

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL DINÁMICO COMPARATIVO DE UN EDIFICIO IRREGULAR DE 5 PISOS ENTRE LA NEC-15 Y ASCE 7-16."

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

ESTUDIANTE:

ARIANA BELÉN PINOS CEVALLOS

TUTOR:

ING. JORGE WASHINGTON CEVALLOS CABRERA, MG.

Ambato – Ecuador

Febrero / 2025

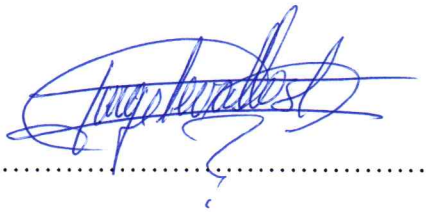
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ANÁLISIS ESTRUCTURAL DINÁMICO COMPARATIVO DE UN EDIFICIO IRREGULAR DE 5 PISOS ENTRE LA NEC-15 Y ASCE 7-16."**, elaborado por la estudiante Ariana Belén Pinos Cevallos, portadora de la cédula de ciudadanía número 2200418313, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025



.....

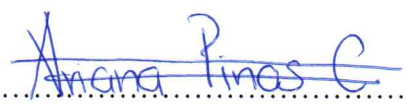
Ing. Jorge Washington Cevallos Cabrera, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Ariana Belén Pinos Cevallos**, con C.I. 2200418313 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS ESTRUCTURAL DINÁMICO COMPARATIVO DE UN EDIFICIO IRREGULAR DE 5 PISOS ENTRE LA NEC-15 Y ASCE 7-16."**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Ariana Belén Pinos Cevallos

C.I. 2200418313

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando muis derechos de autor.

Ambato, febrero 2025

Ariana Pinos C.

.....

Pinos Cevallos Ariana Belén

C.I. 2200418313

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por la estudiante **Ariana Belén Pinos Cevallos**, de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS ESTRUCTURAL DINÁMICO COMPARATIVO DE UN EDIFICIO IRREGULAR DE 5 PISOS ENTRE LA NEC-15 Y ASCE 7-16."**

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.	Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Con todo mi corazón, dedico esta tesis a esa persona invaluable que ha sido mucho más que una amiga. A ti, quien has sido mi segunda madre, mi confidente, mi hermana del alma, y mi más fiel apoyo. No existen palabras suficientes para expresar lo que siento por ti. Has estado a mi lado en cada paso de esta travesía, sin dejarme rendir ni un solo momento, enfrentando cada obstáculo junto a mí con un amor incondicional.

Tu paciencia infinita, tu sabiduría y esa calidez que te caracteriza han sido la base que me permitió superar cada desafío, por grande o pequeño que fuera. Fuiste mi refugio, mi paño de lágrimas, la persona que creyó en mí cuando yo dudaba de mí misma.

Es difícil describir lo que has significado para mí, porque en realidad, has sido parte fundamental de quien soy hoy, tanto en lo personal como en lo profesional. Tu entrega desinteresada, tu capacidad de dar sin esperar nada a cambio, cada gesto de apoyo, cada sonrisa y palabra de aliento, todo eso ha sido el motor que me impulsó a seguir adelante.

Sin ti, este logro no hubiera sido posible. Te debo cada victoria, cada aprendizaje y cada paso que he dado. Gracias por tu amor infinito, por enseñarme que no hay problema sin solución, por tu comprensión y, sobre todo, por ser la persona tan extraordinaria que eres. Esta tesis es tanto mía como tuya, porque sin ti no habría sido capaz de llegar hasta aquí. Vivi, te amo y te agradezco desde lo más profundo de mi ser.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Marco y Elizabeth, quienes han sido mi motor, mi fortaleza y mi refugio en los momentos más difíciles. Su amor incondicional y su apoyo constante han sido esenciales para alcanzar este logro.

A mi hermana, mi segunda madre, mi cómplice y mi amiga. Dedico esta tesis a ti, porque siempre has sido una guía y un ejemplo de fortaleza y generosidad.

Mi más profundo agradecimiento al ingeniero Jorge Cevallos, un mentor excepcional cuyo compromiso y dedicación trascienden lo académico. Su paciencia infinita, su capacidad de enseñar con pasión y su generosidad al compartir no solo su conocimiento, sino también su tiempo y experiencia, han dejado una huella imborrable en mi vida. Gracias a su guía y confianza, este gran paso ha sido posible, y culmino mi carrera con la certeza de haber aprendido de uno de los mejores.

A Javier, quien siempre estuvo a mi lado, quien es mi luz en los momentos de oscuridad y mi refugio en las tormentas. Su compañía incondicional, su capacidad para transformar momentos difíciles en instantes de alegría y su apoyo constante han hecho que este proceso sea más llevadero. Javier, gracias por ser esa presencia que me dio fuerza cuando parecía faltarme y por compartir conmigo cada pequeño triunfo en el camino.

Agradezco a Dios por permitirme transitar este camino, que ha estado lleno de aprendizajes y personas que enriquecieron mi experiencia de manera inolvidable. A mis amigos, que con el tiempo se convirtieron en hermanos, gracias por los momentos compartidos, las risas, las conversaciones interminables y el apoyo que siempre llevaré conmigo.

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTOS vii
ÍNDICE viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS xv
RESUMEN EJECUTIVO xvi
ABSTRACT xvii
1. CAPÍTULO I - MARCO TEORICO 1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 1
1.2 OBJETIVOS 5
1.2.1 Objetivo General 5
1.2.2 Objetivos Específicos 5
2. CAPÍTULO II – METODOLOGÍA 6
2.1 Materiales 6
2.2 Métodos 7
2.3 ETAPA 1 7
2.3.1. Predimensionamiento de vigas 7
2.3.2. Predimensionamiento de columnas 8
2.3.3. Predimensionamiento de espesor de la losa 8
2.3.4. Espectro de respuesta NEC-15 9
2.3.5. Factor de la zona sísmica (Z) 9
2.3.6. Tipos de suelo 10
2.3.7. Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs 13

2.3.8. Importancia 14
2.3.9. Factor de reducción de resistencia sísmica 14
2.3.10. Coeficientes de configuración en planta y elevación 16
2.3.11. Coeficientes de irregularidad en planta 17
2.3.12. Coeficientes de irregularidad en elevación: 18
2.3.13. Factor η 19
2.3.14. Factor r 19
2.3.15. Periodos límites de vibración 19
2.3.16. Espectro elástico de aceleraciones 20
2.3.17. Periodo fundamental 20
2.3.17.1 Método 1 20
2.3.17.2. Método 2 21
2.3.18. Combinaciones de carga 21
2.3.19. Cortante basal 22
2.3.20. Inercias agrietadas 23
2.3.21. Control de derivas 23
2.3.22. Derivas de piso 24
2.4 ETAPA 2 25
2.4.1. Espectro de diseño ASCE 7 25
2.4.2. Factor de riesgo 25
2.4.3. Factor de importancia de las edificaciones 26
2.4.4. Tipos de suelo 27
2.4.5. Parámetros de aceleración 27
2.4.6. Tablas de los coeficientes para SDI 28
2.4.7. Aceleraciones para periodos cortos 29
2.4.8. Procedimiento de fuerza lateral equivalente (ELF) 30
2.4.9. Combinaciones de carga 30
2.4.10. Periodo fundamental aproximado 31
2.4.11. Categoría de diseño 33
2.4.12. Coeficiente R 34
2.4.13. Coeficientes de irregularidades de manera horizontal 36
2.4.14. Coeficientes de irregularidades de manera vertical. 37
2.4.15. Límite de derivas de piso 38
2.4.16. Fuerzas laterales sísmicas 38

2.4.17. Efecto sísmico horizontal 39
2.4.18. Efecto sísmico vertical 40
2.4.19. Torsión accidental 40
2.5 ETAPA 3 42
2.5.1. Los efectos P-delta e índice de estabilidad Qi considerados en la NEC 42
2.5.1.1. Efectos PΔ 42
2.5.2. Efectos PΔ según ASCE 7-16 43
3. CAPITULO III 44
3.1 Análisis y discusión de resultados 44
3.2 Verificación de hipótesis 68
4. CAPITULO IV 69
4.1 Conclusiones 69
4.2 Recomendaciones 70
C. MATERIAL DE REFERENCIA 70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1- PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS 8
TABLA 2 - VALORES DE Z EN FUNCIÓN A LA ZONA SÍSMICA 10
TABLA 3- CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO 11
TABLA 4. TIPO DE SUELO Y FACTORES DE SITIO FA 13
TABLA 5. TIPO DE SUELO Y FACTORES DE SITIO FD 13
TABLA 6. TIPO DE SUELO Y FACTORES DEL COMPORTAMIENTO INELÁSTICO DEL SUBSUELO FS 13
TABLA 7. TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA 14
TABLA 8. COEFICIENTE R PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA 15
TABLA 9. CONFIGURACIONES ESTRUCTURALES NO RECOMENDADAS 16
TABLA 10. COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD EN PLANTA 17
TABLA 11. FACTOR η 19
TABLA 12. TIPO DE ESTRUCTURAS PARA EL MÉTODO 1 20
TABLA 13. FACTOR DE RIESGO 26
TABLA 14. FACTOR DE IMPORTANCIA DE LAS EDIFICACIONES 27
TABLA 15. TIPO DE SUELO 27
TABLA 16. COEFICIENTE DE SITIO DE PERÍODO CORTO, FA 28
TABLA 17. COEFICIENTE DE SITIO DE PERÍODO LARGO, FV 29
TABLA 18. PERÍODO FUNDAMENTAL APROXIMADO 31
TABLA 19. VALORES DE CU 32
TABLA 20. CATEGORÍAS DE DISEÑO 33
TABLA 21. CATEGORÍA DE RIESGO 33
TABLA 22. COEFICIENTE R 34
TABLA 23. COEFICIENTES DE IRREGULARIDADES DE MANERA HORIZONTAL . 36
TABLA 24. COEFICIENTES DE IRREGULARIDADES DE MANERA VERTICAL 37
TABLA 25. LÍMITE DE DERIVAS DE PISO 38
TABLA 26 - PREDIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA 44
TABLA 27 - DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA ESTRUCTURA 46
TABLA 28 - ANÁLISIS DE DISEÑO CON LA NEC 15 50
TABLA 29 - REACCIONES EN BASE NEC 15 53
TABLA 30 - REACCIONES EN BASE ASCE 7-16 54

TABLA 31 - REACCIONES EN BASE VE/VD NEC 15 55
TABLA 32 - REACCIONES EN BASE VE/VD ASCE 7-16 55
TABLA 33 - ANÁLISIS MODAL PISO 1 X 57
TABLA 34 ANÁLISIS MODAL PISO 2 X 58
TABLA 35- ANÁLISIS MODAL PISO 3 X 59
TABLA 36 - ANÁLISIS MODAL PISO 4 X 60
TABLA 37 - ANÁLISIS MODAL PISO 5 X 61
TABLA 38 - ANÁLISIS MODAL PISO 1 Y 62
TABLA 39 - ANÁLISIS MODAL PISO 2 Y 63
TABLA 40 - ANÁLISIS MODAL PISO 3 Y 64
TABLA 41 - ANÁLISIS MODAL PISO 4 Y 65
TABLA 42 - ANÁLISIS MODAL PISO 5 Y 66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 - ESPECTRO DE RESPUESTA NEC-15[20] 9
ILUSTRACIÓN 2 - ZONAS SÍSMICAS DEL PAÍS 10
ILUSTRACIÓN 3. ESPECTRO DE DISEÑO ASCE 7 25
ILUSTRACIÓN 4 - CURVAS PELIGRO SÍSMICO NEC 28
ILUSTRACIÓN 5. TORSIÓN ACCIDENTAL 40
ILUSTRACIÓN 6 - ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO 50
ILUSTRACIÓN 7 - ESTRUCTURA CON MUROS DE CORTE 52
ILUSTRACIÓN 8 - ETABS STORY DRIFTS NEC 15 56

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 8
ECUACIÓN 2 8
ECUACIÓN 3 19
ECUACIÓN 4 19
ECUACIÓN 5 20
ECUACIÓN 6 20
ECUACIÓN 7 20
ECUACIÓN 8 20
ECUACIÓN 9 21
ECUACIÓN 10 22
ECUACIÓN 11 23
ECUACIÓN 12 24
ECUACIÓN 13 29
ECUACIÓN 14 30
ECUACIÓN 15 30
ECUACIÓN 16 31
ECUACIÓN 17 31
ECUACIÓN 18 32
ECUACIÓN 19 32
ECUACIÓN 20 32
ECUACIÓN 21 32
ECUACIÓN 22 33
ECUACIÓN 23 39
ECUACIÓN 24 39
ECUACIÓN 25 39
ECUACIÓN 26 40
ECUACIÓN 27 41
ECUACIÓN 28 42
ECUACIÓN 29 43
ECUACIÓN 30 43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - COMPARATIVA REACCIÓN EN BASE SENTIDO X..... 55
GRÁFICO 2 - COMPARATIVA REACCIÓN EN BASE SENTIDO Y..... 56
GRÁFICO 3 - ANÁLISIS MODAL PISO 1 X..... 57
GRÁFICO 4 - ANÁLISIS EN SISMO EN X PISO 1 57
GRÁFICO 5 - ANÁLISIS MODAL PISO 2 X..... 58
GRÁFICO 6 - ANÁLISIS EN SISMO EN X PISO 2 58
GRÁFICO 7 - ANÁLISIS MODAL PISO 3 X..... 59
GRÁFICO 8 - ANÁLISIS EN SISMO EN X PISO 3 59
GRÁFICO 9 - ANÁLISIS MODAL PISO 4 X..... 60
GRÁFICO 10 -ANÁLISIS EN SISMO EN X PISO 4 60
GRÁFICO 11 - ANÁLISIS MODAL PISO 5 X..... 61
GRÁFICO 12 - ANÁLISIS EN SISMO EN X PISO 5 61
GRÁFICO 13 - ANÁLISIS MODAL PISO 1 Y..... 62
GRÁFICO 14 - ANÁLISIS EN SISMO EN Y PISO 1 62
GRÁFICO 15 - ANÁLISIS MODAL PISO 2 Y..... 63
GRÁFICO 16 - ANÁLISIS EN SISMO EN Y PISO 2 63
GRÁFICO 17 - ANÁLISIS MODAL PISO 3 Y..... 64
GRÁFICO 18 - ANÁLISIS EN SISMO EN Y PISO 3 64
GRÁFICO 19 - ANÁLISIS MODAL PISO 4 Y..... 65
GRÁFICO 20 - ANÁLISIS EN SISMO EN Y PISO 4 65
GRÁFICO 21 - ANÁLISIS MODAL PISO 5 Y..... 66
GRÁFICO 22 - ANÁLISIS EN SISMO EN Y PISO 5 66

RESUMEN EJECUTIVO

A medida que avanza la tecnología países desarrollados generan investigación en base a las lecciones que cada sismo deja, con lo que actualizan sus normativas buscando tener estructuras más seguras, que tengan un comportamiento adecuado ante la acción de un nuevo terremoto, buscando no solo salvaguarda la vida de las personas sino defender la economía evitando el colapso de las estructuras.

El objetivo de este estudio experimental donde se realizó un análisis estructural dinámico comparativo basado en los parámetros de las normativas NEC y ASCE 7-16. Esto permitió evaluar la capacidad de la NEC para garantizar seguridad estructural, y planificación eficiente. Para ello, se diseñó una estructura irregular de cinco plantas en el software ETABS, desarrollando modelos estructurales: uno basado en la NEC para calcular el cortante basal estático y dinámico, y otro según la ASCE 7-16 para determinar las fuerzas horizontales, se compararon los resultados obtenidos entre normativas en el ámbito dinámico.

Como resultado se revelan diferencias significativas que deben ser cuidadosamente consideradas en el diseño estructural, según la NEC 15, los cortantes basales son inferiores al 1 por ciento, al utilizar la ASCE 7-16, el cálculo de los cortantes basales considerando tanto los esfuerzos estáticos como dinámicos supera el 2 por ciento. Este aumento, aunque aparentemente pequeño, puede tener un impacto considerable en el diseño y seguridad de la estructura, particularmente en edificaciones críticas o en zonas con alta actividad sísmica. Por lo cual la NEC debe considerar sus estándares de seguridad ante cualquier siniestro así precautelando la salud y economía del pueblo ecuatoriano.

Palabras claves: análisis dinámico, edificaciones, cortante basal, fuerzas horizontales, modelos estructurales.

ABSTRACT

As technology advances, developed countries conduct research based on the lessons learned from each earthquake. This research leads to updates in building codes, aiming to create safer structures that respond appropriately to seismic activity. The goal is not only to protect human lives but also to safeguard the economy by preventing structural collapses.

This experimental study presents a comparative dynamic structural analysis based on the parameters of the NEC and ASCE 7-16 standards. The study evaluates the NEC's capacity to ensure structural safety and efficient planning. To achieve this, a five-story irregular structure was designed using ETABS software, where structural models were developed: one following the NEC to calculate static and dynamic base shear, and another based on ASCE 7-16 to determine horizontal forces. The results obtained from both standards were compared in the dynamic analysis context.

The findings reveal significant differences that must be carefully considered in structural design. According to NEC 15, the base shear values are below 1 percent, whereas when using ASCE 7-16, the calculation of base shear—considering both static and dynamic forces—exceeds 2 percent. Although this increase may seem minor, it can have a substantial impact on the design and safety of the structure, particularly in critical buildings or areas with high seismic activity. Therefore, the NEC should reconsider its safety standards to enhance disaster resilience, ultimately protecting both the well-being and economic stability of the Ecuadorian population.

Keywords: dynamic analysis, buildings, base shear, horizontal forces, structural models.

1. CAPÍTULO I - MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes Investigativos

El cálculo estructural no es un tema sencillo ni trivial; implica una serie de cálculos, análisis e interpretaciones. En el contexto de nuestro país, Ecuador, es imperativo adherirse a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)[1]. Sin embargo, esta normativa presenta ciertos vacíos que permiten diversas interpretaciones. Estas lagunas pueden dar lugar a errores técnicos, como quedó latente en el terremoto de 2016[2]. Problemas como derivas de piso, presencia de pisos blandos, y error de concepto de columna fuerte – viga débil destacaron como factores cruciales que contribuyeron significativamente al colapso de diversas edificaciones [3], [4]. Este incidente subraya la importancia de abordar de manera exhaustiva y precisa el cálculo estructural, así como la necesidad de revisar y fortalecer las normativas existentes para evitar futuros eventos catastróficos.

La norma presenta diferentes vacíos en su interpretación y pueden abordar varias áreas críticas, incluyendo:

Definiciones ambiguas: La NEC-15 puede carecer de definiciones claras y precisas para ciertos términos técnicos y requisitos, lo que da lugar a interpretaciones diversas y malentendidos; como por ejemplo los factores de configuración en planta y elevación no tienen un límite y se utiliza tantas cuantas distorsiones en planta y elevación tenga la estructura.

Normas obsoletas: A medida que avanza la tecnología países desarrollados generan investigación en base a las lecciones que cada sismo deja, con lo que actualizan sus normativa buscando tener estructuras más seguras, que tengan un comportamiento adecuado ante la acción de un nuevo terremoto, buscando no solo salvaguarda la vida de las personas sino defender la economía evitando el colapso de las estructuras, la NEC-15 puede volverse obsoleta y no estar alineada con los últimos avances en diseño de construcción sostenible y eficiencia energética.

Flexibilidad en la aplicación: La norma puede permitir ciertas interpretaciones flexibles, lo que puede dar lugar a inconsistencias en la aplicación, especialmente en proyectos de construcción sostenible donde las soluciones personalizadas son comunes.

Escasez de orientación para la sostenibilidad: La NEC-15 puede no proporcionar orientación suficiente sobre prácticas de construcción sostenible, lo que dificulta la implementación de proyectos ecológicamente responsables.

Por lo cual se plantea realizar el análisis teniendo en cuenta los parámetros de ambas normativas (ASCE 7-16 Y NEC-15) para llevar a cabo un análisis estructural de edificaciones con las normas antes mencionadas, al análisis estructural, Villareal lo define como: “El Análisis Estructural, es una ciencia que se encarga de la elaboración de métodos de cálculo, para

determinar la resistencia, rigidez, estabilidad, durabilidad y seguridad de las estructuras, obteniéndose los valores necesarios para un diseño económico y seguro."[5]

Después de un análisis inicial de la parte de análisis estructural, es crucial dirigir nuestra atención hacia varios factores importantes. Entre ellos, la morfología del suelo y su geología emergen como elementos clave que influyen directamente en la estabilidad y el rendimiento estructural. Sin embargo, no debemos limitarnos solo a estos aspectos, sino que también debemos considerar otros factores que puedan interactuar y tener un impacto significativo en la integridad de la estructura. Es esencial comprender la interrelación dinámica entre estos elementos para desarrollar una evaluación completa y precisa del sitio antes de proceder con el diseño y la construcción, por lo cual se resalta la siguiente información según Udías: Ecuador, situado en el cinturón de fuego del Pacífico, se encuentra propenso a la ocurrencia de sismos, lo cual constituye un factor de gran relevancia. Esta realidad geográfica confiere al país una alta vulnerabilidad y expone a sus habitantes a un riesgo sísmico significativo. Esta realidad confiere al país una alta vulnerabilidad sísmica, exponiendo a sus habitantes a riesgos significativos. La presencia en esta zona sísmica activa subraya la necesidad de una gestión cuidadosa de los peligros asociados con los eventos sísmicos, lo que se convierte en un aspecto crítico en la planificación urbana y la construcción de infraestructuras.[6], [7].

Según Quinde: Ecuador se encuentra entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana y además de ello se encuentra en una microplaca que la dominan "bloque andino", que también interactúa con la placa de Cocos [8]. La consideración de este fenómeno como de suprema importancia se debe a la subducción de placas, lo cual intensifica los efectos sísmicos. Es fundamental destacar que Ecuador experimenta una notable influencia de la cordillera de los Andes, lo que también origina efectos tectónicos significativos. Este escenario geodinámico, marcado por la interacción de placas y la presencia de una importante cadena montañosa, convierte al país en una región especialmente vulnerable a eventos sísmicos y tectónicos. Por ende, comprender a fondo estos factores se torna esencial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación de riesgos y construcción resiliente [9][10]

A lo largo del tiempo, Ecuador ha experimentado una evolución en sus normativas sísmicas, un proceso impulsado en gran medida por los eventos sísmicos tanto en nuestro país como en naciones vecinas. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en vigor desde 1996, ha experimentado revisiones y actualizaciones significativas. Inicialmente, la normativa era relativamente superficial, pero con el transcurso de los años, se han incorporado parámetros esenciales. Esta transformación ha sido posible gracias a la realización de análisis detallados de eventos históricos, abarcando tanto magnitudes como localizaciones [11], [12]

Además, se ha llevado a cabo un extenso modelaje que contempla miles de eventos, con el objetivo de estudiar las incertidumbres asociadas a las ecuaciones de predicción sísmica. Estos esfuerzos han permitido afinar la normativa, haciéndola más robusta y adaptada a las particularidades geodinámicas de nuestra región. La continua mejora de la NEC no solo refleja el compromiso con la seguridad estructural, sino también la capacidad de aprendizaje y adaptación a partir de experiencias pasadas. Este enfoque proactivo es esencial para anticipar y mitigar los riesgos sísmicos, contribuyendo así a la construcción de una infraestructura más resiliente y segura en Ecuador [11], [12]

A pesar de estos avances, Ecuador ha enfrentado desastres devastadores, como el terremoto de abril de 2016, que causó enormes pérdidas materiales y humanas. La falta de rigurosidad en la fiscalización y cumplimiento de las normativas de construcción ha sido identificada como una causa principal de estas deficiencias, subrayando la urgencia de reevaluar y fortalecer los protocolos de construcción y supervisión. La implementación más estricta de normas sísmicas y mejoras en los procesos de inspección son esenciales para minimizar el impacto de futuros eventos sísmicos y garantizar la seguridad de la población.[13], [14]

La optimización de los procesos de inspección se erige como otro pilar crucial en la protección de la población ante los peligros sísmicos. Esto implica establecer mecanismos de supervisión más rigurosos y eficientes, así como la implementación de tecnologías innovadoras para la detección temprana de posibles fallas estructurales. La inversión en sistemas de monitoreo sísmico y la adopción de herramientas de evaluación de riesgos avanzadas pueden contribuir significativamente a reducir la vulnerabilidad de las edificaciones y mejorar la capacidad de respuesta ante emergencias.

[13], [14],[15]

La experiencia adquirida de eventos sísmicos anteriores debería servir como un catalizador para la mejora continua de las prácticas de construcción. Cada desastre ofrece valiosas lecciones que pueden informar y enriquecer las regulaciones y estándares de construcción vigentes. Estas lecciones no solo se basan en la evaluación de daños materiales y pérdidas humanas, sino también en el análisis de las fallas en la infraestructura y en los protocolos de seguridad.

La integración de avances tecnológicos y conocimientos sísmicos más recientes es fundamental para fortalecer la resiliencia de las edificaciones y la infraestructura en general. Por ejemplo, el desarrollo de tecnologías de construcción más innovadoras y materiales más resistentes puede aumentar la capacidad de las estructuras para soportar los impactos de un terremoto. Del mismo modo, la mejora en los métodos de evaluación de riesgos sísmicos y en la modelización de escenarios puede proporcionar una comprensión más precisa de los peligros y ayudar en la toma

de decisiones informadas en la planificación urbana y en la construcción de infraestructuras críticas.

En conclusión, la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) constituye una piedra angular en el proceso de cálculo, diseño y construcción en Ecuador. Sin embargo, es evidente que existen vacíos técnico-legales dentro de la NEC-15 que requieren interpretaciones por parte de los profesionales del sector. Esta situación, ligada a la variabilidad en el nivel de experticia de los diseñadores, plantea un riesgo potencial para la integridad y la sostenibilidad de las estructuras a largo plazo. Es imperativo abordar estas lagunas mediante una revisión exhaustiva de la normativa y la promoción de la capacitación continua en el sector de la construcción. Solo así podremos garantizar un entorno construido seguro y sostenible para las generaciones futuras en Ecuador.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar un análisis estructural dinámico comparativo de un edificio irregular con la finalidad de comparar a los resultados entre las normas técnicas NEC 15 con ASCE 7-16, con el fin de verificar el nivel de competencia de (estándar actual de la construcción en el país) nuestra norma de diseño tomando en cuenta la alta sismicidad del país.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar la norma ecuatoriana para determinar el corte basal estático y dinámico que actúa en el edificio propuesto.
- Determinar las fuerzas horizontales actuantes en base a ASCE 7-16.
- Comparar los resultados obtenidos con las dos normas en el ámbito dinámico de la estructura.

2. CAPÍTULO II – METODOLOGÍA

Se ha implementado un enfoque metodológico integral, combinando tanto métodos cuantitativos como cualitativos en el análisis de las dos normas. La cuantificación ha sido esencial al evaluar el rendimiento del edificio a través de cálculos precisos. En contraste, aspectos fundamentales como la estabilidad y otros parámetros han sido abordados cualitativamente, ya que estas cualidades constituyen características de la estructura objeto de análisis. Esta estrategia metodológica se ha concebido para ofrecer una evaluación completa y equilibrada, considerando tanto los aspectos medibles como las cualidades inherentes que definen la robustez y eficacia de la estructura examinada.

Para llevar a cabo esta investigación, se empleó una metodología dividida en tres etapas distintas, cada una enfocada en aspectos específicos de las normativas y su aplicación en el diseño estructural, incluyendo un análisis detallado de los materiales utilizados en el proceso.

Los resultados de este análisis comparativo servirán como base para la mejora de las prácticas de diseño y construcción en el país, considerando tanto las cargas de diseño como los materiales utilizados, y contribuyendo así a la seguridad y eficiencia de las estructuras construidas y al bienestar de las personas que las utilizan.

2.1 Materiales

En el proceso de investigación, la utilización del material que será expuesto a continuación ha sido de vital importancia. La meticulosa selección y aplicación de cada elemento ha enriquecido significativamente el trabajo. Asimismo, el dominio y la aplicación de varios softwares especializados han sido elementos fundamentales para alcanzar los objetivos de manera eficiente y precisa. Gracias a estas herramientas, ha podido analizar datos complejos, visualizar resultados y realizar simulaciones que han profundizado su comprensión del tema investigado. Su contribución ha sido invaluable en cada etapa del proceso, desde la recopilación inicial de información hasta la interpretación final de los hallazgos. En resumen, tanto los materiales seleccionados como los softwares utilizados han sido pilares fundamentales en el desarrollo y éxito de esta investigación.

- Software de análisis estructural, donde se pudo analizar los diferentes aspectos de las normas de estudio como es la NEC 15 y la ASCE 7-16.
- Computador.

- Biblioteca
- Etabs ha desempeñado un papel fundamental en la realización de una amplia gama de cálculos y en la evaluación detallada del comportamiento estructural. Su aplicación ha sido crucial para obtener los resultados necesarios y llevar a cabo una comparación exhaustiva entre las dos normativas pertinentes.[16]
- AutoCAD para determinar las diferentes áreas de análisis para cálculos de elementos estructurales y no estructurales de la edificación que se analizó.[17]

2.2 Métodos

La estrategia implementada se ha estructurado en tres etapas, las cuales se han distribuido de la siguiente manera.

2.3 ETAPA 1

Se llevo a cabo una meticulosa recopilación de información sobre la normativa ecuatoriana y los estándares internacionales, mediante la búsqueda bibliográfica de la norma ASCE 7-16, rigiéndose como la piedra angular del proceso analítico. Esta fase no solo ha implicado una revisión detallada, sino que también ha abierto la puerta a un análisis exhaustivo de la estructura propuesta. A través de este enfoque meticuloso, se ha buscado lograr una identificación precisa de los materiales que constituyen la estructura, así como de las cargas permanentes y gravitacionales que ejercen su influencia, todo ello en estricta conformidad con las directrices establecidas en la NEC 15.

Tras completar este riguroso proceso de recopilación y análisis, se ha encaminado hacia la fase crucial de predimensionamiento de los elementos estructurales que se llevó a cabo con los lineamientos establecidos en la ACI 318-19 [18]. Esta etapa ha revestido una importancia primordial, ya que ha sentado las bases para una variedad de análisis subsiguientes.

2.3.1. Predimensionamiento de vigas

Este predimensionamiento se realizó con la norma ACI 318-19 con el objetivo de evitar el cálculo de deflexiones, debido a que el ACI recomienda calcular las alturas mínimas de los elementos para evitar el cálculo. Las diferentes ecuaciones propuestas por el ACI 318-19 como

se muestra en la tabla 1.

Tabla 1- Predimensionamiento de vigas

Condición de apoyo	Altura mínima, h
Simplemente apoyada	*l*/16
Con un extremo continuo	*l*/18.5
Ambos extremos continuos	*l*/21
En voladizo	*l*/8

Fuente: ACI 318-19[18], [19]

2.3.2. Predimensionamiento de columnas

Según el ACI 352 – RS02, donde menciona que para tener la condición de columna fuerte viga débil se debe tener en cuenta el siguiente parámetro:

Ecuación 1

Fuente: ACI 318-19[18], [19]

$$\boldsymbol{h_c \geq h_b} \quad [19]$$

Dónde:

h_c = Altura de columna

h_b = Altura de viga

Por consiguiente, resulta imprescindible garantizar que la altura de la columna sea igual o superior a la altura de la viga, cumpliendo así con el requisito previamente mencionado de la condición 'columna fuerte, viga débil'. Esta práctica asegura la adecuada distribución de cargas y la resistencia estructural necesaria para la integridad del sistema.

2.3.3. Predimensionamiento de espesor de la losa

Se utilizo una formula empírica para el predimencionamiento el espesor usado en la losa.

Ecuación 2

$$\boldsymbol{3 * l}$$

Dónde:

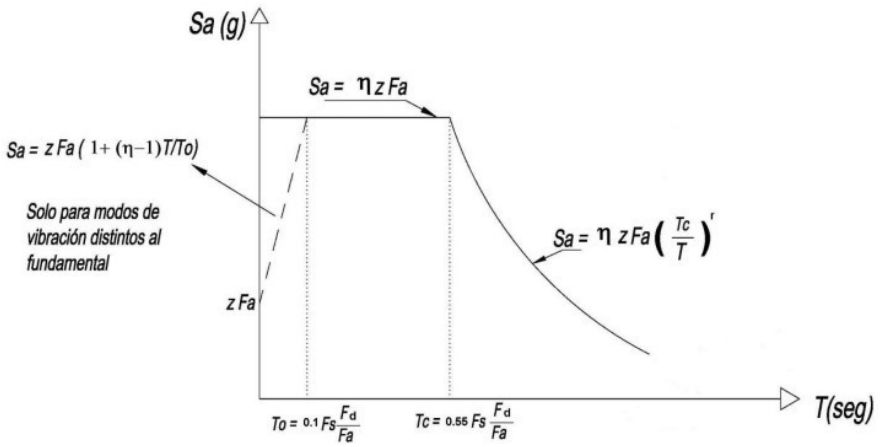
l **=** Es la luz más crítica.

Su ejecución ha permitido no solo anticipar y adaptar los elementos estructurales a las condiciones previstas, sino también establecer el terreno propicio para iniciar el análisis modal espectral. Este último, ejecutado con precisión y conforme a los rigurosos lineamientos de la NEC 15, se ha regido como el siguiente paso en la búsqueda de un diseño estructural integral y normativamente sólido.

2.3.4. Espectro de respuesta NEC-15

El espectro de respuesta sísmico desempeña un papel fundamental al evaluar el comportamiento estructural dinámico, con el fin de diseñar estructuras capaces de resistir terremotos, asegurar el cumplimiento de estándares de seguridad y optimizar el diseño estructural para una mayor eficiencia y rendimiento sísmico, el proporcionado por la NEC es el siguiente:

Ilustración 1 - Espectro de respuesta NEC-15[20]



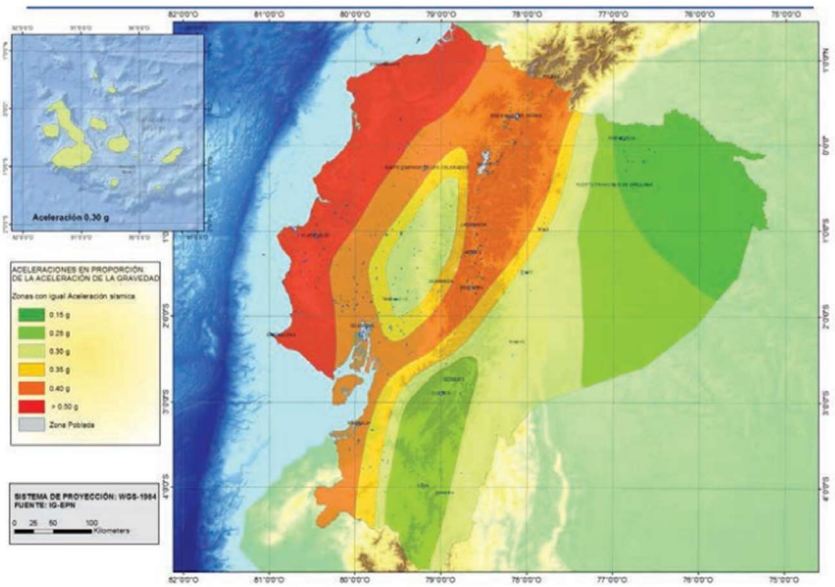
Fuente: NEC-15[21]

Las diferentes variables y ecuaciones se explicarán a continuación, para el presente diseño primero se identificó la zona y el tipo de suelo con el que se debía trabajar, según los estándares de la NEC tenemos los siguientes:

2.3.5. Factor de la zona sísmica (Z)

Según la zona sísmica de estudio, se adopta el valor de z, ya que se usó para poder usarlo dentro del espectro de diseño sísmico, los valores de la tabla *II* corresponden a los estudios realizados en 2011 donde se realizó para un periodo de retorno de 475 años [21].

Ilustración 2 - Zonas sísmicas del país



Fuente: NEC-15 [21]

Tabla 2 - Valores de Z en función a la zona sísmica

Zona Sísimica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: NEC-15[1]

2.3.6. Tipos de suelo

Los perfiles de suelo según la Norma Estructural de la Construcción (NEC) son una manera de clasificar las características geotécnicas del suelo en un área determinada. Estos perfiles describen las capas de suelo y roca presentes en el subsuelo, lo cual es crucial para el diseño de cimentaciones y la evaluación de la respuesta sísmica de una estructura.

Los perfiles de suelo son especialmente importantes en el diseño sísmico, ya que el tipo de suelo afecta directamente la respuesta de una estructura ante un terremoto. Por ejemplo, los suelos blandos tienden a amplificar las ondas sísmicas, mientras que los suelos duros pueden reducir su amplitud.

Por lo tanto, es recomendable y de obligatoriedad el estudio de suelo basado en normas de la

construcción requerida para un buen estándar de operaciones.

Tabla 3- Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	Vs ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > Vs ≥ 760 m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el cirterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > Vs ≥ 360 m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blandan, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	N ≥ 50.0
		Su ≥ 100 Kpa
D	Perfiles de suelos rigidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > N ≥ 15.0
		100 kPa > Su ≥ 50 kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	Vs < 180 m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20
		w ≥ 40%
		Su < 50 kPa

F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnia. Se contemplan las siguientes subclases:
	F1-Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc
	F2-Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
	F3-Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)
	F4-Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)
	F5-Suelos con contrastes de impedancia a ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte
	F6-Rellenos colocados sin control ingenieril.

Fuente: NEC-15[21]

Los coeficientes establecidos por la normativa se aplican de manera específica en función del tipo de suelo sobre el cual se erige la construcción. Estos coeficientes son fundamentales, ya que determinan cómo la estructura responderá a las fuerzas sísmicas y otras cargas dinámicas. Por tanto, su correcta aplicación y comprensión son fundamentales para garantizar la seguridad y estabilidad de la edificación ante eventos sísmicos. Para el presente trabajo se lleva a cabo el estudio en un suelo de tipo C.

2.3.7. Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs

- **Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.**

Tabla 4. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85
F	**Véase Tabla 2 de la NEC: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4**					

Fuente: NEC-15[21]

- **Fd: amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca**

Tabla 5. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	
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 Tabla 2 de la NEC: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4**					

Fuente: ***NEC***-15[21]

- **Fs: comportamiento no lineal de los suelos**

Tabla 6. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	
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	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	**Véase Tabla 2 de la NEC: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4**					

Fuente: NEC-15[21]

Una vez obtenidos los diferentes coeficientes de las tablas de la norma, se tomó los valores de los siguientes parámetros los cuales fueron insertados en el espectro de diseño:

2.3.8. Importancia

La importancia de una edificación está directamente ligada al uso u ocupación que se dará a mismo, por lo cual la norma proporciona la siguiente tabla:

Tabla 7. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de so, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias 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

Fuente: NEC-15[21]

2.3.9. Factor de reducción de resistencia sísmica

El coeficiente R posibilita la disminución de las fuerzas sísmicas proyectadas, bajo la condición de que las estructuras y sus uniones sean concebidas para generar un patrón de fallo predecible y con suficiente ductilidad, de manera que el daño se concentre en secciones específicamente detalladas para operar como articulaciones plásticas, por lo cual la norma nos refiere la siguiente tabla:

Tabla 8. Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada

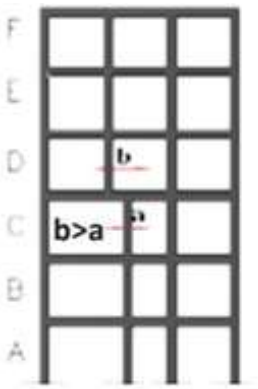
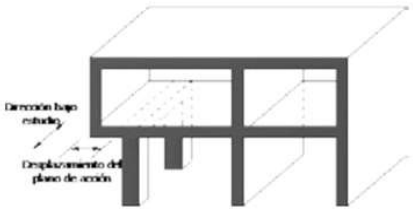
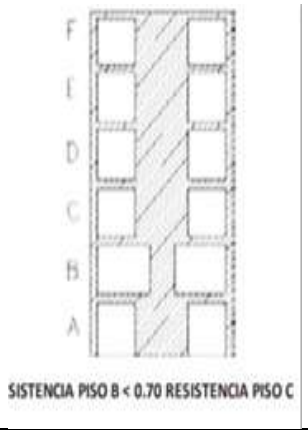
Sistemas Estructurales Dúctiles	**R**
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Sistemas Estructurales Dúctiles	**R**
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda	5
Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	**R**
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la **NEC-SE-HM**, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la **NEC-SE-HM** con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

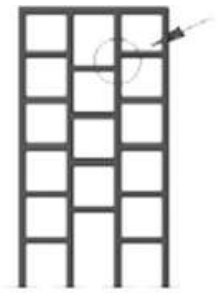
Fuente: NEC-15[1]

2.3.10. Coeficientes de configuración en planta y elevación

Los coeficientes de configuración en planta y elevación son herramientas esenciales en el diseño estructural. Estos coeficientes representan la distribución de cargas laterales, como las del viento o terremotos, teniendo en cuenta la forma, altura y otros aspectos del edificio. Su papel principal es calcular las fuerzas sísmicas y de viento que afectan la estructura, permitiendo dimensionar adecuadamente los elementos estructurales para garantizar su estabilidad y seguridad, un claro ejemplo de ello lo demuestra la NEC en la siguiente tabla:

Tabla 9. Configuraciones estructurales no recomendadas

<table>
<tr><th colspan="2">IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN</th><th>IRREGULARIDADES EN PLANTA</th></tr>
<tr><td>Ejes verticales discontinuos muros soportados por columnas.
La estructura Se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</td><td>
</td><td rowspan="2">Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.
IJna estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.
</td></tr>
<tr><td>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia.
La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</td><td>
</td></tr>
</table>

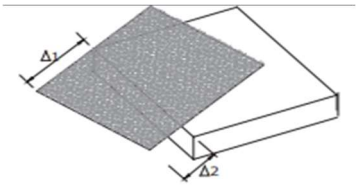
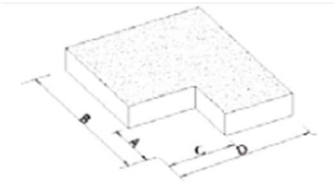
Columna corta Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.		

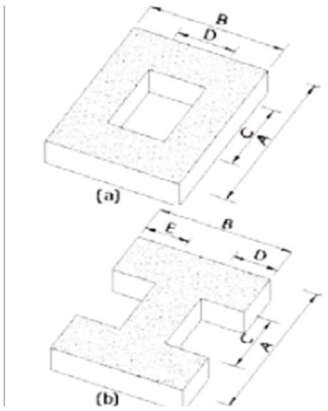
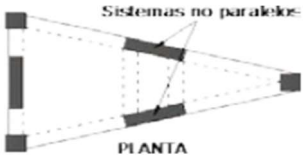
Fuente: NEC-15[1]

Por lo cual para los diferentes tipos de edificación se adoptan los valores establecidos en las tablas de la norma presentada a continuación:

2.3.11. Coeficientes de irregularidad en planta

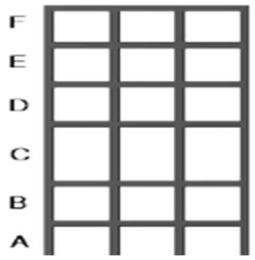
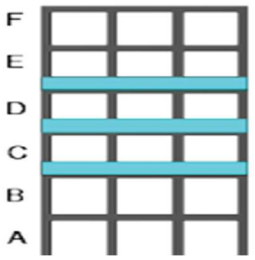
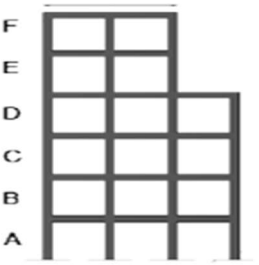
Tabla 10. Coeficientes de irregularidad en planta

Tipo 1- Irregularidad torsional *Øpi= 0.9* Δ=1.2 ((Δ1+Δ2))/2 Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del codigo.	
Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas *Øpi= 0.9* A > 0.158 y C > 0.15D La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, Son mayores que el 150/0 de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.	

Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso. *Øpi= 0.9* a) CxD > 0.5AxB b) [CxD + CxE] > 0.5AxB La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, enrantes o huecos, con área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.	
Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos *Øpi= 0.9* La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.	

Fuente: NEC-15[1]

2.3.12. Coeficientes de irregularidad en elevación:

Tipo 1.- Piso flexible ØEi=0.9 Rigidez Ke>0.70 Rigidez KD Rigidez < 0.80((KD+KE+KF))/3 La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% del a rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral delos tres pisos superiores.	
Tipo 2 - Distribución de masa ØEi=0.9 mD> 1.50 mE mD > 1.50 mC La estruc tura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	
Tipo 3 - Irregularidad geométrica - . . ØEi=0.9 a > 1.3 b La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en c cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.	

Nota: La descripción de estas irregularidades no facultan al calculista o diseñador a considerarlas como normales, po lo tanto la presencia e estas irregularidades requieren revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.

Fuente: NEC-15[1]

2.3.13. Factor η

La variabilidad de este parámetro depende de la ubicación geográfica de la estructura. Este coeficiente refleja la relación entre la aceleración espectral y el PGA (Peak Ground Acceleration) para un período de retorno específico (Sa/Z). Se deriva de análisis de espectros de peligro uniforme en terrenos rocosos, utilizando aceleraciones espectrales normalizadas para la aceleración máxima del suelo, y se adoptan los siguientes valores[21]:

Tabla 11. Factor η

η	Región
1.8	Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas
2.48	Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
2.6	Provincias del Oriente

Fuente: NEC-15[21]

2.3.14. Factor r

Factor que se utilizó en el espectro de diseño elástico y depende directamente del grupo de suelo y geografía del proyecto:

$$r = 1 \; Para\ todos\ los\ suelos\ excepto\ el\ tipo\ E$$

$$r = 1.5 \; Para\ suelos\ tipo\ E$$

2.3.15. Periodos límites de vibración

Con estos fueron conformados los límites del espectro de diseño, que se puede observar mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3

$$T_0 = 0.10 F_S \frac{F_d}{F_a}$$

Ecuación 4

$$T_c = 0.55 F_S \frac{F_d}{F_a}$$

Ecuación 5

$$T_L = 2.4F_d$$

Para T_L de suelos tipo D y E, se limita a 4 segundos.

2.3.16. Espectro elástico de aceleraciones

Según lo estipulado por la normativa ecuatoriana, el espectro de respuesta se formula como una proporción de la aceleración gravitacional, incorporando un amortiguamiento del 5%. Esta consideración permite derivar las siguientes ecuaciones que describen el comportamiento dinámico de las estructuras ante eventos sísmicos.

Ecuación 6

$$S_a = \eta Z F_a \quad para\ 0 \leq T \leq T_C$$

Ecuación 7

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_C}{T}\right)^r \quad para\ T > T_C$$

2.3.17. Periodo fundamental

Es el tiempo en que un sistema estructural completa un ciclo de vibración por ello se lo denomina periodo fundamental "T".

Los métodos proporcionados por la NEC solo pueden ser precisos una vez que la estructura ya esté bien dimensionada.

2.3.17.1 Método 1

Ecuación 8

$$\boldsymbol{T = c_t h_n^{\alpha}}$$

Dónde:

$$\boldsymbol{C_t} = Coeficionte\ que\ depende\ del\ tipo\ de\ edificio$$

h_n^{α}=*Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.*

$$T = periodo\ de\ vibracion$$

Tabla 12. Tipo de estructuras para el método 1

Tipo de estructura	Ct	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8

Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales	0.055	0.75

Fuente: NEC-15[21]

2.3.17.2. Método 2

Ecuación 9

$$T_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} wi\delta_i^2}{g\sum_{i=1}^{n} fi\delta_i}}$$

Dónde:

fi= Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso, de acuerdo con los principios descritos en el presente capítulo, o de cuál cualquiera otra distribución racional

δi= de flexión elástica del peso i, calculada utilizando las fuerzas laterales fi

Wi= peso página al piso o nivel de la estructura siendo una fracción de la carga reactivada w (paréntesis incluye la fracción de la carga viva correspondiente) peso: w / cargas: w

La diferencia entre los períodos obtenidos por el método 1 y el método 2 no debe exceder el 30%. En caso de que esta condición no se cumpla, se ajusta el período aproximado obtenido por el método 1 aumentándolo en un 30%. Luego, se repite el proceso de análisis para garantizar que se cumpla esta restricción.

2.3.18. Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) son conjuntos específicos de cargas aplicadas a una estructura para simular diferentes escenarios de carga que puedan ocurrir durante su vida útil. Estas combinaciones son importantes porque permiten evaluar la capacidad de la estructura para resistir una variedad de condiciones de carga, incluidas las cargas gravitacionales, sísmicas, de viento, entre otras. Además, garantizan que la estructura cumpla con los requisitos de seguridad y diseño establecidos en la normativa, lo que

contribuye a la protección de la vida humana y la propiedad ante eventos adversos.

1. 1.4D
2. 1.2+1.6L+0.5 máx. [Lr; 0.5W]
3. 1.2D + 1.6 max [Lr; S;R] + max [L; 0.5W]
4. 1.2D +1.0W+ L +0.5 máx. [Lr; S;R]
5. 1.2D +1.0E + L +0.2 S
6. 0.9D+1.0W
7. 0.9D + 1.0E

Dónde:

D =Carga permanente
E= Carga de sismo
L= Carga viva
Lr= Carga viva de cubierta
S= Carga de granizo
W=Carga de viento

2.3.19. Cortante basal

El cortante basal de diseño es importante porque garantiza la seguridad, estabilidad y cumplimiento normativo de una estructura, además de contribuir a la reducción de costos a largo plazo, el utilizado en la NEC-15 es el siguiente:

Ecuación 10

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\emptyset_p\emptyset_E}W$$

Dónde:

$IS_a(T_a)$= Espectro de diseño en aceleracion.
$\emptyset_p\emptyset_E$= Coeficientes de configuracion en planta y elevacion.
I= Cieficiente de importancia.
R= Factor norte reducción de resistencia sísmica.
V= por tanto te vas al total de diseño.

W= carga sísmica reactiva.
Ta= período de vibración.

2.3.20. Inercias agrietadas

En el análisis y diseño de estructuras de hormigón armado y mampostería, es esencial tener en cuenta las inercias agrietadas. Esto se debe a que al emplear el factor de reducción de la resistencia sísmica (R), se reconoce la posibilidad de que la estructura sufra cierto nivel de daño durante un evento sísmico. Por lo tanto, ajustar las inercias de las secciones es necesario para obtener una representación más precisa de las propiedades de rigidez de la estructura. Esto facilita el cálculo de las deformaciones laterales, lo que a su vez mejora la precisión del análisis de la respuesta sísmica de la estructura.
Las inercias agrietadas a usarse como una fracción de la inercia bruta (Ig) son:

- 0.5 Ig para vigas
- 0.8 Ig para columnas
- 0.6 Ig para muros estructurales

2.3.21. Control de derivas

El control de derivas tiene como finalidad fundamental evaluar y limitar las deformaciones laterales que experimentan las estructuras ante cargas dinámicas, especialmente durante eventos sísmicos. Estas deformaciones pueden comprometer la integridad estructural y la funcionalidad de la edificación. Por tanto, la implementación de criterios rigurosos para el control de derivas garantiza que las estructuras cumplan con los estándares de seguridad establecidos, reduciendo así el riesgo de daños graves o colapso durante condiciones extremas.

Ecuación 11

$$\Delta e_i = \delta_i - \delta_{i-1}$$

Dónde:

Δei= deriva elástica del piso i
δi = Desplazamiento máximo del nivel i
δi-1= Desplazamiento máximo de nivel i-1

2.3.22. Derivas de piso

Tras haber verificado las derivas de piso, se llevó a cabo el control de las deformaciones mediante el cálculo de las derivas inelásticas máximas. El diseñador se aseguró de que la estructura presentara deformaciones inelásticas dentro de los límites aceptables, lo que representó una mejora significativa en el diseño conceptual. Se calcularon las derivas resultantes de la aplicación de fuerzas laterales de diseño, ya sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de carga. Este cálculo se realizó para cada piso mediante un análisis elástico de la estructura sujeta a las fuerzas laterales determinadas.

Ecuación 12

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Dónde:

Δ**M=** Deriva máxima inelástica
Δ**E=** Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.
R= Factor de reducción de resistencia

2.4 ETAPA 2

2.4.1. Espectro de diseño ASCE 7

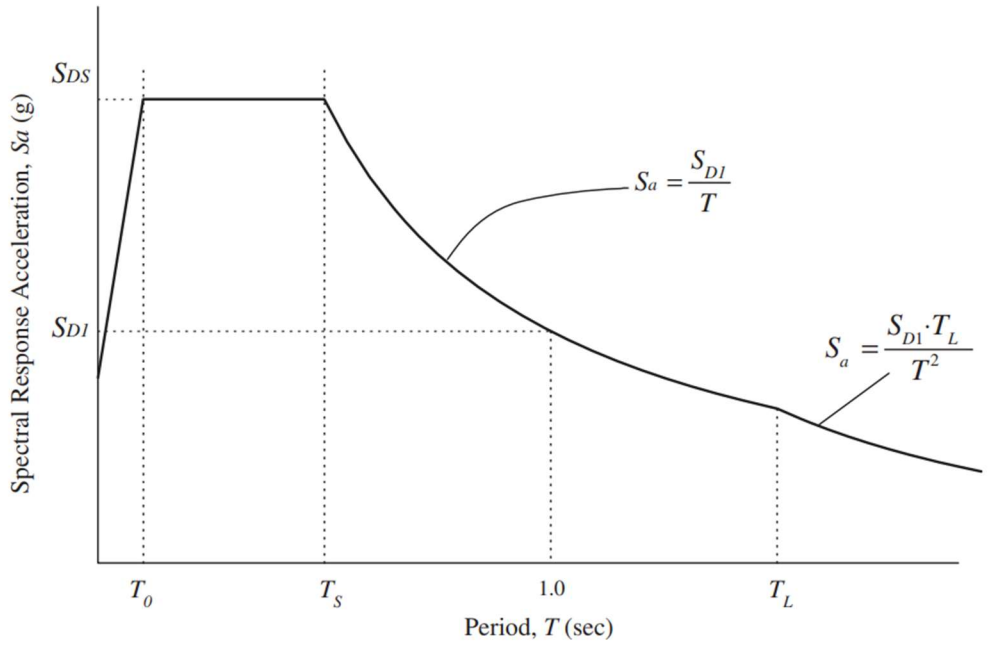


Ilustración 3. Espectro de diseño ASCE 7

Fuente: ASCE 7-16[19]

En conformidad con la normativa internacional la ASCE 7-16, se ha llevado a cabo una rigurosa evaluación de las fuerzas horizontales, en ETABS para ingeniería civil. Este proceso ha permitido la determinación manual de la carga sísmica estática que incide en la estructura propuesta. La meticulosidad de este enfoque ha facilitado un análisis detallado del espectro de respuesta utilizando.

2.4.2. Factor de riesgo

Se estableció la categorización de riesgos para edificaciones y otras estructuras, basada en el nivel de riesgo para la vida humana, salud y bienestar asociados con el daño o colapso que pudieran sufrir debido a su ocupación o uso. Esta clasificación se aplicó para la aplicación de disposiciones relacionadas con inundaciones, viento, nieve, terremotos y hielo. Cada edificio o estructura fue asignado a la categoría de riesgo más alta aplicable. Los valores mínimos de cargas de diseño incorporaron los factores de importancia correspondientes. Se permitió asignar un edificio o estructura a múltiples categorías de riesgo según el tipo de condición de carga evaluada (por ejemplo, nieve o sísmica).

Tabla 13. Factor de riesgo

Uso u ocupación de las edificaciones y estructuras	Categoría de riesgo
Edificaciones y otras estructuras que representan un bajo riesgo para la vida humana en caso de falla	I
Todas las edificaciones y otras estructuras excepto las que están en categoría I, III y IV	II
Edificaciones y otras estructuras no incluidas en la categoría IV, con potencial a causar un substancial impacto económico y/o interrupción masiva de la vida civil en el día a día en el caso de falla. Edificaciones y otras estructuras no incluidas en la categoría IV (incluyendo, pero no limitado a, instalaciones que fabrican, procesan, manipulan, almacenan, utilizan, o disponen de sustancias combustibles peligrosas, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen sustancias tóxicas o explosivas, donde su cantidad es superior a una cantidad umbral establecido por la autoridad competente y que sea suficiente para representar una amenaza para el público en caso de ser liberado	III
Edificaciones y otras estructuras designadas como instalaciones esenciales. Edificaciones y otras estructuras, donde el fallo podría suponer un peligro considerable para la comunidad. Edificios y otras estructuras (incluyendo, pero no limitado a, las instalaciones que fabrican, procesan, manipulan, almacenan, utilizan, o disponen de sustancias peligrosas como combustibles, productos químicos peligrosos, o residuos peligrosos) que contienen cantidades suficientes de sustancias altamente tóxicas, cuando la cantidad exceda de una cantidad umbral establecido por la autoridad competente, para resultar peligroso para el público si se libera y es suficiente para representar una amenaza para el público en caso de vertido. Edificios y otras estructuras requeridas para mantener la funcionalidad de otras estructuras categoría de riesgo IV.	IV

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.3. Factor de importancia de las edificaciones

Los factores de importancia fueron utilizados para ponderar la relevancia de las estructuras en función de su impacto en la vida humana, la salud y el bienestar, así como su susceptibilidad a sufrir daños o fallos durante eventos como inundaciones, viento, nieve, terremotos y hielo. Estos factores fueron importantes porque permitieron ajustar las cargas de diseño mínimas para las estructuras, asegurando que se aplicaran las medidas de seguridad adecuadas y se tomaran en consideración los riesgos asociados con la ocupación o el uso de las edificaciones.

Tabla 14. Factor de importancia de las edificaciones

Categoría de riesgo	Factor de importancia para nieve, I_s	Factor de importancia de hielo – resistencia, I_j	Factor de importancia de hielo – viento, I_w	Factor de importancia sísmica, I_e
I	0.80	0.80	1.00	1.00
II	1.00	1.00	1.00	1.00
III	1.10	1.25	1.00	1.25
IV	1.20	1.25	1.00	1.50

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.4. Tipos de suelo

Al igual que en la normativa ecuatoriana de construcción, se lleva a cabo una clasificación de los diferentes tipos de suelo, basada en sus propiedades físicas y en datos obtenidos mediante ensayos geotécnicos. Esta clasificación permite una identificación precisa de las características del suelo, proporcionando una base sólida para el diseño y la construcción de estructuras adecuadas a las condiciones del terreno. Los resultados de estos análisis se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 15. Tipo de suelo

Tipo de suelo	$\overline{v_s}$	$\overline{N}$	$\overline{S_U}$
Todas las edificaciones y otras estructuras excepto las que están en categoría I, III y IV	>5000ft/s	NA	NA
B. Roca	2500 – 5000 ft/s	NA	NA
C. Suelo denso	1200-2500 ft/s	>50	>2000 psf
D. Suelo rígido	600-1200 ft/s	15-50	1000-2000 psf
E. Arcilla blanda	<600 ft/s	<15	<1000 psf

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.5. Parámetros de aceleración

La máxima aceleración de terreno en roca para un período de retorno del 2% en 50 años se expresa a través de dos términos: Ss y S1. Estos términos representan las aceleraciones espectrales para períodos cortos (T=0.2 seg.) y para un segundo (T=1 seg.), respectivamente. Para obtener los datos necesarios de las tablas del ASCE 7-16, fue crucial analizar las curvas de peligro sísmico establecidas por la NEC. A partir de esta evaluación, se determinaron los valores de Ss y S1, los cuales permitieron consultar las tablas correspondientes de la normativa estadounidense. Gracias a este proceso, fue posible acceder directamente a los coeficientes requeridos para la generación del espectro de respuesta.

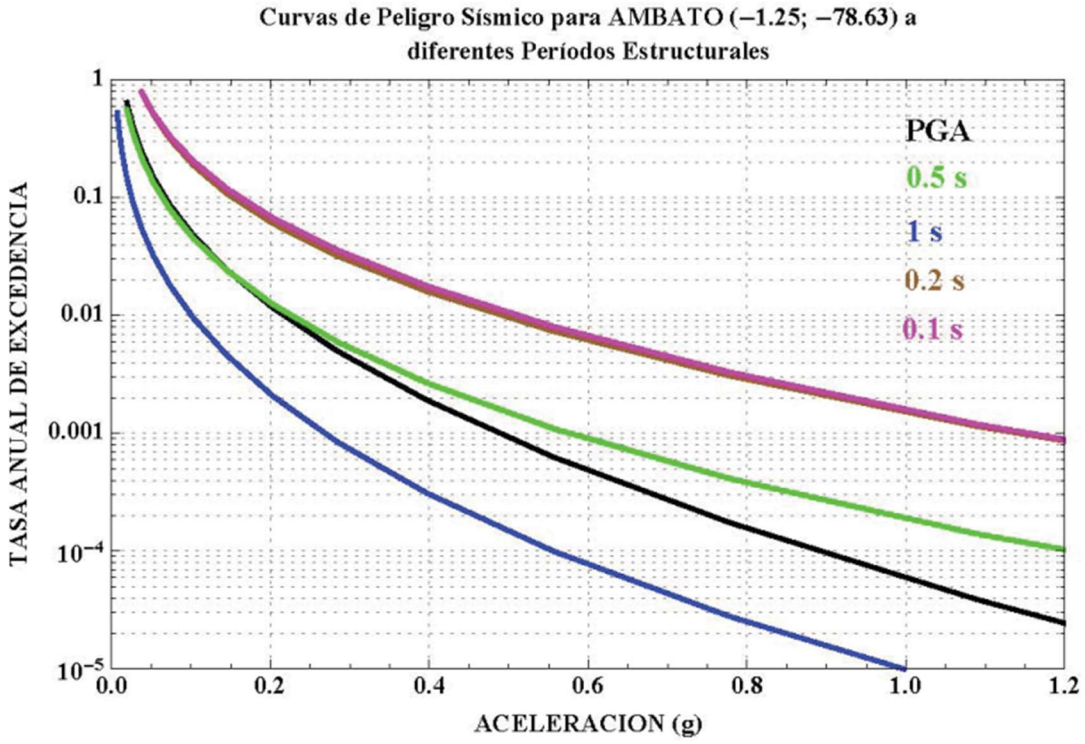


Ilustración 4 - Curvas peligro sísmico NEC

2.4.6. Tablas de los coeficientes para SDI

El coeficiente de sitio de período corto es una medida que evalúa la capacidad de un sitio para amortiguar la sacudida sísmica en períodos cortos de vibración.

Las aceleraciones espectrales para el terremoto máximo considerado SS y S1 han sido adaptadas para tener en cuenta las características del suelo, utilizando los factores Fa para la aceleración en periodos cortos y Fv para la aceleración a 1 segundo.

Tabla 16. Coeficiente de sitio de período corto, Fa

F_a					
Parámetro de aceleración espectral del Terremoto Máximo Considerado (MCER) dirigido al riesgo mapeado en periodos cortos.					
Tipo de Suelo	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Fuente: ASCE 7-16[19]

El coeficiente de sitio de período largo es una medida que evalúa la capacidad de un sitio para amortiguar la sacudida sísmica en períodos más largos, generalmente superiores a 1 segundo. Este coeficiente se emplea en ingeniería sísmica para comprender cómo la geología y las características del suelo influyen en la amplificación o disipación de la energía sísmica a lo largo del tiempo

Tabla 17. Coeficiente de sitio de período largo, Fv

F_v					
Parámetro de aceleración espectral del Terremoto Máximo Considerado (MCER) dirigido al riesgo mapeado en periodos cortos.					
Tipo de Suelo	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.7. Aceleraciones para periodos cortos

Las aceleraciones de diseño se obtienen a partir de dos tercios de las aceleraciones ajustadas (SMS y SM1), con el objetivo de disminuir los valores de movimiento sísmico a un nivel de probabilidad del 10% de ser excedido en un periodo de 50 años. Estos valores representan el movimiento de tierra que se anticipa ocurra aproximadamente cada 475 años, y permiten reducir el Terremoto Máximo Considerado (MCE) a un nivel inferior de movimiento sísmico denominado Terremoto Base de Diseño (DBE). Para los periodos cortos de SDS y para el respectivo periodo de 1 segundo SD1 se puede determinar mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 13

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

Ecuación 14

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

2.4.8. Procedimiento de fuerza lateral equivalente (ELF)

El cortante base sísmico, v en una dirección dada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación 15

$$\boldsymbol{v = c_s w}$$

Dónde:

$\boldsymbol{c_s} = coeficiente\ de\ respuesta\ sísimica\ determinado\ de\ acuerdo\ a\ la\ Tbala\ 12.8.1$

$w = peso\ sísmico\ efectivo\ por\ sección$

2.4.9. Combinaciones de carga.

Las combinaciones de carga especificadas en la NEC-15 se aplican de manera similar en ASCE 7-16, dado que varios principios fundamentales de esta última normativa influyeron en las modificaciones realizadas en la normativa de construcción en Ecuador. Esta influencia resulta en una sincronización de criterios entre ambas regulaciones, lo que proporciona un marco coherente y robusto para el diseño y la evaluación estructural en el contexto ecuatoriano. Por lo cual se obtiene lo siguiente:

1. 1.4D
2. 1.2+1.6L+0.5 máx. [Lr; 0.5W]
3. 1.2D + 1.6 max [Lr; S;R] + max [L; 0.5W]
4. 1.2D +1.0W+ L +0.5 máx. [Lr; S;R]
5. 1.2D +1.0E + L +0.2 S
6. 0.9D+1.0W
7. 0.9D + 1.0E

Dónde:

D =Carga permanente

E= Carga de sismo

L= Carga viva

Lr= Carga viva de cubierta

S= Carga de granizo

W=Carga de viento

2.4.10. Periodo fundamental aproximado

El período fundamental aproximado (Ta), en segundos, se determinará a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 16

$$T_a = c_t h_x$$

Dónde:

$$h_x = altura\ estructural$$

$$C_t = valores\ de\ parámetros\ de\ perpiodo\ aproximados\ c_t y X$$

Tabla 18. Período fundamental aproximado

Tipo de estructura	Ct	x
Pórtico de acero resistente a momentos	0.0724	0.8
Pórtico de hormigón resistente a momentos	0.0466	0.9
Pórticos arriostrados excéntricamente de acero	0.0731	0.75
Pórticos arriostrados con contravientos restringidos contra Pandeo	0.0731	0.75
Todas las demás estructuras	0.0488	0.75

Fuente: ASCE 7-16[19]

El coeficiente para límite superior del período calculado se aplica para garantizar que el período de vibración de la estructura no sea subestimado, lo que podría resultar en un diseño inadecuado para resistir la acción sísmica. Su determinación se basa en criterios técnicos y normativas específicas de diseño sísmico.

Ecuación 17

$$T = C_u * T_a$$

Tabla 19. Valores de Cu

S_{D1}	Cu
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Fuente: ASCE 7-16[19]

En el contexto de la evaluación estructural, la determinación de los periodos de tiempo menores que T0 se rige por la siguiente ecuación:

Ecuación 18

$$S_a = S_{DS}\left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_0}\right)$$

Cuando se trataba de periodos de tiempo que eran menores o iguales que Ts y mayores o iguales que T0, el valor se establecía en Sds. Esta representación simplificada y coherente permitió una evaluación precisa de la respuesta sísmica de las estructuras.

Cuando se trataba de períodos mayores a Ts y menores o iguales a TL, la aceleración de respuesta espectral Sa se determinaba mediante la ecuación 19:

Ecuación 19

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Para aquellos periodos mayores que Tl, Sa se define por la ecuación 20:

Ecuación 20

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T}$$

Dónde:

Ecuación 21

$$T_0 = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Ecuación 22

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

2.4.11. Categoría de diseño

En el proyecto realizado, las categorías de diseño en ASCE 7-16, basadas en la categoría de riesgo y los factores Sd1 y Sds, fueron esenciales para evaluar y diseñar las estructuras. Estos elementos permitieron definir los niveles de carga y criterios de diseño adecuados, asegurando que las estructuras pudieran resistir los eventos ambientales como vientos y sismos. Esta metodología optimizó la seguridad y eficiencia de las estructuras, minimizando los riesgos de falla estructural y protegiendo la vida humana y la propiedad. Las categorías de diseño en ASCE 7-16 proporcionaron un marco coherente y riguroso que se adaptó a las condiciones específicas del entorno en el que se encontraban las estructuras.

Tabla 20. Categorías de diseño

Valores de S_{DS}	Categoría de riesgo	
	I, II o III	IV
S_{DS} < 0.167	A	A
0.167 ≤ S_{DS} < 0.33	B	C
0.33 ≤ S_{DS} < 0.50	C	D
0.50 ≤ S_{DS}	D	D

Fuente: ASCE 7-16[19]

Tabla 21. Categoría de riesgo

Valores de S_{D1}	Categoría de riesgo	
	I, II o III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
0.067 ≤ S_{D1} < 0.133	B	C
0.133 ≤ S_{D1} < 0.20	C	D
0.20 ≤ S_{D1}	D	D

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.12. Coeficiente R

El coeficiente "R" fue un parámetro crucial en el diseño estructural pasado, utilizado para evaluar la capacidad de una estructura para resistir cargas sísmicas. Este coeficiente representó la relación entre la resistencia sísmica de la estructura en estudio y la de una estructura de referencia. Su determinación consideró diversos factores como la rigidez, resistencia y ductilidad del sistema estructural.

El valor de "R" influyó directamente en la cantidad de fuerza sísmica que la estructura debía resistir; a mayor valor de "R", mayor capacidad de la estructura para enfrentar cargas sísmicas, lo que resultaba en un diseño más seguro y resistente. Por lo tanto, el coeficiente "R" fue esencial en el diseño sísmico, ya que ayudó a garantizar la adecuada resistencia y estabilidad de las estructuras ante eventos sísmicos.

NL = No tienen límite.
NP = No llegan al límite permitido.

Tabla 22. Coeficiente R

Sistema estructural	R	Ω	Cd	Límites por la categoría de diseño (m)				
				B	C	D	E	F
Sistema de muros estructurales								
Muros estructurales especiales de concreto reforzado	5	3	5	NL	NL	48.768	48.768	48.768
Muros estructurales ordinarios de concreto reforzado	4	3	4	NL	NL	NP	NP	NP
Muros estructurales detallados de concreto simple	2	3	2	NL	NP	NP	NP	NP

Todas las edificaciones y otras estructuras excepto las que están en categoría I, III y IV	1.5	3	1.5	NL	NP	NP	NP	NP
Muros estructurales intermedios prefabricados	4	3	4	NL	NL	12.192	12.192	12.192
Muros estructurales ordinarios prefabricados	3	3	3	NL	NP	NP	NP	NP
Sistemas de pórticos resistentes a momento								
Pórtico especial de acero resistente a momento	8	3	5.5	NL	NL	NL	NL	NL
Pórtico especial de cerchas de acero resistente a momento	7	3	5.5	NL	NL	48.768	30.48	NP
Pórtico intermedio de acero resistente a momento	4.5	3	4	NL	NL	10.668	NP	NP
Pórtico ordinario de acero resistente a momento	3.5	3	3	NL	NL	NP	NP	NP
Pórtico especial de concreto reforzado resistente a momento	8	3	5.5	NL	NL	NL	NL	NL

Fuente: ASCE 7-16[19]

R = Coeficiente de modificación de respuesta

Ω = Factor de sobre resistencia del sistema

Cd = Factor de amplificación para desplazamientos.

2.4.13. Coeficientes de irregularidades de manera horizontal

Tabla 23. Coeficientes de irregularidades de manera horizontal

Tipo	Descripción	Categoría de diseño
IA	**Irregularidad Torsional.** Cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.	B, C, D, E, F
IB	**Irregularidad Torsional Extrema.** Cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,4 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.	B, C, D, E, F
II	**Irregularidad de esquina entrante**. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.	D, E, F
III	**Irregularidad de discontinuidad del diafragma.** Cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.	D, E, F
IV	**Irregularidad de compensación fuera del plano.** Cuando existe una discontinuidad en una trayectoria del sistema sismorresistente de la fuerza lateral, tal como un desplazamiento fuera de plano de al menos uno de los elementos verticales.	B, C, D, E, F
V	**Irregularidad de ejes no paralelos.** Cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.	B, C, D, E, F

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.14. Coeficientes de irregularidades de manera vertical.

Tabla 24. Coeficientes de irregularidades de manera vertical

Tipo	Descripción	Categoría de diseño
IA	**Irregularidad de baja rigidez de piso** cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	D, E, F
IB	**Irregularidad extrema de baja rigidez de piso.** Cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 60% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 70 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	D, E, F
II	**Irregularidad de peso (masa).** Cuando la masa efectiva de cualquier piso es más que 150% de la masa efectiva de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	D, E, F
III	**Irregularidad geométrica vertical**. Cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente,	D, E, F
IV	Irregularidad de discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistente a las fuerzas laterales. Se define que existe cuando existe un desplazamiento en el plano de un elemento de resistencia a la fuerza sísmica vertical que da lugar a requerimientos de vuelco sobre una viga de soporte, una columna, una armadura o una losa.	B, C, D, E, F
VA	**Irregularidad en rigidez lateral - piso débil**. Un piso débil es aquel en que la resistencia lateral del piso es menor del 80% de la resistencia del piso inmediatamente superior, en tal caso se considera irregular. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes a las fuerzas sísmicas que comparten el esfuerzo cortante del piso en la dirección bajo consideración.	D, E, F

VB	**Irregularidad en rigidez lateral - piso débil extrema**. Un piso débil es aquel en que la resistencia lateral del piso es menor del 65% de la resistencia del piso inmediatamente superior, en tal caso se considera irregular. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes a las fuerzas sísmicas que comparten el esfuerzo cortante del piso en la dirección bajo consideración.	B, C, D, E, F

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.15. Límite de derivas de piso

En el diseño de estructuras sísmicas, es crucial controlar las derivas para garantizar la seguridad. La Tabla 25 establece los límites máximos permisibles de derivas. Para sistemas sismorresistentes compuestos solo por pórticos en estructuras categorizadas como D, E o F, la deriva de diseño (Δ) en ningún piso puede exceder Δa/ρ, donde ρ es el factor de redundancia y Δa es la máxima deriva permisible.

Tabla 25. Límite de derivas de piso

Estructura	Categoría de riesgo		
	I o II	III	IV
Estructuras, otras como muros de corte de mampostería, 4 pisos o menos desde la base, con muros interiores, tabiques, techos y muros exteriores que han sido diseñados para las derivas de piso	0.025 h	0.020 h	0.015 h
Estructuras de muros de corte de mampostería (cantiléver)	0.010 h	0.010 h	0.010 h
Otras estructuras de muros de mampostería	0.007 h	0.007 h	0.007 h
Todas las demás estructuras	0.020 h	0.015 h	0.010 h

Fuente: ASCE 7-16[19]

2.4.16. Fuerzas laterales sísmicas

Las fuerzas laterales sísmicas representan las cargas generadas por movimientos sísmicos horizontales en las estructuras. Su función es esencial en el diseño estructural, ya que permiten dimensionar adecuadamente los elementos para resistir los efectos de un terremoto. Estas

fuerzas son cruciales para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones ante eventos sísmicos, minimizando los riesgos de daños estructurales.

Ecuación 23

$$F_X = C_{VX}V$$

Ecuación 24

$$C_{VX} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

Dónde:

CVX = Coeficiente de distribución vertical de las fuerzas sísmicas.
V = Fuerza total lateral de diseño o cortante basal.
$wx\ y\ wi$ = Porción del peso efectivo total asignado al nivel x o i
$hx\ y\ hi$ = Altura desde la base al nivel i o x.
k = Exponente relacionado con el periodo de la estructura como sigue:
Para estructuras con un periodo de 0.5 s o menor, k=1
Para estructuras con un periodo de 2.5s o más. k=2
Para estructuras con periodo entre 0.5 y 2.5, k puede ser 2 o puede ser determinado por interpolación lineal.

2.4.17. Efecto sísmico horizontal

Las fuerzas laterales sísmicas comprenden los impactos de las fuerzas sísmicas horizontales, que abarcan tanto la torsión accidental como los efectos de las cargas ortogonales. Dependiendo de la categoría de diseño, se introducen requisitos adicionales para aplicar correctamente estos efectos sísmicos horizontales.

Ecuación 25

$$E_h = \rho Q_e$$

Dónde:

Qe: Efectos sísmicos horizontales
ρ: Factor de redundancia

2.4.18. Efecto sísmico vertical

Expresa la influencia vertical de las aceleraciones del suelo que no se aborda de manera explícita en otras secciones. La influencia sísmica vertical, denotada como EV, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 26

$$E_V = 0.2 S_{DS} D$$

Se permite asumir cero cuando SDS es menor a 0.125, o cuando análisis más detallados de las demandas de interacción suelo-estructura en los cimientos lo justifiquen.

2.4.19. Torsión accidental

La torsión accidental es un aspecto crítico en el diseño estructural, que aborda las fuerzas de torsión imprevistas debido a irregularidades en la distribución de masas o rigideces en una estructura. Esta torsión puede desencadenar efectos significativos en la respuesta sísmica de las edificaciones, alterando la distribución de esfuerzos y deformaciones. Su consideración adecuada es fundamental para evaluar la estabilidad y resistencia estructural ante eventos sísmicos, asegurando que las edificaciones mantengan su integridad y minimizando los riesgos de colapso.

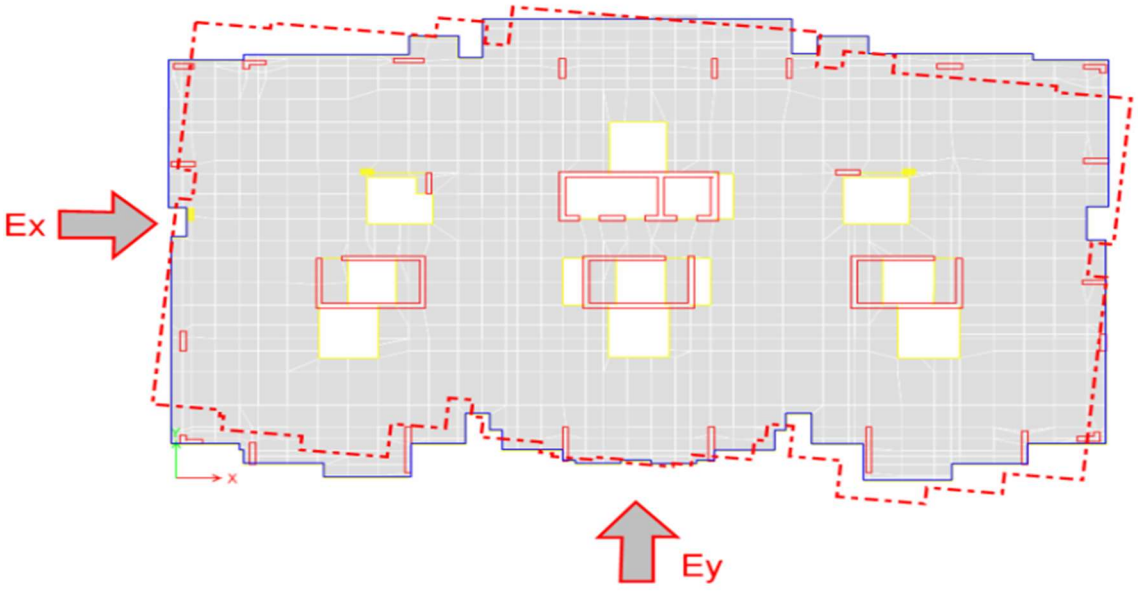


Ilustración 5. Torsión accidental

Fuente: ASCE 7-16[22]

En casos donde los esquemas estructurales no son flexibles, el diseño contemplará el momento torsional intrínseco, generado por desplazamientos supuestos del 5% del centro de masa, en una dirección perpendicular a la aplicación de las fuerzas. Si las fuerzas sísmicas se aplican de manera concurrente y simultánea en dos direcciones ortogonales, el desplazamiento del 5% del centro de masa no es necesario en ambas direcciones simultáneamente, sino que se debe aplicar en la dirección que cause un efecto mayor. Para una categoría de diseño C o superior, como se mencionó previamente, los elementos estructurales deben diseñarse para resistir el 100% de las fuerzas en una dirección (exentas de centrado) y el 30% de las fuerzas en la dirección perpendicular (centradas).

2.4.19. Control de derivas

La determinación de la deriva de diseño implica calcular la variación en las deflexiones entre los centros de masa en la parte superior e inferior del piso considerado. La deriva en el nivel x (δx), empleada para calcular la deriva de piso de diseño, debe ser establecida de acuerdo con:

Ecuación 27

$$\delta_x = \frac{C_d * d_{xe}}{I_e}$$

Dónde:

δx = Deriva de diseño.

Cd = Es el coeficiente de amplificación

dxe = Deriva elástica determinada por un análisis estático

Ie = Factor de importancia

Una vez completada esta fase, se ha procedido a realizar un análisis estático equivalente, incorporando el corte basal estático propuesto por la ASCE 7. Este análisis ha aportado una comprensión integral de las fuerzas estáticas que afectan la estructura. Para completar el panorama, se ha llevado a cabo un análisis dinámico del corte basal, asegurando que se sigan las directrices estipuladas en la misma normativa. Este enfoque secuencial garantiza una evaluación exhaustiva y precisa de la respuesta sísmica de la estructura.

2.5 ETAPA 3

En esta fase culminante, se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva de los resultados derivados de ambas simulaciones, considerando detenidamente las normas de construcción aplicadas. Este proceso ha incluido la evaluación de factores cruciales como las derivas generadas por el corte basal, los momentos de segundo orden con el método P-delta, los periodos de vibración inherentes a la estructura, así como la evaluación de la estabilidad estructural.

2.5.1. Los efectos P-delta e índice de estabilidad Qi considerados en la NEC

2.5.1.1. Efectos PΔ

Los efectos P-Delta tienen como propósito principal considerar la influencia de las deformaciones geométricas no lineales en la respuesta estructural. Estos efectos son importantes porque tienen un impacto significativo en la estabilidad global de la estructura, especialmente en sistemas que exhiben una alta esbeltez o que están sujetos a cargas laterales significativas, como los efectos sísmicos. Al tener en cuenta los efectos P-Delta, garantiza un análisis más preciso y realista de la estructura, lo que conduce a un diseño más seguro

Para el índice de estabilidad Qi se puede calcular mediante la ecuación 28:

Ecuación 28

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i}$$

Dónde:

Qi= Índice de estabilidad del piso i, es la relación entre el momento de segundo orden el momento de primer orden
Pi= Toma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga para carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i
Δi= Deriva del piso i calculada en el centro de masa del piso.
Vi= Cortante sísmico del piso i.
hi= Altura del piso i considerado.

Donde según la norma debe cumplir se debe cumplir $Q_i \leq 0.30$

Cuando el índice de estabilidad Qi era menor que 0.1, los efectos P-Δ no necesitaban ser considerados. No obstante, cuando el índice de estabilidad se encontraba entre 0.1 y 0.3 en la dirección analizada, se calculaba un factor de amplificación para tomar en cuenta el efecto P-Δ.

Ecuación 29

$$f_{p-\Delta} = \frac{1}{1 - Q_i}$$

Dónde:

$f_{p-\Delta} = Factor\ de\ mayoración$

$Q_i = Índice\ de\ estbaolidad\ del\ piso\ i, es\ la\ relacion\ entre\ el\ momento\ de\ segundo\ oreden\ y\ el\ momento\ de\ primer\ orden.$

2.5.2. Efectos PΔ según ASCE 7-16

Se determinan por el coeficiente de estabilidad θ

Ecuación 30

$$\theta = \frac{P_X \Delta I_e}{V_X h_{sx} c_d}$$

Dónde:

Px = Carga vertical total de diseño sobre el nivel x

Δ = Deriva de diseño

Ie = Factor de importancia

Vx = Cortante basal de diseño actuando entre los niveles x y x-1

hsx = Altura del entrepiso debajo del nivel x

Cd = Factor de amplificación para desplazamientos

Una vez completada la parte metodológica del estudio, se procedió con el análisis exhaustivo y detallado de los resultados obtenidos. Esta etapa es crucial para interpretar los datos recolectados y determinar la validez y la relevancia de los hallazgos. Se emplearon diversas

técnicas estadísticas y herramientas analíticas para examinar los datos desde múltiples perspectivas, asegurando así una comprensión integral de los fenómenos observados.

3. CAPITULO III

3.1 Análisis y discusión de resultados

Tras realizar los predimensionamientos iniciales, se llevó a cabo una revisión detallada de las secciones propuestas. Esta evaluación permitió identificar las secciones más adecuadas para los análisis correspondientes. A partir de esta información, se definieron las dimensiones óptimas y los requisitos necesarios para asegurar que el edificio en cuestión sea analizado de manera precisa. Este proceso es fundamental para proceder con el análisis dinámico, garantizando así la integridad estructural y el desempeño adecuado del edificio en todas las condiciones esperadas.

En el primer análisis, se implementaron los predimensionamientos conforme a la normativa ACI 318-19 para los elementos estructurales, lo que permitió obtener los siguientes resultados:

Elementos	Base	Altura
Columnas	35 cm	35 cm
Vigas	25 cm	30 cm
Vigas secundarias	20 cm	20 cm

Tabla 26 - Predimensiones de la estructura

Y una losa de hormigón armado de 20 cm de espesor.

Con esta base, y mediante evaluaciones exhaustivas en el software ETABS, se determinó que las secciones propuestas en el predimensionamiento no cumplían con los requerimientos estructurales necesarios. Este descubrimiento subrayó la importancia de una revisión minuciosa y un ajuste preciso de los parámetros iniciales. Por lo tanto, se llevó a cabo un reanálisis completo de la estructura, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Luz del eje 2-3:** La luz en el eje 2-3 es considerablemente grande. Siguiendo

las recomendaciones estructurales, cuando una luz supera los 5 metros, se debe colocar una viga intermedia para estabilizar la estructura. En este caso, se han implementado vigas intermedias en el sentido “y” con dimensiones de 20x20 cm, asegurando así la estabilidad requerida para esta luz específica.

- **Luces de los ejes A-B y E-F:** Las luces en los ejes A-B y E-F también presentan dimensiones significativas. Aunque estas luces son de 4.75 metros, ligeramente por debajo del umbral recomendado de 5 metros, se decidió seguir la misma recomendación de añadir vigas intermedias para garantizar la estabilidad de la estructura. Por lo tanto, se han incorporado vigas intermedias en el sentido “x” con dimensiones de 20x20 cm.

Estas decisiones de diseño estructural se tomaron para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura en su conjunto, asegurando que las cargas se distribuyan de manera eficiente y minimizando los riesgos de deformaciones o fallos estructurales.

Elementos	Base	Altura
Columnas	35 cm	50 cm
Vigas sentido "X"	25 cm	30 cm
Vigas sentido "Y"	30 cm	45 cm

Tabla 27 - Dimensiones definitivas de la estructura

Respecto al modelo aplicado según la norma ecuatoriana, se realizó una hoja de cálculo donde se expresa los valores que se utilizaron en la NEC y los respectivos resultados de estos como son:

Factor de zona sísmica				
AMBATO	V	Z	0.4	Alta

Clasificación del suelo de acuerdo con el estudio SPT		
Tipo de suelo	D	360 m/s >Vs≥ 180 m/s 50 > N ≥ 15,0 100kPa > Su ≥ 50 kPa
Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rigidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones		

Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio	
Fa =	1.2

Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio	
Fd =	1.19

Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos	
Fs =	1.28

Razón entre la aceleración espectral Sa a período estructural T=0.1 seg. y el PGA para el período de retorno seleccionado.	
η =	2.48
Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos	

Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g) definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico o igual a 5%. Depende del período modo de vibración de la estructura.	
Sa =	1.1904

Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	
To =	0.1269
Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	
Tc =	0.6981

Período fundamental de vibración de la estructura bajo excitación sísmica	
T =	0.4234

Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto	
r =	1

Coeficiente que depende del tipo de edificio Impedencia del semi espacio α = ρsVs/ ρoVo	
Pórticos especiales de hormigón armado	
Ct =	0.055
α=	0.75
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales	

Altura del edificio	
h =	15.2
Coeficiente de configuración en planta Øp	
Øp =	0.90
Coeficiente de configuración en elevación Øe	
Øe =	1.00
Coeficiente de reducción sísmica R	
R =	8.00
Tipo de uso destino e importancia	
Coeficiente I =	1
Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	

Coeficiente sísmico	$V = \frac{Sa(T) * I}{R * Øp * Øe}$		
V =	0.165		
Coeficiente relacionado con el períodode vibración de la estructura k			
T estruc =	0.423	T máx =	0.550
k =	1.0000		

	Periodo de vibración T (seg)	Aceleración seudo espectral para un periodo de retorno de 475 años
	0	1.1904
To =	0.1269	1.1904
Tc =	0.6981	1.1904
	0.75	1.1081
	0.80	1.0388
	0.85	0.9777
	0.90	0.9234
	0.95	0.8748
	1.00	0.8311
	1.05	0.7915
	1.10	0.7555
	1.15	0.7227
	1.20	0.6925
	1.25	0.6648
	1.30	0.6393
	1.35	0.6156
	1.40	0.5936
	1.45	0.5731
	1.50	0.5540
	1.55	0.5362
	1.60	0.5194
	1.65	0.5037
	1.70	0.4889
	1.75	0.4749
	1.80	0.4617
	1.85	0.4492
	1.90	0.4374
	1.95	0.4262
	2.00	0.4155
	2.05	0.4054
	2.10	0.3957
	2.15	0.3865
	2.20	0.3778
	2.25	0.3694
	2.30	0.3613
	2.35	0.3536
	2.40	0.3463
	2.45	0.3392
	2.50	0.3324
	2.55	0.3259
	2.60	0.3196
	2.65	0.3136
	2.70	0.3078
	2.75	0.3022
	2.80	0.2968
	2.85	0.2916
	2.90	0.2866
	2.95	0.2817
	3.00	0.2770
	3.05	0.2725
	3.10	0.2681
	3.15	0.2638
	3.20	0.2597
	3.25	0.2557
	3.30	0.2518
	3.35	0.2481
	3.40	0.2444
	3.45	0.2409
	3.50	0.2374
	3.55	0.2341
	3.60	0.2308
	3.65	0.2277
	3.70	0.2246
	3.75	0.2216
	3.80	0.2187
	3.85	0.2159
	3.90	0.2131
	3.95	0.2104
	4.00	0.2078
	4.05	0.2052
	4.10	0.2027
	4.15	0.2003
	4.20	0.1979
	4.25	0.1955
	4.30	0.1933
	4.35	0.1910
	4.40	0.1889
	4.45	0.1868
	4.50	0.1847
	4.55	0.1827
	4.60	0.1807
	4.65	0.1787
	4.70	0.1768
	4.75	0.1750
	4.80	0.1731
	4.85	0.1714
	4.90	0.1696
	4.95	0.1679

5.00	0.1662
5.05	0.1646
5.10	0.1630
5.15	0.1614
5.20	0.1598
5.25	0.1583
5.30	0.1568
5.35	0.1553
5.40	0.1539
5.45	0.1525
5.50	0.1511
5.55	0.1497
5.60	0.1484
5.65	0.1471
5.70	0.1458
5.75	0.1445
5.80	0.1433
5.85	0.1421
5.90	0.1409
5.95	0.1397
6.00	0.1385
6.05	0.1374
6.10	0.1362
6.15	0.1351
6.20	0.1340
6.25	0.1330
6.30	0.1319
6.35	0.1309
6.40	0.1299
6.45	0.1288
6.50	0.1279
6.55	0.1269
6.60	0.1259
6.65	0.1250
6.70	0.1240
6.75	0.1231
6.80	0.1222
6.85	0.1213
6.90	0.1204
6.95	0.1196
7.00	0.1187

Tabla 28 - Análisis de diseño con la NEC 15

ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO

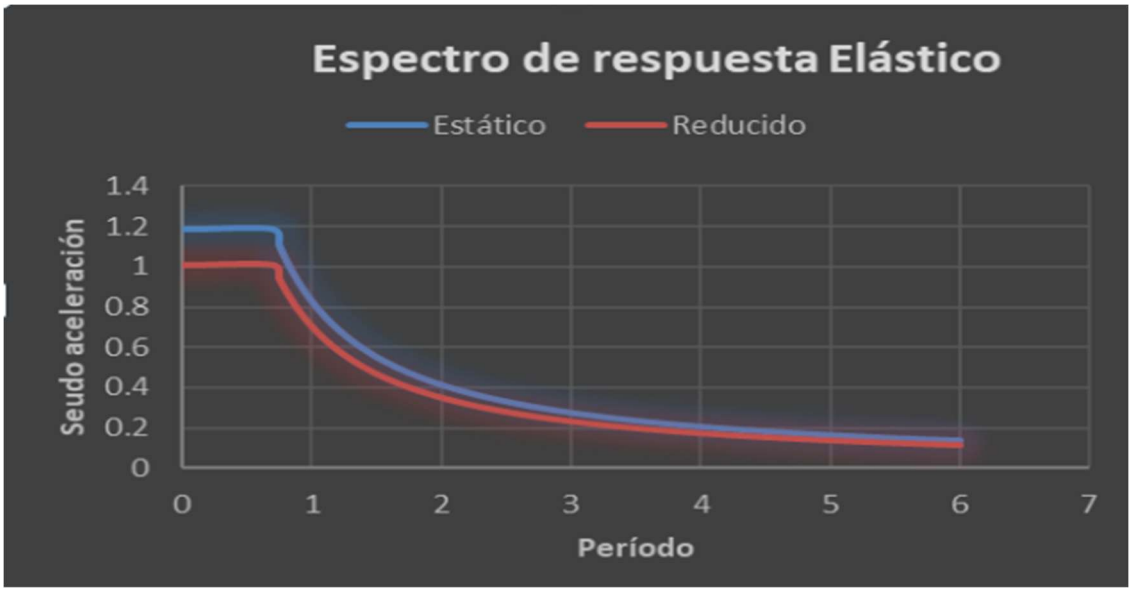


Ilustración 6 - Espectro de respuesta elástico

Una vez ejecutado el modelo, se determinó que eran necesarios muros de corte para evitar la torsión excesiva en la estructura. Por lo tanto, se decidió colocar muros de corte en las esquinas opuestas de la estructura. Estos muros, con un espesor de 20 cm, fueron estratégicamente ubicados para maximizar la rigidez torsional y asegurar la estabilidad global del edificio. La distribución y el posicionamiento de estos muros se pueden apreciar en la siguiente imagen.

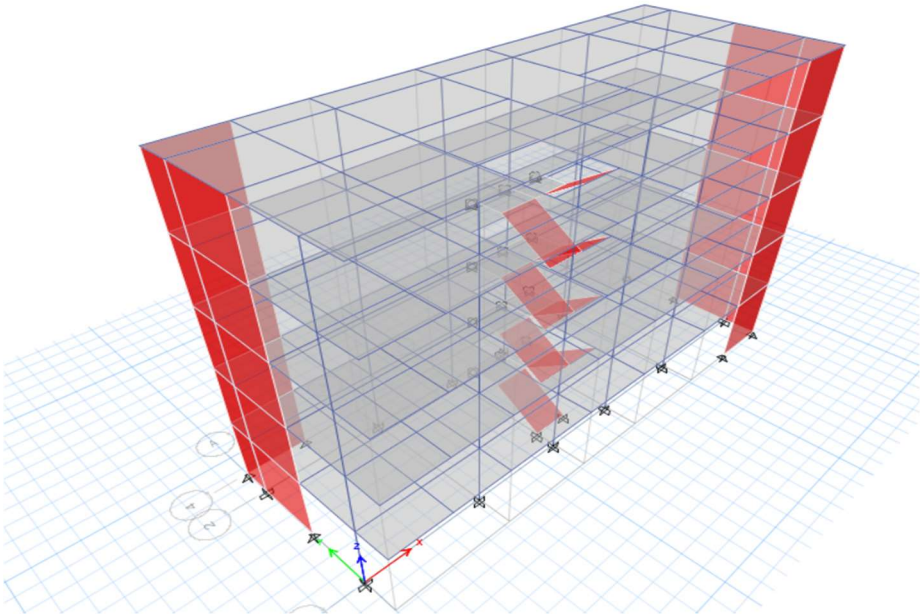


Ilustración 7 - Estructura con muros de corte

Factores calculados ASCE 7-16 ingresados en el espectro de respuesta

- Cálculo $\boldsymbol{S_{MS}}$

$$S_{MS} = S_s F_a$$

Fa	1.2
Ss	0.88
Sms=	**1.056**

- Cálculo $\boldsymbol{S_{M1}}$

$$S_{M1} = S_1 F_v$$

Fv	2.2
S1	0.2
Sm1=	**0.44**

- Cálculo $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$

Sds=	**0.704**

- Cálculo $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$

Sd1=	**0.2933333**

- Cálculo $Ta = C_t h_n^x$

ct	**0.0466**
x	**0.9**
hn	**15.2**

Ta=	**0.5395667**

- Cálculo $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Sa=	**0.3863867**

REACCIONES EN BASE

NEC – 15

Tabla 29 - Reacciones en base NEC 15

TABLE: Base Reactions								
Output Case	**Step Type**	**Step Number**	**FX**	**FY**	**FZ**	**MX**	**MY**	**MZ**
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
SISMO X	Step By Step	1	-94.8563	0	0	-1.8909	-973.027	263.3164
SISMO X	Step By Step	2	0	-94.8563	0	968.8967	1.8567	-949.2954
SISMO X	Step By Step	3	-94.8563	0	0	-1.8873	-973.0268	286.6553
SISMO X	Step By Step	4	0	-94.8563	0	968.8875	1.8561	-1009.7297
SISMO X	Step By Step	5	-94.8563	0	0	-1.8945	-973.0273	239.9775
SISMO X	Step By Step	6	0	-94.8563	0	968.9059	1.8573	-888.8611
SISMO Y	Step By Step	1	-94.8563	0	0	-1.8909	-973.027	263.3164
SISMO Y	Step By Step	2	0	-94.8563	0	968.8967	1.8567	-949.2954
SISMO Y	Step By Step	3	-94.8563	0	0	-1.8873	-973.0268	286.6553

SISMO Y	Step By Step	4	0	-94.8563	0	968.8875	1.8561	-1009.7297
SISMO Y	Step By Step	5	-94.8563	0	0	-1.8945	-973.0273	239.9775
SISMO Y	Step By Step	6	0	-94.8563	0	968.9059	1.8573	-888.8611
ANALISIS MODAL CORREGIDO X	Max		80.6512	42.7355	0.5938	452.2496	842.6109	606.6331
ANALISIS MODAL CORREGIDO X	Min		-80.6512	-42.7355	-0.5938	-452.2496	-842.6109	-606.6331
ANALISIS MODAL CORREGIDO Y	Max		43.4073	80.6493	1.5574	857.2201	471.7435	755.5049
ANALISIS MODAL CORREGIDO Y	Min		-43.4073	-80.6493	-1.5574	-857.2201	-471.7435	-755.5049

ASCE 7-16

Tabla 30 - Reacciones en base ASCE 7-16

TABLE: Base Reactions								
Output Case	**Step Type**	**Step Number**	**FX**	**FY**	**FZ**	**MX**	**MY**	**MZ**
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
SISMO X	Step By Step	1	-94.8563	0	0	-1.8909	-973.027	263.3164
SISMO X	Step By Step	2	0	-94.8563	0	968.8967	1.8567	-949.2954
SISMO X	Step By Step	3	-94.8563	0	0	-1.8873	-973.0268	286.6553
SISMO X	Step By Step	4	0	-94.8563	0	968.8875	1.8561	-1009.7297
SISMO X	Step By Step	5	-94.8563	0	0	-1.8945	-973.0273	239.9775
SISMO X	Step By Step	6	0	-94.8563	0	968.9059	1.8573	-888.8611
SISMO Y	Step By Step	1	-94.8563	0	0	-1.8909	-973.027	263.3164
SISMO Y	Step By Step	2	0	-94.8563	0	968.8967	1.8567	-949.2954
SISMO Y	Step By Step	3	-94.8563	0	0	-1.8873	-973.0268	286.6553
SISMO Y	Step By Step	4	0	-94.8563	0	968.8875	1.8561	-1009.7297
SISMO Y	Step By Step	5	-94.8563	0	0	-1.8945	-973.0273	239.9775
SISMO Y	Step By Step	6	0	-94.8563	0	968.9059	1.8573	-888.8611
ANALISIS MODAL CORREGIDO X	Max		36.6937	21.7544	0.3198	229.8001	376.5588	288.8175
ANALISIS MODAL CORREGIDO X	Min		-36.6937	-21.7544	-0.3198	-229.8001	-376.5588	-288.8175

ANALISIS MODAL CORREGIDO Y	Max		22.1153	45.1262	0.8725	482.9498	242.0747	418.5645
ANALISIS MODAL CORREGIDO Y	Min		-22.1153	-45.1262	-0.8725	-482.9498	-242.0747	-418.5645

Discusión:

NEC 15

Tabla 31 - Reacciones en base Ve/Vd NEC 15

0.85* (Ve/Vd) X	0.85* (Ve/Vd) Y
0.999710544	0.999734096

ASCE 7-16

Tabla 32 - Reacciones en base Ve/Vd ASCE 7-16

1* (Ve/Vd) X	1* (Ve/Vd) Y
2.585084088	2.102022772

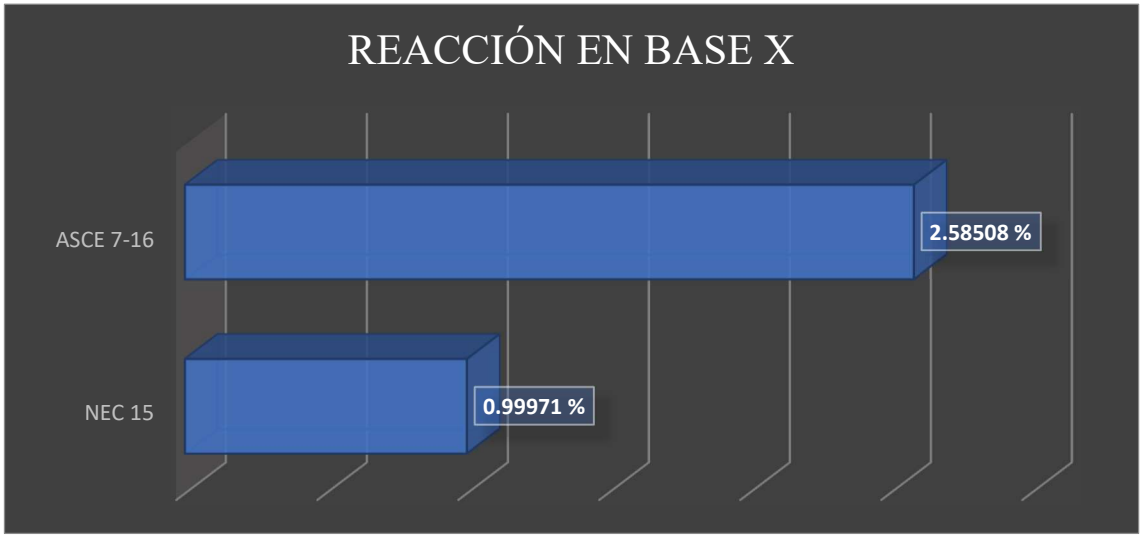


Gráfico 1 - Comparativa reacción en base sentido x

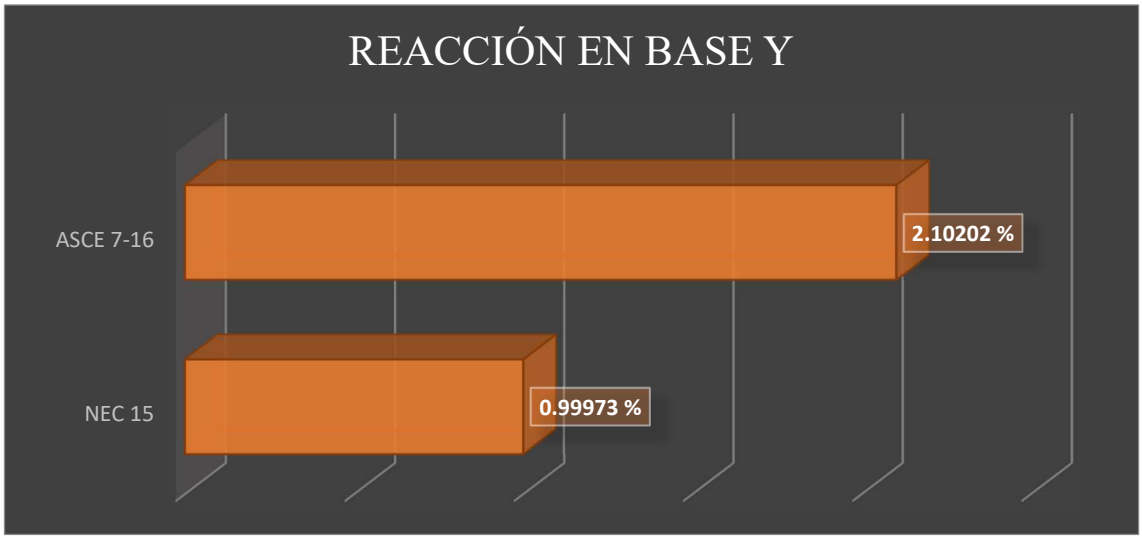


Gráfico 2 - Comparativa reacción en base sentido y

Los cortantes basales, tanto estáticos como dinámicos, representan menos del 1% cuando se evalúan bajo los parámetros de la NEC 15. Sin embargo, al aplicar la ASCE 7-16, donde se utiliza el 100% de los valores dinámicos y estáticos combinados, estos cortantes superan el 2%.

Análisis Modal

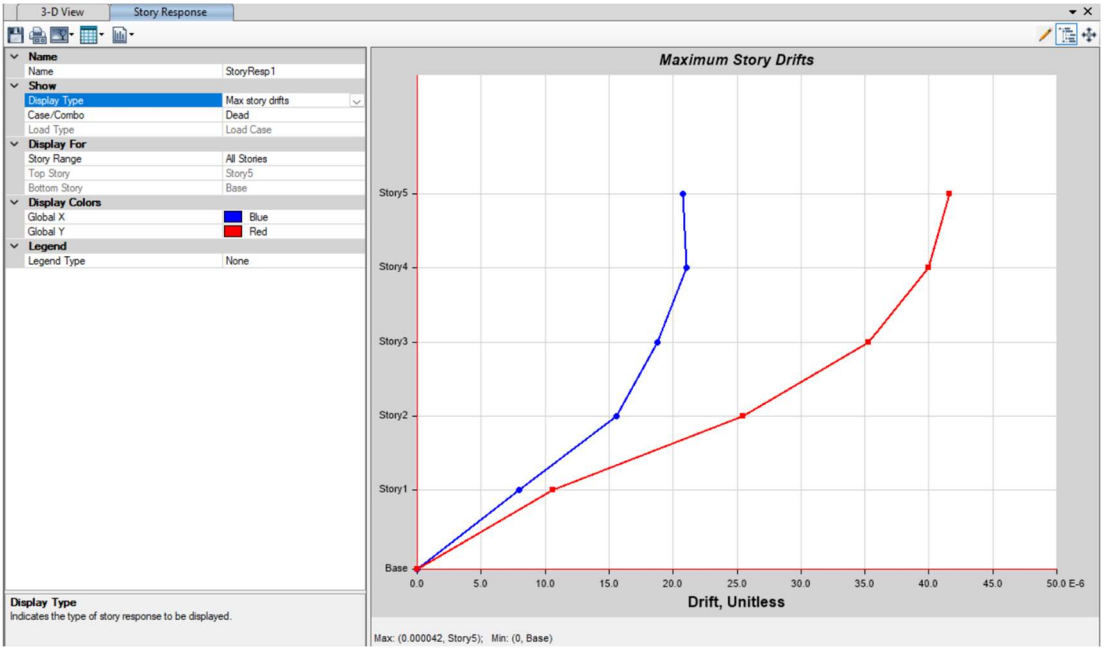


Ilustración 8 - Etabs Story Drifts NEC 15

De acuerdo con lo estipulado en el capítulo 10 de la NEC 15, específicamente en la sección 10.1.2, se emplearon los valores más críticos para llevar a cabo el análisis.

PISO 1 X

Tabla 33 - Análisis Modal Piso 1 X

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.194%
NEC	0.245%
ASCE 7-16	0.109%
E-PRAM U1	0.697%

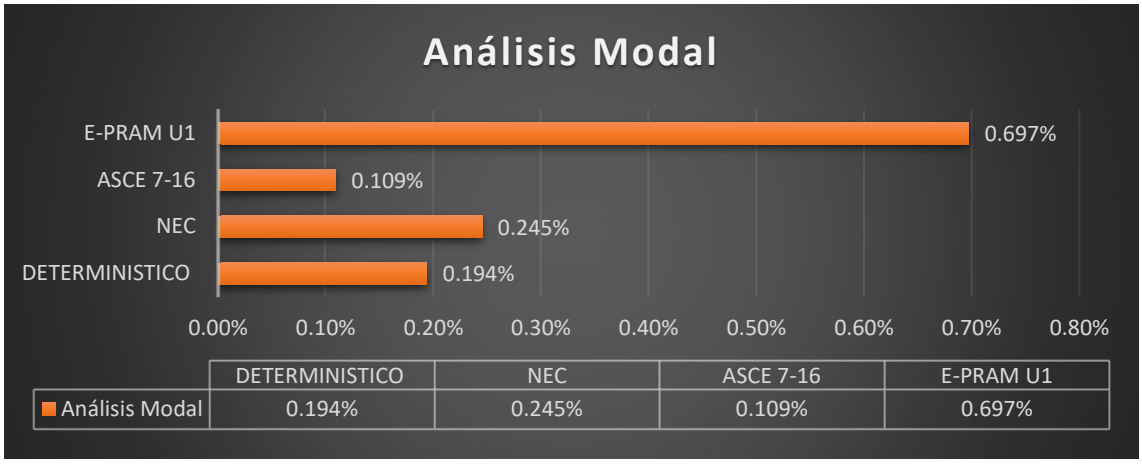


Gráfico 3 - Análisis Modal Piso 1 X

SISMO EN X	
DETERMINISTICO	0.266%
NEC	0.266%
ASCE 7-16	0.266%
E-PRAM U1	0.044%

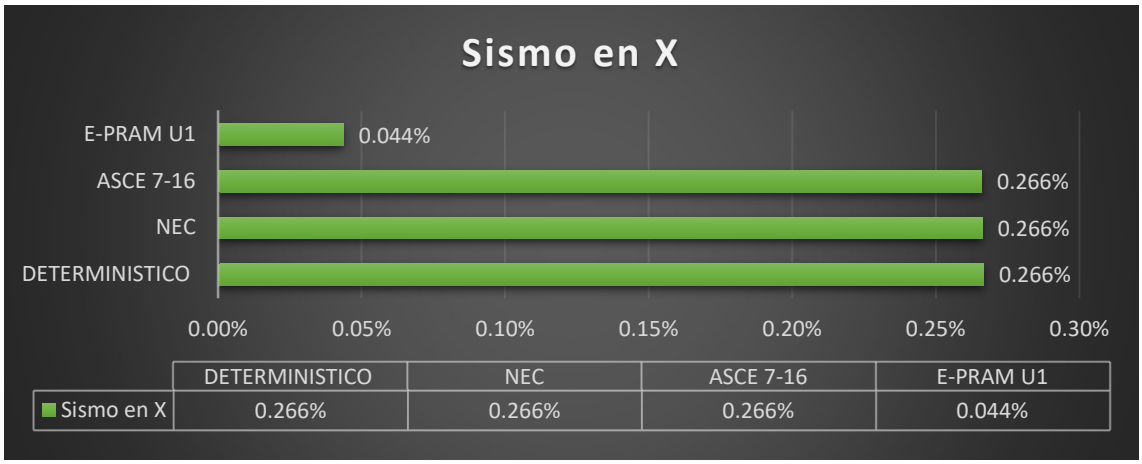


Gráfico 4 - Análisis en Sismo en X piso 1

PISO 2 X

Tabla 34 Análisis Modal Piso 2 X

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.420%
NEC	0.533%
ASCE 7-16	0.236%
E-PRAM U1	1.431%

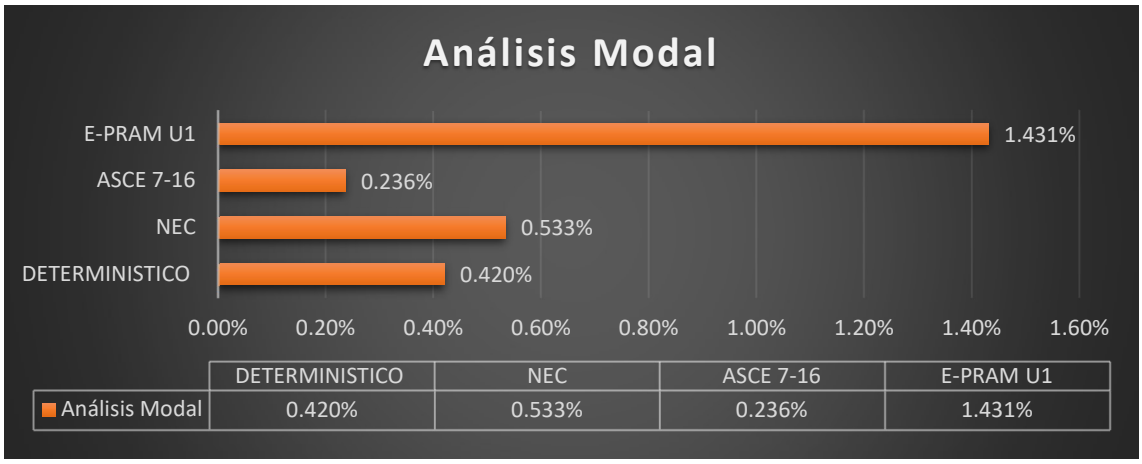


Gráfico 5 - Análisis Modal Piso 2 X

SISMO EN X	
DETERMINISTICO	0.561%
NEC	0.561%
ASCE 7-16	0.560%
E-PRAM U1	0.093%

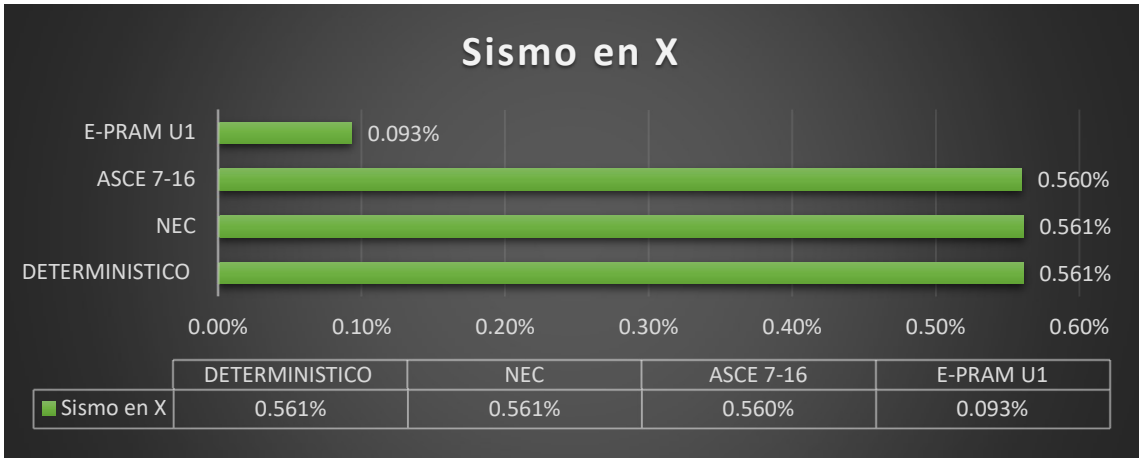


Gráfico 6 - Análisis en Sismo en X piso 2

PISO 3 X

Tabla 35- Análisis Modal Piso 3 X

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.515%
NEC	0.653%
ASCE 7-16	0.289%
E-PRAM U1	1.663%

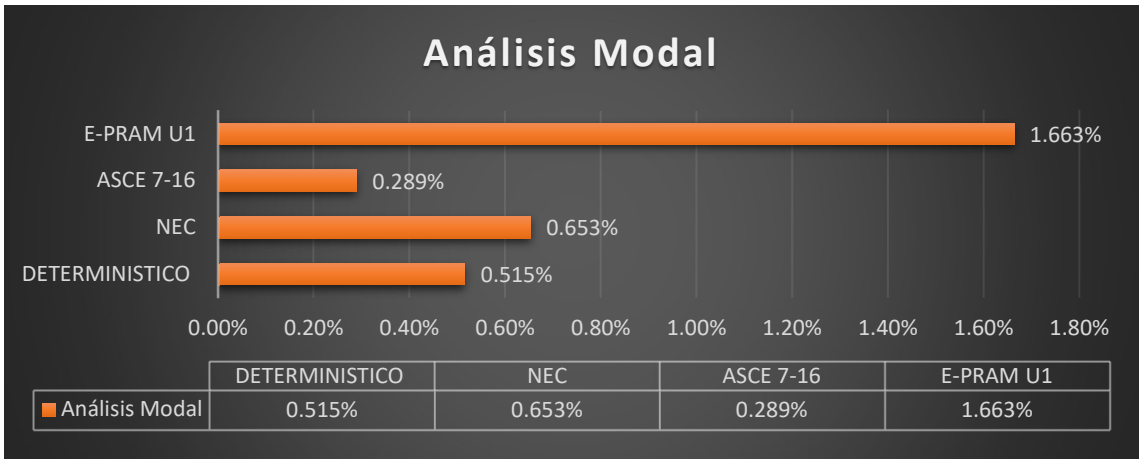


Gráfico 7 - Análisis Modal Piso 3 X

SISMO EN X	
DETERMINISTICO	0.678%
NEC	0.678%
ASCE 7-16	0.676%
E-PRAM U1	0.112%

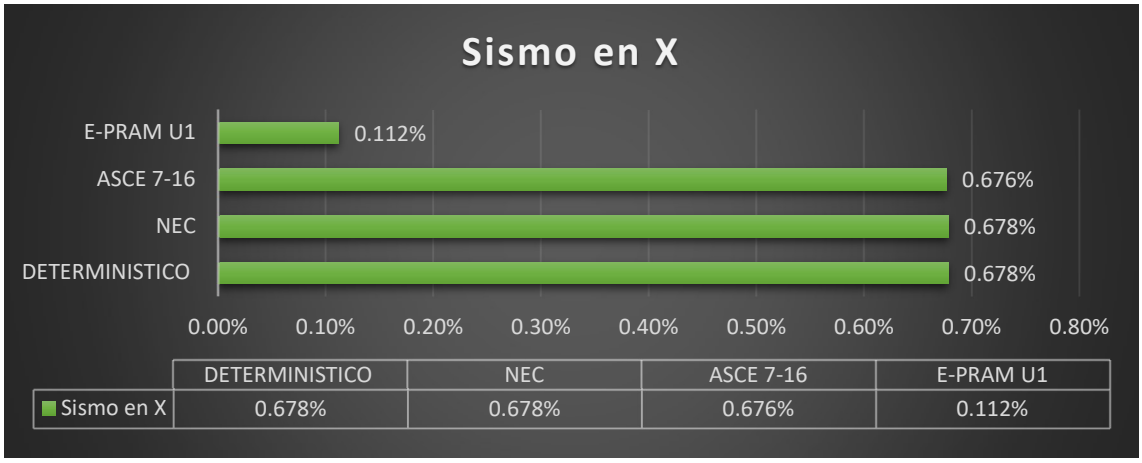


Gráfico 8 - Análisis en Sismo en X piso 3

PISO 4 X

Tabla 36 - Análisis Modal Piso 4 X

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.530%
NEC	0.672%
ASCE 7-16	0.298%
E-PRAM U1	1.676%

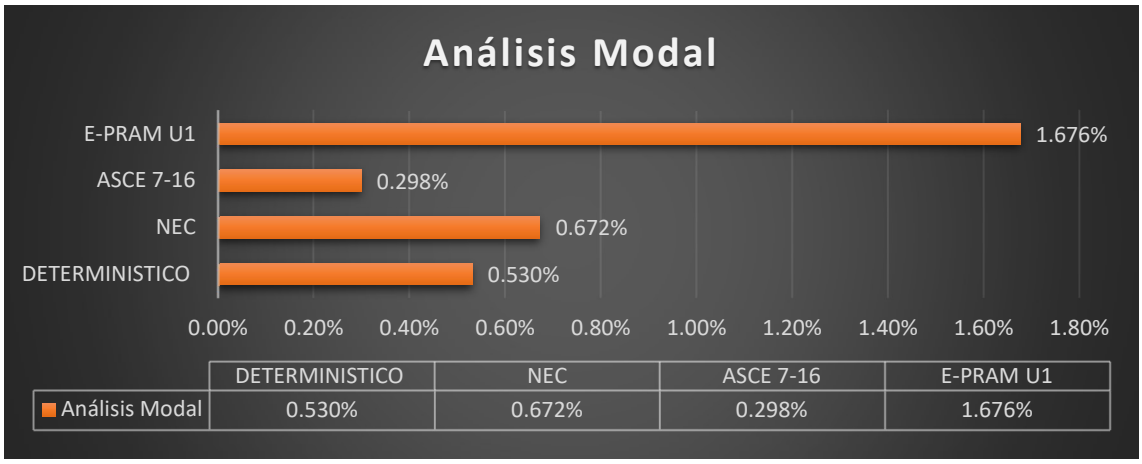


Gráfico 9 - Análisis Modal Piso 4 X

SISMO EN X	
DETERMINISTICO	0.688%
NEC	0.688%
ASCE 7-16	0.687%
E-PRAM U1	0.114%

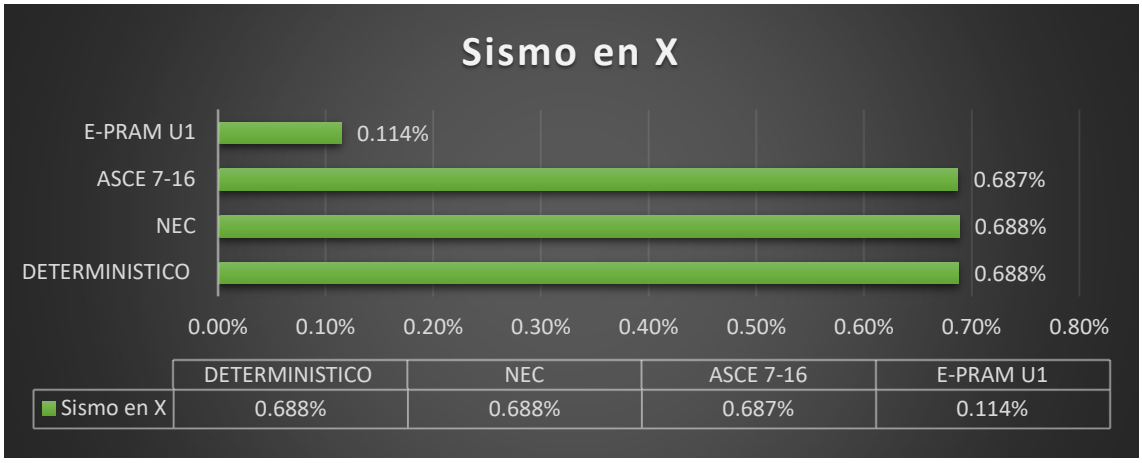


Gráfico 10 -Análisis en Sismo en X piso 4

PISO 5 X

Tabla 37 - Análisis Modal Piso 5 X

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.505%
NEC	0.640%
ASCE 7-16	0.284%
E-PRAM U1	1.566%

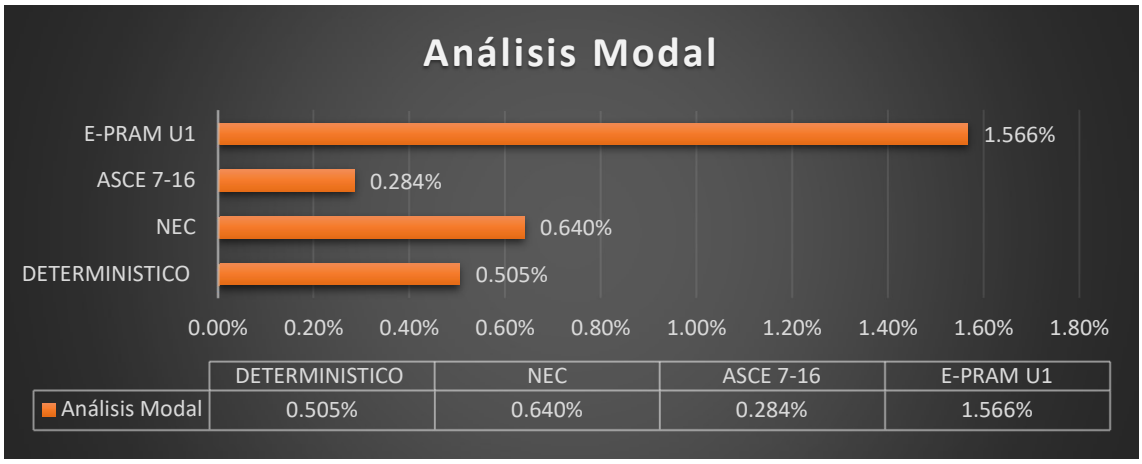


Gráfico 11 - Análisis Modal Piso 5 X

SISMO EN X	
DETERMINISTICO	0.650%
NEC	0.650%
ASCE 7-16	0.649%
E-PRAM U1	0.108%

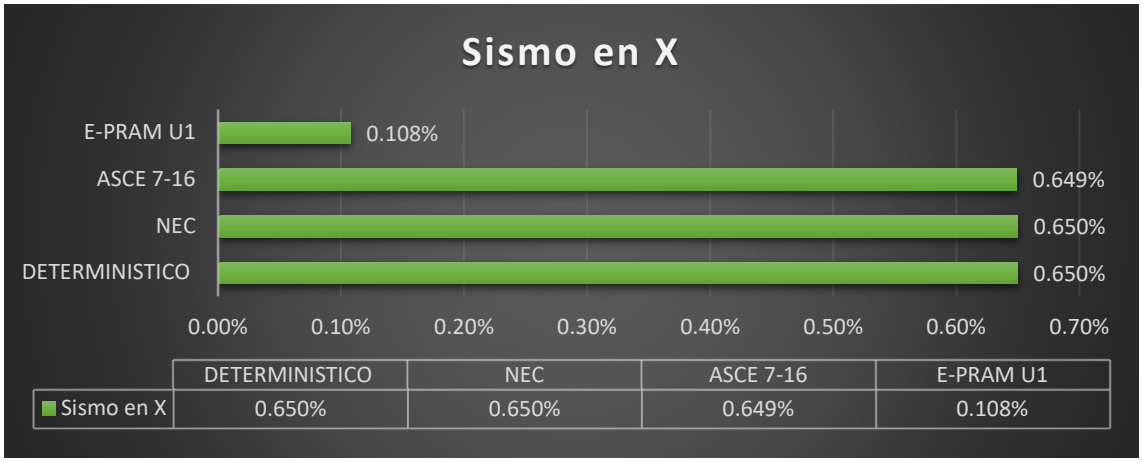


Gráfico 12 - Análisis en Sismo en X piso 5

PISO 1 Y

Tabla 38 - Análisis Modal Piso 1 Y

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.107%
NEC	0.105%
ASCE 7-16	0.058%
E-AMM U2	0.328%

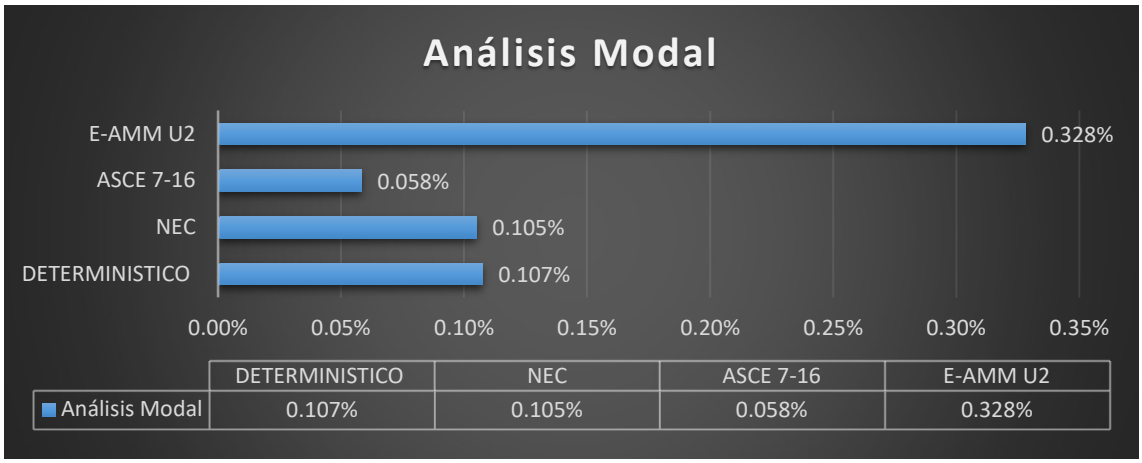


Gráfico 13 - Análisis Modal Piso 1 Y

SISMO EN Y	
DETERMINISTICO	0.132%
NEC	0.132%
ASCE 7-16	0.132%
E-AMM U2	0.022%

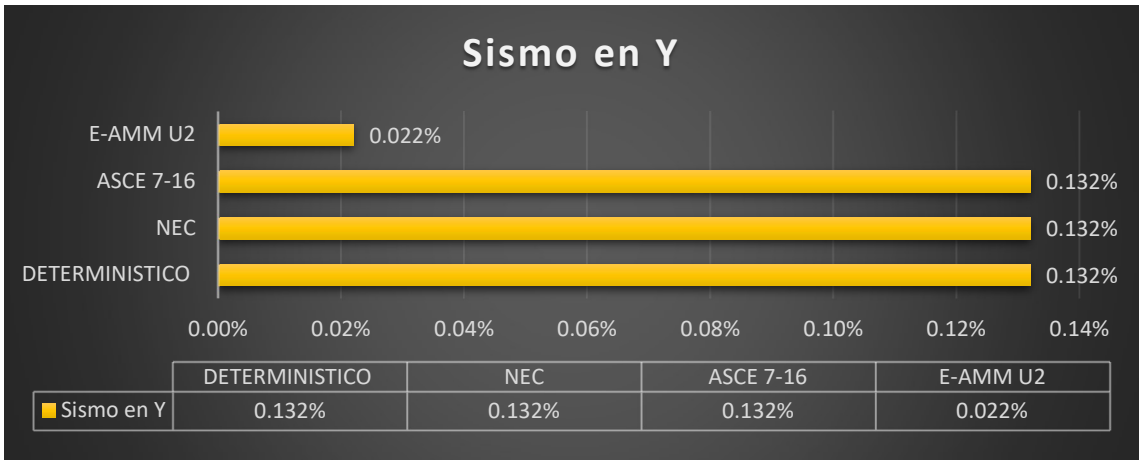


Gráfico 14 - Análisis en Sismo en Y piso 1

PISO 2 Y

Tabla 39 - Análisis Modal Piso 2 Y

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.214%
NEC	0.211%
ASCE 7-16	0.116%
E-AMM U2	0.622%

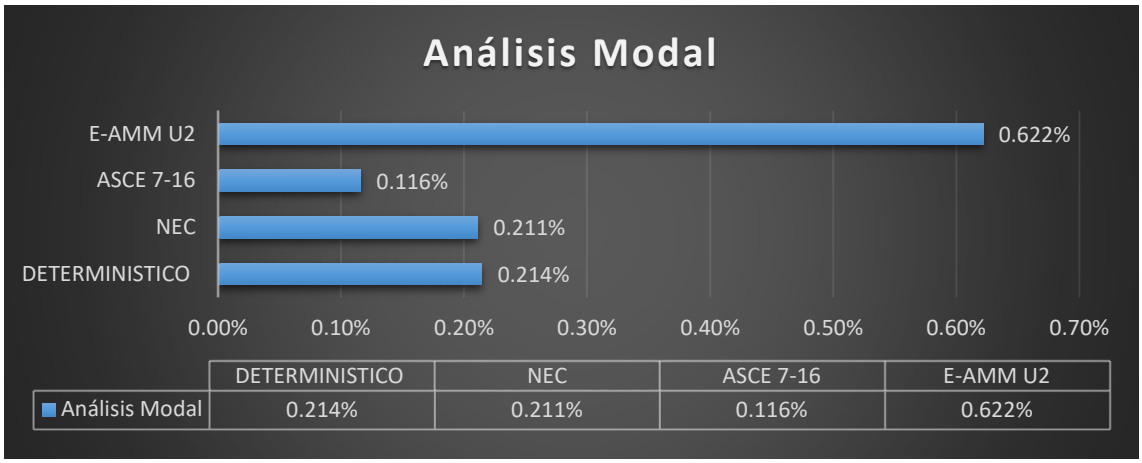


Gráfico 15 - Análisis Modal Piso 2 Y

SISMO EN Y	
DETERMINISTICO	0.265%
NEC	0.265%
ASCE 7-16	0.265%
E-AMM U2	0.044%

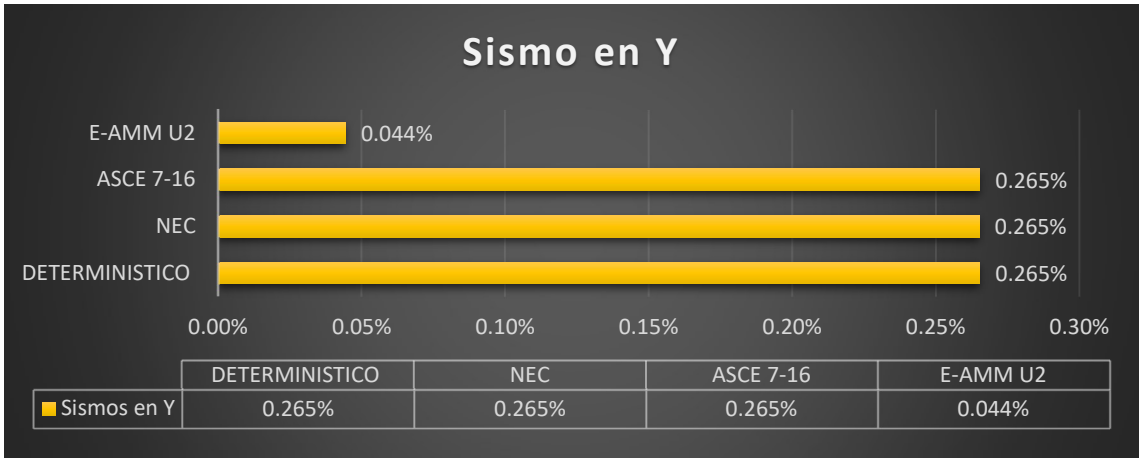


Gráfico 16 - Análisis en Sismo en Y piso 2

PISO 3 Y

Tabla 40 - Análisis Modal Piso 3 Y

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.269%
NEC	0.264%
ASCE 7-16	0.145%
N-PRAM U2	0.747%

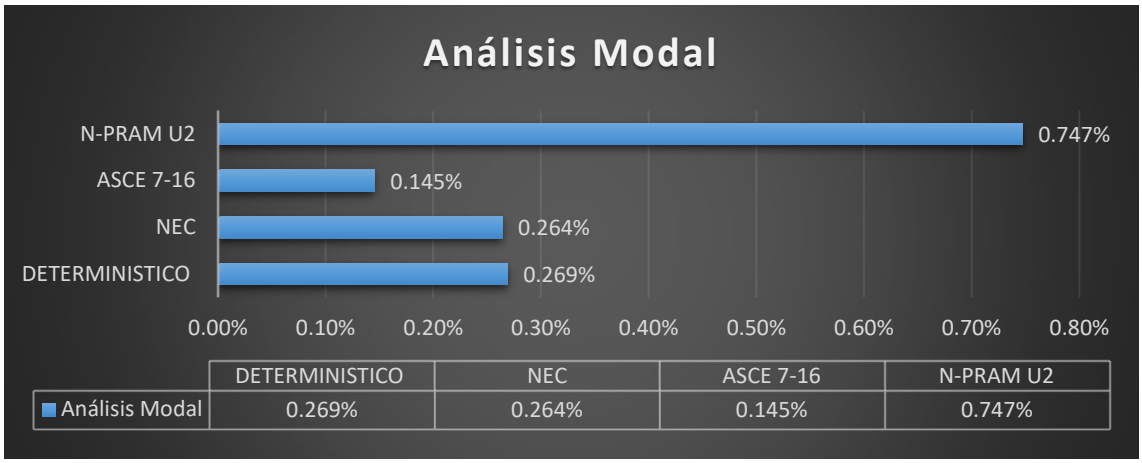


Gráfico 17 - Análisis Modal Piso 3 Y

SISMO EN Y	
DETERMINISTICO	0.325%
NEC	0.325%
ASCE 7-16	0.325%
N-PRAM U2	0.054%

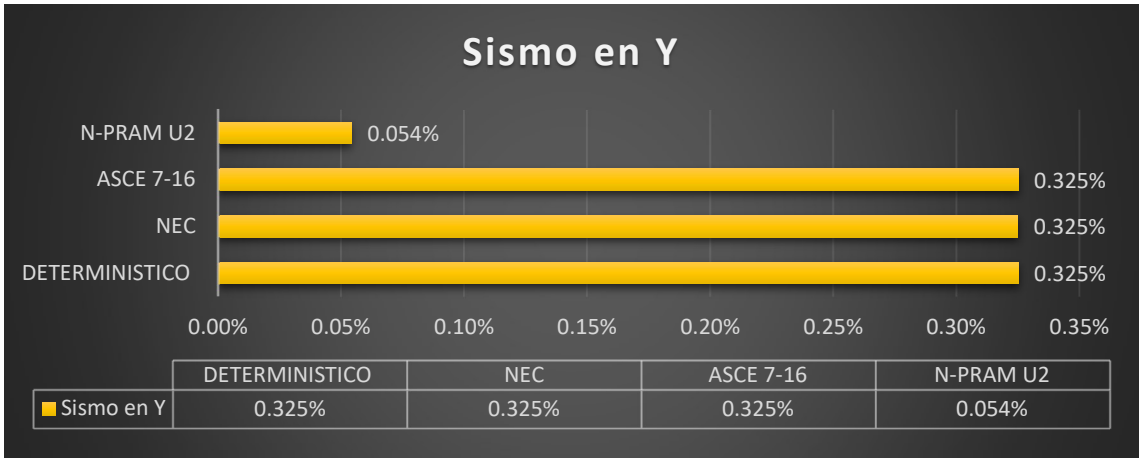


Gráfico 18 - Análisis en Sismo en Y piso 3

PISO 4 Y

Tabla 41 - Análisis Modal Piso 4 Y

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.283%
NEC	0.278%
ASCE 7-16	0.153%
N-PRAM U2	0.770%

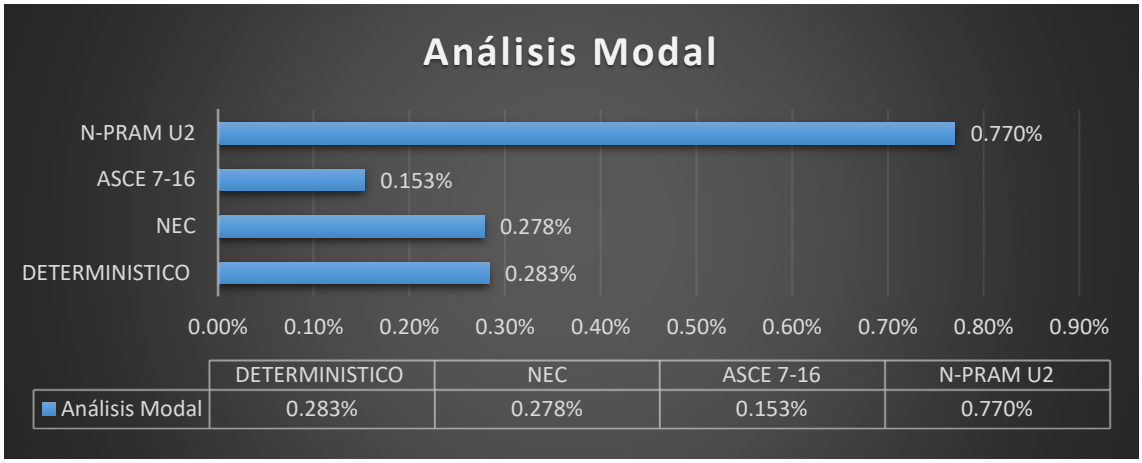


Gráfico 19 - Análisis Modal Piso 4 Y

SISMO EN Y	
DETERMINISTICO	0.337%
NEC	0.337%
ASCE 7-16	0.337%
N-PRAM U2	0.056%

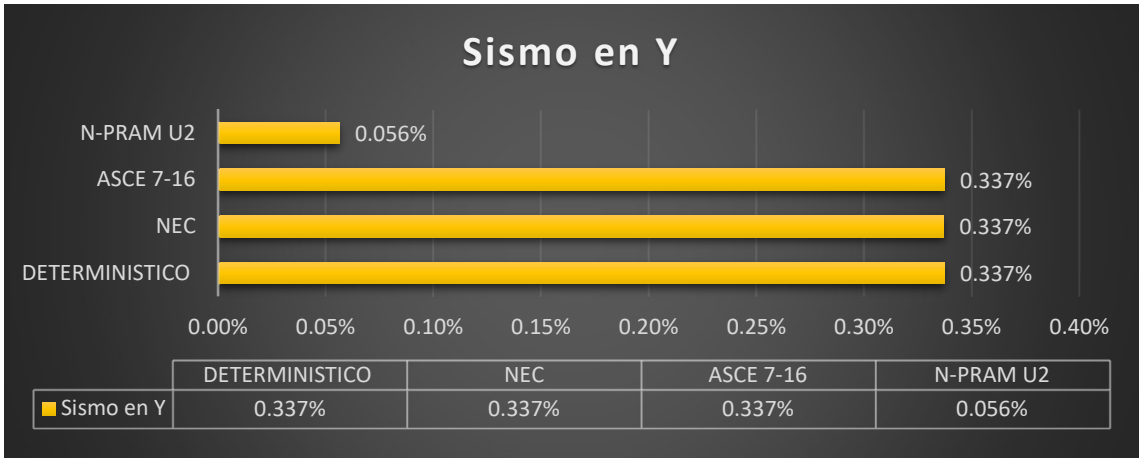


Gráfico 20 - Análisis en Sismo en Y piso 4

PISO 5 Y

Tabla 42 - Análisis Modal Piso 5 Y

ANALISIS MODAL	
DETERMINISTICO	0.272%
NEC	0.268%
ASCE 7-16	0.148%
N-PRAM U2	0.733%

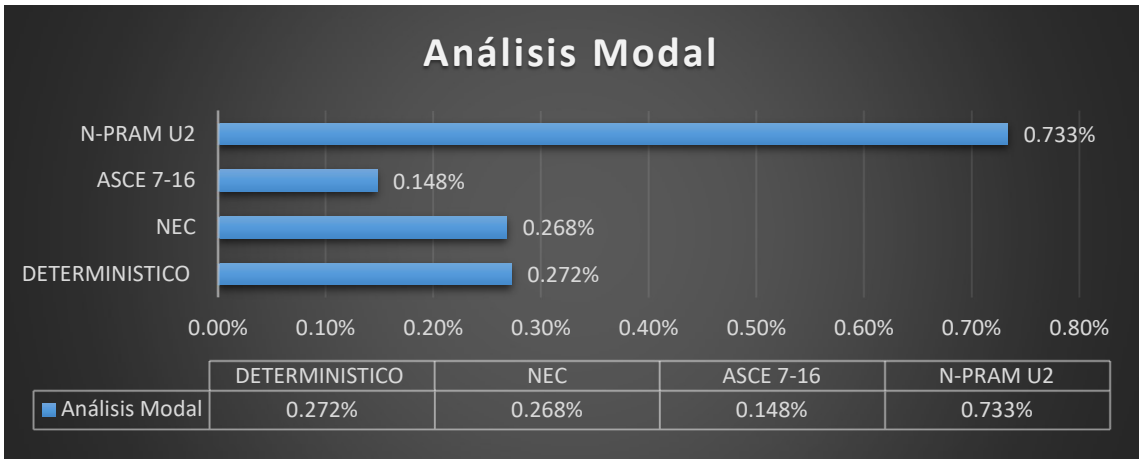


Gráfico 21 - Análisis Modal Piso 5 Y

SISMO EN X	
DETERMINISTICO	0.322%
NEC	0.322%
ASCE 7-16	0.322%
N-PRAM U2	0.054%

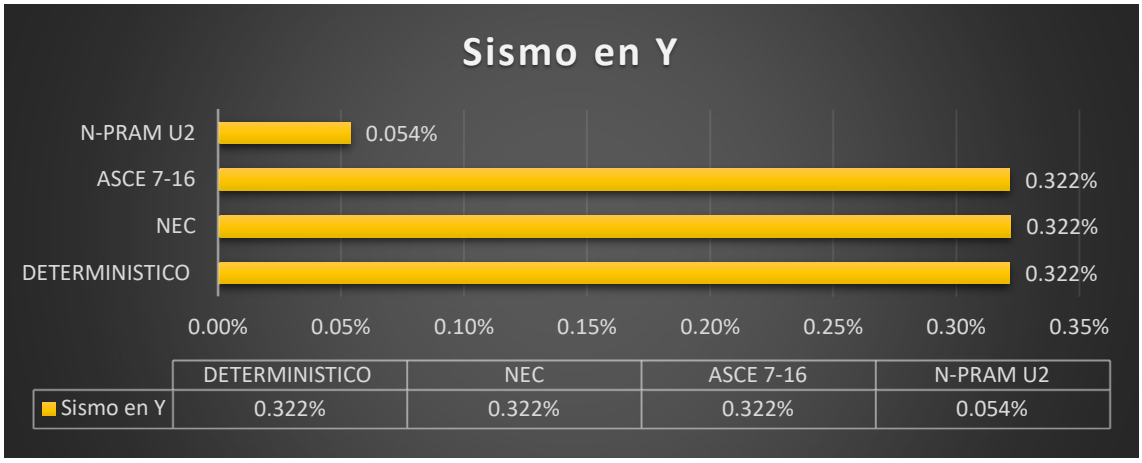


Gráfico 22 - Análisis en Sismo en Y piso 5

Discusión de los gráficos 1-3-5-7-9:

El análisis modal basado en el acelerograma registrado en la estación E-PRAM durante la réplica del 18 de mayo de 2016, posterior al sismo de Pedernales, muestra que este registro induce esfuerzos estructurales más críticos en comparación con los obtenidos mediante los espectros normativos de la ASCE 7, la NEC 15 y el espectro determinista. Este comportamiento destaca la influencia de las características locales del evento sísmico capturado por la estación E-PRAM.

Discusión de los gráficos 11-13:

De manera similar, los resultados del análisis modal utilizando el acelerograma registrado en la estación E-AMM reflejan esfuerzos estructurales significativamente mayores que los calculados con los espectros normativos mencionados. Este resultado refuerza la importancia de los registros locales, que capturan con mayor precisión las demandas dinámicas específicas del sitio durante eventos sísmicos.

Discusión de los gráficos 15-17-19:

Por último, el análisis modal realizado con el acelerograma de la estación N-PRAM también evidencia esfuerzos críticos superiores a los obtenidos mediante los espectros de la ASCE 7, la NEC 15 y el espectro determinista. Este patrón recurrente entre diferentes estaciones resalta la necesidad de considerar acelerogramas específicos en las zonas afectadas para optimizar el diseño estructural frente a demandas sísmicas reales.

Discusión de los gráficos 2-4-6-8-10-12-14-16-18:

Los resultados obtenidos a partir de los espectros normativos de la ASCE 7-16, la NEC 15 y el espectro determinista presentan valores notablemente similares entre sí, reflejando la consistencia de estos estándares en la estimación de demandas sísmicas. Sin embargo, al comparar estos resultados con los obtenidos de las réplicas medidas en las diferentes estaciones tras el sismo de Pedernales del 18 de mayo de 2016, se observa una discrepancia significativa.

A pesar de que los acelerogramas locales fueron ajustados mediante el proceso de espectro compatible, los valores derivados de estas réplicas resultaron menores en comparación con los espectros normativos.

3.2 Verificación de hipótesis

Hipótesis: "El análisis de los resultados de diseño y evaluación de una estructura conforme a la NEC demuestra competencia con los estándares de la ASCE 7-16. ¿Cuál es el grado de confiabilidad y eficacia comparativa entre estas dos normativas?"

El análisis realizado en el presente trabajo evidencia resultados desfavorables para la NEC 15 al ser contrastada con los estándares de la normativa ASCE 7-16. Este hallazgo pone de manifiesto diferencias significativas.

La ASCE 7-16, con su enfoque más conservador, propicia la obtención de secciones estructurales más robustas. Esto se traduce en diseños que priorizan la resistencia frente a cargas extremas y eventos sísmicos, favoreciendo la seguridad de las edificaciones. En comparación, la NEC 15 presenta limitaciones que podrían comprometer la capacidad de las estructuras para soportar condiciones críticas, lo que resulta en un nivel inferior de confiabilidad estructural.

Implicaciones del análisis:

Seguridad estructural: Los resultados destacan la necesidad de revisar y actualizar los parámetros de diseño de la NEC 15 para garantizar que cumpla con estándares internacionales en términos de resistencia y confiabilidad.

Competitividad normativa: Las diferencias identificadas plantean interrogantes sobre la capacidad de la NEC 15 para competir con normativas internacionales en proyectos de gran envergadura o en regiones con alta actividad sísmica y climática extrema.

Economía del diseño: Si bien la ASCE 7-16 puede ser más costosa en la etapa inicial, sus diseños más robustos pueden ser económicamente más viables en el contexto de proyectos de alta criticidad y largo plazo. Tomando en cuenta que el diseño es para un tiempo de retorno de 475 años lo cual es para salvar estructuras para que no lleguen a su colapso y con ello poder salvar vidas.

4. CAPITULO IV

4.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos demuestran que el comportamiento sísmico de la estructura puede variar significativamente dependiendo de la metodología utilizada para el cálculo de los cortantes basales. Los análisis realizados con la NEC 15 muestran un enfoque más conservador, con esfuerzos basales dinámicos y estáticos que son relativamente bajos, lo cual puede reflejar una respuesta menos intensificada a las fuerzas sísmicas.
- La comparación entre los cortantes basales estáticos y dinámicos bajo las normativas NEC 15 y ASCE 7-16 revela diferencias significativas que deben ser cuidadosamente consideradas en el diseño estructural. Mientras que, según la NEC 15, los cortantes basales son inferiores al 1%, un valor relativamente bajo que refleja un enfoque conservador en el cálculo de las demandas sísmicas, al utilizar la ASCE 7-16, el cálculo de los cortantes basales considerando tanto los esfuerzos estáticos como dinámicos supera el 2%. Este aumento, aunque aparentemente pequeño, puede tener un impacto considerable en el diseño y seguridad de la estructura, particularmente en edificaciones críticas o en zonas con alta actividad sísmica.

- El análisis basado en acelerogramas proporciona una representación detallada de la respuesta de los esfuerzos dentro de la estructura a lo largo del tiempo, permitiendo evaluar dinámicamente el comportamiento estructural durante todo el evento sísmico. En contraste, la NEC y los espectros de respuesta únicamente estiman el esfuerzo más crítico, lo que, si bien resulta útil para un diseño normativo, omite información clave sobre la evolución temporal de las demandas internas.

  Esta limitación implica que aspectos esenciales, como las variaciones de esfuerzos, los efectos acumulativos, pueden no ser capturados al depender exclusivamente de los espectros normativos. Por tanto, complementar los análisis normativos con registros dinámicos como los acelerogramas resulta fundamental para comprender a profundidad el desempeño real de la estructura ante un evento sísmico, especialmente en el diseño de edificaciones críticas o

en zonas de alta sismicidad. Este enfoque integral contribuye a identificar vulnerabilidades ocultas, optimizar el diseño estructural y garantizar un comportamiento más resiliente de las edificaciones frente a demandas sísmicas complejas

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar acelerogramas específicos como base para el análisis estructural y ajustarlos para que sean espectro-compatibles con las normativas aplicables. Esta práctica resulta esencial para el cálculo y diseño de estructuras de alta importancia o ubicadas en zonas de alta sismicidad o con comportamiento sísmico inestable. El uso de acelerogramas espectro-compatibles permite obtener resultados más precisos al considerar las características locales del terreno y las demandas dinámicas reales, mejorando así la capacidad de la estructura para resistir eventos sísmicos críticos y garantizar la seguridad estructural.
- Es imprescindible realizar un análisis exhaustivo y urgente de la NEC 15, considerando los resultados obtenidos en comparación con la ASCE 7-16. Esta última proporciona valores más conservadores, lo que contribuye a diseñar estructuras significativamente más robustas y, por ende, más resistentes frente a diversas condiciones. Implementar un enfoque más alineado con los criterios de la ASCE 7-16 podría optimizar la seguridad estructural y mejorar la durabilidad de las edificaciones, garantizando una mayor protección y confiabilidad a largo plazo.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

[1] "Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) – MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda." Accessed: Dec. 17, 2023. [Online]. Available: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

[2] "Vista de ¿Qué aprendimos del terremoto de abril de 2016? Respuesta del Gobierno ecuatoriano a la emergencia | Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración." Accessed: Dec. 17, 2023. [Online].

Available: https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/2846/3319

[3] R. Aguiar and Y. Mieles, “ANALYSIS OF BUILDINGS THAT COLLAPSED OF PORTOVIEJO DURING THE EARTHQUAKE OF 16 APRIL 2016,” 2016.

[4] I. Hernán and R. Andrade, “ESTRUCTURAS 1 APUNTES DE CLASE.”

[5] G. Villarreal Castro and L. -Perú, “ANALISIS ESTRUCTURAL _____ ASAMBLEA NACIONAL DE RECTORES,” 2006.

[6] F. E. Cunalata Vásquez and P. E. Caiza Sánchez, “Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador,” *Revista Politécnica*, vol. 50, no. 1, pp. 55–64, May 2022, doi: 10.33333/rp.vol50n1.06.

[7] A. Udías, “Física de la Tierra,” 1998.

[8] P. Quinde Martínez and E. R. Angulo, “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DE ECUADOR Y PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE CUENCA SEISMIC HAZARD ASSESSMENT FOR ECUADOR AND DESIGN SPECTRA PROPOSED FOR THE CITY OF CUENCA”.

[9] E. J. Moposita Romero, C. L. Guaranga Bayas, M. R. Mas Camacho, and G. A. Noboa Flores, “VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO. UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR - 2019,” *Revista de Investigación Talentos*, vol. 8, no. 1, pp. 27–35, Jun. 2021, doi: 10.33789/talentos.8.1.141.

[10] E. F. Roldán Pinargote, R. M. Suárez Balcázar, L. J. García Vinces, and M. G. Zevallos Loor, “Análisis estructural del edificio de docentes N° 1 de la Universidad Técnica de Manabí, comparando los espectros sísmicos de la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015, el determinado por el estudio de la microzonificación sísmica de Portoviejo,” *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, vol. 4, no. 2, p. 21, Jan. 2020, doi: 10.33936/riemat.v4i2.2190.

[11] A. Latina, “INGENIERÍA SÍSMICA REVISIÓN DE LA NORMATIVA SÍSMICA EN”.

[12] “PREGUNTAS Y RESPUESTAS Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) 1. ¿Qué es la NEC?”.

[13] P. Paredes Bernal and J. Romero Loyola, “Análisis Dinámico No Lineal de un Edificio Aporticado de Hormigón Armado con Mampostería durante el Terremoto de Muisne, Ecuador, del 2016.,” *Investigación y Desarrollo*, vol. 15, no. 1, pp. 45–57, Jun. 2022, doi: 10.31243/id.v15.2022.1592.

[14] M. Zibell, “El secreto de los edificios que no se cayeron durante el terremoto de Ecuador,” *BBC Mundo*, vol. 0, no. 0, pp. 1–13, 2016.

[15] L. Lara, H. Aguirre, and M. Gallegos, “Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado que Colapsaron en el Terremoto del 16 de Abril de 2016 en Tabuga–Ecuador,” *Revista Escuela Politécnica Nacional*, vol. 42, no. 1, pp. 1–10, 2018.

[16] “CSI Spain | ETABS.” Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: https://www.csiespana.com/software/5/etabs

[17] “Autodesk AutoCAD 2024 | Obtener precios y suscribirte al software AutoCAD.” Accessed: Apr. 03, 2024. [Online]. Available: https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview?panel=buy&plc=ACDIST&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1&mktvar002=afc_latam_nmpi_ppc&AID=13955714&PID=8299320&gclid=0eb3f1abd8931b9b947697a51076c34d&gclsrc=3p.ds&ds_rl=1232386&ds_rl=1232407&ds_rl=1232410&&cjevent=0eb3f1abd8931b9b947697a51076c34d&click_id=0eb3f1abd8931b9b947697a51076c34d&gclid=0eb3f1abd8931b9b947697a51076c34d&gclsrc=3p.ds&msclkid=0eb3f1abd8931b9b947697a51076c34d&tab=subscription

[18] “American Concrete Institute.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.concrete.org/

[19] “AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.” Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: https://www.asce.org/

[20] “3.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-2”.

[21] N. E. De and L. A. Construcción, “CARGAS (NO SÍSMICAS)”.

[22] “How to Determine Torsional Irregularities in Buildings | The Structural World.” Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: https://www.thestructuralworld.com/2019/07/05/how-to-determine-torsional-irregularities-in-buildings/