



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015  
DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES  
DE DOS PISOS UBICADAS EN SECTORES DE ALTA  
PELIGROSIDAD SÍSMICA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR:**

REYES PEREDO GINO ROLANDO

**TUTOR:**

Ing. Villao Vera Raúl Andrés, MSc.

**La Libertad - Ecuador**

2025

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015  
DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES  
DE DOS PISOS UBICADAS EN SECTORES DE ALTA  
PELIGROSIDAD SÍSMICA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR:**

REYES PEREDO GINO ROLANDO


**TUTOR:**

Ing. Villao Vera Raúl Andrés, MSc.

**La Libertad - Ecuador**


2025

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.   
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Ph.D.  
DIRECTOR DE CARRERA

f.   
Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc.  
DOCENTE TUTOR

f.   
Ing. Vianna Pincargote Rovello MSc.  
DOCENTE ESPECIALISTA

f.   
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.  
DOCENTE UIC

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a mi familia por ser apoyo fundamental en cada paso que doy en mi vida y a todas aquellas personas que me enseñaron que los sueños se construyen con esfuerzo, disciplina y fe.

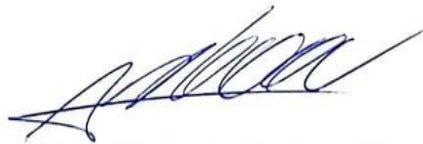
***REYES PEREDO GINO ROLANDO***

# **CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO**

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015 DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE DOS PISOS UBICADA EN SECTORES DE ALTA PELIGROSIDAD SÍSMICA”** elaborado por **REYES PEREDO GINO ROLANDO**, estudiante egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:



---

**Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc.**

**C.I. 0924204290**

**DOCENTE TUTOR**

**rvillao@upse.edu.ec**



## REYES PEREDO GINO (2) (1)

5%  
Textos sospechosos



0% Similitudes

0 % similitudes entre comillas  
0 % entre las fuentes mencionadas

< 1% Idiomas no reconocidos

4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: REYES PEREDO GINO (2) (1).docx  
ID del documento: 45dc794058cd9576e19cc9994cc92c95528d7e2b  
Tamaño del documento original: 40,63 kB

Depositante: RAUL ANDRES VILLOA VERA  
Fecha de depósito: 11/11/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 11/11/2025

Número de palabras: 7514  
Número de caracteres: 49.715

Ubicación de las similitudes en el documento:

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **REYES PEREDO GINO ROLANDO**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015 DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE DOS PISOS UBICADA EN SECTORES DE ALTA PELIGROSIDAD SÍSMICA**” no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a mi autoría.

Por medio de la presente declaro que cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



**REYES PEREDO GINO ROLANDO**

**C.I. 2450319310**

**AUTOR DE TESIS**

**[gino.reyesperedo@upse.edu.ec](mailto:gino.reyesperedo@upse.edu.ec)**

# **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**


Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015 DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE DOS PISOS UBICADA EN SECTORES DE ALTA PELIGROSIDAD SÍSMICA” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr. Reyes Peredo Gino Rolando, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado la presente Tesis de Grado, la apruebo en todas sus partes.

**TUTOR**



**Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc.**

**C.I. 2450319310**

**DOCENTE TUTOR**

**rvillao@upse.edu.ec**

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

*Certificación de Gramatólogo*

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

*Magíster En Diseño Y Evaluación*

*De Modelos Educativos*

La Libertad, noviembre 6 del 2025

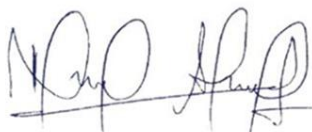
## Certifica:

Que, después de revisar el contenido del trabajo de integración cunicular presentado en opción al título de Ingeniero Civil por el Sr. Reyes Peredo Gino Rolando, cuyo tema es:

"EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015 DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE DOS PISOS UBICADAS EN SECTORES DE ALTA PELIGROSIDAD SÍSMICA."

me permito manifestar que el trabajo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado correspondiente.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Herrera R, MSc.  
Docente de Español A: Literatura  
Cel: 0962989420  
e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme alcanzar una meta más en mi vida y por brindarme siempre fortaleza, sabiduría y fe.

A mis padres, por su amor incondicional y por estar a mi lado en todo momento, apoyándome con paciencia y cariño en cada etapa de este camino.

A mi esposa y a mi pequeña Lía, quienes con su ternura y alegría me inspiran cada día a ser mejor persona y a esforzarme por brindarles lo mejor.

A mis amigos, por acompañarme siempre con palabras de aliento, motivación y apoyo incondicional en cada paso de este proceso.

# INDICE

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE TABLAS .....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	21
1.2. ANTECEDENTES .....	22
1.2.1. Antecedentes internacionales. ....	23
1.2.2. Antecedentes nacionales. ....	24
1.2.3. Antecedentes locales.....	24
1.3. HIPÓTESIS.....	25
1.3.1. Hipótesis General. ....	25
1.3.2. Hipótesis específicas.....	25
1.4. OBJETIVOS.....	26
1.4.1. Objetivo General.....	26
1.4.2. Objetivos específicos. ....	26
1.5. ALCANCE.....	26
1.6. VARIABLES.....	27

1.6.1.	Variables independientes. ....	27
1.6.2.	Variables Dependientes. ....	27
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....		28
2.1.	RIESGO SÍSMICO Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL .....	29
2.2.	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES .....	30
2.3.	PRINCIPIOS DEL DISEÑO BASADO EN DESEMPEÑO.....	31
2.3.1.	Niveles de desempeño estructural. ....	31
2.4.	NORMATIVAS APLICABLE EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN ECUADOR. ....	32
2.4.1.	Norma ecuatoriana de la construcción NEC-15.....	32
2.4.2.	Código de Construcción para Concreto Estructural ACI 318-19....	35
2.5.	ESTÁNDAR TÉCNICO DE LA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ASCE/SEI 7-22.....	35
2.5.1.	Diseño Sísmico de estructuras Eurocódigo 8 EN 1998-1.....	38
2.6.	LIMITACIONES DEL USO EXCLUSIVO DE SECCIONES MÍNIMAS: ESTUDIOS QUE EVIDENCIAN VULNERABILIDADES .....	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		42
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION .....	42
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	42
3.1.2.	Nivel de Investigación. ....	42
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	42
3.2.1.	Método.....	42
3.2.2.	Enfoque.....	43
3.2.3.	Diseño.....	43
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....	43
3.3.1.	Población.....	43

3.3.2.	Muestra.....	44
3.3.3.	Muestreo.....	44
3.4.	METODOLOGÍA O.E.1. DISEÑAR Y MODELAR UNA VIVIENDA TIPO DE DOS PISOS.....	44
3.5.	ALCANCE Y CRITERIOS DE APLICABILIDAD.....	45
3.6.	DEFINICIÓN DEL CASO USADO COMO EJEMPLO .....	47
3.6.1.	Geometría y niveles.....	47
3.6.2.	Método de diseño DBF.....	48
3.6.3.	Cargas.....	48
3.6.4.	Zona sísmica.....	50
3.6.5.	Columnas.....	54
3.6.6.	Columnas.....	55
3.6.7.	Diseño de vigas.....	57
3.6.8.	Diseño de losa aligerada en una dirección.....	63
3.6.9.	Modelado Estructural en ETABS Ultimate v22.....	64
3.7.	METODOLOGÍA O.E.2. SIMULAR Y COMPARAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.....	69
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....		71
4.1.	RESULTADOS O.E.1. DISEÑAR Y MODELAR UNA VIVIENDA TIPO DE DOS PISOS.....	71
4.1.1.	Configuración geométrica estructural resultante.....	71
4.1.2.	Secciones estructurales mínimas obtenidas.....	71
4.1.3.	Propiedades de los materiales utilizados.....	72
4.1.4.	Modelo estructural final obtenido en ETABS v22.....	73
4.1.5.	Cargas gravitatorias aplicadas al prototipo.....	75

4.2. RESULTADOS DE O.E.2. SIMULAR Y COMPARAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.....	77
4.2.1. Masa sísmica.....	77
4.2.2. Fuerzas sísmicas y cortante basal.....	77
4.2.3. Derivas de piso.....	78
4.2.4. Desplazamientos laterales globales.....	79
4.2.5. Revisión de esfuerzos internos en columnas críticas.....	81
4.2.1. Revisión de esfuerzos internos en vigas críticas.....	86
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	91
4.3. CONCLUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.....	91
4.4. CONCLUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXOS.....	96

## LISTA DE FIGURAS

<b>Ilustración 1</b> Mapa de zonificación sísmica del Ecuador – NEC 2015, para ilustrar visualmente las zonas de alta peligrosidad sísmica. ....	29
<b>Ilustración 2</b> Zona sísmica de estudio. ....	51
<b>Ilustración 3</b> Configuración de materiales en ETABS ( $a = \text{acero}$ ; $b = \text{hormigón}$ ). .....	66
<b>Ilustración 4</b> Modelo en ETABS. ....	68
<b>Ilustración 5</b> Modelo tridimensional general de la estructura en ETABS. ....	74
<b>Ilustración 6</b> Diafragmas rígidos en cada planta con excentricidad del 5%. ....	74
<b>Ilustración 7</b> Deriva para sismo en $X$ e $Y$ para caso $Z=0.5$ . ....	79
<b>Ilustración 8</b> Deriva para sismo en $X$ e $Y$ para caso $Z=0.7$ . ....	79
<b>Ilustración 9</b> Desplazamiento para sismo en $X$ e $Y$ para caso $Z=0.5$ . ....	80
<b>Ilustración 10</b> Desplazamiento para sismo en $X$ e $Y$ para caso $Z=0.7$ . ....	80
<b>Ilustración 11</b> Diagrama de interacción para columnas de $25 \times 25$ , caso $Z=0.5$ . ....	82
<b>Ilustración 12</b> Diagrama de interacción para columnas de $25 \times 25$ , caso $Z=0.7$ con la configuración de acero de la Ilustración 12. ....	83
<b>Ilustración 13</b> Diagrama de interacción para columnas de $25 \times 30$ , caso $Z=0.7$ . ....	84
<b>Ilustración 14</b> Diagrama de interacción para columnas de $20 \times 20$ , caso $Z=0.5$ . ....	85
<b>Ilustración 15</b> Diagrama de interacción para columnas de $20 \times 25$ , caso $Z=0.7$ . ....	86

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Niveles de desempeño. ....	32
<b>Tabla 2</b> Resumen normativo (NEC-2015) para vivienda unifamiliar: requisitos clave por elemento. ....	34
<b>Tabla 3</b> Parámetros sísmicos y filosofía de diseño: NEC-2015 vs. ACI 318-19 vs. ASCE/SEI 7-22 vs. Eurocódigo 8. ....	36
<b>Tabla 4</b> Dimensiones mínimas de columnas. ....	37
<b>Tabla 5</b> Acero longitudinal y estribos. ....	38
<b>Tabla 6</b> Escenarios de prueba. ....	44
<b>Tabla 7</b> Aplicabilidad de la norma. ....	45
<b>Tabla 8</b> Requisitos mínimos en función del número de pisos de la vivienda con pórticos de hormigón y losas. ....	47
<b>Tabla 9</b> Combinaciones de carga. ....	48
<b>Tabla 10</b> Cargas muertas aplicadas a la losa de entrepiso. ....	49
<b>Tabla 11</b> Cargas muertas aplicadas a cubierta inaccesible. ....	50
<b>Tabla 12</b> Cargas vivas aplicadas a la vivienda. ....	50
<b>Tabla 13</b> Tipo de suelo y factores de sitio $F_a$ . ....	51
<b>Tabla 14</b> Tipo de suelo y factores de sitio $F_d$ . ....	52
<b>Tabla 15</b> Tipo de suelo y factores de sitio $F_s$ . ....	52
<b>Tabla 16</b> Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. ....	53
<b>Tabla 17</b> Sistemas estructurales de vivienda resistentes a cargas sísmicas. ....	54
<b>Tabla 18</b> Ubicación y áreas. ....	55
<b>Tabla 19</b> Cálculo de armados para columnas. ....	57
<b>Tabla 20</b> Secciones estructurales finales del prototipo. ....	72
<b>Tabla 21</b> Propiedades mecánicas utilizadas en el prototipo. ....	73
<b>Tabla 22</b> Resumen de modificadores de rigidez empleados. ....	75
<b>Tabla 23</b> Cargas aplicadas a la losa de entrepiso. ....	75
<b>Tabla 24</b> Cargas aplicadas a cubierta inaccesible. ....	75
<b>Tabla 25</b> Masa sísmica considerada en modelo de Etabs. ....	77
<b>Tabla 26</b> Cortante basal obtenido para la masa sísmica $D+0.25L$ . ....	77
<b>Tabla 27</b> Derivas máximas de piso para cada caso. ....	78

<b>Tabla 28</b>	<i>Esfuerzos internos máximos en columnas (Story1, Sismo en X).</i>	82
<b>Tabla 29</b>	<i>Esfuerzos internos máximos en columnas (Story2, Sismo en X).</i>	85
<b>Tabla 30</b>	<i>Momentos y cortantes últimos sísmicos de vigas principales.</i>	87
<b>Tabla 31</b>	<i>Área de acero de diseño para vigas principales.</i>	87
<b>Tabla 32</b>	<i>Momentos y cortantes últimos sísmicos de vigas principales.</i>	89
<b>Tabla 33</b>	<i>Área de acero de diseño para vigas principales del segundo piso.</i>	89

# “EVALUACIÓN ACORDE A LA NORMA NEC VIVIENDA 2015 DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE DOS PISOS UBICADA EN SECTORES DE ALTA PELIGROSIDAD SÍSMICA”

**Autor:** Reyes Peredo Gino Rolando

**Tutor:** Raul Andres Villao Vera MSc.

## RESUMEN

El estudio evaluó el predimensionamiento de una edificación de vivienda de dos pisos conforme a la NEC-Vivienda 2015, verificando la validez de las secciones mínimas prescritas cuando la estructura se encuentra en zonas de alta sismicidad ( $Z = 0,50$  y  $Z = 0,70$ ). El proceso de predimensionamiento permitió establecer columnas de  $25 \times 25$  cm y  $20 \times 20$  cm, vigas de  $20 \times 35$  cm y una losa aligerada de 20 cm, cumpliendo con los criterios de recubrimiento, cuantías mínimas y restricciones geométricas del método simplificado. Las cargas muertas, vivas, de tabiquería y masa sísmica se definieron siguiendo NEC-SE-Cargas y NEC-SE-DS.

La modelación en ETABS Ultimate v22, utilizando diafragmas rígidos y modificadores de rigidez normativos, permitió obtener un modelo tridimensional regular en planta y elevación, condición necesaria para la aplicación del método simplificado. El análisis estructural evidenció que el comportamiento global de la edificación cumple adecuadamente para ambos factores sísmicos  $Z$ , manteniendo derivas dentro de los límites normativos. Sin embargo, al evaluar la resistencia individual de los elementos, se constató que las columnas predimensionadas son suficientes para  $Z = 0,50$ , pero no para  $Z = 0,70$ , siendo necesario incrementar sus dimensiones para satisfacer la demanda sísmica.

En el caso de las vigas, la sección predimensionada resultó adecuada para  $Z = 0,50$  siempre que se incorpore el refuerzo requerido, pero no cumple para  $Z = 0,70$ , por lo que debe verificarse la sección considerando las solicitaciones sísmicas antes de su adopción definitiva. Finalmente, se concluye que el cumplimiento del comportamiento global no garantiza, por sí solo, el cumplimiento por resistencia de los elementos, por lo que ambos criterios deben verificarse simultáneamente para asegurar la idoneidad del diseño.

**Palabras clave:** NEC-Vivienda 2015, análisis sísmico, derivas, vivienda de dos pisos.

# EVALUATION ACCORDING TO NEC-VIVIENDA 2015 OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TWO-STORY BUILDINGS LOCATED IN HIGH SEISMIC HAZARD AREAS

**Author:** Reyes Peredo Gino Rolando

**Advisor:** Raul Andres Villao Vera, MSc.

## ABSTRACT

The study assessed the preliminary sizing of a two-story housing structure according to NEC-Vivienda 2015, verifying whether the minimum prescribed sections remain adequate for high-seismicity zones ( $Z = 0.50$  and  $Z = 0.70$ ). The preliminary design yielded 25×25 cm and 20×20 cm columns, 20×35 cm beams, and a 15-cm lightweight slab, all meeting the cover, minimum reinforcement, and geometric requirements of the simplified method. Dead loads, live loads, partition loads, and seismic mass were defined following NEC-SE-Loads and NEC-SE-DS, ensuring realistic residential building conditions. The ETABS Ultimate v22 structural model, incorporating rigid diaphragms and code-compliant stiffness modifiers, resulted in a three-dimensional structure regular in plan and elevation, which is essential for the simplified method.

Structural analysis showed that the global behavior meets code limits for both seismic factors, with interstory drifts remaining acceptable. However, when analyzing individual member strength, the minimum column dimensions were adequate for  $Z = 0.50$  but insufficient for  $Z = 0.70$ , requiring larger sections to satisfy seismic demand. For the beams, the preliminary section worked for  $Z = 0.50$  with adequate reinforcement but did not meet the requirements for  $Z = 0.70$ , making it necessary to verify the chosen dimensions against seismic actions prior to final selection.

Overall, the study concludes that meeting global behavior criteria does not guarantee compliance of individual elements under strength requirements; therefore, both global and local checks must be fulfilled to ensure a reliable structural design.

**Keywords:** *NEC-Vivienda 2015, seismic analysis, drifts, two-story housin.*

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La costa del Ecuador constituye una de las regiones con mayor peligrosidad sísmica del país, debido a la interacción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, enmarcada dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico.

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), amplias zonas del litoral se clasifican como Zona Sísmica 6, asociadas a aceleraciones sísmicas significativas que exigen un diseño estructural fundamentado en criterios estrictamente sismorresistentes. En estos sectores, gran parte de las viviendas de interés social y familiar de dos pisos se ejecutan con recursos económicos limitados, aplicando de manera empírica las secciones mínimas definidas por la NEC-VIVIENDA 2015, sin recurrir a un análisis estructural detallado que verifique su capacidad frente a movimientos sísmicos de gran magnitud.

La experiencia del terremoto de Pedernales (2016) evidenció las consecuencias de esta práctica constructiva. Numerosas edificaciones que cumplían con las dimensiones mínimas normativas en columnas, vigas y muros presentaron fallas estructurales severas o colapsos parciales y totales (Castañeda & Mieles, 2017).

Estos hechos demostraron que cumplir únicamente con los requisitos dimensionales no garantiza la seguridad estructural, y que es necesario complementar los parámetros mínimos de diseño con evaluaciones de desempeño sísmico y verificación del comportamiento inelástico de los sistemas estructurales.

Desde un punto de vista técnico, la NEC-VIVIENDA 2015 establece dimensiones mínimas orientadas a asegurar un nivel básico de estabilidad y rigidez en edificaciones de hasta dos plantas. Sin embargo, diversos estudios (García, 2021; Moreno, 2022) advierten que, cuando dichas dimensiones se aplican sin considerar las cargas, derivas y deformaciones reales, podrían resultar insuficientes ante aceleraciones sísmicas elevadas, como las que se presentan en la Zona Sísmica 6.

La aplicación generalizada de estas secciones mínimas, frecuentemente motivada por la búsqueda de reducción de costos y tiempos de construcción, plantea un conflicto técnico entre los principios de economía y seguridad estructural, que debe

resolverse mediante un análisis racional y verificado del comportamiento sísmico de la edificación.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito evaluar el comportamiento estructural y el desempeño sísmico de una vivienda tipo de dos pisos construida bajo las secciones mínimas de la NEC Vivienda 2015, localizada en Zona Sísmica 6 del mapa de peligrosidad del litoral ecuatoriano, pero usando un factor  $Z=0.5$  y  $Z=0.7$ . Para ello, el modelado de la estructura mediante software ETABS, incorporando tanto las propiedades geométricas como las condiciones mecánicas de los elementos estructurales. Posteriormente, se aplicarán cargas gravitacionales (peso propio, cargas muertas y vivas) y cargas dinámicas derivadas de la zonificación sísmica correspondiente.

El análisis se orienta al estudio de parámetros técnicos fundamentales, tales como los desplazamientos laterales, las derivas de entrepiso, y los esfuerzos y momentos desarrollados en los principales elementos estructurales. Los resultados obtenidos fueron contrastados con los límites permisibles establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y con los criterios internacionales de referencia, particularmente los contenidos en la ACI 318-19 (American Concrete Institute Committee 318, 2019) y la ASCE/SEI 7-22 (American Society of Civil Engineers, 2022). Este procedimiento permitió determinar si las secciones mínimas prescritas por la NEC-VIVIENDA 2015 resultan suficientes para garantizar la seguridad estructural, o si, por el contrario, se requiere un redimensionamiento de los elementos para asegurar un desempeño sísmico adecuado.

La relevancia de esta investigación radica en su aporte técnico y académico al conocimiento del comportamiento estructural de edificaciones de baja altura en zonas de alta sismicidad. Los hallazgos de esta investigación constituyen una base técnica para la formulación de recomendaciones de diseño estructural, contribuyendo al fortalecimiento de la cultura de la prevención y la gestión del riesgo sísmico.

## 1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La costa del Ecuador constituye una de las regiones con mayor peligrosidad sísmica del país, debido a la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), extensas zonas del litoral se clasifican como Zona Sísmica 6, con aceleraciones sísmicas de diseño que oscilan entre 0.5g y 0.7g, valores que requieren un diseño estructural sismorresistente riguroso. En estos sectores, gran parte de las viviendas de interés social y familiar de hasta dos pisos se construyen con recursos económicos limitados y, en muchos casos, sin la participación de profesionales especializados en ingeniería estructural. Como resultado, se aplican de forma empírica las secciones mínimas establecidas en la NEC-VIVIENDA 2015, sin verificaciones analíticas que aseguren un comportamiento estructural adecuado frente a movimientos sísmicos severos.

La experiencia del terremoto de Pedernales (2016) puso en evidencia la vulnerabilidad del parque habitacional del litoral ecuatoriano. Numerosas viviendas construidas bajo criterios mínimos de diseño presentaron fallas estructurales significativas, tales como agrietamientos, pandeo de columnas, desprendimiento de vigas y, en algunos casos, colapsos totales o parciales (Castañeda & Mieles, 2017). Estos hechos demostraron que cumplir únicamente con las dimensiones mínimas normativas no garantiza la seguridad estructural, sobre todo en edificaciones ubicadas en zonas de alta demanda sísmica. El evento de 2016 evidenció la necesidad de revisar y validar experimentalmente o mediante simulaciones estructurales la eficacia de las disposiciones mínimas contempladas en la NEC-VIVIENDA 2015.

Desde un punto de vista técnico, la NEC-VIVIENDA define secciones mínimas y límites de luces con el propósito de simplificar el diseño estructural de viviendas de hasta dos plantas. Sin embargo, diversos estudios recientes (García, 2021; Moreno, 2022) advierten que la aplicación directa de estos valores, sin considerar parámetros de ductilidad, rigidez lateral y desempeño sísmico, puede resultar insuficiente en zonas donde la aceleración del terreno supera los valores promedio de diseño.

El uso indiscriminado de las dimensiones mínimas, motivado por la reducción de costos y tiempos de ejecución, plantea un conflicto entre los principios de economía y seguridad estructural, generando edificaciones vulnerables ante movimientos sísmicos moderados o intensos.

Frente a este escenario, surge la necesidad de evaluar de manera técnica y cuantitativa si las secciones mínimas y el método simplificado propuestos por la NEC-VIVIENDA 2015 son efectivamente capaces de garantizar la seguridad estructural y la estabilidad sísmica de viviendas de dos pisos construidas en zonas clasificadas como Zona Sísmica 6. El presente estudio plantea el diseño y modelación de una vivienda tipo, bajo los criterios normativos mínimos, para posteriormente analizar su comportamiento estructural frente a las demandas sísmicas correspondientes a cada zona mediante simulación estructural en ETABS.

Los resultados permitirán establecer si la normativa vigente asegura un desempeño adecuado o si es necesario ajustar los parámetros de diseño para estas condiciones. La pregunta de investigación se puede enmarcar en: ¿Las secciones mínimas y luces máximas establecidas por la NEC-VIVIENDA 2015 garantizan la seguridad estructural y el desempeño sísmico adecuado de las viviendas de dos pisos ubicadas en zonas de alta y muy alta peligrosidad sísmica ( $Z = 0,50$  y  $Z = 0,70$ ) del litoral ecuatoriano?

## **1.2. ANTECEDENTES**

El análisis de antecedentes constituye un componente esencial en toda investigación, ya que permite contextualizar el problema de estudio a partir de los aportes teóricos y empíricos existentes. Esta revisión posibilita identificar avances relevantes, detectar vacíos de conocimiento y sustentar la pertinencia y necesidad del trabajo. En el presente estudio, los antecedentes se agrupan en tres niveles: internacional, que aborda experiencias en países con condiciones sísmicas comparables; nacional, que refleja la realidad estructural ecuatoriana; y local, centrado en las prácticas constructivas del litoral, especialmente en la provincia de Santa Elena.

### **1.2.1. Antecedentes internacionales.**

El comportamiento estructural de viviendas en zonas sísmicas ha sido ampliamente analizado en la literatura técnica, particularmente en países del Cinturón de Fuego del Pacífico, donde la actividad sísmica es recurrente.

Según Chopra (2017) en *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, el diseño sismorresistente requiere considerar no solo las dimensiones mínimas de los elementos estructurales, sino también la interacción dinámica entre la estructura y las cargas horizontales inducidas por los sismos. De forma complementaria, Bertero y Bertero (2002), en *Performance-Based Seismic Engineering*, plantean la necesidad de un diseño basado en desempeño, el cual evalúa la respuesta real de las edificaciones ante diferentes niveles de demanda sísmica, superando el enfoque limitado del cumplimiento normativo mínimo.

En Perú y Chile, países con contextos sísmicos similares al Ecuador, las investigaciones han demostrado la vulnerabilidad de las viviendas diseñadas bajo criterios simplificados. Cubas (2021), en su estudio *Evaluación de estructuras de vivienda en zonas de amenaza sísmica en Perú*, concluyó que las edificaciones que adoptaron únicamente las secciones mínimas normativas presentaron derivas y esfuerzos por encima de los límites admisibles durante las simulaciones dinámicas.

Asimismo, Carr (2016) en *Respuesta estructural en edificaciones de concreto reforzado en zonas sísmicas* y Díaz (2017) en *Estudio del comportamiento de estructuras de concreto reforzado frente a sismos*, evidenciaron que las viviendas de concreto armado diseñadas sin modelación estructural rigurosa sufrieron daños severos durante los eventos sísmicos registrados en ambos países. Estos estudios internacionales subrayan la importancia de verificar la respuesta estructural mediante análisis dinámicos y no lineales, incluso en edificaciones de baja altura.

### **1.2.2. Antecedentes nacionales.**

En el contexto ecuatoriano, la problemática es similar. Tras el terremoto de Pedernales (2016), diversos análisis académicos y técnicos revelaron que un alto porcentaje de viviendas colapsadas cumplían formalmente con las dimensiones mínimas de la NEC, pero carecían de un diseño estructural completo que garantizara la capacidad de disipación de energía y ductilidad necesarias.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) introdujo mejoras importantes respecto a la normativa anterior, pero no incluye una validación experimental del método simplificado aplicado en edificaciones residenciales de dos pisos.

En este sentido, el reto técnico radica en comprobar la suficiencia real de las secciones mínimas definidas por la NEC-VIVIENDA frente a escenarios de sismicidad elevada.

### **1.2.3. Antecedentes locales.**

En el litoral ecuatoriano, particularmente en las provincias de Santa Elena y Manabí, la construcción de viviendas unifamiliares se caracteriza por un equilibrio precario entre economía y seguridad estructural. La NEC-VIVIENDA 2015 se utiliza como referencia principal debido a su simplicidad y bajo costo de aplicación, aunque muchas veces se ejecuta sin estudios de cargas ni modelación estructural.

De acuerdo con Jiménez (2022) en Diseño sismorresistente de estructuras de vivienda en zonas costeras y Rojas (2020) en Análisis de desempeño estructural en zonas de alta amenaza sísmica, estas construcciones suelen omitir factores críticos como la interacción suelo–estructura, la calidad del concreto y la configuración arquitectónica, los cuales influyen directamente en el desempeño sísmico.

Investigaciones aplicadas por la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) confirman que numerosas viviendas localizadas en zonas clasificadas

como Zona Sísmica 6 carecen de diseños estructurales completos, limitándose al cumplimiento dimensional mínimo exigido por la norma.

Aunque estas edificaciones cumplen formalmente con los requisitos básicos de la NEC, presentan vulnerabilidades estructurales evidentes cuando se someten a simulaciones sísmicas o eventos reales de gran magnitud.

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis General.**

La evaluación del comportamiento estructural de una vivienda de dos pisos diseñada conforme a la NEC Vivienda 2015, aplicando el método simplificado y considerando los factores sísmicos correspondientes a zonas de muy alta amenaza ( $Z = 0.50$  y  $Z = 0.70$ ), se demostrará que las secciones mínimas normativas podrán garantizar un nivel de seguridad estructural aceptable, siempre que se cumplan las condiciones de regularidad y materiales establecidas por la norma.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas.**

**H.E.1.:** Si se diseña y modela una vivienda tipo utilizando las luces máximas y secciones mínimas definidas por la NEC Vivienda 2015, entonces el modelo estructural reproducirá un comportamiento representativo del límite de aplicabilidad del método simplificado, permitiendo analizar su capacidad de resistencia y deformación conforme a los criterios de la NEC-SE-DS

**H.E.2:** Si se simula y compara el comportamiento estructural del prototipo bajo los factores sísmicos de  $Z = 0.50$  y  $Z = 0.70$ , entonces se evidenciará un incremento significativo en las demandas de derivas, cortantes y momentos, lo cual permitirá determinar si el diseño basado en  $Z = 0.70$  resulta insuficiente para garantizar la seguridad estructural en las zonas de peligro sísmico alto del Ecuador.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Evaluar el comportamiento estructural de una vivienda de dos pisos diseñada conforme a la NEC Vivienda 2015, aplicando el método simplificado de diseño y comparando su respuesta sísmica con los parámetros exigidos por la NEC-SE-DS, para determinar si las secciones mínimas establecidas garantizan un nivel adecuado de seguridad estructural en zonas de alta y muy alta amenaza sísmica del Ecuador.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

**O.E.1.:** Diseñar y modelar una vivienda tipo de dos pisos con luces máximas y secciones mínimas permitidas por la NEC Vivienda 2015, para obtener un prototipo estructural representativo de la aplicación límite del método simplificado.

**O.E.2:** Simular y comparar el comportamiento estructural del prototipo bajo distintos factores de zonificación sísmica ( $Z = 0.50$  y  $Z = 0.70$ ) mediante análisis lineal, para cuantificar las variaciones en derivas, esfuerzos y capacidad resistente frente a las demandas sísmicas establecidas por la NEC-SE-DS.

## **1.5. ALCANCE**

La investigación se centró en la evaluación estructural de una vivienda tipo de dos pisos, diseñada conforme a las secciones mínimas y luces máximas establecidas por la NEC-VIVIENDA 2015, con el objetivo de verificar su desempeño frente a niveles de zonificación sísmica  $Z = 0.50$  y  $Z = 0.70$ .

El estudio se limitó al análisis estructural numérico, desarrollado mediante el software ETABS 2025, considerando materiales, cargas y condiciones de borde definidas por la NEC-SE-DS 2015.

No se incluyó la fase constructiva ni el análisis experimental en campo, por lo que los resultados corresponden exclusivamente a simulaciones computacionales bajo hipótesis normativas.

El alcance del trabajo abarcó la modelación, diseño, verificación y comparación del comportamiento estructural de la edificación en términos de derivas, desplazamientos, esfuerzos y desempeño sísmico, con el propósito de determinar si las disposiciones mínimas normativas garantizan la seguridad estructural en zonas de alta y muy alta amenaza sísmica del litoral ecuatoriano.

## 1.6. VARIABLES

### 1.6.1. Variables independientes.

Secciones mínimas prescritas por la NEC Vivienda 2015.

- **Definición conceptual:** Son las dimensiones mínimas de los elementos estructurales (vigas, columnas, muros portantes) establecidas por la normativa NEC Vivienda 2015, destinadas a garantizar la estabilidad y seguridad básica de las viviendas de hasta dos pisos.
- **Dimensiones:**

Secciones transversales de los elementos estructurales.

Propiedades geométricas de los elementos estructurales.

### 1.6.2. Variables Dependientes.

Comportamiento estructural de la vivienda frente a cargas sísmicas.

- **Definición conceptual:** Es la respuesta de la estructura (en términos de esfuerzos, desplazamientos y derivas) ante las cargas sísmicas establecidas por los factores  $Z$  a comparar, evaluada para determinar si cumple con los límites normativos.
- **Dimensiones:**
  - Esfuerzos máximos (cortantes, momentos).
  - Desplazamientos laterales.
  - Derivas de entrepiso.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

La ingeniería sismorresistente constituye una rama de la ingeniería estructural orientada al análisis, diseño y construcción de edificaciones capaces de resistir movimientos sísmicos sin experimentar colapsos ni pérdidas significativas de funcionalidad. Su propósito fundamental es proteger la vida humana y garantizar la estabilidad estructural frente a eventos sísmicos de diversa intensidad (Bertero & Bertero, 2002).

De acuerdo con Chopra (2017), el diseño sismorresistente se basa en comprender el comportamiento dinámico de las estructuras ante cargas horizontales inducidas por la aceleración del terreno. Dicho comportamiento depende de tres factores principales:

- La demanda sísmica, determinada por las características del movimiento del suelo y la zonificación sísmica del lugar;
- La capacidad estructural, que se define por la resistencia, rigidez y ductilidad del sistema; y
- La interacción entre demanda y capacidad, la cual determina el nivel de daño esperado y el desempeño global de la edificación.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015) establece que las edificaciones deben diseñarse para soportar sin colapso los sismos severos y limitar los daños estructurales durante sismos moderados, preservando la integridad de los ocupantes y la funcionalidad mínima de la estructura.

Estos criterios coinciden con los principios del diseño basado en desempeño (Performance-Based Design) propuestos por la ASCE/SEI 7-22 (American Society of Civil Engineers, 2022) y la FEMA 356 (FEMA, 2000), donde se reconoce que no es económicamente viable diseñar estructuras que permanezcan completamente elásticas durante sismos intensos, pero sí es posible garantizar que no se produzcan colapsos ni pérdidas de vida mediante el control de derivas, ductilidad y disipación de energía.

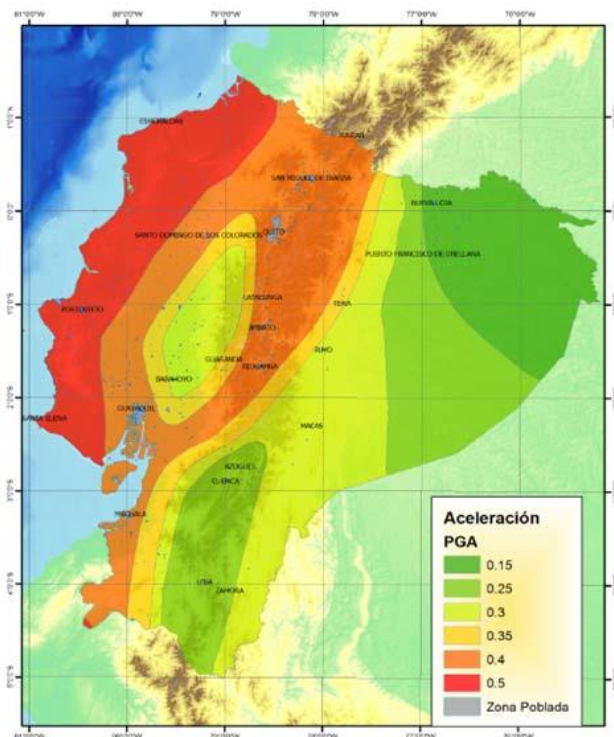
## 2.1. RIESGO SÍSMICO Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

El riesgo sísmico se define como la probabilidad de que un evento sísmico cause daños de cierta magnitud en una zona y periodo determinados. Este riesgo resulta de la combinación de tres componentes:

- **Peligro sísmico (Hazard):** la amenaza natural asociada al movimiento del suelo.
- **Exposición:** el número y tipo de personas, edificaciones o infraestructuras susceptibles de sufrir daños.
- **Vulnerabilidad:** la propensión de las estructuras a sufrir deterioros o colapsos ante un movimiento sísmico dado (Kramer, 1996).

### Ilustración 1

*Mapa de zonificación sísmica del Ecuador – NEC 2015, para ilustrar visualmente las zonas de alta peligrosidad sísmica.*



*Nota.* Fuente: NEC 2015

Según la NEC-SE-DS (2015), el territorio ecuatoriano presenta una zonificación sísmica que varía desde  $Z = 0.15$  en regiones de baja amenaza hasta  $Z = 0.50$  en áreas costeras y del noroccidente, donde la interacción de las placas tectónicas

genera aceleraciones sísmicas elevadas. En estas zonas, el riesgo estructural aumenta significativamente cuando las edificaciones se construyen sin diseño técnico o con aplicación empírica de las secciones mínimas normativas, lo que reduce su capacidad de disipar energía y de mantener un comportamiento estable ante demandas inelásticas (Jiménez, 2022).

El diseño sismorresistente moderno no busca eliminar completamente el daño, sino controlarlo dentro de límites aceptables que aseguren la protección de la vida y la prevención del colapso. Para ello, los códigos estructurales incorporan factores de reducción sísmica (R), coeficientes de importancia (I) y factores de comportamiento (C<sub>q</sub>), los cuales permiten que la estructura responda de manera controlada ante diferentes niveles de movimiento sísmico (ASCE, 2022; NEC-SE-DS, 2015).

## 2.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Los principios que rigen la ingeniería sismorresistente se sintetizan en los siguientes aspectos (Chopra, 2017; Paulay & Priestley, 1992):

- **Resistencia:** capacidad de los elementos estructurales para soportar las cargas inducidas por el sismo sin fallar.
- **Rigidez:** control del desplazamiento lateral para limitar derivas y proteger elementos no estructurales.
- **Ductilidad:** capacidad de la estructura para deformarse de manera inelástica sin pérdida significativa de resistencia.
- **Redundancia:** existencia de caminos alternativos para la transmisión de cargas cuando un elemento falla.
- **Regularidad:** distribución uniforme de masas y rigideces en planta y elevación, que evita concentraciones de esfuerzos y comportamientos torsionales.

El cumplimiento de estos principios asegura que la edificación mantenga un desempeño estructural aceptable frente a las demandas sísmicas previstas por las normativas ecuatorianas e internacionales. En este contexto, la NEC-VIVIENDA 2015 constituye una herramienta técnica que orienta el diseño de edificaciones de baja altura mediante un método simplificado, cuyo propósito es alcanzar niveles básicos de seguridad y servicio estructural en construcciones de hasta dos pisos.

### **2.3. PRINCIPIOS DEL DISEÑO BASADO EN DESEMPEÑO.**

El diseño basado en desempeño (Performance-Based Seismic Design, PBSB) constituye un enfoque moderno de la ingeniería estructural orientado a predecir y controlar el comportamiento real de las edificaciones ante la acción de los sismos, más allá del simple cumplimiento de requisitos normativos mínimos.

Este concepto, introducido por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) y desarrollado posteriormente por organismos como FEMA y ASCE, se fundamenta en el principio de que el diseño debe garantizar niveles de desempeño estructural y funcional predefinidos bajo distintos grados de demanda sísmica (Bertero & Bertero, 2002).

De acuerdo con FEMA 356 (2000) y ASCE/SEI 41-17 (American Society of Civil Engineers, 2017), el diseño basado en desempeño busca que una edificación responda de manera predecible y controlada, estableciendo criterios de aceptación no solo en términos de resistencia y estabilidad, sino también de daño permitido, seguridad de los ocupantes y continuidad operativa.

A diferencia del diseño tradicional, que se centra en cumplir con fuerzas estáticas equivalentes y factores de reducción sísmica, el PBSB considera la respuesta no lineal inelástica de los materiales y componentes estructurales, mediante la evaluación del nivel de daño y la capacidad de disipación de energía de la estructura.

#### **2.3.1. Niveles de desempeño estructural.**

Según ATC-40 (1996) y FEMA 440 (2005), los niveles de desempeño más comúnmente aceptados se clasifican en cuatro categorías principales:

**Tabla 1***Niveles de desempeño.*

<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción del comportamiento</b>	<b>Estado de daño</b>	<b>Objetivo de diseño</b>
<b>Operacional (IO)</b>	La estructura permanece funcional, con daños mínimos no estructurales.	Insignificante	Operación continua
<b>Seguridad de vida (LS)</b>	Se producen daños moderados; se preserva la estabilidad y no hay riesgo de colapso.	Moderado	Protección de vidas
<b>Prevención del colapso (CP)</b>	Daños severos; la estructura conserva su capacidad gravitacional sin derrumbe total.	Extenso	Evitar colapso global
<b>Colapso total (C)</b>	Pérdida de estabilidad y resistencia; falla estructural completa.	Crítico	No deseado

*Nota.* Fuente: ATC-40 y FEMA 440

## **2.4. NORMATIVAS APLICABLE EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN ECUADOR.**

### **2.4.1. Norma ecuatoriana de la construcción NEC-15.**

#### **2.4.1.1. Zonificación sísmica (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6).**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-2015 establece la zonificación sísmica nacional (Z1 a Z6) en función del peligro sísmico, donde Z5 y Z6 representan alta y muy alta amenaza, respectivamente. Esta zonificación define los parámetros de acción sísmica que alimentan el análisis (aceleraciones de diseño, espectros elásticos/inelásticos, factores de importancia y modificación de respuesta) y condiciona los requisitos de detallado para los sistemas estructurales en vivienda. En términos prácticos, un proyecto ubicado en Z6 debe verificarse con demandas sísmicas más severas y con criterios de ductilidad y confinamiento más estrictos que en zonas de menor peligrosidad sísmica (NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, 2015).

#### **2.4.1.2. *Requisitos para vivienda unifamiliar.***

El capítulo de Vivienda de la NEC-2015 define criterios mínimos para viviendas unifamiliares de hasta dos plantas, abarcando: (i) selección del sistema resistente (pórticos de hormigón armado, muros portantes de mampostería confinada u hormigón armado, diafragmas rígidos o semirrígidos), (ii) regularidad en planta y elevación, (iii) limitación de derivas de entrepiso para proteger elementos no estructurales y asegurar desempeño, (iv) criterios de continuidad y amarre entre elementos, y (v) detallado para zonas sísmicas altas (confinamiento, longitudes de anclaje, traslapes) (NEC-15, cap. Vivienda; NEC-SE-C: Hormigón Armado, 2015).

#### **2.4.1.3. *Secciones mínimas de elementos estructurales.***

Para viabilizar la construcción segura y económica de vivienda de dos niveles, la NEC-2015 provee dimensiones mínimas y condiciones de armado para columnas, vigas, muros y losas. Estas secciones mínimas constituyen una línea base de seguridad siempre y cuando se cumpla el análisis estructural y el detallado sísmico correspondiente; no sustituyen la verificación de resistencia, derivas y demandas de ductilidad (NEC-15, cap. Vivienda; NEC-SE-C, 2015). Las dimensiones mínimas pueden observarse en la **Tabla 1**.

#### **2.4.1.4. *Regularidad e irregularidades (planta y elevación).***

La regularidad en edificios de baja altura (como viviendas de dos pisos) es un principio clave del diseño sismorresistente, pues favorece una distribución uniforme de rigidez, resistencia y masa, reduce los efectos torsionales no deseados y facilita trayectorias de carga continuas hacia la cimentación. Por el contrario, las irregularidades introducen concentraciones de demanda (derivadas y cortantes de piso), amplificación torsional, activación de efectos  $P-\Delta$  y, en general, una mayor probabilidad de mecanismos frágiles si no se modelan y detallan adecuadamente. Las normativas (NEC-2015, ASCE/SEI 7-22, Eurocódigo 8) distinguen entre irregularidades en planta y en elevación, y establecen criterios cuantitativos

y requisitos de análisis y detallado más exigentes cuando dichas irregularidades están presentes (NEC-SE-DS; ASCE 7-22; EN 1998-1).

**Tabla 2**

*Resumen normativo (NEC-2015) para vivienda unifamiliar: requisitos clave por elemento.*

<b>Elemento</b>	<b>Requisito mínimo</b>	<b>Observaciones para Z6</b>
Columna (pórticos de H°A°)	1 piso: sección mínima 20×20 cm, 1% acero longitudinal; estribos Ø8 @10 cm. 2 pisos: Piso 1: 25×25 cm; Piso 2: 20×20 cm; 1% acero longitudinal; estribos Ø8 @10 cm. Se debe asegurar continuidad vertical.	En Z6 usar factores R del sistema: R=3 (vigas descolgadas). En terrenos no planos se requiere diseño detallado considerando torsión; las reglas simplificadas son insuficientes.
Vigas (banda, pórticos de H°A°)	1 piso: 15×20 cm; $A_s, \min = 14/f_y$ (superior e inferior); Ø8 @5 cm en L/4 (extremos) y @10 cm en el tramo central. 2 pisos: 20×20 cm; $A_s, \min = 14/f_y$ (sup/inf); Ø8 con los mismos espaciamientos.	Si se adopta viga banda, corresponde R=3. Verificar continuidad y detallado para demandas mayores en Z6.
Muros portantes de HA	Espesor mínimo $\geq H/30$ y $\geq 80$ mm. Cuantía mínima de refuerzo (vertical y horizontal) 0.0018 con $f_y=420$ MPa (o $0.0018 \cdot 420/f_y$ para malla, no menor a 0.0012). Deben anclarse a pisos, cubiertas, otros muros y zapatas.	Asegurar distribución balanceada de muros en ambas direcciones y su continuidad en toda la altura. Índice de densidad de muros (d%) por dirección: 2 pisos: $\geq 1.5\%$ ; 1 piso: $\geq 1\%$
Muros de mampostería confinada (elementos de confinamiento)	Vigas/columnas de confinamiento: espesor = espesor del muro y área mínima de sección = 200 cm <sup>2</sup> . Separación máx. de estribos: zonas críticas 10 cm; zonas intermedias 20 cm (en columnas también puede usarse $h_c/2$ ).	En Z6, priorizar amarres en todos los niveles (cimentación, entrepiso, cubierta) y cierre de vigas de amarre en planta. Si la losa maciza es $\geq 100$ mm, la norma permite prescindir de vigas de amarre proyectando la losa sobre el muro (con refuerzo requerido).
Losas (entrepiso)	Losa de H°A° monolítica con los muros; puede ser alivianada (pómez/poliestireno/hueca). Debe proveer diafragma rígido; espesor y refuerzo según cálculo estructural y ACI 318.	Para mejorar el amarre en Z6, es deseable losa maciza $\geq 100$ mm, lo que además habilita (por norma) prescindir de vigas de amarre proyectando la losa sobre

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### **2.4.2. Código de Construcción para Concreto Estructural ACI 318-19.**

El ACI 318-19 establece los requisitos de diseño y construcción del hormigón estructural, incluyendo disposiciones para regiones de alta sismicidad (Cap. 18: *Earthquake-Resistant Structures*). Destacan el detallado sísmico especial en MIEMBROS ESPECIALES (columnas, vigas y muros) para asegurar ductilidad y capacidad de disipación de energía (ACI Committee 318, 2019), reglas para confinamiento, cuantías mínimas/máximas, zonas críticas (plastic hinges) y capacidad de anclaje/traslape y enfoque explícito en jerarquía de resistencias (capacidad de columnas sobre vigas, diseño por capacidad en muros), compatible con la filosofía NEC.

### **2.5. ESTÁNDAR TÉCNICO DE LA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ASCE/SEI 7-22**

La ASCE/SEI 7-22 define las acciones mínimas (cargas gravitacionales y cargas sísmicas), los espectros de respuesta y los factores asociados a categoría de uso (importancia), sistemas estructurales (factor  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$ ) y límites de deriva. Es la base para la definición de demandas sísmicas de diseño en EE. UU. y referencia global para metodologías de análisis estático equivalente y análisis dinámico modal (ASCE, 2022). Su filosofía es coherente con NEC en cuanto a diseño por capacidad, ductilidad y control de derivas.

La comparación entre normativas internacionales es fundamental para comprender las diferencias en los criterios mínimos de dimensionamiento y detallado de columnas en zonas sísmicas. Aunque NEC-SE-DS 2015 adopta principios del ACI 318 para el diseño y confinamiento, este último —al igual que el ASCE/SEI 7-22— establece requisitos más precisos en cuanto a cuantías mínimas, espaciamientos de estribos y niveles de ductilidad según el sistema estructural elegido. Por su parte, el Eurocódigo 8 introduce una clasificación explícita por clases de ductilidad (DCL, DCM y DCH) que condiciona directamente el tamaño mínimo de los elementos y el grado de confinamiento requerido. Estas diferencias normativas influyen en la

selección de secciones, la cuantía de acero y el desempeño sísmico esperado, por lo que resulta necesario contrastar sus criterios para establecer los parámetros mínimos aceptables en columnas sometidas a demanda sísmica significativa.

**Tabla 3**

*Parámetros sísmicos y filosofía de diseño: NEC-2015 vs. ACI 318-19 vs. ASCE/SEI 7-22 vs. Eurocódigo 8.*

Norma	Parámetro clave ( $R/q, \Omega_0, Cd/deriva$ )	Ductilidad / Clase
NEC-2015	Usa R (factor de reducción productivdad/sobre resistencia). Derivas y espectros definidos por zonificación Z6. La verificación de desplazamientos es obligatoria (enfoque equivalente a usar Cd para amplificar derivas según el método de análisis).	Exige comportamiento dúctil en Z6 y regularidad en planta/elevación; se permite enfoque simplificado en vivienda solo si se cumplen condiciones geométricas y de detallado.
ACI 318-19	No define $R/\Omega_0/Cd$ (eso lo da ASCE/NEC). ACI aporta criterios de resistencia y detallado; derivas se verifican con la norma de cargas (ASCE/NEC).	Define sistemas ordinarios/intermedio/especial (p. ej., pórtico especial, muro especial) con distinta exigencia de ductilidad.
ASCE/SEI 7-22	Define R, $\Omega_0$ , Cd por sistema (tabla de sistemas). Valores típicos p. ej. pórtico de momento especial de $H^{\circ}A^{\circ}$ : $R \approx 8, \Omega_0 \approx 3, Cd \approx 5.5$ (ver tabla específica según sistema). Limita derivas por categoría de riesgo.	La ductilidad se embebe vía elección del sistema ( $R$ alto $\Rightarrow$ mayor ductilidad) y se exige categoría de diseño sísmico según peligro/localidad/uso.

Eurocódigo 8 (EN 1998-1)	Usa q (análogo a R). Rangos típicos: DCL $q \approx 1.5-2$ , DCM $q \approx 3-4$ , DCH $q \approx 4-6$ (según sistema/regularidad). Control explícito de deriva (límite de daño/servicio).	Tres clases de ductilidad: DCL (baja), DCM (media), DCH (alta). La clase condiciona q y detallado.
--------------------------	---	---

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4**

*Dimensiones mínimas de columnas.*

Norma	Dimensión mínima permitida	Observaciones
NEC-2015	$n \geq 25$ cm para zonas sísmicas Z6	Para vivienda se aceptan 20 cm solo en sistemas no esenciales y con baja demanda (1 Piso), pero no recomendado en zonas de alto peligro.
ACI 318-19	No fija una dimensión mínima absoluta, pero exige: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>b \geq 300</math> mm en sistemas especiales (SMF / muros especiales).</li> <li>Para columnas de concreto reforzado típicas: mínimo práctico 300 mm según comentarios ACI y guías PCA.</li> </ul>	ACI se basa en relaciones de esbeltez, confinamiento y espaciamientos mínimos de estribos que en la práctica impiden usar dimensiones < 250–300 mm en zonas sísmicas.
Eurocódigo 8 (EN 1998-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\geq 250</math> mm para columnas en DCL.</li> <li><math>\geq 300</math> mm en DCM.</li> <li><math>\geq 300-350</math> mm en DCH (alta ductilidad).</li> </ul>	Tres clases de ductilidad: DCL (baja), DCM (media), DCH (alta). La clase condiciona q y detallado.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5***Acero longitudinal y estribos.*

<b>Criterio</b>	<b>NEC-SE-DS 2015</b>	<b>ACI 318-19 (Cap. 18 – sismo)</b>	<b>ASCE/SEI 7-22</b>	<b>Eurocódigo 8 (EN 1998-1)</b>
Acero longitudinal (barras)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se permite <math>\varnothing 8</math> mm, uso común en vivienda.</li> <li>• <math>\rho_{min} = 1\%</math>, <math>\rho_{max} = 6\%</math> longitudinal (adopta ACI).</li> <li>• Mín. 4 barras</li> </ul>	No se permite $< \varnothing 10$ mm como barras longitudinales. <ul style="list-style-type: none"> <li>• En zonas sísmicas se exige típicamente <math>\varnothing 16</math>–<math>\varnothing 25</math> mm.</li> <li>• <math>\rho_{min} = 1\%</math>, <math>\rho_{max} = 6\%</math>.</li> </ul>	Se remite a ACI 318-19 Cap. 18.	Barras mínimas: $\geq \varnothing 12$ mm. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\rho_{min} = 1\%</math>, <math>\rho_{max} = 4\%</math>.</li> </ul>
Estribos / Acero transversal	Se permiten estribos $\varnothing 6$ – $\varnothing 8$ mm (muy usados en vivienda). <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>s \leq \min(d/4, 8 \cdot db, 100 \text{ mm en zonas críticas})</math>.</li> </ul>	Estribos $\geq \varnothing 10$ mm (No.3) para elementos sísmicos. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>s \leq \min(d/4, 6 \cdot db, 100 \text{ mm en zonas críticas})</math>.</li> <li>• Ganchos de <b>135°</b> obligatorios.</li> </ul>	Delegado a ACI 318-19.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estribos <math>\geq \varnothing 8</math>–<math>\varnothing 10</math> mm según ductilidad.</li> <li>• <math>s \leq 100</math> mm (DCH), <math>\leq 150</math> mm (DCM).</li> <li>• Requiere relaciones estrictas de confinamiento (<math>\alpha_n, \rho_s</math>).</li> </ul>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### 2.5.1. Diseño Sísmico de estructuras Eurocódigo 8 EN 1998-1.

El Eurocódigo 8 (Comité Europeo de Normalización (CEN), 2004) introduce el diseño basado en clases de ductilidad (DCL, DCM, DCH) y el factor de comportamiento  $q$  (análogo al  $R$ ), articulando el detallado de hormigón y mampostería para asegurar mecanismos dúctiles y evitar fallas frágiles. También estructura el diseño por capacidad (jerarquía viga-columna y cortante controlado por flexión) y límites de deriva orientados a desempeño (CEN, EN 1998-1). Su lógica es plenamente compatible con NEC/ACI/ASCE y útil para contrastar exigencias de detallado en muros y pórticos.

## **2.6. LIMITACIONES DEL USO EXCLUSIVO DE SECCIONES MÍNIMAS: ESTUDIOS QUE EVIDENCIAN VULNERABILIDADES**

Las secciones mínimas de la NEC-2015 constituyen una línea base prescriptiva para viabilizar la construcción de viviendas de hasta dos plantas; sin embargo, no sustituyen el análisis estructural, el control de derivas ni el detallado sísmico por capacidad. La evidencia empírica y normativa muestra que adoptarlas en forma aislada —sin verificación de desempeño— incrementa la probabilidad de fallas frágiles (cortante, nudos, pandeo por compresión), derivas excesivas y mecanismos de piso blando, especialmente en zona sísmica 6 del litoral ecuatoriano. La propia NEC encuadra la zonificación del peligro y remite a verificaciones explícitas de demanda (espectros, combinaciones, requisitos de detallado y regularidad), lo cual excede la simple dimensión geométrica mínima de vigas, columnas y muros. Evidencia de campo en el sismo de 2016 (Manabí). Los reportes de reconocimiento post-sismo documentan daños severos y colapsos parciales en edificaciones de baja altura con hormigón armado y mampostería confinada, donde se observaron confinamiento insuficiente, deficiencias de anclaje/traslape, cortante en columnas y muros, discontinuidades de diafragmas e irregularidades en planta/elevación. En numerosos casos, las viviendas cumplían con dimensiones “mínimas”, pero fallaron por ausencia de detallado dúctil y verificación de derivas/capacidad. Estos hallazgos se registran en el EERI Reconnaissance Team Report y en estudios posteriores publicados en Earthquake Spectra y en la Revista Ingeniería de Construcción (RIC).

Control de desplazamientos y derivas. La filosofía moderna de diseño exige verificar derivas (daño y servicio) y desplazamientos amplificados más allá del análisis elástico, puesto que la resistencia no garantiza por sí sola el desempeño. La ASCE/SEI 7-22 establece explícitamente los factores  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$  por sistema estructural, los límites de deriva por categoría de riesgo y lineamientos para seleccionar el método de análisis (estático equivalente o dinámico modal). Ignorar estas verificaciones o asumir que la sección mínima “controla” la deriva conduce a daño no estructural y pérdida de funcionalidad, incluso cuando no hay colapso.

Diseño por capacidad y detallado dúctil. Los mecanismos de disipación (rotulas plásticas en vigas, zonas críticas confinadas en columnas y muros) requieren armaduras transversales y longitudes de anclaje acordes con las demandas sísmicas. La práctica de “dimensionar al mínimo” sin aplicar reglas de jerarquía de resistencias (viga-antes-que-columna; cortante controlado por flexión; nudos confinados) deja a la estructura expuesta a fallas frágiles. La norma de cargas ASCE 7-22 define la demanda, mientras que códigos materiales (p. ej., ACI 318-19) y guías de FEMA operacionalizan el detallado sísmico especial y el chequeo de desempeño; ambas vertientes son necesarias para lograr ductilidad global. Efectos de sitio y configuración. En el litoral ecuatoriano, la amplificación de sitio (características del suelo, topografía) y la irregularidad geométrica pueden elevar cortantes de historia y concentrar derivas, agravando las deficiencias de elementos “en mínimo”.

La NEC-SE-DS incorpora estos efectos a través de la zonificación, espectros y requisitos de regularidad: si no se modela y verifica, el desempeño real se desvía del esperado por tabla de mínimos. Síntesis de las principales limitaciones del enfoque “solo mínimos”:

- No controla derivas: la sección mínima no asegura  $\Delta$  dentro de límites; se debe calcular y amplificar con  $C_d$  (ASCE 7) según método adoptado.
- No garantiza ductilidad: sin confinamiento y detallado en zonas críticas, se favorece la falla por cortante/nodo antes que la plastificación por flexión.
- Ignora efectos de sitio/irregularidad: los mínimos geométricos no sustituyen el análisis modal ni las verificaciones de regularidad exigidas por la NEC.
- Evidencia empírica de fallas: en 2016 se observaron mecanismos de piso blando, punzonamiento y cortante aun en edificaciones “reglamentarias” por dimensiones, por detallado y control de deriva insuficientes

### **Implicaciones de viviendas de dos pisos en Z6.**

El análisis estático equivalente funciona para proyectos de baja altura si se cumplen las condiciones de regularidad y se verifica el desplazamiento. De lo contrario, es necesario el análisis modal espectral con verificación de desplazamientos y detalles sísmicos especiales (confinamiento, amarres, continuidad de diafragma). La densidad de muros por dirección, la continuidad de muros en cada sentido y la conexión losa-muro-cimentación influyen en el rendimiento en casas con

mampostería confinada, y los espesores/refuerzos "mínimos" sin verificar la capacidad-demanda no son adecuados para casas en zona sísmica 6.

# **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

## **3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION**

### **3.1.1. Tipo de Investigación.**

La investigación es de tipo aplicada, orientada a la resolución de un problema técnico vinculado con la seguridad estructural de viviendas de dos pisos emplazadas en zonas de muy alta amenaza sísmica (Z6) del litoral ecuatoriano. Su propósito es verificar la suficiencia de las secciones mínimas establecidas por la NEC Vivienda 2015 para garantizar un desempeño estructural adecuado frente a las sollicitaciones sísmicas de dichas zonas.

### **3.1.2. Nivel de Investigación.**

El estudio se enmarca en un nivel descriptivo–correlacional, ya que busca caracterizar el comportamiento estructural de una vivienda tipo de dos pisos y establecer la relación entre las secciones mínimas normativas (variable independiente) y el desempeño estructural bajo carga sísmica (variable dependiente). La correlación se fundamenta en la comparación de resultados obtenidos mediante análisis estructural frente a los límites de derivas y esfuerzos prescritos por la NEC.

## **3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Método.**

Se adopta un método analítico–experimental, basado en la modelación estructural numérica mediante el software ETABS, conforme a los principios del análisis sísmico de la NEC-SE-DS. El método analítico permite descomponer el sistema estructural en sus componentes principales —vigas, columnas, losas y cimentaciones— para evaluar sus interacciones y su contribución al comportamiento global ante la acción sísmica. El componente experimental se

expresa en la simulación computacional controlada, que reproduce las condiciones normativas de diseño y permite medir el efecto del incremento del factor sísmico (de 0.5 a 0.70) sobre el desempeño estructural.

### **3.2.2. Enfoque.**

El trabajo utiliza un enfoque cuantitativo, ya que las variables de estudio — esfuerzos, derivas y deformaciones— se expresan mediante valores numéricos obtenidos del modelo estructural. Este enfoque garantiza la objetividad del análisis, al contrastar los resultados con los límites establecidos por la NEC-SE-VIVIENDA y la NEC-SE-DS, lo que permite sustentar las conclusiones sobre base normativa y medible.

### **3.2.3. Diseño.**

El diseño es no experimental, transversal y descriptivo–correlacional. Es no experimental porque no se intervienen físicamente las variables estructurales, sino que se evalúan sus efectos dentro de un entorno analítico-simulado. Es transversal porque el estudio se desarrolla en una única etapa de análisis, sin observación en el tiempo. El componente descriptivo–correlacional radica en la comparación de los resultados estructurales obtenidos bajo diferentes factores sísmicos, con el fin de determinar si las disposiciones mínimas de la NEC Vivienda 2015 mantienen los niveles de seguridad estructural exigidos por la normativa general.

## **3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

### **3.3.1. Población.**

La población de estudio puede definirse como todas las viviendas unifamiliares o estructuras residenciales básicas, representadas por un modelo estructural genérico cuyas características se ajustan a los criterios dimensionales y de diseño mínimos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para Vivienda, y que están sujetas a evaluarse bajo un conjunto de escenarios normativos y condiciones de carga predefinidos. Este conjunto residencial abarca construcción en diferentes provincias del país.

### 3.3.2. Muestra.

La muestra es analítica–experimental por prototipo, donde el prototipo base es la vivienda “tipo límite” de marcos de ductilidad limitada (luces = 4,0 m y secciones mínimas admisibles por NEC Vivienda) modelada en ETABS. La muestra se diferencia por el peligro sísmico del lugar de construcción.

**Tabla 6**

*Escenarios de prueba.*

Escenario	Peligro sísmico	Suelo	Observación
E1	$Z = 0,50$	Tipo D	Línea base comparativa
E2	$Z = 0,70$	Tipo D	Escenario 1

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Muestreo.

No probabilístico, intencional por criterio técnico (caso típico-límite). Se selecciona deliberadamente la tipología más demandante dentro del alcance normativo (luces máximas y secciones mínimas) para estresar las prescripciones de la NEC Vivienda. Este muestreo es estándar en estudios de validación normativa basados en simulación: importa la representatividad tipológica y el peor caso normativo, no la frecuencia poblacional.

## 3.4. METODOLOGÍA O.E.1. DISEÑAR Y MODELAR UNA VIVIENDA TIPO DE DOS PISOS.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción – Sección Estructural de Vivienda (NEC-SE-VIVIENDA) establece los criterios mínimos de diseño, análisis y construcción para edificaciones de vivienda unifamiliar o multifamiliar de hasta dos pisos, con luces menores o iguales a 5 m, en todo el territorio ecuatoriano.

Su objetivo es garantizar seguridad estructural ante cargas sísmicas, vientos y cargas gravitacionales, en zonas de alta y media sismicidad, considerando las condiciones constructivas y materiales más frecuentes del país (bloque de

hormigón, ladrillo artesanal, concreto armado, mampostería confinada, ferrocemento, poliestireno, acero liviano, etc.).

**Tabla 7**

*Aplicabilidad de la norma.*

Sistema estructural	Aplicación	Nº máximo de pisos	Factor R	Norma complementaria
Pórticos de hormigón armado	Viviendas 1-2 pisos	2	3.0	NEC-SE-HM
Mampostería confinada	Viviendas 1-2 pisos	2	2.5	NEC-SE-MP
Mampostería armada	Viviendas 1-2 pisos	2	2.0	NEC-SE-MP
Muros portantes de mortero u hormigón armado (con alma de poliestireno o hueca)	Viviendas 1-2 pisos	2	2.0	NEC-SE-DS, NEC-SE-HM
Estructuras livianas tipo Steel Framing	Viviendas livianas	2	3.0	NEC-SE-AC
Viviendas existentes reforzadas (malla electrosoldada + mortero)	Rehabilitación	—	—	ACI 549 y NEC-SE-VIVIENDA cap. 10

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

El sistema estructural seleccionado para el presente proyecto corresponde a pórticos de hormigón armado, tal como se indica en la Tabla 7. Este sistema se eligió por ser el primero y el más adecuado para edificaciones de 1 a 2 pisos destinadas a vivienda, cumpliendo con los límites de aplicación establecidos por la NEC-SE-VIVIENDA. Además, los pórticos aportan un nivel de seguridad sísmica superior respecto a otros sistemas livianos o de mampostería, al contar con un factor de reducción de respuesta  $R = 3.0$ , el cual es el valor más alto dentro de las alternativas permitidas para esta tipología de vivienda. Esta capacidad de disipación de energía, junto con la disponibilidad de una normativa complementaria específica (NEC-SE-HM), garantiza un desempeño estructural adecuado bajo la demanda sísmica propia de la zona, justificando plenamente su elección para el diseño de la estructura analizada.

### 3.5. ALCANCE Y CRITERIOS DE APLICABILIDAD

La vivienda debe cumplir las siguientes condicionantes para poder comprobar la aplicabilidad de la norma.

### **3.5.1.1. *Uso y tamaño.***

La edificación es de una vivienda unifamiliar de dos 2 pisos. Las luces estructurales  $\leq 5$  m. Altura entrepiso  $\leq 3$  m; altura total:  $\sim 6$  m en cubierta plana y  $\sim 8$  m a cumbre en cubierta inclinada.

### **3.5.1.2. *Criterio sísmico global.***

Se debe verificar que el cortante basal de diseño satisfice:  $V_{base} \leq V_{MR}$  (resistencia lateral disponible del sistema, medido con derivas de piso). El cortante basal se estima con  $V_{base} = Z \cdot C \cdot W / R$ , con  $R$  según el sistema estructural adoptado.

### **3.5.1.3. *Regularidad y juntas.***

Planta regular y preferible simétrica; relación largo/ancho  $\leq 4$ , sin grandes vacíos (ninguna abertura  $> 25\%$  del área y total de aberturas  $\leq 50\%$ ). Cuando no se cumpla, juntas constructivas según el capítulo de vivienda.

### **3.5.1.4. *Elección del sistema y método de análisis.***

Queda a criterio del diseñador el uso de mampostería confinada/armada o muros portantes, se usa en estos casos el método simplificado solo si se cumple también: tener un máximo de dos pisos,  $\geq 75\%$  de cargas gravitacionales en muros de 1ª planta; relación en planta  $\leq 1:3$ , en cada dirección: al menos dos muros perimetrales paralelos, cada uno con longitud  $\geq 50\%$  de la dimensión en esa dirección, excentricidad torsional estática  $\leq 10\%$  de la dimensión en planta.

Cuando no se cumplen estas condicionante se debe usar el diseño detallado, con factores  $\phi$  típicos en mampostería confinada (axial compresión 0.70; tracción 0.90; flexión 0.90; cortante 0.60) y verificación por estados límite (flexo-compresión, cortante, aplastamiento, etc.).

### **3.5.1.5. *Excepciones útiles (detallado constructivo simplificado).***

La guía “Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015” sin embargo presenta una tabla con criterios

aplicables para viviendas de 1–2 plantas con luces  $\leq 4.0$  m y cubierta liviana, con una altura máxima de 2.5 m en cada piso, existen detalles y cuantías mínimas “de excepción” aplicable a columnas, vigas de amarre y otros elementos que se pueden aplicar si se cumple condicionantes.

**Tabla 8**

*Requisitos mínimos en función del número de pisos de la vivienda con pórticos de hormigón y losas.*

Requisitos mínimos en función del número de pisos de la vivienda con pórticos de hormigón y losas						
Número de pisos de la vivienda	Elemento	Luz máxima (m)	Altura total de entrepiso máximo (m)	Sección mínima base x altura (cm x cm)	Cuantía longitudinal mínima de acero	Refuerzo de acero laminado transversal mínimo (estribos)
1	Columnas	4.0	2.50	20 x 20	1%	Diámetro 8 mm @ 10 cm
	Vigas			15 x 20	14/fy sup 14/fy inf	Diámetro 8 mm @ 5 cm en L/4 (extremos) y 10 cm (centro)
2	Columnas	4.0	2.50	Piso 1: 25 x 25	1%	Diámetro 8 mm @ 10 cm
	Vigas			20 x 20		

*Nota.* Fuente: NEC 2015

### 3.6. DEFINICIÓN DEL CASO USADO COMO EJEMPLO

Para la comprobación de la vivienda utilizamos un ejemplo práctico de una vivienda tipo con las siguientes características, estos mínimos están tabulados para luces  $\leq 4.0$  m y  $h=2.5$  m. La NEC Vivienda fija el rango de aplicabilidad ( $\leq 2$  pisos; luces  $\leq 4$  m); los mínimos geométricos se consolidan con verificaciones de materiales, cuantías y detalle remitidas por la Guía y NEC-HA/ACI.

#### 3.6.1. Geometría y niveles.

- **Tipología:** Vivienda de 2 pisos con diafragma rígido (losa aligerada) y cubierta no accesible.

- **Planta:** Las medidas de la vivienda son 8m (en el eje x) y 8m (en el eje y) m, de esta forma la relación  $1:1 \leq 3$  y  $\leq 4$  por lo tanto se considera regular.
- **Altura de entresijos:** La normativa permite altura de entresijos de 3.00 m, la tabla de mínimos de la Guía está pensada para 2.50 m, esa se escogerá para el modelo.

### 3.6.2. Método de diseño DBF.

Para el análisis sísmico de la estructura se emplea el método **DBF (Diseño Basado en Fuerzas)**, conforme a lo establecido en la NEC-SE-DS para edificaciones convencionales. Este procedimiento se basa en la estimación del **cortante sísmico basal**, el cual se distribuye a lo largo de la altura de la estructura según la masa tributaria de cada nivel. Una vez obtenidas las fuerzas laterales equivalentes, se procede al análisis estructural y al diseño resistente de cada elemento, verificando además los límites de deriva impuestos por la normativa.

### 3.6.3. Cargas.

Las combinaciones de carga definidas por la NEC permiten evaluar la respuesta estructural bajo distintos escenarios de sollicitación. Cada combinación aplica factores específicos a la carga muerta (D), carga viva (L), carga de techo (Lr), carga de nieve (S), carga de lluvia (R), viento (W) y sismo (E), con el fin de obtener el estado más desfavorable para el diseño estructural.

**Tabla 9**

*Combinaciones de carga.*

Combinación	Descripción	Fórmula
1	Considera únicamente la carga muerta mayorada para evaluar el estado básico de sollicitación.	<b>1.4 D</b>

<b>Combinación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fórmula</b>
<b>2</b>	Incluye carga muerta, carga viva y la mayor de las acciones variables de techo, nieve o lluvia.	<b>1.2 D + 1.6 L + 0.5 máx(Lr; S; R)</b>
<b>3*</b>	Combina la carga muerta con la acción más crítica entre techo, nieve o lluvia, sumando la mayor entre la carga viva o una fracción del viento.	<b>1.2 D + 1.6 máx(Lr; S; R) + máx(L; 0.5 W)</b>
<b>4*</b>	Contempla simultáneamente carga muerta, viento, carga viva y el valor más exigente entre lluvia, nieve o carga en techo.	<b>1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 máx(Lr; S; R)</b>
<b>5*</b>	Incorpora la carga sísmica con la carga muerta, la carga viva y una fracción reducida de la carga de nieve.	<b>1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S</b>
<b>6</b>	Aplica carga muerta reducida junto con la acción del viento.	<b>0.9 D + 1.0 W</b>
<b>7</b>	Evalúa la carga muerta reducida actuando conjuntamente con el efecto sísmico (estado crítico de levantamiento).	<b>0.9 D + 1.0 E</b>

*Nota.* Fuente: NEC 2015

### **3.6.3.1. Carga Muerta.**

La carga muerta se estableció a partir de los valores referenciados en la Tabla 8 de la NEC-SE-CG (cargas no sísmicas), considerando los pesos propios típicos empleados en edificaciones de uso residencial. Con estos parámetros se determinó la carga muerta final por metro cuadrado de la construcción.

**Tabla 10**

*Cargas muertas aplicadas a la losa de entrepiso.*

<b>ELEMENTO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
PESO DE LOSETA	<b>Wl</b>	120.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE NERVIO	<b>Wn</b>	72.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

PESO DE CAJONETAS	<b>Wc</b>	2.40	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE RECUBRIMIENTO SUP.	<b>Wrs</b>	20.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE RECUBRIMIENTO INF.	<b>Wri</b>	20.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO MAMPOSTERÍA	<b>Wp</b>	250.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO INSTALACIONES	<b>Wi</b>	20.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
TOTAL CARGA MUERTA	<b>WD</b>	<b>504.40</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11**

*Cargas muertas aplicadas a cubierta inaccesible.*

<b>ELEMENTO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
PESO DE CUBIERTA (PLANCHAS)	<b>Wn</b>	5	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE CORREAS Y VIGAS	<b>Wc</b>	25	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE CIELO RASO	<b>Wri</b>	25	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO INSTALACIONES	<b>Wi</b>	30	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
TOTAL CARGA MUERTA	<b>WD</b>	<b>85</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3.2. Carga viva.

La carga viva se determinó utilizando los valores establecidos en la Tabla 9 – Sobrecargas Mínimas Distribuidas y Cargas Concentradas de la NEC-SECG (cargas no sísmicas). Adicionalmente, se incorporó la carga correspondiente al uso residencial contemplado para el segundo piso.

**Tabla 12**

*Cargas vivas aplicadas a la vivienda.*

<b>USO</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
Residencial (Piso 1)	200
Residencial (Piso 2)	200
Cubiertas no transitables	70

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

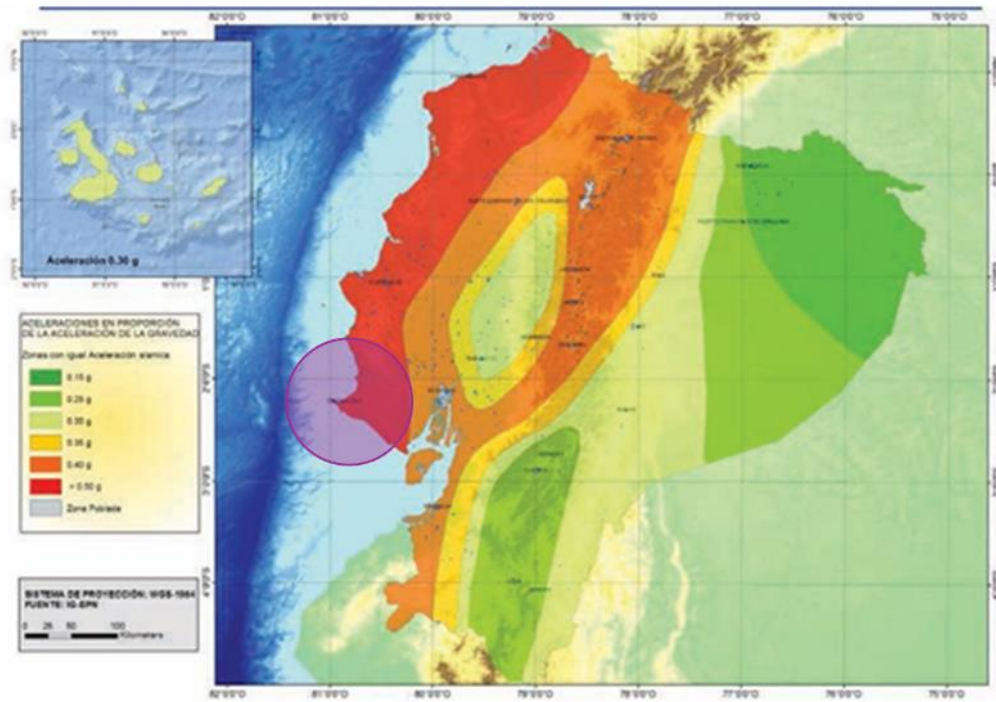
### 3.6.4. Zona sísmica.

Aunque la guía de análisis estructural emplea valores típicos para regiones de la Sierra, en este estudio adoptamos  $Z = 0.50$  y  $Z=0.7$ , correspondiente a la clasificación establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción para varias

localidades de la provincia de Santa Elena. Este valor ubica al sector dentro de una zona de amenaza sísmica muy alta (Categoría VI), lo que implica aceleraciones máximas de diseño significativas.

## Ilustración 2

*Zona sísmica de estudio.*



*Nota.* Fuente: NEC 2015

### 3.6.4.1. Tipo de suelo y coeficientes de sitio.

El análisis se desarrolla considerando un suelo tipo D, según los lineamientos de evaluación estructural del MIDUVI y la Secretaría de Gestión de Riesgos (2016). Para este tipo de suelo se obtienen los coeficientes:

- $F_a = 1.12$

**Tabla 13**

*Tipo de suelo y factores de sitio  $F_a$ .*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
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	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

*Nota.* Obtenido de Tabla 3.  $F_a$ : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto de la NEC SE DS Peligro sísmico.

- $F_a = 1.1$

**Tabla 14**

*Tipo de suelo y factores de sitio  $F_d$ .*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
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	1.06
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
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Nota.* Obtenido de Tabla 3.  $F_d$ : amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca de la NEC SE DS Peligro sísmico.

- $F_s = 1,40$ .

**Tabla 15**

*Tipo de suelo y factores de sitio  $F_s$ .*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
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	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Nota.* Obtenido de Tabla 3. **F<sub>s</sub>**: comportamiento no lineal de los suelos de la NEC SE DS Peligro sísmico.

#### 3.6.4.2. *Factor espectral.*

Para la región Costa —exceptuando Esmeraldas— se aplica un factor espectral  $\eta = 1$ .

#### 3.6.4.3. *Factor de importancia.*

Dado que la edificación tiene uso residencial, se clasifica dentro del grupo “Otras estructuras”, asignando un coeficiente de importancia  $I = 1.00$  conforme a la NEC 2015.

**Tabla 16**

*Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.*

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente 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. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

*Nota.* Fuente: NEC 2015

#### 3.6.4.4. *Sistema estructural y factor R.*

Las normativas difieren en la definición del factor de reducción por ductilidad. Mientras la ASCE 7 lo basa en el comportamiento típico de

estructuras de Estados Unidos, la NEC permite aplicar estos valores siempre que se respeten los requisitos de detallado sísmico. Para este proyecto, la NEC clasifica el sistema como Pórtico Ordinario de Hormigón Armado (OMF), asignando un factor de reducción  $R = 3.00$ . La Guía NEC vivienda, también cita el uso de dos coeficientes de reducción.

**Tabla 17**

*Sistemas estructurales de vivienda resistentes a cargas sísmicas.*

Sistema estructural	Materiales	Coefficiente R	Limitación en altura (Número de pisos)
Pórticos resistentes a momento	Hormigón armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, reforzado con acero.	3	2(b)
	Hormigón armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, con armadura electro-soldada de alta resistencia.	2.5	2

*Nota.* Obtenido de Tabla 2. Sistemas estructurales de vivienda resistentes a cargas sísmicas, de NEC VIVIENDA 2015.

#### **3.6.4.5. Regularidad estructural.**

El modelo analizado no presenta discontinuidades ni cambios significativos, por lo que se considera regular tanto en planta como en elevación, cumpliendo con los criterios establecidos en la NEC.

#### **3.6.4.6. Peso sísmico efectivo de la estructura.**

W se define como el peso sísmico efectivo de la estructura, tomado igual a la carga muerta total de la edificación más el 25% de la carga viva. De acuerdo con la *Guía para Viviendas – NEC Vivienda*.

#### **3.6.5. Columnas.**

De acuerdo con la normativa la dimensión mínima para columnas cuadradas es de 25 cm para el primer piso y de 20 cm para el segundo piso.

### 3.6.5.1. Mayoración.

$$U = 1.2(D) + 1.6 (L)$$

En el análisis se procede con el predimensionamiento de las secciones acorde a los procedimientos convencionales cuando definimos secciones de columnas.

$$P_u = q_u \cdot A_t$$

**Tabla 18**

*Ubicación y áreas.*

Ubicación	Área tributaria (m <sup>2</sup> )	Pu (Tn)
Esquinas (A1, A3, C1, C3)	4.00	4.6
Bordes (A2, B1, B3, C2)	8.00	9.1
Centrales (B2)	16.00	18.2

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### 3.6.6. Columnas.

El dimensionamiento inicial de las columnas se realiza verificando que la resistencia de diseño a compresión axial cumpla la condición  $\phi P_n \geq P_u$ , donde  $P_u$  corresponde a las cargas últimas obtenidas del análisis estructural. Para ello, se emplea la expresión de capacidad axial establecida en la NEC-SE-HM y ACI 318, considerando una cuantía mínima de acero longitudinal para el primer estimado del área bruta  $A_g$ . Este procedimiento permite obtener secciones estructurales preliminares coherentes con la demanda axial de cada columna y garantiza el cumplimiento de los requisitos normativos de resistencia y mínimos geométricos. La resistencia de diseño a compresión axial de la columna se evalúa con:

$$\phi P_n = \phi \cdot [0,85 \cdot f'_c (A_g - A_s) + f_y (A_s)]$$

y se impone como carga última:

$$P_u = 18.2 \text{ Tn}$$

para un primer dimensionamiento se adopta la cuantía mínima de acero:

$$\begin{aligned} \phi \cdot (0.85 \cdot f'_c \cdot (A_g - 0.01 \cdot A_g) + 0.01 \cdot A_g \cdot f_y) &= \phi P_n \\ A_s &= 0.01 \cdot A_g \end{aligned}$$

Donde:

- $\phi = 0,65$  (Columna confinada con estribos)
- $f'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$
- $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

$$0.65 \cdot (0.85 \cdot 240 \cdot 0.99A_g + 0.01 \cdot A_g \cdot 4200) = 18200 \text{ kg}$$

$$A_g = \frac{18200}{160} = 113.75 \text{ cm}^2$$

$$b = \sqrt{A_g} \approx \sqrt{113.75} \approx 11 \text{ cm}$$

A partir de las cargas axiales de diseño  $P_u$  obtenidas para cada tipo de columna (esquinas, bordes y centrales) y considerando un concreto  $f'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ , acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  y una cuantía de diseño del orden del 1–2 %, se evaluó la capacidad axial  $\phi P_n$  de columnas cuadradas, verificando la condición  $\phi P_n \geq P_u$ . Para las columnas de esquina y borde, la sección 20×20 cm excede ampliamente los requerimientos de área mínima  $A_g$  y satisface también el límite inferior de dimensión establecido por la NEC-Vivienda. En el caso de la columna central, la carga  $P_u \approx 18.2 \text{ Tn}$  exige un área bruta mínima del orden de  $113.75 \text{ cm}^2$  (lado  $\approx 11 \text{ cm}$ ), por lo que se adoptó la sección mínima por norma de 25×25 cm, que proporciona un margen de seguridad adecuado.

### 3.6.6.1. *Diseño de acero.*

El diseño del acero longitudinal y transversal se desarrolla a partir de las secciones previamente dimensionadas, verificando que la capacidad resistente cumpla con la demanda axial y flexo-compuesta obtenida del análisis estructural. Para ello se aplican los criterios de cuantía mínima y máxima, separación de estribos y requisitos de confinamiento establecidos por la NEC-SE-HM y el ACI 318. Este proceso permite definir el refuerzo longitudinal requerido en función de  $A_g$  y el refuerzo transversal necesario para garantizar confinamiento, estabilidad y control del pandeo del acero, obteniendo un armado compatible con la capacidad axial y la ductilidad exigida para zonas de diseño sísmico.

$$\rho_{min} = 0.01 \cdot \text{área sección del elemento}$$

Columnas Planta Baja:

$$A_{S_{min}} = 0.01 \cdot (25 \cdot 25) = 0.01 \cdot 625 \text{ cm}^2 = 6.25 \text{ cm}^2$$

Columnas Planta Alta:

$$A_{S_{min}} = 0.01 \cdot (20 \cdot 20) = 0.01 \cdot 400 \text{ cm}^2 = 4.25 \text{ cm}^2$$

**Tabla 19**

*Cálculo de armados para columnas.*

Opción	Cálculo de área de acero	As [cm <sup>2</sup> ]	% para 20 cm	% para 25 cm
4Ø12	$4 \times 1.131 = 4.52 \text{ cm}^2$	4.52	1.13 %	0.72 %
6Ø12	$6 \times 1.131 = 6.79 \text{ cm}^2$	6.79	1.70 %	1.09 %
8Ø12	$8 \times 1.131 = 9.05 \text{ cm}^2$	9.05	2.26 %	1.45 %

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

El armado de estribos responde a:

Ø10 mm @ 150 mm (cuerpo), @ 100 mm (extremos).

### 3.6.7. Diseño de vigas.

#### 3.6.7.1. Criterios normativos de partida.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción para vivienda (NEC-SE-Vivienda 2015) y su respectiva guía práctica establecen, para viviendas de hormigón armado de hasta dos pisos con luces menores o iguales a 4,00 m, secciones mínimas prescriptivas para vigas y columnas en pórticos de hormigón armado. En particular, para el caso de viviendas de dos pisos se recomienda el uso de vigas con sección no menor a  $20 \times 20$  cm, con cuantía mínima de acero longitudinal y estribos de confinamiento Ø8 mm a espaciamientos reducidos.

Estas dimensiones constituyen un mínimo geométrico de aplicación del método simplificado, pero no eximen de la obligación de verificar:

- La resistencia a flexión y a cortante de la viga.
- Las deformaciones en servicio (flechas).
- El cumplimiento de cuantías y detallado sísmico exigidos por la NEC-SE-HM en zonas de alta peligrosidad sísmica.

Por tanto, la sección de la viga debe partir de estas dimensiones mínimas, pero ser ajustada mediante el cálculo estructural para satisfacer las solicitaciones obtenidas del análisis (momento último  $M_u$ , cortante último  $V_u$ ).

### 3.6.7.2. *Datos de partida de la viga de entrepiso.*

Para la verificación se considera una viga interior de entrepiso apoyada en pórticos de hormigón armado, con los siguientes parámetros:

Luz estructural:

$$L = 4.00 \text{ m}$$

Sección mínima prescriptiva de la guía NEC-Vivienda:

$$b_{min} = 20 \text{ cm}, \quad h_{min} = 20 \text{ cm}$$

Materiales:

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2, \quad f'_y = 420 \text{ kg/cm}^2$$

Cargas de diseño (resultado del apartado de cargas y combinaciones):

Carga muerta distribuida de losa y acabados:

$$D_{losa} = 504 \text{ kg/m}^2$$

Carga viva residencial (NEC-SE-CG, Tabla 9):

$$L = 200 \text{ kg/m}^2$$

Ancho tributario de losa para una viga interior:

$$b_{trib} = 4.00 \text{ m}$$

Cargas lineales equivalentes

$$w_D = D_{losa} * b_{trib} = 504 * 4.00 = 2016 \frac{Kg}{m}$$

$$W_L = L * b_{trib} = 200 * 4.00 = 800 \frac{Kg}{m}$$

Combinación de diseño más crítica (NEC-SE-CG, tipo 1,2D + 1,6L):

$$w_u = 1.2 w_D + 1.6 w_L = 1.2 * 2016 + 1.6 * 800 = 3701.12 \text{ KN/m}$$

Para una viga simplemente apoyada sometida a carga uniformemente distribuida  $w_u$  los esfuerzos máximos son:

Momento ultimo:

$$M_u = \frac{w_u L^2}{10} = \frac{3701.12 * 4.0^2}{10} = 5.92 \text{ Tn.m}$$

Cortante último:

$$V_u = \frac{w_u * L}{2} = \frac{3701.12 * 4.0}{2} = 7.40 \text{ Tn}$$

Estos valores se emplean para justificar la necesidad de aumentar la altura de la viga por encima del mínimo geométrico de 20 cm.

### 3.6.7.3. *Cálculo de peralte de viga y verificación por deformaciones (relación L/h).*

Con la fórmula de cuantía balanceada para vigas de hormigón armado podremos calcular el peralte necesario para la viga, se tiene que:

$$M_u \leq \phi M_n = (\phi)(\omega)(f'c)(b)(d)^2(1 - 0.59(\omega))$$

Donde el factor de reducción  $\phi$  es 0.9, despejando:

$$h = \sqrt{\frac{M_u}{0.9(\omega)(f'c)(b)(1 - 0.59(\omega))}} + \text{rec}$$

Sustituyendo:

- **b** = 20 cm
- **rec** = 4 cm
- **f'c** = 240 kg/cm<sup>2</sup>
- **fy** = 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- **Mu** = 5.92 Tn.m

$$h \approx 35 \text{ cm}$$

La NEC-SE-HM exige el control de deformaciones en servicio, lo que en la práctica se traduce en que la relación luz/canto de la viga (L/h) debe mantenerse dentro de rangos recomendados para evitar flechas excesivas. Para vigas de entrepiso de hormigón armado con cargas gravitacionales, se utilizan relaciones típicas en el orden de:

$$\frac{L}{h} \leq 18$$

Si se adoptara la altura mínima h=20 cm de la guía:

$$\frac{L}{h} = \frac{4.00}{0.20} = 20$$

Este valor es significativamente mayor que los límites recomendados (<18), indicando que una viga de 20 cm de canto sería demasiado flexible, con riesgo de presentar flechas superiores a las admisibles y daño en elementos no estructurales (acabados, tabiquería interior, fisuración excesiva, etc.). Con lo cual:

$$\frac{L}{h} = \frac{4.00m}{0.35m} = 11.43$$

Valor que se encuentra dentro del rango aceptable para vigas de entrepiso de esta luz, garantizando un mejor control de flechas y un desempeño adecuado en servicio.

#### 3.6.7.4. *Cálculo de acero requerido por exigencia de carga.*

Para efectos de diseño se toma, la altura efectiva será el peralte total menos el recubrimiento:

$$d = h - rec = 31 \text{ cm} = 0.31 \text{ m}$$

Por tanto, se tiene que:

$$A_s = \frac{(0.85)(f'c)(B)(d)}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{max}}{(0.9)(0.85)(f'c)(B)(d^2)}} \right]$$

$$A_{sreq} = 5.57 \text{ cm}^2$$

Si se mantuviera la altura mínima  $h=20$  cm, la altura útil  $d$  se reduciría aproximadamente a 16–17 cm, lo que incrementaría significativamente la demanda de acero  $A_s$  para resistir el mismo momento  $M_u$ , acercándose o incluso superando la cuantía máxima admisible según NEC-SE-HM. Eso implicaría una sección no apta desde el punto de vista de ductilidad y comportamiento sísmico.

En cambio, con  $h = 35$  cm y  $d = 31$  cm, la cuantía requerida es moderada y compatible con una disposición razonable de barras (por ejemplo,  $5\text{Ø}12$  mm o  $3\text{Ø}16$  mm en la cara inferior), cumpliendo los requisitos de resistencia y manteniendo una falla dúctil por flexión, aunque el chequeo de demanda de acero por flexión incluyendo cargas sísmicas se hará con los resultados del modelo matemático en Etabs.

#### 3.6.7.5. *Cálculo de acero mínimo y máximo.*

El ACI es claro al determinar una cuantía tanto mínima como máxima de acero de refuerzo para vigas de hormigón armado, este declara que:

$$A_s \text{ minimo} = \text{Máximo entre} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(0.8)\sqrt{f'c}(b)(d)}{f_y} \\ \frac{(14)(b)(d)}{f_y} \end{array} \right\}$$

Para nuestro caso Acero mínimo es = **2.07 cm<sup>2</sup>**.

Mientras que para el acero máximo se tiene:

$$A_s \text{ maximo} = (0.75)(\rho_b)(b)(d)$$

$$\rho_b = \left( \frac{(0.85)(B_1)(f'c)}{f_y} \right) \left( \frac{6000}{6000 + f_y} \right) \text{ donde } B_1 \text{ por tablas sera de } 0.85$$

Por lo tanto, el  $A_s$  máximo será = **11.3 cm<sup>2</sup>**

### 3.6.7.6. Verificación a cortante y espaciamiento de estribos.

El diseño a cortante se realiza verificando:

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

Donde:

$V_c$  = Contribución del hormigón a cortante

$V_s$  = Contribución de los estribos

Una expresión usual para  $V_c$  en vigas de hormigón armado es:

$$\phi V_c = (0.53)(\gamma)\sqrt{f'c}(b)(d) \text{ donde } \gamma = 1$$

Tomando:

$$f'c = 240 \text{ kg/cm}^2 \text{ y } \sqrt{f'c} = 15.49$$

$$b = 20 \text{ cm, } d = 35 \text{ cm (valor aproximado al eje de tracción)}$$

Se tiene

$$V_c = 0.53 * 15.49 * 20 * 31/1000 = 5.09 \text{ Tn}$$

Con  $\phi = 0.75$  para cortante, el cortante que deben resistir los estribos es:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{7.41}{0.75} - 5.09 = 4.79 \text{ Tn}$$

Para estribos verticales cerrados de 2 ramas Ø8 mm, por  
Área de una barra Ø8:

$$A_{\emptyset} = \frac{\pi * 8^2}{4} = 0.50 \text{ cm}^2$$

Área total de estribo:

$$A_{\emptyset} = 2A_{\emptyset} = 2 * 0.50 = 1 \text{ cm}^2$$

La contribución a cortante de los estribos es:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \text{ por tanto } s = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

Sustituyendo  $A_v, f_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $d = 0.31 \text{ m}$  y  $V_s = 4.79 \text{ Tn}$  se obtiene

$$S_{req} = 27 \text{ cm}$$

Sin embargo, para las zonas de mayor cortante (cercanas a los apoyos), cumpliendo los límites máximos de espaciamiento de la NEC-SE-HM (condiciones tipo  $s \leq \frac{d}{4}$ ,  $s \leq 8\emptyset$ ,  $s \leq 100 \text{ mm}$  en zonas críticas) y siendo coherente con la recomendación de la guía NEC-Vivienda para vigas de dos pisos (Ø8 mm @ 5 cm en los extremos y @ 10cm en el centro del claro)

Si se hubiera mantenido la altura mínima  $h=20 \text{ cm}$ , la altura útil  $d$  se reduciría, disminuyendo  $V_c$  y obligando a espaciamientos mucho menores  $s$  (del orden de 4–5 cm a lo largo de toda la luz), lo que resulta poco práctico constructiva y económicamente ineficiente.

### 3.6.8. Diseño de losa aligerada en una dirección.

Para el diseño de estos elementos estructurales el ACI 318-19 las clasifica como “one-way solid slab” o “one-way joist construction” según el caso, pero el

control de espesor mínimo casi siempre se hace con la Tabla 7.3.1.1 (miembros no presforzados, losas en una dirección):

Losa en una dirección simplemente apoyada  $\ell / 20$

Losa en una dirección un extremo continuo  $\ell / 24$

Losa en una dirección ambos extremos continuos  $\ell / 28$

Losa en una dirección voladizo  $\ell / 10$

Gobierna  $\ell / 24$ , por tanto:

$$\frac{4}{24} \approx 0.17 \text{ por lo que se opta por } 20\text{cm}$$

No obstante, la norma continúa diciendo que para sistemas de losa aligerada unidireccional (viguetas + block o casetón), se permite usar los espesores mínimos de la Tabla 7.3.1.1 siempre que:

Las nervaduras (viguetas) tengan mínimo 100 mm (4 pulgadas) de ancho

La separación libre entre nervaduras no exceda 30 in (762 mm) → los blocks típicos de 60 cm o 24 pulgadas cumplen)

Por tanto, se tomará una altura total de 20 cm, un ancho de nervio de 10 cm y una separación libre de nervio de 40 cm.

### **3.6.9. Modelado Estructural en ETABS Ultimate v22.**

El modelado numérico de la vivienda se realizó en ETABS Ultimate v22, software de análisis estructural basado en elementos finitos que cumple los criterios de diseño por resistencia establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). Esta fase metodológica tiene por finalidad verificar el comportamiento estructural del prototipo previamente diseñado con luces máximas y secciones mínimas permitidas por la NEC-Vivienda, evaluando su desempeño real frente a cargas gravitacionales y demandas sísmicas.

A diferencia de un proceso de diseño desde cero, esta etapa no redefine dimensiones ni recalcula cargas; únicamente traslada al modelo las propiedades ya determinadas en capítulos previos. Con ello se evita la redundancia y se garantiza que el análisis numérico sea una validación directa del método simplificado propuesto por la NEC.

#### **3.6.9.1. Configuración inicial del modelo.**

El modelo tridimensional se construyó estableciendo un sistema de niveles equivalente a la geometría definida en el proyecto arquitectónico y a las alturas normativas empleadas en el diseño preliminar. ETABS Ultimate v22 permite configurar de manera precisa la discretización en elementos Frame (vigas y columnas) y Shell (losas), lo que facilita adoptar directamente:

- Secciones mínimas normativas predimensionadas en etapas previas.
- Alturas entre niveles definidas en el diseño arquitectónico-estructural.
- Propiedades mecánicas de materiales según NEC-SE-HM.

El propósito de esta configuración es asegurar que el modelo reproduzca con fidelidad las condiciones geométricas reales que se buscan evaluar en la investigación.

#### **3.6.9.2. Asignación de materiales y propiedades mecánicas.**

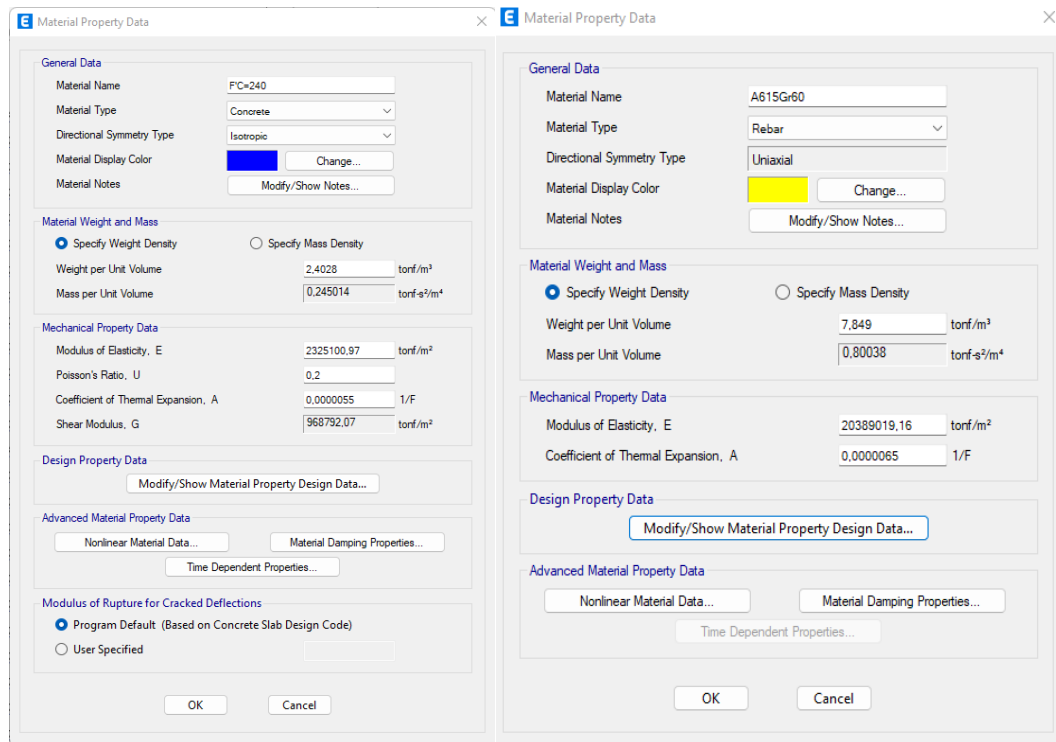
Los materiales empleados en el modelo fueron definidos en función de lo establecido por la NEC 2015 y por el predimensionamiento reglamentario realizado previamente. En particular:

- El concreto estructural se ingresó con su resistencia característica  $f'_c$ , módulo de elasticidad y peso específico establecidos según NEC-SE-HM.
- El acero de refuerzo se definió con los valores normativos de fluencia para acero longitudinal y transversal.

ETABS v22 permite personalizar cada propiedad, garantizando que el modelo numérico utilice exactamente los mismos parámetros empleados en los cálculos manuales y normativos.

### Ilustración 3

Configuración de materiales en ETABS (*a = acero; b = hormigón*).



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

#### 3.6.9.3. Incorporación de cargas conforme a NEC-SE-CG y NEC-SE-DS.

En esta etapa no se recalculan cargas, sino que se trasladan los valores ya definidos en el capítulo de diseño de cargas, manteniendo coherencia metodológica. ETABS Ultimate v22 fue configurado para incluir:

- Carga muerta (**Dead Load**): Peso propio (self-weight = 1.0), calculado automáticamente por el software.
- Cargas muertas sobrepuestas adicionales por acabados y revestimientos definidas previamente según NEC-SE-CG en un caso de carga adicional (**CM**).

- **Carga viva (Live Load):** Valor normativo para vivienda establecido en NEC-SE-CG.
- **Cargas sísmicas (Ex e Ey)** mediante los coeficientes de aceleración sísmica.

#### **3.6.9.4. Modelación de elementos estructurales.**

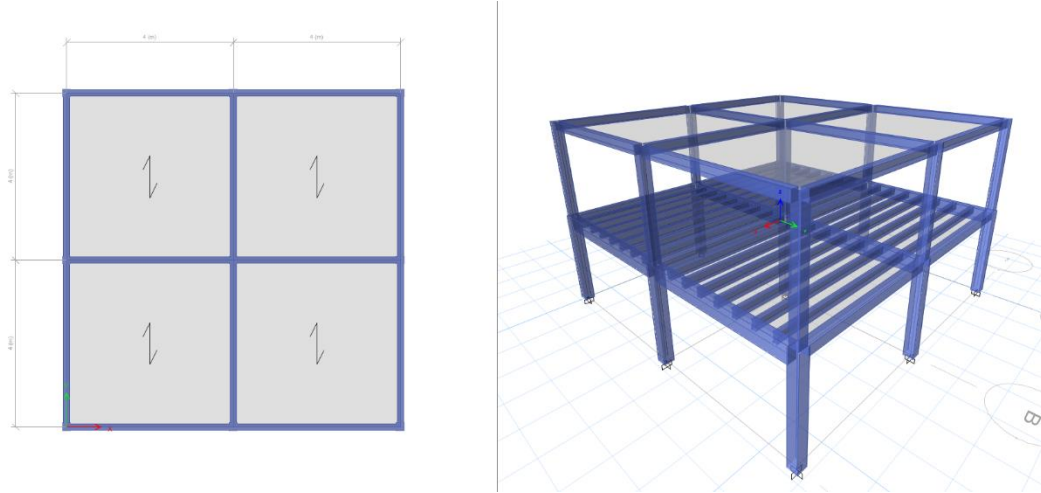
La estructura fue modelada siguiendo criterios estrictos de representación estructural:

- **Columnas y vigas:** definidas como elementos ‘Frame’, con secciones mínimas permitidas por NEC-Vivienda más las predimensionadas.
- **Losa aligerada:** la parte de la loseta a compresión será modelada como elemento Shell de espesor previamente pre dimensionado, mientras que los nervios se los definirá como elementos ‘Frame’.
- **Diafragmas rígidos:** asignados en cada nivel, tal como exige NEC-SE-DS para edificaciones regulares, con el fin de asegurar la interacción adecuada entre vigas, columnas y losa en la respuesta sísmica.
- **Cubierta ligera:** idealizada como elemento Shell en una dirección específica de carga para distribuir las cargas a las vigas de cubierta.

La selección de elementos ‘Shell’ y ‘Frame’ responde a los requerimientos de análisis para sistemas de concreto armado establecidos en normas internacionales y adoptados por la NEC.

## Ilustración 4

*Modelo en ETABS.*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### **3.7. METODOLOGÍA O.E.2. SIMULAR Y COMPARAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción – Sección de Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS) establece los criterios generales de evaluación, diseño y verificación estructural ante la acción sísmica, definiendo los factores de zonificación ( $Z$ ), los espectros elásticos de diseño, los límites de deriva y los procedimientos de análisis estructural aplicables según el nivel de complejidad de la edificación. En este contexto, el presente objetivo tiene por finalidad evaluar el desempeño estructural del prototipo de vivienda tipo, previamente diseñado conforme a la NEC-SE-VIVIENDA, frente a distintos valores de zonificación sísmica, específicamente  $Z = 0.50$  y  $Z = 0.70$ , que representan niveles de amenaza sísmica media y alta dentro del territorio ecuatoriano.

La metodología empleada se fundamenta en la simulación estructural computacional mediante ETABS Ultimate v22, utilizando análisis lineales estático equivalente y dinámico modal espectral, tal como lo exige y permite la NEC-SE-DS para edificaciones regulares de baja altura. Estos análisis permiten obtener y comparar indicadores normativos de desempeño estructural —como derivas entre pisos, fuerzas internas, cortantes basales, y distribución de esfuerzos— con el fin de determinar si las secciones mínimas reglamentarias definidas por la NEC-SE-Vivienda son suficientes para asegurar un comportamiento estructural adecuado en zonas de mayor demanda sísmica.

En la modelación se asignaron modificadores de rigidez efectiva conforme a los criterios de la NEC-SE-HM (2015) y NEC-SE-DS, los cuales requieren considerar la reducción de rigidez debida a la formación de fisuras en elementos de hormigón armado. De acuerdo con estas disposiciones, se adoptaron los valores recomendados de  $0.80 \cdot I_g$  para las columnas, en concordancia con los factores de rigidez indicados para análisis elásticos basados en la metodología del ACI 318, normativa referenciada por la NEC para modelación sísmica. Esta reducción permite representar adecuadamente el comportamiento real de los elementos en el rango elástico fisurado

Las cargas gravitatorias consideradas correspondieron al peso propio más la carga muerta sobrepuesta especificada anteriormente, de acuerdo con la Guía NEC Vivienda 2015. La masa sísmica se definió considerando el 100 % de la carga muerta y el 25 % de la carga viva, conforme a lo establecido en la NEC-Vivienda.

El análisis lineal elástico se efectuó para los dos valores de Z (0.50 y 0.70), empleando el uso de los coeficientes sísmicos que multiplican a la masa sísmica. El cortante basal de diseño se determinó según la expresión general:

$$V_b = \frac{Z * C * W}{R} = C_S W$$

donde C representa el coeficiente de respuesta sísmica (2.4 para Costa), Z el factor de aceleración en roca para cada sitio según la zonificación sísmica (0.5 o 0.7), y R el factor de reducción por ductilidad recomendado por la NEC para pórticos de hormigón armado de baja ductilidad (3 para el modelo actual).

La NEC-SE-DS menciona que para estructuras regulares es suficiente el análisis sísmico basado en las fuerzas laterales equivalentes, el análisis modal es opcional, no obstante, obliga a un análisis modal cuando la estructura presenta irregularidades tanto de planta como de elevación, siempre y cuando cumpla el 85% de la cortante basal obtenida por el método de fuerzas laterales equivalentes. Para el caso de estudio solo se hará un análisis basado en las fuerzas laterales equivalentes que siempre considera un cortante basal superior al obtenido por un análisis modal.

Finalmente, se elaboró un informe comparativo de resultados que incluyó las tablas de cortantes basales, derivas entre pisos, periodos fundamentales, y esfuerzos internos máximos, obtenidos mediante los análisis lineales realizados para ambos valores de zonificación sísmica.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del diseño, modelación y evaluación estructural de la vivienda tipo desarrollada conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC). Los análisis realizados permitieron comprobar el cumplimiento normativo, la rigidez estructural y el desempeño sísmico del prototipo diseñado bajo los criterios del método simplificado de la NEC-SE-VIVIENDA.

### **4.1.RESULTADOS O.E.1. DISEÑAR Y MODELAR UNA VIVIENDA TIPO DE DOS PISOS.**

#### **4.1.1. Configuración geométrica estructural resultante.**

El prototipo corresponde a una edificación de dos pisos, con un sistema resistente tipo pórticos de hormigón armado en ambas direcciones principales. Las luces máximas permitidas por el método simplificado fueron adoptadas en su valor límite:

- Luz en dirección X: 4.00 m
- Luz en dirección Y: 4.00 m
- Altura entre entresijos: 2.5 m

La geometría obtenida presenta regularidad en planta y elevación, condición necesaria para la validez del método simplificado de la NEC.

#### **4.1.2. Secciones estructurales mínimas obtenidas.**

El diseño preliminar, basado en los límites inferiores establecidos por la NEC-Vivienda 2015, determinó las siguientes secciones mínimas:

**Tabla 20***Secciones estructurales finales del prototipo.*

<b>Elemento estructural</b>	<b>Sección adoptada</b>	<b>Condición normativa</b>	<b>Observación</b>
Columna – Planta Baja	25 × 25 cm	Mínimo NEC-Vivienda	Mayor demanda axial en nivel base
Columna – Planta Alta	20 × 20 cm	Mínimo NEC-Vivienda	Reducción por menor carga tributaria
Viga (dirección de carga)	20 × 35 cm	Superior al mínimo para luces de 4 m	Dimensiones compatibles con columna
Viga (banda) paralela a nervios	20 x 20 cm	Igual al mínimo para luces de 4 m	Dimensiones compatibles con losa
Losa aligerada de entrepiso	20 cm	Losa en una dirección	Ancho de nervio de 10cm y separación de 40 cm
Viga de cubierta	15 x 20 cm	Dimensión mínima para vigas de cubierta	Amarran todas las columnas del segundo piso
Shell de cubierta	-	Techo no accesible	Idealizado en una sola dirección hacia vigas de cubierta

*Nota.* Fuente: NEC 2015

Estas dimensiones representan el escenario más desfavorable permitido por la norma, logrando un prototipo que verdaderamente constituye el límite de aplicación del método simplificado.

#### **4.1.3. Propiedades de los materiales utilizados.**

Los materiales del sistema estructural fueron definidos siguiendo los parámetros normativos de la NEC-SE-HM. La Tabla 18 muestra los valores finales empleados en el modelo.

**Tabla 21**

*Propiedades mecánicas utilizadas en el prototipo.*

<b>Material</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor aplicado</b>	<b>Unidad</b>
Hormigón estructural	$f_c$	240	kg/cm <sup>2</sup>
Hormigón estructural	Peso específico	2400	kg/m <sup>3</sup>
Acero longitudinal y transversal	$f_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

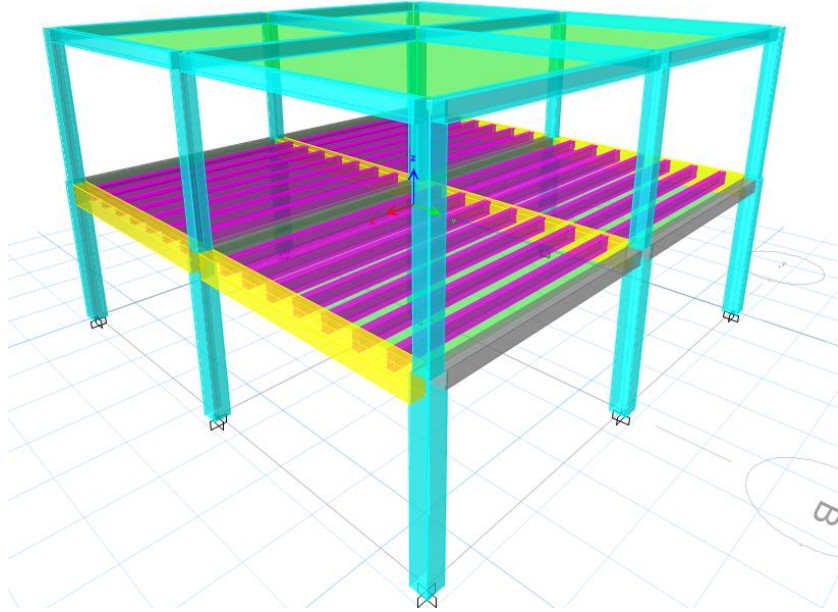
#### **4.1.4. Modelo estructural final obtenido en ETABS v22.**

El modelo tridimensional generado en ETABS representa de manera íntegra el sistema resistente del prototipo. Este modelo incluye:

- Modelación con elementos ‘Frame’ para vigas y columnas.
- Modelación de losas con elementos Shell–Thin y Frames.
- Asignación de diafragmas rígidos en ambos niveles.
- Definición del ‘Self Weight’ = 1.0 para todos los elementos de hormigón.
- Aplicación de rigidez efectiva conforme a NEC-SE-HM y ACI:
  - $0.80 \cdot I_g$  para columnas

### Ilustración 5

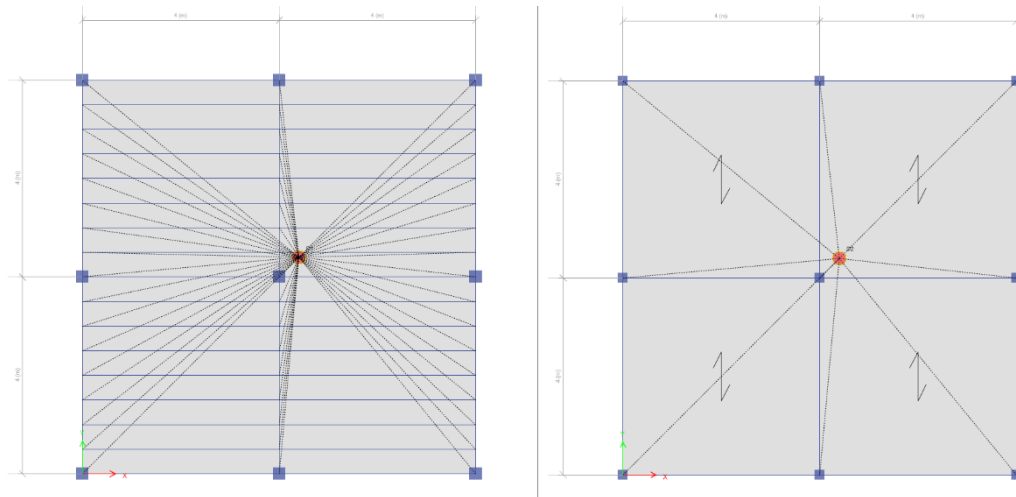
*Modelo tridimensional general de la estructura en ETABS.*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Ilustración 6

*Diafragmas rígidos en cada planta con excentricidad del 5%.*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22***Resumen de modificadores de rigidez empleados.*

<b>Elemento</b>	<b>Modificador</b>	<b>Justificación</b>
Columnas	0.80·Ig	Sección agrietada
Losa	Tipo: Shell–Thin	Espesor/h adecuado

*Nota.* Fuente: Elaboración propia**4.1.5. Cargas gravitatorias aplicadas al prototipo.**

Las cargas gravitatorias asignadas en el modelo incluyeron:

- Peso propio calculado automáticamente por ETABS.
- Cargas sobreimpuestas determinadas a partir de la Guía NEC-Vivienda

**Tabla 23***Cargas aplicadas a la losa de entrepiso.*

<b>ELEMENTO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
PESO DE CAJONETAS	<b>Wc</b>	2.40	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE RECUBRIMIENTO SUP.	<b>Wrs</b>	20.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE RECUBRIMIENTO INF.	<b>Wri</b>	20.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO MAMPOSTERÍA	<b>Wp</b>	250.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO INSTALACIONES	<b>Wi</b>	20.00	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
TOTAL CARGA MUERTA	<b>WD</b>	<b>312</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
TOTAL CARGA VIVA	<b>WL</b>	<b>200</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota.* Los valores de carga fueron modificados para no incluir pesos propios.**Tabla 24***Cargas aplicadas a cubierta inaccesible.*

<b>ELEMENTO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
PESO DE CUBIERTA (PLANCHAS)	<b>Wn</b>	5	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE CORREAS Y VIGAS	<b>Wc</b>	25	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO DE CIELO RASO	<b>Wri</b>	25	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
PESO INSTALACIONES	<b>Wi</b>	30	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
TOTAL CARGA MUERTA	<b>WD</b>	<b>85</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
TOTAL CARGA VIVA	<b>WL</b>	<b>70</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

La aplicación conjunta de las secciones mínimas, luces máximas y propiedades mecánicas definidas por la NEC-Vivienda permitió obtener un prototipo estructural representativo del límite inferior de aplicación del método simplificado. El modelo final presenta:

- Configuración estructural regular.
- Secciones mínimas permitidas por NEC.
- Losa unidireccional correctamente modelada.
- Aplicación de secciones agrietadas a columnas.
- Cargas gravitatorias definidas exclusivamente según normativa.

Este prototipo constituye la base sobre la cual se ejecutan los análisis sísmicos del O.E.2, permitiendo evaluar su desempeño bajo distintos niveles de amenaza sísmica.

## 4.2. RESULTADOS DE O.E.2. SIMULAR Y COMPARAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.

### 4.2.1. Masa sísmica.

Según la norma se debe considerar la totalidad de la carga muerta (peso propio + carga muerta sobreimpuesta) y el 25% de la carga viva, según el modelo se obtiene:

**Tabla 25**

*Masa sísmica considerada en modelo de Etabs.*

TIPO DE CARGA	W(Tn)
PESO PROPIO	26.50
CARGA MUERTA SOBREIMPUESTA	25.41
CARGA VIVA (25%)	4.32
SUMA	56.23

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2. Fuerzas sísmicas y cortante basal.

Las fuerzas sísmicas se obtuvieron mediante la distribución equivalente del cortante sísmico. La siguiente tabla resume los valores del cortante basal resultante para los distintos casos asumiendo una excentricidad accidental del 5%.

**Tabla 26**

*Cortante basal obtenido para la masa sísmica  $D+0.25L$ .*

DIRECCIÓN	Descripción	V(Tn)
EJE X	Z= 0.5	21.81
	Z=0.7	30.53
EJE Y	Z=0.5	21.81
	Z=0.7	30.53

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Se infiere un incremento de 8.72 Tn (40%) en el cortante basal estático con el análisis de  $Z=0.7$  con respecto al modelo con  $Z=0.5$

### 4.2.3. Derivas de piso.

La NEC-SE-DS establece que, para análisis lineal en edificaciones de hormigón, la deriva máxima no debe superar:

$$\Delta_{max} \geq \Delta_M \text{ donde } \Delta_{max} = 0.02$$

No obstante, recordemos que el control de derivas es en el rango inelástico, por tanto, se debe suprimir el factor de reducción, aunque no en su totalidad, la NEC-SE-DS dice que:

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta \text{ por tanto } \Delta_M = 2.25 * \Delta$$

La siguiente tabla presenta las derivas obtenidas:

**Tabla 27**

*Derivas máximas de piso para cada caso.*

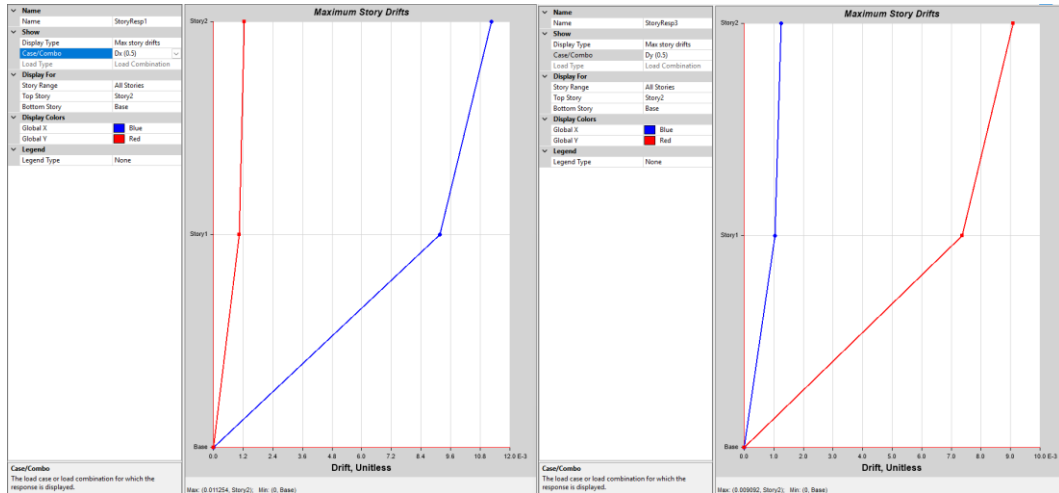
Piso	Dirección	Caso	Deriva	Límite NEC	Cumple	Eficiencia
Story2	X	Z=0.5	0.01125	0.02	Si	56.25%
		Z=0.7	0.01575	0.02	Si	78.75%
Story2	Y	Z=0.5	0.00909	0.02	Si	45.45%
		Z=0.7	0.01272	0.02	Si	63.6%
Story1	X	Z=0.5	0.00917	0.02	Si	45.85%
		Z=0.7	0.01284	0.02	Si	64.2%
Story1	Y	Z=0.5	0.00736	0.02	Si	36.8%
		Z=0.7	0.01030	0.02	Si	51.5%

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Las derivas para tanto para el caso  $Z=0.5$  y  $Z=0.7$  están dentro del límite permitido por la norma, demostrando que la rigidez lateral de las dimensiones mínimas de la norma NEC Vivienda es suficiente para un escenario donde la aceleración en roca sea igual o mayor a 0.5 hasta 0.7.

## Ilustración 7

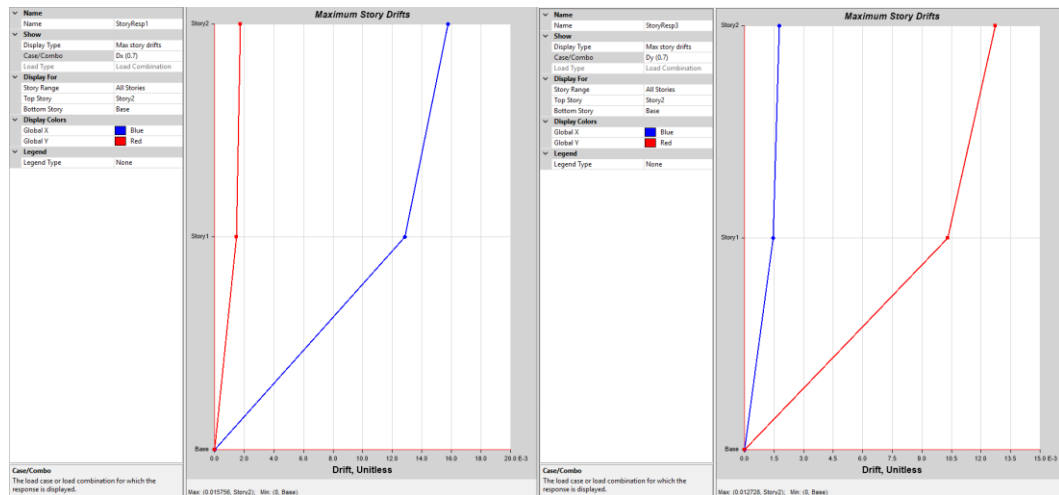
Deriva para sismo en X e Y para caso Z=0.5.



Nota. Fuente: Elaboración propia

## Ilustración 8

Deriva para sismo en X e Y para caso Z=0.7.



Nota. Fuente: Elaboración propia

### 4.2.4. Desplazamientos laterales globales.

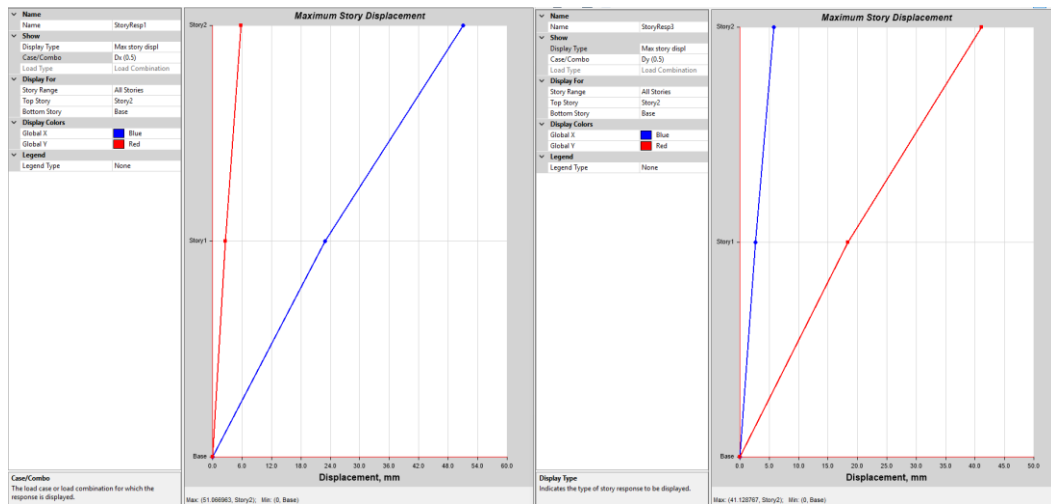
El desplazamiento lateral global corresponde al movimiento absoluto que experimenta cada nivel de la edificación respecto a su base debido a la acción sísmica. A diferencia de la deriva entre pisos ( $\Delta/h$ ), el desplazamiento global permite evaluar la deformación general del edificio, identificar posibles efectos de

torsión y verificar la coherencia del comportamiento estructural frente a las cargas laterales.

Para este análisis se empleó la función *Maximum Story Displacement* del software ETABS, obteniéndose los desplazamientos máximos de cada nivel para los casos de carga “*Sismo en X*” y “*Sismo en Y*”. Los resultados se presentan a continuación en forma gráfica y tabular.

### Ilustración 9

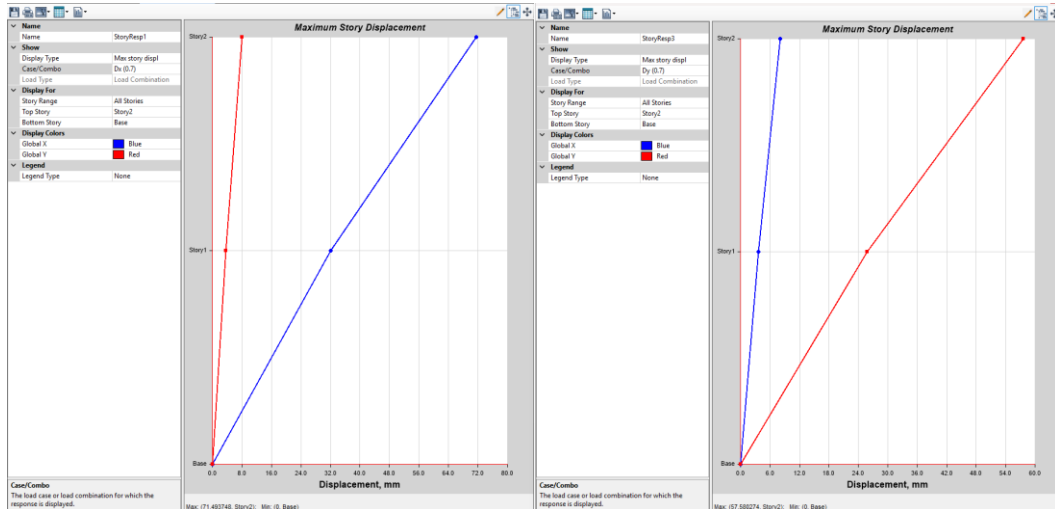
*Desplazamiento para sismo en X e Y para caso Z=0.5.*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Ilustración 10

*Desplazamiento para sismo en X e Y para caso Z=0.7.*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Como se esperaba, los desplazamientos máximos ocurren en el eje X en ambos casos, para  $Z=0.5$ , en el eje X tenemos un desplazamiento de 51.06 mm y para el caso  $Z=0.7$  uno de 71.49 mm.

#### **4.2.5. Revisión de esfuerzos internos en columnas críticas.**

El análisis de esfuerzos internos permite identificar los elementos que concentran la mayor demanda estructural bajo acción sísmica. Para este estudio se evaluaron las columnas del pórtico principal considerando la combinación de carga más crítico: “**1.2D+1.6L+Ex+0.3Ey**”, correspondiente a la dirección con mayor respuesta lateral según los desplazamientos obtenidos previamente. Se analizaron tres columnas representativas:

- **B2:** Columna central
- **C2:** Columna lateral intermedia
- **C3:** Columna esquinera

En ambos niveles de la edificación (Story1 y Story2). Los parámetros revisados fueron:

- Cortante principal  $V_2$
- Momento flector principal  $M_3$
- Axial N (referencia general)

Los diagramas se obtuvieron directamente desde ETABS mediante: Display → Force / Stress Diagrams → Frame / Pier Forces → Major ( $V_2$  and  $M_3$ ).

##### **4.2.5.1. Columnas del primer nivel (Story1 – Sección 25×25 cm).**

En el primer nivel, las solicitaciones son máximas debido a la acumulación del cortante sísmico hacia la base. La columna central B2 presenta los valores más elevados de cortante y momento, seguida por la columna lateral C2 y finalmente la columna esquinera C3.

**Tabla 28**

*Esfuerzos internos máximos en columnas (Story1, Sismo en X).*

Columna	Ubicación	Sección (cm)	Caso	Cortante $V_2$ (Tn)	Momento $M_3$ (Tn·m)	Carga Axial (Tn)
B2	Central	25×25	Z=0.5	3.06	4.33	24.94
			Z=0.7	4.29	6.07	24.94
C2	Lateral intermedia	25×25	Z=0.5	3.26	4.5	13.15
			Z=0.7	4.26	6.04	13.97
C3	Esquinera	25×25	Z=0.5	3.29	4.98	7.19
			Z=0.7	4.41	6.81	8.00

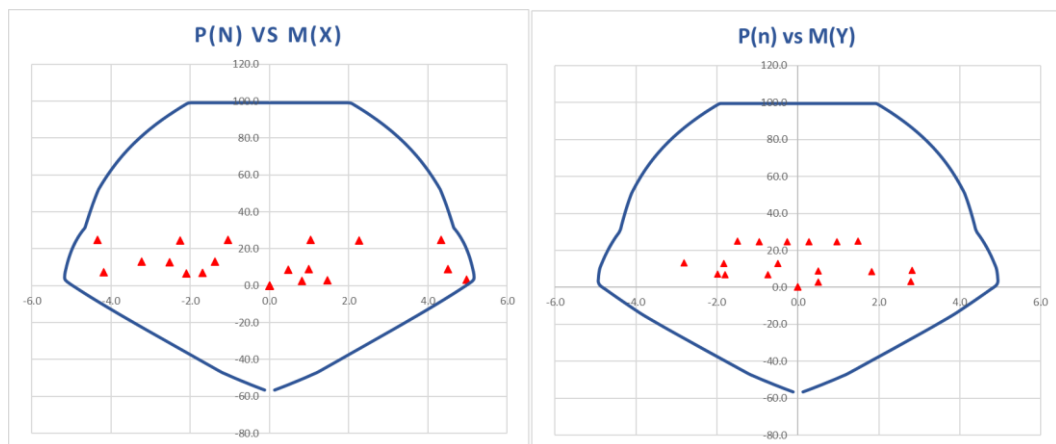
*Nota.* Fuente: Elaboración propia

La columna central B2 desarrolla la mayor carga axial y la columna esquinera C3 el máximo esfuerzo cortante y esfuerzos de flexión por momento flector.

Elaboramos un diagrama de interacción para una columna de 25x25 con las características antes mencionadas, para conocer si las demandas de carga se encuentran dentro de la resistencia de diseño sísmico:

**Ilustración 11**

*Diagrama de interacción para columnas de 25x25, caso Z=0.5.*



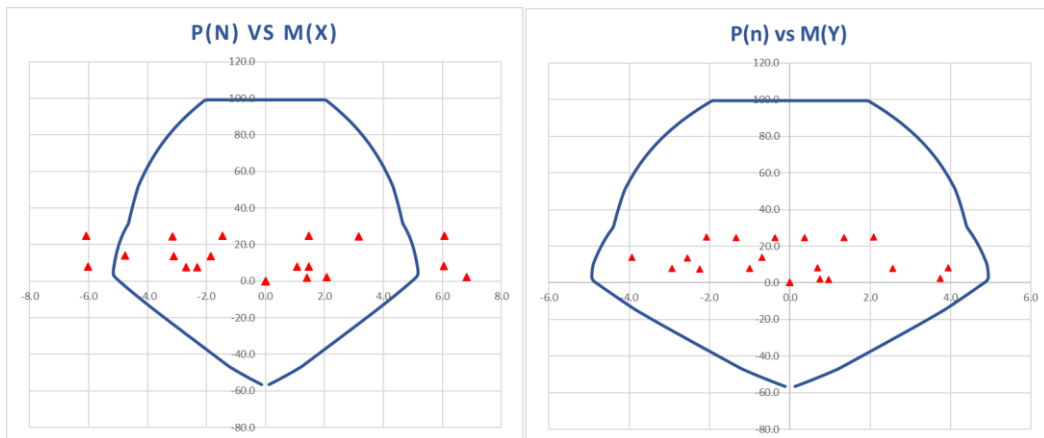
*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Las solicitaciones de carga con la configuración de 8  $\Phi$ 12 mm antes propuesta no cumple la capacidad sismorresistente, para el diagrama de interacción se empleó una configuración de 4 $\Phi$ 14 mm (esquinas) + 6  $\Phi$ 12 mm (2 en eje centro 'y' y 1 en eje central 'x') que cumple satisfactoriamente con las demandas y con la cuantía mínima y máxima de la sección.

Para el caso  $Z=0.7$ , si mantenemos la sección y configuración anterior no cumple la demanda de ductilidad, como se observa en la ilustración 13.

### Ilustración 12

*Diagrama de interacción para columnas de 25x25, caso  $Z=0.7$  con la configuración de acero de la Ilustración 12.*

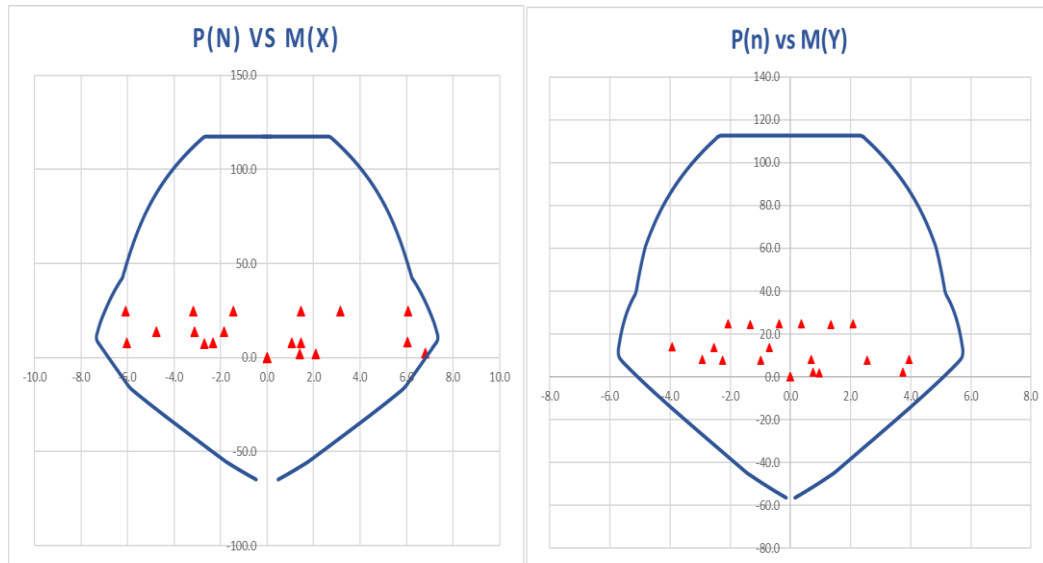


*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Para este caso no se podrá mantener la sección de 25x25 cm, hay que cambiar a una sección de 25x30, donde la inercia mayor tendrá que ubicarse de manera paralela al eje de mayor demanda (eje 'x'), con una configuración de acero de 4 $\Phi$ 14 mm (esquinas) + 6  $\Phi$ 12 mm (2 en eje centro 'x' y 1 en eje central 'y').

### Ilustración 13

Diagrama de interacción para columnas de 25x30, caso  $Z=0.7$ .



Nota. Fuente: Elaboración propia

Por tanto es necesario aumentar la sección de columna si aumentamos el valor de  $Z=0.5$  a  $Z=0.7$ , no obstante se puede mantener la configuración de acero en la sección aunque distribuida de manera diferente.

#### 4.2.5.2. Columnas del segundo nivel (Story2 – Sección 20x20 cm).

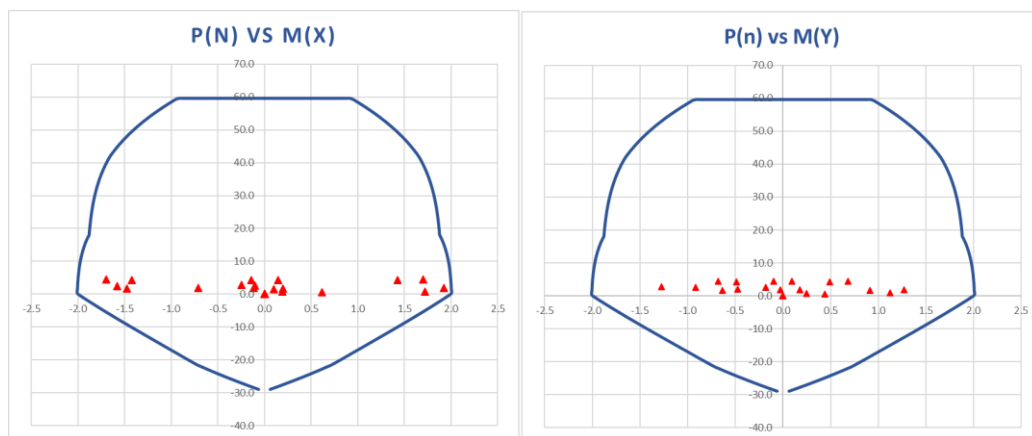
En el nivel superior se observa una reducción considerable de los esfuerzos, sin embargo, para la disminución correcta de las columnas en el segundo piso es viable disminuir a 20x20 tal como se indica en la norma.

**Tabla 29***Esfuerzos internos máximos en columnas (Story2, Sismo en X).*

Columna	Ubicación	Sección (cm)	Caso	Cortante $V_2$ (Tn)	Momento $M_3$ (Tn·m)	Carga Axial (Tn)
B2	Central	20×20	Z=0.5	1.36	1.70	4.53
			Z=0.7	1.90	2.38	4.53
C2	Lateral intermedia	20×20	Z=0.5	1.52	1.92	2.80
			Z=0.7	1.85	2.35	2.98
C3	Esquinera	20×20	Z=0.5	1.38	1.12	1.96
			Z=0.7	1.77	2.20	2.18

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

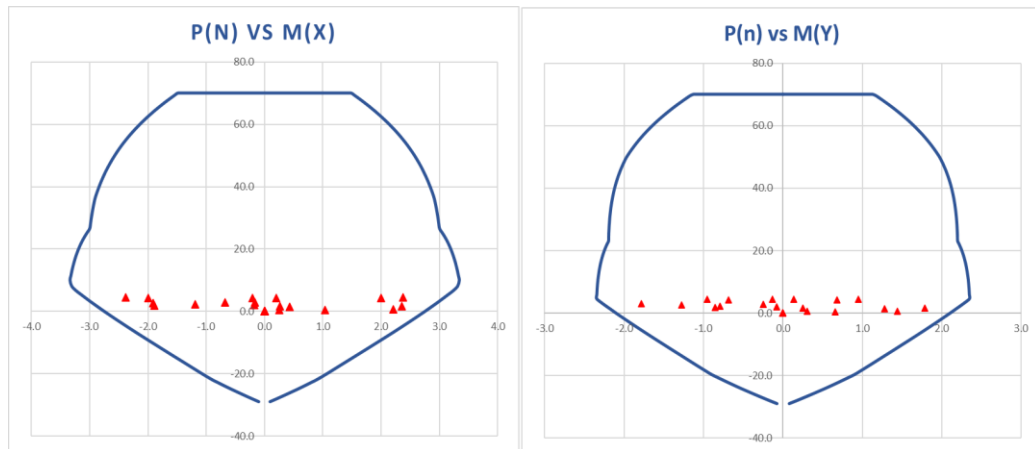
Por tanto, el diagrama de interacción para el caso Z=0.5, con una sección de 20x20 y una configuración típica de 8Φ10 cumple con las demandas de carga sísmica.

**Ilustración 14***Diagrama de interacción para columnas de 20x20, caso Z=0.5.**Nota.* Fuente: Elaboración propia

Ahora para el caso donde Z=0.7 para que cumpla satisfactoriamente con las demandas será necesario aumentar la sección a 20x25, pero la cuantía de acero se mantiene con respecto al caso Z=0.5

## Ilustración 15

Diagrama de interacción para columnas de 20x25, caso  $Z=0.7$ .



Nota. Fuente: Elaboración propia

### 4.2.1. Revisión de esfuerzos internos en vigas críticas.

#### 4.2.1.1. Verificación de sección y cuantías de acero en vigas principales del primer piso.

Será necesario verificar si la sección antes predimensionada para el modelo es suficiente para mantener un equilibrio entre sección y cuantía, por tanto se tienen los siguientes resultados de momentos y cortantes para las vigas de los ejes A-C.

**Tabla 30***Momentos y cortantes últimos sísmicos de vigas principales.*

Eje	Vano	Longitud (m)	Caso	Cortante V <sub>2</sub> (Tn)	Max Momento (+) M <sub>3</sub> (Tn·m)	Max Momento (-) M <sub>3</sub> (Tn·m)
A	1-2	4	Z=0.5	4.54	2.23	-3.72
	2-3		Z=0.5	5.02	2.50	-4.14
	1-2		Z=0.7	4.87	2.6	-4.18
	2-3		Z=0.7	5.53	2.92	-4.78
B	1-2	4	Z=0.5	9.40	4.25	-6.94
	2-3		Z=0.5	9.40	4.25	-6.94
	1-2		Z=0.7	9.63	4.43	-7.31
	2-3		Z=0.7	9.63	4.43	-7.31
C	1-2	4	Z=0.5	4.74	2.55	-4.12
	2-3		Z=0.5	5.27	2.78	-4.56
	1-2		Z=0.7	5.14	3.10	-4.75
	2-3		Z=0.7	5.90	3.42	-5.36

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Se observa que el eje más crítico lógicamente es el eje medio (B) y el vano 2-3 es el más exigido, comprobaremos si es factible mantener la sección en el eje medio y eje lateral para cada caso.

**Tabla 31***Área de acero de diseño para vigas principales.*

Eje	Vano	Sección	Caso	As (+)(diseño) (cm <sup>2</sup> )	As (-)(diseño) (cm <sup>2</sup> )
B	1-2	25x35	Z=0.5	4.62	6.88
	2-3		Z=0.5	4.62	6.88
	1-2		Z=0.7	4.62	7.70
	2-3		Z=0.7	4.62	7.70
C	1-2	20x35	Z=0.5	3.08	4.21
	2-3		Z=0.5	3.08	4.62
	1-2		Z=0.7	3.39	4.62
	2-3		Z=0.7	3.39	5.40

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de resistencia al esfuerzo cortante calcularemos el  $V_n$  para las secciones más críticas (B y C), que incluirá la cuantía de acero mínima transversal de la norma (1 $\Phi$ 8 cada 5cm) y ver si cumple.

Para la sección de 25x35 se tiene que:

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.75 * V_c + 0.75 * V_s \\ \phi V_n &= 0.75 * 6.36 Tn + 0.75 * 26.18 \\ \phi V_n &= 24.41 Tn\end{aligned}$$

Cumple satisfactoriamente, ahora con la sección de 20x35:

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.75 * 5.09 Tn + 0.75 * 26.18 \\ \phi V_n &= 23.45 Tn\end{aligned}$$

Cumple con una eficiencia (para el caso más crítico en  $Z=0.7$  donde  $V=9.40$  Tn) del 250%, aun espaciando los estribos en  $L/4$  a 10 cm sigue cumpliendo con un rango del 140% de eficiencia.

Por tanto, se puede interpretar que:

- Hay un incremento de sección para de viga del eje B del 25%, subiendo de una sección predimensionada de 20x35 a 25x35.
- Para cuantías de acero hay un incremento del 12% en acero negativo y del eje B, y un incremento del 17% de acero negativo y 10% de acero positivo en el eje C.
- La cuantía de acero transversal de la norma es más suficiente para aportar una resistencia a cortante adicional que supla la demanda adicional.

#### ***4.2.1.2. Verificación de sección en vigas principales del segundo piso.***

Será necesario verificar si la sección antes predimensionada para el modelo es suficiente para mantener un equilibrio entre sección y cuantía, por tanto se tienen

los siguientes resultados de momentos y cortantes para las vigas de los ejes A-C del segundo piso en la tabla 27.

**Tabla 32**

*Momentos y cortantes últimos sísmicos de vigas principales.*

Eje	Vano	Longitud (m)	Caso	Cortante $V_2$ (Tn)	Max Momento (+) $M_3$ (Tn·m)	Max Momento (-) $M_3$ (Tn·m)
1	A-B	4	Z=0.5	1.50	0.72	-1.45
	B-C		Z=0.5	1.50	0.72	-1.45
	A-B		Z=0.7	1.67	0.97	-1.76
	B-C		Z=0.7	1.67	0.97	-1.76
2	A-B	4	Z=0.5	2.37	0.96	-2.02
	B-C		Z=0.5	2.37	0.96	-2.02
	A-B		Z=0.7	2.56	1.14	-2.34
	B-C		Z=0.7	2.56	1.14	-2.34
3	A-B	4	Z=0.5	1.61	0.87	-1.64
	B-C		Z=0.5	1.61	0.87	-1.64
	A-B		Z=0.7	1.83	1.22	-2.04
	B-C		Z=0.7	1.83	1.22	-2.04

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Se observa que el eje más crítico lógicamente es el eje medio (2) y el vano B-C es el más exigido, comprobaremos si es factible mantener la sección en el eje medio y eje lateral para cada caso.

**Tabla 33**

*Área de acero de diseño para vigas principales del segundo piso.*

Eje	Vano	Sección	Caso	As (+)(diseño) (cm <sup>2</sup> )	As (-) (diseño) (cm <sup>2</sup> )
2	A-B	15X20	Z=0.5	2.26	4.21
	B-C	15X20	Z=0.5	2.26	4.21
	A-B	15X25	Z=0.7	1.57	3.58
	B-C	15X25	Z=0.7	1.57	3.58
3	A-B	15x20	Z=0.5	1.57	3.58
	B-C	15X20	Z=0.5	1.57	3.58
	A-B	15X25	Z=0.7	2.26	3.05
	B-C	15X25	Z=0.7	2.26	3.05

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de resistencia al esfuerzo cortante calcularemos el  $V_n$  para las secciones más críticas (B y C), que incluirá la cuantía de acero mínima transversal de la norma (1 $\Phi$ 8 cada 5cm) y ver si cumple.

Para la sección de 15x20 se tiene que:

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.75 * V_c + 0.75 * V_s \\ \phi V_n &= 0.75 * 1.97 Tn + 0.75 * 13.51 \\ \phi V_n &= 11.61 Tn\end{aligned}$$

Cumple satisfactoriamente, ahora con la sección de 15x25:

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.75 * 2.59 Tn + 0.75 * 17.73 \\ \phi V_n &= 15.24 Tn\end{aligned}$$

Cumple con una eficiencia (para el caso más crítico en  $Z=0.7$  donde  $V=2.56 Tn$ ) con casi el 600%, aun espaciando los estribos en  $L/4$  a 10 cm sigue cumpliendo con un rango del 335% de eficiencia.

Por tanto, se puede interpretar que:

- Hay un incremento de sección para de viga del eje B del 25%, subiendo de una sección predimensionada de 15x20 a 15x25.
- Para cuantías de acero hay un incremento del 44% en acero positivos en el eje 3.
- La cuantía de acero transversal de la norma es más suficiente para aportar una resistencia a cortante adicional que supla la demanda adicional.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES**

### **4.3. CONCLUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1**

El proceso de predimensionamiento basado en la NEC-Vivienda 2015 permitió establecer secciones mínimas coherentes con las exigencias normativas, obteniéndose columnas de 25x25 cm y 20x20 cm, vigas de 20x35 cm con una losa aligerada de 15 cm (entrepiso) y una cubierta inaccesible metálica, todas ellas cumpliendo los requisitos de recubrimiento, cuantía mínima y limitaciones geométricas del método simplificado.

La carga muerta, carga viva, tabiquería y masa sísmica fueron definidas conforme a la NEC-SE-Cargas y NEC-SE-DS, reproduciendo condiciones realistas de edificación residencial. La distribución de áreas tributarias se ajustó a la configuración arquitectónica, garantizando la correcta asignación de cargas gravitacionales y sísmicas.

La modelación estructural en ETABS Ultimate v22, con diafragmas rígidos, modificadores de rigidez normativos y conectividad adecuada entre vigas, columnas y losas, permitió generar un modelo tridimensional fiel al prototipo. La estructura resultante fue regular en planta y elevación, condición necesaria para la validez del método simplificado.

El prototipo diseñado constituye una representación adecuada de la “condición límite” del método simplificado, al emplear simultáneamente luces máximas, secciones mínimas y una configuración típica de vivienda social en el contexto ecuatoriano.

#### 4.4. CONCLUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

El análisis estructural desarrollado permitió evaluar la pertinencia de utilizar las dimensiones mínimas establecidas por la NEC-Vivienda para los elementos de concreto armado en una edificación de dos pisos y luces de 4 metros, ubicada en zona de alta sismicidad ( $Z = 0,50$  y  $Z=0.7$ ).

Los resultados obtenidos a partir del modelo estructural muestran un comportamiento global estable para  $Z=0.5$  y  $Z=0.7$ , es decir la rigidez lateral es oportuna y cumple con las limitaciones admisibles de la norma.

No obstante, evaluando el comportamiento independiente de los elementos tales como columnas, se obtuvo que las dimensiones mínimas en columnas cumplen muy bien para el caso  $Z=0.5$ , pero para el caso  $Z=0.7$ , se tuvieron que redimensionar elementos para establecer su cumplimiento por resistencia, por tanto, se intuye que en este caso las dimensiones mínimas dadas por la norma no cumplen con la demanda sísmica dada por un factor  $Z=0.7$ .

En el caso de las vigas es necesario predimensionar la sección de las vigas que cargarán el peso de los nervios, para obtener el peralte necesario para evitar iterar cálculos, la demanda de cargas del caso  $Z=0.5$  se puede cumplir con la sección predimensionada, añadiéndole el acero de refuerzo necesario para suplir la demanda.

Mientras que para el caso  $Z=0.7$  no cumple con la sección escogida, por tanto se concluye que es necesario que, para este caso, se chequeen las secciones predimensionadas con las solicitaciones sísmicas, para de esta manera escoger una sección que me permita llegar a un equilibrio entre acero y hormigón, en cuanto a cuantías.

Es importante definir que, aunque el comportamiento global (derivado) cumpla con la normativa, es imperativo que el análisis por resistencia de los elementos estructurales esté también en un rango de cumplimiento.

Por tanto es necesario recalcar que la aplicación de la norma NEC – Vivienda, que especifica detalles estructurales mínimos necesarios para viviendas de máximo 2 pisos y luces de no más de 5 m (4 m para estructuras aporticadas de hormigón armado) solo es aplicable para estructuras donde la zonificación sísmica arroja un valor  $Z$  de entre 0.15 a 0.5, ya que si el factor es mayor, las dimensiones propuestas por la norma pueden no ser suficientes para la demanda sísmica, y requieren un cálculo prolijo que permita elegir secciones y cantidades idóneas para la sollicitación.

## BIBLIOGRAFÍA

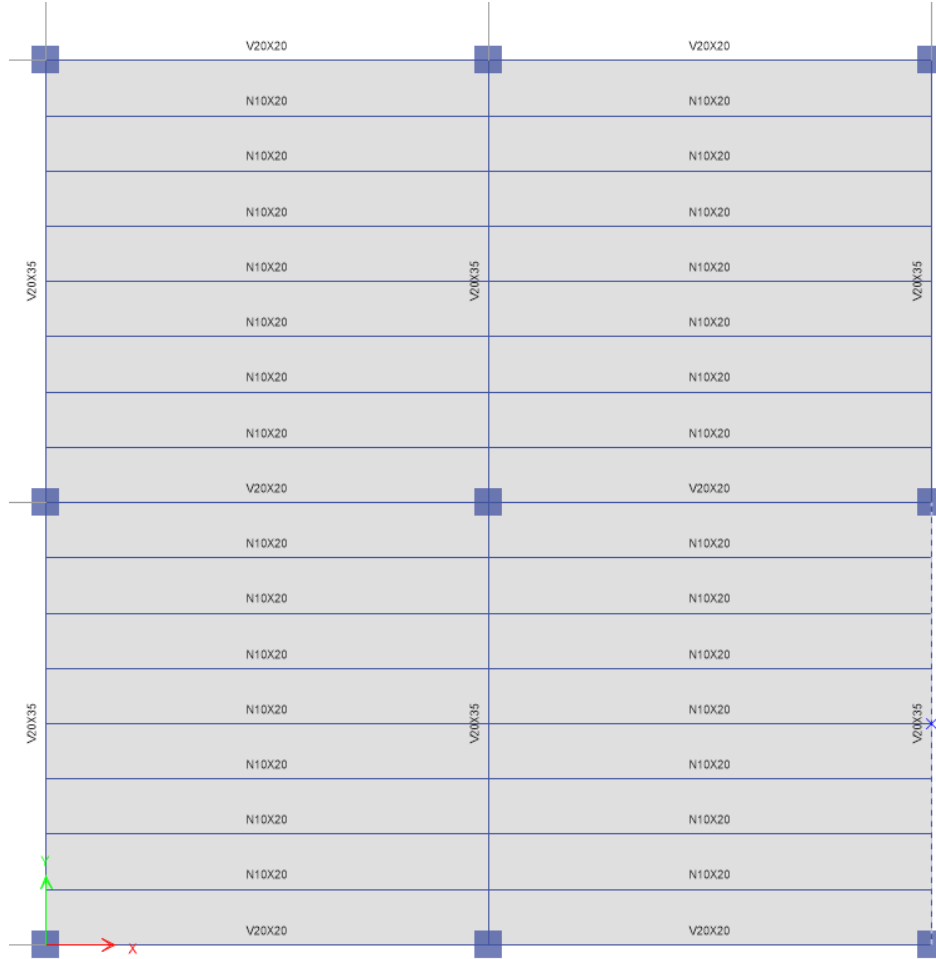
- Aguilar, R. (2003). *Análisis sísmico por desempeño*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/280627456\\_Analisis\\_Sismico\\_por\\_Desempeno](https://www.researchgate.net/publication/280627456_Analisis_Sismico_por_Desempeno)
- American Concrete Institute Committee 318. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute Committee 362. (2012). *Guide for the design and construction of durable concrete parking structures (ACI 362.1R-12)*. Farmington Hills, MI. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/aci3621r-12-pdf-free.html>
- American Society of Civil Engineers. (2013). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (ASCE 41-13)*. Reston, VA. Obtenido de <https://construccionesuce.wordpress.com/2023/06/01/evaluacion-sismica-y-reacondicionamiento-de-estructuras-existentes-asce-41-13/>
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*.
- American Society of Civil Engineers. (2022). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-22)*. Reston, VA.
- American Society of Civil Engineers. (2023). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (ASCE/SEI 41-23)*. Reston, VA.
- Applied Technology Council. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40)*. Redwood City, CA.
- Baque De Los Santos, I. P., & Suárez Rodríguez, R. E. (2021). *Análisis sísmico comparativo de tipo estático no lineal entre dos estructuras de diferente configuración estructural, hasta el desempeño último de falla*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6415>
- Baquerizo, J. J. (2011). *Diseño de edificio de parqueos en campus de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, costos y prefactibilidad del proyecto*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1197>

- Bertero, V. V., & Bertero, R. D. (2002). Performance-based seismic engineering: The need for a reliable conceptual framework. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/eqe.146>
- Betancourt Valdivieso, A. M., & Cervantes Gálvez, M. O. (2010). *Cálculo y diseño estructural del edificio de estacionamientos del cantón Rumiñahui*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1687>
- Bozorgnia, Y., & Bertero, V. V. (2004). *Earthquake engineering*. Washington, D.C.
- Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (4.ª ed.)*. Pearson.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (2004). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1 (EN 1998-1)*. Bruselas.
- EPN, IGEPN – Instituto Geofísico. (2016). *Informe especial: Terremoto de Pedernales (Mw 7.8) del 16 de abril de 2016*. Quito, Ecuador.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Upper Saddle River, NJ.
- MIDUVI. (2015). *Capítulo Vivienda (vivienda unifamiliar)*. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)*. Quito, Ecuador.
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-C: Concreto armado*. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)*. Quito, Ecuador.
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-DS: Peligro sísmico*. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)*. Quito, Ecuador.
- Moehle, J. P., & Deierlein, G. G. (2004). *A framework methodology for performance-based seismic design*. En *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (13WCEE)*. Vancouver, Canadá.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2010). *Guidelines for performance-based seismic design of tall buildings*. Berkeley, CA.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Oakland, CA.
- World Bank / GFDRR. (2016). *Building regulation for resilience: Managing risks for safer cities*. Washington, D.C.

# ANEXOS

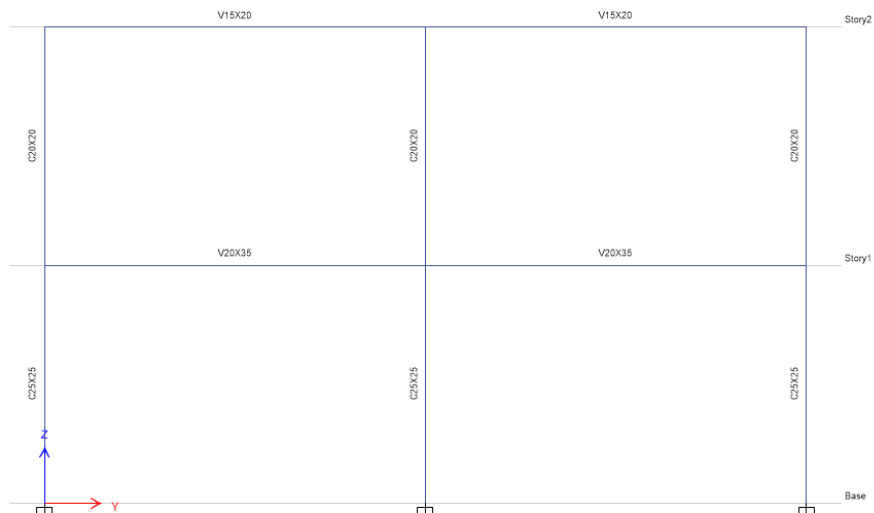
## Anexo 1

### Secciones en planta baja



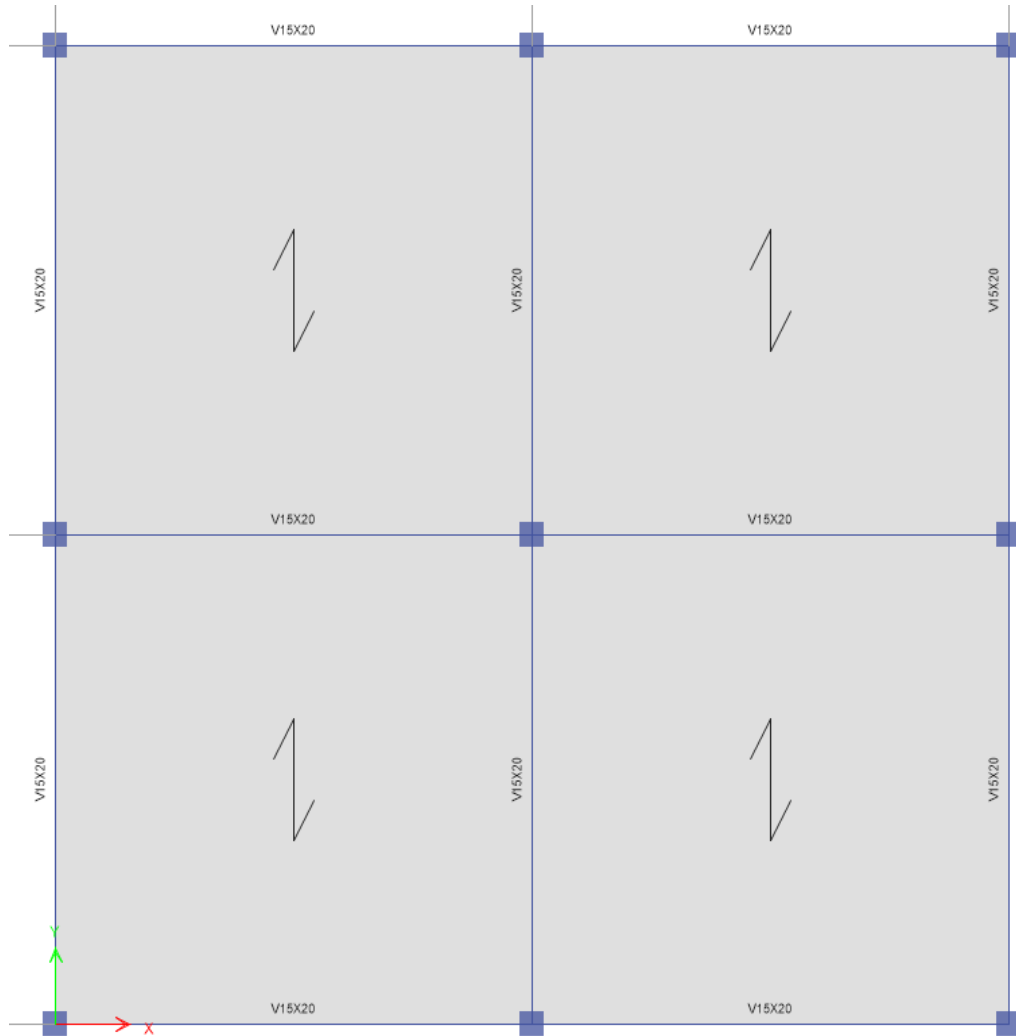
## Anexo 2

### Secciones de columnas



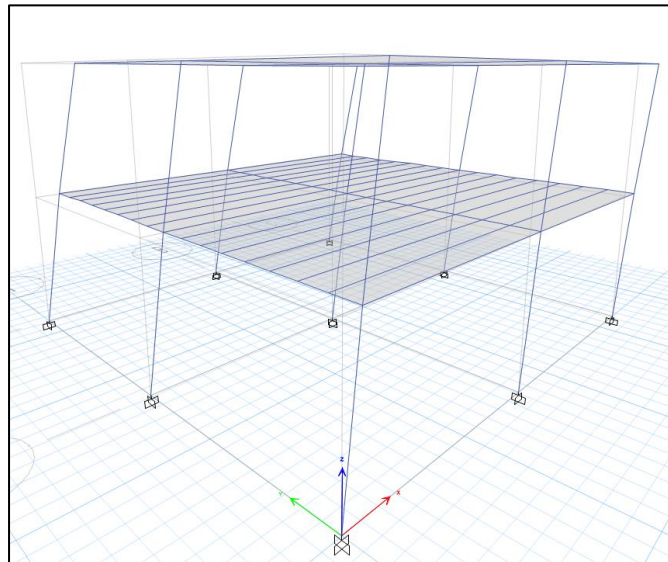
### Anexo 3

#### Secciones en planta alta



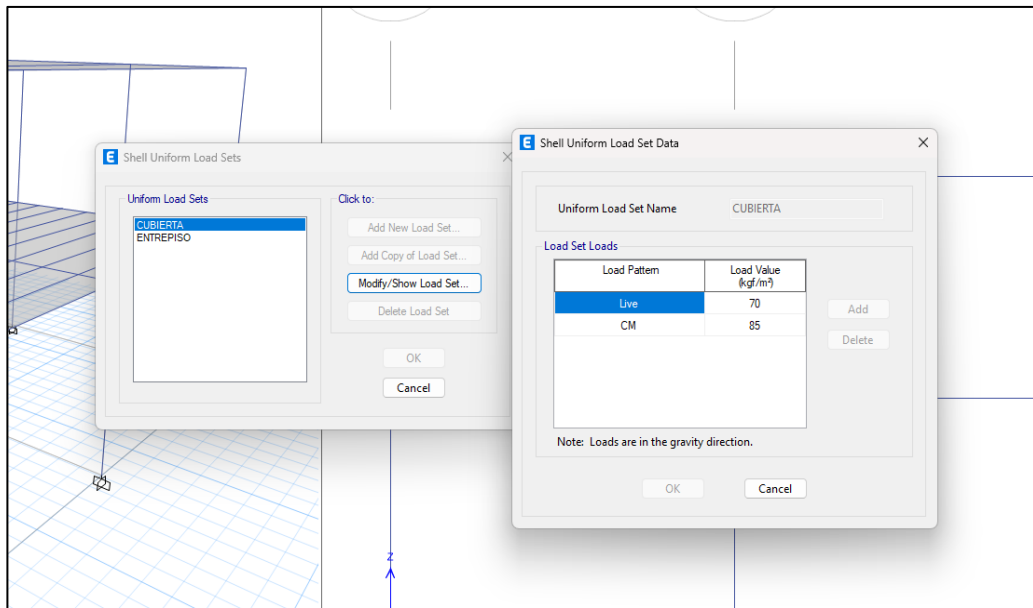
### Anexo 4

#### Estructura deformada por aplicación de fuerzas sísmicas (amplificado)



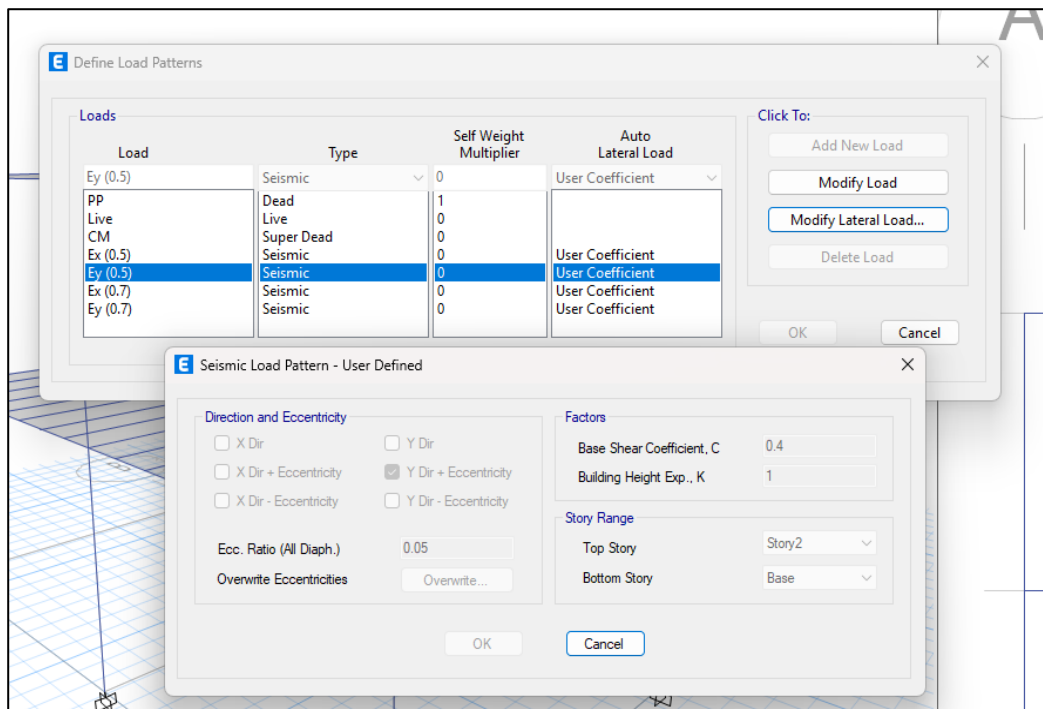
## Anexo 5

### Definición de cargas gravitacionales



## Anexo 6

### Definición de cargas sísmicas



## Anexo 7

### Definición de masa sísmica

The screenshot shows the 'Mass Source Data' dialog box. It is divided into several sections:

- Mass Source Name:** A text field containing 'MsSrc1'.
- Mass Source:** A section with three checked options: 'Additional Mass', 'Specified Load Patterns', and 'Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:'. Below this are two input fields, both set to '0.05', labeled 'This Ratio of Diaphragm Width in X Direction' and 'This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction'.
- Mass Multipliers for Load Patterns:** A table with two columns: 'Load Pattern' and 'Multiplier'. The table contains three rows: 'PP' with multiplier '1', 'CM' with multiplier '1', and 'Live' with multiplier '0.25'. To the right of the table are 'Add', 'Modify', and 'Delete' buttons.
- Mass Options:** A section with three checked options: 'Include Lateral Mass', 'Include Vertical Mass', and 'Lump Lateral Mass at Story Levels'.

At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.