



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DE UNA EDIFICACION DE HORMIGON
ARMADO DE 2 PISOS CON LUCES HASTA 5 METROS CON DIFERENTES SOFTWARES
APLICANDO LA NEC-SE-VIVIENDA,2015**

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

AUTORES: Alex David Barros Alcivar
Bryan Mauricio Murillo Herrera

TUTOR: José Paúl Olmedo Cueva

Quito – Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alex David Barros Alcivar con documento de identificación N° 1725840894 y Bryan Mauricio Murillo Herrera con documento de identificación N° 1723891675; manifestamos que:

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

Quito, 12 de agosto del 2024

Atentamente,



Alex David Barros Alcivar
1725840894



Bryan Mauricio Murillo Herrera
1723891675

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

Nosotros, Alex David Barros Alcivar con documento de identificación N° 1725840894 y Bryan Mauricio Murillo Herrera con documento de identificación N° 1723891675; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de Investigación: “Análisis estructural y comparativo de una edificación de hormigón armado de 2 pisos con luces hasta 5 metros con diferentes softwares aplicando la NEC-SE-Vivienda, 2015”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 12 de agosto del 2024

Atentamente,

Alex David Barros Alcivar
1725840894

Bryan Mauricio Murillo Herrera
1723891675

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Paúl Olmedo Cueva con documento de identificación N° 1714108048, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DE UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO DE 2 PISOS CON LUCES HASTA 5 METROS CON DIFERENTES SOFTWARES APLICANDO LA NEC-SE-VIVIENDA, 2015**, realizado por Alex David Barros Alcivar con documento de identificación N° 1725840894 y Bryan Mauricio Murillo Herrera con documento de identificación N° 1723891675, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto de Investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. José Paúl Olmedo Cueva MSc

1714108048

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DE UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO DE 2 PISOS CON LUCES HASTA 5 METROS CON DIFERENTES SOFTWARES APLICANDO LA

NEC-SE-VIVIENDA, 2015

STRUCTURAL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF A 2 STORY REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH LIGHTS UP TO 5 METERS WITH DIFFERENT SOFTWARE'S APPLYING THE NEC-SE-VIVIENDA, 2015

Alex Barros-Alcivar¹, Bryan Murillo-Herrera², Paúl Olmedo-Cueva³

Resumen

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis estructural de una edificación de hormigón armado siguiendo los requisitos del capítulo NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces hasta 5 metros y la NEC-SE-HM: Estructuras de hormigón armado, del eje de seguridad estructural de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. La vivienda utilizada como caso de estudio para este análisis y diseño está ubicada en Ecuador, en la provincia de Pichincha dentro del Distrito Metropolitano de Quito, en la ciudadela "La Ecuatoriana".

Además, este trabajo de investigación realiza un estudio comparativo de los resultados obtenidos utilizando tres Softwares de análisis estructural: ETABS, SAP2000 y Robot Structural Analytics Professional, para verificar que las secciones propuestas cumplan con los requisitos de seguridad mínimos establecidos Norma Ecuatoria de Construcción del eje de seguridad estructural y determinar cuál de estos programas ofrece un diseño eficiente y adecuado, cumpliendo los parámetros de la NEC-SE-DS, 2015 para poder catalogarla como Sismorresistente.

Palabras Clave: Cortante Basal, Deriva de Piso, Espectro de Respuesta, Factor de Importancia, Periodo de Vibración, Riesgo Sísmico.

Abstract

The present research work focuses on the structural analysis of a reinforced concrete building following the requirements of the chapter: NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces hasta 5 metros, and the chapter: NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado, of the structural safety axis of the Ecuadorian Construction Standard. The building used as a case study for this analysis and design is located in Ecuador, in the province of Pichincha within the Metropolitan District of Quito, in the "La Ecuatoriana" neighborhood.,

Additionally, this research conducts a comparative study of the results obtained using three structural analysis software programs: ETABS, SAP2000, and Robot Structural Analysis Professional. The aim is to verify that the proposed sections meet the minimum safety requirements established by the Ecuadorian Construction Code for structural safety and to determine which of these programs offers an efficient and adequate design, complying with the parameters of the NEC-SE-DS, 2015, in order to classify it as earthquake-resistant.

Keywords: Basal Shear, Floor Drift, Response Spectrum, Importance Factor, Vibration Period, Seismic Risk.

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

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

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

Autores para correspondencia: abarrosa@est.ups.edu.ec bmurilloh@est.ups.edu.ec jolmedoc@ups.edu.ec

1. Introducción

Ecuador, al estar ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico enfrenta una amenaza sísmica constante, además, el Distrito Metropolitano de Quito el cual es atravesado por diversas fallas, como la falla de Quito, la falla de Huaycopungo y la falla de Pallatanga, estas condiciones representan un riesgo sísmico significativo para las estructuras construidas en la ciudad teniendo así una alta vulnerabilidad a la exposición de estos efectos sísmicos. En este contexto las secciones mínimas propuestas en la normativa de construcción vigente deben cumplir con estrictos parámetros de seguridad estructural para salvaguardar la integridad de las edificaciones y la seguridad de sus ocupantes. Por esta razón se comprobará si las secciones mínimas propuestas en la NEC-SE-VIVIENDA, 2015, cumplen las garantías sismorresistentes.

En este contexto para el análisis estructural, se utilizarán softwares especializados que representan una herramienta esencial al proporcionar una notable optimización del tiempo empleado en los procesos de análisis y diseño estructural, por lo cual son ampliamente utilizados en el campo de la ingeniería civil y estructural. Los programas comerciales, más utilizados en el ámbito profesional de Ingeniería Civil son: ETABS, SAP2000 y Robot Structural Analysis Professional, los cuales realizan sus análisis basados en el Método de Elementos Finitos (MEF).

Al obtener los resultados de los programas mencionados anteriormente, es fundamental comprobar la similitud de los datos proporcionados, considerando que se utilizan secciones, características y materiales idénticos. Esta verificación permite evaluar la fiabilidad de cada software. Dado que los diferentes paquetes computacionales pueden producir resultados variados debido a sus algoritmos, capacidades de modelado y suposiciones internas, por lo cual surge la incertidumbre acerca de cuál de ellos ofrece valores más cercanos a la realidad. Para poder garantizar que las estructuras propuestas en el

diseño sean catalogadas como sismorresistentes, conforme a las características sísmicas del país, siendo esencial poder garantizar la seguridad de la estructura y sus ocupantes.

En esta investigación, se examinó una vivienda de hormigón armado de dos pisos con una luz máxima de 3.90 m en el eje "x" y 4.2 m en el eje "y", utilizando los softwares de análisis estructural antes mencionados.

Este enfoque permite evaluar la precisión y eficiencia de cada herramienta de diseño estructural, proporcionando una base para decidir cuál software utilizar, enfocándose a las herramientas y facilidades que ofrecen para el modelado, así como en la fiabilidad de sus resultados.

1.1. Estado del Arte

La investigación propuesta en [1] profundiza en el análisis comparativo de los softwares ETABS y Robot Structural Analysis Professional en relación con el modelamiento, diseño sismorresistente y diseño en hormigón armado para un edificio de cinco niveles. La comparación entre ETABS, Robot Structural Analysis Professional, revela diferencias en el comportamiento estructural según cada programa, aunque estas no ejercen una influencia relevante en el diseño en hormigón armado de la estructura. Estos resultados resultan en elementos estructurales con dimensiones y refuerzos de acero similares entre los planos generados por los tres programas.

Se muestra como a pesar de ocupar las mismas secciones, con las mismas propiedades de materiales, misma geometría, combinaciones de cargas y parámetros para diseño sismorresistente los programas proporcionan resultados similares, pero no iguales. Se encontraron variaciones en los resultados de momentos y cortantes (por las cifras significativas que toma cada programa en los decimales), cambios en las coordenadas de los centros de masa y de rigidez y por ende la excentricidad. También se destaca la eficiencia de usar ETABS puesto que al tener una interfaz más

intuitiva el tiempo que toma diseñar una estructura aquí es menor que el que tomará en Robot S.A.P.

En [2] realiza el análisis comparativo de los resultados brindados por ETABS, Robot S.A.P y SAP2000 para un edificio de cuatro pisos, con una terraza y un subsuelo. Al obtener los resultados proporcionados por los tres programas la tesis mencionada determina que, los valores no difieren de una manera sustancial.

A pesar de la similitud de los resultados obtenidos en [2] menciona que, los softwares ETABS y Robot S.A.P. brindan resultados eficientes para las condiciones sísmicas de la ubicación del proyecto, pero, SAP2000, al contar con ciertas restricciones en la introducción de excentricidades a los elementos estructurales brinda una modelación y análisis sísmico insatisfactorio

En [3] se determina que los resultados brindados por ambos softwares para el diseño de un edificio de 6 pisos para uso residencial (multifamiliar) ubicado en la provincia de Ica, Perú (zona sísmica al igual que Quito, Ecuador) difieren en proporciones no significativas.

Dentro del trabajo de investigación [3] se llega a un incumplimiento de los parámetros de requisitos sísmicos y estáticos establecidos por su normativa pertinente, sin embargo, los resultados proporcionados por ambos programas reflejaban la misma conclusión, tanto como para cuando el diseño incumplió con la normativa como para cuando los parámetros fueron corregidos, ambos softwares, a pesar discrepar un pequeño porcentaje en los resultados, brindaban la misma conclusión, denotando de esta manera la poca influencia que tiene esta variación de los datos brindados por ETABS y SAP en el diseño de este tipo de estructuras.

2. Materiales y Métodos

2.1. Insumos para la investigación

2.1.1. Planos Arquitectónicos

El plano arquitectónico de la Vivienda que se utilizara está conformado por plantas tipo la cual tienen un área de 134.26 m².

2.1.2. Softwares utilizados

Para la presente investigación, en la Universidad Politécnica Salesiana, se dispone de licencias de los tres programas a utilizar como recurso académico.

2.1.2.1. Programa ETABS

En [4], ETABS es una herramienta de análisis y de diseño estructural, con una interfaz amigable para el usuario presentando herramientas sumamente útiles al momento de modelar y cumpliendo con una gama de comportamientos no lineales necesarios para un diseño basado en capacidad.

2.1.2.2. Programa SAP2000

En [4] define que SAP2000 es un programa estructural que se utiliza para realizar análisis de estructuras basado el método de elementos finitos (MEF), incluye también modelos paramétricos para estructuras como vigas simples, celosías 2D y 3D, pórticos, escaleras, etc.

2.1.2.3. Programa Robot Structural Analytics Professional

Robot Structural Analytics un software de análisis y diseño estructural creado por Autodesk, como una solución integral para la operabilidad BIM para así optimizar diseños y tener una comunicación completa entre paquetes garantizando agilidad y trabajabilidad al diseño.

2.2. Metodología

2.2.1. Ubicación y características de la Edificación

El proyecto que es objeto de estudio para esta investigación se encuentra ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, Sector la Ecuatoriana. Residencia: Vargas-Silva.

En la tabla 1 se muestra las características arquitectónicas del modelo de vivienda estudiada,

Tabla 1: Parámetros del Modelo de Vivienda estudiado

Características	Unidad	Vivienda
Arquitectónicas		
Altura de entrepiso	m	2.50
Altura total	m	5.00
Numero de Niveles	u	2
Área planta	m ²	134.26
N° vanos en X-X	u	3
N° vanos en Y-Y	u	4
Distancia entre ejes X-X	m	2.9 - 3.9
Distancia entre ejes Y-Y	m	3.0 - 4.2
Grada	m	3.0 x 2.9

En la figura 1 y figura 2 se puede observar su vista en planta y un corte transversal de la edificación.

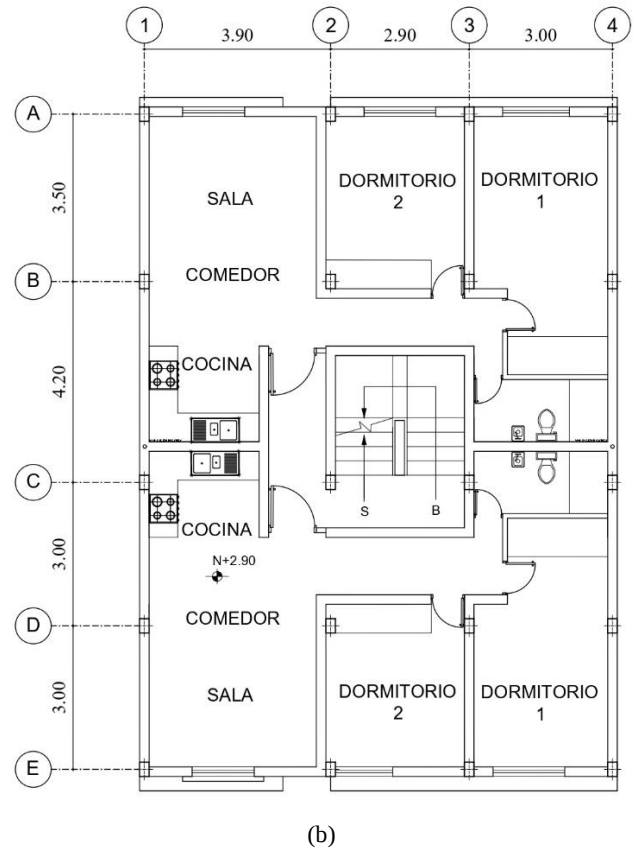
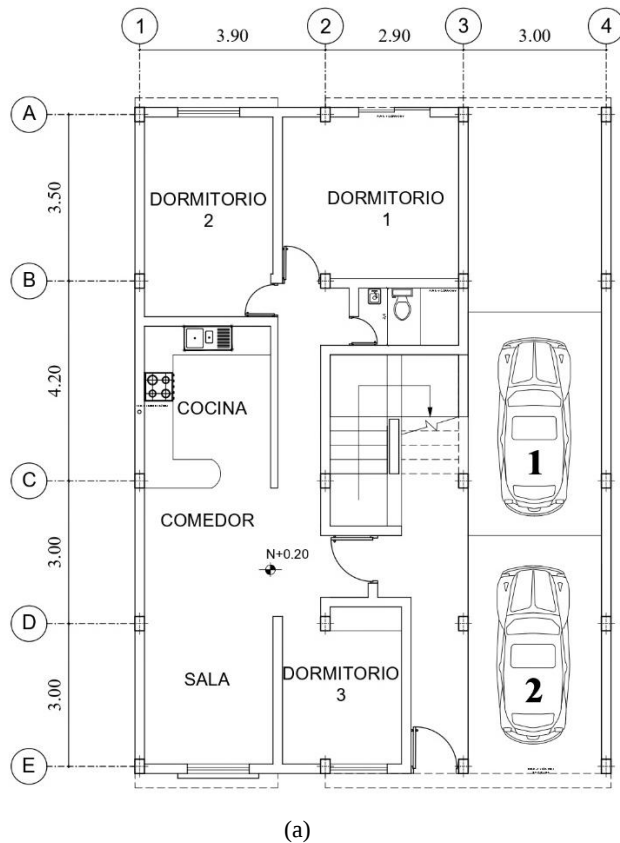


Figura 1. Vista en planta del plano arquitectónico (a) primer piso (b)segundo piso

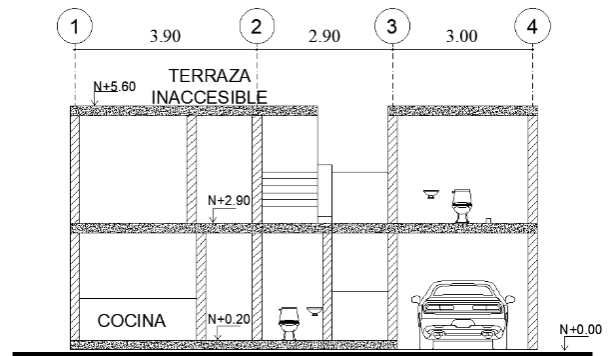


Figura 2. Corte trasversal de la edificación vista en elevación.

2.2.2. Materiales y sus características

Para el análisis y diseño de la vivienda, se emplearon los materiales hormigón armado. En la tabla 2 se detallan las características de estos materiales utilizados en el proyecto.

Tabla 2: Características de los materiales

	Unidad	Valor
Hormigón		
Peso específico	kN/m ³	24
Resistencia a la compresión	MPa	21
Módulo de elasticidad	MPa	21538
Acero de Refuerzo		
Peso Específico	kN/m ³	78,5
Resistencia a la fluencia	MPa	420
Módulo de elasticidad	MPa	21000

2.2.3. Secciones recomendadas por NEC-SE-VIVIENDA, 2015

Las secciones en las que se establecen pórticos de hormigón armado se pueden aplicar para la construcción de viviendas de hasta 2 pisos con una altura 2.5m y luces de hasta 4 m, en la cual es una incoherencia ya que la luz máxima que se puede utilizar es de 5 metros en terreno plano y sin posibilidad de ampliación en elevación. Dichas secciones se indican en la tabla 3. Estas secciones van a hacer utilizadas para el modelamiento análisis y diseño.

Tabla 3: Secciones Estructurales NEC-SE-Vivienda

Elemento	Luz máxima (m)	Sección min B x H (cm)	Cuantía mínima (%)
Columnas			
Piso 1	5	25x25	1.0
Piso 2	5	20x20	1.0
Vigas			
Piso 1 y 2	5	20x20	---
Losa	---	banda	---

2.2.4. Análisis de Cargas

2.2.4.1. Cargas de Servicio

Para el diseño de viviendas se toma en cuenta diversas cargas que influyen en su comportamiento, al modelar en los distintos softwares es necesario que introduzcamos manualmente las siguientes cargas: carga viva, carga muerta adicional (mampostería y acabados), carga de granizo.

2.2.4.1.1. Carga viva

En [5] la carga viva se define como la carga que puede cambiar en magnitud y posición, es una carga variable que representa las fuerzas y las

presiones causadas por el uso y su ocupación de la estructura, como personas, muebles, equipos y cualquier carga móvil o temporal que pueda actuar sobre la estructura en su vida útil.

2.2.4.1.2. Carga muerta adicional

Para obtener las cargas de mampostería, acabados que actúan sobre la estructura se realizó una cuantificación de cargas como se muestra en la tabla 4.

2.2.4.1.3. Carga de granizo

Como se estipula en [6] adicionalmente se considerará una carga por granizo en las áreas que puedan ser expuestas a esta condición, el valor de esta es mostrado en la tabla 4.

Tabla 4: Cargas aplicadas en la estructura

	Carga uniforme	Valor
CV:(Viviendas unifamiliares y multifamiliares)	kN/m ²	2.0
CMA:(Mampostería, recubrimiento y enlucido)	kN/m ²	4.0
Granizo	kN/m ²	1.0

2.2.4.2. Cargas Sísmicas

2.2.4.2.1. Tipo de Suelo

Según los requisitos mínimos de la NEC-SE-Vivienda,2015, no se exigen estudios geotécnicos por lo cual para la presente investigación se asumirá un suelo tipo D en función de la ubicación de la vivienda, la cual se encuentra en el Distrito Metropolitano de Quito, en una zona de alta peligrosidad sísmica.

“Las características del suelo a emplear en el presente análisis se muestran en la Tabla 5 indicando tanto sus factores como sus coeficientes de amplificación y comportamiento no lineal.

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

Fs: Comportamiento no lineal de los suelos.” [10]

Estos mismos factores de amplificación y comportamiento no lineal serán utilizados para la obtención de resultados en la Tabla 6.

Tabla 5: Características del suelo de Quito

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

2.2.4.2.2. Cortante Basal de diseño según la NEC-SE-VIVIENDA

El cortante basal sísmico de diseño a nivel de cargas últimas se determinará con la siguiente expresión indicada en [7]:

$$V_{basal} = Z \cdot C \cdot W / R \quad (5)$$

“V: Cortante Basal de diseño

Z: Factor de Zona

C: Coeficiente de respuesta sísmica

W: Peso sísmico efectivo de la estructura

R: Factor de Reducción de resistencia Sísmica” [7]

Tabla 7: Cortante Basal con la NEC-SE-Vivienda

Coeficientes	
Z	0.4
C	3
R	3
V	0.40

2.2.4.2.3. Espectro de Respuesta

Los factores por considerarse están regidos por [9] los mismos dependerán esencialmente del tipo de estructura, el tipo de suelo y la zona donde está ubicado. Para nuestro caso los resultados que se obtuvieron están mostrados en la tabla 6 y en la figura 3 se muestra el espectro elástico de diseño, el cual obedece al amortiguamiento del 5% respecto al crítico.

$$Sa = n \cdot z \cdot fa \quad (1)$$

$$T = Ct \cdot H^{\alpha} \quad (2)$$

$$To = 0.10 \cdot fs \cdot \frac{fd}{fa} \quad (3)$$

$$Tc = 0.55 \cdot fs \cdot \frac{fd}{fa} \quad (4)$$

“n: Razón de aceleración espectral y PGA (475años).

Sa: Espectro de aceleraciones Elásticas.

T: Periodo de vibración de la estructura.

To: Periodo Limite de vibración del espectro sísmico.

Tc: Periodo Limite de vibración del espectro en la zona elástica.

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio” [10]

Tabla 6: Espectro elástico de diseño

Coeficientes	
n(Sierra)	2.48
Sa	1.1904
T	0.2341
To	0.1269
Tc	0.6981

El factor R permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, lo que es viable cuando las estructuras y sus conexiones se diseñan para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con la ductilidad apropiada, donde el daño se concentre en secciones que fueron detalladas para trabajar como rótulas plásticas. En el caso del método DBF (Diseño Basado en Fuerzas), se considera el factor R como parámetro constante dependiente de la tipología estructural. Para nuestro caso de análisis con la NEC-SE-VIVIENDA,2015. Que establece que se use un factor de reducción R=3, para pórticos Resistentes a Momento como se indica en la Figura 3.

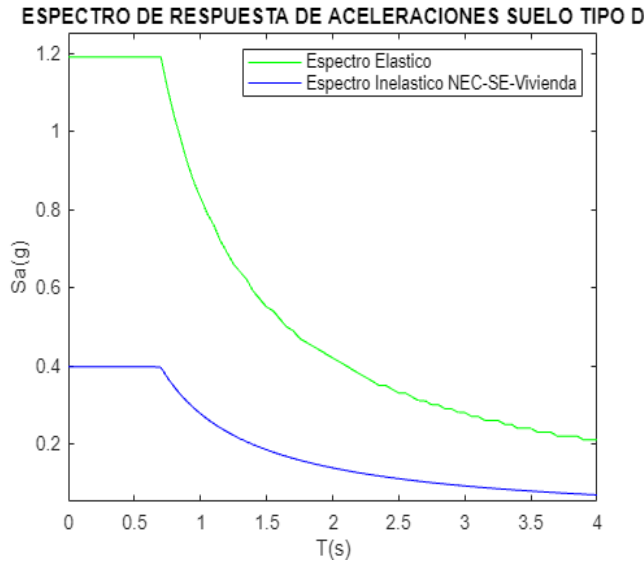


Figura 3. Gráfico Espectro de Respuesta de Aceleraciones suelo tipo D

2.2.5. Combinaciones de carga

Las siguientes combinaciones de carga son propuestas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, las cuales deben ser analizadas en su totalidad para cualquier tipo de estructura a considerar.

Combinación 1

$1.4D$

Combinación 2

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

Combinación 3

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

Combinación 4

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

Combinación 5

$1.2D + 1E + L + 0.2S$

Combinación 6

$0.9D + 1W$

Combinación 7

$0.9D + 1E$

En donde:

D: Carga muerta

L: Sobrecarga (Carga viva)

Lr: Sobrecarga cubierta (Carga viva)

S: Carga de Granizo

W: Carga de viento

R: Factor de carga por lluvia

E: Carga de sismo

2.2.6. Modelación y Análisis

Para la modelación y análisis de la edificación estudio que se llevó a cabo se consideró realizar 3 modelos usando cada uno de los programas computacionales como se muestran en la figura 4, en donde se utilizó las secciones mínimas indicadas en la tabla 3 según [7] para poder efectuar el análisis y la comparativa tanto para estado de carga estático como estado de carga dinámico, se verificara el cumplimiento de las secciones y su comportamiento, si el diseño es óptimo para catalogarlo como sismorresistente se dará como finalizado, caso contrario se brindará una propuesta de las secciones mínimas a utilizar para este tipo de viviendas que cumplan con parámetros sismorresistentes.

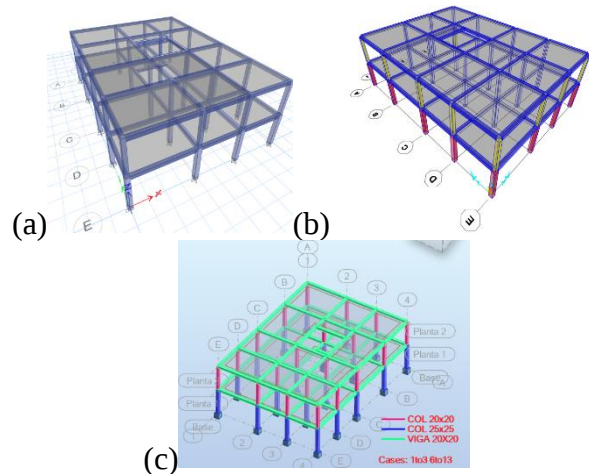


Figura 4. Modelo en ETABS (a), SAP2000 (b) y Robot S.A.P (c)

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis Estructural y consideraciones Sismorresistentes

Del análisis de los elementos estructurales con las secciones mínimas indicadas en la [7], para lo cual se tomaron en cuenta los requisitos mínimos definidos por [10] utilizando el Diseño Basado en Fuerzas por lo que verificó que el periodo fundamental de la estructura sea optimo, como también que las derivas de piso no superen el 2% y otras consideraciones que se describen a continuación:

3.2. Periodo de Vibración Calculado

El periodo por el “método 1” establecido en [10], será calculado por la siguiente expresión:

$$T_a = C_t * h n^{\alpha} \quad (6)$$

Tabla 8: Periodo calculado

Ta	Ta*1.30
0.2341	0.3043

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que el límite máximo del periodo fundamental de la estructura calculado por el método 2 tiene que ser el 30%.

3.3. Periodo de Vibración de la estructura

El periodo por el “método 2” proporcionado por cada software se lo puede visualizar en la tabla 9

Tabla 9: Periodo fundamental de vibración

Periodo (s)	ETABS	SAP2000	Robot S.A. P
NEC-SE-VIVIENDA	0.5171	0.54213	0.4855

Los resultados obtenidos en cada uno de los softwares tienen una variación entre los mismos debido a la interfaz de análisis de cada uno, pero idénticos al demostrar los resultados. Dando, así como consecuencia que el periodo fundamental de la estructura está siendo superado ampliamente dentro de su rango establecido en la tabla 8. Por lo que es flexible y puede sufrir un daño considerable.

3.4. Derivas de Piso

Para las derivas de piso se utilizó los patrones cargas de fuerzas horizontales Sismo estático y Sismo dinámico en las 2 direcciones “X - Y”, para efectos de análisis se lo realizo con los tres programas computacionales como se muestran las figuras 5,6,7 y 8.

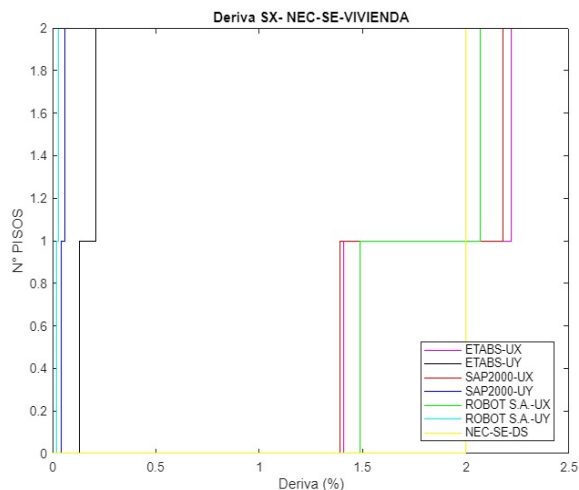


Figura 5. Deriva estado de carga sismo “X”

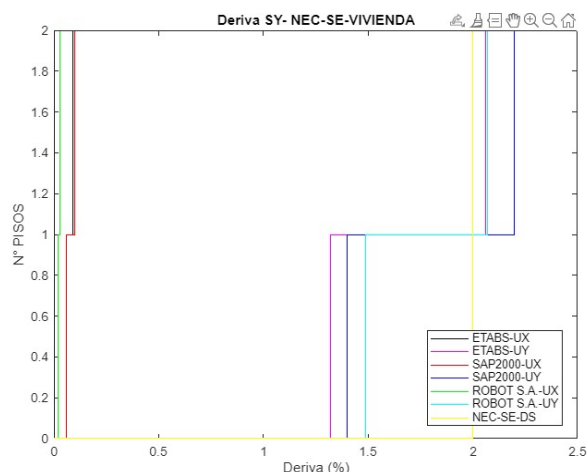


Figura 6. Deriva estado de carga sismo “Y”

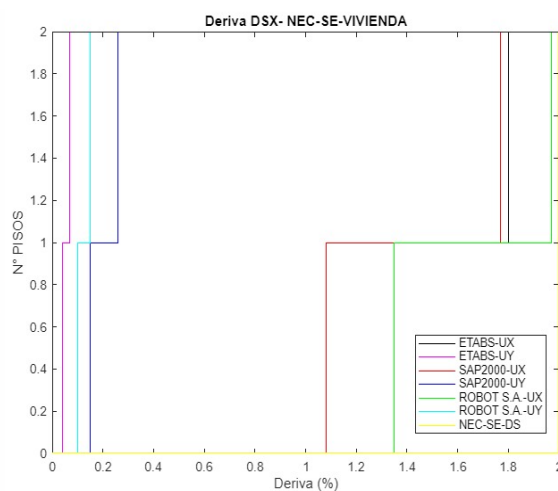


Figura 7. Deriva estado de carga sismo dinámico “X”

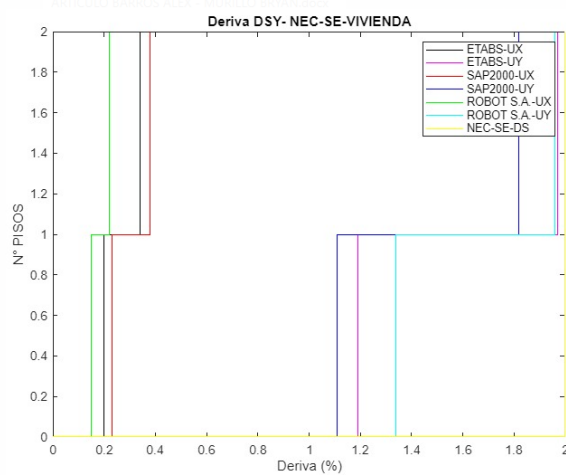


Figura 8. Deriva estado de carga sismo dinámico "Y"

Una vez realizado el análisis por derivas de piso en la vivienda se observó en la figura 5, correspondiente al estado de cargas de sismo estático en X y en la figura 6 estado sísmico en Y, se superan el 2% permitido en [10].

3.5. Participación Modal

Las recomendaciones indican que el modo 1 y 2 sean traslacionales y el modo 3 sea rotacional.

Tabla 10: Participación modal traslacional

Modo	T (s)	U _x (m)	U _y (m)	R _z (m)
ETABS				
Modo 1	0.517	0.001	0.811	0.0149
Modo 2	0.506	0.824	0.001	0.0007
Modo 3	0.439	0.001	0.015	0.8093
SAP2000				
Modo 1	0.542	0.361	0.441	0.0244
Modo 2	0.538	0.457	0.372	1.0E-6
Modo 3	0.450	0.011	0.013	0.8001
ROBOT S.A.P				
Modo 1	0.485	0.428	0.373	1.5E-6
Modo 2	0.482	0.815	0.812	9.8E-6
Modo 3	0.412	0.825	0.825	2.6E-9

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que se debe considerar los primeros 3 modos de vibración libre, o aquellos que aporten más del 90% de participación de masas, en la tabla 10 se aprecia la participación mencionada calculada por cada uno de los softwares. En el primer modo de vibración libre la masa participativa en dirección de análisis X-X, son: en Etabs es del 0.1%, en SAP2000 es del 36% y en Robot S.A.P. es del 43%, en cada uno de los programas computaciones se aprecia que en los 3 primeros modos de vibración libre la masa participativa no es superada más del 90%.

3.6. Momentos de Envolvente en el eje D en cada uno de los Softwares

Para realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos con los softwares, se eligió un pórtico central ubicado en el eje D de nuestra vivienda.

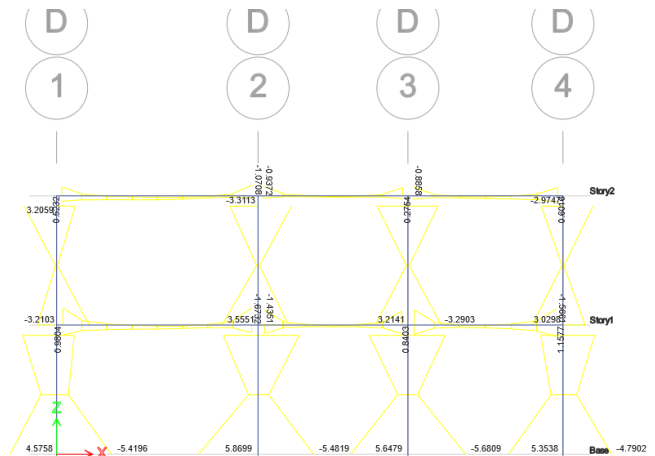


Figura 9. Momentos de pórtico central D según ETABS, NEC-SE-Vivienda

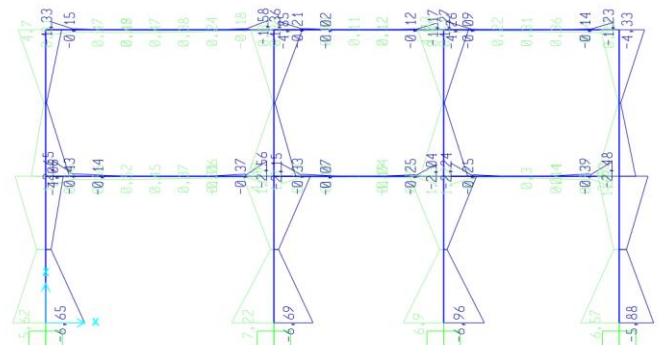


Figura 10. Momentos de pórtico central D según SAP2000, NEC-SE-Vivienda

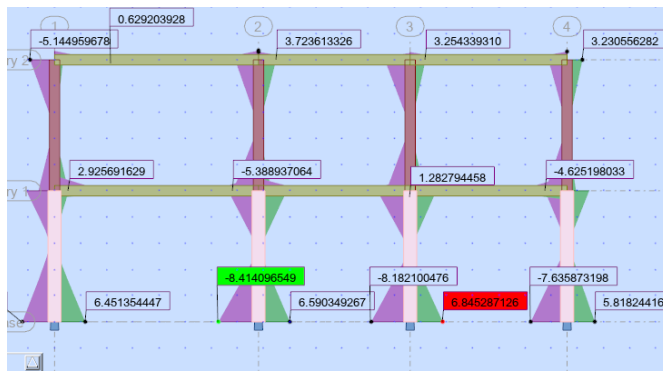


Figura 11. Momentos de pórtico central según Robot S.A.P.
NEC-SE-Vivienda

Tabla 11: Momento máximo de viga central según cada programa

Software	Mmax (T-m)
ETABS	3.31
SAP2000	4.85
ROBOT S.A. P	3.72

Mediante el cálculo manual de los momentos actuantes en la viga analizada, utilizando las especificaciones de [7] mediante la ecuación (7) se obtuvo un momento de 2.8 T-m, pudiendo así observar que ETABS proporciona el momento más apegado a este valor.

$$Mu = \phi f'_c \cdot b \cdot d^2 \cdot w(1 - 0.59w) \quad (7)$$

$$W = \frac{\rho f y}{f' c} \quad (8)$$

3.7. Cortantes de envolvente en el eje D en cada uno de los Softwares

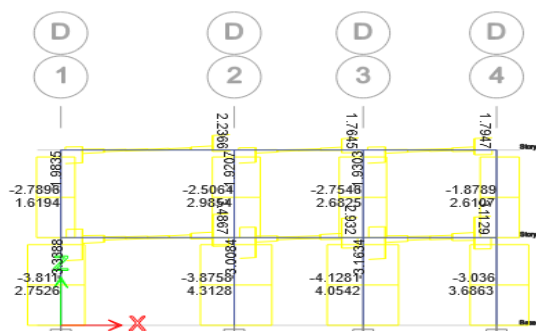


Figura 12. Cortantes de pórtico central según ETABS, NEC-SE-Vivienda

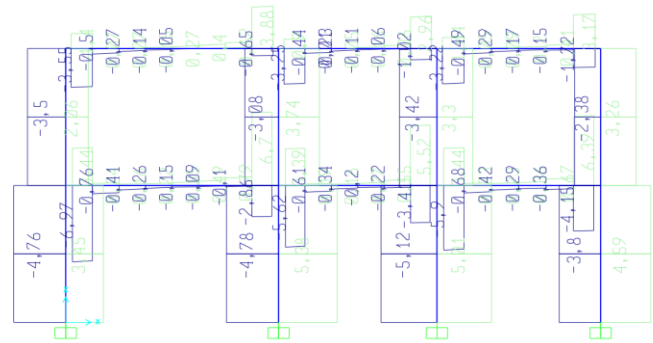


Figura 13. Cortantes de pórtico central según SAP2000, NEC-SE-Vivienda

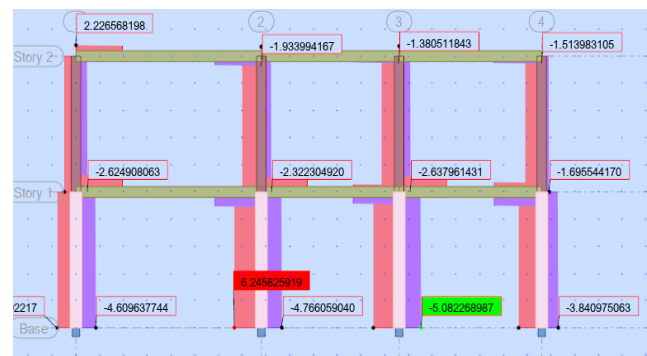


Figura 14. Cortantes de pórtico central según Robot S.A.P., NEC-SE-Vivienda

Tabla 12: Cortante máximo de columna central D2 según cada programa

Software	Vmax (T)
ETABS	4.31
SAP2000	5.08
ROBOT S.A. P	6.24

3.8. Diseño Estructural

Al efectuar el diseño de la vivienda con cada uno de los programas computacionales se puede observar que las secciones mínimas establecidas por la NEC-SE-Vivienda, 2015 para vigas y columnas fallan dando como resultado (O/S) “over sección” sección insuficiente como se muestra en la figura 15,16.

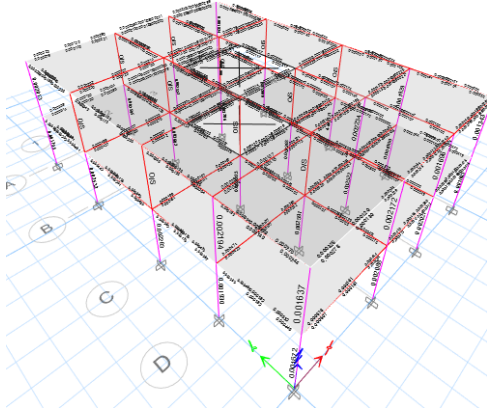


Figura 15. Diseño de secciones NEC-SE-Vivienda, ETABS

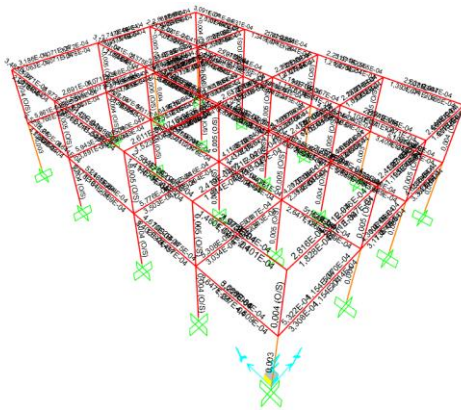


Figura 16. Diseño de secciones NEC-SE-Vivienda, SAP2000

Barra	Armadura teórica según b (cm ²)	Armadura según b - distribución	Armadura teórica según h (cm ²)	Armadura según h - distribución
1	10.202351203	3Φ8	7.898210905	2Φ8
2	13.880820969	3Φ8	8.832291253	2Φ8
3	14.193783196	3Φ8	8.593859815	2Φ8
4	10.337367417	3Φ8	6.335703228	2Φ8
5	10.78914849	3Φ8	10.119124678	3Φ8
6	15.495462597	4Φ8	11.805315685	3Φ8
7	16.190571487	4Φ8	11.491126073	3Φ8
8	11.810105036	3Φ8	8.905341888	2Φ8
9	12.338229779	3Φ8	10.661212855	3Φ8
10	14.599064017	3Φ8	10.056817202	2Φ8
11	13.170153143	3Φ8	9.068102327	2Φ8
12	10.61331348	3Φ8	12.514669769	3Φ8
13	16.780173467	4Φ8	10.187803503	3Φ8
14	16.833444494	4Φ8	10.202351203	3Φ8
15	12.437846272	3Φ8	11.187632611	3Φ8
16	13.85683471	3Φ8	10.033807187	2Φ8
17	12.192841257	3Φ8	8.608734517	2Φ8
18	11.782935458	3Φ8	8.443903335	2Φ8
19	13.851935026	3Φ8	12.434441607	3Φ8
20	14.820980227	4Φ8	10.798219494	3Φ8
21	14.649178121	4Φ8	10.038111113	2Φ8
22	13.248798732	3Φ8	10.233868277	3Φ8
23	11.460985788	3Φ8	10.854952598	3Φ8
24	13.057864428	3Φ8	10.640912657	3Φ8
25	12.185929185	3Φ8	9.301151037	2Φ8
26	10.351476128	3Φ8	7.694262388	2Φ8
27	14.193783196	3Φ8	10.091469108	2Φ8
28	14.573327861	3Φ8	11.582098669	3Φ8
29				
30				

Figura 17. Diseño de secciones NEC-SE-Vivienda, Robot S.A.P.

3.9. Cuantía de Acero en una columna central

Para la comprobación de la cuantía usaremos una columna central de la vivienda D3, Según los parámetros establecidos para las cuantías de columnas de la guía de construcción viviendas las

mismas deben ser del 1al 3%, por lo cual las secciones propuestas por la NEC-SE-Vivienda serían insatisfactorias en este sentido.

Tabla 13: Cuantía de Acero columna central NEC-SE-Vivienda

Columna D2	ETABS	SAP2000	Robot S. A. P
NEC-SE-VIVIENDA	4.92%	6.72%	3.78%

Como se observa en la tabla 13 las cuantías se encuentran fuera del rango permitido y fallan a corte por efectos sísmicos.

3.10. Rediseño de la Estructura utilizando la NEC-SE-HM; Estructuras de Hormigón armado, 2015.

Al realizar el análisis estructural de la vivienda de estudio se determinó que las secciones planteadas siguiendo las recomendaciones de [7]. No son óptimas por lo cual se plantearon nuevas secciones.

En [8] se utilizan secciones enfocadas para viviendas mayores a 2 pisos sin embargo como caso de estudio se utilizarán las secciones mayores a las mínimas establecidas.

Para el análisis de la Vivienda de hormigón armado de 2 pisos con luces hasta 5 metros se consideró nuevas secciones: para columnas de 35 x 35 cm, vigas de 30 x 40 cm y una losa de 20 cm, para que esta edificación cumpla con los parámetros sismo resistentes, para este nuevo análisis se debe calcular nuevamente el cortante basal, pero con los parámetros establecidos en [10].

3.10.1. Cortante Basal de diseño según la NEC-SE-DS

El cortante basal total de diseño V, a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada.

$$V = \frac{ISa(Ta)}{R\phi p\phi E} \cdot W \quad (9)$$

V: Cortante Basal de diseño

ϕp : Coeficiente de irregularidad en planta

ϕ : Coeficiente de irregularidad en elevación
 I: Coeficiente de Importancia
 R: Factor de Reducción de resistencia Sísmica
 W: Carga Sísmica Reactiva
 Sa (Ta): Espectro de diseño en aceleraciones

Tabla 14: Cortante basal de la NEC-SE-HM

Coeficientes	
ϕ_P	1
ϕ_E	1
I	1
R	8
SA (TA)	1.19
Z	0.4
V	0.148

3.10.2. Espectro de Respuesta

Adicionalmente se deberá elaborar un nuevo espectro de diseño, pero con un $R=8$, para pórticos especiales sismos resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas con los parámetros ya establecidos anteriormente en tabla 6.

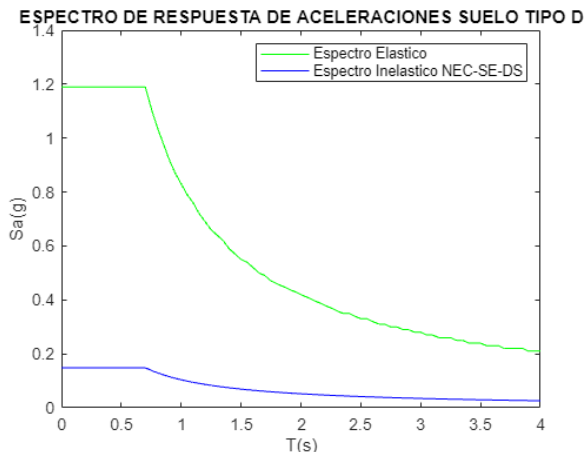


Figura 18. Gráfico Espectro de Respuesta de Aceleraciones suelo tipo D, $R=8$

3.11. Periodo de Vibración de la estructura

Tabla 15: Periodo Fundamental de Vibración

Periodo (s)	ETABS	SAP2000	Robot S.A. P
NEC-SE-HM	0.2560	0.2692	0.2352

Los resultados obtenidos son variables en cada uno de los softwares, sin embargo, llevan a la misma

conclusión de validez. Dando, así como consecuencia que el periodo fundamental de la estructura esté dentro de su rango establecido en la tabla 8.

3.12. Derivas de piso

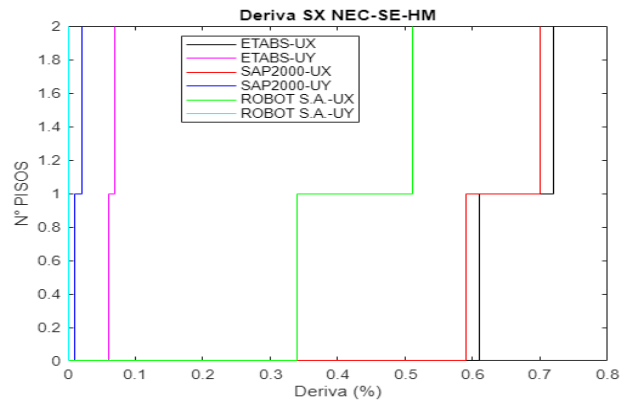


Figura 19. Deriva estado de carga sismo "X"

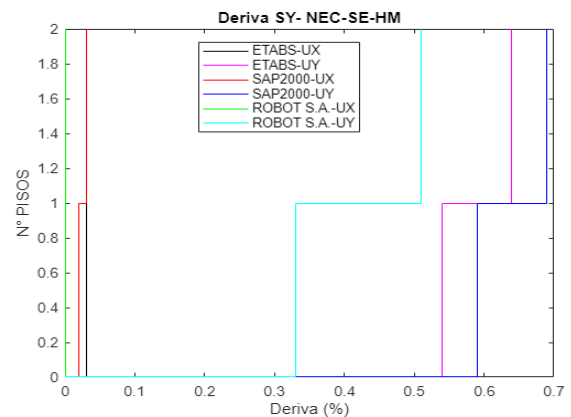


Figura 20. Deriva estado de carga sismo "Y"

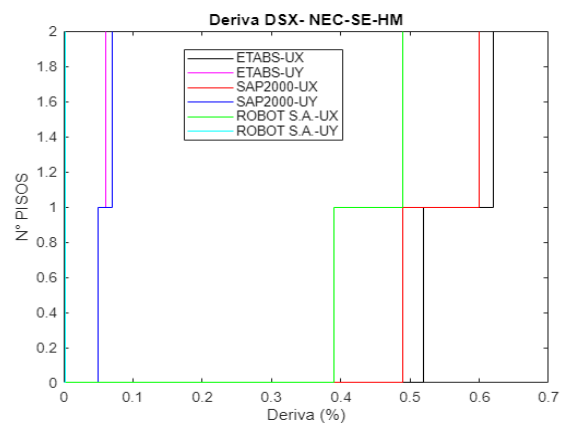


Figura 21. Deriva estado de carga sismo dinámico "X"

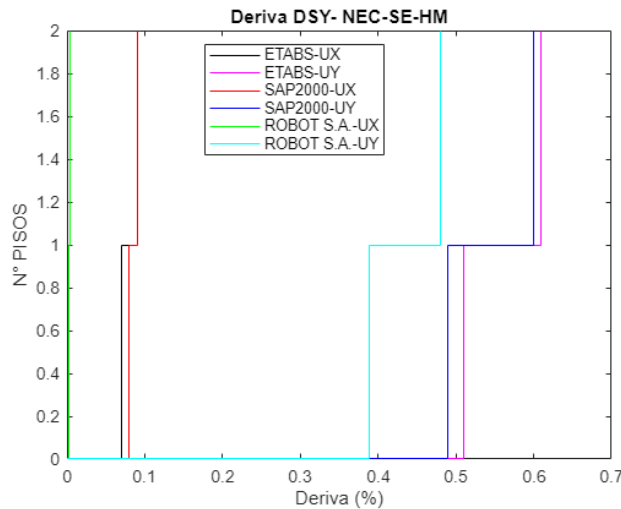


Figura 22. Deriva estado de carga sismo dinámico "Y"

Una vez realizado el análisis por derivas de piso en nuestra vivienda podemos observar que en cada uno de los estados de carga de estudio no se supera el 2% permitido en [10].

3.13. Diseño estructural

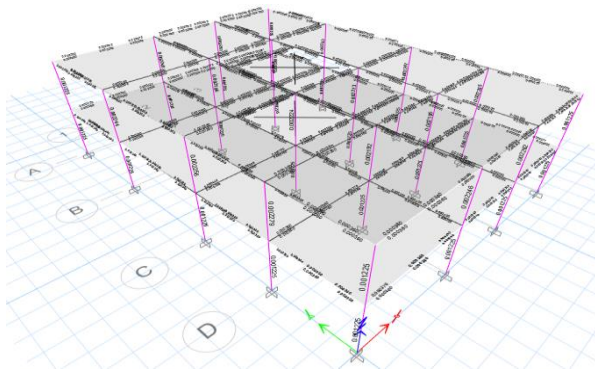


Figura 23. Modelo Re-Diseño, ETABS

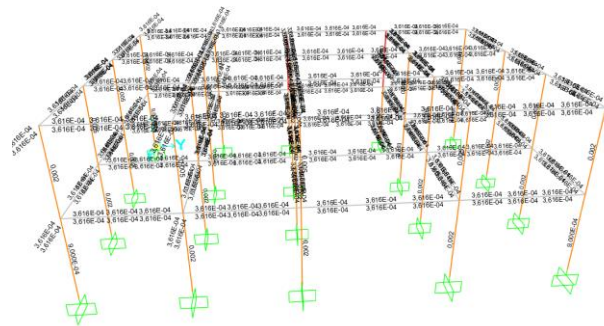


Figura 24. Modelo Re-Diseño SAP2000

Barra	Armadura teórica según b (cm ²)	Armadura según b - distribución	Armadura teórica según h (cm ²)	Armadura según h - distribución
1	5.221707130	2#8	3.690457330	2#8
2	5.221705856	2#8	3.690455856	2#8
3	5.221710990	2#8	3.690460990	2#8
4	5.221711452	2#8	3.690461452	2#8
5	5.609448304	2#8	3.302666457	2#8
6	3.840346905	2#8	5.071813478	2#8
7	2.156550060	2#8	6.755623375	2#8
8	5.080380472	2#8	3.031762454	2#8
9	5.221713254	2#8	3.690463254	2#8
10	5.221713209	2#8	3.690463209	2#8
11	5.221709193	2#8	3.690459193	2#8
12	5.221709942	2#8	3.690459942	2#8
13	7.145811535	2#8	1.766343456	2#8
14	5.221703520	2#8	3.690453520	2#8
15	5.221712977	2#8	3.690462977	2#8
16	7.627215589	2#8	1.864961232	2#8
17	5.221711807	2#8	3.690461807	2#8
18	5.221705792	2#8	3.690455792	2#8
19	5.221711725	2#8	3.690461725	2#8
20	5.221706939	2#8	3.690456939	2#8
21	6.684156111	2#8	2.227976437	2#8
22	5.221711718	2#8	3.690461718	2#8
23	5.221692649	2#8	3.690442649	2#8
24	6.313373564	2#8	2.586791541	2#8
25	5.221710532	2#8	3.690460532	2#8
26	5.221710291	2#8	3.690460291	2#8
27	5.221712443	2#8	3.690462443	2#8
28	5.221713876	2#8	3.690463876	2#8

Figura 25. Tabla secciones Re-Diseño Robot S.A.P.

Al efectuar el diseño de nuestras secciones de vigas y columnas de nuestra vivienda se puede observar que las secciones establecidas por [8] son óptimas y garantizan estabilidad y seguridad de la estructura como para su uso. como se muestra en la figura 23 y 24.

3.14. Cuantía de Acero en una columna central

Tabla 16: Cuantía de Acero columna central NEC-SE-HM

Columna D2	ETABS	SAP2000	Robot S. A. P
NEC-SE-HM	1.00%	1.00%	1.52%

Para la comprobación de la cuantía usaremos una columna central de la vivienda D3, Según los parámetros establecidos para las cuantías de columnas de la guía de construcción viviendas las mismas deben ser del 1% al 3%, por lo cual las secciones propuestas cumplen y son óptimas para el diseño.

3.15. Diseño por Capacidad

Para comprobar la validez de las secciones propuestas para los modelos se ocupó la metodología de diseño por capacidad, el cual según [13] se fundamenta en principios que aseguran la adecuada resistencia y ductilidad de los elementos ante cargas sísmicas. Uno de los conceptos fundamentales es el principio de "columna fuerte y viga débil", el cual prescribe que las columnas deben ser más robustas y capaces de soportar cargas verticales y laterales significativas, mientras

que las vigas deben ser diseñadas para ser más flexibles y deformarse antes de llegar al colapso.

Para garantizar el cumplimiento del parámetro “columna fuerte-viga débil” se debe cumplir con la siguiente condición.

$$\Sigma Mc \geq 1.2 \Sigma Mv \quad (10)$$

Además, se debe cumplir con la siguiente condición para la conexión nodo-viga

$$V_j \leq \phi V_N \quad (11)$$

Tabla 17: Resultados para el diseño por capacidad

ΣMc (T*m)	ΣMv (T*m)	V_j (T)	ϕV_N (T)
7.71	6.26	21.57	58.75

Según los valores descritos en la tabla 17, las secciones propuestas cumplirían con los parámetros de “columna fuerte-viga débil” y “nodo fuerte viga débil”, dando como factor un valor de 1.23 cumpliendo los parámetros de establecidos.

4. Conclusiones

Los programas de Robot Structural Analytics Professional y SAP2000 no brindan directamente los resultados para las derivas de piso, por lo cual ETABS se presenta como una la mejor opción para este tipo de estructuras al optimizar el tiempo en el cual se puede obtener estos datos y por tener una interfaz más intuitiva con más herramientas que ayudan al modelado

Una vez obtenidos los resultados del modelamiento y análisis se pudo observar una variación en los periodos, derivas elásticas, modos de vibración, y cuantía de acero de una columna central, en cada uno de los programas, sin embargo, a pesar de que los resultados mencionados difieran dicha variación es despreciable puesto que se puede llegar a la misma conclusión de validez de la propuesta de diseño

Al obtener del modelado estructural los resultados para las derivas y cuantías de acero utilizando las secciones propuestas en [7] podemos llegar a la conclusión que no puede ser considerada como una edificación sismorresistente al no cumplir con los parámetros de derivas máximas de 2% establecidos en [10] y tampoco tener cuantías dentro del intervalo de 1% al 3% que se estipula en [15]

Se observó que las secciones mínimas propuestas en [6] no cumplen tampoco con el periodo fundamental de la estructura, los resultados de los periodos obtenidos por los programas superan los parámetros calculados resultando así en una edificación con un comportamiento flexible.

Al efectuar el análisis con las secciones mínimas establecidas en [8] se obtuvo un diseño eficiente, sin embargo, el periodo fundamental de la estructura es mayor al rango establecido en la tabla 8, por lo cual se rediseño con secciones mayores a las mínimas establecidas en [8].

Como recomendación para el análisis y diseño de este tipo de viviendas se sugiere usar secciones en columnas de 35x35 cm y en vigas 30x40 cm con una losa de 20 cm, secciones mayores definidas en [8], para poder garantizar una estructura sismorresistente y salvaguardar la integridad de la estructura y sus ocupantes.

Referencias

- [1] B. Sánchez and A. Chiriboga, “Comparación del Modelamiento, Análisis y Diseño Estructural en Concreto Armado utilizando los Software Etabs y Robot Structural Analysis Professional, para un Edificio de cinco niveles (cuatro pisos y un semisótano),” 2018.
- [2] M. F. Alejandro Esteban, “Modelación, Diseño Estructural Comparativo y Propuesta de Ampliación Vertical de la Edificación Flores Mena, Ubicada en la Ciudad de Quito-Ecuador, Sector Cofavi.,” 2018.

- [3] I. J. Arotuma Nieto and J. J. Pumayauri Palomino, “Análisis comparativo del diseño sismorresistente empleando los softwares ETABS y SAP2000 en una edificación de concreto armado, Ica,2022.,” 2022.
- [4] I. Computers & Structures, “CSI Analysis Reference Manual for safe, SAP2000, Etabs and CSIBRIDGE,” 2016. [Online]. Available: www.csiamerica.com
- [5] INEN, “GUIA POPULAR DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, QUITO: REGISTRO OFICIAL DEL ECUADOR 1951,” 1976.
- [6] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “CARGAS (NO SÍSMICAS),” 2015.
- [7] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5 m,” 2015.
- [8] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “Estructuras de hormigón armado,” 2015.
- [9] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS,” 2015.
- [10] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE,” 2015.
- [11] M. Guerra Avendaño, “Diseño Sismo Resistente de edificios de acero utilizando ETABS y NEC 2015,” 2015.
- [12] B. Oliva, J. A. Puglia Martínez, and K. G. I. E. López, “ELABORACIÓN DE MANUAL PARA USO DEL PROGRAMA SAP2000-V11 PARA FINES DOCENTES,” 2007.
- [13] P. E. Carlos, E. V. Bejarano, and S. Cruz, “Análisis y Diseño de Estructuras con AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYS PROFESSIONAL,” 2016.
- [14] M. A. Garcia Nuñez, “Estudio sobre la efectividad del factor de sobre resistencia del criterio columna fuerte-viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón mediante el análisis dinámico no lineal,” 2018.
- [15] American Concrete Institute (ACI). “ACI 318-19, Capítulo 21 Requisitos para la Resistencia y el Diseño.,” 2019