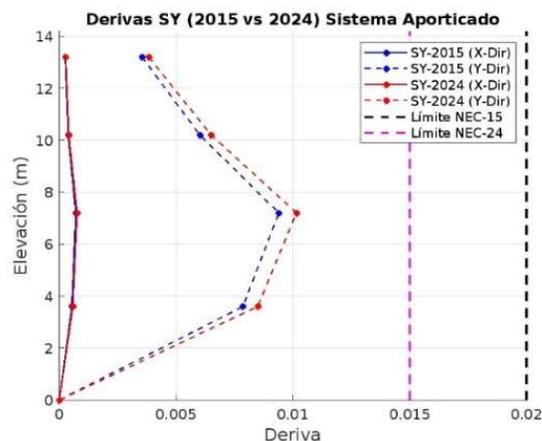


Figura 4. Comparativa de Derivas Estado Estático “Y” Sistema Aporticado.

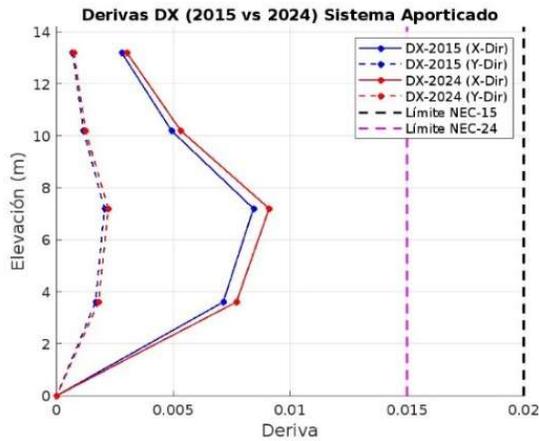


Figura 5. Comparativa de Derivas Estado Dinámico “X” Sistema Aporticado.

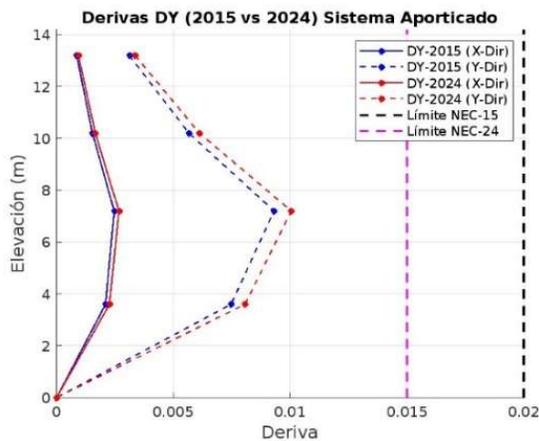


Figura 6. Comparativa de Derivas Estado Dinámico “Y” Sistema Aporticado.

Conforme a los resultados mostrados en las figuras y tablas se puede evidenciar ciertas deficiencias en la estructura, para el caso del modelo utilizando la normativa vigente se determinó un periodo de vibración que excede el límite, además de superar los valores límite para torsión que indica la normativa, representando un peligro para los elementos estructurales y en general de la estructura, esta deficiencia se evidenció para ambos modelos, por este motivo presentamos una propuesta utilizando un sistema dual con muros estructurales adicional a los pórticos resistentes a momento, para aportar mayor rigidez a la estructura, este análisis se detalla a continuación.

3.2. Análisis de la Estructura utilizando un Sistema Dual

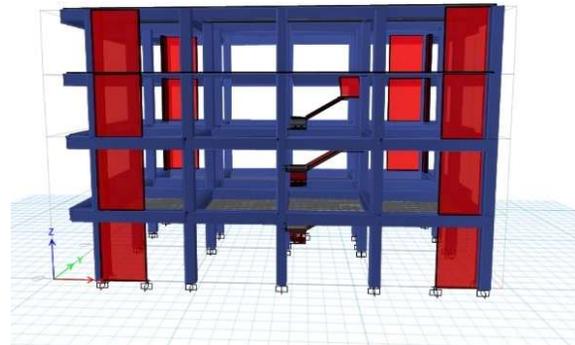


Figura 7. Modelo ETABS NEC-SE-DS, 2015 Sistema Dual.

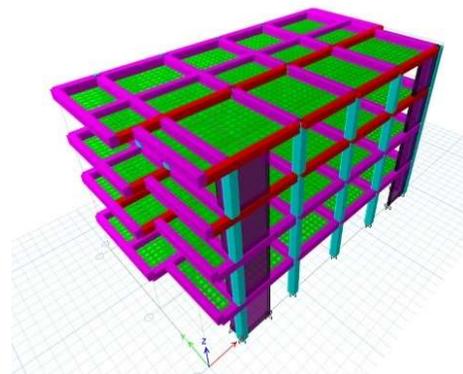


Figura 8. Modelo ETABS NEC-SE-DS, 2024 Sistema Dual

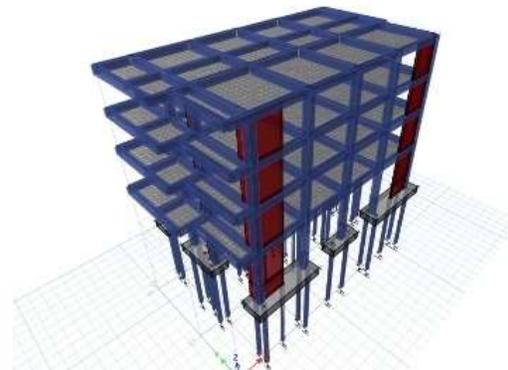


Figura 9. Modelo ETABS NEC-SE-DS, 2024 con cimentación Sistema Dual

Al efectuar el análisis de la estructura como un sistema de pórticos resistentes a momento, en el modelo aplicando las consideraciones [10] y [11], se evidenciaron las deficiencias expuestas anteriormente.

Debido a esto se ha propuesto el análisis de la edificación como un sistema dual, es decir compuesta por pórticos resistentes a momento y adicionalmente muros estructurales.

Al igual que con el primer análisis, se realizará el mismo número de modelos, con las mismas condiciones mostradas en las tablas [4-6-8-10] para la normativa vigente y las tablas [5-7-9-11] para la propuesta de actualización, los resultados de este análisis se muestran a continuación:

3.2.1. Periodo de vibración de la estructura

Tabla 16. Periodo fundamental de vibración Sistema Dual

Modelo	Periodo (s)
NEC-SE-DS, 2015	0.411
NEC-SE-DS, 2024	0.411

3.2.2. Cortante Basal de la Estructura

Tabla 17. Comparativa Cortante Basal Sistema Dual

NEC-SE-DS, 2015	NEC-SE-DS, 2024
0.1488	0.1837

3.2.3. Participación Modal

Tabla 18. Participación modal traslacional Sistema Dual

Modo	T(s)	Ux (m)	Uy (m)	Rz (m)
NEC-SE-DS, 2015				
Modo 1	0.411	0.0007	0.7821	0.0342
Modo 2	0.356	0.7352	0.0043	0.0643
Modo 3	0.307	0.0344	0.0301	0.791
NEC-SE-DS, 2024				
Modo 1	0.411	0.0007	0.782	0.0342
Modo 2	0.356	0.735	0.0043	0.0643
Modo 3	0.307	0.0343	0.0301	0.791

3.2.4. Cuantías de Acero

A continuación, se muestran los valores de una columna y viga central, utilizando un sistema dual con muros estructurales.

Tabla 19. Cuantía de Acero Sistema Dual

Modelo	Columna (cm)	Viga (cm)	Cuantía Columnas (%)	Cuantía Vigas (%)
NEC-SE-DS, 2015	45x45	35x55	1.50	1.20
NEC-SE-DS, 2024	45x45	35x55	1.80	1.30

De acuerdo con lo mostrado en la tabla, el uso de un sistema constructivo dual nos permite

optimizar secciones, las cuantías tanto en columnas como vigas, generando de esta manera un ahorro en materiales tales como acero y hormigón, respetando las recomendaciones de [16], que establece un rango del 1% - 8% para columnas.

3.2.5. Derivas de Piso

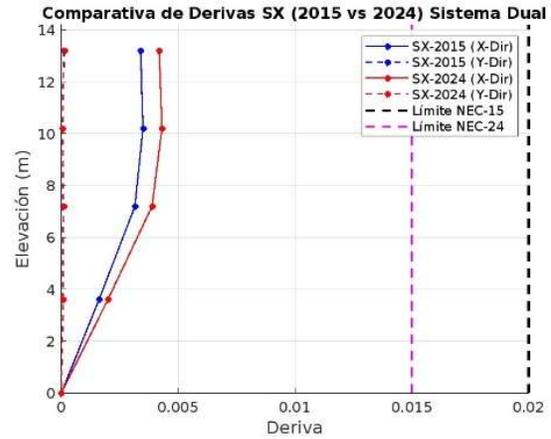


Figura 10. Comparativa de Derivas Estado Estático “X” Sistema Dual

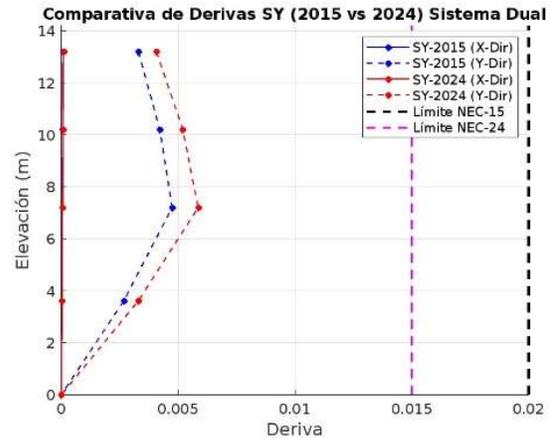


Figura 11. Comparativa de Derivas Sistema Estático “Y” Sistema Dual

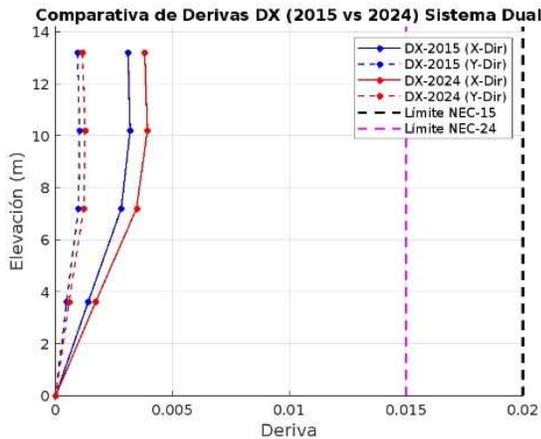


Figura 12. Comparativa de Derivas Estado Dinámico “X” Sistema Dual

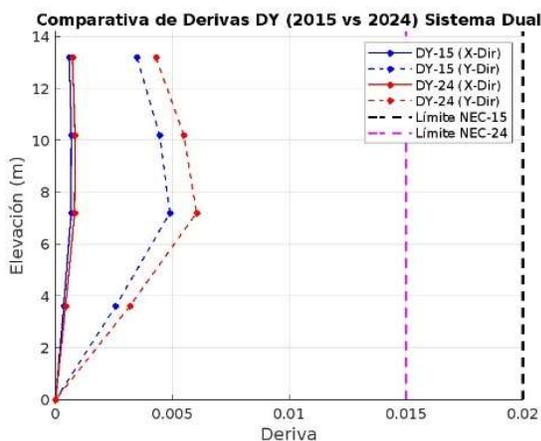


Figura 13. Comparativa de Derivas Estado Dinámico “Y” Sistema Dual

4. CONCLUSIONES

El uso del software de análisis estructural ETABS, facilitó el modelado y así mismo la obtención de los resultados, tales como: periodo fundamental de la estructura, participación modal, derivas inelásticas, cuantías de acero, pues gracias a la interfaz intuitiva que presenta el software se pudo optimizar los tiempos de procesamiento de los datos para su posterior comparativa.

Una vez que se obtuvieron los parámetros necesarios para el desarrollo del presente trabajo, podemos esclarecer el panorama respecto a la propuesta de actualización del capítulo Peligro

Sísmico y Diseño Sismorresistente 2024, frente al mismo capítulo de seguridad estructural de la normativa vigente NEC-SE-DS, 2015.

Una de las principales dudas respecto a la propuesta de actualización radica en el cambio de los mapas de zonificación sísmica y factores de sitio que han sido modificados para esta propuesta, concatenado a esta duda, tenemos el aumento de la demanda sísmica que genera un considerable aumento en el valor del cortante basal de diseño.

Como se mencionó, de acuerdo con los cálculos de cortante basal de diseño, se logra evidenciar una considerable variación en la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, además de la supresión de los factores para las irregularidades en planta y elevación, mostrando un importante aumento respecto al cálculo con la normativa vigente NEC-SE-DS, 2015.

De la misma manera al obtener los datos de ambos casos NEC-SE-DS, 2015 y NEC-SE-DS, 2024, se evidenció que el proyecto no cumple con algunas consideraciones sismorresistentes, uno de estos aspectos es la torsión que afecta a la estructura en ambos modelos, adicionalmente en el modelo NEC-SE-DS, 2015, el periodo de vibración excede el límite mostrado en la tabla [10], por este motivo se optó por realizar una propuesta aplicando un sistema constructivo dual, con muros estructurales para corregir estas deficiencias estructurales.

Esta decisión se encuentra justificada en qué, aunque los valores de aceleración espectral varían entre la NEC-SE-DS, 2015 y la NEC-SE-DS, 2024 ambos modelos aplicando un sistema dual cumplen con lo establecido en cada una de las normativas, esto en consideraciones tales como periodos de vibración teóricos y fundamentales en ambos modelos, en los espectros elásticos como inelásticos, estos valores se muestran en las tablas [10-11-15].

Respecto con las derivas inelásticas se obtuvo resultado que el modelo NEC-SE-DS, 2015 cumple con derivas inferiores al 2% que se establece en la normativa vigente. De igual manera el modelo NEC-SE-DS, 2024 cumple al presentar derivas inelásticas inferiores al 1.5% como indica la propuesta de actualización.

Mediante lo expuesto podemos concluir qué; las variaciones entre la normativa vigente NEC-SE-DS, 2015 y la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, en cuestiones como el cortante basal y aumento de demanda sísmica, sí se planifica únicamente como un sistema de pórticos resistentes a momento sí genera un cambio considerable en las secciones para este tipo de estructura, incrementando la cantidad de material y por consiguiente un aumento de presupuesto.

Después de realizar las verificaciones en cuestión cuantías del refuerzo longitudinal, hemos obtenido la siguiente conclusión, al utilizar la filosofía de diseño de un sistema aporticado, obtenemos secciones con un área gruesa alta, esto debido tanto a las cargas gravitacionales como laterales aplicadas a la estructura, a pesar de que la cuantía de acero se encuentre dentro de los límites recomendados por el capítulo vigente de Estructuras de Hormigón Armado y su propuesta de actualización, esto no supone un diseño correcto, esto debido a que estas secciones del sistema aporticado no cumplen con los requisitos de torsión, lo que desencadena en una deficiencia estructural, por este motivo se ha planteado el rediseño del proyecto como un sistema dual utilizando muros estructurales y pórticos resistentes, esto con el fin de ayudar en el control de torsiones presentes en el edificio.

Obteniendo con esta propuesta una reducción del 15.3% en el área de secciones de columnas, con una disminución del 54.1% en acero de refuerzo longitudinal requerido en este elemento

estructural, lo que nos conduce a un ahorro de materiales, además de un ahorro en los tiempos de ejecución de obra debido a que el armado de secciones disminuye, por las razones expuestas para este caso de análisis, resulta más eficiente el uso de un sistema dual con muros estructurales.

Conforme a lo expuesto, de nuestro análisis comparativo podemos concluir que si se utiliza un sistema dual, se obtiene ciertos beneficios como la optimización de secciones, tiempo y dinero, dado que este último aspecto ha sido uno de los principales temas de debate en torno a la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024, sin obviar por supuesto que el empleo de este sistema constructivo nos aporta mayor rigidez a la estructura mejorando así las condiciones sismorresistentes para este tipo de estructura.

Adicionalmente a manera de recomendación para futuros proyectos, investigaciones se pueden presentar distintas configuraciones estructurales, factores geográficos y geotécnicos tales como tipo de suelo, factores de sitio, esto con la finalidad de obtener un panorama más amplio respecto al uso de la propuesta de actualización NEC-SE-DS, 2024 en distintas estructuras.

REFERENCIAS

- [1] D. Freire, “Diseño sismoresistente del edificio de viviendas en hormigón armado”, Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2018.
- [2] C. y S. Ministerio de Vivienda, “Peru E.031”, Lima, Perú, 2018.
- [3] K. Parra y B. Sarango, “Análisis estadístico del periodo experimental de vibración en edificios aporticados de hormigón armado en el distrito metropolitano de Quito”, Proyecto de

- titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2016.
- [4] P. Quinde y E. Angulo, “Estudio del peligro sísmico del Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca”, Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de México, 2016.
- [5] 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.
- [6] C. Campos y D. Leandro, “Evaluación del desempeño sísmico utilizando el análisis no lineal estático según la metodología ASCE 41-13 de un módulo de la Institución Educativa Andrés Avelino Cáceres, distrito de San Juan de Miraflores, provincia de Lima, Departamento de Lima”, Proyecto de titulación, Universidad Continental, Lima, Perú, 2022.
- [7] M. Guerra y D. Chacón, “Manual para el diseño sismorresistente utilizando el programa ETABS”, Quito, Ecuador, 2010.
- [8] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, “CARGAS (NO SÍSMICAS)”, Quito, Ecuador, 2015.
- [9] American Society of Civil Engineers, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017. doi: 10.1061/9780784414248.
- [10] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Peligro sísmico y Diseño Sismorresistente. Quito, Ecuador, 2015.
- [11] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Peligro sísmico y Diseño Sismorresistente (Borrador). Quito, Ecuador, 2024.
- [12] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Estructuras de hormigón armado. Quito, Ecuador, 2015.
- [13] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, “Geotecnia y Cimentaciones”, Quito, Ecuador, 2015.
- [14] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Estructuras de hormigón armado. Quito, Ecuador, 2024.
- [15] J. C. Caizachana, “Implementación de programas computacionales para el cálculo y diseño de cimentaciones profundas”, Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2013.
- [16] American Concrete Institute, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)”. 2019.