

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Impacto de la NEC 2025 en el diseño estructural de un edificio de 5 plantas: Un análisis comparativo con la NEC 2015

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister en Estructuras Civiles Sismorresistentes

Presentado por:

Carlos Alejandro Carrillo Morales

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, por ser el motor que impulsa cada uno de mis proyectos. A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la excelencia académica. Gracias por ser mi apoyo constante en el desafío de culminar esta especialización en estructuras sismorresistentes.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profunda gratitud a mi familia y amigos por su apoyo incondicional y paciencia durante este proceso de especialización. Este logro no habría sido posible sin su comprensión ante las largas horas dedicadas al análisis y modelado estructural de este proyecto. A mis compañeros de maestría, con quienes compartí muchos momentos.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Carrillo Morales Carlos Alejandro* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

.....
Carrillo Morales Carlos Alejandro

EVALUADORES

.....
Samantha Hidalgo. Msc

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Nadia Quijano. Msc

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Phd. Valverde Burneo Enrique

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La siguiente investigación analiza el cambio normativo de la NEC-15 a la propuesta NEC-2025 en el diseño estructural de edificaciones de hormigón armado. El objetivo principal es cuantificar las variaciones en la demanda sísmica, dimensiones de elementos y cuantías de acero para determinar la viabilidad técnica y económica de la nueva normativa. Justificándose en la necesidad de actualizar los criterios de diseño luego del terremoto de 2016. Para el proyecto se modeló un edificio típico de 5 pisos en el software de análisis estructural ETABS. Se utilizaron métodos de diseño por capacidad y se aplicaron las cargas y combinaciones especificadas en ambos códigos, con materiales de resistencias típicas para la zona. Los resultados demostraron que el espectro de respuesta de la NEC-2025 es un 28% mayor en aceleración sísmica máxima que la NEC-15. Esto se tradujo en un incremento de 11.4% en el acero de refuerzo de las vigas y en el aumento de las secciones de columnas de 25x25 cm a 30x30 cm para satisfacer el control de derivas. Se determina que la migración a la NEC-2025 proporciona mayor resistencia estructural, pero implica mayor costo inicial de materiales. La optimización del diseño bajo la nueva norma es esencial para ajustar la seguridad a la rentabilidad económica en la construcción ecuatoriana.

ABSTRACT

The following research analyzes the regulatory change from NEC-15 to the proposed NEC-2025 in the structural design of reinforced concrete buildings. The main objective is to quantify the variations in seismic demand, element dimensions, and steel reinforcement quantities to determine the technical and economic feasibility of the new regulations. This is justified by the need to update design criteria following the 2016 earthquake. For the project, a typical 5-story building was modeled using the structural analysis software ETABS. Capacity design methods were used, and the loads and combinations specified in both codes were applied, with materials of typical strengths for the region. The results demonstrated that the response spectrum of NEC-2025 is 28% higher in maximum seismic acceleration than that of NEC-15. This resulted in an 11.4% increase in the reinforcement steel of the beams and an increase in column sections from 25x25 cm to 30x30 cm to meet drift control requirements. It has been determined that migrating to NEC-2025 provides greater structural strength, but entails a higher initial material cost. Optimizing design under the new standard is essential to balance safety with economic viability in Ecuadorian construction.

Keywords:

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 1	10
Introducción	10
1.1 Introducción del proyecto de graduación	10
1.2 Antecedentes	11
1.3 Problemática a resolver	12
1.4 Justificación	13
1.4.1 Objetivo General	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
CAPÍTULO 2	15
Desarrollo del proyecto	15
2.1 Marco conceptual	15
2.1.1 Peligrosidad Sísmica y Mapas de Amenaza	15
2.1.2 Efectos de Sitio y Clasificación de Suelos	16
2.1.3 Espectros de Diseño: Elástico e Inelástico	17

2.1.4	Sistemas Estructurales: Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF)	18
2.1.5	Factores de Irregularidad en Planta y Elevación	19
2.1.6	Filosofía de Diseño por Capacidad	20
2.1.7	Control de Deformaciones: Derivas de Piso.....	20
2.1.8	Fundamentos del Análisis Modal Espectral.....	21
2.1.9	Cuantías de Acero y Eficiencia Material.....	22
2.2	Marco metodológico	22
2.2.1	Enfoque de la Investigación	22
2.2.2	Diferencias entre normas NEC-15 y NEC-25	22
2.2.3	Pasos por desarrollar para Obtener el Espectro Elástico de Diseño.....	30
2.2.4	Fases del proyecto.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5	Herramientas y Software.....	32
2.2.6	Solución a diseñar.....	33
CAPÍTULO 3.....		69
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		69
3.1	Resultados del Análisis.....	69
CAPÍTULO 6.....		71
Conclusiones Y Recomendaciones		71
	Recomendaciones	73
BIBLIOGRAFÍA.....		75
PLANOS Y ANEXOS.....		76

ABREVIATURAS

NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
ACI	American Concrete Institute
CEC	Código Ecuatoriano de la construcción
ASCE	American Society of Civil Engineers
Fa	Coficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto
Fd	Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca
Fs	comportamiento no lineal de los suelos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
GMPEs	Ground Motion Prediction Equations
DBE	Design Basis Earthquake
PGA	Peak Ground Aceleration
SPT	Standard Penetration Test
SMF	Special Moment Frame
AME	Analisis Modal Espectral
CQC	Complete Quadratic Combination
SRSS	Square Root of the Sum of the Squares
CDS	Categoría de Diseño Sísmico

SIMBOLOGÍA

Kg Kilogramos

m² Metros cuadrados

m³ Metros cúbicos

cm² Centímetros cuadrados

cm Centímetros

s Segundos

Ton Toneladas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Fallas geológicas(Infogram, 2025).....	16
Figura 2.2 Daños estructurales severos en la zona epicentral del terremoto de Ecuador 2016 (BBC News Mundo, 2016)	18
Figura 2.3: Mapa de zonificación sísmica NEC-15	25
Figura 2.4: Mapa de zonificación sísmica NEC-25	25
Figura 2.5: Espectro de diseño de la NEC-15.....	26
Figura 2.6: Espectro de diseño de la NEC-25.....	27
Figura 2.7 Factor R, Ω_0 y C_d de la NEC-25.....	27
Figura 2.8 Factor R de la NEC-15.....	28
Figura 2.9 Factor de importancia NEC-15	28
Figura 2.10 Factor de importancia NEC-25	29
Figura 2.11 Limites de deriva NEC-15	29
Figura 2.12 Limites de deriva NEC-25	29
Figura 2.13 Diagrama de Flujo para Obtener el Espectro Elástico de Diseño NEC-25.....	30
Figura 2.14 Diagrama de flujo de pasos a seguir para cumplimiento de los objetivos de la tesis.....	31
Figura 2.15: Vista en elevación (fuente propia).....	34
Figura 2.16: Vista en planta (fuente propia).....	34
Figura 2.17: Esquema de columna 35x35cm	40
Figura 2.18: Esquema de columna 40x40 cm.....	40
Figura 2.19: Generador de espectro NEC-15	45
Figura 2.20: Espectro de respuesta de la NEC-15.....	45
Figura 2.21: Generador espectro NEC-25	46
Figura 2.22: Espectro de respuesta NEC-25	46
Figura 2.23: Modelo matemático tridimensional de estructura.....	48
Figura 2.24: Secciones de elementos de hormigón armado	49
Figura 2.25: Distribución de elementos estructurales	49
Figura 2.26: Diseño estructural con la NEC-15.....	51

Figura 2.27: Aceros requeridos por NEC-15 LPA1	51
Figura 2.28: Aceros requeridos por NEC-15 LPA1	51
Figura 2.29: Deriva dirección X NEC-15	52
Figura 2.30: Deriva dirección Y NEC-15	52
Figura 2.31: Diseño estructural con la NEC-25.....	53
Figura 2.32: Aceros requeridos por NEC-25 LPA1	53
Figura 2.33: Aceros requeridos por NEC-25 LPA2	54
Figura 2.34: Deriva dirección X NEC-25	54
Figura 2.35: Deriva dirección Y NEC-25	55
Figura 2.36: Deriva dirección Y NEC-25	57
Figura 2.37: Diseño NEC-25 independiente	57
Figura 2.38: Diseño a flexión con NEC-2025 LPA1	58
Figura 2.39: Acero a flexión NEC-25 LPA2.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:Diferencias de normas	23
Tabla 2: Valore de z en función de la zona sísmica NEC-25; Error! Marcador no definido.	
Tabla 2.3:Propiedades de los materiales (fuente propia).....	35
Tabla 2.4:Cargas vivas por piso (fuente propia)	35
Tabla 2.5: Cargas axiales en columnas	38
Tabla 2.6: Relación Peralte/Luz en condición de apoyo	43
Tabla 2.7: Resumen del predimensionamiento.....	44
Tabla 3.1: Volúmenes de concreto NEC-15.....	70
Tabla 3.2: Volúmenes de concreto NEC-25.....	71

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción del proyecto de graduación

La ingeniería sísmica en Ecuador se encuentra en un punto de inflexión crítico. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), documento rector que salvaguarda la integridad estructural y la vida humana, ha transitado desde su versión NEC-15(MIDUVI, 2015) utilizada durante la última década y puesta a prueba en el terremoto de Pedernales de 2016(BBC News Mundo, 2016) hacia una inminente actualización: la propuesta NEC-2025. Esta evolución normativa responde al avance natural de la investigación sismológica, la actualización de las leyes de atenuación sísmica y la redefinición de las zonas de amenaza en el territorio nacional, buscando homologar criterios con estándares internacionales modernos.(Andrés & Quishpe, 2025)

Sin embargo, la promulgación de un nuevo código de diseño no solo implica cambios teóricos en las ecuaciones de espectros o coeficientes de sitio; conlleva repercusiones directas y tangibles en la industria de la construcción. La transición genera una incertidumbre técnica sobre cómo las nuevas demandas de aceleración y rigidez afectarán la configuración final de las estructuras. Desde una perspectiva socioeconómica, la industria se enfrenta a la tensión inherente entre la seguridad estructural y la viabilidad financiera. En un mercado inmobiliario sensible a los costos directos, cualquier variación normativa que implique un incremento en las cuantías de acero o en los volúmenes de hormigón repercute directamente en la asequibilidad de la vivienda y la rentabilidad de los proyectos.(Banshuy Lluco & Guamunshi Cali, 2024)

Este proyecto aborda dicha problemática mediante un análisis cuantitativo riguroso, utilizando como caso de estudio un edificio de hormigón armado de cinco niveles. Se eligió esta tipología por ser representativa del desarrollo inmobiliario urbano de mediana altura. El objetivo es establecer una comparativa directa entre la NEC-15 y la NEC-2025 en términos de

desempeño sísmico, dimensionamiento de elementos y cuantías de materiales, proporcionando datos claros para la toma de decisiones.

Es fundamental destacar que la vigencia de la NEC-15 durante la última década ha coincidido con el periodo de mayor aprendizaje sismológico en la historia reciente del país. El evento sísmico del 16 de abril de 2016 no solo puso a prueba la resiliencia de la infraestructura existente, sino que generó el mayor acervo de registros acelerógrafos obtenidos hasta la fecha en suelo ecuatoriano. Paradójicamente, la normativa vigente fue concebida con modelos de predicción del movimiento del suelo anteriores a este evento, lo que implica que el código actual posee una "deuda técnica" respecto a la verdadera amenaza sísmica de la región. La NEC-2025 surge, por tanto, como un imperativo técnico para integrar estas lecciones y cerrar la brecha entre la amenaza observada y los parámetros de diseño teóricos.(Fortty Barberan, 2019)

1.2 Antecedentes

El desarrollo normativo en Ecuador ha sido reactivo y evolutivo. Históricamente, el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC-2001) rigió el diseño hasta que la necesidad de modernización llevó a la oficialización de la NEC-15 (MIDUVI, 2015). Estudios previos, como los realizados por Semblantes Vélez (2015), documentaron que el cambio del CEC-2001 a la NEC-15 incrementó las demandas de diseño en zonas costeras debido a la actualización del mapa de amenaza sísmica y la introducción de factores de sitio (F_a , F_d , F_s) más detallados.(Marcelo Leonardo Semblantes Vélez, 2015)

En el ámbito académico, las investigaciones comparativas son fundamentales para validar los cambios normativos. Fortty Barberan (2019) realizó contrastes entre la NEC-15 y la norma americana ASCE 7-16, evidenciando discrepancias en los espectros de respuesta para suelos blandos en Manta. Sin embargo, la literatura actual carece de análisis que enfrenten directamente a la NEC-15 con el borrador o versión preliminar de la NEC-2025.(Fortty Barberan George Anthony, 2019)

Informes técnicos preliminares sugieren que la NEC-2025 introduce modificaciones en la zonificación sísmica probabilista y ajustes en los límites de deriva para ciertos sistemas estructurales. A diferencia de actualizaciones anteriores, no existe al momento un compendio técnico que cuantifique el impacto económico (costo directo por m²) y volumétrico (m³ de hormigón y kg de acero) de esta nueva norma en edificaciones de mediana altura, las cuales constituyen el grueso del desarrollo inmobiliario urbano en ciudades como Guayaquil.(Andrés & Quishpe, 2025)

En cuanto a la evolución de los requisitos de hormigón armado, estudios recientes han comenzado a evaluar el impacto de adoptar estándares internacionales modernos como el ACI 318-19, normativa que sirve de base para el capítulo de hormigón de la nueva NEC realizaron un análisis comparativo enfocado en muros de corte, concluyendo que los nuevos requisitos de detallamiento del ACI 318-19 imponen una mayor demanda de acero de refuerzo transversal y confinamiento en comparación con la NEC-15, lo que sugiere un incremento inevitable en los costos directos de la estructura para cumplir con los estándares de ductilidad actualizados.(Banshuy Lluco Jhon Paul & Guamunshi Cali Elian Fabricio, 2024)

1.3 Problemática a resolver

La propuesta de la NEC 2025 impone un necesario relevo a la NEC 2015 (MIDUVI, 2015), normativa que, tras diez años de vigencia, ha quedado técnicamente rezagada al no contemplar las lecciones ni los registros del sismo de Pedernales del 16 de abril de 2016. Esta brecha temporal y técnica precipita una incertidumbre crítica en el gremio ingenieril, pues se desconoce la magnitud cuantitativa del impacto que la actualización de la amenaza sísmica tendrá sobre los costos de construcción y los requerimientos de diseño en los proyectos habitacionales típicos.

Actualmente, un ingeniero de proyectos no dispone de datos comparativos para responder preguntas clave a sus clientes: ¿El diseño bajo la NEC 2025

resultará en un edificio más costoso? ¿Las columnas y vigas requerirán mayores dimensiones, afectando el espacio arquitectónico? ¿Las cuantías de acero de refuerzo se incrementarán en un 5%, 15% o 30%? Si bien estudios previos compararon la NEC 2015 con otras normas internacionales (Forty Barberan, 2020), no existe una base de comparación directa con la NEC 2025.

El impacto de esta falta de cuantificación es múltiple:

Riesgo Económico: Los promotores inmobiliarios pueden enfrentar costos de construcción imprevistos si sus presupuestos se basan en la experiencia de la NEC 2015.

Riesgo de Diseño: La simple adopción de la nueva norma sin comprender su filosofía puede llevar a diseños subóptimos o a una mala interpretación de las nuevas disposiciones, similar a los desafíos enfrentados en la transición de 2015 (Semblantes Vélez, 2015).

Fricción en la Adopción: La incertidumbre puede generar resistencia en el sector para adoptar la nueva norma de manera ágil y correcta.

Esta investigación aborda una pregunta de investigación clara y pragmática: ¿Cuáles son las diferencias específicas en el diseño estructural, cuantías de materiales y desempeño sísmico (derivadas) de un edificio de 5 plantas al ser diseñado bajo la NEC 2025 en comparación directa con la NEC 2015?

1.4 Justificación

La importancia de este proyecto de titulación es su aplicabilidad inmediata y práctica para la comunidad de ingeniería estructural en Ecuador. Este estudio no es solo un ejercicio académico; es una herramienta de referencia esencial. Proporciona una "traducción" cuantitativa de los cambios teóricos de la ley a resultados físicos y económicos.

Al cuantificar el impacto de la NEC 2025 en un arquetipo de edificio común (5 plantas), esta investigación permitirá a los ingenieros, constructores y promotores tomar decisiones informadas, ajustar sus análisis de costos y adaptar sus metodologías de diseño de manera eficiente y segura. Esto acelera la correcta adopción de la nueva normativa.

Este proyecto contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, en particular:

ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura): Al analizar y promover la adopción de las últimas normativas técnicas para la construcción de infraestructura resiliente, moderna y segura.

ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles): Al contribuir directamente a que las edificaciones urbanas en Ecuador sean más seguras y capaces de resistir eventos sísmicos, protegiendo la vida y el patrimonio.

1.4.1 Objetivo General

Determinar las implicaciones estructurales y financieras de la transición normativa hacia la NEC 2025, contrastando el desempeño y los costos directos de construcción de un edificio tipo de 5 niveles diseñado bajo los parámetros de la NEC 2015 para saber el incremento económico que tendrá la adopción de la nueva norma en futuros proyectos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las modificaciones normativas entre la NEC 2015 y la NEC 2025, clasificando las variaciones en la amenaza sísmica, los coeficientes de diseño y los requisitos de detallamiento para establecer la base del análisis comparativo.

- Desarrollar el diseño estructural integral de la edificación bajo dos escenarios normativos independientes (NEC 2015 y NEC 2025), utilizando software especializado para dimensionar los elementos y generar los datos cuantitativos necesarios para la comparación.
- Comparar los resultados de ambos diseños en términos de desempeño y costo, cuantificando las diferencias en dimensiones de elementos, volúmenes de hormigón, cuantías de acero de refuerzo y derivas de piso, para determinar el impacto real (técnico y económico) de la transición a la NEC 2025.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco conceptual

La correcta evaluación del impacto de la actualización normativa requiere una comprensión profunda de los principios fundamentales que rigen el diseño sismorresistente. Este capítulo establece las bases teóricas sobre la peligrosidad sísmica, la dinámica estructural y la filosofía de diseño en hormigón armado, elementos esenciales para interpretar las diferencias entre la NEC-15 y la NEC-2025.

2.1.1 Peligrosidad Sísmica y Mapas de Amenaza

La base de cualquier normativa de diseño sísmico es la definición de la amenaza o peligrosidad ("Hazard"). Este concepto cuantifica la probabilidad de que ocurran movimientos fuertes del terreno en un sitio específico durante una ventana de tiempo determinada.

En la normativa ecuatoriana, la amenaza se define tradicionalmente mediante un enfoque probabilístico (PSHA - Probabilistic Seismic Hazard Analysis). Este análisis integra la sismicidad histórica, la geometría de las fallas geológicas (fuentes sísmicas como la zona de subducción Nazca-Sudamérica

y fallas corticales locales) y las leyes de atenuación o modelos de predicción del movimiento del suelo (GMPEs).

- Sismo de Diseño (DBE): La NEC-15 establece como estándar de diseño el sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, lo que corresponde a un período de retorno de 475 años. Este nivel de amenaza busca asegurar la salvaguarda de la vida, permitiendo daño estructural reparable, pero evitando el colapso.
- Con respecto al Factor Z, la NEC-15 simplifica la amenaza sísmica mediante un valor de aceleración máxima en roca (PGA) distribuido en seis zonas discretas. En contraste, la NEC-2025 sustituye este enfoque por mapas de iso-aceleración continuos e implementa parámetros espectrales específicos de respuesta (S_s y S_1), alineándose con la metodología del estándar ASCE 7. Esta actualización refina la estimación de fuerzas sísmicas, permitiendo una calibración precisa de la demanda en función del periodo estructural.

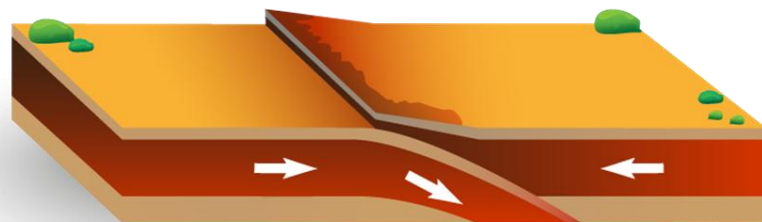


Figura 2.1 Fallas geológicas(Infogram, 2025)

2.1.2 Efectos de Sitio y Clasificación de Suelos

La respuesta de una estructura no depende solo de la energía liberada por la fuente sísmica, sino de cómo las ondas viajan a través de los estratos de suelo locales antes de llegar a la superficie. Los depósitos de suelo blando (arcillas o limos) tienden a amplificar las ondas sísmicas, especialmente en períodos largos, y a filtrar el contenido de frecuencias altas.

Para capturar este fenómeno, las normativas emplean factores de amplificación de sitio (F_a para períodos cortos y F_v o F_d para períodos largos/intermedios) que modifican el espectro en roca. Estos factores dependen de la clasificación del perfil de suelo, basada típicamente en la velocidad media de la onda de corte en los primeros 30 metros (V_{S30}) o en el número de golpes del ensayo SPT (N_{60}).

La comparación entre normas debe verificar si la clasificación de los perfiles de suelo (Tipos A, B, C, D, E, F) se mantiene constante o si los coeficientes de amplificación han sido recalibrados en la NEC-2025 a la luz de nuevos registros sísmicos (como los del sismo de 2016), lo cual alteraría directamente la meseta del espectro de diseño y, por ende, las fuerzas laterales aplicadas al edificio.

2.1.3 Espectros de Diseño: Elástico e Inelástico

El espectro de respuesta es la herramienta fundamental que relaciona la amenaza sísmica con la respuesta estructural. Representa la máxima respuesta (aceleración, velocidad o desplazamiento) de un oscilador de un grado de libertad para un amortiguamiento dado (usualmente 5%).

Espectro Elástico (S_a): Describe la demanda sísmica asumiendo que la estructura permanece en el rango elástico lineal, sin daño permanente. Su forma está controlada por períodos característicos (T_0, T_c) que delimitan la meseta de máxima aceleración.

Espectro Inelástico y Factor de Reducción (R): Dado que diseñar edificios convencionales para que permanezcan elásticos ante sismos severos es económicamente inviable, las normas permiten reducir las fuerzas elásticas mediante un factor de reducción de respuesta R . Este factor asume que la

estructura posee la capacidad de disipar energía mediante deformaciones inelásticas (daño controlado).

$$F_{diseño} = \frac{F_{elastico}}{R} \quad (2.1)$$

La NEC-15 asigna valores de R basados en la tipología estructural (ej. $R = 8$ para pórticos especiales a momento). Es crucial investigar si la NEC-2025 modifica estos valores o impone nuevas restricciones para su uso, ya que un cambio en R afecta linealmente la fuerza de corte basal y el volumen de materiales requeridos.



Figura 2.2 Daños estructurales severos en la zona epicentral del terremoto de Ecuador 2016 (BBC News Mundo, 2016)

2.1.4 Sistemas Estructurales: Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF)

El sistema estructural seleccionado para el caso de estudio son los Pórticos Especiales Resistentes a Momento (Special Moment Frames - SMF). Estos sistemas resisten las cargas laterales principalmente a través de la rigidez a flexión de vigas y columnas.

La denominación "Especial" implica que el sistema está detallado para proveer una alta capacidad de deformación inelástica (alta ductilidad). El comportamiento esperado ante un sismo severo es la formación de mecanismos de disipación de energía estables, conocidos como rótulas plásticas.

Para garantizar este comportamiento dúctil, el diseño debe cumplir requisitos estrictos de detallamiento (propios del capítulo de Hormigón Armado de la NEC y del ACI 318), tales como:

- **Confinamiento:** Uso intensivo de estribos cerrados en zonas críticas (extremos de vigas y columnas) para confinar el núcleo de hormigón y evitar el pandeo de las barras longitudinales.
- **Continuidad:** Empalmes y anclajes diseñados para desarrollar la resistencia probable del acero.

2.1.5 Factores de Irregularidad en Planta y Elevación

La configuración geométrica y la distribución de masa y rigidez del edificio determinan su comportamiento dinámico. La normativa penaliza las configuraciones irregulares reduciendo el factor de reducción de respuesta sísmica (R), lo que incrementa las fuerzas de diseño.

- Irregularidades en Planta (φ_P): Se presentan cuando existen discontinuidades en el diafragma, esquinas entrantes excesivas o torsión. La torsión es crítica cuando el Centro de Masa (CM) no coincide con el Centro de Rigidez (CR), generando momentos torsores adicionales que incrementan la demanda en los elementos perimetrales.
- Irregularidades en Elevación (φ_E): Ocurren por cambios bruscos de rigidez (piso blando), masa o geometría entre niveles adyacentes.

En el análisis comparativo, es vital verificar si la NEC-2025 mantiene los mismos coeficientes de penalización (ϕ_E, ϕ_P) que la NEC-15 o si adopta criterios más estrictos del ASCE 7, lo cual afectaría directamente el cortante basal de diseño

$$(V = \frac{S_a I W}{R \phi_P \phi_E}). \quad (2.2)$$

2.1.6 Filosofía de Diseño por Capacidad

Un concepto transversal en la normativa moderna, y que será objeto de revisión en la comparación NEC-15 vs NEC-2025, es el "Diseño por Capacidad". Esta filosofía busca controlar la jerarquía de falla de la estructura, asegurando que los modos de falla dúctiles (flexión) ocurran antes que los modos de falla frágiles (cortante).

- **Columna Fuerte - Viga Débil:** Se busca que las rótulas plásticas se formen en los extremos de las vigas y no en las columnas. Si las columnas fallan primero, se puede producir un mecanismo de piso blando que lleva al colapso inestable ("pancaking"). La normativa exige que la suma de los momentos resistentes de las columnas en un nudo sea mayor (típicamente un 20% más) que la suma de los momentos resistentes de las vigas ($\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb}$).
- **Diseño a Cortante:** Los elementos no se diseñan para el cortante derivado del análisis estructural simple, sino para el cortante máximo que se puede generar cuando se desarrollan los momentos plásticos probables (M_{pr}) en los extremos del elemento. Esto garantiza que la viga o columna no falle por cortante antes de agotar su capacidad de flexión.

2.1.7 Control de Deformaciones: Derivas de Piso

El control de daños no se logra solo con resistencia, sino limitando la flexibilidad lateral. La deriva de piso (Δ) es el parámetro principal para el

control de daño tanto estructural como no estructural (mampostería, vidrios, acabados).

$$\text{Deriva Inelástica}(\Delta_M) = \Delta_{\text{elástica}} * R * (C_d \text{ o factor equivalente}) \quad (2.3)$$

La NEC-15 establece un límite máximo de deriva inelástica del 2% (0.02) para estructuras de hormigón armado. Este límite es a menudo el que gobierna el diseño, obligando a aumentar las secciones de los elementos (rigidez) más allá de lo requerido por resistencia. El análisis comparativo verificará si la NEC-2025 mantiene este límite del 2% o si introduce límites más estrictos (ej. 1.5% como en otras normas internacionales para ciertas ocupaciones) o metodologías diferentes para calcular la rigidez efectiva (inercia agrietada) de los elementos, lo cual tendría un impacto directo en el volumen de hormigón del edificio.

2.1.8 Fundamentos del Análisis Modal Espectral

A diferencia del método estático equivalente, que asume un primer modo de vibración predominante, el Análisis Modal Espectral (AME) considera la contribución de múltiples modos de vibración a la respuesta total de la estructura.

- **Participación de Masa:** La normativa exige incluir suficientes modos para capturar al menos el 90% de la masa participativa en cada dirección ortogonal.
- **Combinación Modal:** Dado que los máximos modales no ocurren simultáneamente, se utilizan reglas estadísticas de combinación como la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados (CQC o SRSS) para estimar la respuesta pico probable. Este método es indispensable para capturar la respuesta de estructuras con irregularidades o modos superiores significativos, proporcionando una distribución de fuerzas por piso más realista que el método estático.

2.1.9 Cuantías de Acero y Eficiencia Material

Finalmente, el impacto económico se mide a través de las cuantías de material.

- **Cuantía Longitudinal (ρ):** Relación entre el área de acero principal y el área bruta de la sección. Está gobernada por los momentos flectores y las combinaciones de carga axial-flexión.
- **Cuantía Transversal (Volumétrica):** Cantidad de acero en estribos por unidad de longitud. Está gobernada por los requisitos de cortante y confinamiento. La hipótesis de trabajo sugiere que, aunque las fuerzas sísmicas podrían variar moderadamente, los cambios más significativos en costos podrían provenir de nuevos requisitos de confinamiento (separación de estribos) en la NEC-2025, lo que incrementaría la densidad de acero por metro cúbico de hormigón.

2.2 Marco metodológico

2.2.1 Enfoque de la Investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, de alcance correlacional y comparativo. Se trata de una simulación numérica controlada donde la variable independiente es la normativa aplicada (NEC-15 vs. NEC-2025) y las variables dependientes son las respuestas estructurales (derivadas, cortante basal) y las cantidades de obra.

2.2.2 Diferencias más importantes entre normas NEC-15 y NEC-25

Existen diferencias fundamentales en la metodología de cálculo entre la normativa vigente (NEC-15) y la actualización (NEC-25). Las modificaciones principales afectan directamente a la determinación de la fuerza sísmica de diseño, alterando tanto las ecuaciones del espectro de respuesta como los coeficientes de modificación de respuesta. La Tabla 2.1 detalla estos parámetros contrastados, incluyendo la transición del coeficiente de importancia hacia las Categorías de Diseño Sísmico (CDS) y el ajuste en la estimación de la carga vertical.

Tabla 2.1: Diferencias de normas

Parámetros	NEC-15	NEC-25
Zonas sísmicas	6 zonas sísmicas $0.15 \leq Z \leq 0.5$	5 zonas sísmicas $0.1 \leq Z \leq 0.65$
Espectro de diseño	$0 \text{ hasta } T_0$ $S_a = zF_a \left(1 + \frac{(n-1)T}{T_0}\right)$ $T_0 \text{ hasta } T_c$ $S_a = \eta Z F_a$ $T_c \text{ hasta } \infty$ $S_a = \eta z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$	$T_0 \text{ hasta } T_c \quad S_a = 2.4Z F_a$ $T_c \text{ hasta } T_L \quad S_a = 2.4Z F_a \left(\frac{T_c}{T_L}\right)^r$ $T_L \text{ hasta } \infty \quad S_a = 2.4Z F_a \left(\frac{T_c}{T_L}\right)^r \left(\frac{T_L}{T}\right)^2$
Nuevos Factores de diseño	Factor \mathcal{R}	Factor de redundancia ρ Factor de sobre-resistencia Ω_0
Sistema de clasificación de diseño	Coefficiente de Importancia "I"	Categoría de Diseño Sísmico "CDS"
Carga sísmica vertical	Se estima a $\frac{2}{3}$ del horizontal	$E_v = 0.2 S_{DS} D$
Componentes no estructurales	Menciona requisitos generales y fuerzas de diseño (F_p)	Tabla de coeficientes a_p y R_p para distintos elementos
Aislamiento y disipación de energía	Capítulo 8 con requisitos generales	Capítulo 8 (Disipación) y 9 (Aislación) bien detallados, incluye protocolo de ensayo de laboratorio para los dispositivos, y procedimiento de diseño paso a paso

2.2.2.1 Zonificación sísmica y factor de zona z

La actualización normativa introduce cambios sustanciales en la caracterización de la amenaza sísmica del territorio ecuatoriano. Como se evidencia en la comparación visual, la NEC-15 establece una división de seis zonas sísmicas con valores de aceleración máxima en roca (Z) que oscilan entre 0.15g y 0.50g. En contraste, la propuesta NEC-25 redefine la peligrosidad mediante una zonificación de cinco áreas diferenciadas, donde se observa un incremento en la severidad de la amenaza para las regiones más críticas, elevando el factor máximo Z hasta 0.65g y ajustando el límite inferior a 0.10g. Las Figuras 3 y 4 presentan la evolución espacial de estos mapas de zonificación.

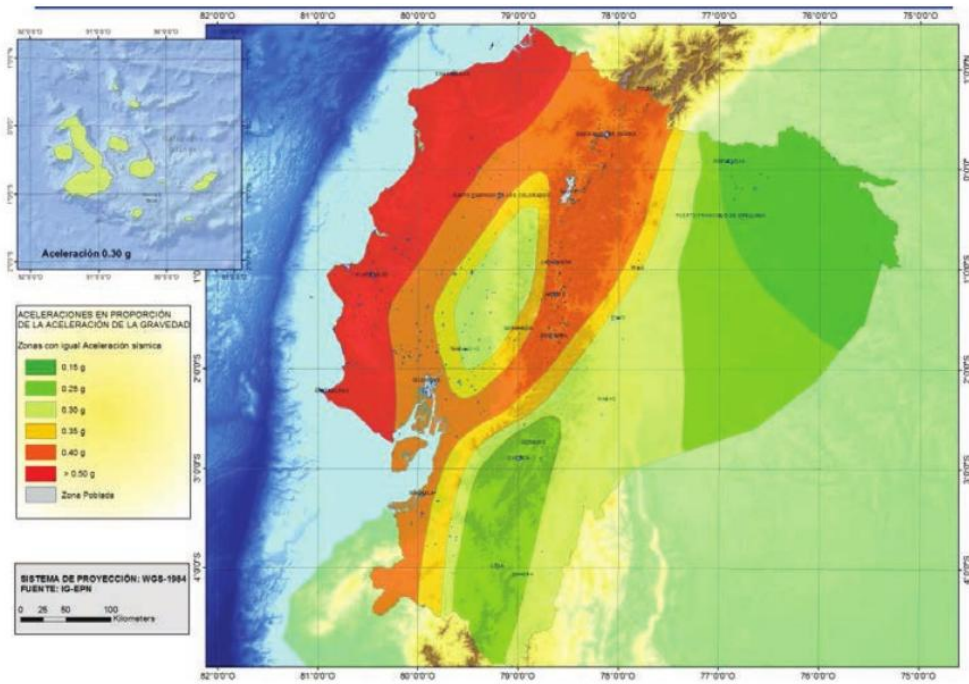


Figura 2.3: Mapa de zonificación sísmica NEC-15

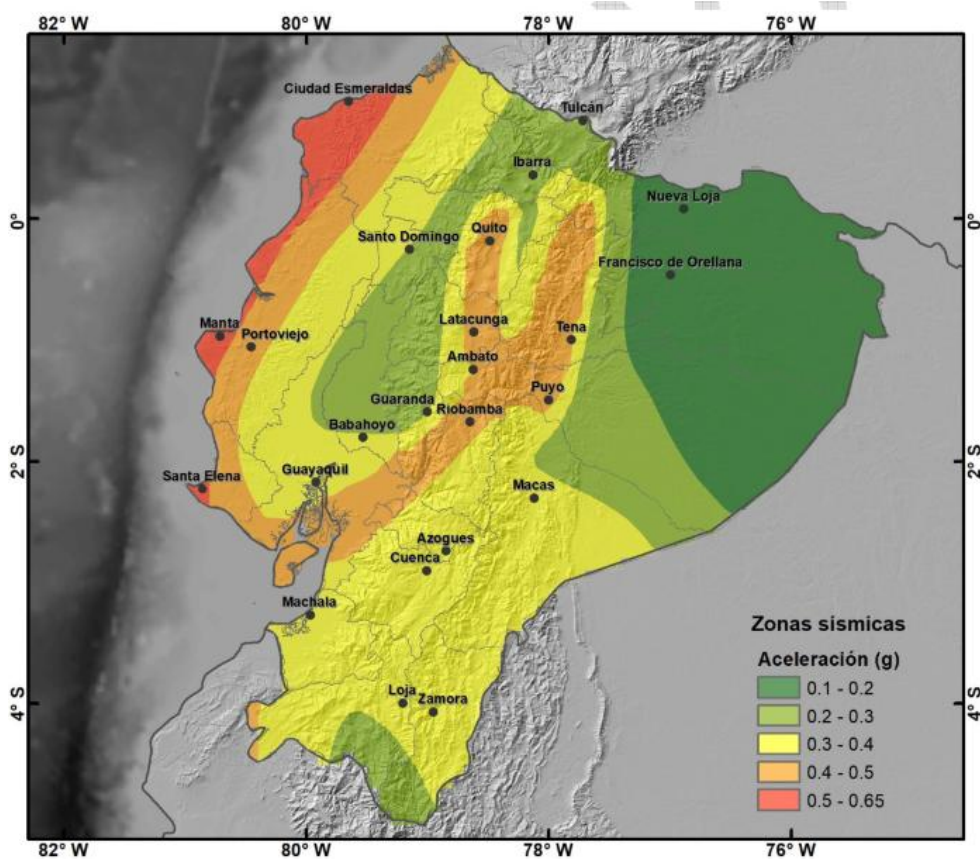


Figura 2.4: Mapa de zonificación sísmica NEC-25

2.2.2.2 Espectro de diseño

El espectro de diseño elástico es la herramienta fundamental para determinar las fuerzas laterales aplicadas a la estructura. En las siguientes gráficas se comparan las metodologías de construcción de dicha curva. La Figura 5 ilustra el procedimiento vigente de la NEC-15, caracterizado por sus periodos límite T_0 y T_c . En contraste, la Figura 6 detalla la propuesta de la NEC-25, la cual añade complejidad al modelo matemático mediante la introducción del parámetro T_L (periodo largo), generando una curva con tres tramos de comportamiento diferenciado para mejorar la precisión en edificios de gran altura o periodos largos.

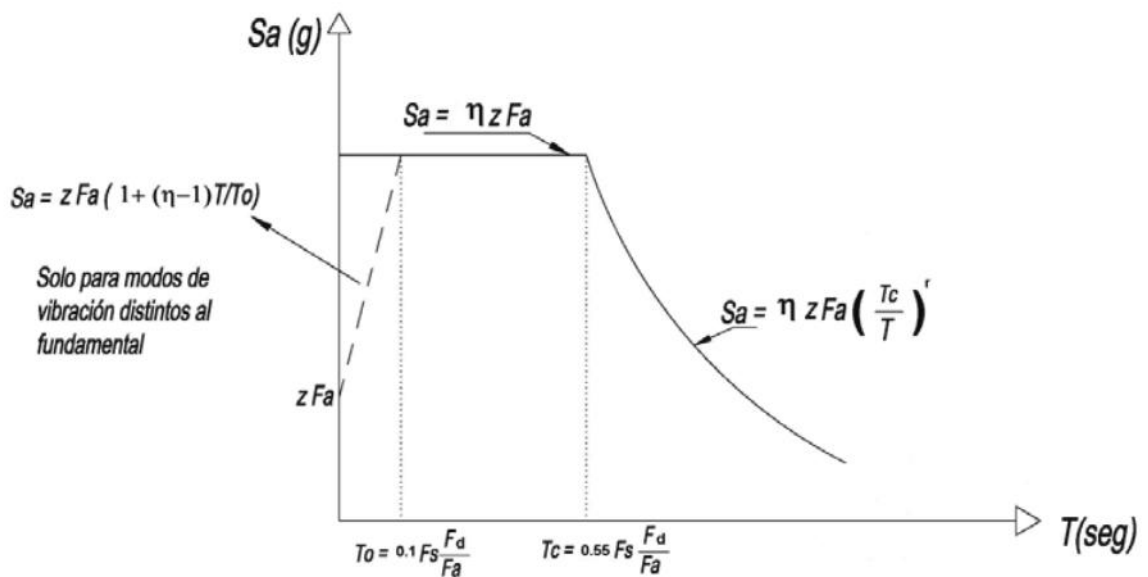


Figura 2.5: Espectro de diseño de la NEC-15

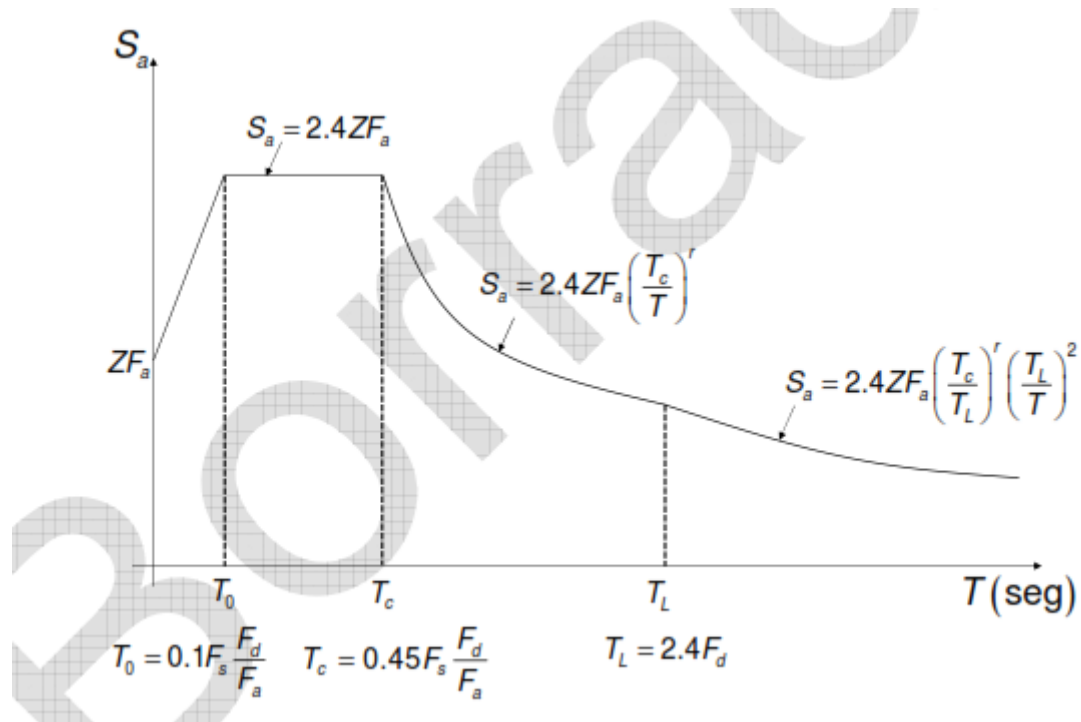


Figura 2.6: Espectro de diseño de la NEC-25

2.2.2.3 Factores de diseño

Sistema Estructural Resistente a Carga Sísmica	Documentos de Referencia	R	Ω_0	C_d	Altura máxima permitida (m), h_n		
					Categoría de Diseño Sísmico (CDS)		
SISTEMAS RELATIVAMENTE RIGIDOS					C	D	EF
Pórticos arriostrados excéntricamente de acero	NEC-SE-AC: 6.3, AISC 341-16: F3	8	2	4	SL	50	30
Pórticos especiales arriostrados concéntricamente de acero	NEC-SE-AC: 6.2, AISC 341-16: F2	6	2	5	SL	50	30
Pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente de acero	NEC-SE-AC: 6.1, AISC 341-16: F1	3.25	2	3.25	SL	10	NP
Muros estructurales especiales de hormigón	ACI 318-19: 18.10	6	2.5	5	SL	50	30
Pórticos con arriostros con pandeo restringido	NEC-SE-AC: 6.4, AISC 341-16: F4	8	2.5	5	SL	50	30
Muros especiales de cortante en acero	NEC-SE-AC: 6.5, AISC 341-16: F5	7	2	6	SL	50	30
PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO							
Pórticos especiales resistentes a momento en acero	NEC-SE-AC: 5.3, AISC 341-16: E3	8	3	5.5	SL	SL	SL
Pórticos intermedios resistentes a momento en acero	NEC-SE-AC: 5.2, AISC 341-16: E2	4.5	3	4	SL	12	NP
Pórticos ordinarios resistentes a momento en acero	NEC-SE-AC: 5.1, AISC 341-16: E1	3.5	3	3	10	NP*	NP
Pórticos especiales resistentes a momento en hormigón	ACI 318-19: 18.6, 18.7, 18.8	8	3	5.5	SL	SL	SL
Pórticos resistentes a momento con vigas de acero y columna tubular de acero rellena de hormigón*	AISC 341-16: Cap. G Lai et al. (2020)	3.5	3	3	10	NP*	NP
SISTEMAS DUALES CON PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO ESPECIALES CAPACES DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LA CARGA SISMICA							
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento y Pórticos arriostrados excéntricamente de acero	-	8	2.5	4	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento y Pórticos especiales arriostrados concéntricamente de acero	-	7	2.5	5.5	SL	SL	SL
Sistema dual con pórticos especiales resistentes a momento y Muros estructurales especiales de hormigón	-	7	2.5	5.5	SL	SL	SL

Figura 2.7 Factor R, Ω_0 y C_d de la NEC-25

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

Figura 2.8 Factor R de la NEC-15

2.2.2.4 Factor de Importancia

A continuación, se presenta la evolución del criterio para la asignación del factor de importancia sísmica. Mientras que la NEC-15 (Figura 2.9) establece la clasificación basándose en la descripción del 'Uso y Destino' de la edificación (Esenciales, Especiales y Otras), el borrador de la NEC-25 (Figura 2.10) se alinea con estándares internacionales como la ASCE 7, adoptando el concepto de 'Categorías de Riesgo' (I, II, III y IV).

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Figura 2.9 Factor de importancia NEC-15

Categoría de Riesgo	Factor de Importancia Sísmica, I_e
I	1.00
II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Figura 2.10 Factor de importancia NEC-25

2.2.2.5 Límites de deriva

La transición normativa de la NEC-15 a la NEC-2025 representa un cambio de paradigma en el criterio de desempeño estructural, al migrar de un control de deformabilidad basado en el 2.0% a un umbral más restrictivo del 1.5% para la deriva inelástica. Este ajuste conceptual redefine la rigidez lateral como el estado límite gobernante del diseño, supeditando la ductilidad a una respuesta mecánica más robusta. Al converger una mayor demanda energética por la actualización del espectro de respuesta con una menor tolerancia al desplazamiento relativo de piso, se produce una obligatoria densificación de la matriz estructural.

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Figura 2.11 Límites de deriva NEC-15

Estructura	Categoría de Riesgo		
	I o II	III	IV
Sistemas de resistencia a carga sísmica en edificaciones con paredes interiores flexibles, constituidas por perfiles livianos de acero o madera y recubiertos con paneles de yeso, fibrocemento, o similar.	0.018	0.015	0.012
Sistemas de resistencia a carga sísmica en edificaciones con paredes interiores rígidas de bloque de cemento, hormigón, o de ladrillo de arcilla.	0.015	0.012	0.010
Pórticos resistentes a momento constituidos por vigas de acero y columnas tubulares de acero rellenas de hormigón, con cualquier tipo de divisiones interiores.	0.010	N.P.	N.P.

Figura 2.12 Límites de deriva NEC-25

2.2.3 Pasos por desarrollar para Obtener el Espectro Elástico de Diseño

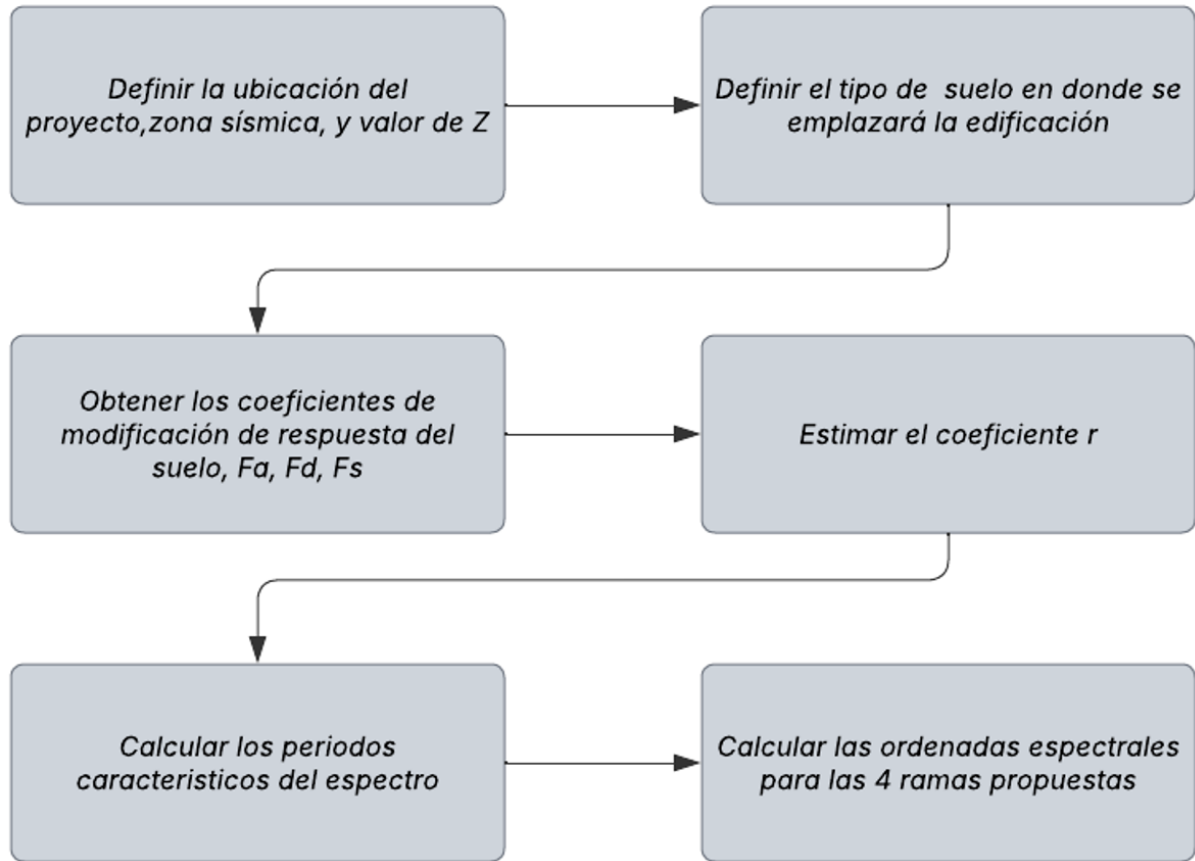


Figura 2.13 Diagrama de Flujo para Obtener el Espectro Elástico de Diseño NEC-25

2.2.4 Fases del proyecto

Para asegurar una ejecución ordenada y eficiente del análisis estructural, el proyecto se ha dividido en fases operativas claramente definidas. Cada etapa corresponde a un hito crítico en el proceso de diseño sismorresistente, permitiendo la verificación progresiva de los datos obtenidos. La **Figura 2.4** ilustra la descomposición del proyecto en sus etapas principales y las actividades comprendidas en cada una de ellas.

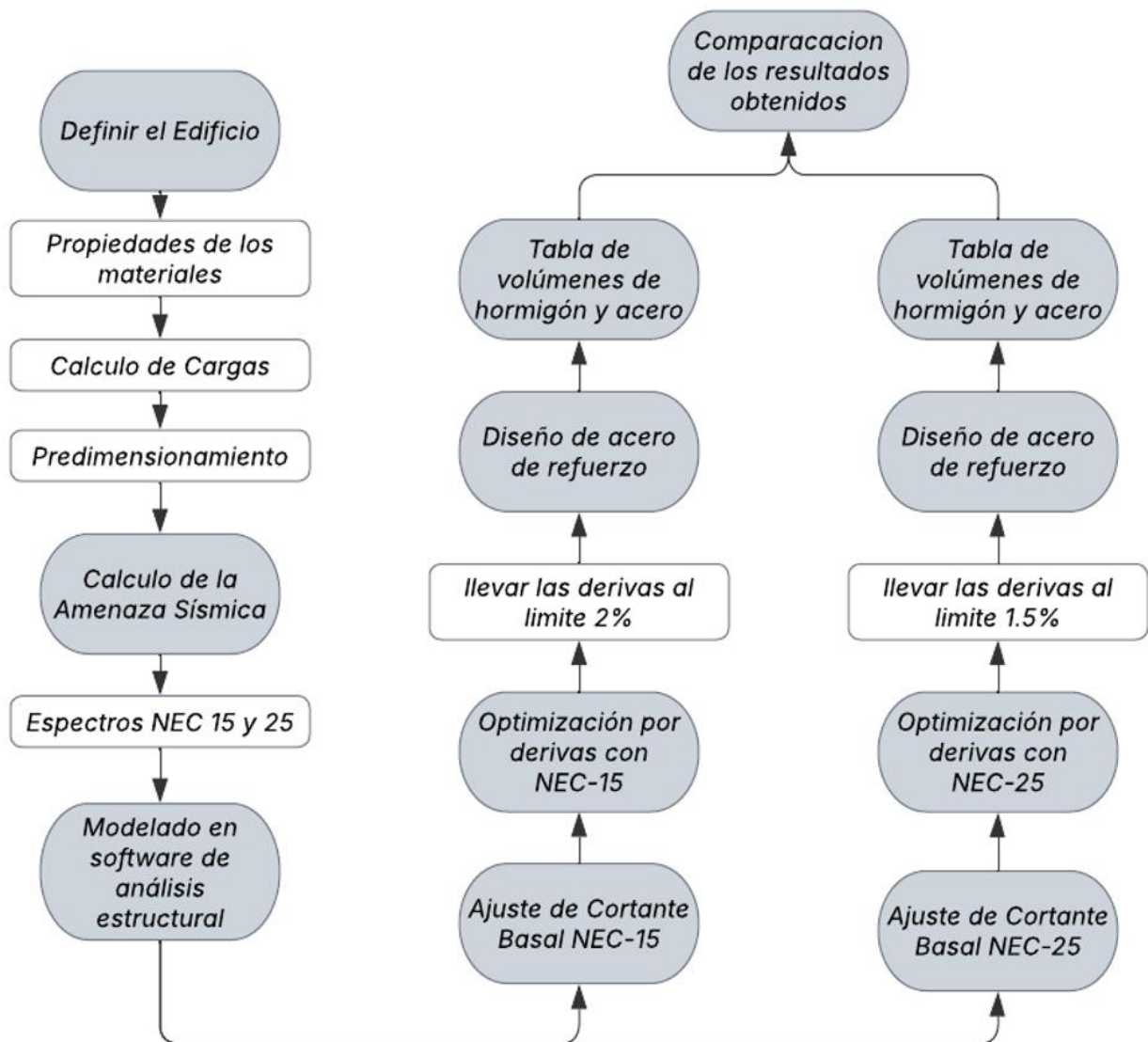


Figura 2.14 Diagrama de flujo de pasos a seguir para cumplimiento de los objetivos de la tesis

El desarrollo del proyecto se estructura en las siguientes fases secuenciales:

Fase 1: Definición del Modelo Base

Se establecerá una arquitectura fija para evitar sesgos en los que se definirán la tipología, el sistema estructural, materiales y las medidas.

Fase 2: Determinación de la Amenaza Sísmica

- Cálculo del espectro NEC-15 usando el mapa de zonificación vigente ($Z=0.40$ para Guayaquil).
- Cálculo del espectro NEC-2025 utilizando los mapas preliminares o factores actualizados disponibles en el borrador de la norma.

Fase 3: Modelación y Análisis Estructural

Se utilizará software de elementos finitos.

1. Modelado de la geometría.
2. Asignación de cargas gravitacionales (Muerta y Viva).
3. Análisis Modal Espectral (Dinámico) para ambos escenarios.
4. Verificación de irregularidades en planta y elevación.

Fase 4: Diseño e Iteración

- Diseño A (NEC-15): Se dimensionarán las secciones (pre-diseño) y se ajustarán hasta cumplir con las derivas máximas permitidas por NEC-15. Luego se diseñará el refuerzo.
- Diseño B (NEC-2025): Se iniciará con las secciones del Diseño A y se ajustarán (aumentando o reduciendo) según sea necesario para cumplir con los controles de deriva y resistencia de la NEC-2025.

Fase 5: Extracción de Datos y Comparación

Se generarán tablas comparativas de:

- Cortante Basal (V).
- Derivas máximas inelásticas (γ).
- Volumen total de hormigón (m^3).
- Peso total de acero de refuerzo longitudinal y transversal (kg).
- Ratio de acero (kg/m^3).

2.2.5 Herramientas y Software

- **Software de Análisis Estructural:** Para el análisis sísmico y diseño de elementos.
- **Software de Tabulación:** Para la tabulación de cuantías y comparación de espectros.
- **Software de dibujo asistido por computadora:** Para la generación de planos esquemáticos de los pórticos tipo.

2.2.6 Solución a diseñar

Para cumplir con el objetivo de comparar el impacto de la transición normativa, se ha definido un modelo estructural "arquetipo" que representa la práctica constructiva habitual en la ciudad de Guayaquil para edificaciones de mediana altura. A continuación, se detallan las características geométricas, materiales y de carga que conformarán el pórtico.

2.2.6.1 Descripción Arquitectónica y Geométrica

El proyecto consiste en una edificación de uso mixto (comercial y oficinas) de 5 niveles sobre el terreno, sin subsuelos. La implantación presenta una geometría regular tanto en planta como en elevación para minimizar los efectos de torsión accidental y permitir una comparación directa de las fuerzas sísmicas normativas.

- **Tipología:** Edificio aporricado de Hormigón Armado.
- **Configuración en Planta:** La estructura se inscribe en un área rectangular de 18.60m times 18.10m. Se ha dispuesto una retícula estructural con vanos (luces) que oscilan entre 5.0m y 6.5m, dimensiones típicas que permiten una adecuada distribución de espacios de estacionamiento y oficinas.
- **Configuración en Elevación:** La altura total de la edificación es de 15.60m, distribuida de la siguiente manera:
 - **Planta Baja:** Altura de entrepiso de 3.60m
 - **Niveles Superiores (N2, N3, N4, N5):** Altura que varía dependiendo del piso.

Sistema de Piso: Se considera una losa nervada en una dirección o losa alivianada con bloques de poliestireno/arcilla, con un espesor total estimado de 25cm a 30cm (sujeto a validación de deflexiones), rematada con una loseta de compresión de 5cm.

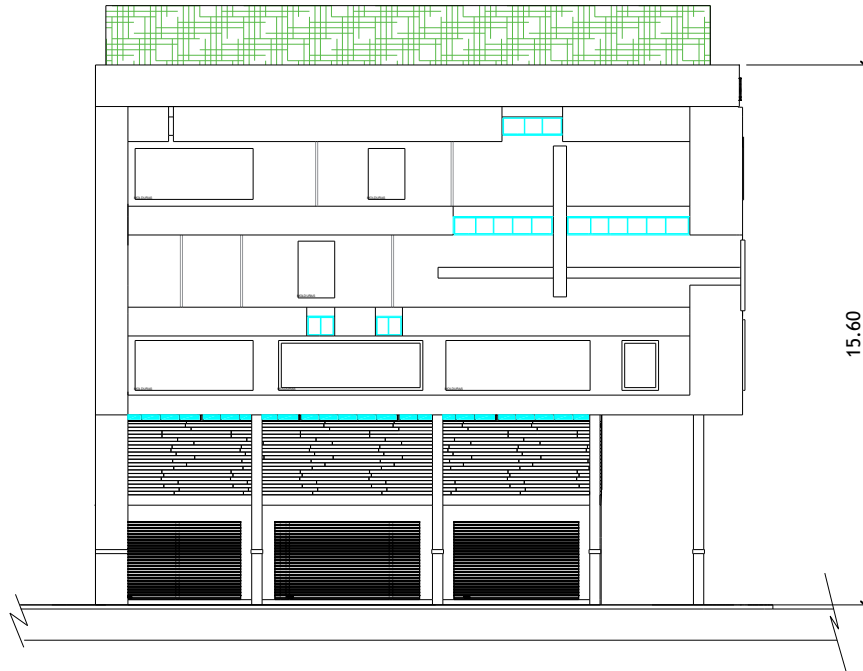


Figura 2.15: Vista en elevación

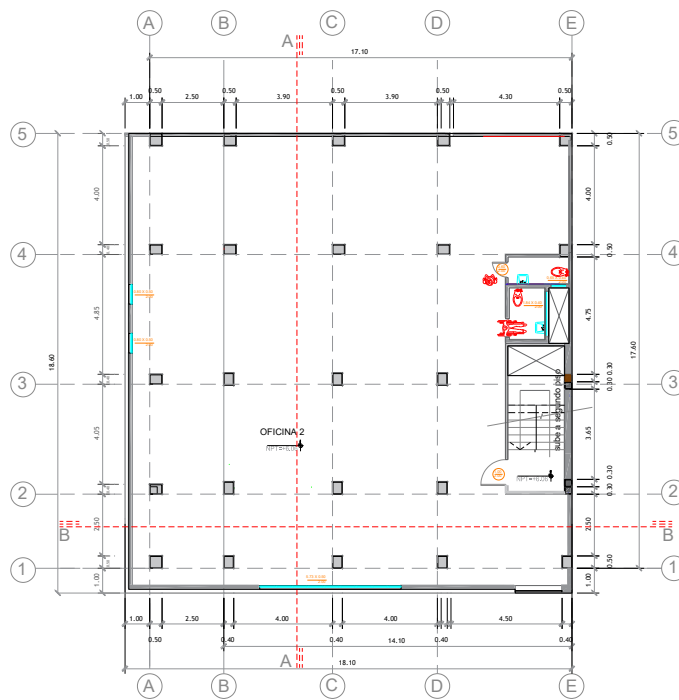


Figura 2.16: Vista en planta

2.2.6.2 Propiedades de los materiales

Se utilizarán materiales convencionales disponibles en el mercado local, cuyas propiedades mecánicas nominales y esperadas se definen a continuación para el modelado lineal elástico:

Tabla 2.2: Propiedades de los materiales

Material	Resistencia (kg/cm ²)	Peso Específico (kg/m ³)	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
Hormigón	280	2400	252671,328
Acero	4200	7850	2100000

2.2.6.3 Cargas consideradas en el diseño

2.2.6.3.1 Carga Viva

Son cargas que no siempre van a estar en el mismo lugar y que pueden cambiar sus magnitudes; en general, son cargas que la estructura soporta según el uso que tendrá la edificación (Nilson & Darwin, 1997).

Las normativas fijan las cargas vivas, en este caso tanto para la NEC-15 como para el borrador NEC-25 las cargas vivas son iguales.

Tabla 2.3: Cargas vivas por piso

Piso	Ocupación	Carga viva (kg/m ²)
Planta Mezzanine	Oficina	240
Planta nivel 2	Oficina	240
Planta nivel 3	Oficina	240
Planta nivel 4	Local	480

2.2.6.3.2 Carga Muerta

Una carga muerta es aquella que se mantiene estática en su ubicación, además de no cambiar la magnitud a lo largo del periodo de vida de la estructura. El peso propio de los componentes estructurales se determina primero. Teniendo en cuenta los pesos, además de ser tomado en

cuenta para el cálculo de la carga muerta por los dispositivos e infraestructura de agua potable, sanitaria y luz.(Nilson & Darwin, 1997)

En el trabajo presente el valor de la carga muerta se determina mediante el plano arquitectónico, usando valores como el peso específico y volúmenes de los materiales que constituyen internamente los espacios de oficina y locales comerciales. En esta parte principalmente se llega a cuantificar el peso por paredes, Enlucido de la pared, sobrepisos (cerámica/porcelanato), enlucido de losa y Bloques.

2.2.6.4 Predimensionamiento de Elementos Estructurales

El predimensionamiento estructural constituye una etapa fundamental en el proceso de diseño, permitiendo establecer las geometrías iniciales de los elementos que conforman el sistema resistente de una edificación. En el contexto ecuatoriano, caracterizado por alta actividad sísmica, estos criterios deben balancear principios de eficiencia material, economía constructiva y, sobre todo, garantías de seguridad sísmica. Este proyecto técnico sistematiza los criterios empíricos, normativos y prácticos para el predimensionamiento de columnas, vigas y losas, haciendo explícitas sus bases técnicas y alcances.

2.2.6.4.1 Metodología De Predimensionamiento

El proceso integra tres fuentes de conocimiento:

1. Criterios empíricos derivados de la práctica profesional
2. Recomendaciones de normativas internacionales (ACI 318)
3. Exigencias específicas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

2.2.6.5 Predimensionamiento De Columnas

2.2.6.5.1 Criterio Empírico Basado en Número de Pisos

La regla práctica mencionada, conocida como "Regla del 10% por piso", establece:

$$D_{mín} = 10 \times n \text{ cm} \quad (2.4)$$

Donde:

- $D_{mín}$ = Dimensión mínima del lado de la columna (cm)
- n = Número de pisos de la edificación (incluyendo planta baja)

Ejemplo: Para una edificación de 4 pisos:

$$D_{mín} = 10 \times 4 = 40 \text{ cm} \quad (2.5)$$

Bases técnicas del criterio:

Este criterio simplificado considera que, para edificaciones convencionales con alturas entre piso de aproximadamente 2.80 m y luces entre columnas de 4-6 m, la dimensión resultante garantiza:

- Índice de esbeltez ($k \cdot L_u/r$) controlado
- Capacidad axial suficiente para cargas gravitacionales acumulativas
- Secciones que facilitan el cumplimiento de la exigencia de "columna fuerte - viga débil"

2.2.6.5.2 Ajuste por Condiciones de Esbeltez y Relación de Inercias

La observación sobre la modificación de dimensiones según la longitud del vano adyacente tiene fundamento en el concepto de rigidez relativa viga-columna, crítico para el comportamiento sísmico.

Parámetros involucrados:

L_v = Luz libre de la viga en dirección considerada (m)

h_v = Peralte de la viga (m)

I_v = Inercia de la viga (m^4)

I_c = Inercia de la columna (m^4)

Ψ = Relación de rigideces

$$(\sum(E_c I_c / L_c) / \sum(E_b I_b / L_b))$$

Recomendación práctica:

Cuando un vano supera significativamente los demás (generalmente > 1.5 veces el vano típico), se recomienda:

$$h_{col,dirección\ larga} \geq 1.2 \times h_{col,dirección\ corta} \quad (2.6)$$

Esta proporción busca mantener relaciones de rigidez que limiten las derivas de piso dentro de los valores permisibles.

Para columnas centrales:

$$A_{g,req} = \frac{P_u}{0.35 \cdot f'_c} \quad (2.7)$$

Para columnas esquineras:

$$A_{g,req} = \frac{P_u}{0.25 \cdot f'_c} \quad (2.8)$$

Cargas Axiales

Tabla 2.4: Cargas axiales en columnas

Tipo de Columna	Carga de Servicio (tonnef)	Carga Última (tonnef)	Carga Última (kgf)
Central	85	113	113,000
Esquinera	46	68	68,000

Nota: 1 tonnef = 1000 kgf

Columna Central:

$$A_{g,req} = \frac{113,000}{0.35 \times 280} = \frac{113,000}{98} = 1,153.06 \text{ cm}^2 \quad (2.9)$$

Verificación con columnas propuestas:

- Columna 35×35 cm: $A_g = 1,225 \text{ cm}^2 > 1,153.06 \text{ cm}^2$ CUMPLE
- Columna 40×40 cm: $A_g = 1,600 \text{ cm}^2 > 1,153.06 \text{ cm}^2$ CUMPLE

Columna Esquinera:

$$A_{g,req} = \frac{68,000}{0.25 \times 280} = \frac{68,000}{70} = 971.43 \text{ cm}^2 \quad (2.10)$$

Verificación con columnas propuestas:

- Columna 35×35 cm: $A_g = 1,225 \text{ cm}^2 > 971.43 \text{ cm}^2$ CUMPLE
- Columna 40×40 cm: $A_g = 1,600 \text{ cm}^2 > 971.43 \text{ cm}^2$ CUMPLE

2.2.6.6 Verificación por Esbeltez (NEC-SE-HM)

2.2.6.6.1 Parámetros de Esbeltez

- Altura libre típica de piso:

$$L_u = 2.80 \text{ m} = 280 \text{ cm} \quad (2.11)$$

- Factor de longitud efectiva (para pórticos indesplazables):

$$k = 1.0$$

- Radio de giro para sección rectangular:

$$r = 0.3 \times h \quad (2.12)$$

Para columna 35×35 cm:

$$r = 0.3 \times 35 = 10.5 \text{ cm}$$

$$\frac{k \cdot L_u}{r} \quad (2.13)$$

$$\frac{1.0 \times 280}{10.5} = 26.67$$

Para columna 40×40 cm:

$$r = 0.3 \times 40 = 12.0 \text{ cm}$$

$$\frac{k \cdot L_u}{r} = \frac{1.0 \times 280}{12.0} = 23.33$$

2.2.6.6.2 Límite de Esbeltez según NEC-SE-HM 10.10.1

$$\frac{k \cdot L_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.14)$$

Para caso conservador:

$$M_1/M_2 = 0.5 \quad (2.15)$$

$$34 - 12(0.5) = 34 - 6 = 28$$

Verificación:

- Columna 35×35: $26.67 \leq 28$ CUMPLE
- Columna 40×40: $23.33 \leq 28$ CUMPLE

2.2.6.6.3 Verificación por Cuantías de Acero

Cuantía Mínima (NEC-SE-HM)

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= 0.01 \\ A_{s,min} &= \rho_{min} \times A_g \end{aligned} \quad (2.16)$$

Para columna 35×35 cm:

$$A_{s,min} = 0.01 \times 1225 = 12.25 \text{ cm}^2$$

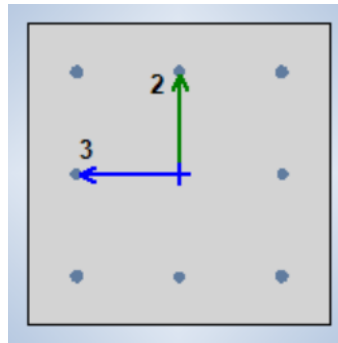


Figura 2.17: Esquema de columna 35x35cm

opción de armado: 12.32 cm²

- 8 ϕ 14 mm ($8 \times 1.54 = 12.32 \text{ cm}^2$)

Para columna 40×40 cm:

$$A_{s,min} = 0.01 \times 1600 = 16.00 \text{ cm}^2$$

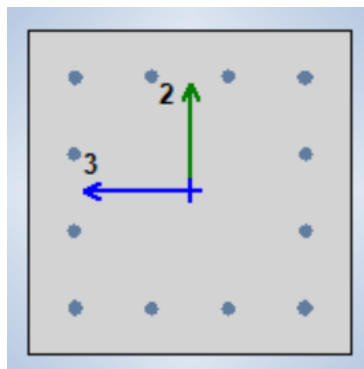


Figura 2.18: Esquema de columna 40x40 cm

Opciones de armado: 17.08 cm²

- 4 ϕ 16 mm ($4 \times 2.01 = 8.04 \text{ cm}^2$)
- 8 ϕ 14 mm ($8 \times 1.54 = 9.04 \text{ cm}^2$)

Cuantía Máxima (NEC-SE-HM)

$$\rho_{max} = 0.06$$

(prácticamente limitar a 0.04 por congestión)

Verificación:

- Columna 35×35: $\rho_{actual} = 12.32/1225 = 0.01$ (1%)
- Columna 40×40: $\rho_{actual} = 16.00/1600 = 0.01$ (1%)

2.2.6.6.4 Verificación del Criterio Empírico

Regla del 10% por piso:

$$D_{mín} = 10 \times n \text{ cm}$$

Si asumimos edificio de 4 pisos:

$$D_{mín} = 10 \times 4 = 40 \text{ cm}$$

La columna de 35×35 cm sería marginal para 4 pisos según este criterio. Se recomienda:

- Para edificios ≤ 3 pisos: 35×35 cm aceptable
- Para edificios ≥ 4 pisos: preferir 40×40 cm

2.2.6.7 Predimensionamiento De Vigas

2.2.6.7.1 Criterios Normativos ACI 318-19

La normativa internacional ACI 318-19 establece rangos recomendados en su Capítulo 9:

Para vigas continuas (múltiples vanos):

$$\frac{L}{18} \leq h \leq \frac{L}{12} \quad (2.17)$$

Para vigas simplemente apoyadas:

$$\frac{L}{16} \leq h \leq \frac{L}{10} \quad (2.18)$$

Donde:

- h = Peralte total de la viga (m)
- L = Luz libre entre apoyos (m)

2.2.6.7.2 Adaptación para Pórticos Monolíticos en Ecuador

Considerando que la mayoría de los pórticos en Ecuador son monolíticos (vigas-columna integrales), se aplica:

Vigas principales (resistentes a momentos):

$$h = \frac{L}{12} \text{ a } \frac{L}{10} \quad (2.19)$$

Con ancho mínimo:

$$b \geq 25 \text{ cm (NEC-SE-HM)}$$

Vigas secundarias:

$$h = \frac{L}{15} \text{ a } \frac{L}{12} \quad (2.20)$$

Relación ancho/peralte recomendada:

$$0.3 \leq \frac{b}{h} \leq 0.6 \quad (2.21)$$

2.2.6.7.3 Limitaciones por Capacidad Sísmica

Para elementos en zonas de disipación de energía (NEC-SE-HM):

- Ancho mínimo: 25 cm
- $b \geq 0.3h$
- $b \leq b_c + 0.75h$ (cada lado) para vigas que enmarquen columnas

Donde b_c es la dimensión de la columna en dirección perpendicular a la viga.

Cálculos:

Dirección Y (L = 5.25 m)

$$h_{min} = \frac{5.25}{18} = 0.2917 \text{ m} = 29.17 \text{ cm}$$
$$h_{max} = \frac{5.25}{12} = 0.4375 \text{ m} = 43.75 \text{ cm}$$

Propuesta:

- Peralte: $h = 40$ cm (ligeramente superior al máximo recomendado, justificado por sismicidad)

- Ancho: $b = 30$ cm (relación $b/h = 30/45 = 0.67$, dentro de rango 0.3-0.6 es aceptable)

Dirección Y ($L = 4.95$ m)

$$h_{min} = \frac{4.95}{18} = 0.2750 \text{ m} = 27.50 \text{ cm}$$

$$h_{max} = \frac{4.95}{12} = 0.4125 \text{ m} = 41.25 \text{ cm}$$

Propuesta:

- Peralte: $h = 40$ cm
- Ancho: $b = 30$ cm (relación $b/h = 30/40 = 0.75$, considerar reducir a 25 cm)

2.2.6.8 Predimensionamiento De Losas

2.2.6.8.1 Losas Macizas en Una Dirección (ACI 318-19, Tabla 7.3.1.1)

Tabla 2.5: Relación Peralte/Luz en condición de apoyo

Condición de Apoyo	Relación Peralte/Luz
Simplemente apoyada	$h/L = 1/20$
Un extremo continuo	$h/L = 1/24$
Ambos extremos continuos	$h/L = 1/28$
Voladizo	$h/L = 1/10$

2.2.6.8.2 Adaptación para Losas Nervadas

Para losas alivianadas (nervadas), se utiliza el concepto de inercia equivalente:

Paso 1: Determinar peralte equivalente de losa maciza

$$h_{eq} = \frac{L}{\text{Factor}} \times CF \quad (2.22)$$

Donde CF es un factor de corrección entre 0.7-0.85 según el sistema de alivianamiento.

Paso 2: Calcular inercia equivalente

$$I_{eq} = \frac{b \cdot h_{eq}^3}{12} \times \eta \quad (2.23)$$

Donde η considera la contribución de los nervios y la losa de compresión (típicamente 0.65-0.75).

Recomendación práctica para nervios:

- Altitud del nervio: 20-30 cm
- Ancho del nervio: 10-15 cm
- Separación entre nervios: 50-80 cm
- Espesor losa de compresión: 5-7 cm

Cálculos:

Peralte Mínimo para Losa Maciza

Para losas continuas (un extremo continuo):

$$h_{min,maciza} = \frac{L}{24} \tag{2.24}$$

Asumiendo luz máxima de losa entre vigas: $L_{losa} = 4.95$ m

$$h_{min,maciza} = \frac{4.95}{24} = 0.20 \text{ m} = 20 \text{ cm} \tag{2.25}$$

2.2.6.8.3 Factor de Equivalencia para Losa Nervada

Para losas nervadas, el peralte total debe ser aproximadamente 1.3 a 1.5 veces el de una losa maciza equivalente:

$$\begin{aligned} h_{nervada} &= (1.3 \text{ a } 1.5) \times h_{maciza} \\ h_{nervada,min} &= 1.3 \times 20 = 26 \text{ cm} \\ h_{nervada,max} &= 1.5 \times 20 = 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

Verificación:

$h_{propuesto} = 25$ cm está prácticamente dentro del rango CUMPLE

2.2.6.9 Resumen predimensionamiento

Tabla 2.6: Resumen del predimensionamiento

Elemento	Propuesta	Requerido	Estado	Observación
Columna Central	35×35 cm	≥ 1,153 cm ²	CUMPLE	Adecuado
Columna Esquinera	40×40 cm	≥ 971 cm ²	CUMPLE	Adecuado
Viga Dirección X	40×30 cm	h: 29-44 cm	CUMPLE	h=40 cm OK
Viga Dirección Y	40×25 cm	h: 28-41 cm	CUMPLE	h=40 cm OK
Losa Nervada	25 cm total	≈ 24-28 cm	CUMPLE	Adecuado

2.2.6.10 Espectro de respuesta NEC-15

Se ha utilizado un código el cual automatiza la obtención del espectro de respuesta de la NEC-15 en el que se ingresan los valores de factor Z, tipo de suelo, la Región, la importancia, el factor R, los factores ϕ_p y ϕ_e , el código se encuentra en la sección de anexos.

NEC-2015: Tabulador Sísmico

NEC-2015: GENERADOR ESPECTRO

1. Factor Z: 0.40 (Zona V)

2. Suelo: E (Suelo Blando)

3. Región: Costa (n=1.80)

4. Importancia (I): 1.0 (Otras)

--- Parámetros de Reducción ---

5. Reducción R: 8

6. Phi Planta (ϕ_p): 1.0

7. Phi Elev. (ϕ_e): 1.0

VER GRÁFICOS

VER TABLA Y EXPORTAR

VER PARÁMETROS DE CÁLCULO

Nota: Ventana ajustable. Arrastre los bordes si no ve todo el contenido.

Figura 2.19: Generador de espectro NEC-15

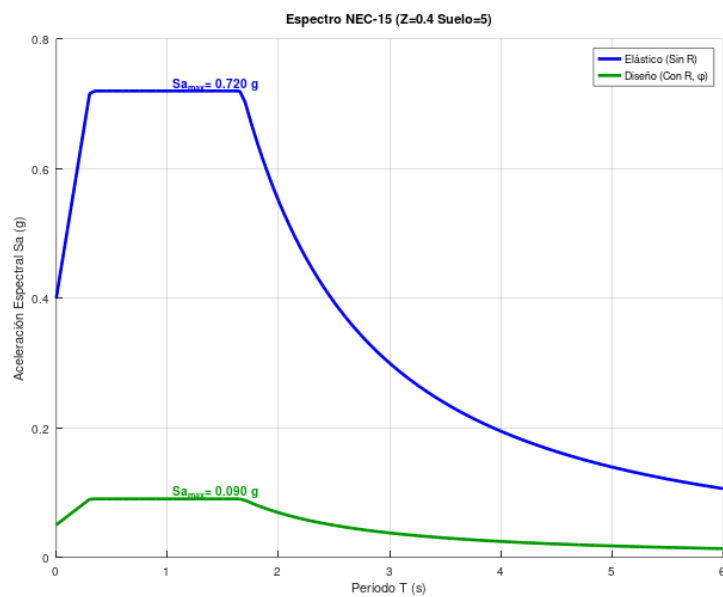
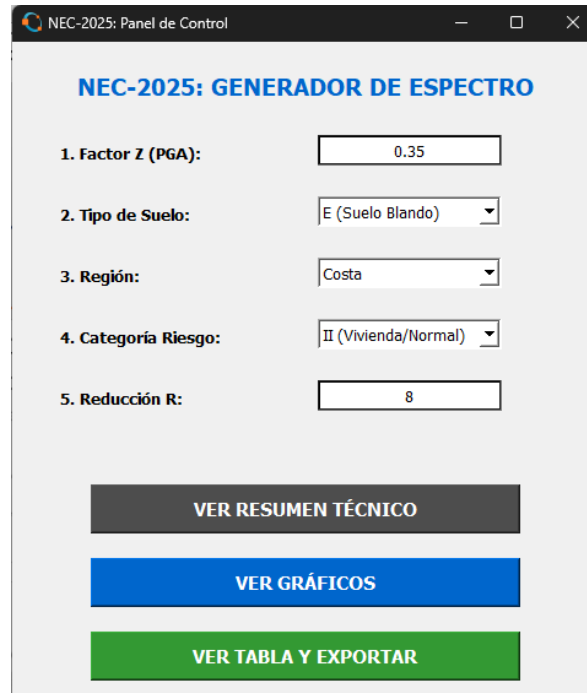


Figura 2.20: Espectro de respuesta de la NEC-15

2.2.6.11 Espectro de respuesta NEC-25

Se ha utilizado un código el cual automatiza la obtención del espectro de respuesta de la NEC-25 en el que se ingresan los valores de factor Z, tipo de suelo, la Región, Categoría de Riesgo y el factor R, el código se encuentra en la sección de anexos.



NEC-2025: Panel de Control

NEC-2025: GENERADOR DE ESPECTRO

1. Factor Z (PGA):

2. Tipo de Suelo:

3. Región:

4. Categoría Riesgo:

5. Reducción R:

VER RESUMEN TÉCNICO

VER GRÁFICOS

VER TABLA Y EXPORTAR

Figura 2.21: Generador espectro NEC-25

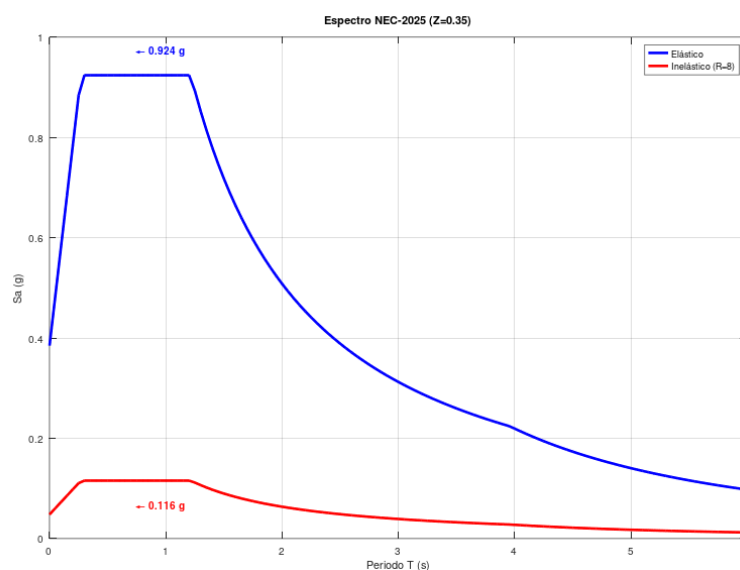


Figura 2.22: Espectro de respuesta NEC-25

2.2.6.12 *Elaboración del Modelo Matemático*

2.2.6.12.1 Metodología

Los análisis desarrollados en el presente documento consisten en la realización de un diseño estructural conforme a la normativa vigente NEC-15, y posteriormente en la aplicación del nuevo espectro sísmico y los requerimientos actualizados de la normativa NEC-25, con el objetivo de evaluar y comparar el comportamiento estructural resultante para ver si un mismo diseño estructural es capaz de satisfacer simultáneamente los requerimientos de ambas normativas o si, por el contrario, es necesario introducir modificaciones para cumplir con la nueva norma.

En una segunda etapa, se procederá a realizar los ajustes necesarios al diseño estructural existente para que cumpla específicamente con la normativa NEC-25 (2025), asegurando su correcto funcionamiento bajo los nuevos criterios normativos.

Este proceso permitirá identificar el impacto que los cambios normativos generan en el diseño estructural, particularmente en términos de incremento de exigencias, variación en las cuantías de materiales y repercusiones económicas, aspectos que constituyen un eje central del análisis y evaluación planteados en esta tesis.

Parte 1: Mismo diseño de elementos solo ajustado los requerimientos para ambas normativas:

Una vez desarrollado el modelo matemático, se procederá a la adecuación de este para el diseño estructural de acuerdo con la normativa NEC-15, asignando las cargas correspondientes al uso de la edificación, que en este caso contempla oficinas, locales comerciales y una cubierta metálica.

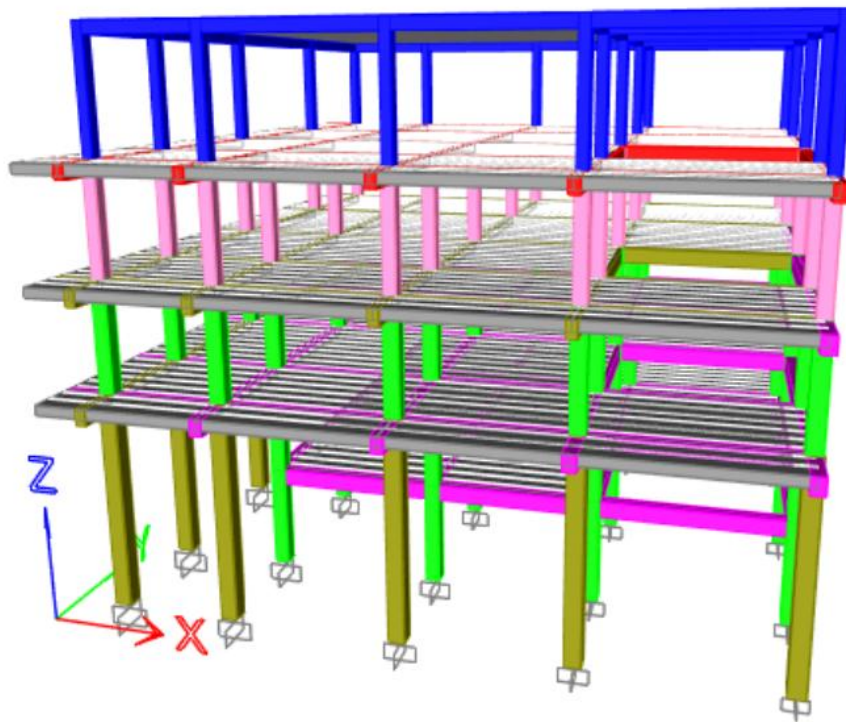


Figura 2.23: Modelo matemático tridimensional de estructura

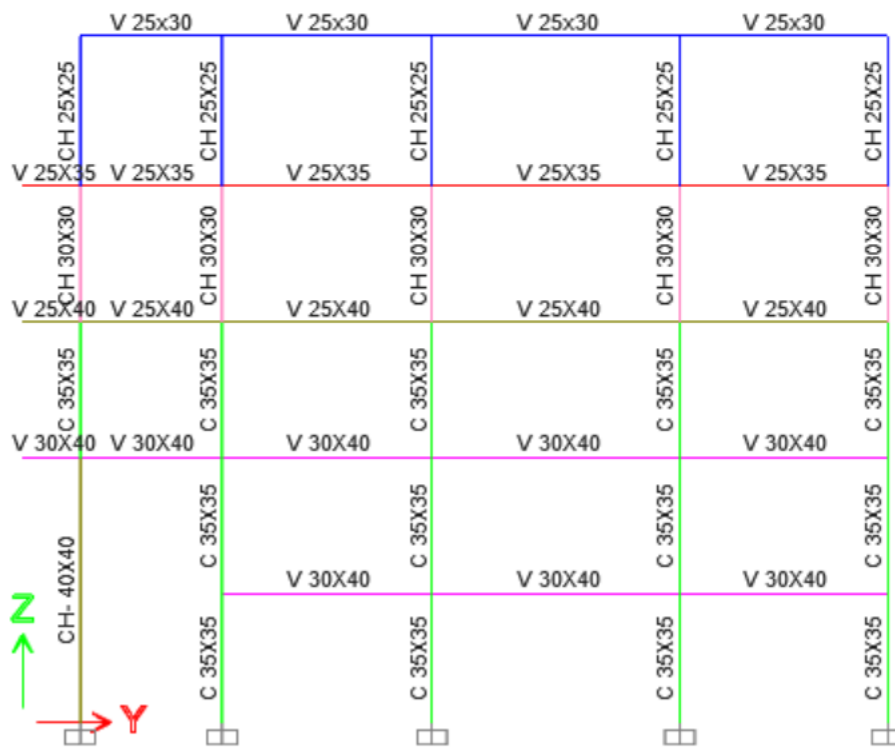


Figura 2.24: Secciones de elementos de hormigón armado

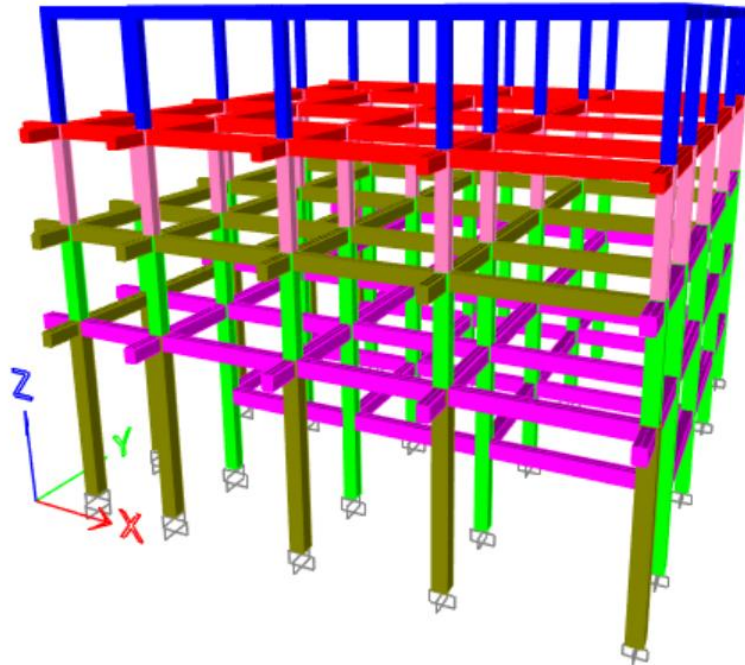


Figura 2.25: Distribución de elementos estructurales

En esta primera sección se presentarán los resultados del análisis estructural y el respectivo diseño conforme a la NEC-15. Posteriormente, al mismo modelo estructural se aplicarán únicamente los ajustes asociados a los requerimientos de la normativa NEC-25, manteniendo sin cambios las dimensiones y características de los elementos estructurales, con el fin de evaluar el comportamiento de la estructura frente al nuevo espectro sísmico. De esta manera, se analizará el incremento en las demandas estructurales, los resultados del diseño y se establecerán criterios técnicos y comentarios comparativos que permitan evaluar el nivel de exigencia impuesto por la nueva normativa.

Análisis y Diseño Estructural conforme a la Norma NEC-15

Corrección de cortante de Basal:

$$E_x = 80.91 \text{ tonf Cortante estático}$$

$$E_y = 80.91 \text{ tonf Cortante estático}$$

$$E_{X0.8} = 0.8 \cdot E_X = 0.8 \cdot 80.91 \text{ tonf} = 64.73 \text{ tonf}$$

$$E_{Y0.8} = 0.8 \cdot E_Y = 0.8 \cdot 80.91 \text{ tonf} = 64.73 \text{ tonf}$$

$$D_X = 68.71 \text{ tonf Cortante dinámico}$$

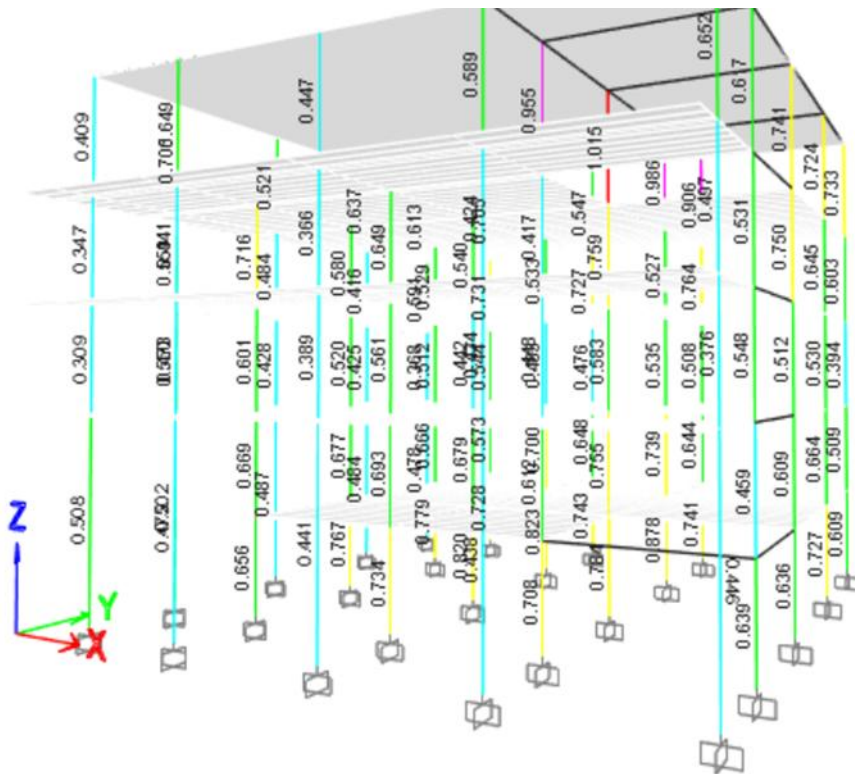
$$D_Y = 66.64 \text{ tonf Cortante dinámico}$$

$$R_1 = \frac{E_{X0.8}}{D_X} = \frac{64.73 \text{ tonf}}{68.71 \text{ tonf}} = 0.942$$

$$R_2 = \frac{E_{Y0.8}}{D_Y} = \frac{64.73 \text{ tonf}}{66.64 \text{ tonf}} = 0.971$$

No requiere amplificación:

Diseño estructural



Derivas:

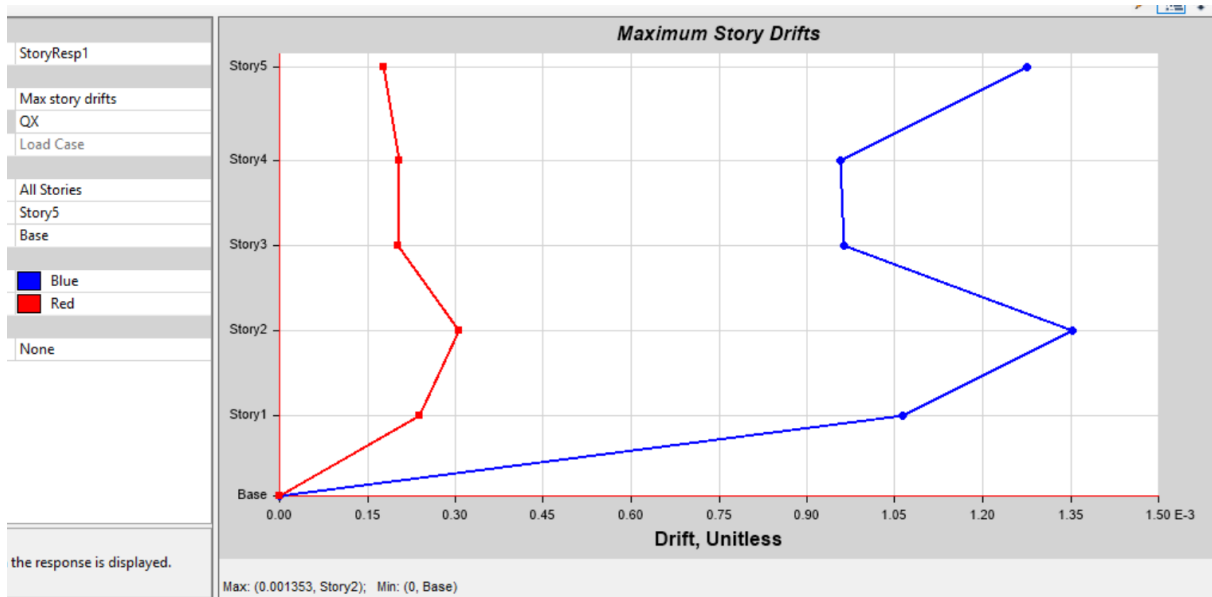


Figura 2.29: Deriva dirección X NEC-15

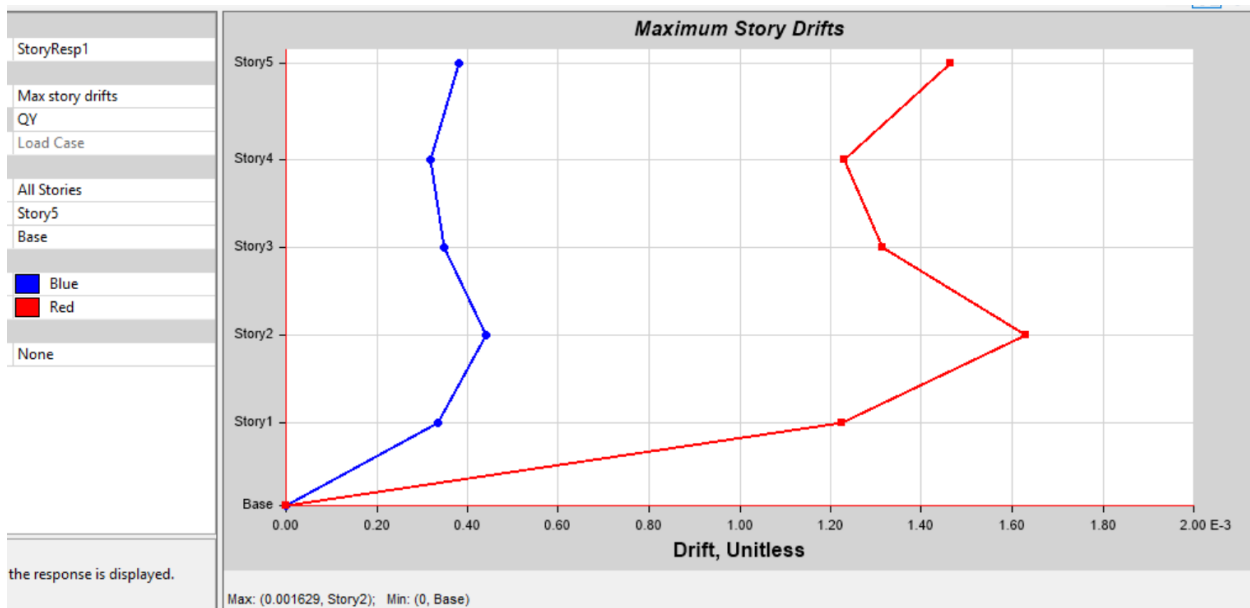


Figura 2.30: Deriva dirección Y NEC-15

DERIVAS

$$R = 8$$

$$\rho_X = 0.00135 \cdot 0.75 \cdot R = 0.00135 \cdot 0.75 \cdot 8 = 0.00812 \text{ menor que } 0.02 \text{ OK}$$

$$\rho_Y = 0.00316 \cdot 0.75 \cdot R = 0.00316 \cdot 0.75 \cdot 8 = 0.019 \text{ menor que } 0.02 \text{ OK}$$

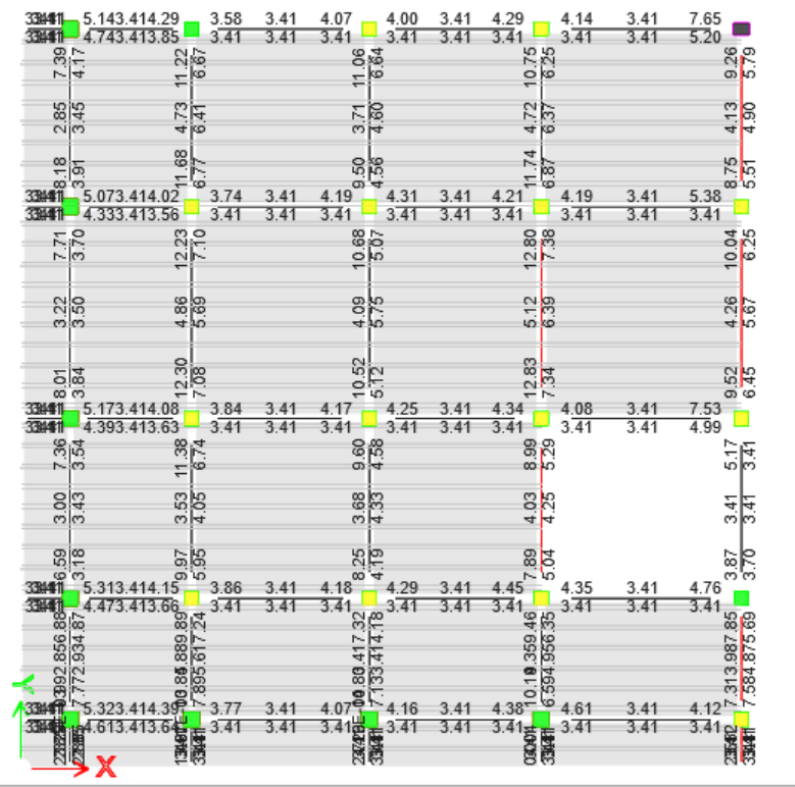


Figura 2.33: Aceros requeridos por NEC-25 LPA2

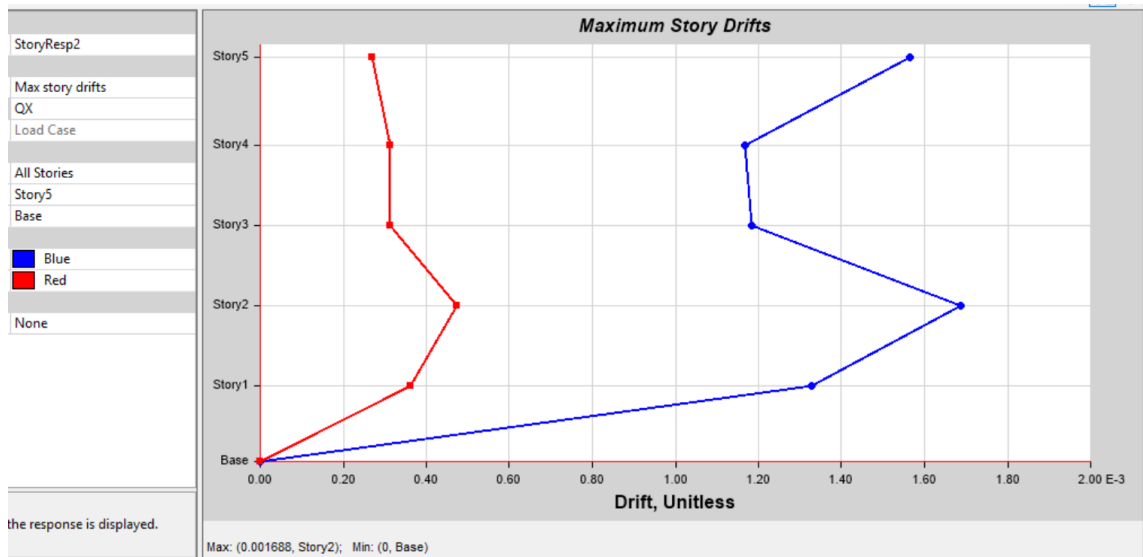


Figura 2.34: Deriva dirección X NEC-25

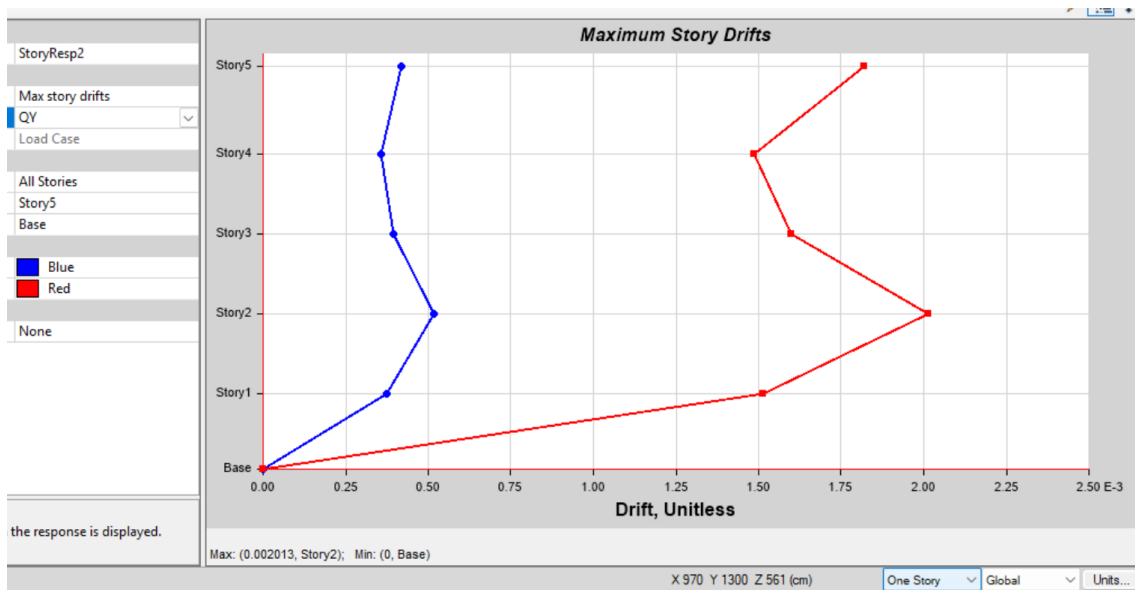


Figura 2.35: Deriva dirección Y NEC-25

DERIVAS

$$R = 8$$

$$\rho_X = 0.00169 \cdot 0.75 \cdot R = 0.00169 \cdot 0.75 \cdot 8 = 0.0101 \text{ menor que } 0.0018 \text{ OK}$$

$$\rho_Y = 0.00201 \cdot 0.75 \cdot R = 0.00201 \cdot 0.75 \cdot 8 = 0.0121 \text{ menor que } 0.0018 \text{ OK}$$

Parte 2: Diseñar la estructura independientemente con la norma NEC-25

Esta parte del análisis consiste en ajustar el diseño estructural con el objetivo de que las estructuras presenten comportamientos equivalentes bajo ambas normativas; es decir, que trabajen a niveles de capacidad similares, con derivas comparables y un desempeño estructural equivalente.

Para lograr este objetivo, será necesario optimizar y reforzar el diseño desarrollado conforme a la NEC-15, lo cual puede implicar el aumento de secciones, la modificación de las dimensiones de vigas, columnas u otros elementos estructurales, así como la implementación de cualquier ajuste adicional requerido para cumplir con los criterios establecidos por la normativa vigente. Estas modificaciones permitirán que la estructura alcance un

comportamiento estructural similar al obtenido con la normativa anterior, pero bajo las nuevas exigencias reglamentarias.

Como consecuencia de estos ajustes, se generarán variaciones en las cantidades de materiales, lo que permitirá realizar una comparación integral, no solo desde el punto de vista técnico y estructural, sino también económico, evaluando el impacto que la normativa actual tiene sobre los costos del proyecto.

El primer ajuste realizado al modelo matemático, con el fin de garantizar un comportamiento estructural óptimo como el de la NEC-15, consiste en mantener la misma sección de columna en el último piso. Con la normativa anterior, una sección de 25×25 cm resultaba suficiente y cumplía con los requisitos; sin embargo, bajo la normativa vigente NEC-2025, se requiere una sección de 30×30 cm para cumplir por capacidad.

El resto de los elementos estructurales cumplen no es necesario modificarlas, pero lo que si se requiere es aumentar la cuantía en el diseño estructural en ciertos elementos de vigas y columnas. Lo que se podrá verificar al final en el cálculo de las cantidades de material.

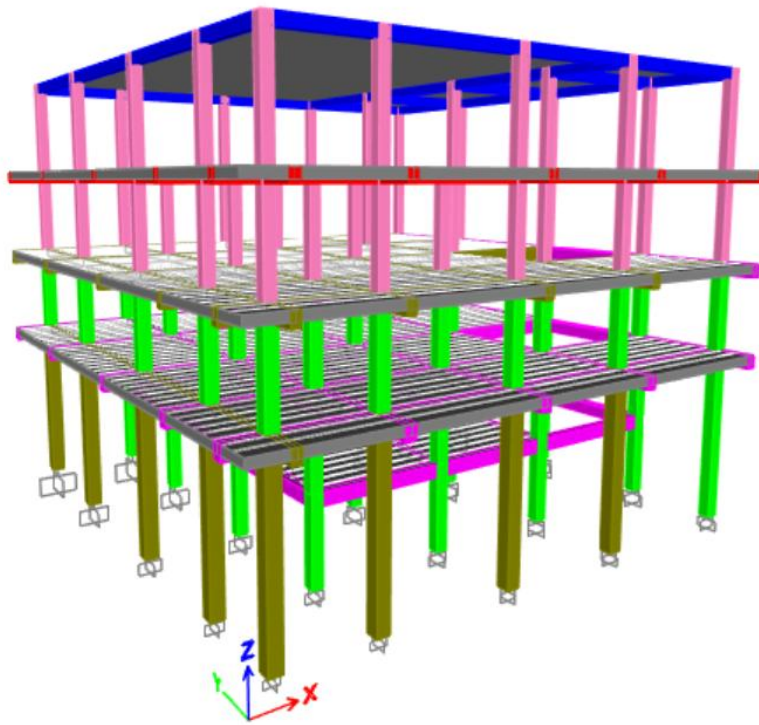


Figura 2.36: Deriva dirección Y NEC-25

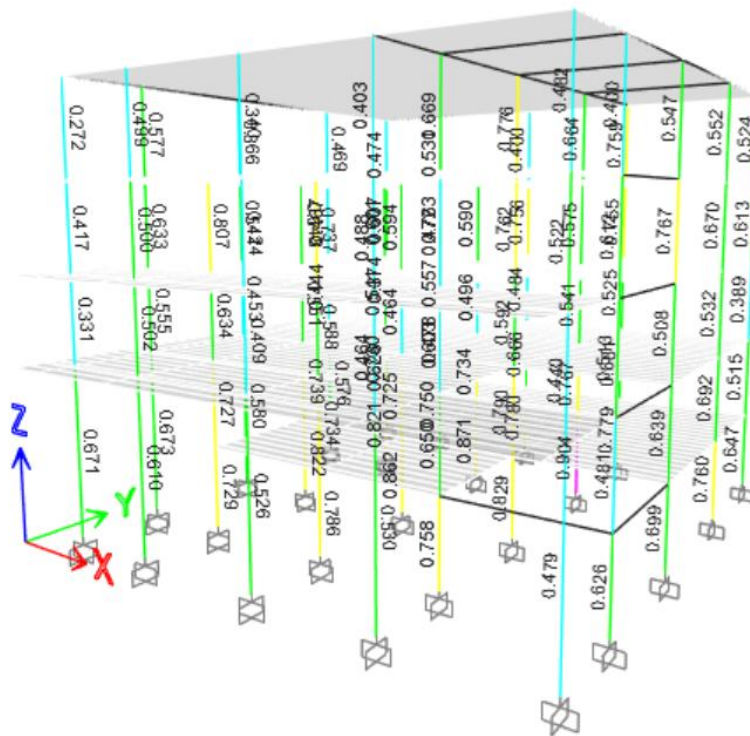


Figura 2.37: Diseño NEC-25 independiente

Así mismo se presenta los aceros del diseño estructural requeridos con la normativa NEC-25.

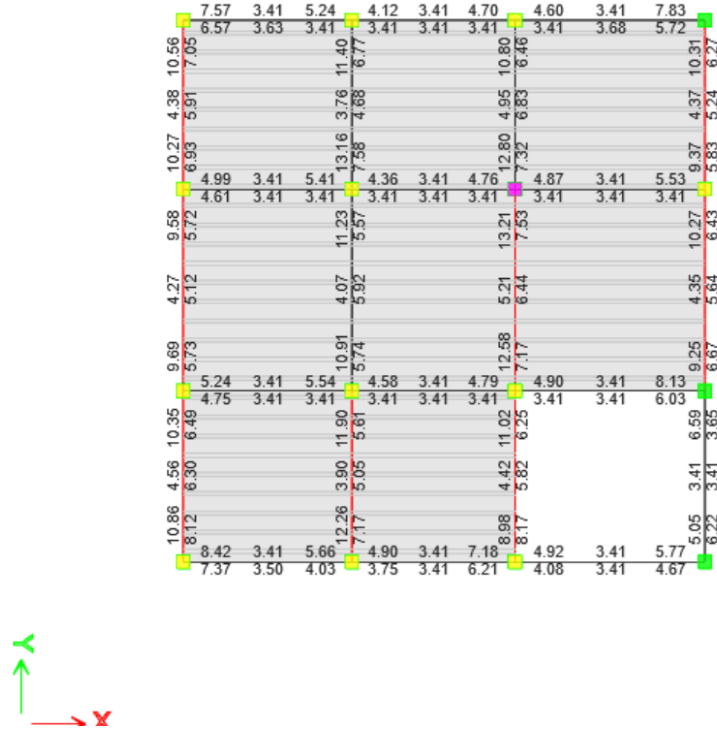


Figura 2.38: Diseño a flexión con NEC-2025 LPA1

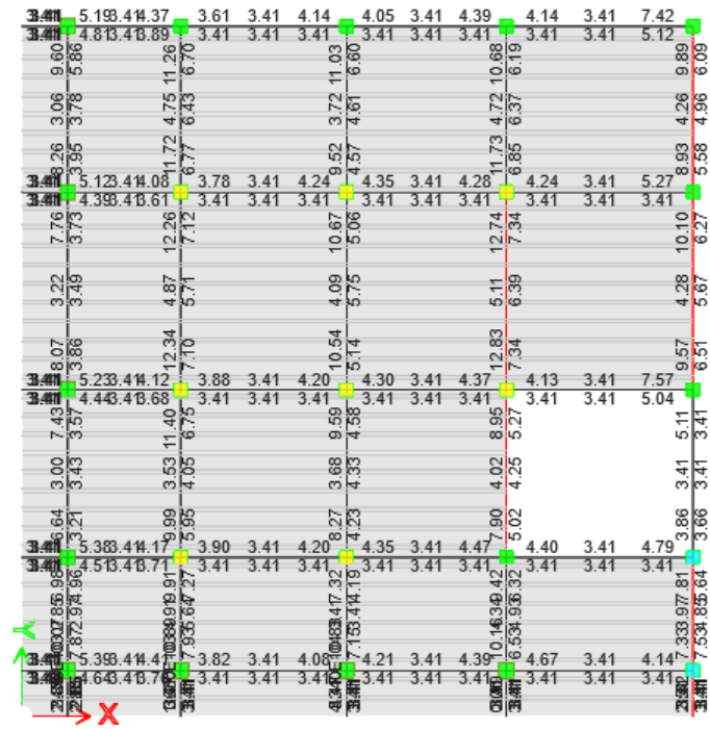


Figura 2.39: Acero a flexión NEC-25 LPA2

En esta sección se presenta el diseño de cada uno de las vigas y columnas, tanto para la normativa NEC-15, como para la normativa NEC-25

VIGAS DIRECCIÓN X, Y NEC-15



Figura 2.40: Viga dirección X, planta alta 1

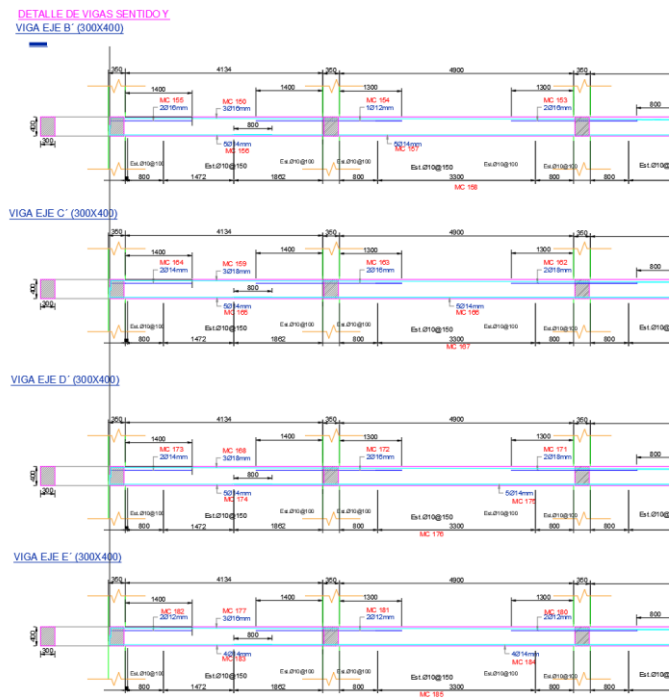


Figura 2.41: Viga dirección Y, planta alta 1

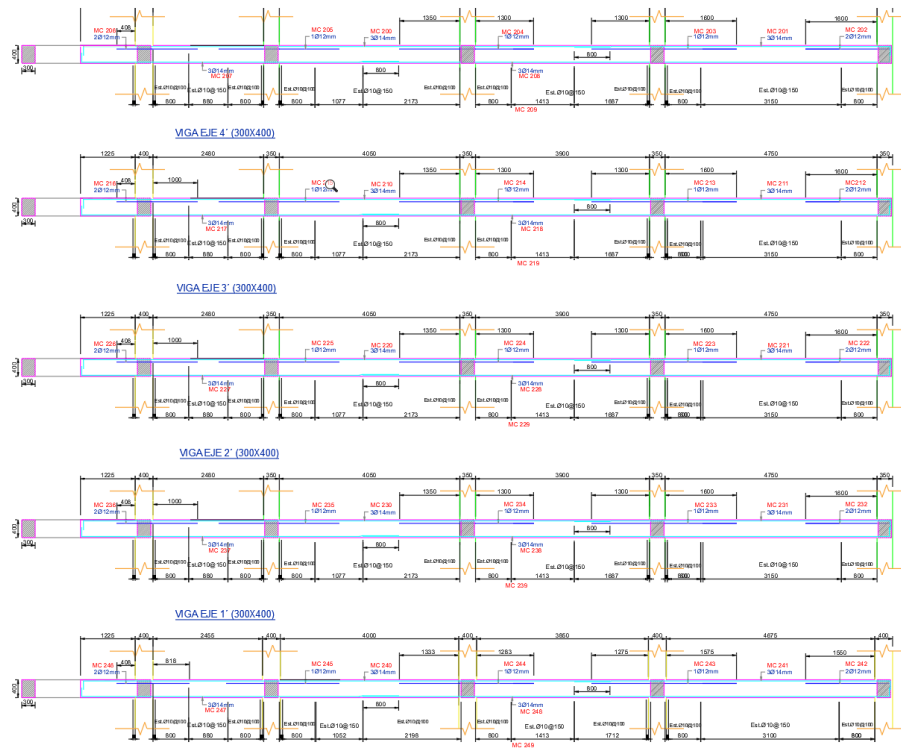


Figura 2.42: Viga dirección X, planta alta 2

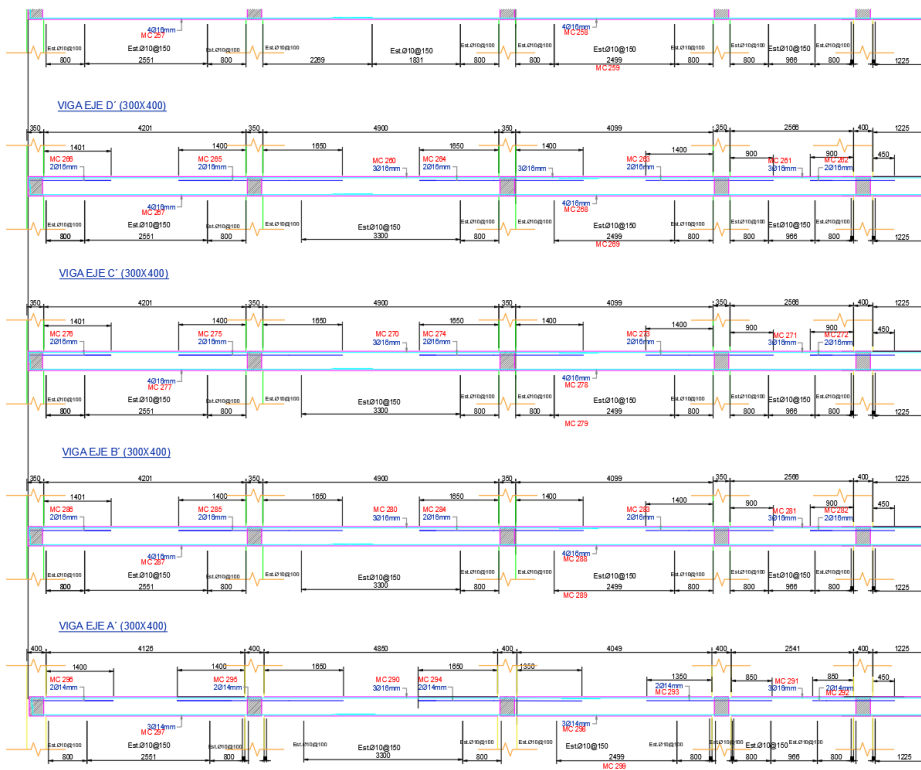


Figura 2.43: Viga dirección Y, planta alta 2

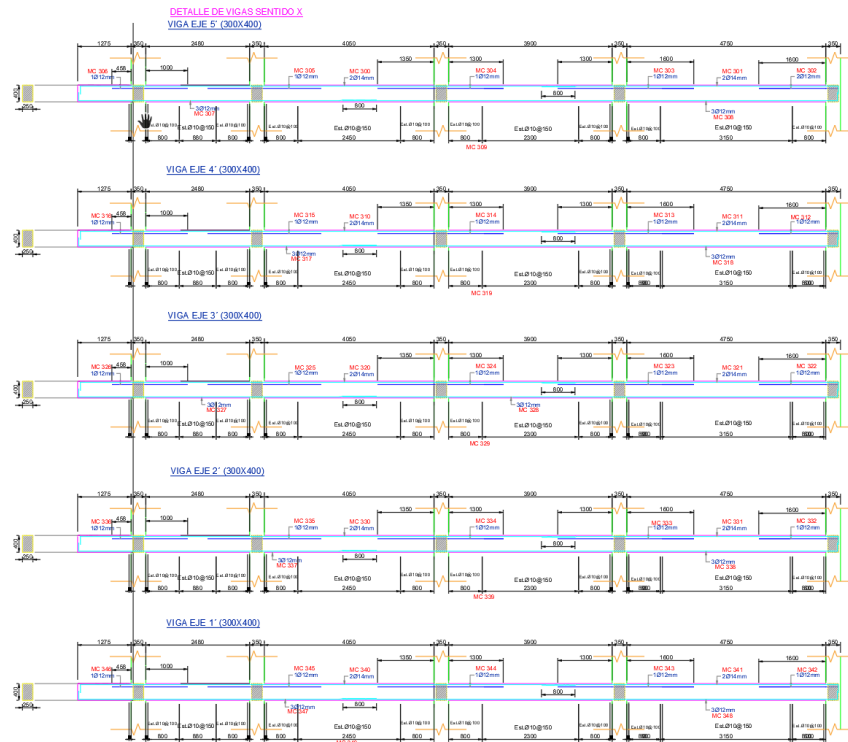


Figura 2.44: Viga dirección X, planta alta 3

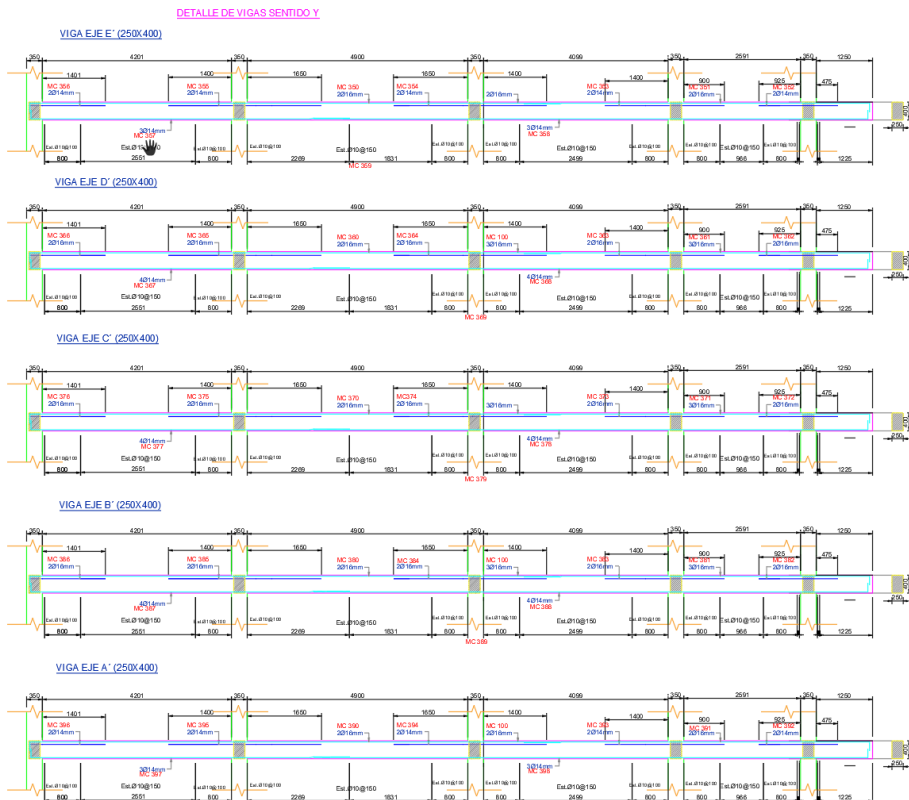


Figura 2.45: Viga dirección Y, planta alta 3

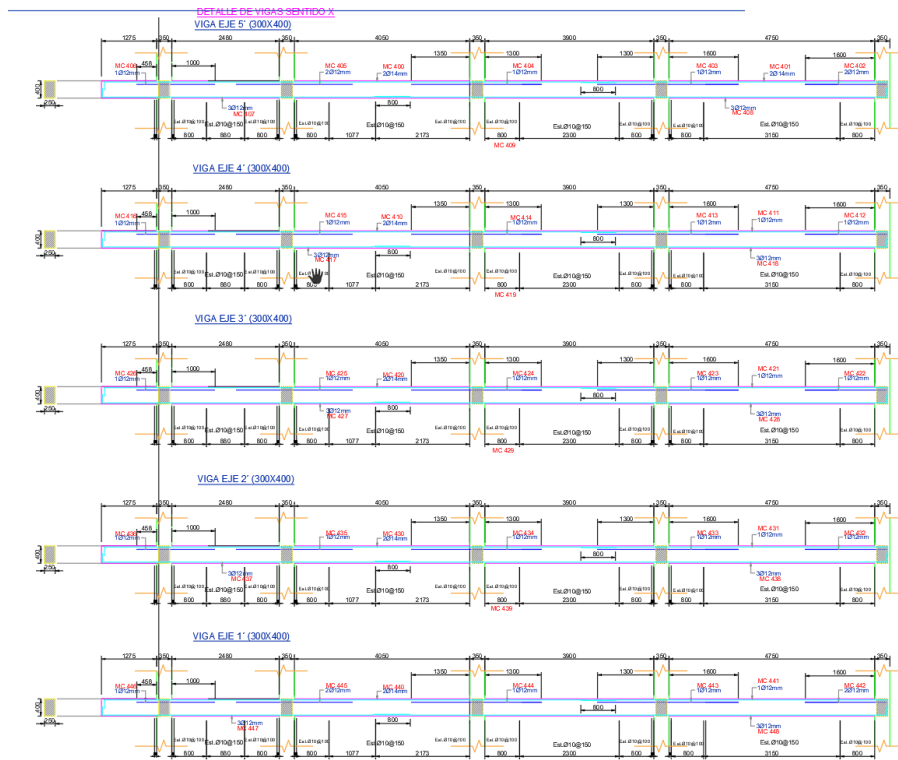


Figura 2.46: Viga dirección X, planta alta 4

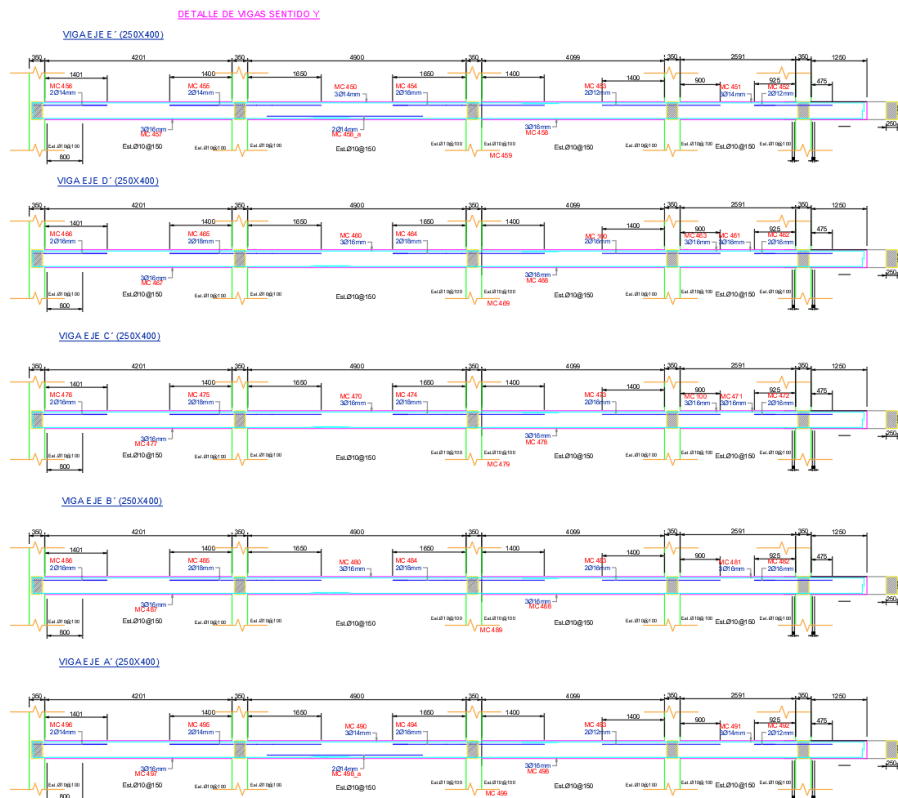


Figura 2.47: Viga dirección Y, planta alta 4

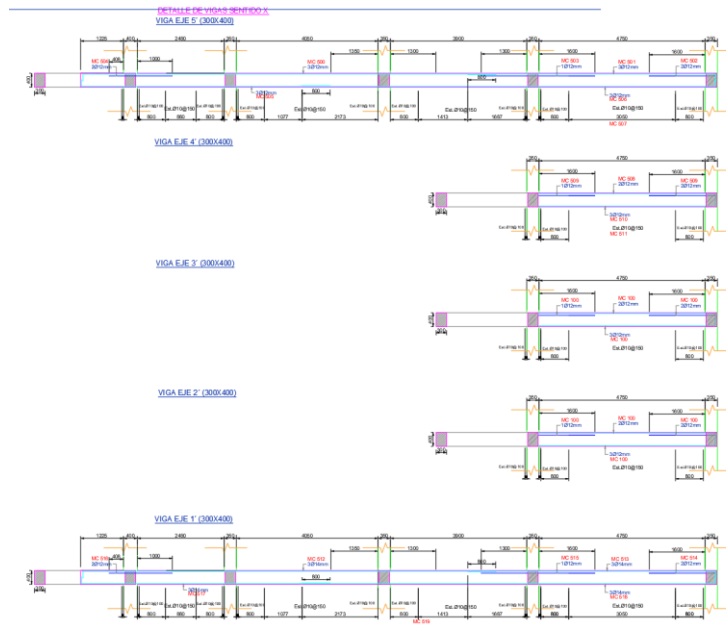


Figura 2.48: Viga dirección X, planta alta 5

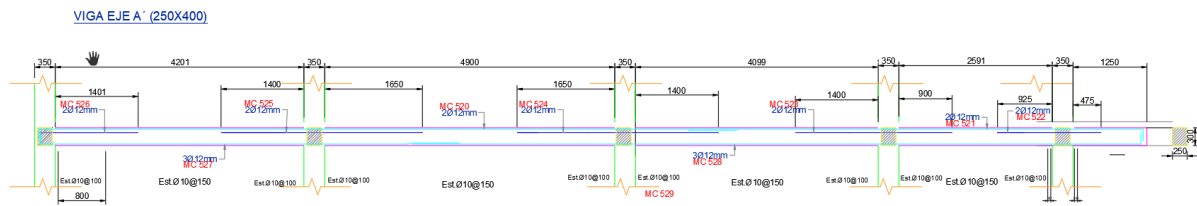


Figura 2.49: Viga dirección Y, planta alta 5

VIGAS DIRECCIÓN X, Y NEC-25

VIGAS DIRECCIÓN X, PLANTA ALTA 1:
ESC. 1/50

DETALLE DE VIGAS SENTIDO X
VIGA EJE 5' (300X400)

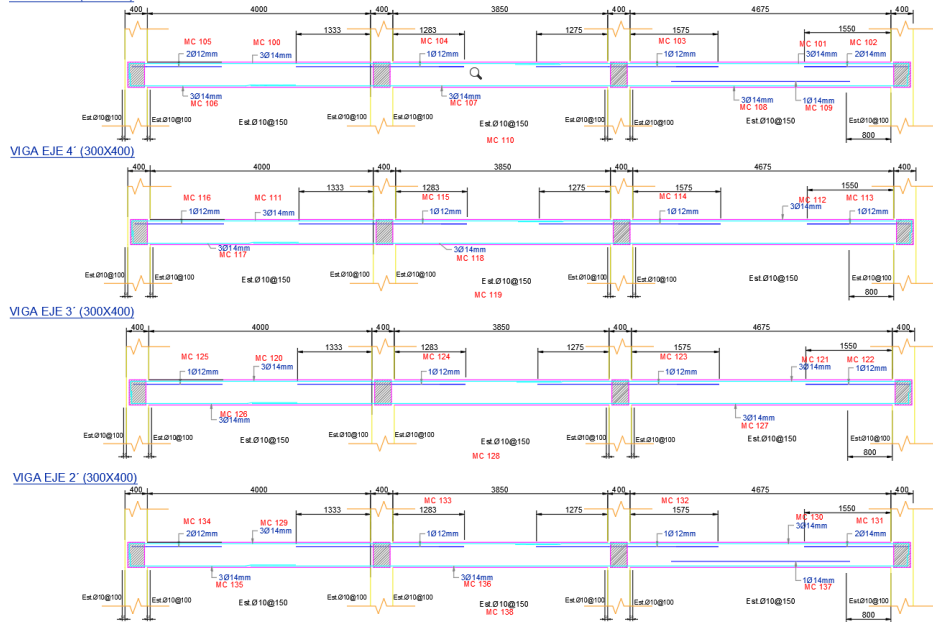


Figura 2.50: Viga dirección X, planta alta 1

DETALLE DE VIGAS SENTIDO Y
VIGA EJE E' (300X400)

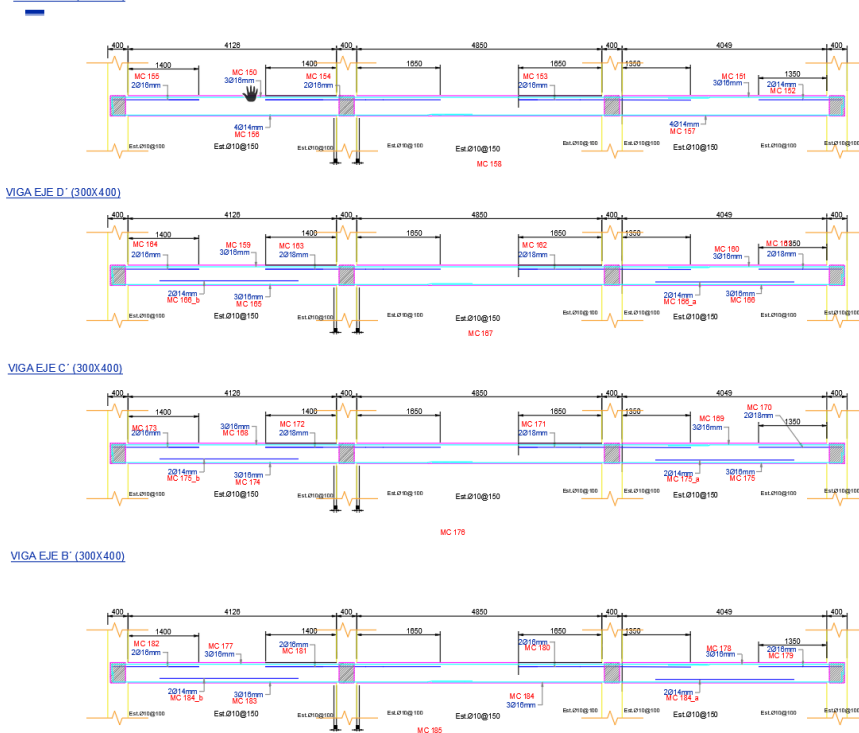


Figura 2.51: Viga dirección Y, planta alta 1

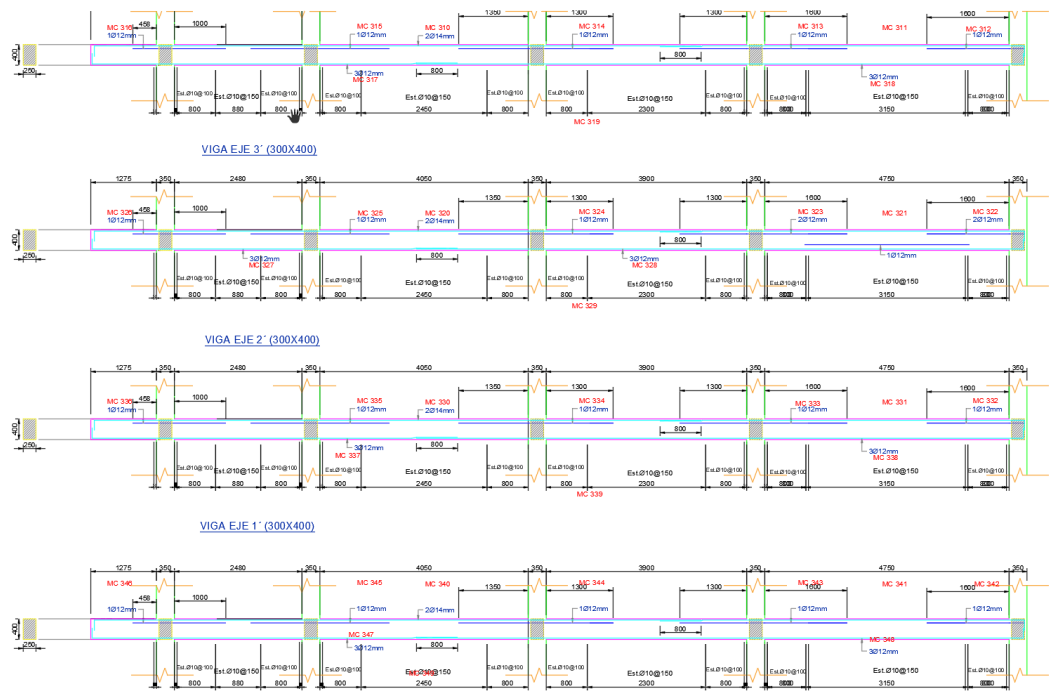


Figura 2.54: Viga dirección X, planta alta 3

DETALLE DE VIGAS SENTIDO Y

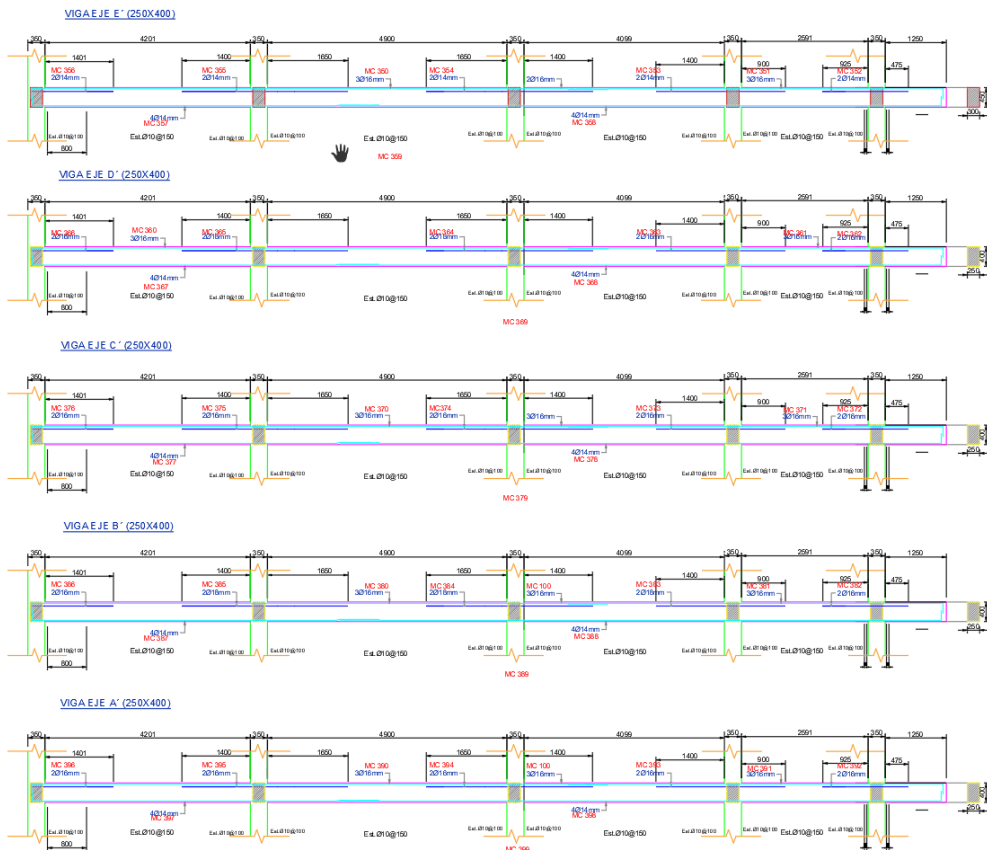


Figura 2.55: Viga dirección Y, planta alta 3

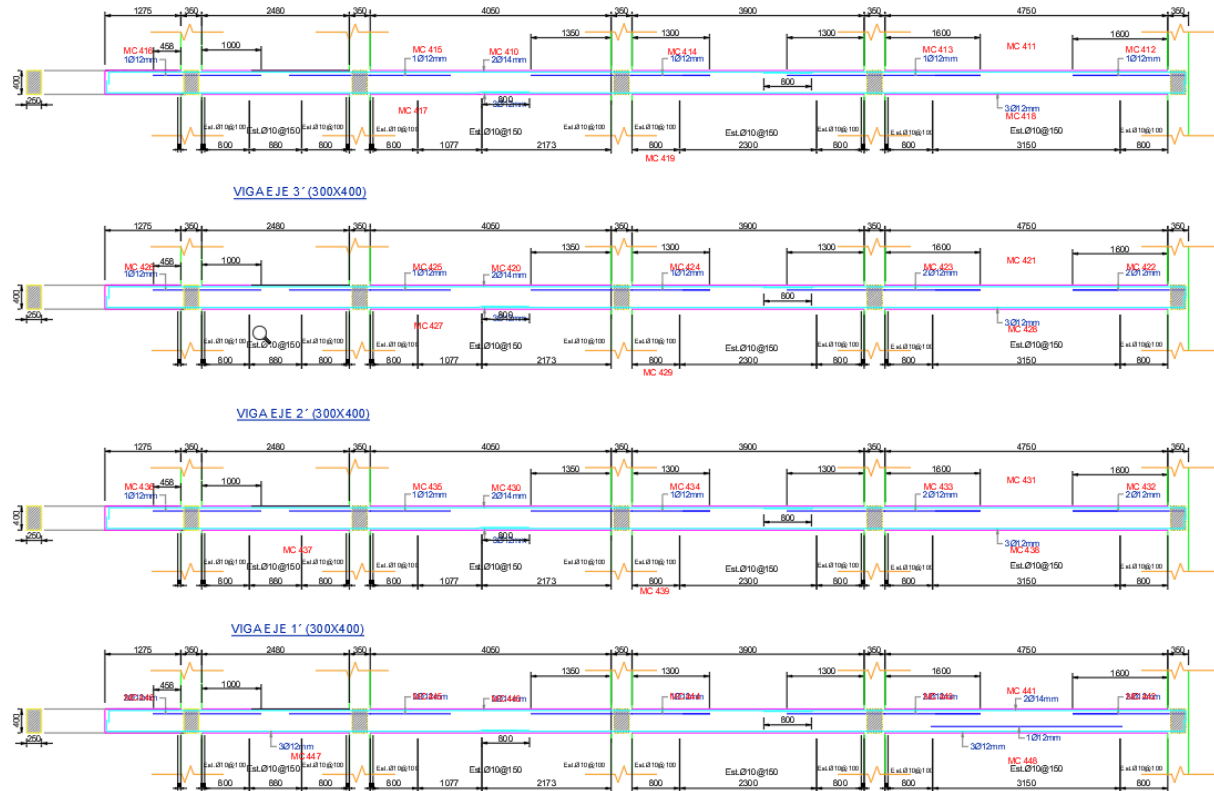


Figura 2.56: Viga dirección X, planta alta 4

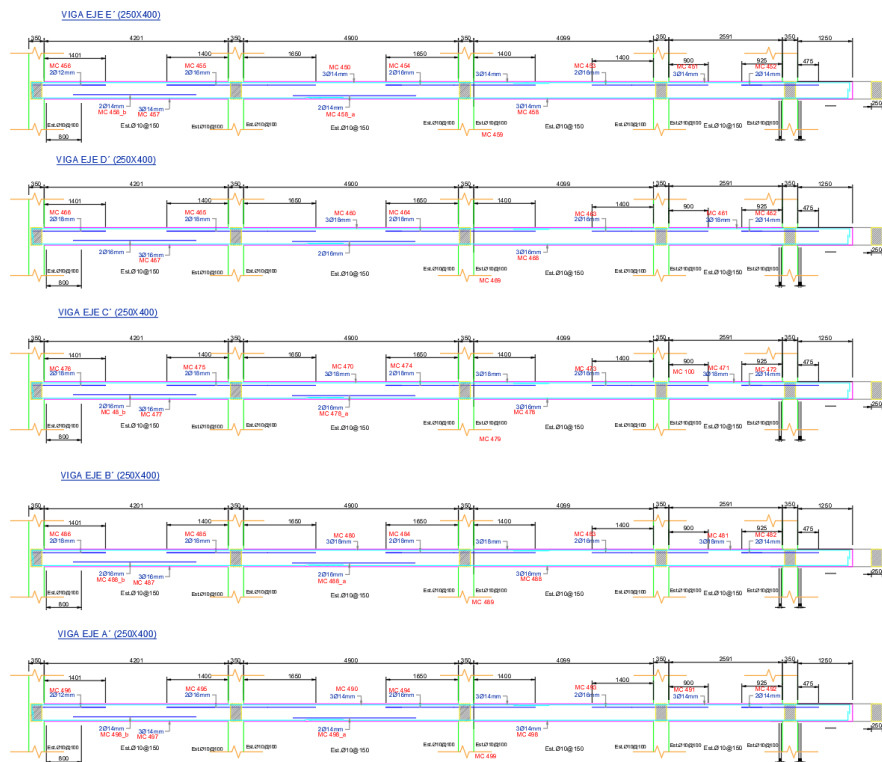


Figura 2.57: Viga dirección Y, planta alta 4

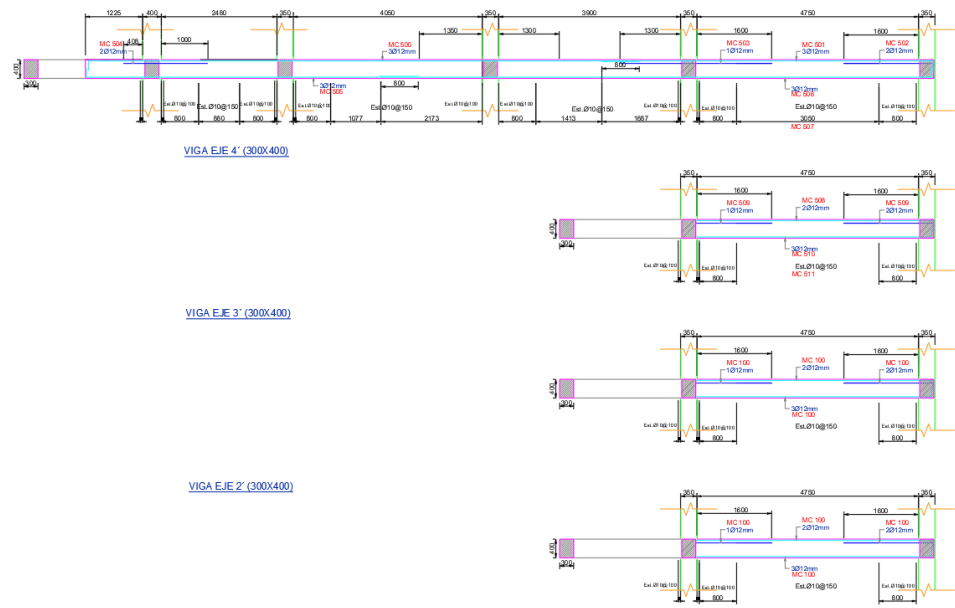


Figura 2.58: Viga dirección Y, planta alta 5

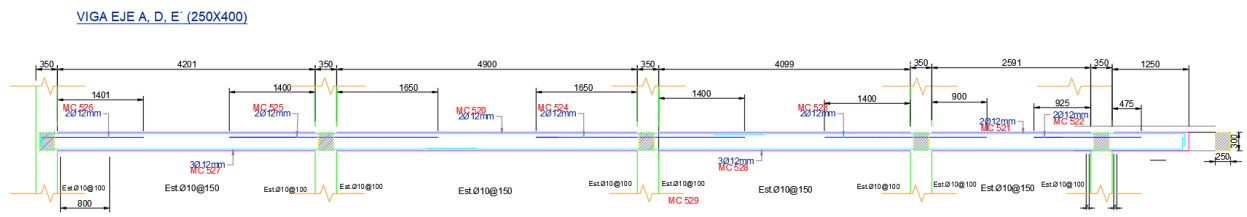


Figura 2.59: Viga dirección Y, planta alta 5

COLUMNAS

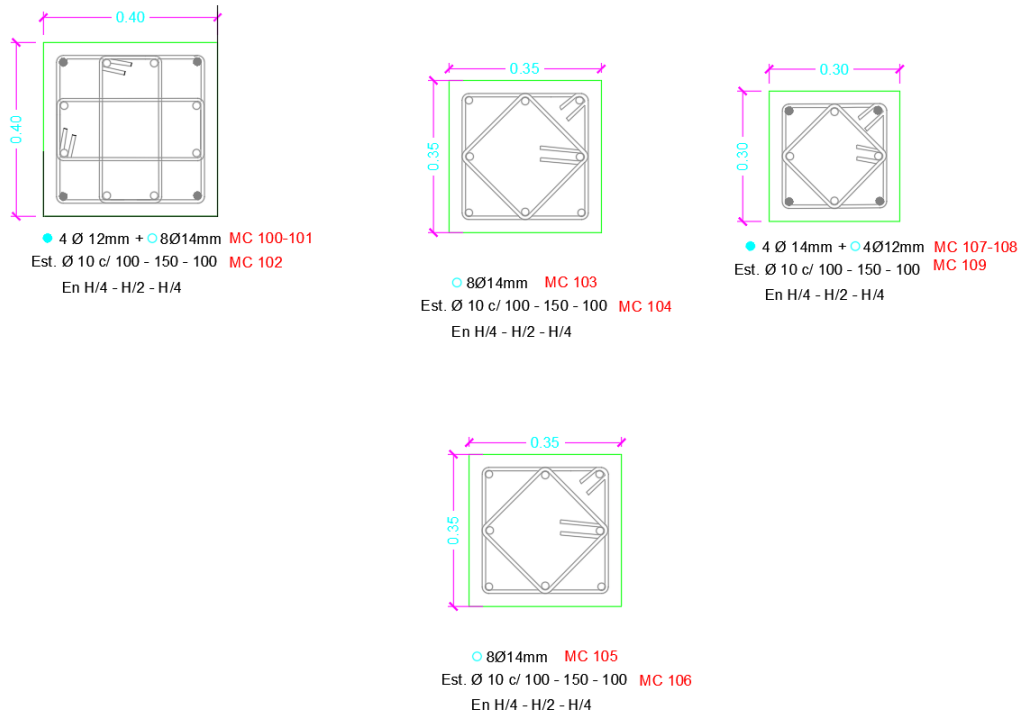


Figura 2.60: Diseño de columnas

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados del Análisis

En lo que respecta al diseño estructural, en la Parte 1 se evaluó el mismo modelo estructural considerando las solicitaciones establecidas por ambas normativas. Como resultado, se observa que el diseño conforme a la normativa actual presenta variaciones significativas respecto a la normativa anterior, con incrementos en las demandas estructurales a partir de un 11 % como mínimo. Esto implica que ciertos elementos que cumplían o se encontraban al límite con la normativa previa, bajo la normativa vigente ya no satisfacen los criterios de resistencia. En este proyecto se presentan las ratios de capacidad, los cuales permiten una comparación directa elemento por

elemento, evidenciando claramente el incremento de las exigencias con la normativa actual.

En cuanto al diseño del acero de refuerzo en vigas, también se identifica un aumento en los requerimientos. Por ejemplo, se pasa de una cuantía requerida de 4.53 cm² a 5.20 cm², y de forma similar en otros elementos, lo cual se debe principalmente al incremento de la fuerza sísmica de diseño establecida en la normativa vigente.

Respecto a las derivas, se observa un incremento de valores, pasando por ejemplo de 0.001353 a 0.0017 en la deriva elástica. Si bien este aumento es considerable, los valores obtenidos continúan cumpliendo con los límites permisibles establecidos por la normativa actual.

En términos generales, puede concluirse que un diseño realizado conforme a la NEC-15, que trabaja aproximadamente al 86 % de su capacidad, al ser evaluado con la normativa vigente se encuentra muy cercano a su límite de capacidad, especialmente en lo que respecta a la resistencia estructural, lo que evidencia el mayor nivel de exigencia de la nueva normativa.

Tabla 3.7: Volúmenes de concreto NEC-15

L1 m	L2 m	L3 m	V m ³	#	Vt m ³
VIGAS DIRECCION X					
0,3	0,4	14,1	1,692	4	6,77
0,3	0,4	18,32	2,1984	5	10,99
0,25	0,4	18,32	1,832	5	9,16
0,25	0,4	18,32	1,832	5	9,16
0,25	0,3	18,32	1,374	2	2,75
0,25	0,3	5,4	0,405	3	1,22
VIGAS DIRECCION Y					
0,3	0,4	14,6	1,752	4	7,01
0,3	0,4	18,79	2,2548	4	9,02
0,25	0,4	18,79	1,879	1	1,88
0,25	0,4	18,79	1,879	5	9,40
0,25	0,4	18,79	1,879	5	9,40
0,25	0,3	18,79	1,40925	3	4,23
VOLÚMEN TOTAL DE VIGAS					80,97
COLUMNAS					
0,4	0,4	5,61	0,8976	9	8,08
0,35	0,35	5,61	0,687225	32	21,99
0,35	0,35	5,76	0,7056	50	35,28
0,3	0,3	3,18	0,2862	19	5,44
VOLUMEN TOTAL DE COLUMNAS					70,79
VOLUMEN TOTAL DE HORMIGON DISEÑO NEC-15					151,75

Tabla 3.8: Volúmenes de concreto NEC-25

L1 m	L2 m	L3 m	V m ³	#	Vt m ³
DIRECCION X					
0,3	0,45	14,1	1,9035	4	7,61
0,3	0,45	18,32	2,4732	5	12,37
0,25	0,4	18,32	1,832	5	9,16
0,25	0,4	18,32	1,832	5	9,16
0,25	0,3	18,32	1,374	2	2,75
0,25	0,3	5,4	0,405	3	1,22
DIRECCION Y					
0,3	0,45	14,6	1,971	4	7,88
0,3	0,45	18,79	2,53665	4	10,15
0,25	0,4	18,79	1,879	1	1,88
0,25	0,4	18,79	1,879	5	9,40
0,25	0,4	18,79	1,879	5	9,40
0,25	0,3	18,79	1,40925	3	4,23
VOLÚMEN TOTAL DE VIGAS					85,19
COLUMNAS					
0,4	0,4	5,61	0,8976	41	36,80
0,35	0,35	5,76	0,7056	50	35,28
0,3	0,3	3,18	0,2862	19	5,44
VOLUMEN TOTAL DE COLUMNAS					77,52
VOLUMEN TOTAL DE HORMIGON DISEÑO NEC-25					162,71

El total de hormigón calculado para el diseño de la NEC-15 es de 151,75 m³, mientras que el calculado para la NEC-25 es de 162,71 m³. Esto significa un incremento de UN 7,22% por parte del diseño realizado con la NEC-25.

El total de acero de refuerzo calculado para el diseño de la NEC-15 es de 19782,42 kg, mientras que el calculado para la NEC-25 es de 20859,18 kg. Esto significa un incremento de UN 5,44% por parte del diseño realizado con la NEC-25.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de la presente investigación permitió cumplir satisfactoriamente los objetivos planteados, evidenciando de manera clara las diferencias técnicas y económicas entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 y la NEC-25, así como el impacto de la actualización normativa en el diseño estructural de edificaciones de baja y mediana altura.

En primer lugar, se identificaron y analizaron las modificaciones normativas introducidas por la NEC-25, destacándose principalmente el incremento de la demanda sísmica asociada al nuevo espectro de diseño. Para períodos cortos, la meseta del espectro elástico se incrementa de aproximadamente 0,72 g en la NEC-15 a 0,92 g en la NEC-25, lo que representa un aumento significativo de la aceleración espectral. Este cambio responde a una actualización en la caracterización de la amenaza sísmica y constituye el principal factor que explica el aumento de las sollicitaciones estructurales observadas en el análisis comparativo.

En segundo lugar, se desarrolló el diseño estructural integral de la edificación bajo dos escenarios normativos independientes, utilizando software especializado de análisis estructural. Los resultados muestran que, bajo los criterios de la NEC-25, fue necesario incrementar las dimensiones de ciertos elementos estructurales críticos, particularmente en los dos primeros niveles, donde las columnas aumentaron aproximadamente 5 cm por lado y el peralte de las vigas se incrementó en alrededor de 5 cm, con el objetivo de satisfacer las mayores exigencias de resistencia y rigidez impuestas por la normativa vigente.

En cuanto a la comparación cuantitativa de resultados, se evidenció que el diseño conforme a la NEC-25 presenta un incremento aproximado del 5,44 % en el peso total de acero de refuerzo, pasando de 19 782,42 kg a 20 859,18 kg, y un aumento del 7,22 % en el volumen de hormigón, pasando de 151,75 m³ a 162,71 m³. Estos incrementos se relacionan directamente con la necesidad de controlar las deformaciones laterales y garantizar un adecuado desempeño sísmico frente a las mayores demandas espectrales.

Desde el punto de vista del desempeño estructural, los resultados del análisis indican que, en ambos escenarios normativos, las derivas de piso se mantienen dentro de los límites establecidos, siendo inferiores al 1,5 %, incluso bajo el criterio más exigente adoptado en la NEC-25. Este

comportamiento confirma que la estructura presenta un nivel adecuado de rigidez lateral y que los ajustes realizados en geometría y refuerzo permiten controlar eficientemente las deformaciones sin recurrir a soluciones estructurales desproporcionadas.

En términos económicos, al considerar precios representativos del mercado de la construcción en Ecuador, el incremento global del costo estructural asociado exclusivamente al uso de hormigón y acero se sitúa en un rango aproximado del 6,5 % al 7 %. Si bien este aumento es perceptible, no resulta excesivo para edificaciones de las características analizadas y se justifica plenamente por el mayor nivel de seguridad sísmica y confiabilidad estructural que proporciona la normativa NEC-25.

Finalmente, se concluye que un diseño estructural que cumple holgadamente con la NEC-15 puede encontrarse cercano a su límite de capacidad al ser evaluado bajo los criterios de la NEC-25, lo que evidencia que la normativa vigente introduce un nivel de exigencia superior orientado a mejorar el desempeño sísmico global de las edificaciones. No obstante, la transición hacia la NEC-25 implica un ajuste técnico y económico moderado y viable, reforzando la pertinencia de su aplicación y su aporte al fortalecimiento de la seguridad estructural en el contexto ecuatoriano.

Recomendaciones

Se recomienda extender la metodología de análisis comparativo desarrollada en este estudio a edificaciones de menor altura, particularmente estructuras de uno y dos pisos, con el fin de evaluar el impacto de la normativa NEC-25 en rangos de períodos cortos, donde el incremento de la aceleración espectral es más significativo y puede generar mayores variaciones en las demandas estructurales.

Asimismo, se sugiere aplicar este mismo procedimiento a edificaciones de mayor número de niveles, correspondientes a períodos estructurales más largos, con el objetivo de analizar la influencia del nuevo espectro sísmico en

distintos rangos de período y establecer criterios comparativos más amplios respecto al comportamiento estructural, las fuerzas sísmicas de diseño y el control de derivas.

Finalmente, se recomienda complementar futuros estudios con análisis que consideren diferentes tipologías estructurales, condiciones de suelo y factores de reducción, así como evaluaciones económicas más detalladas, a fin de obtener una visión integral del impacto técnico y económico de la transición de la NEC-15 a la NEC-25 en el diseño estructural de edificaciones en el Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrés, N., & Quishpe, N. (2025). *Comparación técnico - económica de estructuras diseñadas con la norma ecuatoriana de la construcción NEC-15 y la nueva propuesta de norma ecuatoriana de la construcción : edificación particular.* <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26816>
- Banshuy Lluco, & Guamunshi Cali. (2024). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.*
- Banshuy Lluco Jhon Paul, & Guamunshi Cali Elian Fabricio. (2024). *Título “Análisis comparativo de la normativa dispuesta en la ACI 318-19 para el diseño de muros a corte, frente a la NEC-15.”* Universidad Nacional de Chimborazo.
- BBC News Mundo. (2016). *¿Estaba preparado Ecuador para enfrentar un terremoto?* - BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160417_ecuador_terremoto_preparacion_il
- Fortty Barberan. (2019). *ULEAM-IC-0036.*
- Fortty Barberan George Anthony. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESPECTROS DE DISEÑO PROPUESTOS POR LAS NORMATIVAS ASCE 7-16 Y NEC-SE-DS-15 FRENTE AL ESPECTRO DE RESPUESTA DEL 16-A PARA LAS CONDICIONES SÍSMICAS DE LA CIUDAD DE MANTA.* [Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/2075/1/ULEAM-IC-0036.pdf>
- Las fallas geológicas - Infogram.* (n.d.). Retrieved December 20, 2025, from <https://e.infogram.com/a1c68670-ffc2-41fb-91b1-8659a216623b?src=embed>
- Marcelo Leonardo Semblantes Vélez. (2015). *MODIFICACIÓN EN LA NORMA ECUATORIANA DE DISEÑOSÍSMICO NEC-2015 ESTUDIO DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE EL USO DE DIAGONALES “BRB.”* Politécnica Universidad Católica de Chile.
- MIDUVI. (2015). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE.*
- Nilson, & Darwin. (1997). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO* Duodécima edición Ingeniero civil, profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

PLANOS Y ANEXOS

Cargas que actúan durante la vida útil de la Estructura.

Carga Muerta.

$$h_{\text{bloque}} := 20 \text{ cm} \quad b_{\text{bloque}} := 20 \text{ cm} \quad l_{\text{bloque}} := 40 \text{ cm}$$

$$\gamma_{\text{concreto}} := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \quad \text{Peso específico del hormigón.}$$

$$P_{\text{unit. bloque}} := 11.60 \text{ kgf} \quad \text{Peso unitario aprox. bloque } -20.$$

$$P_{\text{capa compresión}} := (1 \text{ m})^2 \cdot e_{\text{capa compresión}} \cdot \gamma_{\text{concreto}} = 120.00 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{nervio}} := \left((1 \text{ m})^2 \cdot h_{\text{nervio}} \right) - 10 \cdot (h_{\text{bloque}} \cdot b_{\text{bloque}} \cdot l_{\text{bloque}}) \cdot \gamma_{\text{concreto}} = 96.00 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{bloque}} := 10 \cdot P_{\text{unit. bloque}} = 116.00 \text{ kgf}$$

$$A_{\text{losa alivianada}} := 1 \text{ m}^2 \quad \text{Área de Losa}$$

$$P_{\text{losa alivianada}} := \frac{P_{\text{capa compresión}} + P_{\text{nervio}} + P_{\text{bloque}}}{A_{\text{losa alivianada}}}$$

$$P_{\text{losa alivianada}} = 332.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{losa alivianada}} = 332.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{pared}} := 180 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{cerámica}} := 70 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{mortero}} := 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{instalaciones}} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$CM := P_{\text{losa alivianada}} + P_{\text{pared}} + P_{\text{cerámica}} + P_{\text{mortero}} + P_{\text{instalaciones}} = 642.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

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	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tipo de perfil del suelo	Zona Sísmica				
	I	II	III	IV	V
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.23	1.19	1.13
D	1.6	1.4	1.25	1.14	1
E	1.8	1.4	1.1	0.9	0.62

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	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tipo de perfil del suelo	Zona Sísmica				
	I	II	III	IV	V
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.15	1.08	1
D	1.62	1.45	1.28	1.15	1
E	2.1	1.75	1.65	1.52	1.36

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	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica				
	I	II	III	IV	V
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.06	1.17	1.28
D	1.02	1.06	1.19	1.32	1.44
E	1.5	1.6	1.8	1.94	2.09

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

E Material Property Data

General Data

Material Name: Fc = 280 kgf/cm2

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2,4028 tonf/m³

Mass per Unit Volume: 0,245014 tonf-s³/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2526713,28 tonf/m²

Poisson's Ratio, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0,0000099 1/C

Shear Modulus, G: 1052797,2 tonf/m²

E Material Property Data X

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume:

Mass per Unit Volume:

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E:

Coefficient of Thermal Expansion, A:

E Frame Properties X

Filter Properties List

Type:

Filter:

Properties

Find This Property

C45X45

C45X45

C - 40X55

C - 50X50

V

V - 30X40

V - 30X40

Click to:

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C45X45

Material: $F_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.45 m

Width: 0.45 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

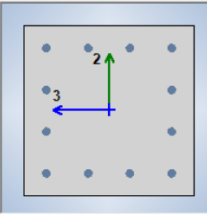
Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column



E Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,8
Moment of Inertia about 3 axis	0,8
Mass	1
Weight	1

OK

Cancel

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: V - 30X40

Material: $F_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0,4 m

Width: 0,3 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

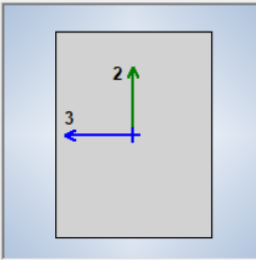
Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

OK

Cancel



E Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,5
Moment of Inertia about 3 axis	0,5
Mass	1
Weight	1

OK

Cancel

E Slab Property Data [Close]

General Data

Property Name:

Slab Material: ...

Notional Size Data:

Modeling Type:

Modifiers (Currently Default):

Display Color:

Property Notes:

Property Data

Type:

Overall Depth: m

Slab Thickness: m

Stem Width at Top: m

Stem Width at Bottom: m

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): m

Rib Direction is Parallel to:

E Define Load Patterns [Close]

Loads

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
PP	Dead	1	
PP	Dead	1	
CV	Live	0	
SCP	Super Dead	0	
SX	Seismic	0	User Coefficient
SY	Seismic	0	User Coefficient

Click To:

Mass Source Name

MeSrc1

Mass Source

- Element Self Mass
- Additional Mass
- Specified Load Patterns

Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:

This Ratio of Diaphragm Width in X Direction

This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
PP	1
SCP	1
CV	0,25

Add

Modify

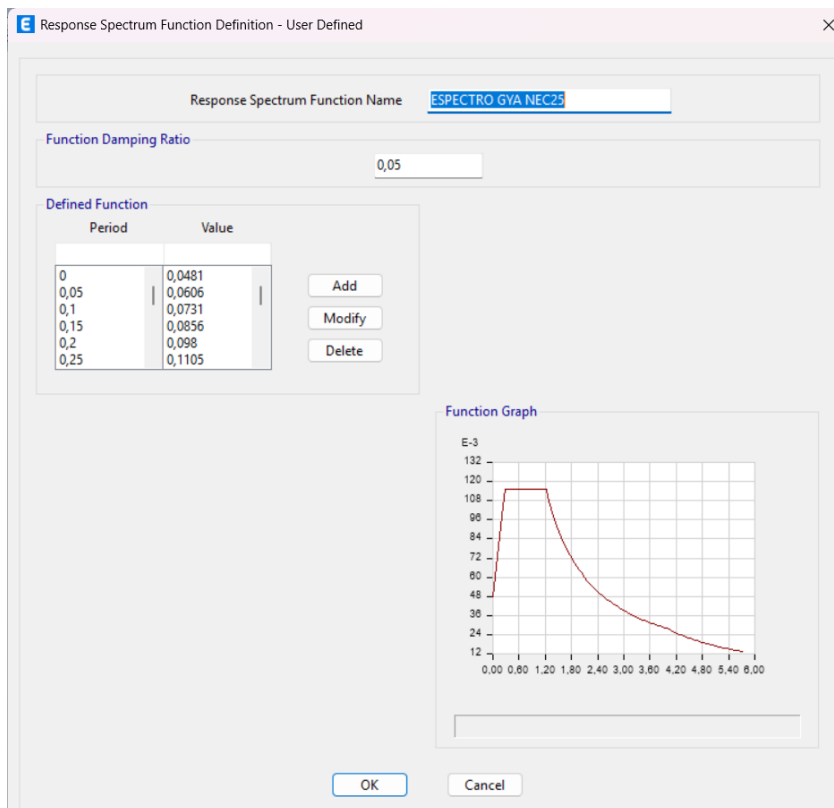
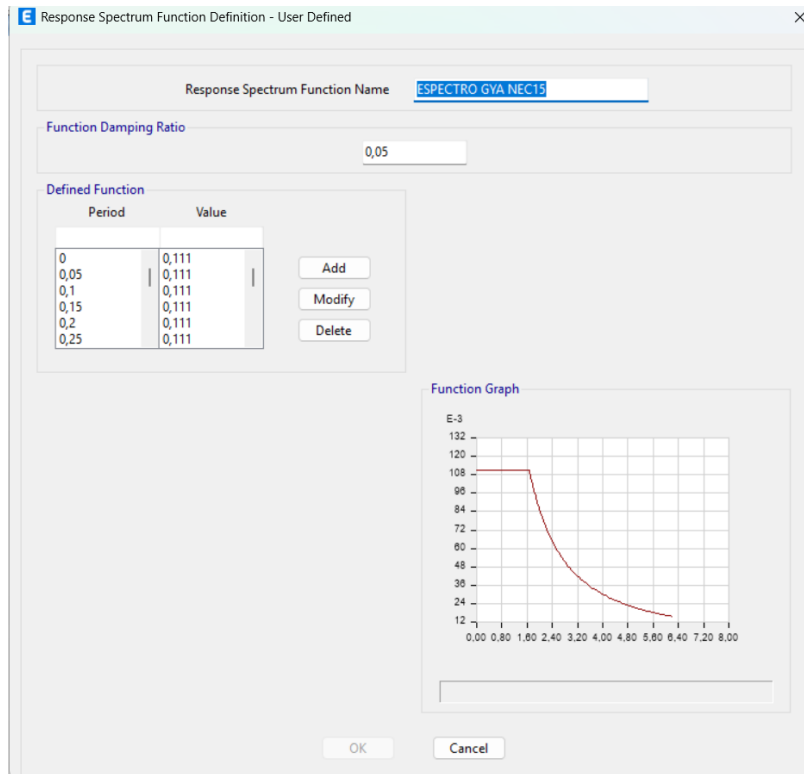
Delete

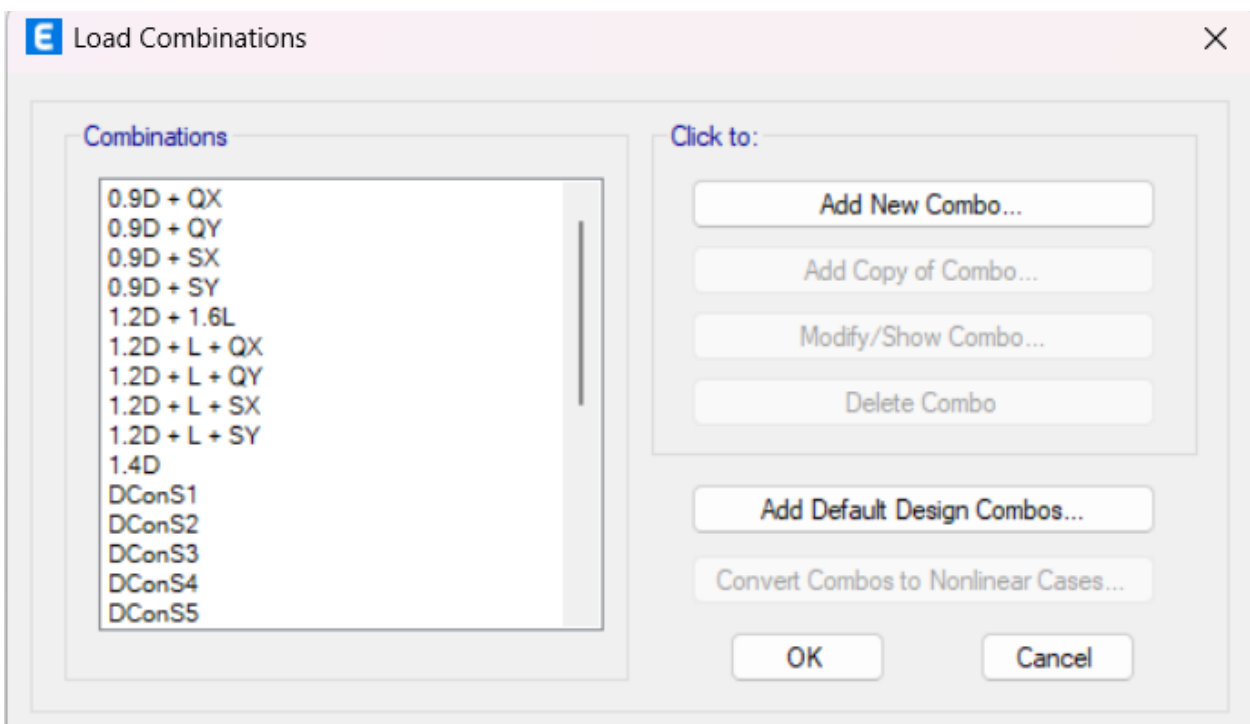
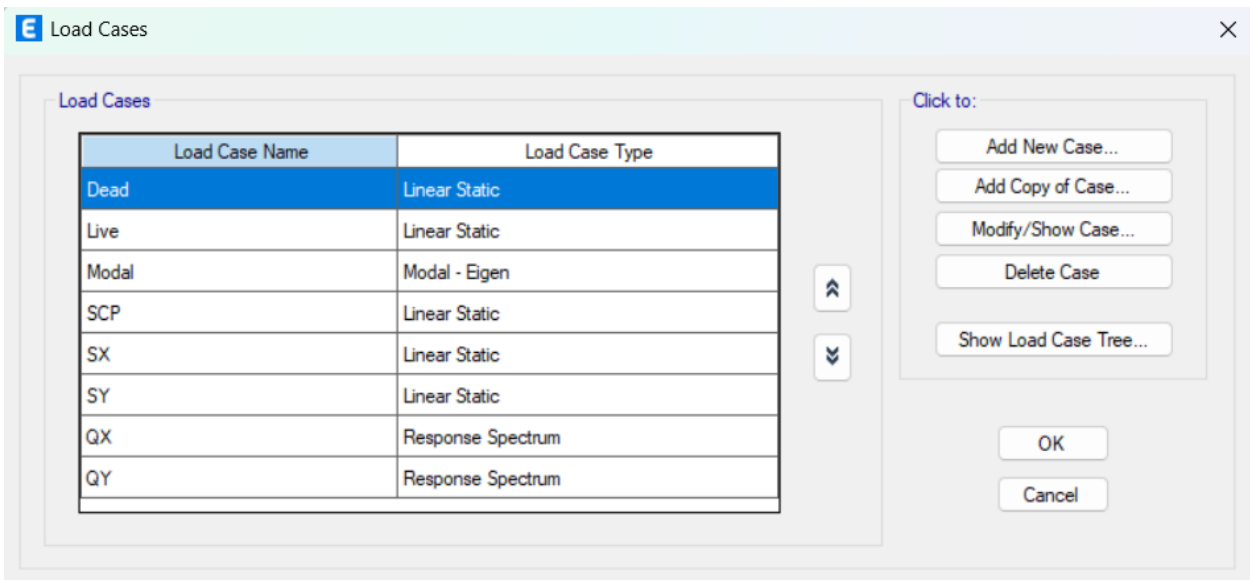
Mass Options

- Include Lateral Mass
- Include Vertical Mass
- Lump Lateral Mass at Story Levels

OK

Cancel






```

148 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
149 % ACCIONES
150 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
151
152 % --- MODO 0: GRAFICO ---
153 if modo_accion == 0
154     figure('Name', 'Gráfico Espectros NEC-15', 'Color', 'w'); hold on; grid on;
155
156     % Filas nuevas
157     plot T Sa_e, 'b', 'LineWidth', 4);
158     plot T Sa_d, 'Color', [0 0.6 0], 'LineWidth', 4); % Verde un poco más oscuro
159
160     % Etiquetas de valores sobre la gráfica
161     % Datos (T0/Tc)/4 para centrar el texto en la parte plana
162     MidT = T0 + Tc / 2;
163
164     text(MidT, Meseta_Elast, sprintf(' Sa (max)= %.2f g', Meseta_Elast), ...
165         'VerticalAlignment', 'bottom', 'Color', 'b', 'FontWeight', 'bold', 'FontSize', 20);
166
167     text(MidT, Meseta_Diseño, sprintf(' Sa (max)= %.2f g', Meseta_Diseño), ...
168         'VerticalAlignment', 'bottom', 'Color', [0 0.6 0], 'FontWeight', 'bold', 'FontSize', 20);
169
170     legend('Elástico (Sin R)', 'Diseño (Con R, Alpha)');
171     xlabel('Periodo T (s)'); ylabel('Aceleración Espectral Sa (g)');
172     title(['Espectro NEC-15 (R= ', num2str R, ', Suelo=', num2str idx_S, ')']);
173
174 % --- MODO 1: TABLA CSV ---
175 elseif modo_accion == 1
176     Datos = T, Sa_e, Sa_d;
177     NombresCol = {'Periodo T (s)', 'Sa Elástico (g)', 'Sa Diseño (g)'};
178
179     SS = get(0, 'ScreenSize');
180     WT = 420; HT = 500;
181     f_table = figure('Name', 'Tabla de Datos Espectrales', 'NumberTitle', 'off', ...
182         'MenuBar', 'none', 'Position', [SS(3)-WT/2, SS(4)-HT/2, WT, HT]);
183
184     uitable(f_table, 'Data', Datos, 'ColumnName', NombresCol, ...
185         'Position', [20, 60, 380, 420], 'RowName', []);
186     uicontrol(f_table, 'Style', 'pushbutton', 'String', 'GUARDAR ESTA TABLA (CSV)', ...
187         'Position', [100, 10, 220, 40], 'BackgroundColor', [0.2 0.6 0.2], ...
188         'ForegroundColor', 'w', 'FontWeight', 'bold', ...
189         'Callback', (@guardar_csv_callback Datos));
190

```

```

191 % --- MODO 2: OVR VARIABLES ---
192 elseif modo_accion == 2
193     Str_2_List = get(h_2, 'String'); Texto_2 = Str_2_List(idx_2);
194     Str_3_List = get(h_suelo, 'String'); Texto_3 = Str_3_List(idx_3);
195     Str_I_List = get(h_I, 'String'); Texto_I = Str_I_List(idx_I);
196
197     DatosParams = {
198         'FACTOR Z (PGA)', Z, Texto_2;
199         'TIPO DE SUELO', idx_S, Texto_3;
200         'REGION', RegionStr, ['n = ', num2str n];
201         'IMPORTANCIA (I)', I, Texto_I;
202         '-----';
203         'COEFICIENTE Fa', Fa, 'Amplificación suelo corto';
204         'COEFICIENTE Fd', Fd, 'Amplificación suelo int.';
205         'COEFICIENTE Fp', Fp, 'Comportamiento no lineal';
206         'RELACION z', z, 'Exponentes rama desc.';
207         '-----';
208         'PERIODO T0', T0, 'Inicio meseta (seg)';
209         'PERIODO Tc', Tc, 'Fin meseta (seg)';
210         'REDUCCION R Final', R_final, ['R= ' num2str R ' + ' ' num2str PhiP ' + ' ' num2str PhiE ];
211         'Sa MAX (ELÁSTICO)', Meseta_Elast, 'Valor Meseta Elástica';
212         'Sa MAX (DISEÑO)', Meseta_Diseño, 'Valor Meseta Diseño';
213     };
214
215     SS = get(0, 'ScreenSize');
216     WR = 550; HR = 420; % Un poco más alto para las nuevas filas
217     f_params = figure('Name', 'Resumen de Variables NEC-15', 'NumberTitle', 'off', ...
218         'MenuBar', 'none', 'Resize', 'off', ...
219         'Position', [(SS(3)-WR/2, (SS(4)-HR/2, WR, HR));
220
221     uitable(f_params, 'Data', DatosParams, ...
222         'ColumnName', {'VARIABLE', 'VALOR', 'DESCRIPCIÓN / NOTA'}, ...
223         'ColumnWidth', {150, 80, 280}, ...
224         'Position', [20, 20, 510, 380], ...
225         'RowName', []);
226
227 end
228
229 function guardar_csv_callback(~, ~, Datos)
230     [file path] = uiputfile('Espectro_NEC15_Table.csv', 'Guardar Tabla como CSV');
231     if isequal(file(0), '') return; end
232     FullPath = fullfile(path, file);
233     fid = fopen(FullPath, 'w');
234     fprintf(fid, 'Periodo T (s):Sa Elástico (g):Sa Diseño (g)\n');
235     fclose(fid);
236     dlmwrite(FullPath, Datos, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 6);
237     msgbox(['Guardado en: ' FullPath, '\n'], 'Exito');
238 end

```

```

1 function CalculadoraNEC25()
2     % =====
3     % CALCULADORA NEC 2025
4     % =====
5
6     close all; clc
7
8     % --- CONFIGURACION VENTANA PRINCIPAL ---
9     ScreenSize = get(0, 'ScreenSize');
10    W = 1000; H = 600;
11    X = ScreenSize(3) - W / 2;
12    Y = ScreenSize(4) - H / 2;
13
14    f_main = figure('Name', 'NEC-2025: Panel de Control', ...
15                  'NumberTitle', 'off', 'MenuBar', 'none', ...
16                  'Color', [0.94 0.94 0.94], ...
17                  'Position', [X Y W H], 'Resize', 'on');
18
19    % Titulo
20    uicontrol(f_main, 'Style', 'text', 'String', 'NEC-2025: GENERADOR DE ESPECTRO', ...
21            'Position', [20, 550, 440, 30], 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', ...
22            'BackgroundColor', [0.94 0.94 0.94], 'ForegroundColor', [0 0.4 0.8]);
23
24    % --- 1. ENTRADAS ---
25    % 1
26
27    uicontrol(f_main, 'Style', 'text', 'String', '1. Factor Z (PGA)', 'Position', [40, 500, 200, 20], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontWeight', 'bold');
28    h_Z = uicontrol(f_main, 'Style', 'edit', 'String', '0.40', 'Position', [250, 500, 150, 25], 'BackgroundColor', 'white');
29
30    % 2
31
32    uicontrol(f_main, 'Style', 'text', 'String', '2. Tipo de Suelo:', 'Position', [40, 450, 200, 20], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontWeight', 'bold');
33    opciones_Suelo = {'A (Roca Dura)', 'B (Roca)', 'C (Suelo Dens)', 'D (Suelo Rigido)', 'E (Suelo Blando)'};
34    h_Suelo = uicontrol(f_main, 'Style', 'popupmenu', 'String', opciones_Suelo, 'Position', [250, 450, 150, 25], 'Value', 4, 'BackgroundColor', 'white');
35
36    % 3
37
38    uicontrol(f_main, 'Style', 'text', 'String', '3. Region:', 'Position', [40, 400, 200, 20], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontWeight', 'bold');
39    opciones_Region = {'Costa', 'Sierra', 'Oriente', 'Esmeraldas', 'Galapagos'};
40    h_Region = uicontrol(f_main, 'Style', 'popupmenu', 'String', opciones_Region, 'Position', [250, 400, 150, 25], 'BackgroundColor', 'white');
41
42    % 4
43
44    uicontrol(f_main, 'Style', 'text', 'String', '4. Categoria Riesgo:', 'Position', [40, 350, 200, 20], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontWeight', 'bold');
45    opciones_Riesgo = {'I (Borricosa)', 'II (Virivende/Normal)', 'III (Fonemas/Especial)', 'IV (Hospitalar/Especial)'};
46    h_Riesgo = uicontrol(f_main, 'Style', 'popupmenu', 'String', opciones_Riesgo, 'Position', [250, 350, 150, 25], 'Value', 2, 'BackgroundColor', 'white');
47
48    % 5
49
50    uicontrol(f_main, 'Style', 'text', 'String', '5. Reduccion R:', 'Position', [40, 300, 200, 20], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontWeight', 'bold');
51    h_R = uicontrol(f_main, 'Style', 'edit', 'String', '0', 'Position', [250, 300, 150, 25], 'BackgroundColor', 'white');

```

```

49    % --- 3. BOTONES ---
50
51    % Botón A: VARIABLES (REDISEÑADO)
52    uicontrol(f_main, 'Style', 'pushbutton', 'String', 'VER RESUMEN TÉCNICO', ...
53            'Position', [65, 200, 350, 40], 'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold', ...
54            'BackgroundColor', [0.3 0.3 0.3], 'ForegroundColor', 'white', ...
55            'Callback', {@cb_reporte_tabla, h_Z, h_Suelo, h_Region, h_Riesgo, h_R});
56
57    % Botón B: GRÁFICOS
58    uicontrol(f_main, 'Style', 'pushbutton', 'String', 'VER GRÁFICOS', ...
59            'Position', [65, 140, 350, 40], 'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold', ...
60            'BackgroundColor', [0 0.4 0.8], 'ForegroundColor', 'white', ...
61            'Callback', {@cb_graficos, h_Z, h_Suelo, h_Region, h_Riesgo, h_R});
62
63    % Botón C: EXCEL
64    uicontrol(f_main, 'Style', 'pushbutton', 'String', 'VER TABLA Y EXPORTAR', ...
65            'Position', [65, 80, 350, 40], 'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold', ...
66            'BackgroundColor', [0.2 0.6 0.2], 'ForegroundColor', 'white', ...
67            'Callback', {@cb_preview_excel, h_Z, h_Suelo, h_Region, h_Riesgo, h_R});
68
69    end

```

```

70    % =====
71    % CÁLCULO
72    % =====
73
74    function D = calcular_datos(h_Z, h_Suelo, h_Region, h_Riesgo, h_R)
75        str_Z = get(h_Z, 'String'); Z = str2double(str_Z);
76        if isnan(Z), error('El valor de Z no es válido.');

```

```

112 %
113 % CALLBACKS
114 %
115
116 % 1. REPORTE TIPO TABLA (MODIFICADO)
117 function cb_reporte_tabla(~, ~, hZ, hS, hReg, hRie, hR)
118 try
119     D = calcular_datos(hZ, hS, hReg, hRie, hR);
120
121     f_rep = figure('Name', 'Resumen Técnico', 'NumberTitle', 'off', ...
122                 'MenuBar', 'none', 'Color', 'w', 'Resize', 'on', ...
123                 'Position', [500, 300, 480, 380]); % Ventana más ancha
124
125     uicontrol(f_rep, 'Style', 'text', 'String', 'RESUMEN DE PARÁMETROS SÍSMICOS', ...
126             'Position', [20, 340, 440, 25], 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold', ...
127             'BackgroundColor', 'w', 'ForegroundColor', [0.2 0.2 0.2]);
128
129     % CREACION DE LA TABLA DE VARIABLES
130     % Columnas: Descripción | Símbolo | Valor | Unidad
131     DatosTabla = {
132         'Aceleración PGA',      'Z',      num2str(D.Z),      'g';
133         'Tipo de Suelo',        '-',      D.LetraSuelo,    '-';
134         'Factor Importancia',   'I',      num2str(D.I),      '-';
135         'Factor Reducción',     'R',      num2str(D.R),      '-';
136         'Zona Sísmica',         '-',      ['Zona ' D.ZLb],  '-';
137         '-----',             '----',  '-----',         '----'; % Separador
138         'Coef. Sitio',          'Fa',     num2str(D.Fa),     '-';
139         'Coef. Sitio',          'Fd',     num2str(D.Fd),     '-';
140         'Coef. Sitio',          'Fs',     num2str(D.Fs),     '-';
141         'Exponente',           'r',      num2str(D.r),      '-';
142         '-----',             '----',  '-----',         '----'; % Separador
143         'Periodo Inicial',      'T0',     num2str(D.T0, '%.3f'), 's';
144         'Periodo Corto',        'Tc',     num2str(D.Tc, '%.3f'), 's';
145         'Periodo Largo',        'TL',     num2str(D.TL, '%.3f'), 's';
146         '-----',             '----',  '-----',         '----'; % Separador
147         'Meseta Elástica',       'Sa',     num2str(max(D.Sa_e), '%.3f'), 'g';
148         'Meseta Diseño',        'Sa',     num2str(max(D.Sa_d), '%.3f'), 'g';
149     };
150
151     columnNames = {'Descripción', 'Símbolo', 'Valor', 'Unid.'};
152
153     % Componente Tabla
154     uitable(f_rep, 'Data', DatosTabla, 'ColumnName', columnNames, ...
155           'Position', [20, 20, 440, 310], ...
156           'ColumnWidth', {160, 60, 100, 60}, ...
157           'RowName', [], 'FontSize', 10);
158
159 catch err
160     msgbox(['Error: ' err.message], 'Error');
161 end
162 end
163

```

```

164 % 2. GRÁFICOS (CON TITULOS)
165 function cb_graficos(~, ~, hZ hS hReg hRie hR)
166     try
167         D = calcular_datos hZ hS hReg hRie hR ;
168         f_g = figure('Name', 'Gráficos NEC-2025', 'NumberTitle', 'off', 'Color', 'w');
169
170         plot D T D Sa_e 'b-', 'LineWidth', 2); hold on
171         plot D T D Sa_d 'r-', 'LineWidth', 2);
172
173         X_pos = (D T0 + D Tc) / 2;
174         text X_pos max D Sa_e+0.05, ['\leftarrow ' num2str max D Sa_e , '%.3F' ] 'g'], 'Color', 'b', 'FontWeight', 'bold');
175         text X_pos max D Sa_d-0.05, ['\leftarrow ' num2str max D Sa_d , '%.3F' ] 'g'], 'Color', 'r', 'FontWeight', 'bold');
176
177         grid on xlabel('Periodo T (s)'); ylabel('Sa (g)');
178         title(['Espectro NEC-2025 (Z= ' num2str D Z ')']);
179         legend('Elastico', ['Inelastico (R= ' num2str D R ')']);
180         figure f_g ;
181     catch err msgbox(err message, 'Error'); end
182 end
183
184 % 3. EXPORTAR EXCEL
185 function cb_preview_excel(~, ~, hZ hS hReg hRie hR)
186     try
187         D = calcular_datos hZ hS hReg hRie hR ;
188         Datos = [D T D Sa_e D Sa_d];
189         Cols = {'Periodo T (s)', 'Sa Elastico (g)', 'Sa Diseño (g)'};
190
191         SS = get(0, 'ScreenSize'); WT = 420; HT = 500;
192         f_prev = figure('Name', 'Vista Previa Datos', 'NumberTitle', 'off', 'MenuBar', 'none', ...
193             'Position', [(SS(3)-WT)/2, (SS(4)-HT)/2, WT, HT]);
194
195         uitable f_prev 'Data', Datos, 'ColumnName', Cols, 'Position', [20, 70, 380, 410], 'RowName', [];
196         uicontrol f_prev 'Style', 'pushbutton', 'String', 'GUARDAR CSV (EXCEL)', ...
197             'Position', [100, 15, 220, 40], 'BackgroundColor', [0.2 0.4 0.2], ...
198             'ForegroundColor', 'white', 'Callback', {'guardar_final Datos'};
199         figure f_prev ;
200     catch err msgbox(err message, 'Error'); end
201 end
202
203 function guardar_final(~, ~, Datos)
204     [file_path _] = uiputfile('Datos_NEC25.csv', 'Guardar archivo');
205     if isequal(file_path, '') return; end
206     FullPath = fullfile path, file ;
207     fid = fopen(FullPath, 'w');
208     fprintf(fid, 'Periodo T (s);Sa Elastico (g);Sa Diseño (g)\n');
209     fclose fid ;
210     dlmwrite_FullPath, Datos, '-append', 'delimiter', ';', 'precision', 5);
211     msgbox(['Guardado: ' FullPath, 'Exito']);
212 end

```

