UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MARCOS ESPECIALES A MOMENTO EN EDIFICACIONES IRREGULARES

CORDOVA CAMPOVERDE JUNIOR SANTOS
INGENIERO CIVIL

ORDOÑEZ BELDUMA GENESIS JULIETTE
INGENIERA CIVIL

MACHALA
2025

UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MARCOS ESPECIALES A MOMENTO EN EDIFICACIONES IRREGULARES

CORDOVA CAMPOVERDE JUNIOR SANTOS
INGENIERO CIVIL

ORDOÑEZ BELDUMA GENESIS JULIETTE
INGENIERA CIVIL

MACHALA
2025

UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MARCOS ESPECIALES A MOMENTO EN EDIFICACIONES IRREGULARES

CORDOVA CAMPOVERDE JUNIOR SANTOS
INGENIERO CIVIL

ORDOÑEZ BELDUMA GENESIS JULIETTE
INGENIERA CIVIL

AÑAZCO CAMPOVERDE PAUL ANDRE

MACHALA
2025

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Análisis de vulnerabilidad sísmica de marcos especialesa momento en edificaciones irregulares

6% Textos sospechosos

4% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Análisis de vulnerabilidad sísmica de marcos especialesa momento en edificaciones irregulares.docx
ID del documento: 7a809df722b1274174fccd03ff0c1248d4fc3b89
Tamaño del documento original: 21,27 MB
Autores: Junior Córdova, Génesis Ordoñez

Depositante: Añazco Campoverde Paúl André
Fecha de depósito: 24/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 24/7/2025

Número de palabras: 31.522
Número de caracteres: 209.118

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**Documento de otro usuario** #3e7416 Viene de de otro grupo 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (221 palabras)
2	**181.112.151.212** http://181.112.151.212/Documentacion/PLANIFICACION/FORMULARIOS DE REGULARIZACION... 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (208 palabras)
3	**TRABAJO DE TITULACIÓN - ALEX JEAMPIERRE SEGOVIA SUÁREZ.docx** | ... #65d4a2 Viene de de mi biblioteca 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (142 palabras)
4	**Documento de otro usuario** #347bf8 Viene de de otro grupo 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (147 palabras)
5	**Documento de otro usuario** #0ef2be Viene de de otro grupo 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (142 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**doi.org** | Vulnerabilidad sísmica de edificios construidos antes de 1985 en la Ciud... https://doi.org/10.24275/uama.6743.9442	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	**Documento de otro usuario** #662004 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
3	**Documento de otro usuario** #dd2efd Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
4	**Análisis estructural en edificaciones con aisladores sísmicos (2).docx** ... #19f42f Viene de de mi biblioteca	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	**PAUTA-SANMARTIN.pdf** | PAUTA-SANMARTIN #6261cf Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/201/127
2 https://doi.org/10.1088/1755-1315/1185/1/012021
3 https://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-2-161-171
4 https://doi.org/10.7764/RIC.00027.21
5 https://doi.org/10.14482/inde.41.02.201.456

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, CORDOVA CAMPOVERDE JUNIOR SANTOS y ORDOÑEZ BELDUMA GENESIS JULIETTE, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MARCOS ESPECIALES A MOMENTO EN EDIFICACIONES IRREGULARES, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las dispociones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

CORDOVA CAMPOVERDE JUNIOR SANTOS	ORDOÑEZ BELDUMA GENESIS JULIETTE
0706697711	0750201154

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con sincera gratitud a Dios, por darme la fuerza, la claridad y la perseverancia necesarias para seguir adelante aun en los momentos de dificultad. Todo logro es posible gracias a su guía y bendición.

También a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y por estar siempre presentes, incluso en silencio. Gracias por alentarme a seguir adelante, por confiar en mí y por brindarme siempre un espacio de comprensión y afecto. Este logro no habría sido posible sin su compañía y respaldo continuo.

Genesis Juliette Ordoñez Belduma

A mis padres, por su amor incondicional y por estar siempre a mi lado. Gracias por no desampararme nunca, por esforzarse tanto para darme lo mejor y prepararme con sacrificio. A mi padre, por sus virtudes, por ser siempre mi ejemplo y guía. Este logro también es tuyo. Te cumplí la promesa de ser un profesional pocos minutos antes de tu partida. Gracias por todo lo que sembraste en mí; siempre vivirás en mi corazón.

A mi mamá, gracias por acompañarme hasta el final, por tu fuerza, tu amor incansable y por no soltarme nunca. Estuviste presente incluso en los días más difíciles, animándome con tus palabras, silencios y abrazos. Hoy puedo decir con orgullo que cumplí ese sueño que tú también deseabas para mí.

A mi hermano, quien fue un pilar fundamental. Tus palabras: “me tienes a mí, hermano, y con eso ya ganaste” me dieron fuerza en los momentos más duros. Gracias por estar, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Este logro también es tuyo.

A mi tío, por motivarme siempre a no rendirme, confiando en mí aun cuando yo no lo hacía. Y a mi primo, por tus ánimos constantes y por recordarme con tu ejemplo que sí se puede. Tú me enseñaste que, si lo lograste, yo también podía ser ingeniero.

Junior Santos Cordova Campoverde

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia, por ser mi base y mi mayor fuente de motivación. Su confianza y apoyo han sido pilares esenciales en este proceso académico y personal.

Mi reconocimiento también a los docentes que formaron parte de mi formación, por compartir su conocimiento con dedicación, y por sembrar en mí el compromiso con la excelencia y el aprendizaje continuo.

De manera especial, extiendo mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Paúl Añazco, tutor de esta tesis, por su orientación constante, su disponibilidad y su valioso aporte técnico y humano. Su guía fue clave para la culminación de este trabajo.

Mi gratitud también a mis compañeros Junior Cordova y Dino Romazzo, por su apoyo, compañerismo y disposición durante todo el recorrido académico. Su presencia ha hecho más llevadero este proceso.

Genesis Juliette Ordoñez Belduma

Agradezco a Dios, fuente inagotable de sabiduría, fortaleza y amor. Gracias, Señor, por darme ánimo en el cansancio, claridad en la duda y paz en la dificultad. Este logro es gracias a Tu guía. Toda la gloria sea para Ti.

Mi gratitud también a todos los docentes que formaron parte de mi formación, en especial al Ing. Paúl Añazco, nuestro tutor, por su paciencia, claridad y acompañamiento constante. Su guía fue fundamental en el desarrollo de este trabajo.

A mi tía, gracias por tratarme como a un hijo, por tus consejos llenos de sabiduría y tu cariño incondicional. Tus palabras me sostuvieron cuando más lo necesitaba.

A mi amiga Genesis Ordoñez, gracias por estar siempre, por no soltarme en los momentos difíciles. Fuimos un gran equipo. Tu apoyo, tu compañía y esa forma de estar presente sin necesidad de muchas palabras marcaron una gran diferencia. Gracias por ser parte de este capítulo tan especial. Eternamente agradecido.

Junior Santos Cordova Campoverde

RESUMEN

Este trabajo de titulación se centra en el diseño estructural en hormigón armado de una edificación de cinco pisos, conformada por marcos especiales a momento. Para su evaluación se aplicaron las metodologías FEMA P-154, tanto en su versión internacional como adaptada a la normativa ecuatoriana NEC-2015. A cada modelo estructural se le realizaron chequeos sísmicos y distintos tipos de análisis: estático lineal, dinámico y no lineal, con el objetivo de conocer su capacidad de ductilidad y su nivel de desempeño frente a diferentes niveles de amenaza sísmica.

Como parte del análisis no lineal, se incorporaron rótulas plásticas en los elementos estructurales más críticos, y se aplicaron cargas laterales y gravitacionales no lineales. Los resultados muestran que a medida que aumenta el número de pisos, también lo hacen la ductilidad y la sobre resistencia de la estructura. La curva Pushover permitió evaluar la capacidad máxima de cada modelo y entender su comportamiento frente a la acción sísmica.

Se concluye que la estructura es capaz de soportar sismos frecuentes y ocasionales sin comprometer su estabilidad. Sin embargo, frente a eventos sísmicos raros o muy raros, su desempeño se ve limitado. En general, se observa que las estructuras diseñadas bajo los parámetros de la normativa ecuatoriana presentan un mejor comportamiento sísmico, debido a sus mayores exigencias en el diseño estructural.

Palabras clave: Análisis estático no lineal, FEMA P-154 y vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

This degree project focuses on the structural design in reinforced concrete of a five-story building composed of special moment-resisting frames. For its evaluation, the FEMA P-154 methodology was applied, both in its international version and as adapted to the Ecuadorian Building Code (NEC-2015). Each structural model underwent seismic checks and various types of analysis: linear static, dynamic, and nonlinear, with the aim of assessing ductility capacity and performance level under different seismic hazard scenarios.

As part of the nonlinear analysis, plastic hinges were incorporated into the most critical structural elements, and nonlinear lateral and gravitational loads were applied. The results show that as the number of stories increases, so do the ductility and overstrength of the structure. The pushover curve allowed for evaluating the maximum capacity of each model and understanding its behavior under seismic action.

It is concluded that the structure can withstand frequent and occasional earthquakes without compromising its stability. However, its performance becomes limited when subjected to rare or very rare seismic events. Overall, structures designed under the parameters of the Ecuadorian code show better seismic performance due to its stricter design requirements.

Keywords: Nonlinear Static Analysis, FEMA P-154 and Seismic Vulnerability**.**

Índice

Introducción **22**

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **24**

1.1 Línea base del proyecto 24

1.2 Descripción de la Situación problémica (Causas y efectos) 25

1.3 Formulación del problema (preguntas científicas). 27

1.4 Delimitación del objeto de estudio 27

1.5 Justificación 28

1.6. Objetivos **29**

1.6.1 Objetivo General: 29

1.6.2 Objetivos Específicos: 29

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO **30**

2.1 Antecedentes Contextuales 30

2.1.1 Macro 30

2.1.2 Meso 30

2.1.3 Micro 31

2.2 Antecedentes Referenciales o históricos **32**

2.3 Antecedentes Conceptuales 34

2.3.1 Definición de Sismo 34

2.3.2 Vulnerabilidad sísmica 34

2.3.2 Definición de Peligro sísmico 35

2.3.3 Intensidad sísmica 35

2.3.4 Magnitud sísmica 36

2.3.5 Pórticos especiales a momento 37

2.3.7 Irregularidad vertical 37

2.3.8 Elementos estructurales 38

2.3.9 Elementos no estructurales 38

2.3.10 Zonas sísmicas según la Norma Ecuatoriana De Construcción (Nec 2015) 39

2.3.10.1 Factores de amplificación sísmica 40

2.3.10.2 El espectro de diseño horizontal en términos de aceleración elástica. .. 41

2.3.10.3 La razón entre la aceleración máxima del terreno (PGA) y la aceleración espectral (Sa) para un período de retorno determinado. 42

2.3.10.4 El factor empleado en el espectro de diseño elástico constituye un parámetro fundamental para el análisis sísmico. 42

2.3.10.5 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones. 43

2.3.10.6 Cortante basal de diseño (V)..... 43

2.3.10.7 Coeficiente de importancia de la estructura..... 44

2.3.10.8 Regularidades en planta y elevación..... 44

2.3.10.9 Factor de reducción de resistencia sísmica (R)..... 45

2.3.10.10 Inercias Agrietadas 46

2.3.11 Método cualitativo para determinar la vulnerabilidad sísmica..... 47

2.3.11.1 Método FEMA P-154 47

2.3.12 Método cuantitativo para determinar la vulnerabilidad sísmica..... 47

2.3.12.1 Método Pushover 47

2.3.13 Rotulas en viga y columnas 48

2.3.14 Inercias agrietadas en vigas y columnas..... 48

2.3.15 Comportamiento no lineal del concreto 49

2.3.16 Comportamiento no lineal del acero..... 49

3. CAPITULO III: Metodología 50

3.1 Modalidad básica de la investigación 50

3.2 Tipo de investigación 50

3.2.1 Documental..... 50

3.2.2 Campo..... 50

3.2.3 Descriptiva..... 51

3.2.4 Objeto de estudio 51
3.2.5 Descripción de la población y muestra 51
3.3. Proceso de las metodologías 52
3.3.1 Metodología FEMA P-154 52
3.3.1.1 Pasos para llenar la plantilla del FEMA P-154 de la NEC 52
3.3.1.2 Pasos para llenar el formulario FEMA P-154 Internacional: 67
3.4 Proceso de modelación 77
3.5 Análisis estructural 85
3.5.1 Análisis lineal dinámico 85
3.5.2 Análisis lineal estático. 87
3.5.3 Chequeos sísmicos 89
3.5.3.1 Verificación de cortante dinámico/estático en sentido “X” y “Y” 89
3.5.3.2 Verificación de derivas en sentido “X” y “Y” 91
3.5.3.3 Verificación de índice de estabilidad 92
3.5.3.4 Se verifica la cortante correspondiente a cada piso. 95
3.5.3.5 Desplazamiento por piso. 96
3.5.3.6 Verificación de distorsiones de piso 97
3.5.3.7 Verificación de deflexiones 98
3.5.3.8 Control de torsión 99
3.5.4 Análisis no lineal estático. 99
3.5.5 Diseño de rotulas plásticas 102
3.5.5.1 Proceso para definir rotulas plásticas en vigas 102
3.5.5.2 Proceso para definir rotulas plásticas en columnas 109
3.5.5.3 Comportamiento no lineal del concreto 119
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... 122
4.1 Inspección visual rápida FEMA P-154 (Internacional) 122

4.2 Inspección visual rápida FEMA P-154 (NEC)..... 127
4.3 Detalle de dimensiones de elementos estructurales 132
4.3.1 Dimensiones y propiedades estructurales de los componentes del sistema . 132
4.3.2 Tipos de vigas estructurales..... 132
4.3.3 Tipos de columnas estructurales..... 134
4.3.4 Losa 137
4.3.5 Configuración de Planta y Elevación 138
4.3.6 Calculo para definir rotulas plásticas en vigas 140
4.3.7 Calculo para definir rotulas plásticas en columnas 145
4.4 Análisis estático no lineal (Pushover) 152
4.4.1 Dinámico espectral 152
4.4.1.1 Elaboración del espectro de diseño en aceleraciones. 152
4.4.1.2 Supervisión del período natural de oscilación de una edificación (T)... 155
4.4.1.3 Desplazamientos generados por sismos..... 156
4.4.1.4 Cálculo de derivas entrepiso 158
4.5 Análisis sísmico estático. 161
4.5.1 Cálculo de coeficientes sísmicos C y K 161
4.5.2 Distribución de cargas laterales entre niveles 162
4.5.3 Cargas verticales por piso..... 163
4.5.4 Cortantes por piso..... 164
4.5.5 Índices de estabilidad 166
4.5.6 Distorsiones de piso..... 167
4.5.7 Deflexiones de piso 172
4.5.8 Verificación de la viga con mayor deflexión 173
4.5.9 Control de torsión..... 174
4.6 Resultados del análisis estático no lineal 174

4.6.3 Curva de capacidad 183

4.6.4 Curva Capacidad 184

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 189

5.1 Conclusiones 189

5.2 Recomendaciones 190

6. Referencias bibliográficas 191

Anexos: 195

Anexo 1. Curva Pushover en sentido en X 195

Anexo 2. Curva Pushover en sentido en Y 195

Anexo 3. Modelado en el Software 196

Anexo 4. Formación de rotulas en sentido en X-X 197

Anexo 5. Formación de rotulas en sentido en Y-Y 203

Anexo 6. Estructura analizada 209

Anexo 7. Planos estructurales – Cimentación y columnas 210

Anexo 8. Planos estructurales – Mezanine. 211

Anexo 9. Planos estructurales –Primera Planta Alta, columnas y vigas. 212

Anexo 10. Planos estructurales – Segunda Planta Alta, columnas y vigas. 213

Anexo 11. Planos estructurales – Tercera Planta Alta, columnas y vigas. 214

Anexo 12. Planos estructurales – Terraza, columnas y vigas. 215

Índice de ilustración

Ilustración 1: Árbol de problemas 26
Ilustración 2: Ubicación geográfica de la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador 27
Ilustración 3 División territorial del país según niveles de amenaza sísmica. 39
Ilustración 4 Espectro sísmico elástico de aceleraciones. 42
Ilustración 5 Planilla de inspección NEC (Baja sismicidad) 62
Ilustración 6. Formulario de evaluación según la NEC para zonas de sismicidad moderada. 63
Ilustración 7 Formulario de evaluación estructural conforme a la NEC para zonas de sismicidad moderadamente alta. 64
Ilustración 8 Formulario de inspección estructural conforme a la NEC para edificaciones ubicadas en zonas de alta amenaza sísmica. 65
Ilustración 9 Formulario de evaluación estructural conforme a la NEC para edificaciones localizadas en zonas de muy alta amenaza sísmica. 66
Ilustración 10 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Baja sismicidad) 72
Ilustración 11 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Moderada sismicidad) 73
Ilustración 12 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Moderadamente alta sismicidad) 74
Ilustración 13 Plantilla de evaluación visual (FEMA P-154) para regiones de alta sismicidad. 75
Ilustración 14 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Muy alta sismicidad) 76
Ilustración 15 Elección del tipo de modelo 77
Ilustración 16 Creación de grillas 77
Ilustración 17 Propiedades del concreto 78
Ilustración 18 Propiedades de la Fluencia del acero Fy 78
Ilustración 19 Tipo de Elemento 79
Ilustración 20 Columna 30x30 80
Ilustración 21 Agrietamiento en columna 80
Ilustración 22 Asignación de momento cero para elementos en voladizo 81
Ilustración 23 Definición de losa 81
Ilustración 24 Acero de Refuerzo en columna 82
Ilustración 25 Estructura empotrada 82
Ilustración 26 Creación y colocación de diafragmas 83

Ilustración 27 Creación y colocación de cargas..... 83
Ilustración 28 Colocación de cargas sobre la losa. 84
Ilustración 29 Definir la masa reactiva 84
Ilustración 30 Modelado listo para ejecutarse 85
Ilustración 31 Espectro de diseño NEC. 86
Ilustración 32 Sismo dinámico en dirección X. 86
Ilustración 33 Sismo dinámico en dirección Y 87
Ilustración 34 Periodos fundamentales en dirección X y Y..... 87
Ilustración 35 Propiedades del sismo estático X. 88
Ilustración 36 Propiedades del sismo estático Y. 88
Ilustración 37 Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas en direcciones X y Y 89
Ilustración 38 Ajuste por cortante para Sismo dinámico en X 90
Ilustración 39 Ajuste por cortante para Sismo dinámico en Y 91
Ilustración 40 Vista en elevación..... 92
Ilustración 41 Verificación de cortantes 93
Ilustración 42 Cortantes de columnas. 94
Ilustración 43 Cortantes de columnas. 94
Ilustración 44 Cargas totales. 95
Ilustración 45 Cortante de cada Piso..... 95
Ilustración 46 Desplazamiento por piso..... 96
Ilustración 47 Desplazamientos generados por el sismo en dirección X – primer punto de control 97
Ilustración 48 Tabla de elementos en vigas 98
Ilustración 49 Tabla de vigas 98
Ilustración 50 Creación de carga gravitacional..... 100
Ilustración 51 Creación de carga Pushover en "X"..... 100
Ilustración 52 Pushover en “Y” 101
Ilustración 53 Combinación de cargas..... 101
Ilustración 54 Relación generalizada de fuerza vs deformación para elementos de concreto armado al incursionar en el rango no lineal 109
Ilustración 55 Definición de las rótulas plásticas en las zonas críticas de los elementos estructurales. 118

Ilustración 56 Asignación de rótulas plásticas a las columnas y vigas 119
Ilustración 57 Propiedades de los materiales 119
Ilustración 58 Material Nonlinear 120
Ilustración 59 Comportamiento no lineal del concreto. 120
Ilustración 60 Comportamiento no lineal del acero del Fy 121
Ilustración 61 Vista sección transversal de viga de losa mezanine 133
Ilustración 62 Vista sección longitudinal de viga de losa mezanine 133
Ilustración 63 Vista sección transversal de viga de losa de primera planta hasta la terraza 133
Ilustración 64 Vista sección longitudinal de viga de losa de primera planta hasta la terraza 133
Ilustración 65 Columnas planta baja y mezzanine : columna #1 135
Ilustración 66 Columnas planta baja y mezzanine: columna #2 a la #18 135
Ilustración 67 Columnas primera planta alta #1 135
Ilustración 68 Columnas primera planta alta #2 a la #18 135
Ilustración 69 Columna segunda planta alta #1 a la #18 136
Ilustración 70 Columna tercera planta alta: # 1-2-3-4-7-10-13-16 136
lustración 71 Columna tercera planta alta: #5-6-8-9-11-12-14-15-17-18 136
Ilustración 72 Columnas de terraza: #1-2-3-4-7-10-13-16 136
Ilustración 73 Columnas terraza: #5-6-8-9-11-12-17-18 137
Ilustración 74 Vista de sección longitudinal de las columnas de todos los niveles 137
Ilustración 75 Detalle de losa 137
Ilustración 76 Configuración en planta - Mezanine 138
Ilustración 77 Configuración en planta (Planta alta 1 hasta la terraza) 139
Ilustración 78 Configuración de elevación 140
Ilustración 79 Curva de peligro sísmico de la ciudad de Machala 153
Ilustración 80 Espectro elástico e inelástico NEC 2015 154
Ilustración 81 Desplazamiento de piso para sismo dinámico en "X" 157
Ilustración 82 Desplazamiento de piso para sismo dinámico en "Y" 158
Ilustración 83 Derivas por piso para sismo en "x" 159
Ilustración 84 Derivas por piso para sismo en "y" 160
Ilustración 85 Distorsión de piso en X 167

Ilustración 86 Distorsión de piso en Y 168
Ilustración 87 Vista en planta de la estructura bajo la acción del sismo en dirección X. 168
Ilustración 88 Vista en planta de la estructura bajo la acción del sismo en dirección Y. 169
Ilustración 89 Desplazamientos generados por el sismo en dirección X – primer punto de control. 169
Ilustración 90 Desplazamientos generados por el sismo en dirección X – Segundo punto de control 170
Ilustración 91 Desplazamientos generados por el sismo en dirección Y – Primer punto de control. 170
Ilustración 92 Desplazamientos generados por el sismo en dirección Y – Segundo punto de control 171
Ilustración 93 Comportamiento no lineal de la columna de concreto de 50x50, Fc 280kg/cm2 175
Ilustración 94 Comportamiento no lineal de la columna de concreto de 35x35, Fc 240 kg/cm2 175
Ilustración 95 Comportamiento no lineal del acero Fy 4200 176
Ilustración 96 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 72 años 177
Ilustración 97 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 225 años 177
Ilustración 98 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 475 años 178
Ilustración 99 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 2500 años 179
Ilustración 100 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 72 años 180
Ilustración 101 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 225 años 180
Ilustración 102 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 475 años 181

Ilustración 103 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 2500 años 182
Ilustración 104 Curva de desempeño sísmico, dirección X 183
Ilustración 105 Curva de desempeño sísmico, dirección Y 184
Ilustración 106 Curva de capacidad en sentido X 185
Ilustración 107 Curva de capacidad en sentido Y 187

Índice de tablas

Tabla 1 Asignación del factor sísmico Z según la zona sísmica considerada 40
Tabla 2 Factores de sitio Fa y tipos de suelo 40
Tabla 3 Factores de sitio Fd y tipos de suelo 41
Tabla 4 Coeficientes de amplificación sísmica Fs asociados a la clasificación del subsuelo. 41
Tabla 5 Tipología estructural de las edificaciones en función de su finalidad y grado de relevancia. 44
Tabla 6 Configuraciones estructurales recomendadas 45
Tabla 7 Parámetros R de disminución sísmica 46
Tabla 8 Inercias agrietadas 47
Tabla 9 Ocupación de cada piso del edificio 51
Tabla 10 Descripción de tipos de construcciones según FEMA P-154 55
Tabla 11 Parámetros para las rotulas plásticas en vigas de concreto según la norma ASCE 41-10 102
Tabla 12 Variables y criterios límite para análisis no lineal en columnas de hormigón armado. 110
Tabla 13 Columnas utilizadas por cada nivel de la edificación 134
Tabla 14 Formación de rótulas en el eje X-X 151
Tabla 15 Formación de rótulas en el eje Y-Y 151
Tabla 16 Tasa de excedencia anual para diferentes tipos de sismo 152
Tabla 17 Coeficientes de perfil de suelo NEC 2015 153
Tabla 18 Periodos fundamentales y participación de masa. 154
Tabla 19 Coeficientes para el cálculo del periodo 156
Tabla 20 Desplazamientos para el Sismo en X 157
Tabla 21 Desplazamiento por piso para sismo en Y 157
Tabla 22 Derivas por piso para sismo en X 159
Tabla 23 Deriva por piso para sismo en Y 160
Tabla 24 Coeficientes para el cálculo de cortante basal 161
Tabla 25 Coeficiente de K en función de T 162
Tabla 26 Coeficientes de análisis estático 162
Tabla 27 Cálculos sísmicos de la estructura 162

Tabla 28 Cálculo de fuerzas laterales por cada piso 163
Tabla 29 Fuerzas laterales para el sentido X y sentido Y 163
Tabla 30 Fuerza vertical por piso 163
Tabla 31 Cortantes 164
Tabla 32 Reajuste de cortante 165
Tabla 33 Cortante por piso en el eje X 165
Tabla 34 Cortante por piso en el eje Y 165
Tabla 35 Cálculo de índices de estabilidad por piso en el eje X 166
Tabla 36 Cálculo de índices de estabilidad por piso en el eje Y 166
Tabla 37 Resultados de la verificación de distorsión entre pisos. 172
Tabla 38 Momentos máximos de las vigas. 172
Tabla 39 Traslación de la estructura 174
Tabla 40 Niveles de desempeño estructural en sentido X 184
Tabla 41 Ductilidad en sentido “X” 185
Tabla 42 Cortante de la estructura en sentido "X" 186
Tabla 43 Niveles de desempeño estructural en sentido "Y" 187
Tabla 44 Ductilidad en sentido “Y” 188
Tabla 45 Cortante de la estructura en sentido "Y" 188

Introducción

El Ecuador se encuentra ante un elevado peligro sísmicos a causa del impacto de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esto es un desafío que representa para la seguridad de las edificaciones. La ciudad como Machala, donde su crecimiento urbano es muy acelerado y su población se encuentra expuesta a estos eventos sísmicos frecuentes, esta situación es muy preocupante. Por otro lado, con el incremento demográfico y su fuerte actividad sísmica hacen que la seguridad de las edificaciones se convierta así en una prioridad. Además, es necesario abordar este problema de manera más eficaz, cuya finalidad sea de proteger a la población y asegurar la sostenibilidad de las infraestructuras urbanas a largo plazo. (Cajamarca & Marin.C, 2022)

El enfoque para este trabajo de titulación, son los edificios existentes con marcos especiales a momento en Machala. Estos sistemas han sido creados con la finalidad de absorber y disipar la energía sísmica a través de las deformaciones reguladas en las uniones viga-columna, para que las estructuras sean altamente resistentes a las fuerzas sísmica y no se vean afectadas estructuralmente. Para garantizar que estos marcos brinden la protección adecuada, es un análisis riguroso de los edificios ya existentes. Por lo tanto, se deben de tomar en cuenta elementos como el desgaste de los materiales, la calidad del diseño y su ejecución de la construcción.(Arif & Craifaleanu, 2023)

Para realizar este análisis de vulnerabilidad sísmica, se emplean métodos como el FEMA P-154 y el análisis pushover. El FEMA P-154, permite realizar una inspección rápida y económica, para así determinar cuáles son los edificios que requieren un análisis más detallado.(Khan et al., 2019) Por consiguiente, el método pushover ofrece un enfoque estático que permite estimar las cargas sísmicas que las estructuras son capaces de resistir, y así identificar los puntos más débiles y posibles fallas.(Vega, 2021) Además, el objetivo de este estudio es analizar, mediante estas metodologías, la susceptibilidad de los edificios con marcos especiales a momento en Machala, y sugerir estrategias que potencien la resistencia de las infraestructuras ante futuros eventos sismos.

Estructura del trabajo

Capítulo I: En este capítulo se plantea el problema de investigación, estableciendo el punto de partida del estudio. Primero, se describe la situación problemática, explicando sus causas y efectos para comprender su impacto. A partir de ello, se formulan las preguntas científicas que guían el análisis y se delimita el objeto de estudio, acotando el alcance de la investigación. Además, se justifica la relevancia del tema, resaltando su importancia en el contexto actual. Finalmente, se definen el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales orientan el desarrollo del trabajo.

Capítulo II: Aquí se desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación, respaldado por diversas fuentes científicas. Para empezar, se presentan los antecedentes contextuales, que permiten ubicar el problema dentro de un panorama más amplio y comprender su relación con otros factores. Luego, se abordan los antecedentes conceptuales, donde se explican los términos clave y las bases teóricas que fundamentan el estudio. Posteriormente, se incluyen los antecedentes referenciales, los cuales recopilan investigaciones previas sobre temas similares, proporcionando comparaciones y referencias que enriquecen el análisis.

Capitulo III: Este capítulo describe el proceso seguido para analizar la vulnerabilidad sísmica de la edificación. Se detalla la aplicación de la metodología de inspección rápida FEMA P-154, junto con los parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana NEC-2015. Además, se explica el desarrollo del modelo estructural, la definición de cargas laterales y gravitacionales, y la implementación del análisis no lineal tipo Pushover. Finalmente, se expone el procedimiento para la asignación de rótulas plásticas en los elementos críticos del sistema estructural.

Capítulo IV: En este capítulo se exponen los resultados obtenidos del análisis estructural, incluyendo desplazamientos por nivel, periodos, derivas, cortantes y curvas de capacidad para los sentidos X y Y. Se identifican los puntos de desempeño sísmico frente a diferentes niveles de amenaza y se evalúa la respuesta de la estructura mediante el análisis Pushover. Los resultados se interpretan en función de la capacidad de ductilidad, sobre resistencia y cumplimiento de los límites establecidos en la normativa vigente.

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Línea base del proyecto

Machala, catalogada como una ciudad importante en la provincia de El Oro, se encuentra ubicada en la región costera del Ecuador, propensa a alta actividad sísmica, debido a las interacciones con las placas tectónicas de Nazca y la Sudamericana. Su ubicación geográfica la hace vulnerable a los eventos sísmicos de diversas magnitudes. A consecuencia, es indispensable evaluar sus condiciones estructurales de las edificaciones para minimizar los riesgos y garantizar la seguridad de sus habitantes. (Cajamarca.D & Marin.C, 2022)

El tipo de suelo que predomina en la ciudad de Machala son los suelos Aluviales, que combinan sus texturas arenosas y arcillosas, especialmente el limo y arcilla, debido con la cercanía del océano. (Unda, 2019) . El tipo de terreno, característico de las zonas costeras y su nivel freático muy elevado, aumenta los desafíos que enfrenta con los sismos debido que amplifican las vibraciones, poniendo en riesgo la estabilidad de todas las estructuras y así destacando la importancia de tomar en cuenta las características de los suelos al momento diseñar edificaciones. (Fernández Limés et al., 2023)

La necesidad de contar con estructuras mucho más seguras se manifestó tras el evento sísmico del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8, con epicentro en Pedernales. Sin embargo, Machala no fue la ciudad más afectada, pero estas ondas sísmicas ocasionaron daños moderados en algunas construcciones. Este evento evidenció la importancia de construir edificaciones más resistentes a estos movimientos. (Kwong et al., 2019)

Debido a esto, es importante comprender el impacto de las actividades sísmicas en la región ya que este conocimiento es esencial para diseñar construcciones más resistentes. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) divide al país en seis zonas sísmicas, cada una de ellas con valores específicos de aceleración sísmica, estos se encuentran indicados con el factor Z. Estos valores son la base principal para diseñar estructuras que cumplan con los estándares establecidos de seguridad, proteger las vidas y los bienes en caso de un evento sísmico, con la finalidad de crear un entorno más preparado y seguro. (NEC, 2015)

1.2 Descripción de la Situación problémica (Causas y efectos)

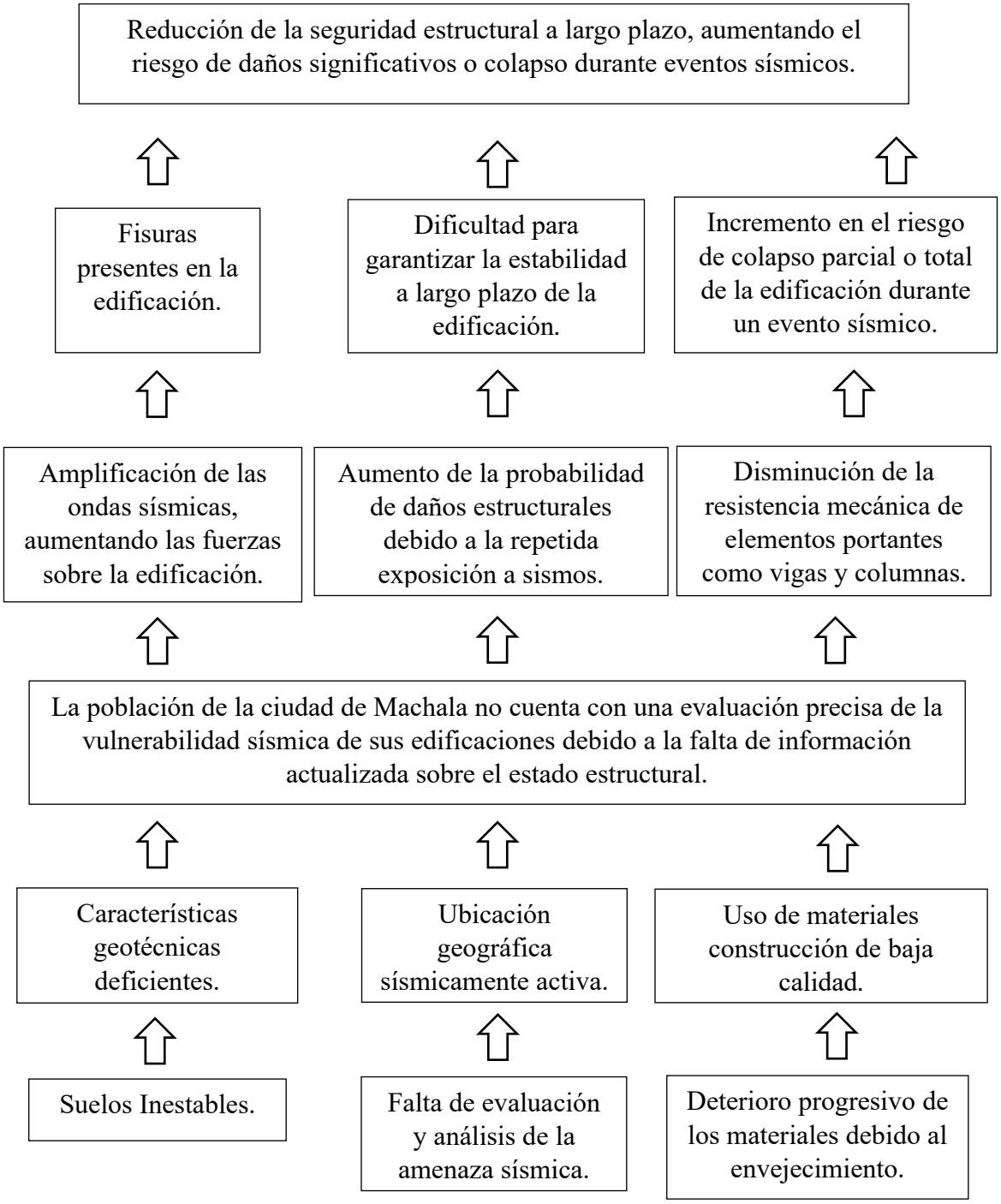
A lo largo de los últimos 460 años, Ecuador ha registrado un gran número de sismos de magnitud considerable. Esto se debe a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las regiones con mayor actividad sísmica en el mundo, lo que lo expone constantemente a terremotos que afectan tanto a su población como a su infraestructura. En particular, el cantón Machala se encuentra en una zona de alta intensidad sísmica, lo que aumenta la probabilidad de eventos telúricos. (Cunalata & Caiza, 2022)

Además, estos suelos blandos y de baja resistencia, son típicos de estas regiones costeras, debido a esto complican aún más la situación. Estos suelos tienen una particularidad de aumentar las ondas sísmicas, aumentando la intensidad del impacto en las edificaciones. Esto no solo provoca fisuras en las estructuras, sino que también revela una vulnerabilidad mucho más profunda, una que podría resultar fatal ante sismos de mayor magnitud. (Adharsh et al., 2023)

La combinación de una alta actividad sísmica y de los suelos poco favorables presentan un grave riesgo para estas construcciones en las zonas. Con cada evento sísmico, las estructuras se debilitan, lo que reduce su capacidad de soportar futuros movimientos. Este desgaste acumulativo pone en riesgo la seguridad de las edificaciones, aumentando el riesgo de fallos en momentos críticos. (Arif & Craifaleanu, 2023)

El deterioro natural de los materiales, sumado a la falta de mantenimiento, reduce su capacidad de resistencia, aumentando la vulnerabilidad de las estructuras frente a eventos sísmicos. Los elementos esenciales como las vigas y columnas pierden resistencia con el pasar del tiempo, lo que incrementa las probabilidades de colapsos parciales o totales durante un evento sísmico. Debido a esta situación, es urgente realizar evaluaciones más detalladas para identificar estas vulnerabilidades y así tomar medidas que reduzcan estos riesgos. Solo así será posible garantizar la seguridad de las construcciones y de quienes viven en ellas. (Arif & Craifaleanu, 2023)

Ilustración 1: Árbol de problemas



Fuente: Autores

1.3 Formulación del problema (preguntas científicas).

Frente a la problemática, es muy crucial plantear algunas preguntas que permitan abordar de manera efectiva los riesgos asociados a la actividad sísmica en Machala:

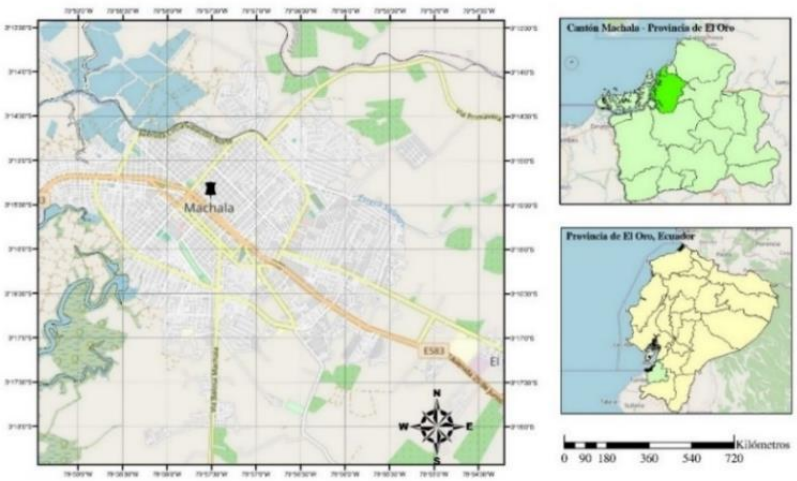
¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones con marcos a momentos en la ciudad de Machala?

¿Cómo determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica para edificaciones con marcos especiales a momento en Machala?

1.4 Delimitación del objeto de estudio

El área de estudio se centra en la zona urbana de Machala, donde reside la mayor parte de su población y la infraestructura más relevante. Esta elección no es casual, ya que al ser la capital bananera se concentran tanto la actividad económica como social, haciéndolas una de las más expuestas a los efectos de los sismos. Al analizar esta región permite identificar cuáles de sus edificaciones son más vulnerables y requieren atención prioritaria. A continuación, se muestra el mapa de ubicación de la ciudad de Machala, el cual proporciona una representación detallada de su posición geográfica dentro de la región. (ver ilustración 2)

Ilustración 2: Ubicación geográfica de la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador



Fuente: Autores

1.5 Justificación

La actividad sísmica en la región costera de Ecuador, y particularmente en la ciudad de Machala, subraya la urgente necesidad de analizar la vulnerabilidad de las edificaciones frente a los eventos sísmicos. La ciudad se encuentra situada en una de las zonas más activas tectónicamente, debido a la intensa interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana. Esta condición geológica expone a Machala a riesgos constantes, que no solo podrían ocasionar daños estructurales severos, sino también generar importantes pérdidas humanas y un considerable impacto socioeconómico. Por lo tanto, es crucial abordar esta problemática para implementar medidas preventivas y mitigar los efectos de futuros sismos. (Cajamarca.D & Marin.C, 2022)

Desde una perspectiva más técnica, es imprescindible realizar un análisis más minucioso de las edificaciones con marcos a momentos en la ciudad de Machala. Estos estudios facilitan detectar las debilidades de las estructuras, además ofrece una base sólida para diseñar estrategias de refuerzo y así reducir riesgos. Estos sismos recientes, como el terremoto que sucedió en Pedernales en el año 2016 y también el de Balao en el año 2023, dejaron en claro que la resiliencia estructural es demasiado esencial para proteger así a las personas, con la finalidad garantizar la continuidad de los servicios básicos y así facilitar la recuperación económica tras una catástrofe. (Menéndez G; García J; Reyna A, 2023)

Este análisis no solo busca minimizar las pérdidas humanas y materiales, sino además en establecer un marco técnico para que sirva como guía a futuras intervenciones estructurales. Por otro lado, esto contribuye fundamentalmente en fortalecer la capacidad de respuesta de la ciudad frente a estos eventos sismos. Este trabajo de titulación no solo constituye un requisito para obtener el título en Ingeniería Civil, sino también una valiosa oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación universitaria. Además, busca contribuir a la seguridad de las edificaciones en Machala, con el propósito de mejorar el bienestar de sus habitantes.

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo General:

Analizar la vulnerabilidad sísmica de una edificación con marcos especiales a momento en la ciudad de Machala, a partir de su respuesta estructural frente a distintos niveles de amenaza sísmica, con base en los criterios establecidos en normativas nacionales.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- Examinar la literatura científica y bibliográfica sobre la vulnerabilidad sísmica de marcos a momento, analizando estudios comparativos y metodologías de evaluación para la determinación del comportamiento sísmico de estos sistemas porticados.
- Realizar un estudio de campo sobre las condiciones de las edificaciones en Machala, identificando los tipos de daños en las conexiones de los sistemas estructurales, aplicando análisis computacionales simulando su comportamiento ante eventos sísmicos.
- Aplicar una metodología integral para el análisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con marcos a momento por medio de métodos empíricos y métodos computacionales.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Contextuales

2.1.1 Macro

Un método basado en un análisis detallado para evaluar cómo los defectos en la calidad de la construcción afectan la vulnerabilidad sísmica de los marcos de hormigón armado. El estudio se enfoca en las estructuras escolares construidas en los años 80 en Corea del Sur, las cuales sufrieron graves daños durante el terremoto de Pohang. Para realizar el análisis, se identifican parámetros inciertos como la resistencia del concreto, el límite elástico del acero, la relación de refuerzo longitudinal y la relación volumétrica del refuerzo transversal. Estos parámetros se analizan mediante modelado numérico usando el software OpenSees, análisis de sensibilidad con el Diagrama de Tornado y la generación de curvas de vulnerabilidad sísmica con el Modelo Probabilístico de Demanda Sísmica. También se definen tres estados límite servicio, control de daños y prevención del colapso basados en 50 registros de movimientos sísmicos.(Kim et al., 2020)

A partir de este análisis, se resalta la importancia del método, ya que demuestra cómo las incertidumbres relacionadas con la calidad de la construcción afectan directamente la vulnerabilidad sísmica. En particular, el estudio muestra que la resistencia del concreto y la relación volumétrica del refuerzo transversal son factores clave a nivel global. Además, a nivel local, se destaca cómo la relación volumétrica del refuerzo transversal influye en la vulnerabilidad al corte, junto con el límite elástico del acero y la relación de refuerzo longitudinal. En definitiva, este enfoque no solo identifica los parámetros críticos que afectan la seguridad de las estructuras, sino que también proporciona información valiosa para entender mejor las debilidades estructurales y mejorar las prácticas de construcción. Por eso, el estudio concluye que, para lograr una construcción más segura, es fundamental asegurar la calidad del concreto y cumplir con los espaciamientos adecuados de los estribos.(Kim et al., 2020)

2.1.2 Meso

El artículo titulado "Estudio comparativo del costo y comportamiento de edificios de marcos especiales de hormigón armado con vigas invertidas y ocultas sometidas a cargas

sísmicas" explora dos tipos de diseños estructurales muy comunes en Ecuador: las vigas ocultas y las vigas invertidas. Dado que el país se localiza en una zona con alta actividad sísmica, es primordial garantizar la resistencia de edificaciones. En este contexto, los marcos especiales de momento representan una solución comúnmente empleada, ya que brindan estabilidad y una mayor capacidad de resistencia frente a las fuerzas generadas por los movimientos sísmicos. (Zúñiga et al., 2022)

Para llevar a cabo su análisis, los autores utilizaron el software ETABS una herramienta computacional que les permitió modelar 32 estructuras tridimensionales, distribuidas de manera equitativa entre vigas ocultas e invertidas. Posteriormente, estas estructuras fueron sometidas a análisis estáticos, tanto lineales como no lineales con el fin de evaluar su desempeño ante eventos sísmicos. Los resultados fueron claros: las estructuras con vigas invertidas tuvieron un comportamiento superior en zonas de alto riesgo sísmico, mientras que las vigas ocultas presentaron notables deficiencias. A raíz de esto, los investigadores recomendaron restringir el uso de vigas ocultas en áreas con alta actividad sísmica, destacando la importancia que una correcta elección del diseño estructural es crucial para garantizar la seguridad de las edificaciones.(Zúñiga et al., 2022)

Además, realizaron una investigación en la Parroquia Manglaralto utilizando el método FEMA P-154 para determinar la susceptibilidad a sismos de 81 edificaciones. Este método, que se fundamentan en inspecciones visuales rápidas, permitió identificar las irregularidades estructurales más comunes, tales como voladizos, desniveles y choques entre edificaciones próximas. Los resultados indicaron que todas las construcciones analizadas tenían un elevado grado de vulnerabilidad sísmica, lo que implica una probabilidad elevada de colapso ante a un sismo de gran magnitud. Frente a esta situación, los autores sugirieron varias técnicas de reforzamiento estructural con el objetivo de mejorar la resistencia de las edificaciones y minimizar los peligros asociados. (Malavé & Pinoargote, 2023)

2.1.3 Micro

En el trabajo de investigación de “Análisis No Lineal Estático (Pushover) De Marcos Especiales A Momento Compuestos (C-SMF)”, se analizaron 30 modelos estructurales

diseñados según la normativa sísmica chilena NCh 433. Estos modelos fueron sometidos con un análisis no lineal, para estudiar así su comportamiento frente a estas cargas sísmicas y asegurar que cumplan con los requisitos establecidos de la normativa. El objetivo era entender cómo los marcos especiales a momento compuestos responden durante un evento sismo.(Añazco A, 2023)

Estos resultados obtenidos revelaron que las edificaciones de mayor altura tienen una mayor capacidad de disipación de energía, esto les permite manejar mejor las fuerzas sísmicas. Además, se observó que, a medida que aumenta su altura, disminuye su resistencia, pero su ductilidad mejora, esto es una buena señal, ya que así significa que las estructuras pueden deformarse sin colapsar, con ello reduce su vulnerabilidad sísmica. En resumen, esto modelos compuestos mostraron una combinación positiva de resistencia y ductilidad, lo que sugiere que es una opción eficaz para con ello garantizar la seguridad frente a estos eventos. (Añazco A, 2023)

Este estudio se suma a investigaciones anteriores que buscan con el fin de mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones. Estos resultados destacan su importancia de tener en cuenta los factores como es su altura, la capacidad de disipación de energía y la ductilidad al diseñar estructuras, especialmente en países como Chile, que se encuentran en zonas de alta actividad sísmica.

2.2 Antecedentes Referenciales o históricos

La evaluación sísmica de las instituciones públicas en El Empalme, realizada con la metodología del FEMA 154, identificó a la Unidad Educativa El Empalme como la más vulnerable, con una puntuación de 44.8 debido a deficiencias estructurales significativas. En este sentido, las inspecciones de campo detectaron problemas como el uso de materiales inadecuados, diseños estructurales que no cumplen con las normativas sísmicas y un mantenimiento deficiente. Además, se analizaron factores críticos como la calidad de los materiales, el diseño, el estado de conservación y las características geológicas del terreno, los cuales impactan directamente la estabilidad de los edificios durante un sismo. Como resultado, las proyecciones indican altas pérdidas económicas, incluyendo costos elevados de reparación y posibles muertes. Por lo tanto, para mitigar

estos riesgos, se recomendaron medidas como el refuerzo estructural de los edificios vulnerables y la aplicación de normativas de construcción más estrictas, con el objetivo de garantizar una mayor seguridad para la población. (Iñiguez, 2024)

Por otro lado, se llevó un análisis de vulnerabilidad sísmicas en las construcciones del sector El Matal, Jama, Ecuador, utilizando el método FEMA 154. Los resultados indicaron que la mayoría de las edificaciones (85%) tienen una baja vulnerabilidad sísmica, pero se identificaron graves irregularidades en algunas, lo que incrementa el riesgo. Además, un 15% de las edificaciones mostraron deterioro y riesgos geológicos como licuación, lo que resalta la urgencia de reforzar la infraestructura y actualizar las normativas sismo-resistentes. (Mora & Baque, 2025)

Por otro lado, se realizó un estudio similar en unidades educativas de la provincia de Mendoza, Argentina, con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad sísmica de sus estructuras. Este análisis se basó en la metodología FEMA P-154, que consta de dos niveles de evaluación. El primer nivel, conocido como Nivel 1 (SL1), se basa en una inspección visual externa de los edificios, mientras que el segundo nivel, el Nivel 2 (SL2), complementa al primero mediante una inspección interna más detallada. Los puntajes obtenidos en cada nivel permiten clasificar las escuelas según su grado de vulnerabilidad sísmica. En el caso del Nivel 1, los resultados muestran que la Escuela N°1 y la Escuela N°3 fueron clasificadas como medianamente vulnerables, con un puntaje de 48 en ambas. En cuanto a la Escuela N°2, se observó una variabilidad en la vulnerabilidad de sus cuerpos estructurales, ya que algunos fueron clasificados como medianamente vulnerables, otros como vulnerables y uno como poco vulnerable. Por último, la Escuela N°4 fue clasificada como muy vulnerable en todos sus cuerpos. (Nery, 2021)

Al pasar al Nivel 2, los resultados se volvieron más concluyentes y mostraron una recalificación de las escuelas. La Escuela N°1 y la Escuela N°3 fueron reclasificadas como muy vulnerables, ambas con un puntaje ajustado de 79. La Escuela N°2 experimentó una variación en la clasificación de sus cuerpos estructurales: algunos cuerpos se mantuvieron como medianamente vulnerables, mientras que otros pasaron a ser vulnerables o extremadamente vulnerables. Finalmente, la Escuela N°4, que ya había sido clasificada como muy vulnerable en el Nivel 1, fue evaluada como extremadamente

vulnerable en todos sus cuerpos, con un puntaje ajustado de 100 en cada uno. Al comparar estos resultados con el método del Índice de vulnerabilidad, se concluye que la metodología FEMA P-154, especialmente al aplicar los dos niveles de evaluación, ofrece una mayor precisión y correlación con los resultados del índice de vulnerabilidad, brindando una evaluación más completa de la vulnerabilidad sísmica de los edificios. (Nery, 2021)

2.3 Antecedentes Conceptuales

2.3.1 Definición de Sismo

Un sismo es una vibración que esto ocurre debido a un roce de las placas tectónicas de la Tierra. Cuya vibración puede tener varios efectos, como es la destrucción de edificios, pérdidas de vidas y el trauma de las personas que lo viven. Los sismos son, agitaciones en la superficie de la Tierra, y esta intensidad puede variar dependiendo de diversos factores.(Rodriguez L, 2021)

Estos movimientos sísmicos, estos son también conocidos como temblores, pueden generar ondas de diferentes intensidades. Algunas son débiles que son progresivos para las personas, mientras que en otros casos son tan fuertes que pueden causar severos daños, derrumbando edificios en cuestión de segundos. Los sismos pueden ir desde eventos casi paulatinos hasta los desastres naturales devastadores. (Rodriguez L, 2021)

2.3.2 Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica esto se refiere a la capacidad de una estructura, un conjunto de edificios o incluso a una zona urbana de sufrir daños durante un sismo. Esta suspicacia depende en una gran medida de las propiedades físicas y estructurales de las construcciones, estos materiales utilizados, el diseño y la calidad de la ejecución. Esto quiere decir, cuanto más resistente y mejor diseñado sea un edificio, menos probabilidad tiene a ser vulnerable ante un terremoto.(Meyers-Angulo et al., 2023)

Por esta razón, estudiar la vulnerabilidad sísmica es un factor clave con la finalidad de identificar los riesgos en una determinada área y tomar medidas para reducir los posibles daños. Esto es muy importante en las ciudades, las edificaciones tienen diseños

específicos, como los marcos especiales a momento, estos responden de manera diferente a las fuerzas sísmicas. Al entender esto de cómo se comportan estas estructuras frente a un sismo, debido a esto se puede implementar estrategias seguras, como es en reforzar las edificaciones o hacer una mejora a las normativas de construcción, para así proteger tanto a las personas y los bienes materiales.

2.3.2 Definición de Peligro sísmico

El peligro sísmico se refiere a la probabilidad de una determinada región se supere a un nivel específico de intensidad sísmica durante un periodo de tiempo determinado. Este concepto está basado en un enfoque probabilístico y sismológico, ya que este se centra en un análisis de factores clave de los movimientos sísmicos, como es su magnitud, frecuencia y su ubicación. Su principal objetivo es identificar las posibles amenazas que se presentan los terremotos a una zona determinada, lo que proporciona una base científica esencial para así la planificación y gestión del territorio. (Zarate et al., 2023)

En este caso la ciudad de Machala, situada en la costa sur de Ecuador, el peligro sísmico es especialmente muy relevante, debido a su proximidad a la zona de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, esta es una de la más activas del Pacífico. Esta distribución tectónica provoca sismos frecuentes, estos a la vez pueden ser de gran magnitud. Por ello, es demasiado fundamental realizar estudios bien detallados que permitan establecer niveles precisos con la amenaza sísmica. Estos estudios no solo son importantes para comprender los riesgos a los que se enfrenta la ciudad de Machala, sino también para diseñar estrategias de mitigación y su debida protección que ayuden a reducir el impacto de futuros sismos de la ciudad.

2.3.3 Intensidad sísmica

Es crucial entender la intensidad sísmica, esto describe los efectos reales de un terremoto o sismo en un lugar específico. En este caso, conocer la intensidad sísmica es especialmente importante porque permite así entender cómo un sismo afecta en la superficie terrestre. A diferencia de la magnitud, que mide la energía liberada en el hipocentro, esta intensidad puede variar dependiendo de su ubicación geográfica y las condiciones locales de cada área. Esto significa que dos lugares cercanos se pueden

experimentar efectos sísmicos muy diferentes debido a factores como es el tipo de suelo o la cercanía al epicentro. (Sun et al., 2020)

Para medir la intensidad sísmica, se utilizan modelos probabilísticos en tiempo real, esta combina información sobre la probabilidad de que ocurra un terremoto y modelos que predicen cómo se moverá el suelo. Debido a este este enfoque, se pueden generar así mapas de intensidad sísmica con la finalidad que predicen la máxima intensidad que podría ocurrir esto en una región durante un período determinado, como 90 días. Estos mapas se encuentran basados en parámetros como la aceleración máxima del suelo (PGA), siguiendo así las normas de instituciones sismológicas. Este tipo de cálculos es vital, ya que la intensidad sísmica afecta en sí directamente la vulnerabilidad de las edificaciones y su impacto sobre las personas, lo cual permite tomar medidas preventivas mucho más eficaces frente a los eventos futuros naturales. (Sun et al., 2020)

2.3.4 Magnitud sísmica

La medición correcta de los movimientos telúricos logra dimensionar su efecto y plantear medidas para minimizar sus efectos. Para la misma se considera como un factor crucial la magnitud sísmica del evento, esto es con el objetivo de determinar la cantidad de energía liberada durante el evento sísmico. Para esto se estudian las amplitudes de las ondas sísmicas obtenidas en estaciones sismológicas, teniendo en cuenta necesidades como por ejemplo la separación entre la fuente sísmica y las estaciones receptoras. Esto permite clasificar la fuerza del sismo y determinar qué tan efectiva será en las zonas afectadas. (X. Zhang et al., 2022)

En este sentido, se propone en el presente artículo un nuevo método de calcular el tamaño de un sismo, a partir de emplear redes neuronales convolucionales en sus modalidades, llamadas STGNN. Estos modelos se alimentan con información de múltiples estaciones sísmicas para estimar de forma precisa parámetros clave sobre el terremoto, incluyendo tiempo, lugar, profundidad, así como su magnitud. A partir de la base de datos de ondas y mediante el levantamiento de las distancias entre los puntos donde se encuentran ubicadas las estaciones, las STGNNs consiguen más eficiencia a la hora de estimar la magnitud de un temblor e incluso supera las técnicas convencionales. Esto a su vez es

sumamente importante, desde luego, porque esto permite el cálculo en coordinación con el tiempo real. (X. Zhang et al., 2022)

2.3.5 Pórticos especiales a momento

Un pórtico especial a momento es una estructura que consta de vigas y columnas que se ensamblan de tal manera que pueden soportar fuerzas considerables como terremotos y vientos. En este tipo de sistema, la columna es más estructural y la viga más plana y la junta es rígida. Esta configuración permite que la estructura sea capaz de soportar distintos tipos de esfuerzos como tensión, cortante, flexión, compresión y torsión, distribuyendo la carga que recibe. El principal objetivo de este diseño es disipar las fuerzas laterales que se producen en una edificación cuando se construye un sismo o se presentan vientos de gran fuerza. (Arif & Craifaleanu, 2023)

Un pórtico resistente es uno que no sufre deformación. Una parte esencial de esta categoría es que se producen deformaciones plásticas (se le conoce también como rótulas plásticas), tanto en las vigas como en las columnas a una distancia razonable del nudo. Este diseño asegura que las tensiones se distribuyan de manera eficiente, contribuyendo a incrementar la energía y que la estructura pueda soportar dicho movimiento sísmico sin perder su estabilidad. Esta característica aumenta la capacidad del tipo de estructura para soportar las cargas sísmicas sin poner en riesgo la seguridad de la construcción. (Arif & Craifaleanu, 2023)

2.3.7 Irregularidad vertical

La irregularidad vertical, son a las discontinuidades o variaciones que pueden existir en la geometría, la masa, la rigidez o la resistencia a lo largo de la altura de un edificio. Estas irregularidades, muchas veces originadas por razones arquitectónicas o estéticas, tienen un impacto importante en el comportamiento estructural, especialmente cuando el edificio está sometido a terremotos o fuertes vientos. (Rathnasiri et al., 2020)

Con base en lo anterior, estas irregularidades suelen generar puntos débiles en la estructura, convirtiéndose en zonas propensas a daños durante los sismos. Por esta razón, insiste en la necesidad de cuantificar el grado de irregularidad, ya que esta evaluación es

fundamental para determinar el comportamiento sísmico de los edificios y asegurar su capacidad para resistir eventos naturales extremos. (Rathnasiri et al., 2020)

2.3.8 Elementos estructurales

Los elementos estructurales son esenciales para asegurar la rigidez y resistencia de un edificio, ya que soportan las diversas cargas internas y externas a las que se enfrenta. Estas cargas incluyen las cargas vivas, muertas y sísmicas, las cuales se consideran detenidamente durante el diseño para lograr construcciones más seguras y duraderas. Además, los autores destacan la importancia de adoptar un enfoque integral que tenga en cuenta tanto los elementos visibles de la estructura como las imperfecciones inherentes a los materiales, lo que ayuda a mejorar la seguridad y la vida útil de las edificaciones. (Vyrovoy et al., 2019)

Esta perspectiva es especialmente importante en el contexto de los sismos. Las edificaciones destinadas a uso habitacional o con ocupación especial deben ser diseñadas para soportar cargas extremas, no solo para asegurar la seguridad de los ocupantes, sino también para mantener su funcionalidad estructural después del evento. Para lograr esto, es necesario cumplir rigurosamente con normativas, especificaciones y códigos de construcción, que proporcionan las bases necesarias para diseñar estructuras que puedan enfrentar fuerzas sísmicas de manera efectiva. Estas consideraciones destacan la relevancia de los elementos estructurales como el núcleo de una construcción resistente y confiable. (Vyrovoy et al., 2019)

2.3.9 Elementos no estructurales

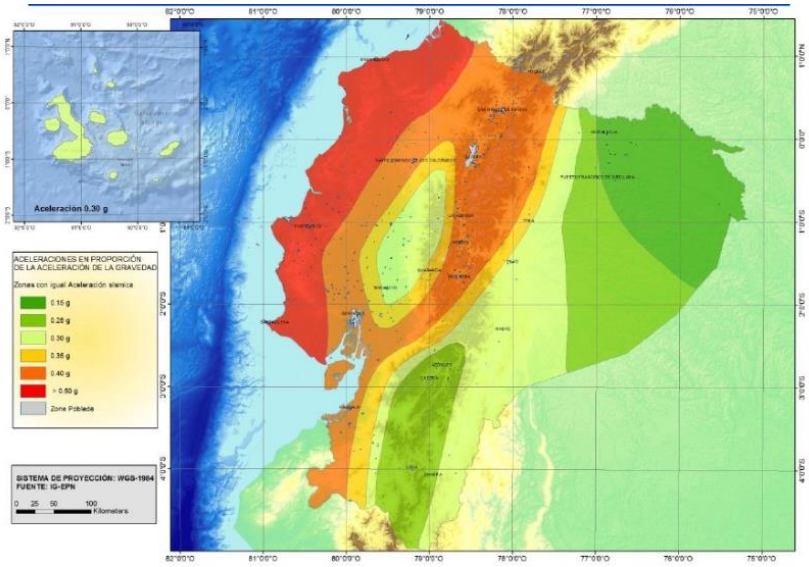
Los elementos no estructurales tienen un papel clave en la seguridad y funcionalidad de las edificaciones, principalmente durante y después de un evento sísmico. Aunque no formen parte de su estructura principal, este impacto puede ser significativo, ya que, si esto no se gestionan directa y correctamente, pueden causar daños en los materiales, estragos graves e incluso con pérdidas humanas. Por esta razón, su relevancia con el diseño y su mantenimiento de edificaciones no se deben subestimarse.(Collantes, 2022)

La importancia de estos elementos se radica en su capacidad para proteger las vidas y minimizar los daños en caso de un evento sismo. Para lograrlo, esto es fundamental que sean diseñados y gestionados adecuadamente, priorizando su estabilidad y resistencia ante estos movimientos sísmicos. Su enfoque permite garantizar así la seguridad de los ocupantes y la funcionalidad de los espacios interiores. Se debe considerar tanto la estabilidad estructural del edificio como la de sus componentes internos esto es esencial para ofrecer una protección integral frente a los desastres naturales. (Collantes, 2022)

2.3.10 Zonas sísmicas según la Norma Ecuatoriana De Construcción (Nec 2015)

La norma ecuatoriana de construcción del 2015 establece que el Ecuador está dividido en seis zonas sísmicas, cada una tiene un valor específico denominado Z, cuyo valor representa la aceleración máxima en la roca para edificaciones comunes, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad. En el siguiente mapa del Ecuador se visualiza que el país en general enfrenta un alto nivel de amenazas sísmicas en donde existen varias diferencias significativas entre regiones. Por ejemplo, mientras la región nororiental presenta una amenaza moderada, el litoral costero se clasifica como una de las zonas de muy alta amenaza sísmica, lo que se refleja la diversidad de riesgos en el territorio nacional. (ver ilustración 3)

Ilustración 3 División territorial del país según niveles de amenaza sísmica.



Fuente: (Norma ecuatoriana de la construcción, 2015)

La zonificación sísmica se establece con base en estudios de peligro sísmico, considerando una probabilidad del 10 % de excedencia en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años. En este contexto, la ciudad de Machala presenta un factor Z de 0.40, clasificándola como una zona de peligro sísmico alto, lo que exige el cumplimiento estricto de normas estructurales para mitigar riesgos. (NEC, 2015). (ver tabla 1)

Tabla 1 Asignación del factor sísmico Z según la zona sísmica considerada

Zona sísmica	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥ 0.50
Determinación del riesgo sísmico potencial	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: NEC 2015

2.3.10.1 Factores de amplificación sísmica

Los coeficientes Fa y Fd se utilizan para aumentar, respectivamente, los valores del espectro elástico de aceleraciones y del espectro elástico de desplazamientos, dependiendo del tipo de suelo y la zona sísmica del sitio. Por su parte, el coeficiente Fs toma en cuenta el comportamiento no lineal de los suelos frente a la acción sísmica. A continuación, se presentan estos factores en las Tablas 2, 3 y 4, según lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 2 Factores de sitio Fa y tipos de suelo

Tipo de perfil de suelo	***I (0,15)***	***II (0,25)***	***III (0,30)***	***IV (0,35)***	***V (0,40)***	***VI (≥ 0,5)***
A	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,40	1,30	1,25	1,23	1,20	1,18
D	1,60	1,40	1,30	1,25	1,20	1,12
E	1,80	1,40	1,25	1,10	1,00	0,85
F	Consultar la Tabla 2, donde se presenta la clasificación de los perfiles de suelo, así como la sección 10.5.4 para mayor detalle.					

Fuente: NEC 2015

Tabla 3 Factores de sitio Fd y tipos de suelo

Tipo de perfil de suelo	***I (0,15)***	***II (0,25)***	***III (0,30)***	***IV (0,35)***	***V (0,40)***	***VI (≥ 0,5)***
A	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
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	La clasificación de los tipos de suelo se detalla en la tabla 2 y 10.6.4					

Fuente: NEC 2015

Tabla 4 Coeficientes de amplificación sísmica Fs asociados a la clasificación del subsuelo.

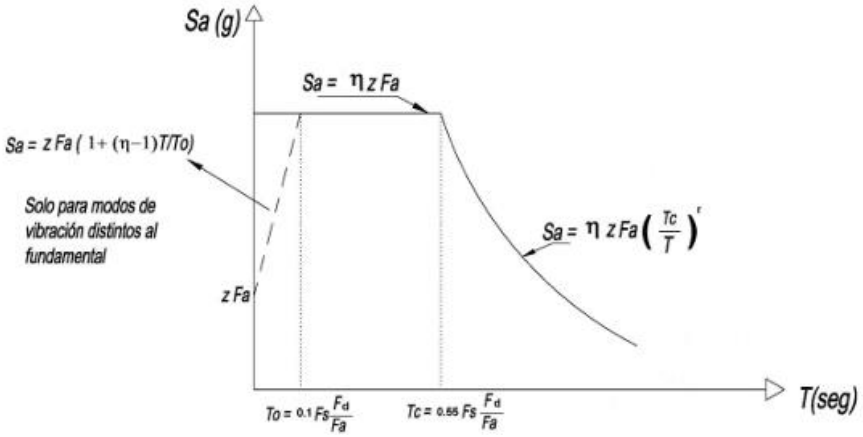
Tipo de perfil de suelo	***I (0,15)***	***II (0,25)***	***III (0,30)***	***IV (0,35)***	***V (0,40)***	***VI (≥ 0,5)***
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,40
E	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
F	Consultar la Tabla 2 para la clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4 para detalles complementarios.					

Fuente: NEC 2015

2.3.10.2 El espectro de diseño horizontal en términos de aceleración elástica.

Para la elaboración del espectro de respuesta sísmica, se emplean los factores previamente analizados, considerando además la ubicación geográfica de la zona de estudio. Estos parámetros permiten adaptar el espectro a las condiciones específicas del sitio. La Ilustración 4 presenta un modelo de referencia para el diseño del espectro de respuesta, conforme a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-DS, 2015).

Ilustración 4 Espectro sísmico elástico de aceleraciones.



Fuente: NEC 2015

2.3.10.3 La razón entre la aceleración máxima del terreno (PGA) y la aceleración espectral (Sa) para un período de retorno determinado.

Por esta razón, para el análisis se adoptan los valores específicos que corresponden a cada área, garantizando así una adecuada representación de las condiciones sísmicas locales, son los siguientes.

- η = 1,80: Regiones de la zona costera, con excepción de la provincia de Esmeraldas.
- η = 2,48: Regiones pertenecientes a la Sierra, junto con las provincias de Esmeraldas y Galápagos.
- η = 2,60: Provincias que conforman la región amazónica ecuatoriana.

2.3.10.4 El factor empleado en el espectro de diseño elástico constituye un parámetro fundamental para el análisis sísmico.

Los valores asignados a este factor varían en función de la ubicación geográfica del proyecto, ya que las condiciones sísmicas y la intensidad esperada del movimiento del suelo difieren entre regiones.

- r = 1, Para todos los perfiles de suelo se adopta, excepto cuando se trata del suelo tipo E.
- r = 1,5 para tipo de suelo E.

2.3.10.5 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

Se define como una aceleración expresada en función de una fracción de la gravedad, cuyo valor varía según el período de vibración de la edificación o estructura. Para los distintos rangos de período existentes, estos valores se determinan mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Cuando } 0 \leq T \leq Tc \quad \rightarrow \quad Sa = \eta * Z * Fa$$

$$\text{Cuando } T > Tc \quad \rightarrow \quad Sa = n * z * Fa \left(\frac{TC}{T}\right)^r$$

2.3.10.6 Cortante basal de diseño (V)

La fuerza lateral de diseño corresponde a la carga aplicada en la planta base de un edificio como consecuencia de la acción de un sismo de diseño. Esta fuerza puede determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$v = \frac{I * Sa}{R * \phi P * \phi E} * w$$

Donde:

Sa = Espectro de diseño en aceleración.

$\phi P * \phi E$ = Factores asociados a la regularidad en planta y en altura de la estructura.

I = Factor determinado según la categoría de importancia asignada a la edificación.

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

W = Carga símica reactiva aplicada a la estructura.

2.3.10.7 Coeficiente de importancia de la estructura

El coeficiente I es el encargado de incrementar la demanda sísmica de diseño en función del tipo de ocupación que tendrá la estructura. Este factor resulta fundamental, debido a que algunas construcciones deben seguir funcionando tras un evento sísmico., evitando daños significativos que comprometan su funcionamiento. Los valores correspondientes a este coeficiente se encuentran detallados en la tabla 5 (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 5 Tipología estructural de las edificaciones en función de su finalidad y grado de relevancia.

Categoría	*Tipo de uso, destino e importancia*	*Coeficiente I*
Edificaciones de carácter esencial	Establecimientos de atención prioritaria como: hospitales, clínicas, unidades médicas y centros forman parte de esta categoría. También se incluyen edificaciones que albergan cuerpos militares, estaciones policiales, cuarteles de bomberos y entidades de protección civil. Se contemplan además áreas de resguardo como garajes o hangares para vehículos y aeronaves destinados a la respuesta ante desastres. Se consideran infraestructuras como torres de control aéreo, centros de comunicaciones estratégicas y salas de operaciones para emergencias. A esto se suma la infraestructura asociada a sistemas eléctricos, incluyendo espacios donde operan generadores y redes de distribución. Finalmente, están los tanques y estructuras que almacenan agua o sustancias usadas en el control de incendios, así como edificaciones destinadas al resguardo de materiales peligrosos como químicos, sustancias inflamables, tóxicas o explosivas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, templos religiosos, instituciones educativas, centros o deportivos con capacidad para más de 300 personas. Se incluye aquellas estructuras que puedan concentrar más de 5 mil personas. Edificios públicos cuya operación no debe ser interrumpida.	1,3
Otras estructuras	Todas las aquellas edificaciones que no se enmarcan dentro de las categorías anteriores.	1

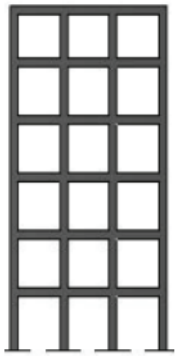
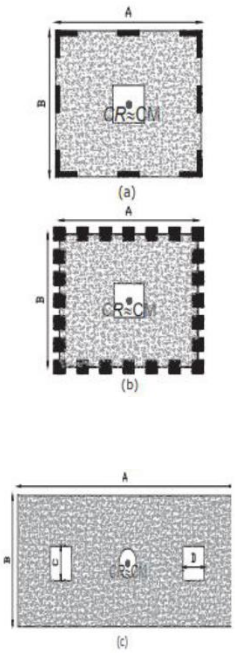
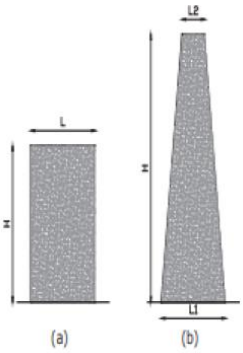
Fuente: NEC 2015

2.3.10.8 Regularidades en planta y elevación.

El cálculo del cortante basal requiere un análisis detallado de la configuración estructural del edificio. En aquellos casos en los que la planta presenta irregularidades o la elevación muestra una geometría atípica, es indispensable incorporar un factor de penalización en

el diseño. Este ajuste tiene como finalidad contemplar posibles deficiencias en la configuración estructural, garantizando así una respuesta sísmica más realista y segura.

Tabla 6 Configuraciones estructurales recomendadas

Configuración en elevación ϕe = 1		Configuración en planta ϕp= 1	
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas a porticados es constante en todos los ϕe = 1		La disposición ideal en planta de un sistema estructural se da cuando el centro de rigidez es semejante al centro de masa. ϕe = 1	
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional ϕe = 1			

Fuente: NEC 2015

La Tabla 6 presenta los factores asignados para configuraciones estructurales que se consideran regulares tanto en planta como en elevación. Estos valores permiten establecer criterios de diseño más precisos al no requerir ajustes por irregularidades geométricas, facilitando así una evaluación más directa del comportamiento sísmico de la estructura.

2.3.10.9 Factor de reducción de resistencia sísmica (R)

En el análisis y diseño sismo resistente de una edificación, es imprescindible aplicar un factor de reducción de las fuerzas sísmicas de diseño. Este factor tiene en cuenta la capacidad de la estructura para desarrollar un comportamiento dúctil, permitiendo la formación controlada de rótulas plásticas en zonas específicas, sin comprometer su

estabilidad global. De este modo, las fuerzas obtenidas a partir del espectro elástico se ajustan para representar una respuesta inelástica más realista. Este factor, establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), se encuentra especificado en la Tabla 7 (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 7 Parámetros R de disminución sísmica

Estructuras con ductilidad	Factor R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismorresistentes de concreto reforzado, con vigas invertidas, complementados por muros estructurales de hormigón armado o diagonales de arriostramiento, formando sistemas estructurales duales	8
Pórticos especiales sismorresistentes de acero laminado en caliente, reforzados mediante diagonales de arriostramiento (concéntricas o excéntricas) o mediante muros estructurales de concreto armado	8
Pórticos compuestos conformados por columnas de concreto armado y vigas de acero laminado en caliente, integrando diagonales de arriostramiento concéntricas o excéntricas	8
Pórticos especiales sismorresistentes de concreto armado con vigas tipo banda, acompañados por muros estructurales de hormigón armado o por elementos de arriostramiento diagonal.	7
Marcos resistentes a momentos	
Pórticos especiales de concreto reforzado con vigas invertidas, concebidos para soportar acciones sísmicas.	8
Pórticos especiales resistentes a sismos, elaborados con acero laminado en caliente o mediante sistemas de marcos con placas.	8
Estructuras compuestas con columnas de hormigón armado y vigas fabricadas en acero laminado en caliente	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas estructurales conformados por muros dúctiles de hormigón armado.	6
Pórticos especiales sismorresistentes de concreto armado con vigas banda.	5

Fuente: NEC 2015

2.3.10.10 Inercias Agrietadas

Aplicable a edificaciones construidas con concreto reforzado y sistemas de mampostería, el cálculo de la rigidez y de las máximas desviaciones exige considerar el efecto de las fisuras en los elementos estructurales. Por esta razón, se deben emplear las inercias agrietadas de vigas y columnas, las cuales representan de manera más precisa el comportamiento real de la estructura bajo cargas sísmicas. Este ajuste se realiza mediante factores de reducción de inercia, cuyos valores están establecidos en la Tabla 8 de la (NEC-SE-DS 2015).

Tabla 8 Inercias agrietadas

Inercias agrietadas para elementos de hormigón armado	
Columnas	0,8 * I
Vigas	0,5 * I
Muros estructurales	0,6 * I

Fuente: NEC 2015

2.3.11 Método cualitativo para determinar la vulnerabilidad sísmica

2.3.11.1 Método FEMA P-154

Esta metodología, si su valor de inspección es inferior a 2, se considera que el edificio es susceptible al colapso y, por este motivo, requiere un estudio más detallado. En cambio, si su valor es superior a 2, la edificación muestra un rendimiento sísmico muy estable y una baja probabilidad a un colapso. En este trabajo, utilizaremos esta metodología junto con el mapa de zonificación sísmica de Ecuador, siguiendo con las pautas establecidas en la norma NEC-2015, para así evaluar la seguridad sísmica de la edificación. (Harirchian et al., 2020)

2.3.12 Método cuantitativo para determinar la vulnerabilidad sísmica

2.3.12.1 Método Pushover

Para evaluar el desempeño de una estructura y su capacidad para resistir cargas, se deben utilizar diferentes metodologías que puedan así clasificarse en estáticas y dinámicas. Estas metodologías se deben aplicar en los rangos elástico e inelástico de los materiales, dependiendo de la situación. Uno de estos métodos más recomendados es el Análisis Estático No Lineal, o método Pushover, debido a que es el menos exigente en términos de recursos computacionales y ofrece resultados que son bastante precisos en comparación con las otras metodologías más complejos.

El método Pushover consiste en aplicar cargas laterales de una forma progresiva sobre la estructura cuyo diseño de refuerzo ya está definido. Cuyas cargas se incrementan hasta

que la estructura colapsa, esto permite generar una curva de capacidad. Esta curva es bien fundamental para analizar cómo la estructura reacciona ante cargas extremas, como las inducidas por un sismo, y proporciona información crucial para entender su comportamiento y resistencia. (Vega, 2021)

2.3.13 Rotulas en viga y columnas

Se define a las rótulas como una categoría de modelos no lineales que han sido desarrollados y perfeccionados para representar el comportamiento de las uniones viga-columna en estructuras de hormigón armado (RC). El objetivo principal de estos modelos es simular el desempeño último de dichas uniones, es decir, su comportamiento ante cargas sísmicas hasta alcanzar su capacidad máxima o punto de falla, considerando la movilización de la respuesta post-elástica de los elementos estructurales.

No obstante, a pesar de la precisión con la que estos modelos pueden capturar el comportamiento inelástico, el autor advierte que su implementación conlleva una complejidad considerable dentro del marco de los modelos de elementos finitos (FEM). Esta complejidad técnica y computacional los vuelve poco viables para su aplicación práctica en la ingeniería estructural cotidiana. Frente a esta limitación, el estudio en cuestión plantea un enfoque alternativo, de carácter unificado y simplificado, cuyo propósito es lograr un equilibrio adecuado entre la fidelidad en la representación del fallo de las uniones viga-columna RC y la practicidad requerida en el ámbito profesional.(Ramaglia et al., 2022)

2.3.14 Inercias agrietadas en vigas y columnas

La reducción de rigidez en vigas y columnas debido al agrietamiento constituye un aspecto clave en la evaluación del comportamiento estructural. Para capturar adecuadamente este fenómeno, las vigas y columnas fueron modeladas mediante elementos viga-columna no lineales basados en fibras, utilizando un enfoque de plasticidad distribuida. Este modelo permitió simular de forma precisa la degradación progresiva de la rigidez a lo largo de cada elemento, a medida que el concreto se fisuraba y el comportamiento ingresaba en el rango no lineal.

Tanto los resultados experimentales como las simulaciones numéricas demostraron que el desarrollo de fisuras flexionales y diagonales, especialmente en las zonas de unión viga-columna, produce una disminución significativa de la rigidez estructural. El análisis evidenció que ignorar esta flexibilidad, suponiendo uniones rígidas y no considerando las llamadas inercias agrietadas, conduce a una subestimación del daño estructural real, así como a una sobreestimación de la capacidad de rotación plástica de las columnas, superando incluso los límites establecidos por la normativa. (Girgin, 2020)

2.3.15 Comportamiento no lineal del concreto

El modelo desarrollado por Mander describe de forma detallada el comportamiento del concreto confinado, siendo aplicable tanto a secciones cuadradas como circulares. Este modelo incorpora los efectos del confinamiento transversal mediante una curva esfuerzodeformación de forma parabólica, que refleja el aumento en la resistencia a compresión y en la deformación última del concreto debido al efecto de los estribos o espirales. El mecanismo de falla se presenta cuando el refuerzo transversal pierde su capacidad de confinamiento, lo que genera una pérdida progresiva de resistencia en el núcleo del concreto. Gracias a su realismo y versatilidad, este modelo es ampliamente utilizado en programas de análisis estructural no lineal.(Palomo et al., 2024)

2.3.16 Comportamiento no lineal del acero

El comportamiento del acero bajo cargas crecientes se caracteriza por su naturaleza elasto-plástica, lo que implica una respuesta no lineal frente a esfuerzos mayores. Conforme se incrementa la demanda estructural, los elementos pueden alcanzar su resistencia última, dando lugar a la formación de rótulas plásticas, las cuales marcan el inicio de la redistribución de esfuerzos y deformaciones en la estructura. Este mecanismo resulta fundamental en el diseño sismorresistente de estructuras metálicas, ya que permite disipar energía y evitar el colapso repentino.(Z. J. Zhang et al., 2023)

3. CAPITULO III: Metodología

3.1 Modalidad básica de la investigación

La metodología empleada para alcanzar los objetivos del proyecto técnico combina enfoques cuantitativos y cualitativos. En primer lugar, se utilizarán herramientas numéricas para realizar simulaciones detalladas, modelado estructural y análisis exhaustivos, lo que permitirá obtener resultados cuantificables y una comprensión rigurosa del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos. Paralelamente, se llevará a cabo una evaluación visual rápida con el propósito de identificar posibles vulnerabilidades en la edificación. Para ello, se utilizará el formulario proporcionado por la normativa FEMA P-154, que facilitará la determinación preliminar sobre la necesidad de realizar un análisis estructural más detallado.

3.2 Tipo de investigación

Para la ejecución del presente trabajo se emplearán diversos tipos de investigación, entre los cuales destacan la investigación documental, la investigación de campo y la investigación descriptiva. Esta última tendrá un papel preponderante, dado que se requerirá recopilar y analizar información detallada y específica para el desarrollo del estudio.

3.2.1 Documental

La presente investigación se fundamenta en una exhaustiva revisión bibliográfica, que incluye la consulta de artículos científicos, normativas vigentes de diseño sismorresistente tanto a nivel nacional como internacional, y literatura técnica especializada. Esta etapa tiene como propósito comprender de manera profunda los procedimientos relacionados con el diseño estructural y el análisis no lineal, con el fin de aplicarlos de forma adecuada al edificio seleccionado como caso de estudio.

3.2.2 Campo

En el presente trabajo se llevará a cabo el diseño estructural de una edificación, sustentado en la recopilación tanto de datos cualitativos como cuantitativos relacionados con la

estructura seleccionada. Se analizarán aspectos fundamentales como las dimensiones de los elementos estructurales, el número de niveles, las luces entre vanos y el tipo estructural, entre otros parámetros relevantes, con el objetivo de realizar un análisis y diseño adecuados a las características particulares del objeto de estudio.

3.2.3 Descriptiva

En el presente estudio se analizará una estructura existente localizada en la ciudad de Machala, con el propósito de evaluar su desempeño sísmico conforme a las normativas vigentes. Para ello, se llevará a cabo inicialmente una inspección y evaluación estructural, enfocada en evaluar la resistencia sísmica que posee actualmente la estructura. Seguidamente, se aplicará el análisis estático no lineal, conocido como método Pushover, con el objetivo de estudiar el comportamiento progresivo de la edificación bajo la acción de cargas laterales incrementales, identificar los mecanismos de falla y establecer la capacidad última hasta el colapso estructural.

3.2.4 Objeto de estudio

El objeto de estudio corresponde a un edificio de hormigón armado de cinco pisos, construido en el año 2021 y localizado en la ciudad de Machala, una zona caracterizada por su alta sismicidad. La Tabla 9 presenta la distribución de los niveles del edificio, detalla el uso asignado a cada uno de sus pisos.

Tabla 9 Ocupación de cada piso del edificio

N° de pisos	*Ocupación*
Mezanine	Farmacia
Piso 1	Consultorio
Piso 2	Consultorio
Piso 3	Consultorio
Piso 4	Consultorio

Fuente: Autores

3.2.5 Descripción de la población y muestra

Para el desarrollo de esta investigación, la población objeto de estudio está conformada por las estructuras de hormigón armado que cuentan con un sistema estructural de marcos especiales a momento. En cuanto a la muestra, se ha seleccionado un edificio de cinco

pisos ubicado en el centro de la ciudad de Machala, Ecuador, que representa de manera representativa las características típicas de este tipo de construcciones en la zona.

3.3. Proceso de las metodologías

3.3.1 Metodología FEMA P-154

La metodología FEMA P-154 ofrece al evaluador la posibilidad de seleccionar entre cinco formularios específicos para llevar a cabo una evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones. Aunque estos formularios fueron diseñados considerando las condiciones sísmicas predominantes en los Estados Unidos, al aplicar esta metodología en el marco de la normativa ecuatoriana NEC, con un factor sísmico Z igual a 0.40, la región se clasifica como de alta sismicidad. No obstante, dentro del contexto propio de FEMA, dicha zona podría ser considerada como de sismicidad moderadamente alta, conforme se detalla a continuación.

La evaluación sísmica se llevará a cabo mediante una inspección técnica minuciosa de la edificación objeto de estudio, con el fin de completar el formulario de recolección de datos establecido por el método FEMA P-154. Esta actividad contempla la identificación tanto de características estructurales como no estructurales, además de la verificación de las condiciones del terreno y de las conexiones críticas. A partir de la información obtenida in situ, será posible calcular la puntuación de vulnerabilidad sísmica correspondiente al edificio.

3.3.1.1 Pasos para llenar la plantilla del FEMA P-154 de la NEC

Paso 1. Datos Generales del Edificio:

Nombre del Edificio: Especificar el nombre o designación del edificio.

Dirección: Escribir la ubicación exacta del edificio.

Sitio de referencia que facilite la ubicación más rápida.

Código Postal: Añadir el código postal correspondiente.

Uso del Edificio: Seleccionar el uso principal

Referencias espaciales geográficas:

Registrar la latitud.

Longitud del sitio.

Identificar qué tipo de zona se encuentra.

Paso 2. Datos del profesional

Inspector(es): Escribir el nombre(s) del evaluador(es).

Tipo de identificación cedula o pasaporte.

Fecha en que se desarrolle la inspección.

Hora en que se desarrolle la inspección.

Paso 3. Datos de construcción

Niveles: Marcar el número de pisos, tanto superiores como inferiores.

Años de Construcción.

Área Total del suelo: Anotar el área aproximada del suelo.

Adiciones: Señalar si existen extensiones o modificaciones estructurales.

Mencionar si se conocen los años de remodelaciones significativas.

Paso 4. Ocupación

- Marcar las Ocupaciones que tenga la edificación en la siguiente tabla.

Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia	
Industria		Oficina		Educación	
Utilidad		Alamacén		Residencial #	

Histórico		Albergue		Público	

Paso 5. Tipo de suelo

Determinar la categoría del terreno sobre el cual se emplaza la edificación, ya sea roca, arena, suelo blando u otro tipo. En caso de no poseer un estudio de suelo del perímetro donde se encuentra construido el edificio, marcar la casilla "No sé". Como se visualiza la siguiente tabla.

	A		B		C	x	D		E		F		DNK
Roca		Roca		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Si DNK,	
Dura		Débil		Denso		Duro		Blando		Pobre		Asumir tipo D	

Paso 6. Riesgos geológicos

Marcar las condiciones geológicas como fallas; licuefacción, ruptura de superficie o riesgo de deslizamiento como se presenta en la siguiente tabla.

RIESGOS GEOLÓGICOS					
Licuefacción		Deslizamiento		Ruptura de Superficie	
SI		SI		SI	
NO		NO		NO	
DNK		DNK		DNK	

- Identificar posibles irregularidades estructurales como cambios de rigidez o falta de continuidad vertical.

- Indicar si hay riesgos adicionales como caída de elementos no estructurales o desprendimiento de fachadas.

	Chimeneas sin soporte lateral		Apéndices
	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada		Parapetos
	Otros:		

- Comentarios; Anotar cualquier observación importante que no haya sido incluida en las secciones anteriores.

Paso 7. Tipología del Sistema estructural

- Identificar el tipo de estructura del edificio, como se presenta en la siguiente tabla.

La guía FEMA P-154 clasifica las edificaciones según sus sistemas estructurales para facilitar la evaluación rápida de su vulnerabilidad sísmica. La siguiente tabla 10 presenta imágenes representativas de cada tipo de construcción, junto con su codificación y una breve descripción, con el fin de apoyar su identificación visual durante inspecciones en campo.

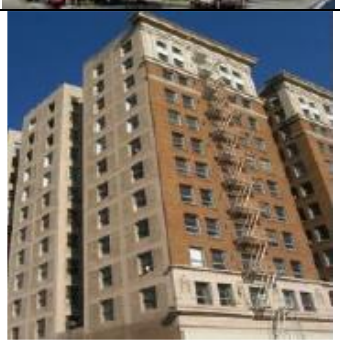
Tabla 10 Descripción de tipos de construcciones según FEMA P-154

Tipo de edificio	Fotografía	Puntuación básica	Características y rendimiento
Tipo W1: Estructura liviana de madera, aplicada a viviendas unifamiliares o multifamiliares de uno o más niveles		(VH)=2,1 (H)=3,6 (MH)=4,1 (M)=5,1 (L)=6,2	Las edificaciones de este tipo mostraron un desempeño sobresaliente durante sismos anteriores, gracias a las propiedades inherentes del sistema estructural y a su bajo peso propio. Los daños estructurales más frecuentes en construcciones antiguas se deben principalmente a la ausencia de una conexión adecuada entre la superestructura y la base.
Tipo W1A: Estructura liviana de madera en edificaciones multifamiliares de varios niveles, cuyas plantas presentan áreas superiores a 280 metros cuadrados		(VH)=1,9 (H)=3,2 (MH)=3,7 (M)=4,5 (L)=5,9	Se trata principalmente de edificios residenciales, aunque algunos incorporan espacios comerciales en la planta baja. Es común encontrar grandes aberturas en esta planta destinadas al estacionamiento, lo que da lugar a estructuras conocidas como edificios tipo W1A. Este tipo de configuración, ha tenido un desempeño deficiente en terremotos anteriores, ya que dichas aberturas generan un piso blando y reducen la rigidez lateral
Tipo W2: Estructuras de madera correspondientes a edificaciones comerciales o industriales cuya superficie excede los 470 metros cuadrados		(VH)=1,8 (H)=2,9 (MH)=3,2 (M)=3,8 (L)=5,7	Es decir, se trata comúnmente de edificaciones comerciales o industriales, usualmente de uno a tres niveles, aunque en casos poco frecuentes pueden alcanzar hasta seis pisos. Para edificaciones comerciales o industriales con una superficie menor a 5,000 pies cuadrados, también puede clasificarse dentro del tipo W2.

Fuente: Agencia Federal para el Manejo de Emergencias. (FEMA P-154).

Tipo de edificio	Fotografía	Puntuación básica	Características y rendimiento
S1: Sistema estructural de acero conformado por marcos resistentes a momento.		(VH)=1,5 (H)=2,1 (MH)=2,3 (M)=2,7 (L)=3,8	Los diafragmas de piso suelen estar conformados por losas de concreto, en algunos casos apoyadas sobre cubiertas de acero. Este tipo estructural es común en edificaciones comerciales, institucionales y de uso público. La limitada rigidez del marco puede ocasionar daños no estructurales significativos. Este tipo de construcción puede incluir un sistema de resistencia sísmica basado en elementos de concreto armado
S2: Estructura de acero con marcos arriostrados para resistir fuerzas laterales.		(VH)=1,4 (H)=0,2 (MH)=2,2 (M)=2,6 (L)=3,9	Los marcos arriostrados se emplean con frecuencia en edificaciones alargadas y angostas debido a la rigidez que proporcionan. Observaciones en terremotos recientes revelaron que estos sistemas pueden presentar daños en las conexiones, especialmente en los niveles inferiores.
S3: Construcción con acero liviano		(VH)=1,6 (H)=2,6 (MH)=2,9 (M)=3,5 (L)=4,4	El sistema estructural típico está compuesto por marcos resistentes a momento en la dirección transversal y marcos arriostrados en la dirección longitudinal, complementados con revestimiento metálico de lámina ondulada. En algunas zonas, este tipo de edificación ligera puede incorporar muros de mampostería de media altura.
S4: Sistema de acero reforzado combinado con muros de corte estructurales.		(VH)=1,4 (H)=2,0 (MH)=2,2 (M)=2,5 (L)=4,1	La resistencia a las cargas laterales es provista por muros de corte, comúnmente dispuestos alrededor de los núcleos de circulación vertical como ascensores y escaleras, y revestidos con acabados arquitectónicos. Durante eventos sísmicos, pueden aparecer fisuras por cortante y esfuerzos de tracción.
S5: Estructura metálica acompañada por muros de relleno de mampostería sin refuerzo.		(VH)=1,2 (H)=1,7 (MH)=2,0 (M)=2,7 (L)=4,5	Las columnas de acero, de sección relativamente delgada, suelen quedar ocultas dentro de los muros. Las fachadas generalmente muestran mampostería expuesta, con pilares angostos —de menos de 1.20 metros de ancho— entre vanos de ventanas. Algunas porciones de los muros sólidos se alinean verticalmente a lo largo del edificio.

Fuente: Agencia Federal para el Manejo de Emergencias. (FEMA P-154).

Tipo de edificio	Fotografía	Puntuación básica	Características y rendimiento
C1: Sistema estructural de concreto armado compuesto por marcos resistentes a momento.		(VH)=1,0 (H)=1,5 (MH)=1,7 (M)=2,1 (L)=3,3	Todos los marcos de concreto visibles están construidos con elementos reforzados; es decir, no se trata de marcos de acero revestidos con concreto. Un aspecto clave en el desempeño de los marcos de concretos resistentes a momento es el grado de detallado dúctil que poseen. Puede producirse daño en las columnas cuando se presentan impactos con edificaciones vecinas.
C2: Estructura de concreto reforzado que incorpora muros de corte.		(VH)=1,2 (H)=2,0 (MH)=2,1 (M)=2,5 (L)=4,2	Las edificaciones con muros de concreto suelen construirse vertiendo el material directamente en el sitio, lo que se evidencia en su apariencia típica de concreto vaciado en obra.
C3: Marcos de concreto acompañados por muros de relleno de mampostería no reforzada.		(VH)=0,9 (H)=1,2 (MH)=1,4 (M)=2,0 (L)=3,5	Las columnas y vigas de concreto pueden tener el espesor de toda la pared y, en muchos casos, están expuestas en las fachadas laterales y posteriores del edificio. Es común que la mampostería exterior quede visible, con elementos verticales delgados (menores a 1.20 metros de ancho) ubicados entre aberturas de ventanas.
PC1: Edificaciones de concreto con componentes inclinados o en voladizo hacia arriba.		(VH)=1,1 (H)=1,6 (MH)=1,8 (M)=2,1 (L)=3,8	La cubierta del edificio puede estar compuesta por un diafragma de madera contrachapada apoyado en correas y vigas laminadas de madera, o bien por un sistema metálico conformado por viguetas livianas y cubierta de acero, sustentado internamente por

			columnas tubulares de acero.
PC2: Construcciones conformadas por elementos prefabricados de concreto ensamblados en obra.		(VH)=1,0 (H)=1,4 (MH)=1,5 (M)=1,9 (L)=3,3	Las estructuras prefabricadas de concreto generalmente consisten en elementos ensamblados como columnas y vigas prefabricadas. A menudo, este sistema incluye muros de corte hechos de concreto o mampostería reforzada, ya sea con bloques o ladrillo. Uno de los problemas comunes en este tipo de construcción es la corrosión de los conectores metálicos que unen los diferentes componentes prefabricados.

Fuente: Agencia Federal para el Manejo de Emergencias. (FEMA P-154).

Tipo de edificio	Fotografía	Puntuación básica	Características y rendimiento
RM2: Construcciones de mampostería reforzada con diafragmas rígidos.		(VH)=1,1 (H)=1,7 (MH)=1,8 (M)=2,1 (L)=3,7	Las paredes están construidas con unidades de ladrillo o bloques de concreto. Es necesaria una inspección interna para evaluar si los diafragmas del sistema son de tipo flexible o rígido..
URM: Edificios compuestos por mampostería sin refuerzo estructural.		(VH)=0,9 (H)=1,0 (MH)=1,2 (M)=1,7 (L)=3,2	Los arcos suelen ser elementos arquitectónicos característicos en edificaciones antiguas con muros de carga de ladrillo. Estos edificios frecuentemente emplean mortero de cal débil como unión entre los elementos de mampostería.
MH: Viviendas construidas con sistemas prefabricados.		(VH)=1,4 (H)=1,8 (MH)=2,2 (M)=2,9 (L)=4,6	El daño estructural suele originarse por la falta de conexión entre la base y la estructura, o por la ausencia de un sistema de arriostramiento sísmico. En sismos moderados, el edificio puede moverse de sus apoyos, afectar servicios básicos y provocar fugas de gas con riesgo de incendio.

Fuente: Agencia Federal para el Manejo de Emergencias. (FEMA P-154).

La identificación precisa del tipo de estructura de un edificio es un paso esencial para determinar su nivel de vulnerabilidad. Las tablas presentadas cumplen un papel clave en este proceso, ya que facilita la clasificación de edificaciones. A través de imágenes representativas, con sus respectivas puntuaciones y descripciones técnicas de sus características constructivas y comportamientos estructurales.

Paso 8. Puntuación básica:

Utilizar la tabla de modificadores para ajustar la puntuación inicial según características específicas del edificio, como irregularidades verticales y tipo de piso.

Parámetros Calificativos de la estructura	**W1**	**W1 A**	**W2**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**C1**	**C2**	**C3**	**PC1**	**PC2**	**RM1**	**RM2**	**URM**	**MH**
				MRF	BR	LM	RC SW	URM ING	MRF	SW	URM INF	TU		FD	RD		
PUNTAJE BÁSICO		**3,2**	**2,9**	**2,1**	**2,00**	**2,6**	**2**	**1,7**	**1,5**	**2**	**1,2**	**1,6**	**1,4**	**1,7**	**1,7**	**1**	1,5
IRREGULARIDADES																	
Irregularidad vertical Grave, VL1	-1,2	-1,2	-1,2	-1	-1	-1,1	-1	-0,8	-0,9	-1	-0,7	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7	NA
Irregularidad vertical Moderada, VL1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	NA
Irregularidad en planta, PL1	-1,1	-1	-1	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4	NA
CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-1,1	-1	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0	-0,1
Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post código moderno (construido a partir de 2015)	1,6	1,9	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
SUELO																	
Suelo Tipo A o B	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelo Tipo E (1-3Pisos)	0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0	0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-0,3	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	NA	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	NA	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	NA
Puntaje Mínimo	**1,1**	**0,9**	**0,7**	**0,5**	**0,5**	**0,6**	**0,5**	**0,5**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**0,2**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**1**
PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1 > SMIN																	

Paso 9. Grado de revisión:

Definir si la inspección se realizó en el exterior, interior, ambos, o si hubo limitaciones de acceso.

- Exterior:

	Parcial		Todos los lados		Aéreo

- Interior

	Ninguno		Visible		Completo

Especificar si se observaron conexiones estructurales y si las condiciones de los materiales son visibles o no.

- Planos revisados

	Sí		No

Paso 10. Otros riesgos:

¿Existen condiciones que justifiquen la necesidad de realizar una evaluación estructural exhaustiva?

	Posible impacto con estructuras cercanas (cuando la separación es menor al límite SL2, si se conoce)
	Peligro de colapso por la proximidad de edificaciones más altas.
	Presencia de riesgos geológicos o ubicación sobre suelos tipo F.
	Deterioro severo o daños importantes en el sistema estructural.

Paso 11. Acción requerida:

- En correspondencia con los resultados, decidir si es necesario una evaluación estructural más detallada o si se requiere la edificación medidas de refuerzo inmediato.

¿Es necesario un análisis estructural a detalle?

	Sí, tipo de edificación FEMA no está identificado.
	Sí, puntaje obtenido está por debajo del límite
	Sí, otros riesgos relevantes.
	NO

¿Se recomienda una evaluación detallada de elementos no estructurales?

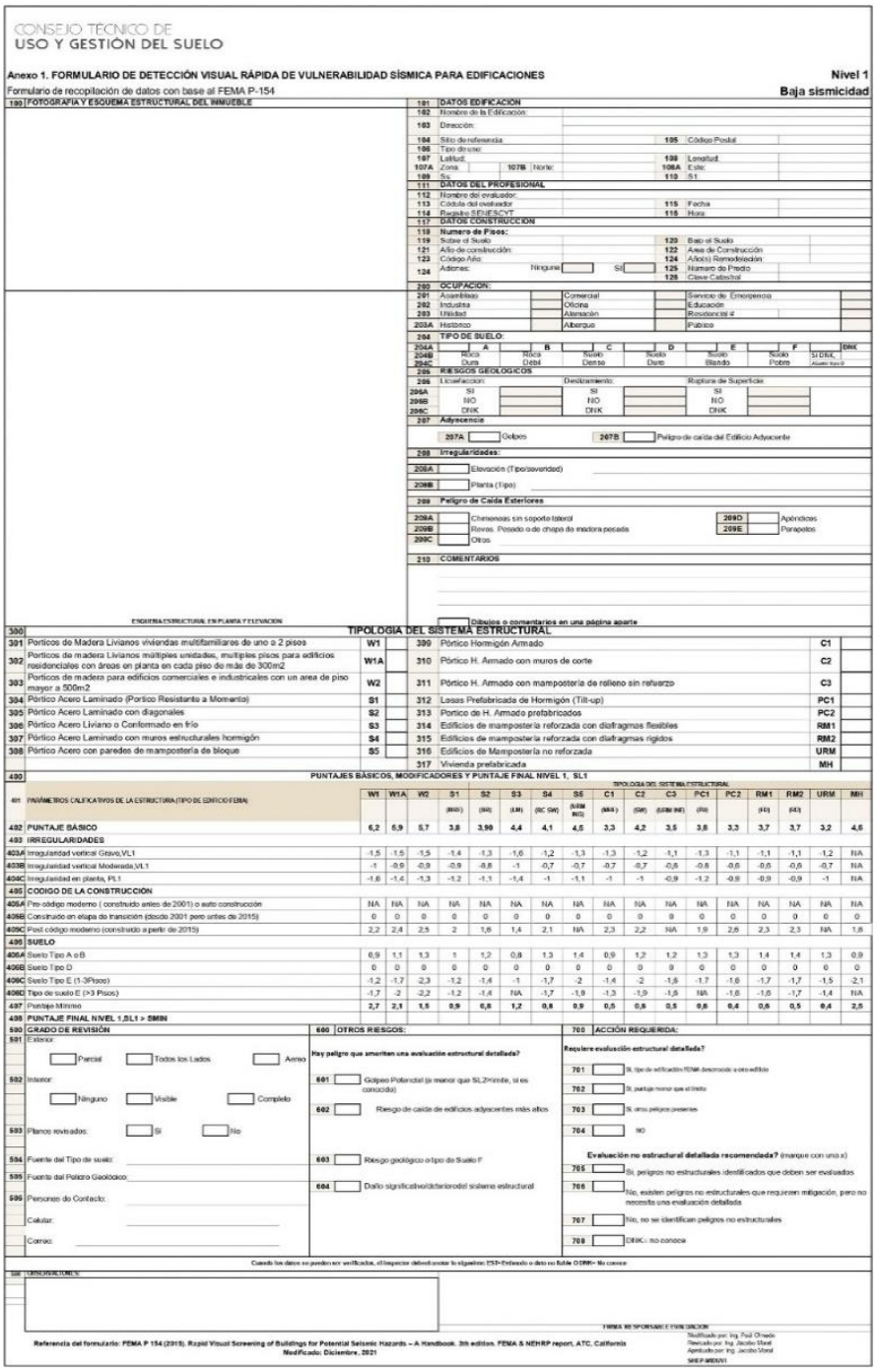
	Sí, Se han identificado riesgos no estructurales que requieren ser evaluados
	No, aunque existen riesgos no estructurales, no es necesario un análisis detallado; basta con medidas de mitigación.
	No, no se han detectado amenazas no estructurales.
	DNK = no conoce

Paso 12. Observaciones:

Anotar cualquier observación importante que no haya sido incluida en las secciones anteriores.

A continuación, se presentan las planillas de inspección visual FEMA P-154 adaptadas a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), considerando los niveles de sismicidad establecidos en el país. Estas herramientas permiten realizar evaluaciones rápidas del riesgo sísmico en edificaciones. (ver ilustración 5 hasta ilustración 9)

Ilustración 5 Planilla de inspección NEC (Baja sismicidad)



CONSEJO TÉCNICO DE
USO Y GESTIÓN DEL SUELO

Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES — **Nivel 1**

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154 — **Baja sismicidad**

100	FOTOGRAFIA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE		
101	DATOS EDIFICACION		
102	Nombre de la Edificación:		
103	Dirección:		
104	Sitio de referencia:	105	Código Postal
106	Tipo de uso:		
107	Latitud:	108	Longitud:
107A	Zona: / 107B Norte:	108A	Este:
109	Sis.	110	S1
111	DATOS DEL PROFESIONAL		
112	Nombre del evaluador:		
113	Cédula del evaluador:	115	Fecha
114	Registro SENESCYT:	115	Hora:
117	DATOS CONSTRUCCION		
118	Numero de Pisos:		
119	Sobre el Suelo	120	Bajo el Suelo
121	Año de construcción:	122	Area de Construcción
123	Código Año:	124	Año(s) Remodelación:
124	Adernes: Ninguna / Si	125	Numero de Predio
		126	Clave Catastral
200	OCUPACION:		
201	Asamblaje		Comercial		Servicio de Emergencia
202	Industria		Oficina		Educación
203	Habitad		Alimentación		Residencial #
203A	Histórico		Albergue		Público
204	TIPO DE SUELO:				
204A	A	B	C	D	E	F	DHK
204B	Roca Dura	Roca Débil	Suelo Denso	Suelo Duro	Suelo Blando	Suelo Pobre	Si DHK, Asumir tipo D
204C							
205	RIESGOS GEOLOGICOS						
205	Licuefaccion:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:		
205A	Si		Si		Si		
205B	NO		NO		NO		
205C	DHK		DHK		DHK		
207	Adyacencia						
	207A Golpes		207B Peligro de caída del Edificio Adyacente				
208	Irregularidades:						
208A	Elevación (Tipo/severidad)						
208B	Planta (Tipo)						
209	Peligro de Caída Exteriores						
209A	Chimeneas sin soporte lateral				209D	Apéndices	
209B	Revos. Pesado o de chapa de madera pesada				209E	Parapetos	
209C	Otros						
210	COMENTARIOS						
	ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACION		Dibujos o comentarios en una página aparte				

300	TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL						
301	Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	W1		309	Pórtico Hormigón Armado	C1	
302	Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	W1A		310	Pórtico H. Armado con muros de corte	C2	
303	Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un area de piso mayor a 500m2	W2		311	Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3	
304	Pórtico Acero Laminado (Porticó Resistante a Momento)	S1		312	Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1	
305	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2		313	Portico de H. Armado prefabricados	PC2	
306	Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3		314	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1	
307	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4		315	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos	RM2	
308	Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	S5		316	Edificios de Mampostería no reforzada	URM	
				317	Vivienda prefabricada	MH	

400	PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1																		
		TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL																	
401	PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (FD)	URM	MH
402	PUNTAJE BÁSICO	6,2	5,9	5,7	3,8	3,90	4,4	4,1	4,5	3,3	4,2	3,5	3,8	3,3	3,7	3,7	3,2	4,6
403	IRREGULARIDADES																		
403A	Irregularidad vertical Grave,VL1	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1,6	-1,2	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	NA
403B	Irregularidad vertical Moderada,VL1	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	NA
403C	Irregularidad en planta, PL1	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1	-1,4	-1	-1,1	-1	-1	-0,9	-1,2	-0,9	-0,9	-0,9	-1	NA
405	CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																		
405A	Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
405B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C	Post código moderno (construido a partir de 2015)	2,2	2,4	2,5	2	1,6	1,4	2,1	NA	2,3	2,2	NA	1,9	2,6	2,3	2,3	NA	1,8
406	SUELO																		
406A	Suelo Tipo A o B	0,9	1,1	1,3	1	1,2	0,8	1,3	1,4	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0,9
406B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	-1,2	-1,7	-2,3	-1,2	-1,4	-1	-1,7	-2	-1,4	-2	-1,6	-1,7	-1,6	-1,7	-1,7	-1,5	-2,1
406D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-1,7	-2	-2,2	-1,2	-1,4	NA	-1,7	-1,9	-1,3	-1,9	-1,5	NA	-1,6	-1,6	-1,7	-1,4	NA
407	Puntaje Mínimo	2,7	2,1	1,5	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	2,5
408	PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																		

500	GRADO DE REVISIÓN	600	OTROS RIESGOS:	700	ACCIÓN REQUERIDA:
501	Exterior: ☐ Parcial ☐ Todos los Lados ☐ Aereo		Hay peligro que amerite una evaluación estructural detallada?		Requiere evaluación estructural detallada?
502	Interior: ☐ Ninguno ☐ Visible ☐ Completo	601	☐ Golpeo Potencial (si menor que SL2>limite, si es conocido)	701	☐ Si, tipo de edificación FEMA desarrollo a otro edificio
		602	☐ Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos	702	☐ Si, puntaje menor que el límite
503	Planos revisados: ☐ Si ☐ No			703	☐ Si, otros peligros presentes
504	Fuente del Tipo de suelo:	603	☐ Riesgo geológico o tipo de Suelo F	704	☐ NO
505	Fuente del Peligro Geológico:	604	☐ Daño significativo/deterioro del sistema estructural		Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)
506	Personas de Contacto:			705	☐ Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados
	Celular:			706	☐ No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada
	Correo:			707	☐ No, no se identifican peligros no estructurales
				708	☐ DHK.- no conoce

Cuando los datos no pueden ser verificados, el inspector deberá anotar lo siguiente: ESP=Estimado o dato no fiable ODHK= No conoce

800	OBSERVACIONES:

FIRMA RESPONSABLE EVALUACIÓN

Modificado por: Ing. Paúl Olmedo
Revisado por: Ing. Jacobo Marel
Aprobado por: Ing. Jacobo Marel
SHEP-MIDUVI

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015), Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report, ATC, California
Modificado: Diciembre, 2021

Fuente: Institución estatal responsable de planificar y regular el crecimiento urbano y la vivienda (MIDUVI)

Ilustración 6. Formulario de evaluación según la NEC para zonas de sismicidad moderada.

CONSEJO TECNICO DE
USO Y GESTIÓN DEL SUELO

Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES — **Nivel 1**

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154 — **Moderada sismicidad**

100 FOTOGRAFIA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE

ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACION

101 DATOS EDIFICACIÓN

102	Nombre de la Edificación:		
103	Dirección:		
104	Sitio de referencia:	105	Código Postal
106	Tipo de uso:		
107	Latitud:	108	Longitud:
107A	Zona: 107B Norte	108A	Este:
109	Sa:	110	S1:

111 DATOS DEL PROFESIONAL

112	Nombre del evaluador:		
113	Cédula del evaluador:	115	Fecha
114	Registro SENESCYT	116	Hora:

117 DATOS CONSTRUCCIÓN

118	**Numero de Pisos:**		
119	Sobre el Suelo	120	Bajo el Suelo
121	Año de construcción:	122	Area de Construcción
123	Código Año:	124	Año(s) Remodelación:
124	Acciones: Ninguna ☐ Si ☐	125	Numero de Predio
		126	Clave Catastral

200 OCUPACION:

201	Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia		
202	Industria		Oficina		Educación		
203	Utilidad		Alamacén		Residencial #		
203A	Histórico		Albergue		Público		

204 TIPO DE SUELO:

	A	B	C	D	E	F	DNK
204A							
204B	Roca Dura	Roca Débil	Suelo Denso	Suelo Duro	Suelo Blando	Suelo Pobre	SI DNK, Asumir tipo D
204C							

205 RIESGOS GEOLOGICOS

	Licuefaccion:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:	
206A	SI		SI		SI	
206B	NO		NO		NO	
206C	DNK		DNK		DNK	

207 Adyacencia

207A ☐ Golpes — 207B ☐ Peligro de caída del Edificio Adyacente

208 Irregularidades:

208A ☐ Elevación (Tipo/severidad)

208B ☐ Planta (Tipo)

209 Peligro de Caída Exteriores

209A		Chimeneas sin soporte lateral	209D		Apéndices
209B		Reves. Pesado o de chapa de madera pesada	209E		Parapetos
209C		Otros			

210 COMENTARIOS

☐ **Dibujos o comentarios en una página aparte**

300 TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

301	Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	W1		309	Pórtico Hormigón Armado	C1	
302	Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	W1A		310	Pórtico H. Armado con muros de corte	C2	
303	Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un area de piso mayor a 500m2	W2		311	Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3	
304	Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)	S1		312	Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1	
305	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2		313	Portico de H. Armado prefabricados	PC2	
306	Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3		314	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1	
307	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4		315	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rigidos	RM2	
308	Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	S5		316	Edificios de Mampostería no reforzada	URM	
				317	Vivienda prefabricada	MH	

400 PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1

401 PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
402 PUNTAJE BÁSICO	**5,1**	**4,5**	**3,8**	**2,7**	**2,60**	**3,5**	**2,5**	**2,7**	**2,1**	**2,5**	**2**	**2,1**	**1,9**	**2,1**	**2,1**	**1,7**	**2,9**
403 IRREGULARIDADES																	
403A Irregularidad vertical Grave,VL1	-1,4	-1,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,4	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1	-1,1	-1	-1,1	-1,1	-1	NA
403B Irregularidad vertical Moderada,VL1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	NA
404C Irregularidad en planta, PL1	-1,4	-1,3	-1,2	-1	-0,9	-1,2	-0,9	-0,9	-0,8	-1	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	NA
405 CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
405A Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-0,3	-0,5	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,5
405B Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C Post código moderno (construido a partir de 2015)	1,4	2	2,5	1,5	1,5	0,8	2,1	NA	2	2,3	NA	2,1	2,5	2,3	2,3	NA	1,2
406 SUELO																	
406A Suelo Tipo A o B	0,7	1,2	1,8	1,1	1,4	0,8	1,5	1,6	1,1	1,5	1,3	1,6	1,3	1,4	1,4	1,3	1,6
406B Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C Suelo Tipo E (1-3Pisos)	-1,2	-1,3	-1,4	-0,9	-0,9	-1	-0,9	-0,9	-0,7	-1	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6	-0,9
406D Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-1,8	-1,6	-1,3	-0,9	-0,9	NA	-0,9	-1	-0,8	-1	-0,8	NA	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	NA
407 Puntaje Mínimo	**1,6**	**1,2**	**0,9**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**0,6**	**0,6**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**1,5**
408 PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																	

500 GRADO DE REVISIÓN

501 Exterior: ☐ Parcial ☐ Todos los Lados ☐ Aereo

502 Interior: ☐ Ninguno ☐ Visible ☐ Completo

503 Planos revisados: ☐ Sí ☐ No

504 Fuente del Tipo de suelo:

505 Fuente del Peligro Geológico:

506 Personas de Contacto:

Celular:

Correo:

600 OTROS RIESGOS:

Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada?

601 ☐ Golpeo Potencial (a menor que SL2>limite, si es conocido)

602 ☐ Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos

603 ☐ Riesgo geológico o tipo de Suelo F

604 ☐ Daño significativo/deterioro del sistema estructural

700 ACCIÓN REQUERIDA:

Requiere evaluación estructural detallada?

701 ☐ Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio

702 ☐ Si, puntaje menor que el limite

703 ☐ Si, otros peligros presentes

704 ☐ NO

Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)

705 ☐ Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados

706 ☐ No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada

707 ☐ No, no se identifican peligros no estructurales

708 ☐ DNK= no conoce

Cuando los datos no puedan ser verificados, el inspector deberá anotar lo siguiente: EST=Estimado o dato no fiable O DNK= No conoce

800 OBSERVACIONES:

FIRMA RESPONSABLE EVALUACION

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015), Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report, ATC, California
Modificación: Diciembre, 2021

Modificado por: Ing. Paul Clevedo
Revisado por: Ing. Jacobo Moral
Aprobado por: Ing. Jacobo Moral
SHEP-MIDUVI

Fuente**:** Institución estatal responsable de planificar y regular el crecimiento urbano y la vivienda (MIDUVI).

Ilustración 7 Formulario de evaluación estructural conforme a la NEC para zonas de sismicidad moderadamente alta.

CONSEJO TÉCNICO DE
USO Y GESTIÓN DEL SUELO

Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES — **Nivel 1**

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154 — **Moderadamente Alta sismicidad**

100 FOTOGRAFIA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE

ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACION

101	**DATOS EDIFICACION**				
102	Nombre de la Edificación:				
103	Dirección:				
104	Sitio de referencia:		105	Código Postal	
106	Tipo de uso:				
107	Latitud:		108	Longitud:	
107A	Zona:	107B Norte:	108A	Este:	
109	Ss:		110	S1:	
111	**DATOS DEL PROFESIONAL**				
112	Nombre del evaluador:				
113	Cédula del evaluador:		115	Fecha	
114	Registro SENESCYT		116	Hora:	
117	**DATOS CONSTRUCCION**				
118	**Numero de Pisos:**				
119	Sobre el Suelo		120	Bajo el Suelo	
121	Año de construcción:		122	Area de Construcción	
123	Código Año:		124	Año(s) Remodelación:	
124	Adiones:	Ninguna ☐ SI ☐	125	Número de Predio	
			126	Clave Catastral	

200	**OCUPACION:**						
201	Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia		
202	Industria		Oficina		Educación		
203	Utilidad		Almacén:		Residencial #		
203A	Histórico		Albergue		Público		

204	**TIPO DE SUELO:**							
204A	A	B	C	D	E	F	DNK	
204B	Roca	Roca	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Si DNK,	
204C	Dura	Débil	Denso	Duro	Blando	Pobre	Asumir Tipo D	

205	**RIESGOS GEOLOGICOS**						
206	Licuefacción:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:		
206A	SI		SI		SI		
206B	NO		NO		NO		
206C	DNK		DNK		DNK		

207	**Adyacencia**			
207A	☐ Golpes	207B	☐	Peligro de caída del Edificio Adyacente

208	**Irregularidades:**	
208A	☐	Elevación (Tipo/severidad)
208B	☐	Planta (Tipo)

209	**Peligro de Caída Exteriores**				
209A	☐	Chimeneas sin soporte lateral	209D	☐	Apéndices
209B	☐	Reves: Pesado o de chapa de madera pesada	209E	☐	Parapetos
209C	☐	Otros			

210	**COMENTARIOS**	
	☐	**Dibujos o comentarios en una página aparte**

300	**TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL**				
301	Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	W1	309	Pórtico Hormigón Armado	C1
302	Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	W1A	310	Pórtico H. Armado con muros de corte	C2
303	Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un area de piso mayor a 500m2	W2	311	Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3
304	Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)	S1	312	Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1
305	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2	313	Portico de H. Armado prefabricados	PC2
306	Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3	314	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1
307	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4	315	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos	RM2
308	Pórtico Acero con paredes de mamposterla de bloque	S5	316	Edificios de Mampostería no reforzada	URM
			317	Vivienda prefabricada	MH

400 PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1

401	PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TilT)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
		TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL																
402	**PUNTAJE BÁSICO**	4,1	3,7	3,2	2,3	2,20	2,9	2,2	2	1,7	2,1	1,4	1,8	1,5	1,8	1,8	1,2	2,2
403	**IRREGULARIDADES**																	
403A	Irregularidad vertical Grave,VL1	-1,3	-1,3	-1,3	-1,1	-1	-1,2	-1	-0,9	-1	-1,1	-0,8	-1	-0,9	-1	-1	-0,8	NA
403B	Irregularidad vertical Moderada,VL1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,6	-0,8	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	NA
404C	Irregularidad en planta, PL1	-1,3	-1,2	-1,1	-0,9	-0,8	-1	-0,8	-0,7	-0,7	-0,9	-0,6	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,5	NA
405	**CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN**																	
405A	Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-0,8	-0,9	-0,9	-0,5	-0,5	-0,7	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,4	-0,3	-0,5	-0,5	-0,1	-0,3
405B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C	Post código moderno (construido a partir de 2015)	1,5	1,9	2,3	1,4	1,4	1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2,1	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
406	**SUELO**																	
406A	Suelo Tipo A o B	0,3	0,6	0,9	0,6	0,9	0,3	0,9	0,9	0,6	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8	0,6	0,9
406B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	0	-0,4	-0,5	-0,2	-0,2	-0,4	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5
406D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-0,5	-0,8	-1,2	-0,7	-0,7	NA	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,4	NA	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	NA
407	Puntaje Mínimo	**1,6**	**1,2**	**0,8**	**0,5**	**0,5**	**0,9**	**0,5**	**0,5**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**1,4**
408	**PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN**																	

500 GRADO DE REVISIÓN

501 Exterior: ☐ Parcial ☐ Todos los Lados ☐ Aereo

502 Interior: ☐ Ninguno ☐ Visible ☐ Completo

503 Planos revisados: ☐ SI ☐ No

504 Fuente del Tipo de suelo: _____

505 Fuente del Peligro Geológico: _____

506 Personas de Contacto: _____

Celular: _____

Correo: _____

600 OTROS RIESGOS:

Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada?

601 ☐ Golpeo Potencial (a menor que SL2>limite, si es conocido)

602 ☐ Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos

603 ☐ Riesgo geológico o tipo de Suelo F

604 ☐ Daño significativo/deterioro del sistema estructural

700 ACCIÓN REQUERIDA:

Requiere evaluación estructural detallada?

701 ☐ Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio

702 ☐ Si, puntaje menor que el límite

703 ☐ Si, otros peligros presentes

704 ☐ NO

Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)

705 ☐ Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados

706 ☐ No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada

707 ☐ No, no se identifican peligros no estructurales

708 ☐ DNK= no conoce

Cuando los datos no pueden ser verificados, el inspector deberá anotar lo siguiente: EST-Estimado o dato no fiable O DNK- No conoce

800 OBSERVACIONES:

FIRMA RESPONSABLE EVALUACION

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report. ATC. California
Modificado: Diciembre, 2021

Modificado por: Ing. Paúl Olmedo
Revisado por: Ing. Jacobo Moral
Aprobado por: Ing. Jacobo Moral
SHEP MIDUVI

Fuente: Institución estatal responsable de planificar y regular el crecimiento urbano y la vivienda (MIDUVI).

Ilustración 8 Formulario de inspección estructural conforme a la NEC para edificaciones ubicadas en zonas de alta amenaza sísmica.

CONSEJO TECNICO DE
USO Y GESTION DEL SUELO

Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES — **Nivel 1**

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154 — **Alta sismicidad**

100	FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE	101	DATOS EDIFICACION		
		102	Nombre de la Edificación:	Edificio Tena	
		103	Dirección:		
		104	Sitio de referencia:	105	Código Postal
		106	Tipo de uso:		
		107	Latitud:	108	Longitud:
		107A	Zona: 107B Norte:	108A	Este:
		109	Sa:	110	S1:
		111	DATOS DEL PROFESIONAL		
		112	Nombre del evaluador:		
		113	Cédula del evaluador:	115	Fecha
		114	Registro SENESCYT:	116	Hora:
		117	DATOS CONSTRUCCIÓN		
		118	Numero de Pisos:		
		119	Sobre el Suelo:	120	Bajo el Suelo:
		121	Año de construcción:	122	Area de Construcción
		123	Código Año:	124	Año(s) Remodelación:
		124	Adiones: Ninguna ☐ Si ☐	125	Número de Predio
				126	Clave Catastral

200	OCUPACIÓN:						
201	Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia		
202	Industria		Oficina		Educación		
203	Utilidad		Almacén		Residencial #		
203A	Histórico		Albergue		Público		

204	TIPO DE SUELO:												
204A	A		B		C		D		E		F	X	DNK
204B	Roca Dura		Roca Débil		Suelo Denso		Suelo Duro		Suelo Blando		Suelo Pobre	Si DNK, Asumir tipo D	
204C													

205	RIESGOS GEOLOGICOS						
206	Licuefaccion:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:		
206A	SI		SI		SI		
206B	NO		NO		NO		
206C	DNK		DNK		DNK		

207	Adyacencia				
207A	☐	Golpes	207B	☐	Peligro de caída del Edificio Adyacente

208	Irregularidades:	
208A	☐	Elevación (Tipo/severidad)
208B	☐	Planta (Tipo)

209	Peligro de Caída Exteriores				
209A	☐	Chimeneas sin soporte lateral	209D	☐	Apéndices
209B	☐	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada	209E	☐	Parapetos
209C	☐	Otros:			

210	COMENTARIOS	
		Dibujos o comentarios en una página aparte

ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACION

300	TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL						
301	Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	W1		309	Pórtico Hormigón Armado	C1	
302	Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	W1A		310	Pórtico H. Armado con muros de corte	C2	
303	Porticos de madera para edificios comerciales e industricales con un area de piso mayor a 500m2	W2		311	Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3	
304	Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)	S1		312	Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1	
305	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2		313	Portico de H. Armado prefabricados	PC2	
306	Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3		314	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1	
307	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4		315	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos	RM2	
308	Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	S5		316	Edificios de Mampostería no reforzada	URM	
				317	Vivienda prefabricada	MH	

400	PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1																		
		TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL																	
401	PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
402	PUNTAJE BÁSICO	3,6	3,2	2,9	2,1	2,00	2,6	2	1,7	1,5	2	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1	1,5
403	IRREGULARIDADES																	
403A	Irregularidad vertical Grave,VL1	-1,2	-1,2	-1,2	-1	-1	-1,1	-1	-0,8	-0,9	-1	-0,7	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7	NA
403B	Irregularidad vertical Moderada,VL1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	NA
404C	Irregularidad en planta, Pl,1	-1,1	-1	-1	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4	NA
405	CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
405A	Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-1,1	-1	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0	-0,1
405B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C	Post código moderno (construido a parár de 2015)	1,6	1,9	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
406	SUELO																	
406A	Suelo Tipo A o B	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
406B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0	0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
406D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-0,3	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	NA	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	NA	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	NA
407	Puntaje Mínimo	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1
408	PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																	

500	GRADO DE REVISIÓN	600	OTROS RIESGOS:	700	ACCIÓN REQUERIDA:
501	Exterior: ☐ Parcial ☐ Todos los Lados ☐ Aereo		**Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada?**		**Requiere evaluación estructural detallada?**
502	Interior: ☐ Ninguno ☐ Visible ☐ Completo	601	☐ Golpeo Potencial (a menor que SL2>limite, si es conocido)	701	☐ Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio
		602	☐ Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos	702	☐ Si, puntaje menor que el limite
				703	☐ Si, otros peligros presentes
503	Planos revisados: ☐ Si ☐ No			704	☐ NO
504	Fuente del Tipo de suelo: Asumida	603	☐ Riesgo geológico o tipo de Suelo F		**Evaluación no estructural detallada recomendada?** (marque con una x)
505	Fuente del Peligro Geológico: dnk	604	☐ Daño significativo/deterioro del sistema estructural	705	☐ Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados
506	Personas de Contacto:			706	☐ No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada
	Celular:			707	☐ No, no se identifican peligros no estructurales
	Correo:			708	☐ DNK= no conoce

Cuando los datos no puedan ser verificados, el inspector deberá anotar la siguiente: EST=Estimado o dato no fiable O DNK= No conoce

800	OBSERVACIONES: Se debe verificar el tipo de suelo por encontrarse en un sitio potencial de licuación de zonas

FIRMA RESPONSABLE EVALUACION

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report, ATC, California
Modificado: Diciembre, 2021

Modificado por: Ing. Paúl Olmedo
Revisado por: Ing. Jacobo Moral
Aprobado por: Ing. Jacobo Moral
SHEP-MIDUVI

Fuente: Institución estatal responsable de planificar y regular el crecimiento urbano y la vivienda (MIDUVI).

Ilustración 9 Formulario de evaluación estructural conforme a la NEC para edificaciones localizadas en zonas de muy alta amenaza sísmica.

CONSEJO TÉCNICO DE
USO Y GESTIÓN DEL SUELO

Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES — **Nivel 1**

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154 — **Muy alta sismicidad**

100	FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE	101	DATOS EDIFICACION		
		102	Nombre de la Edificación:		
		103	Dirección:		
		104	Sitio de referencia:	105	Código Postal
		106	Tipo de uso:		
		107	Latitud:	108	Longitud:
		107A	Zona: / 107B Norte:	108A	Este:
		109	Ss:	110	S1:
		111	DATOS DEL PROFESIONAL		
		112	Nombre del evaluador:		
		113	Cédula del evaluador	115	Fecha
		114	Registro SENESCYT	116	Hora:
		117	DATOS CONSTRUCCION		
		118	Numero de Pisos:		
		119	Sobre el Suelo	120	Bajo el Suelo
		121	Año de construcción:	122	Area de Construcción
		123	Código Año:	124	Año(s) Remodelación:
		124	Adiones: Ninguna / SI	125	Numero de Predio
				126	Clave Catastral
		200	OCUPACION:		
		201	Asambleas / Comercial / Servicio de Emergencia		
		202	Industria / Oficina / Educación		
		203	Utilidad / Alamacén / Residencial #		
		203A	Histórico / Albergue / Público		
		204	TIPO DE SUELO:		
		204A / 204B / 204C	A: Roca Dura / B: Roca Débil / C: Suelo Denso / D: Suelo Duro / E: Suelo Blando / F: Suelo Pobre / DNK: Si DNK, Asumir tipo D		
		205	RIESGOS GEOLOGICOS		
		206	Licuefacción: / Deslizamiento: / Ruptura de Superficie:		
		206A	SI / SI / SI		
		206B	NO / NO / NO		
		206C	DNK / DNK / DNK		
		207	Adyacencia		
		207A	Golpes	207B	Peligro de caída del Edificio Adyacente
		208	Irregularidades:		
		208A	Elevación (Tipo/severidad)		
		208B	Planta (Tipo)		
		209	Peligro de Caída Exteriores		
		209A	Chimeneas sin soporte lateral	209D	Apéndiloes
		209B	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada	209E	Parapetos
		209C	Otros		
		210	COMENTARIOS		
	ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACION		Dibujos o comentarios en una página aparte		

300	TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL					
301	Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	W1		309	Pórtico Hormigón Armado	C1
302	Porticos de madera Livianos múltiples unidades, múltiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	W1A		310	Pórtico H. Armado con muros de corte	C2
303	Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un area de piso mayor a 500m2	W2		311	Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3
304	Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)	S1		312	Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1
305	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2		313	Portico de H. Armado prefabricados	PC2
306	Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3		314	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1
307	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4		315	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rigidos	RM2
308	Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	S5		316	Edificios de Mampostería no reforzada	URM
				317	Vivienda prefabricada	MH

400	PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1																		
		TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL																	
401	PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INS)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
402	PUNTAJE BÁSICO	2,1	1,9	1,8	1,5	1,40	1,6	1,4	1,2	1	1,2	0,9	1,1	1	1,1	1,1	0,9	1,1
403	IRREGULARIDADES																	
403A	Irregularidad vertical Grave,VL1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
403B	Irregularidad vertical Moderada,VL1	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
404C	Irregularidad en planta, PL1	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
405	CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
405A	Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0	0
405B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C	Post código moderno (construido a partir de 2015)	1,9	1,9	2	1	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
406	SUELO																	
406A	Suelo Tipo A o B	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
406B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0	-0,1
406D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0	NA
407	Puntaje Mínimo	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1
408	PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																	

500	GRADO DE REVISIÓN	600	OTROS RIESGOS:	700	ACCIÓN REQUERIDA:
501	Exterior: Parcial / Todos los Lados / Aereo		Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada?		Requiere evaluación estructural detallada?
502	Interior: Ninguno / Visible / Completo	601	Golpeo Potencial (a menor que SL2>limite, si es conocido)	701	Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio
		602	Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos	702	Si, puntaje menor que el limite
503	Planos revisados: Si / No			703	Si, otros peligros presentes
				704	NO
504	Fuente del Tipo de suelo:	603	Riesgo geológico o tipo de Suelo F		Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)
505	Fuente del Peligro Geológico:	604	Daño significativo/deteriorodel sistema estructural	705	Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados
506	Personas de Contacto:			706	No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada
	Celular:			707	No, no se identifican peligros no estructurales
	Correo:			708	DNK= no conoce

Cuando los datos no pueden ser verificados, el inspector deberá anotar lo siguiente: EST=Estimado o dato no fiable O DNK= No conoce

800 OBSERVACIONES:

FIRMA RESPONSABLE EVALUACION

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report, ATC, California
Modificado: Diciembre, 2021

Modificado por: Ing. Paúl Olmedo
Revisado por: Ing. Jacobo Moral
Aprobado por: Ing. Jacobo Moral

SHEP-MIDUVI

Fuente: Institución estatal responsable de planificar y regular el crecimiento urbano y la vivienda (MIDUVI).

3.3.1.2 Pasos para llenar el formulario FEMA P-154 Internacional:

Paso 1. Datos Generales del Edificio:

- Nombre del Edificio: Especificar el nombre o designación del edificio.
- Dirección: Escribir la ubicación exacta del edificio.
- Sitio de referencia que facilite la ubicación más rápida.
- Código Postal: Añadir el código postal correspondiente.
- Uso del Edificio: Indicar la función principal del inmueble, ya sea residencial, comercial, administrativa, entre otras.
- Ubicación geográfica en términos de latitud y longitud:
- Registrar la latitud.
- Longitud del sitio.
- Identificar qué tipo de zona se encuentra.

Paso2. Datos del profesional:

- Inspector(es): Anotar el nombre o los nombres de quien(es) realizó(aron) la evaluación.
- Tipo de identificación cedula o pasaporte.
- Fecha en que se desarrolle la inspección.
- Hora en que se desarrolle la inspección.

Paso 3. Datos de construction:

- Niveles: Marcar el número de pisos, tanto superiores como inferiores.
- Años de Construcción.

- Área Total del suelo: Anotar el área aproximada del suelo.
- Adiciones: Señalar si existen extensiones o modificaciones estructurales.
- Mencionar si se conocen los años de remodelaciones significativas.

Paso 4. Ocupación:

Marcar las Ocupaciones que tenga la edificación en la siguiente tabla.

Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia	
Industria		Oficina		Educación	
Utilidad		Alamacén		Residencial #	
Historico		Albergue		Público	

Paso 5. Tipo de suelo:

Determinar la clase de terreno sobre el que se asienta la edificación, como roca, arena, arcilla blanda, entre otros. En caso de no poseer un estudio de suelo del perímetro donde se encuentra construido el edificio, marcar la casilla "No sé". Como se visualiza la siguiente tabla.

	A		B		C	x	D		E		F		DNK
Roca		Roca		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Si DNK,	
Dura		Débil		Denso		Duro		Blando		Pobre		Asumir tipo D	

Paso 6. Riesgos geológicos:

Marcar las condiciones geológicas como fallas; licuefacción, ruptura de superficie o riesgo de deslizamiento como se presenta en la siguiente tabla.

RIESGOS GEOLÓGICOS					
Licuefacción:		Deslizamiento:		Fractura del terreno	
SI		SI		SI	
NO		NO		NO	
DNK		DNK		DNK	

- Identificar posibles irregularidades estructurales como cambios de rigidez o falta de continuidad vertical.

- Indicar si hay riesgos adicionales como caída de elementos no estructurales o desprendimiento de fachadas.

	Chimeneas sin soporte lateral		Apéndices
	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada		Parapetos
	Otros:		

- Comentarios; Anotar cualquier observación importante que no haya sido incluida en las secciones anteriores.

Paso 7. Tipología del Sistema estructural:

Identificar el tipo de estructura del edificio, como se presenta en la siguiente tabla.

Pórticos de Madera Livianos, de viviendas multifamiliares de 1 a 2 pisos.	W1	
Pórticos de Madera Livianos, múltiples unidades, varios pisos para edificios residenciales, con áreas en planta en cada piso con más de 300m2.	W1A	
Pórticos de madera para edificios, comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500m2.	W2	
Pórtico de Acero Laminado, (Pórtico Resistente a Momento).	S1	
Pórtico de Acero Laminado, con diagonales.	S2	
Pórtico de Acero Liviano o Conformado en frío.	S3	
Pórtico de Acero Laminados, con muros estructurales hormigón.	S4	
Pórtico de Acero con paredes con mamposterías de bloque.	S5	
Pórtico de Hormigón Armado.	C1	
Pórtico de Hormigón Armado, con muros de corte.	C2	
Pórtico de Hormigón Armado, con mamposterías de relleno sin refuerzo.	C3	
Losas Prefabricadas de Hormigón (Tilt-up).	PC1	
Pórtico de Hormigón Armado prefabricados.	PC2	
Edificios con mamposterías reforzada con diafragmas flexibles.	RM1	
Edificios con mamposterías reforzada con diafragmas rígidos.	RM2	
Edificios con Mamposterías no reforzada.	URM	
Vivienda prefabricada.	MH	

La identificación precisa del tipo de estructura de un edificio es un paso esencial para determinar su nivel de vulnerabilidad. Las tablas presentadas cumplen un papel clave en este proceso, ya que facilita la clasificación de edificaciones. A través de imágenes representativas, con sus respectivas puntuaciones y descripciones técnicas de sus características constructivas y comportamientos estructurales.

Paso 8. Puntuación básica:

Utilizar la tabla de modificadores para ajustar la puntuación inicial según características específicas del edificio, como irregularidades verticales y tipo de piso.

BASIC AND MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SEISMIC SCORE (SL1)																		
FEMA BUILDING TYPE	**Do Not Know**	**W1**	**W1A**	**W2**	**S1 MRF**	**S2 BR**	**S3 LM**	**S4 RC SW**	**S5 URM INF**	**C1 MRF**	**C2 SWC**	**C3 URM INF**	**PC1 TU**	**PC2**	**RM1 FD**	**RM2 RD**	**URM**	**MH**
Basic Score	**6,2**	**5,9**	**5,7**	**3,8**	**3,9**	**4,4**	**4,1**	**4,5**	**4,5**	**3,3**	**3,5**	**3,8**	**3,3**	**3,7**	**3,7**	**3,2**	**4,6**	**NA**
Severe Vertical Irregularity, VL_1	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1,6	-1,2	-1,2	-1,2	-1,4	-1,2	-1,1	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	NA
Moderate Vertical Irregularity, VL_1	-1	-0,9	-0,9	-0,8	-1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,8	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	NA
Plan Irregularity, PL_1	-1,6	-1,4	-1,2	-1,1	-1,4	-1	-1,1	-1,1	-1,3	-1	-1	-1,2	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-1	NA
Pre-Code	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Post-Benchmark	2,2	2,4	2,5	2	1,6	1,4	2,1	1,3	NA	2,3	2	1,9	2,6	2,3	2,3	1,8	NA	NA
Soil Type A or B	0,9	1,1	1,2	0,8	1,2	1,3	1,3	1,4	0,9	1,2	1,1	1,3	1,3	1,2	1,2	0,9	NA	NA
Soil Type E (1-3 stories)	-1,2	-2	-1,2	-1,4	-1	-1,2	-1,4	-1,9	-1,2	-1,5	-1,6	-1,7	-1,6	-1,7	-1,7	-1,4	NA	NA
Soil Type E (>3 stories)	-1,7	-2,2	-1,4	-1,2	-1,4	-1,4	-1,7	-2	NA	-1,5	-1,6	NA	NA	NA	NA	-2,1	NA	NA
Minimum Score, S_MIN	2,7	2,1	1,5	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	2,5	NA

Determine el puntaje final mediante la adición de los factores de modificación.

Paso 9. Grado de revisión:

Definir si la inspección se realizó en el exterior, interior, ambos, o si hubo limitaciones de acceso.

- Exterior:

	Parcial		Todos los lados		Aéreo

- Interior

	Ninguno		Visible		Completo

Especificar si se observaron conexiones estructurales y si las condiciones de los materiales son visibles o no.

- Planos revisados

	Sí		No

Paso 10. Otros riesgos:

¿Debe realizarse evaluación estructural por posibles daños?

	Posible impacto entre estructuras (si la separación a SL2 supera el límite, si se dispone del dato).
	Peligro por colapso de edificaciones más altas situadas al costado.
	Condiciones geológicas desfavorables o presencia de suelos tipo F.
	Daños estructurales importantes o deterioro evidente del sistema portante.

Paso 11. Acción requerida:

En correspondencia con los resultados, decidir si es necesario una evaluación estructural más detallada o si se requiere la edificación medidas de refuerzo inmediato.

¿Se debe realizar un análisis estructural a detalle?

	Sí, el tipo de edificación según FEMA es desconocido o no corresponde a una categoría definida.
	Sí, el puntaje obtenido está por debajo del valor umbral establecido.
	Sí, se han identificado otros riesgos relevantes.
	NO

¿Se aconseja realizar una evaluación detallada de los elementos no estructurales?

	Sí, Se han detectado riesgos no estructurales que justifican una evaluación específica.
	No, Existen riesgos no estructurales que requieren mitigación, pero no ameritan una evaluación detallada

	No, no se han identificado amenazas no estructurales.
	DNK = no conoce

Paso 12. Observaciones:

A continuación, se muestran las fichas de evaluación rápida del FEMA P-154 internacional, adaptadas a la NEC, considerando los niveles de amenaza sísmica del país. Estas planillas permiten una inspección visual preliminar del riesgo en edificaciones (ver ilustración 10 a la 14).

Ilustración 10 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Baja sismicidad)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 1**
FEMA P-154 Data Collection Form — **LOW Seismicity**

PHOTOGRAPH

SKETCH

Address: _____ **Zip:** _____
Other Identifiers: _____
Building Name: _____
Use: _____
Latitude: _____ **Longitude:** _____
S_S: _____ **S_1:** _____
Screener(s): _____ **Date/Time:** _____

No. Stories: Above Grade: ____ Below Grade: ____ **Year Built:** ____ ☐ EST
Total Floor Area (sq. ft.): _____ **Code Year:** _____
Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly, Industrial, Utility, Commercial, Office, Warehouse, Emer. Services, School, Residential, # Units: ____, ☐ Historic, ☐ Government, ☐ Shelter

Soil Type: ☐A Hard Rock, ☐B Avg Rock, ☐C Dense Soil, ☐D Stiff Soil, ☐E Soft Soil, ☐F Poor Soil, **DNK** *If DNK, assume Type D.*

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK
Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building
Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____ ☐ Plan (type) _____
Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

COMMENTS:

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}

FEMA BUILDING TYPE / Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score	**6.2**	**5.9**	**5.7**	**3.8**	**3.9**	**4.4**	**4.1**	**4.5**	**3.3**	**4.2**	**3.5**	**3.8**	**3.3**	**3.7**	**3.7**	**3.2**	**4.6**
Severe Vertical Irregularity, V_{L1}	-1.5	-1.5	-1.5	-1.4	-1.3	-1.6	-1.2	-1.3	-1.3	-1.2	-1.1	-1.3	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{L1}	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-1.0	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	NA
Plan Irregularity, P_{L1}	-1.6	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.4	-1.0	-1.1	-1.0	-1.0	-0.9	-1.2	-0.9	-0.9	-0.9	-1.0	NA
Pre-Code	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Post-Benchmark	2.2	2.4	2.5	2.0	1.6	1.4	2.1	NA	2.3	2.2	NA	1.9	2.6	2.3	2.3	NA	1.8
Soil Type A or B	0.9	1.1	1.3	1.0	1.2	0.8	1.3	1.4	0.9	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	0.9
Soil Type E (1-3 stories)	-1.2	-1.7	-2.3	-1.2	-1.4	-1.0	-1.7	-2.0	-1.4	-2.0	-1.6	-1.7	-1.6	-1.7	-1.7	-1.5	-2.1
Soil Type E (> 3 stories)	-1.7	-2.0	-2.2	-1.2	-1.4	NA	-1.7	-1.9	-1.3	-1.9	-1.6	NA	-1.6	-1.6	-1.7	-1.4	NA
Minimum Score, S_{MIN}	*2.7*	*2.1*	*1.5*	*0.9*	*0.8*	*1.2*	*0.8*	*0.9*	*0.5*	*0.6*	*0.5*	*0.6*	*0.4*	*0.6*	*0.5*	*0.4*	*2.5*

FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{MIN}$:

EXTENT OF REVIEW
Exterior: ☐ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial
Interior: ☐ None ☐ Visible ☐ Entered
Drawings Reviewed: ☐ Yes ☐ No
Soil Type Source: _____
Geologic Hazards Source: _____
Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?
☐ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} _____ ☐ No
Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS
Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?
☐ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)
☐ Falling hazards from taller adjacent building
☐ Geologic hazards or Soil Type F
☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED
Detailed Structural Evaluation Required?
☐ Yes, unknown FEMA building type or other building
☐ Yes, score less than cut-off
☐ Yes, other hazards present
☐ No
Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? *(check one)*
☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated
☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary
☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

Where information cannot be verified, screener shall note the following: EST = Estimated or unreliable data OR DNK = Do Not Know

Legend: MRF = Moment-resisting frame; BR = Braced frame; RC = Reinforced concrete; SW = Shear wall; URM INF = Unreinforced masonry infill; TU = Tilt up; MH = Manufactured Housing; LM = Light metal; FD = Flexible diaphragm; RD = Rigid diaphragm

Fuente: Inspección Rápida de Edificaciones ante Amenazas Sísmicas Potenciales.

Ilustración 11 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Moderada sismicidad)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 1**

FEMA P-154 Data Collection Form — **MODERATE Seismicity**

PHOTOGRAPH

Address: _____ **Zip:** _____

Other Identifiers: _____

Building Name: _____

Use: _____

Latitude: _____ **Longitude:** _____

S_S: _____ **S_1:** _____

Screener(s): _____ **Date/Time:** _____

No. Stories: Above Grade: ____ Below Grade: ____ **Year Built:** ____ ☐ EST

Total Floor Area (sq. ft.): _____ **Code Year:** _____

Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly, Industrial, Utility, Commercial, Office, Warehouse, Emer. Services, School, Residential, # Units: ____, ☐ Historic, ☐ Government, ☐ Shelter

Soil Type: ☐A Hard Rock, ☐B Avg Rock, ☐C Dense Soil, ☐D Stiff Soil, ☐E Soft Soil, ☐F Poor Soil, **DNK** *If DNK, assume Type D.*

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____ ☐ Plan (type) _____

Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

COMMENTS:

SKETCH

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}

FEMA BUILDING TYPE	Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score		**5.1**	**4.5**	**3.8**	**2.7**	**2.6**	**3.5**	**2.5**	**2.7**	**2.1**	**2.5**	**2.0**	**2.1**	**1.9**	**2.1**	**2.1**	**1.7**	**2.9**
Severe Vertical Irregularity, V_{L1}		-1.4	-1.4	-1.4	-1.2	-1.2	-1.4	-1.1	-1.2	-1.1	-1.2	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1	-1.1	-1.0	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{L1}		-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.7	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6	NA
Plan Irregularity, P_{L1}		-1.4	-1.3	-1.2	-1.0	-0.9	-1.2	-0.9	-0.9	-0.8	-1.0	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	NA
Pre-Code		-0.3	-0.5	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.5
Post-Benchmark		1.4	2.0	2.5	1.5	1.5	0.8	2.1	NA	2.0	2.3	NA	2.1	2.5	2.3	2.3	NA	1.2
Soil Type A or B		0.7	1.2	1.8	1.1	1.4	0.6	1.5	1.6	1.1	1.5	1.3	1.6	1.3	1.4	1.4	1.3	1.6
Soil Type E (1-3 stories)		-1.2	-1.3	-1.4	-0.9	-0.9	-1.0	-0.9	-0.9	-0.7	-1.0	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.6	-0.9
Soil Type E (> 3 stories)		-1.8	-1.6	-1.3	-0.9	-0.9	NA	-0.9	-1.0	-0.8	-1.0	-0.8	NA	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	NA
Minimum Score, S_{MIN}		*1.6*	*1.2*	*0.9*	*0.6*	*0.6*	*0.8*	*0.6*	*0.6*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*1.5*

FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{MIN}$:

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial

Interior: ☐ None ☐ Visible ☐ Entered

Drawings Reviewed: ☐ Yes ☐ No

Soil Type Source: _____

Geologic Hazards Source: _____

Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} _____ ☐ No

Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS

Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?

☐ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)

☐ Falling hazards from taller adjacent building

☐ Geologic hazards or Soil Type F

☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED

Detailed Structural Evaluation Required?

☐ Yes, unknown FEMA building type or other building

☐ Yes, score less than cut-off

☐ Yes, other hazards present

☐ No

Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? *(check one)*

☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated

☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary

☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

Where information cannot be verified, screener shall note the following: EST = Estimated or unreliable data OR DNK = Do Not Know

Legend: MRF = Moment-resisting frame; BR = Braced frame; RC = Reinforced concrete; SW = Shear wall; URM INF = Unreinforced masonry infill; TU = Tilt up; MH = Manufactured Housing; LM = Light metal; FD = Flexible diaphragm; RD = Rigid diaphragm

Fuente: Inspección Rápida de Edificaciones ante Amenazas Sísmicas Potenciales.

Ilustración 12 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Moderadamente alta sismicidad)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 1**

FEMA P-154 Data Collection Form — **MODERATELY HIGH Seismicity**

PHOTOGRAPH

SKETCH

Address: _____ **Zip:** _____

Other Identifiers: _____

Building Name: _____

Use: _____

Latitude: _____ **Longitude:** _____

S_S: _____ **S_1:** _____

Screener(s): _____ **Date/Time:** _____

No. Stories: Above Grade: ____ Below Grade: ____ **Year Built:** ____ ☐ EST

Total Floor Area (sq. ft.): _____ **Code Year:** _____

Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly, Industrial, Utility, Commercial, Office, Warehouse, Emer. Services, School, Residential, # Units: ____, ☐ Historic, ☐ Government, ☐ Shelter

Soil Type: ☐A Hard Rock, ☐B Avg Rock, ☐C Dense Soil, ☐D Stiff Soil, ☐E Soft Soil, ☐F Poor Soil, **DNK** *If DNK, assume Type D.*

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____ ☐ Plan (type) _____

Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

COMMENTS:

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}

FEMA BUILDING TYPE	Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score		**4.1**	**3.7**	**3.2**	**2.3**	**2.2**	**2.9**	**2.2**	**2.0**	**1.7**	**2.1**	**1.4**	**1.8**	**1.5**	**1.8**	**1.8**	**1.2**	**2.2**
Severe Vertical Irregularity, V_{L1}		-1.3	-1.3	-1.3	-1.1	-1.0	-1.2	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-0.8	-1.0	-0.9	-1.0	-1.0	-0.8	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{L1}		-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	NA
Plan Irregularity, P_{L1}		-1.3	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8	-1.0	-0.8	-0.7	-0.7	-0.9	-0.6	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.5	NA
Pre-Code		-0.8	-0.9	-0.9	-0.5	-0.5	-0.7	-0.6	-0.2	-0.4	-0.7	-0.1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.5	-0.1	-0.3
Post-Benchmark		1.5	1.9	2.3	1.4	1.4	1.0	1.9	NA	1.9	2.1	NA	2.1	2.4	2.1	2.1	NA	1.2
Soil Type A or B		0.3	0.6	0.9	0.6	0.9	0.3	0.9	0.9	0.6	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	0.8	0.6	0.9
Soil Type E (1-3 stories)		0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.2	-0.2	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.5
Soil Type E (> 3 stories)		-0.5	-0.8	-1.2	-0.7	-0.7	NA	-0.7	-0.6	-0.6	-0.8	-0.4	NA	-0.5	-0.6	-0.7	-0.3	NA
Minimum Score, S_{MIN}		*1.6*	*1.2*	*0.8*	*0.5*	*0.5*	*0.9*	*0.5*	*0.5*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*1.4*

FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{MIN}$:

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial
Interior: ☐ None ☐ Visible ☐ Entered
Drawings Reviewed: ☐ Yes ☐ No
Soil Type Source: _____
Geologic Hazards Source: _____
Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} _____ ☐ No
Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS

Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?

☐ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)
☐ Falling hazards from taller adjacent building
☐ Geologic hazards or Soil Type F
☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED

Detailed Structural Evaluation Required?

☐ Yes, unknown FEMA building type or other building
☐ Yes, score less than cut-off
☐ Yes, other hazards present
☐ No

Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? *(check one)*

☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated
☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary
☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

Where information cannot be verified, screener shall note the following: ***EST = Estimated or unreliable data*** ***OR*** ***DNK = Do Not Know***

Legend: MRF = Moment-resisting frame; BR = Braced frame; RC = Reinforced concrete; SW = Shear wall; URM INF = Unreinforced masonry infill; TU = Tilt up; MH = Manufactured Housing; LM = Light metal; FD = Flexible diaphragm; RD = Rigid diaphragm

Fuente: Inspección Rápida de Edificaciones ante Amenazas Sísmicas Potenciales.

Ilustración 13 Plantilla de evaluación visual (FEMA P-154) para regiones de alta sismicidad.

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 1**

FEMA P-154 Data Collection Form — **HIGH Seismicity**

PHOTOGRAPH

Address: _____ **Zip:** _____

Other Identifiers: _____

Building Name: _____

Use: _____

Latitude: _____ **Longitude:** _____

S_S: _____ **S_1:** _____

Screener(s): _____ **Date/Time:** _____

No. Stories: Above Grade: ____ Below Grade: ____ **Year Built:** ____ ☐ EST

Total Floor Area (sq. ft.): _____ **Code Year:** _____

Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly, Industrial, Utility, Commercial, Office, Warehouse, Emer. Services, School, Residential, # Units: ____, ☐ Historic, ☐ Government, ☐ Shelter

Soil Type: ☐A Hard Rock, ☐B Avg Rock, ☐C Dense Soil, ☐D Stiff Soil, ☐E Soft Soil, ☐F Poor Soil, **DNK** *If DNK, assume Type D.*

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____ ☐ Plan (type) _____

Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

COMMENTS:

SKETCH

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}

FEMA BUILDING TYPE	Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score		**3.6**	**3.2**	**2.9**	**2.1**	**2.0**	**2.6**	**2.0**	**1.7**	**1.5**	**2.0**	**1.2**	**1.6**	**1.4**	**1.7**	**1.7**	**1.0**	**1.5**
Severe Vertical Irregularity, V_{L1}		-1.2	-1.2	-1.2	-1.0	-1.0	-1.1	-1.0	-0.8	-0.9	-1.0	-0.7	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9	-0.7	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{L1}		-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	NA
Plan Irregularity, P_{L1}		-1.1	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.9	-0.7	-0.6	-0.6	-0.8	-0.5	-0.7	-0.6	-0.7	-0.7	-0.4	NA
Pre-Code		-1.1	-1.0	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-0.2	-0.4	-0.7	-0.1	-0.5	-0.3	-0.5	-0.5	0.0	-0.1
Post-Benchmark		1.6	1.9	2.2	1.4	1.4	1.1	1.9	NA	1.9	2.1	NA	2.0	2.4	2.1	2.1	NA	1.2
Soil Type A or B		0.1	0.3	0.5	0.4	0.6	0.1	0.6	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3
Soil Type E (1-3 stories)		0.2	0.2	0.1	-0.2	-0.4	0.2	-0.1	-0.4	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.4
Soil Type E (> 3 stories)		-0.3	-0.6	-0.9	-0.6	-0.6	NA	-0.6	-0.4	-0.5	-0.7	-0.3	NA	-0.4	-0.5	-0.6	-0.2	NA
Minimum Score, S_{MIN}		*1.1*	*0.9*	*0.7*	*0.5*	*0.5*	*0.6*	*0.5*	*0.5*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*1.0*

FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{MIN}$:

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial

Interior: ☐ None ☐ Visible ☐ Entered

Drawings Reviewed: ☐ Yes ☐ No

Soil Type Source: _____

Geologic Hazards Source: _____

Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} _____ ☐ No

Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS

Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?

☐ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)

☐ Falling hazards from taller adjacent building

☐ Geologic hazards or Soil Type F

☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED

Detailed Structural Evaluation Required?

☐ Yes, unknown FEMA building type or other building

☐ Yes, score less than cut-off

☐ Yes, other hazards present

☐ No

Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? *(check one)*

☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated

☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary

☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

Where information cannot be verified, screener shall note the following: EST = Estimated or unreliable data OR DNK = Do Not Know

Legend: MRF = Moment-resisting frame; BR = Braced frame; RC = Reinforced concrete; SW = Shear wall; URM INF = Unreinforced masonry infill; TU = Tilt up; MH = Manufactured Housing; LM = Light metal; FD = Flexible diaphragm; RD = Rigid diaphragm

Fuente: Inspección Rápida de Edificaciones ante Amenazas Sísmicas Potenciales.

Ilustración 14 Plantilla de inspección FEMA P-154 (Muy alta sismicidad)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 1**

FEMA P-154 Data Collection Form — **VERY HIGH Seismicity**

PHOTOGRAPH

Address: _____ **Zip:** _____

Other Identifiers: _____

Building Name: _____

Use: _____

Latitude: _____ **Longitude:** _____

S_S: _____ **S_1:** _____

Screener(s): _____ **Date/Time:** _____

No. Stories: Above Grade: ____ Below Grade: ____ **Year Built:** ____ ☐ EST

Total Floor Area (sq. ft.): _____ **Code Year:** _____

Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly, Industrial, Utility, Commercial, Office, Warehouse, Emer. Services, School, Residential, # Units: ____, ☐ Historic, ☐ Government, ☐ Shelter

Soil Type: ☐A Hard Rock, ☐B Avg Rock, ☐C Dense Soil, ☐D Stiff Soil, ☐E Soft Soil, ☐F Poor Soil, **DNK** *If DNK, assume Type D.*

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____ ☐ Plan (type) _____

Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

COMMENTS:

SKETCH

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}

FEMA BUILDING TYPE	Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score		**2.1**	**1.9**	**1.8**	**1.5**	**1.4**	**1.6**	**1.4**	**1.2**	**1.0**	**1.2**	**0.9**	**1.1**	**1.0**	**1.1**	**1.1**	**0.9**	**1.1**
Severe Vertical Irregularity, V_{L1}		-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{L1}		-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	NA
Plan Irregularity, P_{L1}		-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	NA
Pre-Code		-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.0
Post-Benchmark		1.9	1.9	2.0	1.0	1.1	1.1	1.5	NA	1.4	1.7	NA	1.5	1.7	1.6	1.6	NA	0.5
Soil Type A or B		0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
Soil Type E (1-3 stories)		0.0	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	-0.1
Soil Type E (> 3 stories)		-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	NA	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	NA	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	NA
Minimum Score, S_{MIN}		*0.7*	*0.7*	*0.7*	*0.5*	*0.5*	*0.5*	*0.5*	*0.5*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*1.0*

FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{MIN}$:

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☐ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial
Interior: ☐ None ☐ Visible ☐ Entered
Drawings Reviewed: ☐ Yes ☐ No
Soil Type Source: _____
Geologic Hazards Source: _____
Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☐ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} _____ ☐ No
Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS

Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?

☐ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)
☐ Falling hazards from taller adjacent building
☐ Geologic hazards or Soil Type F
☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED

Detailed Structural Evaluation Required?

☐ Yes, unknown FEMA building type or other building
☐ Yes, score less than cut-off
☐ Yes, other hazards present
☐ No

Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? *(check one)*

☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated
☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary
☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

***Where information cannot be verified, screener shall note the following:* EST = Estimated or unreliable data *OR* DNK = Do Not Know**

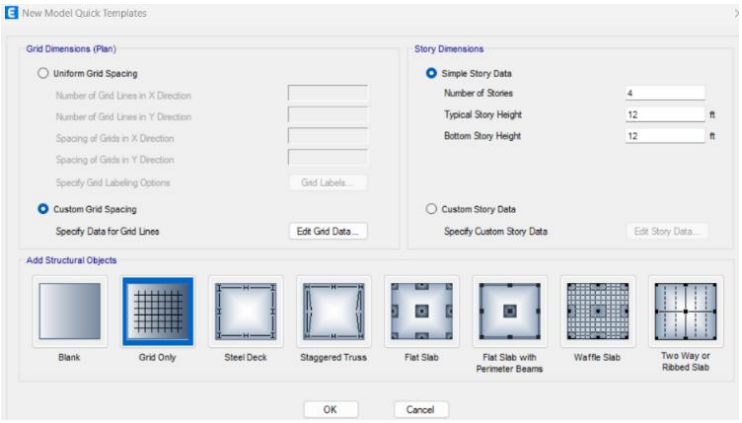
Legend: MRF = Moment-resisting frame; BR = Braced frame; RC = Reinforced concrete; SW = Shear wall; URM INF = Unreinforced masonry infill; TU = Tilt up; MH = Manufactured Housing; LM = Light metal; FD = Flexible diaphragm; RD = Rigid diaphragm

Fuente: Inspección Rápida de Edificaciones ante Amenazas Sísmicas Potenciales.

3.4 Proceso de modelación

1. Una vez iniciado el software, se genera un entorno inicial en blanco para comenzar con la creación del modelo estructural. A continuación, es necesario acceder al menú "File" y seleccionar la opción "New Model", lo que permitirá definir el tipo de estructura a modelar. En el presente caso, se optará por la configuración de marcos en tres dimensiones (3D), conforme se muestra en la Ilustración 15.

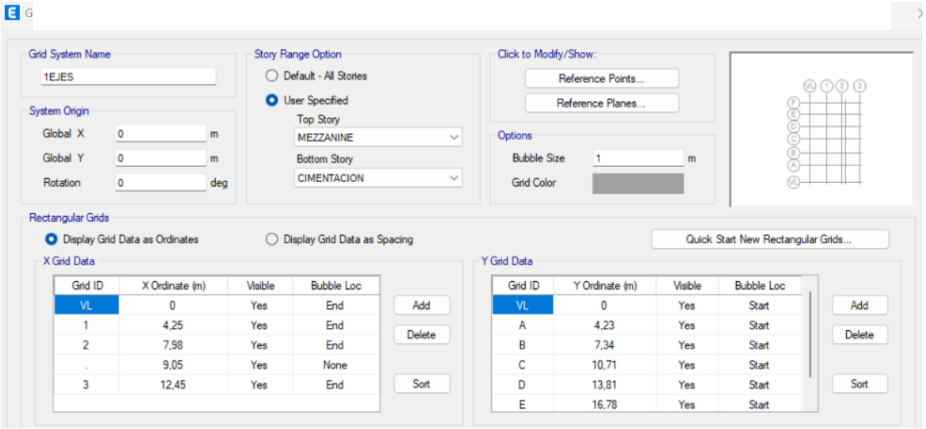
Ilustración 15 Elección del tipo de modelo



Fuente: Autores

2. Se procederá a modificar las alturas entre pisos, las distancias entre ejes y el número de vanos, de acuerdo con las características establecidas para el modelo estructural correspondiente. Estos parámetros deberán ser ajustados conforme a las especificaciones del proyecto (ver Ilustración 16).

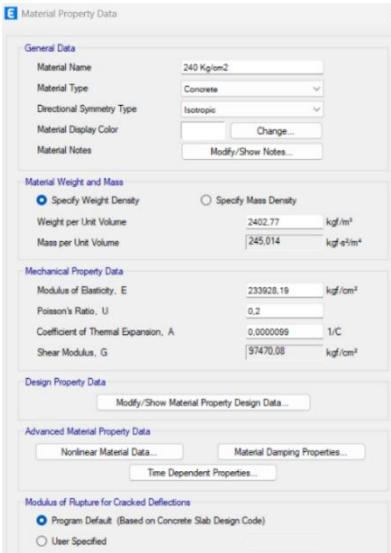
Ilustración 16 Creación de grillas



Fuente: Autores

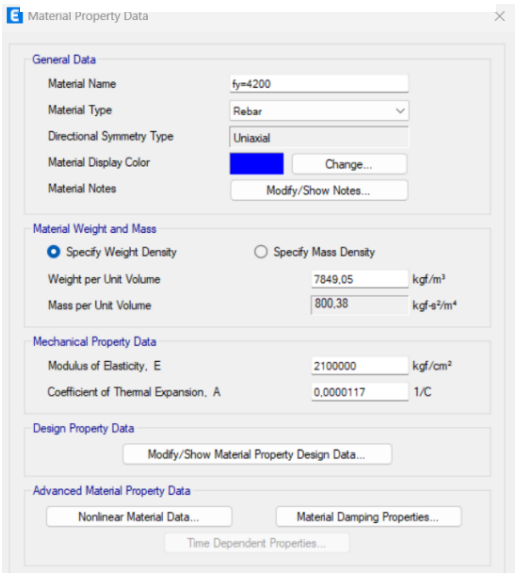
3. Se procede a la definición de las propiedades de los materiales que conformarán el modelo estructural. Para ello, se debe acceder a la opción “Material Property Data”, lo que desplegará una ventana en la que se especifican parámetros como el nombre del material, peso específico, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, entre otros. Cabe señalar que estos valores varían en función del tipo de material seleccionado, tal como se observa en las ilustraciones 17 y 18.

Ilustración 17 Propiedades del



Fuente: Autores

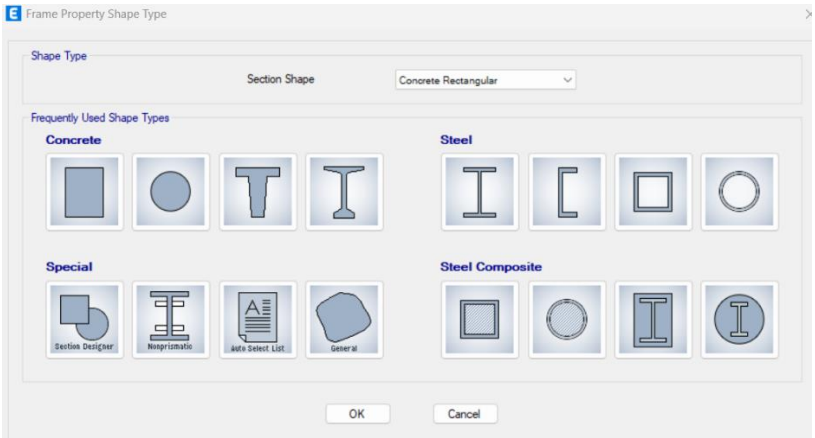
Ilustración 18 Propiedades de la Fluencia del acero Fy



Fuente: Autores

4. Se definen los elementos de concreto correspondientes a las vigas y columnas mediante la opción “Define”. Para ello, se accede a “Section Properties” y posteriormente a “Frame Sections”. En el caso de estas estructuras, se selecciona el apartado “Rectangular” con el fin de modelar ambos tipos de elementos estructurales. Cabe destacar que se adoptaron los criterios de diseño establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), los cuales indican la asignación de una inercia agrietada a los elementos, correspondiendo un valor de 0,8 para las columnas y 0,5 para las vigas (ver Ilustración 19).

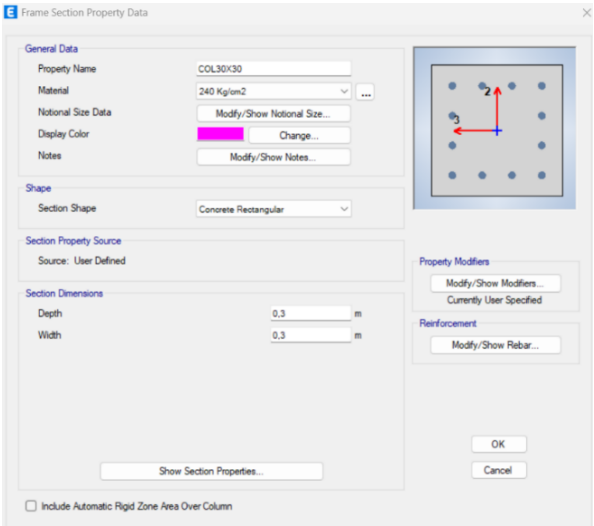
Ilustración 19 Tipo de Elemento



Fuente: Autores

El sistema despliega automáticamente una ventana emergente en la que se registra la denominación del elemento estructural como "C30X30", junto con sus dimensiones predeterminadas: una base de 30 cm y una altura correspondiente de 30 cm. Adicionalmente, en la sección inferior de dicha ventana, el usuario debe especificar la resistencia a compresión característica del material, conforme a los parámetros establecidos en el diseño (ver Ilustración 20).

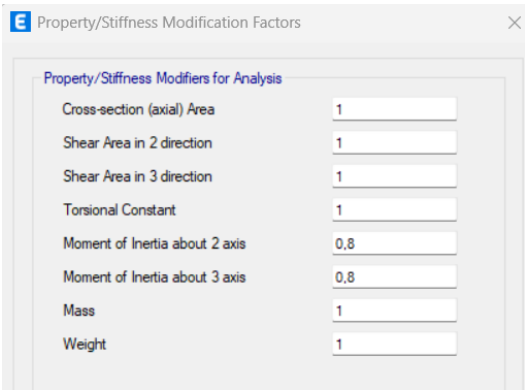
Ilustración 20 Columna 30x30



Fuente: Autores

En el apartado "Property Modifiers", se ajustaron los factores de rigidez considerando los criterios estipulados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Específicamente, para el cálculo de rigideces y el control de derivas máximas, se asignaron valores de inercia reducida, representativos del estado agrietado, tanto en columnas como en vigas, conforme a lo establecido por la normativa vigente. (ver Ilustración 21).

Ilustración 21 Agrietamiento en columna

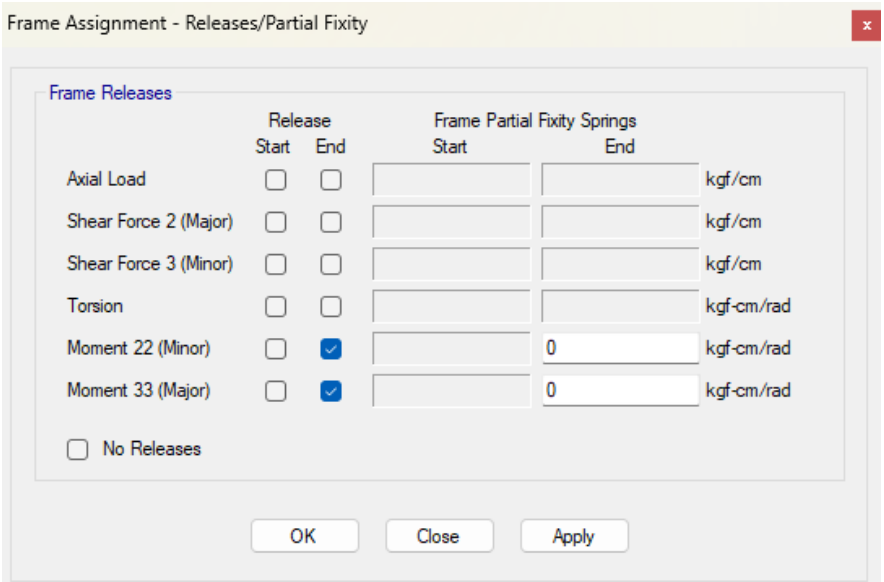


Fuente: Autores

En el caso de las vigas en voladizo, es necesario eliminar los momentos en los extremos donde ya no exista continuidad estructural. Para lograr esto, se debe acceder al módulo de asignación de condiciones de apoyo en el software de análisis estructural,

seleccionando la opción “Releases/Partial Fixity” ubicada en el apartado “Frame” dentro de la pestaña “Assign”.

Ilustración 22 Asignación de momento cero para elementos en voladizo

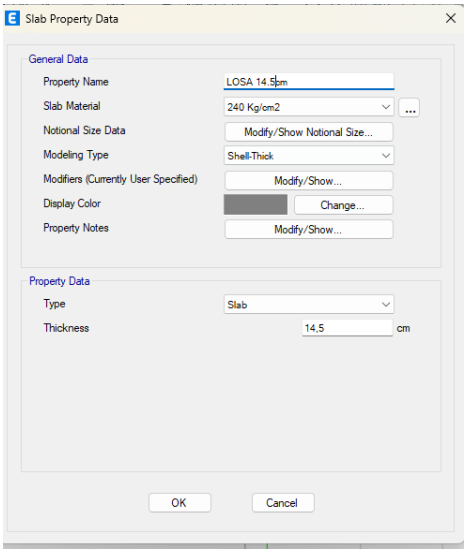


Fuente: Autores

Una vez definidas las secciones de los elementos estructurales principales, se procedió a asignar las propiedades de la losa. Para ello, se accedió al menú "Section Properties" en

la barra superior del software de modelado estructural, seleccionando específicamente la opción "Slab Property Data”, los detalles de esta interfaz se ilustran en la ilustración 23.

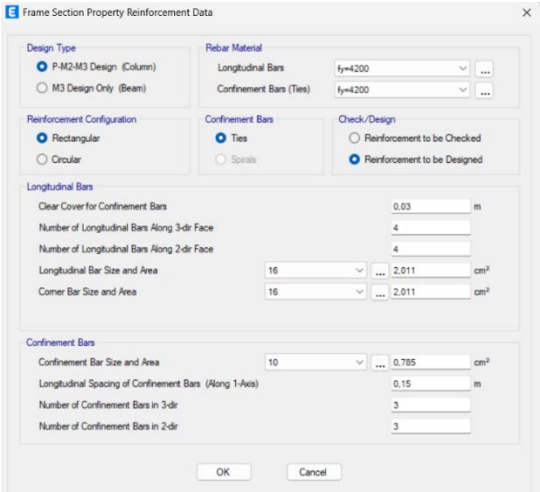
Ilustración 23 Definición de losa



Fuente: Autores

Seguidamente, se procederá a la definición de los refuerzos longitudinales y transversales a través de la opción “Frame Sections Property Reinforcement Data”. En este apartado, se especifica tanto el tipo de elemento como su configuración geométrica, además de seleccionar las propiedades asignadas para el acero de refuerzo. Este procedimiento se realiza para los elementos estructurales correspondientes a vigas y columnas (ver Ilustración 24).

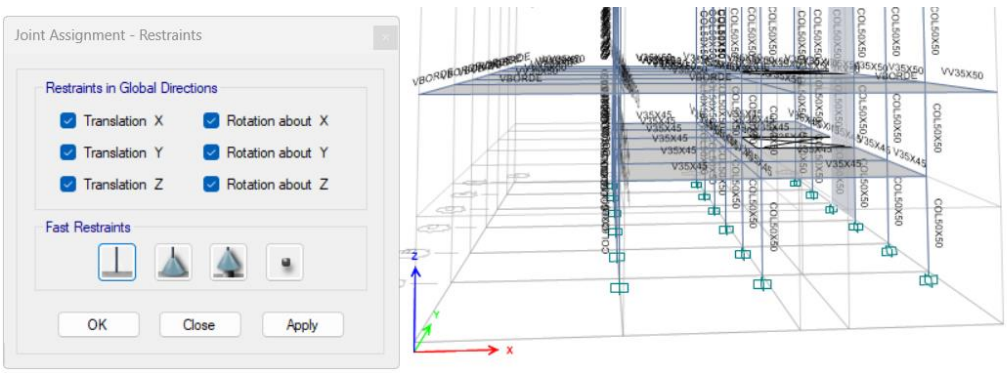
Ilustración 24 Acero de Refuerzo en columna



Fuente: Autores

5. Se asignarán las restricciones de empotramiento en la base de la estructura. Para ello, se utilizará la opción “Joint” y, dentro de esta, el apartado “Restraints”, donde se seleccionarán todas las restricciones necesarias para garantizar un empotramiento adecuado (ver Ilustración 25).

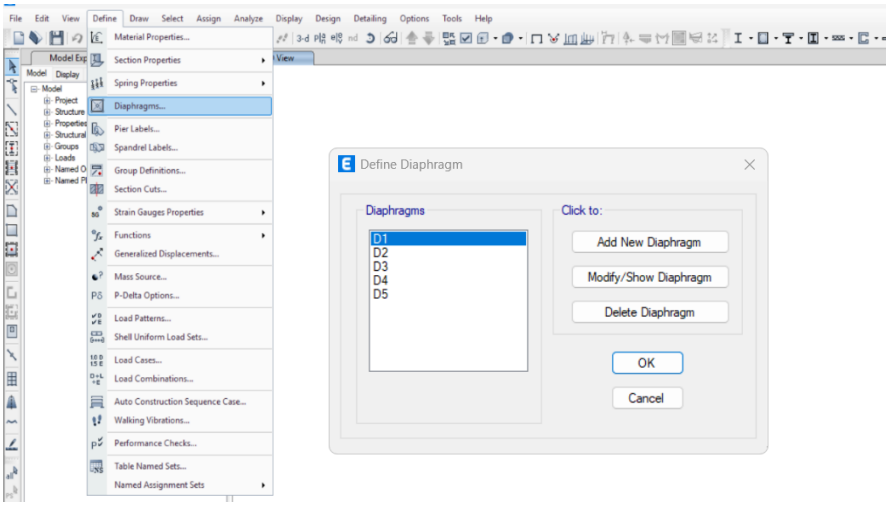
Ilustración 25 Estructura empotrada



Fuente: Autores

6. A continuación, se procederá a definir los diafragmas correspondientes a cada planta, los cuales simularán el comportamiento de un piso rígido. Para ello, se utilizará la opción “Joint Constraints” ubicada en la pestaña “Define”. Una vez configurados los diafragmas por nivel, se realiza su asignación individual a cada entrepiso. (ver Ilustración 26).

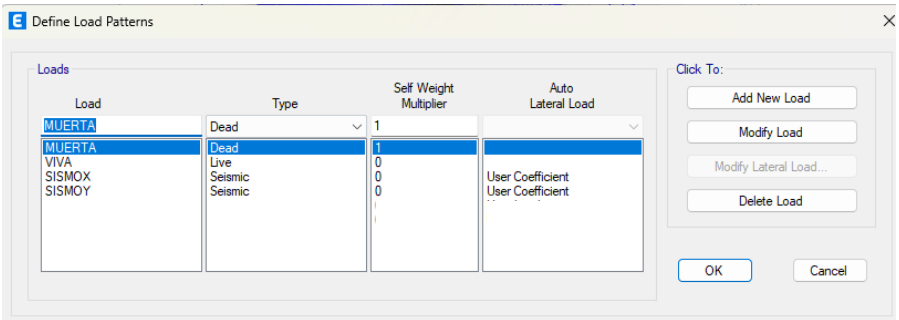
Ilustración 26 Creación y colocación de diafragmas



Fuente: Autores

7. A continuación, se procederá a la definición de los tipos de cargas que actuarán sobre la estructura. Para ello, se utilizará la herramienta “Load Patterns”, mediante la cual se establecerán tanto las cargas vivas como las cargas muertas. En el caso de las cargas muertas, se incluirá un componente adicional correspondiente a la sobrecarga, que contemplará el peso propio de la estructura. Asimismo, se generarán dos patrones de carga sísmica, los cuales se definirán a partir de los coeficientes obtenidos del análisis modal, que será desarrollado en una etapa posterior del proceso (ver Ilustración 27).

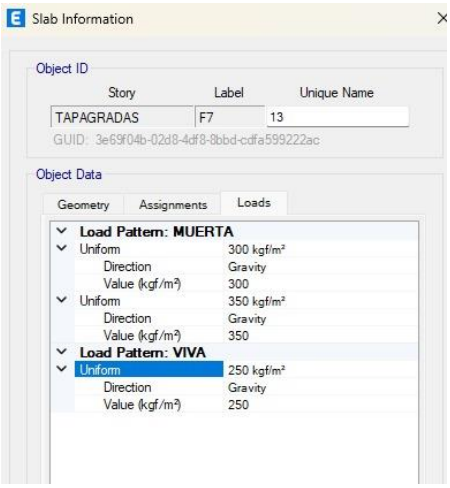
Ilustración 27 Creación y colocación de cargas



Fuente: Autores

8. Una vez definidos los patrones de carga, el siguiente paso consiste en asignar las cargas vivas y muertas sobre la estructura. Para ello, se accede a la pestaña “Assign” y, dentro de esta, se selecciona la opción “Area Loads”. A continuación, se escoge el tipo de carga “Uniform”, lo que permite aplicar de manera uniforme las cargas correspondientes sobre la losa (ver Ilustración 28).

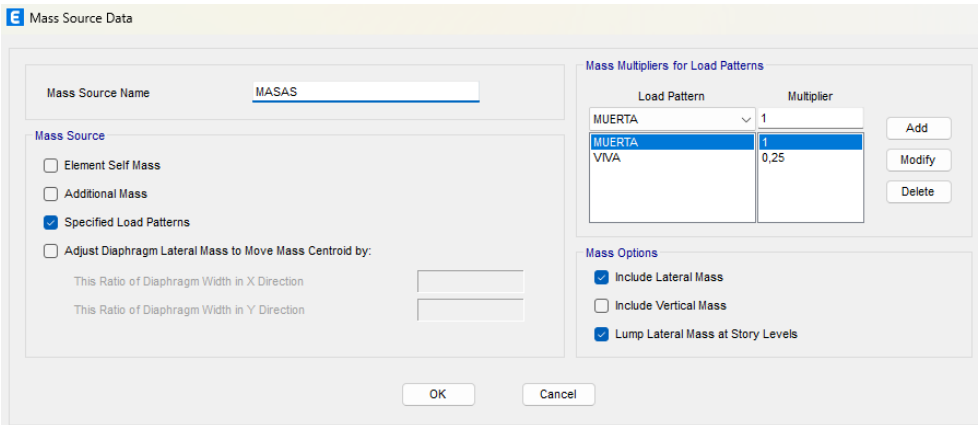
Ilustración 28 Colocación de cargas sobre la losa.



Fuente: Autores

9. En esta etapa, se procederá a la definición de la masa reactiva necesaria para el cálculo de la fuerza sísmica. De acuerdo con lo dispuesto en la normativa NEC-SE-DS-Peligro Sísmico, se considerará el 100 % de la carga muerta, mientras que para la carga viva se adoptará un 25 %, valor que responde al criterio del diseñador en función de las condiciones particulares del proyecto. (ver Ilustración 29).

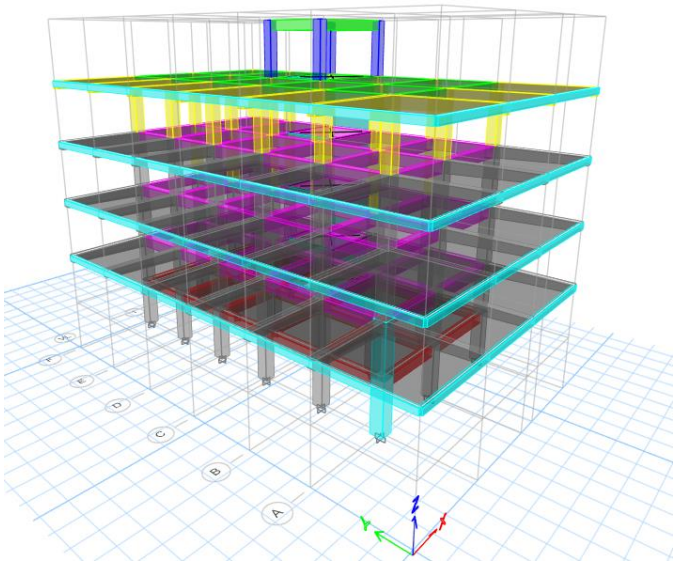
Ilustración 29 Definir la masa reactiva



Fuente: Autores

10. Con la culminación de este último procedimiento, el modelo estructural queda debidamente preparado para la ejecución de los análisis correspondientes, permitiendo así continuar con la evaluación de su comportamiento frente a las distintas solicitaciones establecidas en el proyecto, (ver Ilustración 30).

Ilustración 30 Modelado listo para ejecutarse



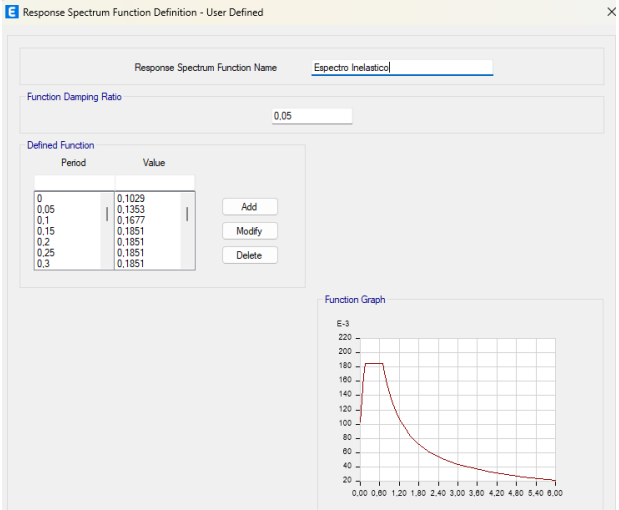
Fuente: Autores

3.5 Análisis estructural

3.5.1 Análisis lineal dinámico

En primer lugar, será necesario incorporar un espectro de respuesta, este procedimiento se realizará mediante la opción “Response Spectrum”, ubicada en la pestaña “Functions”. En el presente estudio, se ha considerado un espectro representativo de un suelo tipo D, conforme a las condiciones geotécnicas de la ciudad de Machala, (ver Ilustración 31).

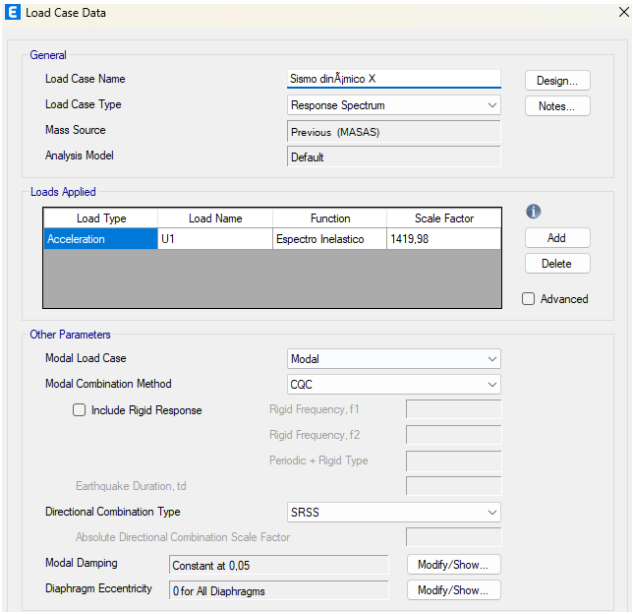
Ilustración 31 Espectro de diseño NEC.



Fuente: Autores

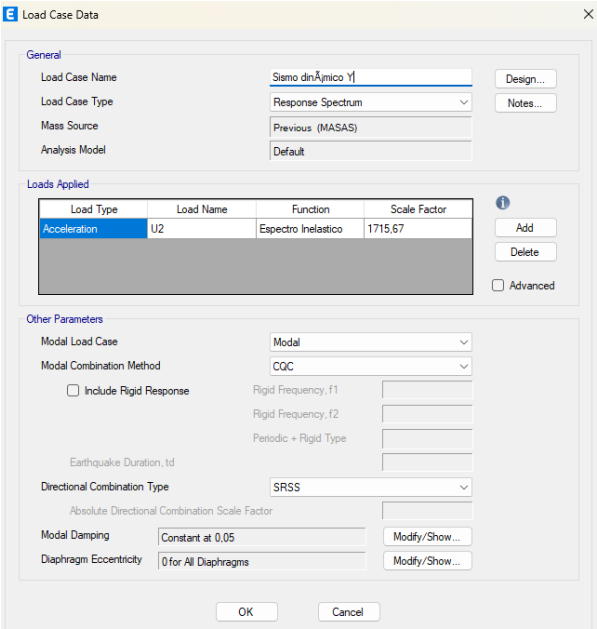
Seguidamente, se procederá a la incorporación de la acción sísmica dinámica en el modelo. Este paso se llevará a cabo a través de la opción “Load Cases”, en la que se definirán los casos de carga correspondientes, especificando la dirección de cada uno. De este modo, se establecerá el sismo dinámico en la dirección “X” y, de manera similar, el sismo dinámico en la dirección “Y”, (ver Ilustración 32 y 33).

Ilustración 32 Sismo dinámico en dirección X.



Fuente: Autores

Ilustración 33 Sismo dinámico en dirección Y

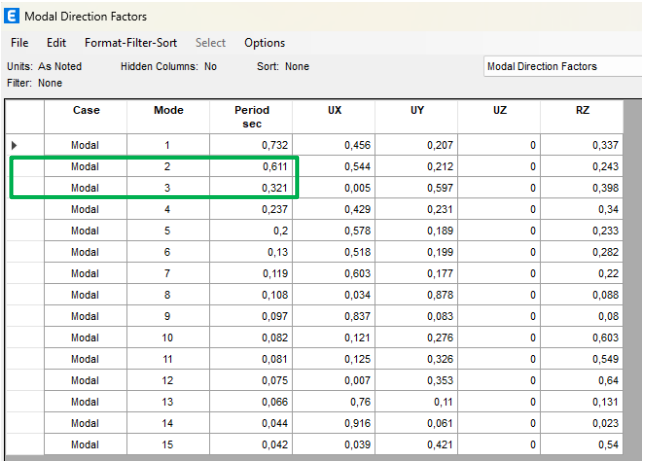


Fuente: Autores

3.5.2 Análisis lineal estático.

Previo a la definición de la acción sísmica estática, es necesario determinar los períodos fundamentales de la estructura en ambas direcciones principales. Para ello, se ejecutará el análisis mediante la opción “Run Analysis”. Como resultado de este proceso, se obtendrán los períodos fundamentales en los ejes X y Y, los cuales podrán visualizarse en el apartado “Show Tables” de la pestaña “Display”, (ver Ilustración 34)

Ilustración 34 Periodos fundamentales en dirección X y Y.



Modal Direction Factors

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Modal Direction Factors

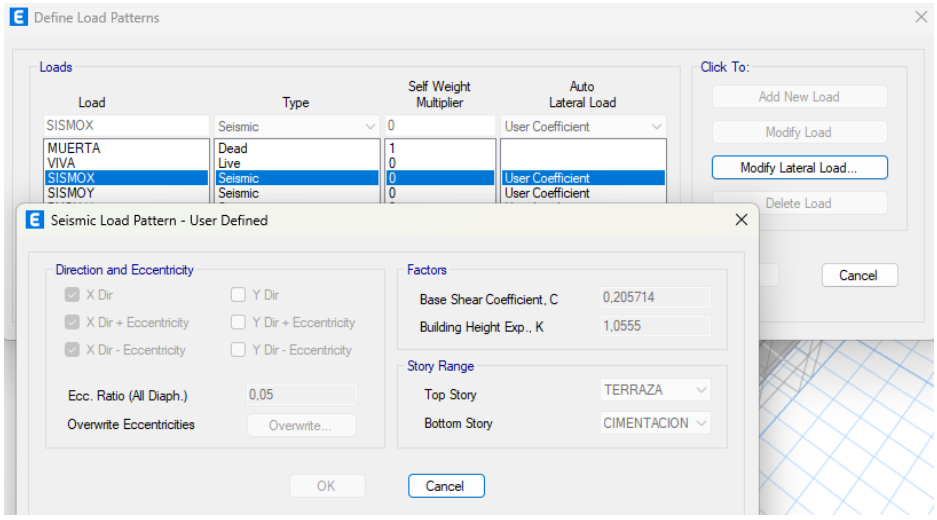
Filter: None

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	0,732	0,456	0,207	0	0,337
Modal	2	0,611	0,544	0,212	0	0,243
Modal	3	0,321	0,005	0,597	0	0,398
Modal	4	0,237	0,429	0,231	0	0,34
Modal	5	0,2	0,578	0,189	0	0,233
Modal	6	0,13	0,518	0,199	0	0,282
Modal	7	0,119	0,603	0,177	0	0,22
Modal	8	0,108	0,034	0,878	0	0,088
Modal	9	0,097	0,837	0,083	0	0,08
Modal	10	0,082	0,121	0,276	0	0,603
Modal	11	0,081	0,125	0,326	0	0,549
Modal	12	0,075	0,007	0,353	0	0,64
Modal	13	0,066	0,76	0,11	0	0,131
Modal	14	0,044	0,916	0,061	0	0,023
Modal	15	0,042	0,039	0,421	0	0,54

Fuente: Autores

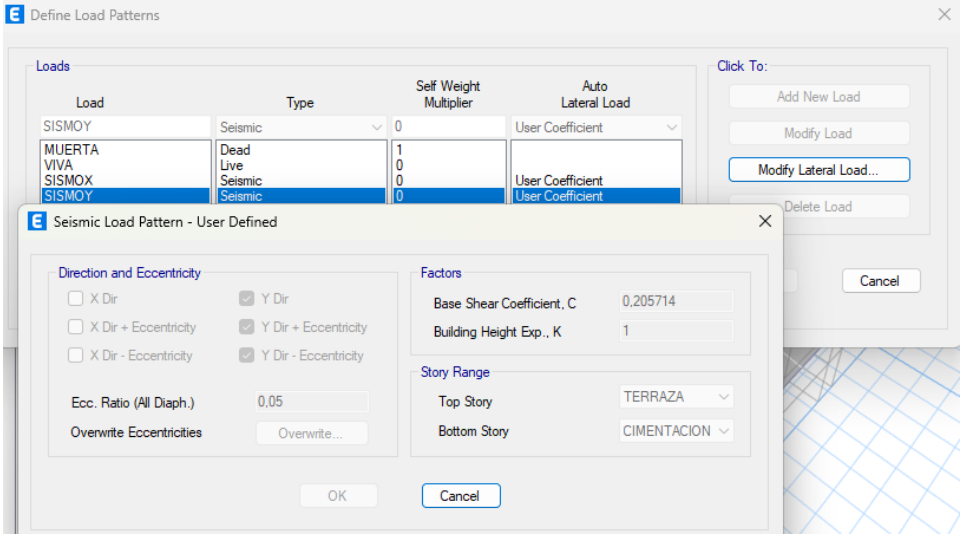
Con los periodos obtenidos para ambos ejes se procede a calcular la aceleración empleando el espectro de diseño de la Norma Ecuatoriana de Construcción para el tipo de suelo establecido. A partir de esos valores se calculará el coeficiente sísmico para definir el sismo estático en X y en Y. Además, se calculará en coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura (K) según lo establecido por la NEC. Para adicionar dichos coeficientes hay que seleccionar el apartado "Modify Lateral Load". También se tendrá que especificar la dirección del sismo para cada eje. (v Ilustración 35, 36).

Ilustración 35 Propiedades del sismo estático X.



Fuente: Autores

Ilustración 36 Propiedades del sismo estático Y.



Fuente: Autores

3.5.3 Chequeos sísmicos

3.5.3.1 Verificación de cortante dinámico/estático en sentido “X” y “Y”

Se ejecutará el análisis nuevamente para comprobar los valores del sismo estático debido a que, con dichos valores se determinará si es necesario un ajuste de cortante. Para ello, se realizará una relación Sismo dinámico/Sismo estático para cada eje de acción donde cada resultado debe dar un valor mínimo de 80% para estructuras regulares y un 85% para estructuras irregulares. Las fuerzas sísmicas obtenidas mediante análisis estático y dinámico pueden consultarse en la tabla “Base Reactions”, accesible desde la opción “Show Tables”. (ver Ilustración 37).

Ilustración 37 Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas en direcciones X y Y

Base Reactions

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Base Reactions

Filter: None

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-cm	MY tonf-cm	to
Dead	LinStatic			0	0	1088,0823	1148984,18	-744831,72	-5
Live	LinStatic			0	0	268,4278	269915,688	-169290,791	-3
SISMOX	LinStatic	Step By Step	1	-231,0459	-1,439E-06	0	0,001	-228962,251	23
SISMOX	LinStatic	Step By Step	2	-231,0459	-5,585E-07	0	0,001	-228962,251	26
SISMOX	LinStatic	Step By Step	3	-231,0459	-2,319E-06	0	0,002	-228962,252	21
SISMOY	LinStatic	Step By Step	1	0	-231,0459	0	227290,64	0,0002151	-1
SISMOY	LinStatic	Step By Step	2	0	-231,0459	0	227290,641	0,0001803	-16
SISMOY	LinStatic	Step By Step	3	0	-231,0459	0	227290,64	0,00025	-13
carga gravitacional no lin...	NonStatic	Max		0	-6,341E-07	1155,1892	1216463,102	-787154,418	3
carga gravitacional no lin...	NonStatic	Min		0	-6,341E-07	1155,1892	1216463,102	-787154,418	3
Sismo dinÃ¡mico X	LinRespSpec	Max		196,4554	99,8956	0	98915,135	195199,277	19
Sismo dinÃ¡mico Y	LinRespSpec	Max		120,6974	196,455	0	199342,439	120221,545	24
SISMO X 72	LinStatic			-532,1063	-1,306E-06	0	0,001	-534086,1	60
SISMO Y 72	LinStatic			0	-638,1107	0	635235,177	0,001	-45
Comb1	Combination			0	-9,373E-07	1979,6424	2067434,523	-1330558,753	-0

Fuente: Autores

Utilizando los resultados obtenidos del análisis por sismo estático y del sismo dinámico generado a partir del espectro inelástico, se calcula la razón entre ambos. Según lo establecido por la normativa, este valor debe ser mayor a 0,80 para estructuras regulares; de no cumplirse esta condición, será necesario aplicar un ajuste al cortante basal.

$$\frac{Sismo\ dinamico}{Sismo\ estatico} < 0{,}8$$

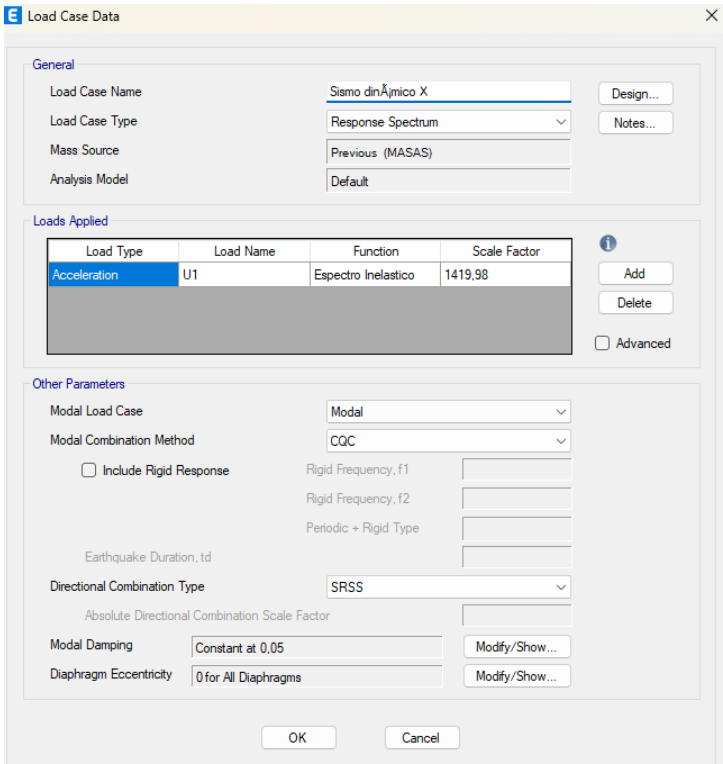
Cuando sea irregular la estructura se efectúa el siguiente cálculo.

$$\frac{sismo\ dinámico}{sismo\ estático} < 0{,}85$$

Los resultados obtenidos evidencian que no se cumple con la relación de verificación entre el cortante dinámico y el cortante estático en ambas direcciones principales de análisis. En consecuencia, se recomienda efectuar un ajuste del cortante a fin de garantizar el cumplimiento de lo establecido por la normativa vigente y la adecuada representación del comportamiento estructural.

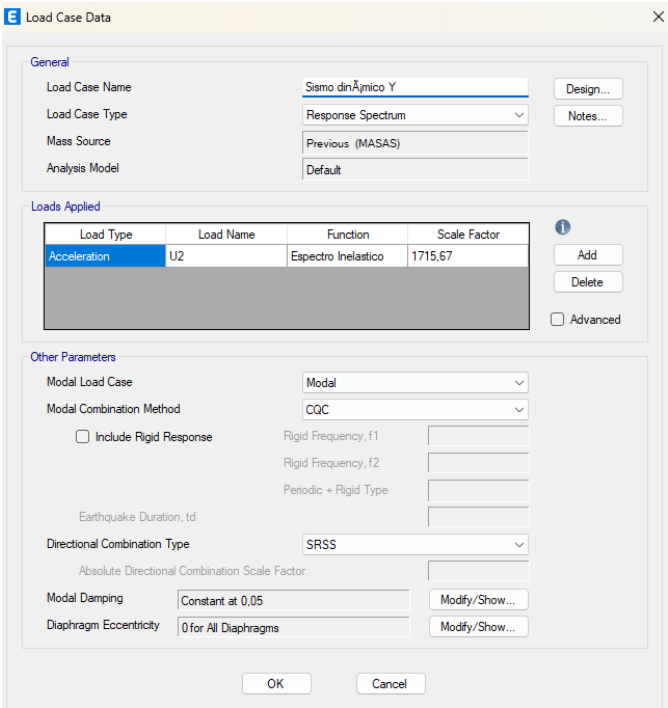
En caso de ser necesario realizar un ajuste por cortante, especialmente en estructuras con irregularidades, se deberá calcular un nuevo valor de gravedad. Para ello, el 85 % del cortante requerido se dividirá entre la relación existente entre el sismo dinámico y el sismo estático, y el resultado de dicha operación se multiplicará por la gravedad. Este nuevo valor de gravedad se incorporará al modelo mediante la opción "Load Cases", asegurando que la modificación se realice únicamente en la dirección del sismo que requiera ser ajustada, (ver Ilustración 38, 39).

Ilustración 38 Ajuste por cortante para Sismo dinámico en X



Fuente: Autores

Ilustración 39 Ajuste por cortante para Sismo dinámico en Y



Fuente: Autores

3.5.3.2 Verificación de derivas en sentido “X” y “Y”

El cálculo de las fuerzas laterales inducidas por sismo se realiza en función de las alturas entre pisos, las cuales deben ser acumuladas progresivamente para obtener el valor de la carga reactiva. Esta carga se determina a partir del análisis de masas reactivas, extraídas del software de modelado estructural, el cual proporciona la distribución de masa por eje en cada nivel específico de la edificación, obteniendo la carga reactiva con la siguiente formula.

$$WR = mr * g$$

Siendo:

mr: masa reactiva $\frac{ton*s^2}{m}$

g: gravedad $\frac{m}{s^2}$

Una vez completado este procedimiento, se obtienen los valores correspondientes mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática:

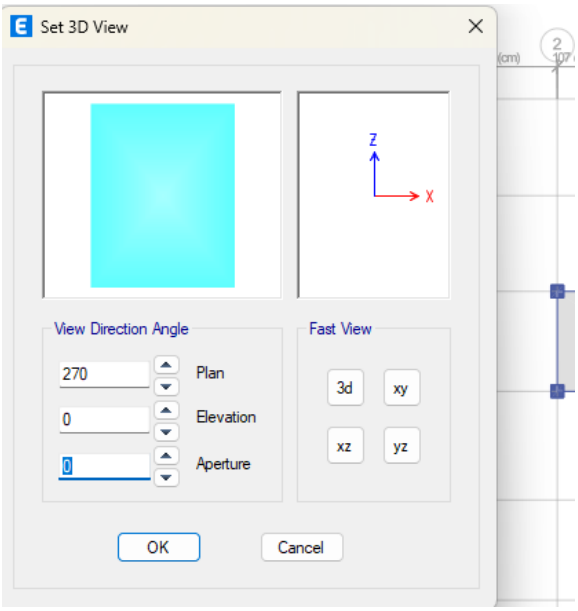
$$WR * HI * k$$

Con los resultados obtenidos, se procede a sumar los valores correspondientes a todos los pisos, para posteriormente calcular la fracción que representa cada uno respecto a la carga total. Esta fracción se multiplica por el valor de la cortante basal obtenida del análisis sísmico estático, considerando las direcciones "X" y "Y", permitiendo así determinar la distribución de las fuerzas laterales por nivel.

3.5.3.3 Verificación de índice de estabilidad

El índice de estabilidad se calcula con el fin de evaluar la influencia del efecto P-Delta en el comportamiento estructural. Para ello, se determina la carga total que transmite el sismo hasta la base de las columnas, lo cual se obtiene mediante un corte en dichos elementos. Este procedimiento se realiza en el software de análisis estructural, configurando la vista en el plano XZ con una apertura de sección igual a cero, lo que permite observar con precisión las fuerzas internas en la base de los elementos verticales. Ver ilustración 40.

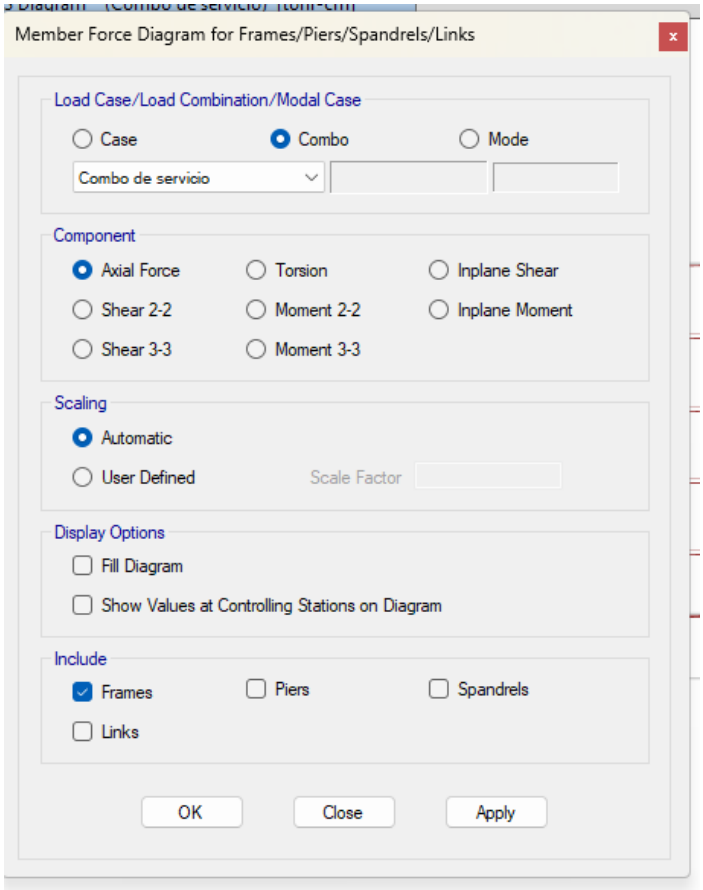
Ilustración 40 Vista en elevación



Fuente: Autores

Este procedimiento genera una vista en elevación, lo que permite calcular la carga total ejercida sobre la estructura al realizar cortes por piso en los elementos verticales. Para ello, se analizan las cortantes presentes en cada columna, las cuales se obtienen a través de las fuerzas axiales reportadas por el software. Ver la siguiente ilustración 41.

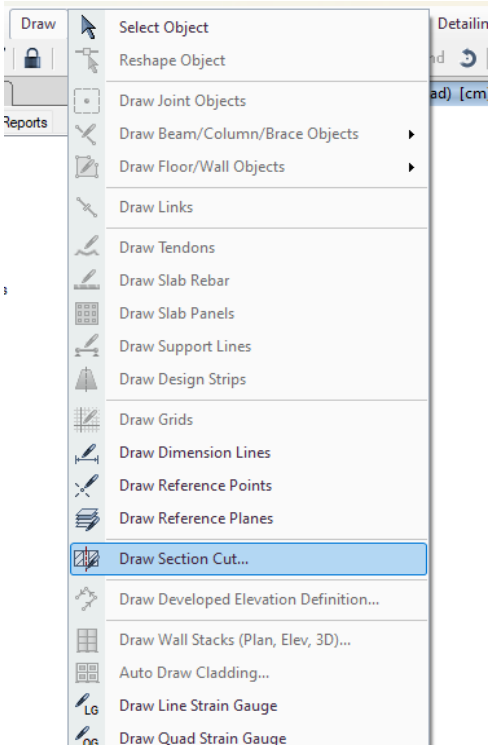
Ilustración 41 Verificación de cortantes



Fuente: Autores

Se obtiene un gráfico de cortantes en las columnas, sobre el cual se debe realizar un corte específico utilizando la herramienta Dibujar Corte del software. Esta acción permite identificar con precisión las fuerzas internas en los elementos verticales para cada nivel de la estructura.

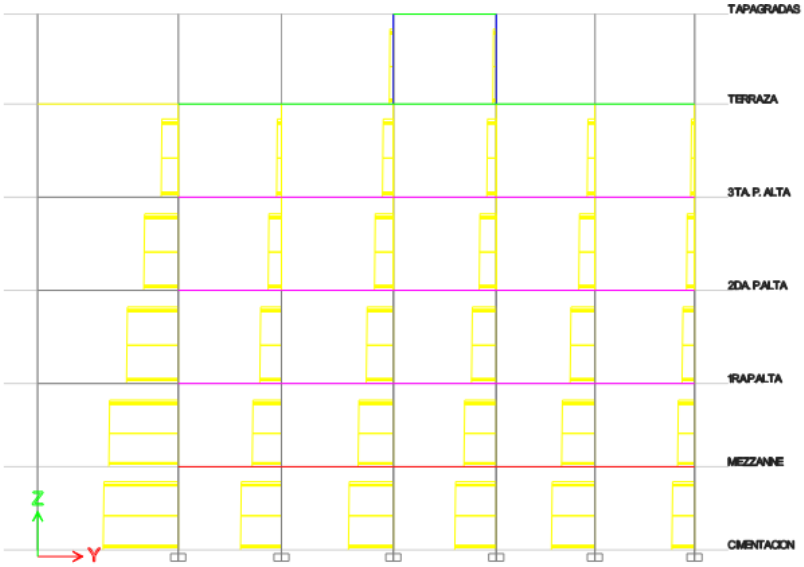
Ilustración 42 Cortantes de columnas.



Fuente: Autores

Al generar los cortantes, se obtiene como resultado la ubicación del corte en la base de los elementos verticales, lo cual permite evaluar directamente las fuerzas transmitidas desde cada piso hacia la cimentación.

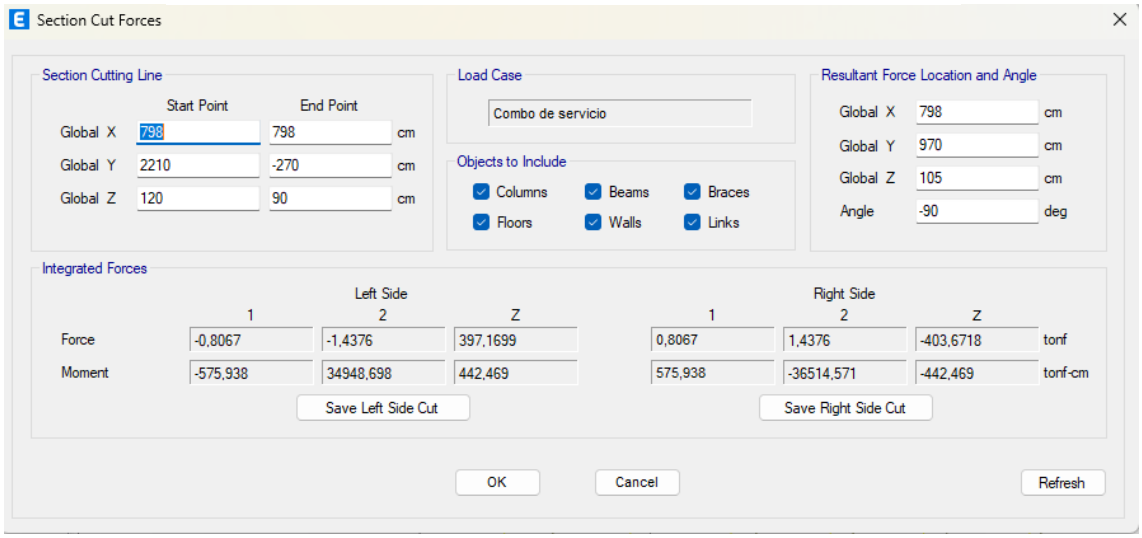
Ilustración 43 Cortantes de columnas.



Fuente: Autores

Esto permitirá obtener la carga total, la cual deberá ser verificada utilizando los datos presentados en la siguiente ilustración.

Ilustración 44 Cargas totales.

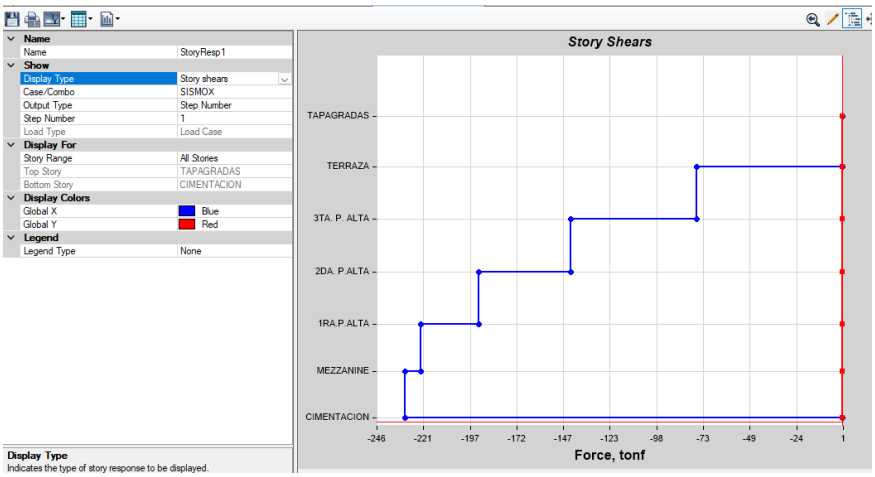


Fuente: Autores

3.5.3.4 Se verifica la cortante correspondiente a cada piso.

Con la opción de respuestas estructurales en el software, y considerando la dirección del sismo estático según el eje correspondiente.

Ilustración 45 Cortante de cada Piso.

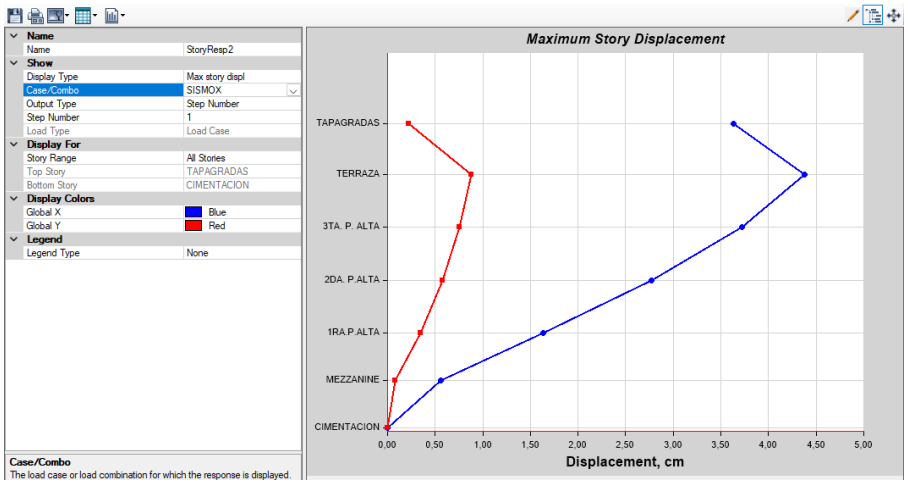


Fuente: Autores

3.5.3.5 Desplazamiento por piso.

Dentro de la misma sección de respuestas estructurales, se revisan también los desplazamientos por piso, los cuales se analizan en función del sismo estático aplicado según el eje correspondiente.

Ilustración 46 Desplazamiento por piso



Fuente: Autores

Una vez analizados los desplazamientos y las cortantes, se procede al cálculo del índice de estabilidad utilizando la siguiente expresión:

$$Q = \frac{P * Xpiso}{Vx * hi}$$

Donde:

P = Carga total vertical sobre el piso (Ton).

Vx = Cortante sísmica de piso (Ton).

hi = suma de entrepisos (m).

Xpiso= desplazamiento de piso.

El valor del coeficiente Q debe ser inferior a 0,30 para que los efectos de P-Delta puedan ser despreciados. En caso contrario, será necesario incluir dichos efectos en el análisis estructural.

3.5.3.6 Verificación de distorsiones de piso

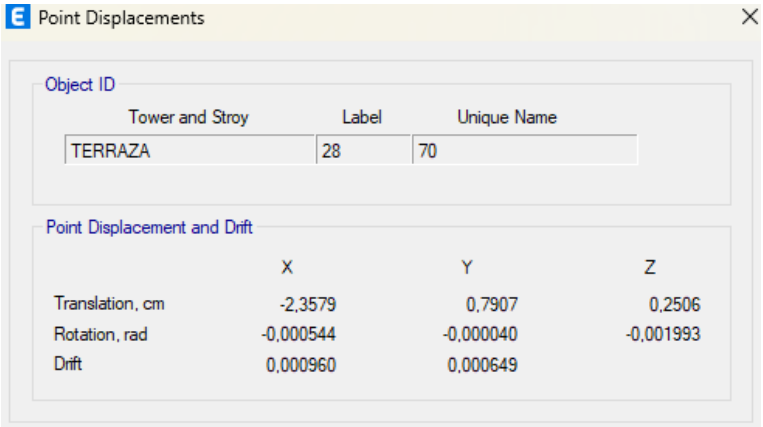
Para determinar si la estructura presenta deformaciones notables, se comienza analizando su vista en planta, es decir, la proyección superior del edificio, similar al diseño representado en un plano arquitectónico. En esta vista, se identifica el punto donde la distorsión alcanza su valor máximo, generalmente ubicado en una esquina de la losa del último piso. Posteriormente, se selecciona el punto opuesto en dicha losa para realizar una comparación. A partir de las deformaciones medidas en ambos puntos, se calcula el promedio mediante la siguiente fórmula:

$$Distorsión = \left[\frac{1{,}2*(Desplazamiento\ 1+Desplazamiento\ 2)}{2}\right]$$

- ✓ Si el cociente calculado resulta ser menor que el valor máximo entre ambos desplazamientos se concluye que existe distorsión en la estructura, lo que implica que no se cumplen los requisitos estructurales establecidos.
- ✓ Si el cociente es mayor o igual al valor permitido, se considera que la estructura cumple con los criterios establecidos, y por lo tanto, no presenta problemas de distorsión.

Esta verificación debe realizarse de manera independiente en ambos ejes, X y Y, para asegurar el adecuado comportamiento estructural en todas las direcciones.

. Ilustración 47 Desplazamientos generados por el sismo en dirección X – primer punto de control


Point Displacements

Object ID

Tower and Stroy	Label	Unique Name
TERRAZA	28	70

Point Displacement and Drift

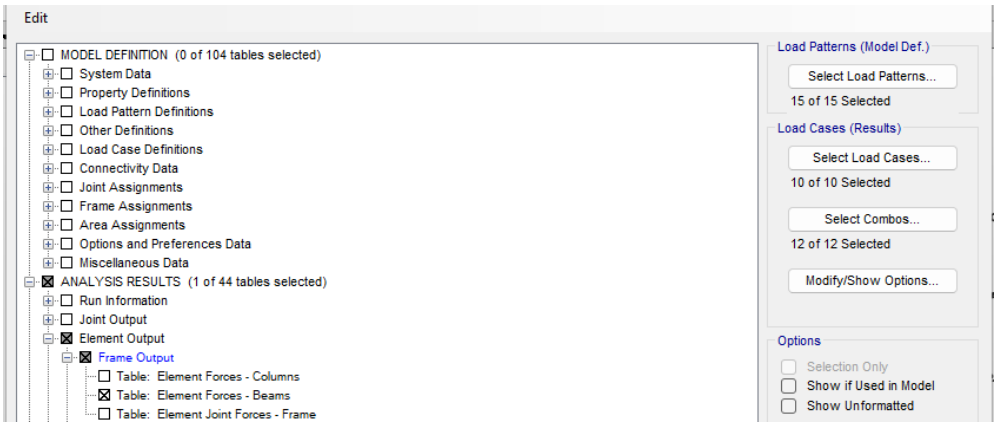
	X	Y	Z
Translation, cm	-2,3579	0,7907	0,2506
Rotation, rad	-0,000544	-0,000040	-0,001993
Drift	0,000960	0,000649	

Fuente: Autores

3.5.3.7 Verificación de deflexiones

Se identifica la viga que presenta la deflexión máxima dentro de la estructura, para lo cual se examinan los esfuerzos en los diferentes elementos estructurales utilizando las tablas generadas por el software. A continuación, se muestra la ubicación de dicha tabla para su consulta.

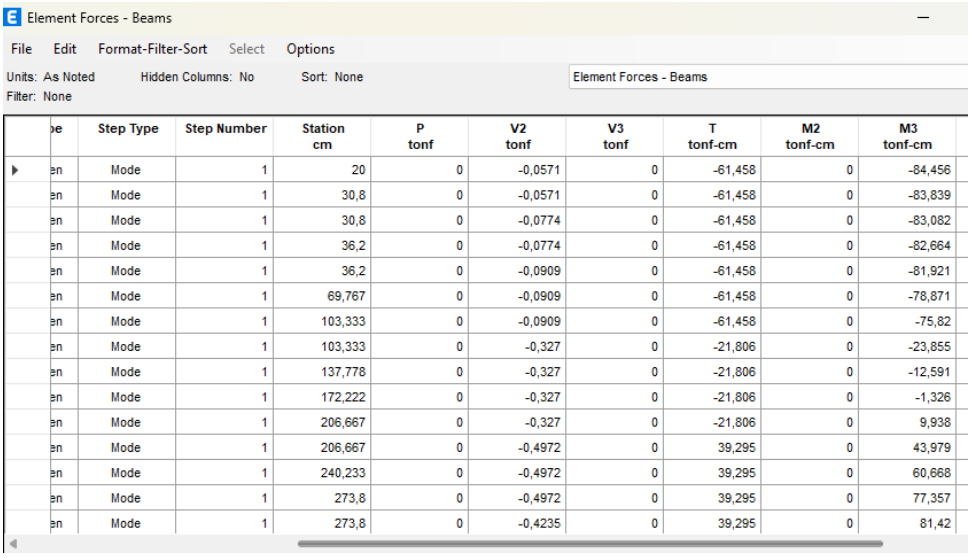
Ilustración 48 Tabla de elementos en vigas



Fuente: Autores

La tabla proporciona información sobre la viga con la mayor deflexión, la cual será utilizada para efectuar la verificación correspondiente, ya que también corresponde al elemento con el mayor momento flector. Ver la siguiente ilustración.

Ilustración 49 Tabla de vigas



	Step Type	Step Number	Station cm	P tonf	V2 tonf	V3 tonf	T tonf-cm	M2 tonf-cm	M3 tonf-cm
en	Mode	1	20	0	-0,0571	0	-61,458	0	-84,456
en	Mode	1	30,8	0	-0,0571	0	-61,458	0	-83,839
en	Mode	1	30,8	0	-0,0774	0	-61,458	0	-83,082
en	Mode	1	36,2	0	-0,0774	0	-61,458	0	-82,664
en	Mode	1	36,2	0	-0,0909	0	-61,458	0	-81,921
en	Mode	1	69,767	0	-0,0909	0	-61,458	0	-78,871
en	Mode	1	103,333	0	-0,0909	0	-61,458	0	-75,82
en	Mode	1	103,333	0	-0,327	0	-21,806	0	-23,855
en	Mode	1	137,778	0	-0,327	0	-21,806	0	-12,591
en	Mode	1	172,222	0	-0,327	0	-21,806	0	-1,326
en	Mode	1	206,667	0	-0,327	0	-21,806	0	9,938
en	Mode	1	206,667	0	-0,4972	0	39,295	0	43,979
en	Mode	1	240,233	0	-0,4972	0	39,295	0	60,668
en	Mode	1	273,8	0	-0,4972	0	39,295	0	77,357
en	Mode	1	273,8	0	-0,4235	0	39,295	0	81,42

Fuente: Autores

La deflexión obtenida para dicha viga debe ser menor al valor límite definido por la siguiente expresión, en cumplimiento con los criterios normativos de servicio.

$$\frac{L}{360}$$

Siendo L: Longitud de la viga

Si la deflexión calculada es menor al valor límite establecido, se concluye que la viga cumple con el criterio estructural de servicio.

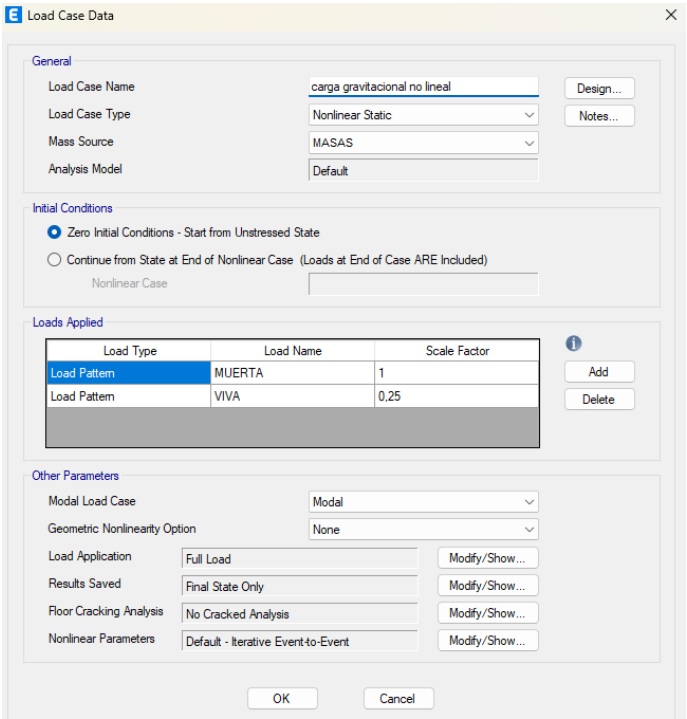
3.5.3.8 Control de torsión

Se obtiene el valor de Rz, el cual representa el efecto torsional en la estructura. Este parámetro debe ser verificado en ambos ejes, X y Y, para garantizar un comportamiento estructural equilibrado. Según la normativa, el porcentaje límite permitido es del 10 %. A continuación, se presenta la tabla generada por el software con los cocientes de masa modal correspondientes.

3.5.4 Análisis no lineal estático.

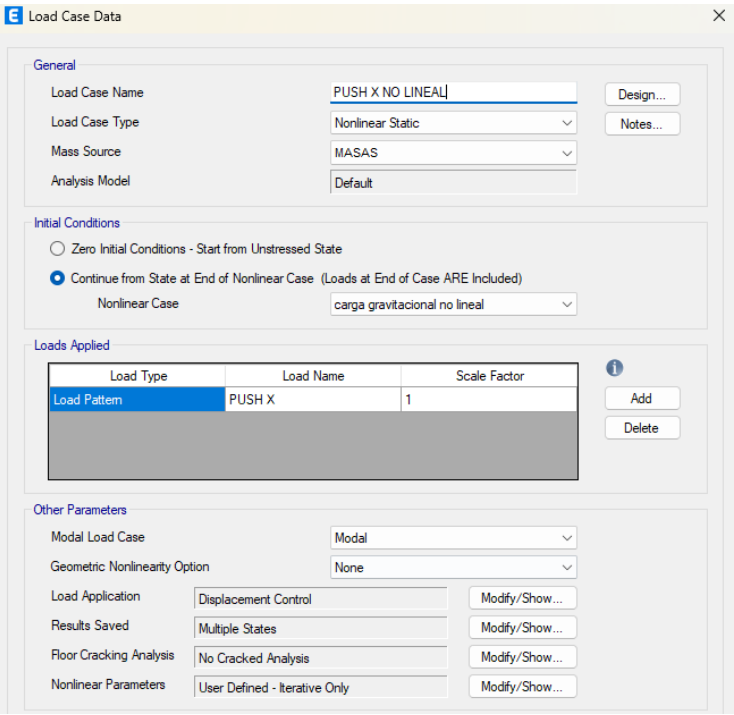
En esta fase, se procederá a la creación de tres estados de carga correspondientes al análisis no lineal estático. Estos comprenden un estado de carga gravitatorio y dos asociados a las distintas direcciones en las que se aplicará la acción sísmica. Para el caso de la carga gravitatoria, se utilizará la combinación de cargas previamente definida para la generación de la masa reactiva. En lo que respecta a los estados de carga sísmica, se asignarán las cargas correspondientes a cada eje, asegurando que ambos tanto el de la dirección X como el de la dirección Y, se desarrollen de manera secuencial, partiendo del estado de carga gravitacional, (ver Ilustración 50, 51 y 52).

Ilustración 50 Creación de carga gravitacional



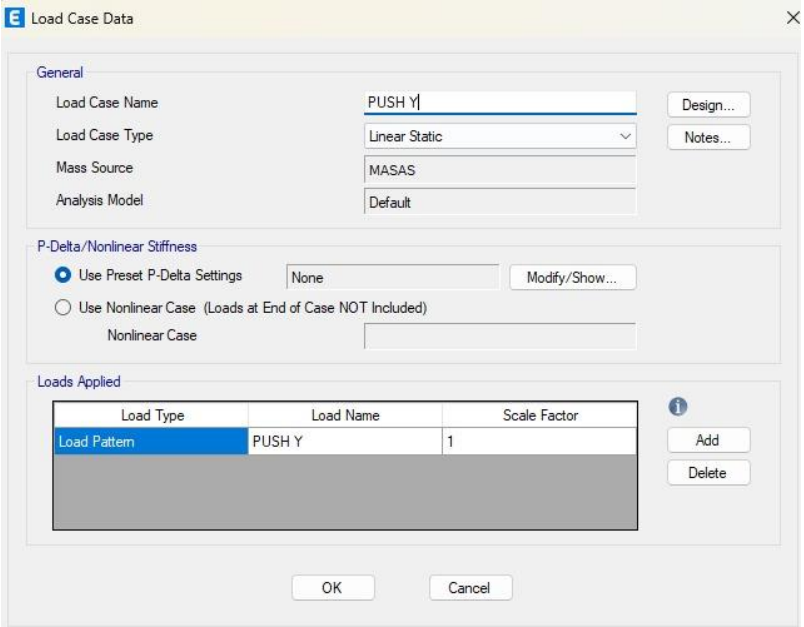
Fuente: Autores

Ilustración 51 Creación de carga Pushover en "X"



Fuente: Autores

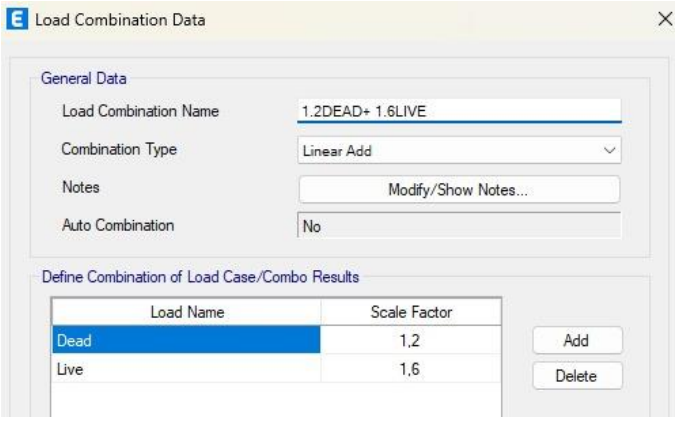
Ilustración 52 Pushover en “Y”



Fuente: Autores

En esta fase del análisis, se generan las combinaciones de carga según el enfoque de diseño LRFD, con el propósito de identificar la combinación más crítica para el comportamiento estructural. Este procedimiento se realiza en la sección “Load Combinations” del menú “Define”, incorporando también las combinaciones que incluyen acción sísmica dinámica. Para este caso específico, se seleccionó la combinación 1.2D + 1.6L, al ser la que representa el escenario de carga más desfavorable para el diseño de las rótulas plásticas (ver Ilustración 53).

Ilustración 53 Combinación de cargas



Fuente: Autores

3.5.5 Diseño de rotulas plásticas

3.5.5.1 Proceso para definir rotulas plásticas en vigas

Con el propósito de realizar el diseño y evaluación de rótulas plásticas en elementos estructurales, en este caso rotulas en vigas de concreto, la guía fuente será la norma ASCE 41-10. La tabla 11 correspondiente presenta los parámetros críticos y criterios de aceptación para procedimientos de análisis no lineales en este elemento, proporcionando una guía precisa para la evaluación de su comportamiento estructural.

Tabla 11 Parámetros para las rotulas plásticas en vigas de concreto según la norma ASCE 41-10

			Modeling Parameters			*Acceptance Criteria*		
						Plastic Rotation Angle		
			Plastic Rotation		Resicual	Performance Level		
Conditions			a	b	c	IO	LS	CP
Conditionsi,Flexure-Dominated beams								
$\rho - \rho'$	Transverse	v^d						
≤ 0.0	C	$\leq 3(0.25)$	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	$\geq 6(0.50)$	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	$\leq 3(0.25)$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	$\geq 6(0.50)$	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	$\leq 3(0.25)$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	$\geq 6(0.50)$	0.01	0.015	0.2	0.001	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	$\leq 3(0.25)$	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	$\geq 6(0.50)$	0.005	0.01	0.2	0.001	0.005	0.01

Fuente: ASCE 41-10

1) Datos

Para realizar el cálculo estructural de rotulas en vigas de hormigón, es necesario disponer de varios datos fundamentales, entre los cuales se incluyen:

Simbología	Significado	¿Qué es?
L	Longitud entre ejes.	Distancia entre los puntos de apoyo, medida en centímetros.
Bw	Ancho de la viga.	Dimensión transversal de la sección de la viga, en centímetros.
H	Altura de la viga	Dimensión vertical de la sección de la viga, en centímetros.
As	Área de acero a tensión	Sección transversal del refuerzo a tensión, en centímetros cuadrados.

As'	Área de acero a compresión	Sección transversal del refuerzo a compresión, en centímetros cuadrados.
f'c	Esfuerzo a compresión del hormigón	Resistencia característica del concreto, en kilogramos por centímetro Cuadrado.
r	Recubrimiento	Distancia entre el borde del hormigón y el acero de refuerzo más cercano, en centímetros.
F'y	Esfuerzo a compresión del acero	Resistencia a fluencia del acero de refuerzo, en kilogramos por centímetro Cuadrado.
Ec	Módulo de elasticidad del concreto	Capacidad del concreto para deformarse elásticamente, en kilogramos por centímetro cuadrado.
Es	Módulo de elasticidad del acero	Capacidad del acero para deformarse elásticamente, en kilogramos por centímetro cuadrado.
I	Momento de inercia	Resistencia de la sección transversal de la viga a la flexión, en centímetros a la cuarta potencia (cm^4).

2) Momento en el eje y

Es necesario encontrar ciertas variables principales como:

- Módulo de elasticidad del concreto Ec.

Ec= $15100\sqrt{f'c}$

- Módulo de elasticidad del acero Es.

En este caso se usa el valor del acero comercial.

- Inercia de la viga

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

b_w: *ancho de la sección*

H: *altura total de la sección.*

- Coeficiente β_1 factor de corrección

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\left(\frac{f'c \cdot 28}{7}\right)$$

$f'c$: *Resistencia del concreto frente a esfuerzos de compresión*

- Momento aplicado alrededor del eje Y

$$M_y = A_s \cdot f'_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

- Coeficiente C

El coeficiente C corresponde a la distancia medida entre la fibra más comprimida de una sección de concreto reforzado y su respectivo eje neutro, bajo condiciones de flexión.

$$c = \frac{A_s \cdot f'y}{0{,}85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot b_w}$$

A_s: Área de refuerzo de acero utilizada para resistir fuerzas de tracción

$f'y$: *Límite elástico del acero*

$f'c$: *Resistencia concreto a la compresión.*

β_1: *Valor definido por $f'c$, que establece la profundidad del bloque comprimido*

b_w: *Ancho de la sección*

- Peralte efectivo d

Se define como la distancia vertical comprendida entre la cara superior de la viga y el centroide del refuerzo de acero ubicado en la zona de tracción.

- Profundidad del bloque de compresión

$$a = \beta_1 \cdot c$$

a: *Altura de la región del concreto que se encuentra sometida a compresión*

β_1: *Valor definido por $f'c$, que establece la profundidad del bloque comprimido*

c: *Distancia desde la fibra superior comprimida hasta el eje neutro de la sección.*

- Momento de fluencia

Se denomina momento flector último al valor del momento en el que el acero longitudinal llega a su límite elástico ($f'y$), indicando que el refuerzo ha alcanzado su capacidad máxima dentro del rango elástico.

$$M_y = A_s \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

A_s: *Área de refuerzo de acero utilizada para resistir fuerzas de tracción*

$f'y$: *Límite elástico del acero*

d: *Peralte.*

a: *Profundidad de la zona comprimida*

- Rotación de fluencia

Se entiende por rotación plástica a la deformación angular que se desarrolla en una rótula plástica como resultado de la redistribución de momentos una vez alcanzada la capacidad última de la sección.

$$\theta_y = \frac{L \cdot M_y}{6 \cdot Ec \cdot I}$$

L: *Separación entre apoyos*

M_y: *Momento resistente último de fluencia*

E_c: *Módulo elástico del concreto.*

I: *Inercia de la sección .*

3) Cuantías

- Cuantía

Es una relación adimensional utilizada para cuantificar el porcentaje de acero de refuerzo contenido en una sección en función del área de concreto disponible.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w * d}$$

A_s: *Área de refuerzo de acero utilizada para resistir fuerzas de tracción*

b_w: *Ancho de la sección*

d: *Peralte.*

- Cuantía a compresión

Se describe como la relación que indica el porcentaje de acero dispuesto en la región sometida a compresión dentro de la sección.

$$\rho' = \frac{A_s{}'}{b_w \cdot d}$$

A'_s: $Área\ de\ refuerzo\ de\ acero\ en\ elementos\ sometidos\ a\ compresión$

b_w: $Ancho\ de\ la\ sección$

d: $Peralte.$

- Cuantía balanceada

Este valor señala la cantidad óptima de acero de refuerzo que asegura que tanto el acero como el concreto alcancen, de manera concurrente, sus respectivos estados límite: fluencia del acero y deformación última del concreto en compresión.

$$\rho_{balanceado} = 0{,}85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'c}{f'y} \cdot \left(\frac{0{,}003}{0{,}003 + \frac{f'y}{Es}} \right)$$

$f'y$: $Límite\ elástico\ del\ acero$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

β_1: $Valor\ definido\ por\ f\hat{}'\ c, que\ establece\ la\ profundidad\ del\ bloque\ comprimido$

E_s: $Módulo\ elástico\ del\ acero.$

$$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{balanceado}}$$

ρ: $cuantía.$

ρ': Cuantía del acero ubicada en la región comprimida.

$\rho_{balanceado}$: Cuantía balanceada.

4) Verificar si cumple la condición.

Una vez el modelado en el software de análisis estructural se debe obtener un cortante gravitacional ya que es un factor clave para el diseño de rotulas.

Se entiende por cortante gravitacional a la fuerza interna que surge en la sección transversal de un elemento estructural como respuesta a las cargas verticales o de origen gravitacional aplicadas sobre la estructura.

- Primera condición

$$\frac{d}{3}$$

$$\frac{3}{4} > Separación\ entre\ estribos$$

Con estas dos fórmulas se define si es conforme o no conforme las rotulas plásticas.

Rotula plástica conforme: Son zonas de deformación plástica que se generan en ubicaciones previamente definidas por el diseño estructural, localizándose principalmente en los extremos de las vigas o en las bases de las columnas. Están concebidas para garantizar características esenciales como ductilidad, confinamiento y resistencia.

Rotula plástica no conforme: Son aquellas que se desarrollan fuera de las áreas designadas o que carecen de los detalles necesarios para soportar grandes deformaciones, lo que puede provocar fallas frágiles.

- Cortante del estribo.

El diseño debe asegurar que la resistencia al corte supere la cortante derivada del momento plástico, lo cual es fundamental para prevenir fallas frágiles en esa área específica.

$$V_s = \frac{2 * \mathrm{A}_{\mathrm{estri}} \cdot f'y \cdot d}{Sep.estri}$$

$\mathrm{A}_{\mathrm{estri}}$: $Área\ de\ acero\ utilizada\ en\ los\ estribos$

$f'y$: $Límite\ elástico\ del\ acero$

d: $Peralte.$

- Momentos en rotulas plásticas

Se trata del momento flector máximo que una sección estructural es capaz de soportar cuando toda su área ha alcanzado su límite de fluencia.

$$M_1 = M_2 = A_s \cdot 1{,}25 \cdot f'y \cdot (d - \left(a \cdot \frac{1{,}25}{2}\right)$$

A_s: *Área del acero.*

$f'y$: *Límite elástico del acero*

d: *Peralte.*

a: *Profundidad de la zona comprimida*

- Cortante de diseño.

Se considera el efecto de los momentos flectores en una viga, especialmente en las zonas donde se forman rótulas plásticas. Este concepto es esencial en el diseño sismorresistente, asegurando que la sección estructural soporte la cortante máxima generada por dichas rótulas.

$$\mathrm{V_d} = \mathrm{Cgrav} + \left(\frac{\mathrm{M_1} + \mathrm{M_2}}{\mathrm{L}}\right)$$

$Cgrav$: *Carga por gravedad*

L: *Separación entre apoyos*

- **Segunda condición**

$$\frac{3}{4} \cdot Vd$$

Se verificar si cumple. $v_S > \frac{3}{4} vd$

Por lo tanto, en este punto se determina la conformidad de la estructura. Si al menos una condición resulta no conforme, se clasifica toda la estructura como no conforme, incluso si otras condiciones sí cumplen con los criterios establecidos.

- Intervalos de fórmulas

Se calcula la relación de cortante para comprobar la capacidad de la viga frente a esfuerzos cortantes, comparándola con los valores límite de la normativa.

$$\frac{V_d}{b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'c}}$$

V_d : $Valor\ de\ cortante\ de\ diseño.$

b_w: $Ancho\ de\ la\ sección$

d: $Peralte.$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

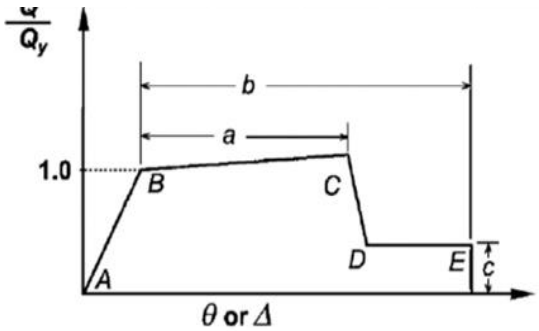
5) Aplicar la ilustración 19 para encontrar los parámetros de las rotulas

Para entrontrar los siguientes valores que es el Mu son los valores dependiendo de la tabla partiendo de "valor mayor o igual A" y "valor menor o igual A" se encuentran en el rango de 0.5 a 0 , para lo cual se observa la tabla 10.7 para ver en que rango y si no cumple se procedera a interpolar , esto para encontrar los valores "a, b, c, IO, LS, CP".

6) Graficar la rotula con los valores de los parametros obtenidos

Graficar los datos a, b, c, d, e para mejor comprension de como quedaria la grafica mirar el siguiente grafico.

Ilustración 54 Relación generalizada de fuerza vs deformación para elementos de concreto armado al incursionar en el rango no lineal



Fuente: Norma ASCE 41-10

3.5.5.2 Proceso para definir rotulas plásticas en columnas

Se utilizará la norma ASCE 41-10 para el diseño y evaluación de rótulas plásticas en elementos estructurales, en este caso rotulas en columnas de concreto. La tabla

correspondiente presenta los parámetros críticos y criterios de aceptación para procedimientos de análisis no lineales en este elemento, proporcionando una guía precisa para la evaluación de su comportamiento estructural.

Tabla 12 Variables y criterios límite para análisis no lineal en columnas de hormigón armado.

			Modeling Parameters			*Acceptance Criteria*		
			Plastic Rotation		Residual	Plastic Rotation Angle Performance Level		
Conditions			a	b	c	IO	LS	CP
Condition ii								
P	ρ							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.6	≥ 0.006		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	= 0.002		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
≤ 0.6	= 0.002		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii								
P	ρ	V^d						
≤ 0.1	≥ 0.006	≤ 3	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	≥ 6	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	≤ 3	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	≥ 6	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤	≤ 3	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤	≥ 6	0.006	0.006	0.0	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤	≤ 3	0.004	0.004	0.0	0.002	0.045	0.004
≤ 0.6	≤	≥ 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.045	0.0

Fuente: ASCE 41-10

1) Datos

f'c: Resistencia a la compresión del concreto

Fy: esfuerzo de fluencia del acero

b: base de la columna.

h: altura de la columna.

Ec: módulo de elasticidad del concreto.

Es: módulo de elasticidad del acero.

rec: Recubrimiento de la columna.

S: Separación de estribos.

ϕ_r: diámetro del refuerzo adicional

ϕ_{st}: diámetro del estribo.

2) Áreas de los aceros

- **Área de acero transversal (estribos o refuerzo transversal)**

$$A_v = \#_v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_{st})^2$$

$\#_v$: *Número de varillas ubicadas en la región comprimida*

ϕ_{st}: *Diámetro del estribo.*

- **Área de acero longitudinal**

$$A_s = \#_s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_v)^2$$

$\#_s$: *Cantidad de refuerzos longitudinales*

ϕ_v: *Diámetro de las barras en dirección longitudinal.*

- **Área de acero de compresión**

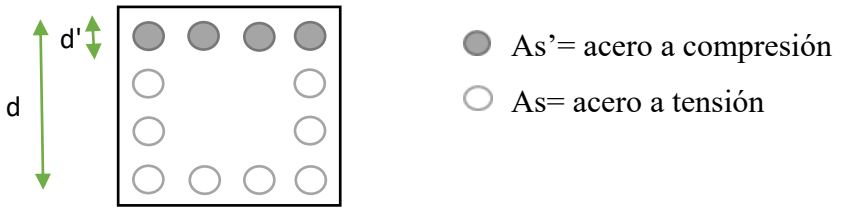
$$A_{s'} = \#_{s'} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_r)^2$$

$\#_{s'}$: *Total de barras dispuestas en el área comprimida*

ϕ_r: *Diámetro del refuerzo adicional.*

3) Peraltes d

Es la longitud medida entre la zona más comprimida de la sección y el centroide del acero en tracción, cuando la sección está sometida a flexo-compresión.



$$d = h - rec - \phi_{st} - \phi_r \cdot \frac{1}{2}$$

h: *altura de la Columna.*

rec: *Recubrimiento.*

ϕ_{st}: *Diámetro de estribo.*

ϕ_r: *Diámetro de varilla.*

$$d' = rec + \phi_{st} + \frac{\phi_r}{2}$$

rec: *Recubrimiento.*

ϕ_{st}: Diámetro de estribo.

ϕ_r: Diámetro de varilla.

4) Carca axial máxima (Pu)

La carga axial máxima Pu corresponde a la mayor fuerza axial que una columna, o cualquier elemento sometido a compresión, puede resistir antes de fallar por compresión pura o por flexo-compresión. Este valor generalmente se obtiene mediante un software de análisis estructural.

5) Valor de β_C

$$\beta_C = \frac{d'}{d}$$

6) Calcular la deformación del acero

El análisis de la deformación del acero resulta clave para evaluar el desempeño de elementos de hormigón armado bajo cargas específicas, como ocurre en columnas y vigas.

$$\varepsilon_y = \frac{f'y}{E_s}$$

ε_y : *Nivel de deformación en el acero al llegar a su esfuerzo de fluencia*

$f'y$: *Límite elástico del acero*

E_s : *Módulo elástico del acero.*

7) Deformación máxima a comprensión del concreto (ε_0)

Se refiere al mayor nivel de deformación que puede alcanzar el material bajo compresión, justo antes del colapso por aplastamiento, considerando como límite superior el valor es ε_0 =0.003.

8) Factor de deformación α_y

cuantifica cuántas veces la deformación del acero respecto a la deformación característica del concreto.

$$\alpha_y = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_o}$$

ε_y = *Deformación unitaria al límite elástico del acero.*

$\varepsilon_o = Deformación\ última\ del\ concreto\ en\ compresión$

9) Obtener el valor de η_0

Este valor permite medir cuánta carga axial última actúa sobre la sección en relación a su capacidad resistente teórica de concreto.

$$\eta_0 = \frac{P_U}{b \cdot d \cdot f'c}$$

P_U: $Carga\ axial\ máxima.$

d: $Peralte.$

b: $Base\ de\ la\ columna.$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

10) Calcular la cuantía a tensión

$$p_t = \frac{A_s \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f'c}$$

A_s: $Área\ de\ refuerzo\ de\ acero\ utilizada\ para\ resistir\ fuerzas\ de\ tracción$

$f'y$:$Límite\ elástico\ del\ acero$

b: $Base\ de\ la\ columna.$

d: $Peralte.$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

11) Determinar la cuantía de refuerzo en la zona de compresión

$$\rho_{t'} = \frac{A_{s'} \cdot f'y}{b \cdot d \cdot f'c}$$

$A_{s'}$: $Área\ de\ refuerzo\ de\ acero\ en\ elementos\ sometidos\ a\ compresión$

$f'y$: $Límite\ elástico\ del\ acero$

b: $Base\ de\ la\ columna.$

d: $Peralte.$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

12) Determinar el factor de corrección correspondiente

Permite ajustar un valor teórico con el objetivo de representar de manera precisa el valor.

$$C_2 = 1 + \frac{0.45}{(0{,}84 + \rho_t)}$$

ρ_t: *Cuantía en la zona traccionada*

13) Definir el coeficiente K aplicado al análisis

$$k = \sqrt{(\rho_t + \rho_{t'})^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot \alpha y2} + (\rho_t + \beta_1 \cdot \rho_{t'}) \cdot \frac{1}{\alpha y} - (\rho_t + p_t^4) \cdot \frac{1}{2 \cdot \alpha_y}}$$

ρ_t: *Cuantía en la zona tracci*onada

$\rho_{t'}$: *Cuantía del acero ubicada en la región comprimida*

β_1: *Valor definido por f^' c, que establece la profundidad del bloque comprimido*

αy : *Coeficiente de ajuste para la resistencia del acero.*

14) Calcular la curvatura

$$\phi_y = \left(1{,}05 + (c_2 - 1{,}05) \cdot \frac{\eta_0}{0{,}03}\right) \cdot \frac{\varepsilon_y}{(1 - k) \cdot d}$$

ε_y: *Deformación unitaria al límite elástico del acero.*

k: *Coeficiente k.*

c_2: *Coeficiente corrector*

d: *Peralte.*

15) Calcular la deformación del concreto

$$\varepsilon_c = \phi_y \cdot d - \varepsilon_y$$

ϕ_y: *grado de curvatura.*

ε_y: *Deformación unitaria al límite elástico del acero.*

d: *Peralte.*

$$\varepsilon_c < 0.004$$

16) coeficiente de eficiencia

Este coeficiente mide la eficiencia del material o sección considerando la relación de deformaciones del concreto y el acero.

$$\eta = \frac{0{,}75}{1+\alpha_y} \cdot \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^{0{,}7}$$

ε_c : *Deformación del concreto ante esfuerzos aplicados*

ε_o: *Deformación final del concreto bajo esfuerzos de compresión.*

αy : *Factor de reducción del acero.*

17) Factor de reducción del concreto

Se usa para reducir la contribución del concreto según su nivel de deformación.

$$\alpha_c = (1-\beta_c) \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon y} - \beta_c \quad \text{el resultado debe ser} \leq 1$$

ε_y: *Deformación unitaria al límite elástico del acero.*

ε_c : *Módulo elástico del concreto.*

β_c : *Relación de profundidad del acero a compresión.*

Si el resultado da un valor mayor que 1, se limita a 1 para evitar sobrestimar la capacidad.

18) Momento máximo de fluencia

$My = 0{,}5 \cdot f'c \cdot b \cdot d2 \cdot ((1+\beta_c - \eta) \cdot \eta_0 + (2-\eta) \cdot \rho_t + (\eta - 2\cdot\beta_c) \cdot \alpha_c \cdot \rho_t'$

ρ_t': *Cuantía del acero ubicada en la región comprimida*

b : *Base de la columna.*

ρ_t: *Cuantía en la zona traccionada*

β_c : *Relación de profundidad del acero a compresión.*

η : *Coeficiente de eficiencia.*

$f'c$: *Resistencia concreto a la compresión.*

19) Inercia de la columna

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

b : $Base\ de\ la\ columna.$

h : $Altura\ de\ la\ columna.$

20) Ángulo de giro correspondiente a la cedencia

$$\theta_y = \frac{L \cdot M_y}{9 \cdot \varepsilon_c \cdot I}$$

L: $Longitud\ libre\ entre\ apoyos$

My: $Momento\ resistente$ último $de\ fluencia.$

ε_c : $Deformación\ del\ concreto.$

I : $Inercia.$

21) Aplicar la norma ASCE 41-10

Aplicar las condiciones I y condición II de la tabla 12. Parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en columnas de concreto.

Condición i

$$\frac{Pu}{Ag \cdot f'c}$$

Pu: $Carga\ máxima\ soportada\ por\ el\ elemento\ bajo\ compresión\ axial.$

Ag: Superficie completa de la sección transversal del elemento estructural.

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

$$\rho = \frac{Av}{b \cdot s}$$

ρ: $cuantía.$

Av: $Área\ del\ acero\ dispuesto\ transversalmente.$

b : $Base\ de\ la\ columna.$

s: $Distancia\ entre\ elementos\ consecutivos\ del\ estribo.$

Condición ii

$$\frac{Pu}{A_9 \cdot f'_C}$$

Pu : $Carga$ $\acute{u}ltima\ en\ compresión\ axial$

Ag: $\acute{A}rea\ del\ acero\ total\ dispuesto\ transversal$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

$$\rho = \frac{Av}{b \cdot s}$$

Av: $\acute{A}rea\ del\ acero\ total\ dispuesto\ transversalmente.$

b : $Base\ de\ la\ columna.$

s: $Distancia\ entre\ elementos\ consecutivos\ del\ estribo.$

$$\frac{v \cdot 0{,}11954}{b \cdot d \cdot \sqrt{f'c}}$$

b : $Base\ de\ la\ columna.$

d : $Peralte.$

$f'c$: $Resistencia\ concreto\ a\ la\ compresión.$

Usar el valor menor de esas condiciones, de esta manera se encuentra los parámetros que permiten dibujar la rótula del elemento estructural en este caso de la columna.

22) Giro plástico total

$$\theta_u = \theta_y + a$$

θ_y : $Rotación\ de\ fluencia.$

a: $Profundidad\ de\ la\ zona\ comprimida\ del\ concreto$

23) Momento último

$$M_U = M_y + 0{,}05 \cdot \varepsilon_c \cdot I(\theta_u - \theta_y)$$

θ_y : *Rotación en el momento en que el elemento comienza a plastificarse.*

M_y : *Momento resistente último de fluencia*

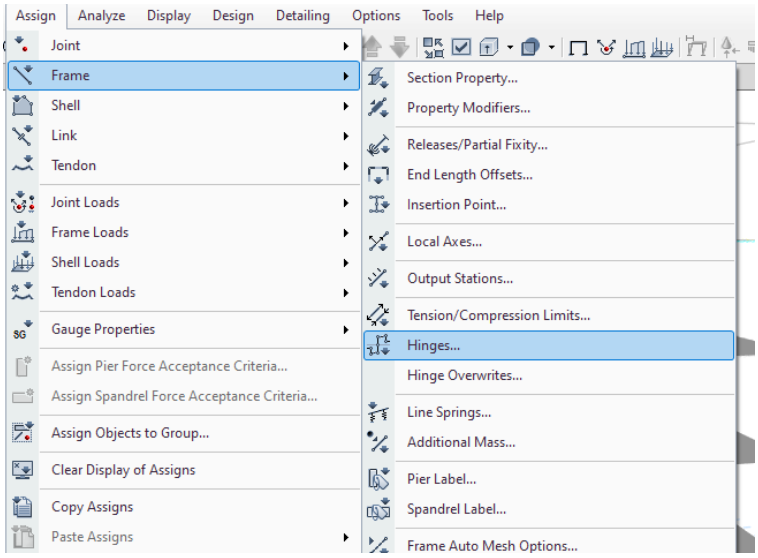
ε_c : *Deformación del concreto bajo carga*

θ_u: *Rotación angular acumulada tras el comportamiento plástico.*

I: *Inercia.*

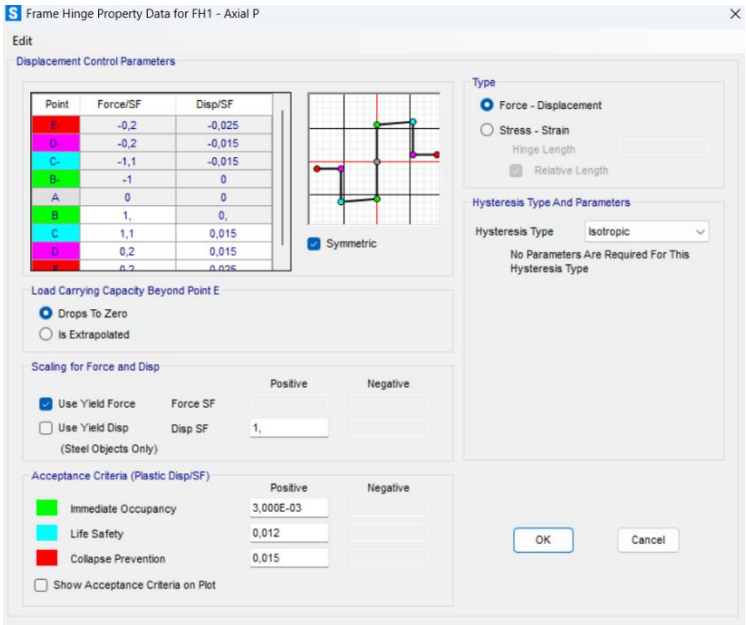
En esta fase, se procederá a la asignación de rótulas plásticas a los elementos estructurales, con el propósito de identificar los puntos críticos que podrían presentarse durante un evento sísmico. Cabe señalar que dichas rótulas fueron asignadas manualmente, siguiendo criterios técnicos específicos y no mediante una función automática del software. Como siguiente paso, se seleccionarán de manera independiente las vigas y las columnas; para cada tipo de elemento se crearán dos apartados que indiquen la ubicación específica de las rótulas.

Ilustración 55 Definición de las rótulas plásticas en las zonas críticas de los elementos estructurales.



Fuente: Autores

Ilustración 56 Asignación de rótulas plásticas a las columnas y vigas

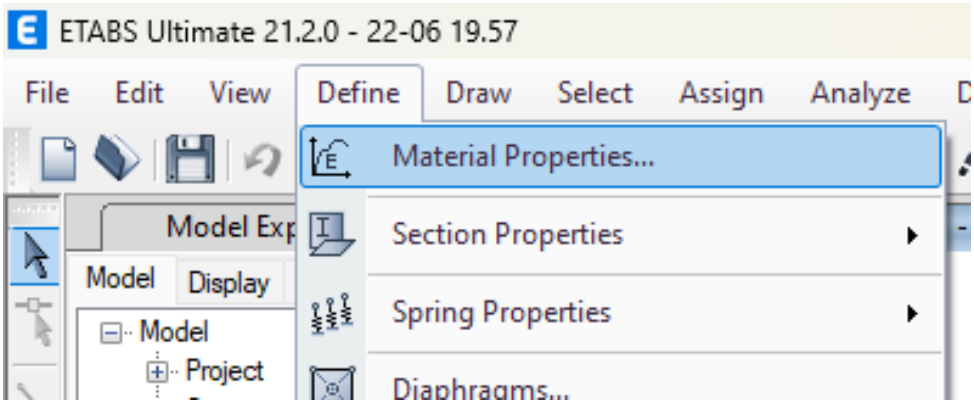


Fuente: Autores

3.5.5.3 Comportamiento no lineal del concreto

El comportamiento no lineal del concreto se refiere cuando las deformaciones ya no son proporcionales a las tensiones aplicadas. Para hacer este paso ir “Define”, seleccionar “Material Properties”.

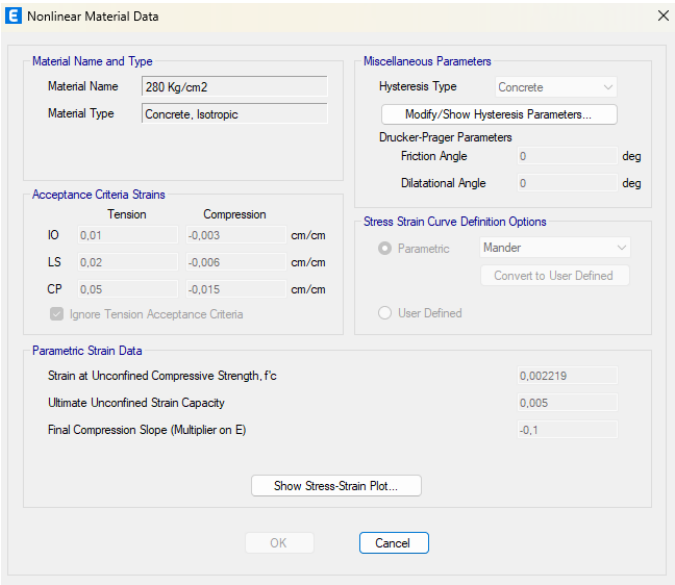
Ilustración 57 Propiedades de los materiales



Fuente: Autores

Hacer clip en “Nonlinear Material Data”.

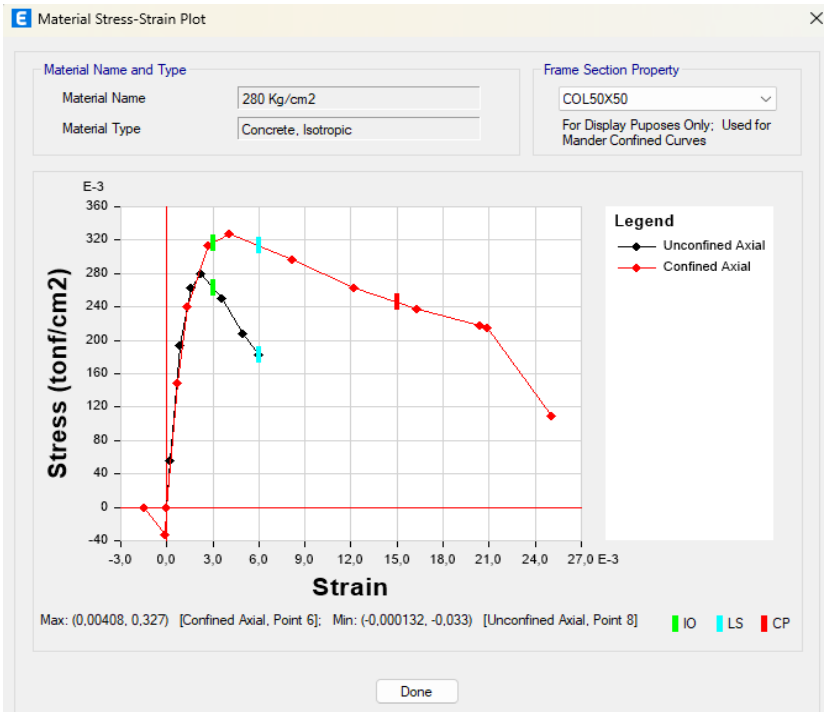
Ilustración 58 Material Nonlinear



Fuente: Autores

Dar click en “Show Stress Strain Plot” y elegir que sección quiere analizar su comportamiento del concreto en el apartado de “frame section Property”.

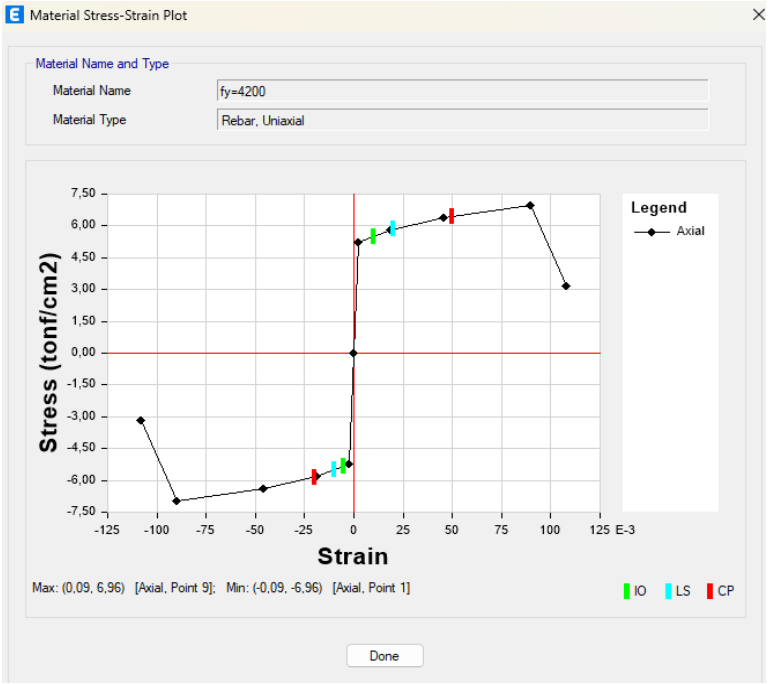
Ilustración 59 Comportamiento no lineal del concreto.



Fuente: Autores

Además, se hace este mismo proceso anterior ahora para el fy. Ver la ilustración 60.

Ilustración 60 Comportamiento no lineal del acero del Fy



Fuente: Autores

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Inspección visual rápida FEMA P-154 (Internacional)

Esta parte explica la mejor manera de completar la evaluación visual rápida de la debilidad sísmica de la estructura que está bajo análisis. Entre los lineamientos que integran el formato de evaluación visual rápida, se encuentran:

Paso 1. Datos Generales del Edificio:

- Nombre del Edificio: Anónimo
- Dirección: Anónimo
- Sitio de referencia: Anónimo
- Código Postal: 070206
- Tipo de uso: Consultorios
- Latitud: Anónimo
- Longitud: Anónimo
- Zona: Anónimo

Paso 2. Datos del profesional

- Nombre del evaluador: Genesis Ordoñez y Junior Cordova.
- C.I: 0750201154 & 0706697711
- Fecha: 11 de abril del 2025
- Hora: 14:30

Paso 3. Datos construcción

- Número de pisos: 5 pisos
- Fecha de construcción:2023
- Superficie total construida: $194{,}02\ m^2$
- Ampliaciones posteriores: Ninguna:
- Años remodelación: Ninguna

Paso 4. Ocupación

Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia	
Industria		Oficina	**X**	Educación	
Utilidad		Alamacén		Residencial #	
Historico		Albergue		Público	

Paso 5. Tipo de suelo

	A		B		C	**X**	D		E		F		DNK
Roca		Roca		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Si DNK,	
Dura		Débil		Denso		Duro		Blando		Pobre		Asumir tipo D	

Paso 6. Riesgos geológicos

RIESGOS GEOLÓGICOS					
Licuefacción:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:	
SI		SI		SI	
NO	**X**	NO	**X**	NO	**X**
DNK		DNK		DNK	

- Peligro de caídas exteriores

	Chimeneas sin soporte lateral		Apéndices
	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada		Parapetos
X	Otros: No presenta riesgos.		

- Comentarios:

Paso 7. Tipología del Sistema estructural:

Identificar el tipo de estructura del edificio, como se presenta en la siguiente tabla.

Pórticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	**W1**	
Pórticos de madera Livianos múltiples unidades, múltiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	**W1A**	

Pórticos de madera para edificios comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500m2	**W2**	
Pórtico Acero Laminado (Pórtico Resistente a Momento)	**S1**	
Pórtico Acero Laminado con diagonales	**S2**	
Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	**S3**	
Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	**S4**	
Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	**S5**	
Pórtico Hormigón Armado	**C1**	
Pórtico H. Armado con muros de corte	**C2**	**X**
Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	**C3**	
Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	**PC1**	
Pórtico de H. Armado prefabricados	**PC2**	
Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	**RM1**	
Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos	**RM2**	
Edificios de Mampostería no reforzada	**URM**	
Vivienda prefabricada	**MH**	

La identificación precisa del tipo de estructura de un edificio es un paso esencial para determinar su nivel de vulnerabilidad. Las tablas presentadas cumplen un papel clave en este proceso, ya que facilita la clasificación de edificaciones. A través de imágenes representativas, con sus respectivas puntuaciones y descripciones técnicas de sus características constructivas y comportamientos estructurales.

Paso 8. Puntuación básica:

Utilizar la tabla de modificadores para ajustar la puntuación inicial según características específicas del edificio, como irregularidades verticales y tipo de piso.

Basic Score, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, SL1																		
FEMA BUILDING TYPE	**Do Not Know**	**W1**	**W1A**	**W2**	**S1 MRF**	**S2 BR**	**S3 LM**	**S4 RC SW**	**S5 URM INF**	**C1 MRF**	**C2 SWC**	**C3 URM INF**	**PC1 TU**	**PC2**	**RM1 FD**	**RM2 RD**	**URM**	**MH**
Basic Score	**6,2**	**5,9**	**5,7**	**3,8**	**3,9**	**4,4**	**4,1**	**4,5**	**4,5**	**3,3**	**3,5**	**3,8**	**3,3**	**3,7**	**3,7**	**3,2**	**4,6**	**NA**
Severe Vertical	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1,6	-1,2	-1,2	-1,2	-1,4	-1,2	-1,1	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	NA

Irregularity, VL_1																		
Moderate Vertical Irregularity, VL_1	-1	-0,9	-0,9	-0,8	-1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,8	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	NA
Plan Irregularity, PL_1	-1,6	-1,4	-1,2	-1,1	-1,4	-1	-1,1	-1,1	-1,3	-1	-1	-1,2	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-1	NA
Pre-Code	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Post-Benchmark	2,2	2,4	2,5	2	1,6	1,4	2,1	1,3	NA	2,3	2	1,9	2,6	2,3	2,3	1,8	NA	NA
Soil Type A or B	0,9	1,1	1,2	0,8	1,2	1,3	1,3	1,4	0,9	1,2	1,1	1,3	1,3	1,2	1,2	0,9	NA	NA
Soil Type E (1-3 stories)	-1,2	-2	-1,2	-1,4	-1	-1,2	-1,4	-1,9	-1,2	-1,5	-1,6	-1,7	-1,6	-1,7	-1,7	-1,4	NA	NA
Soil Type E (>3 stories)	-1,7	-2,2	-1,4	-1,2	-1,4	-1,4	-1,7	-2	NA	-1,5	-1,6	NA	NA	NA	NA	-2,1	NA	NA
Minimum Score, S_MIN	2,7	2,1	1,5	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	2,5	NA

- ✓ Puntaje Básico (Basic Score) = 3.5
- ✓ Irregularidad vertical moderada (VL1) = -0.6
- ✓ Post Benchmark (código moderno) = +2.0
- ✓ Suelo tipo D = 0 (FEMA internacional NO asigna modificador para suelo D, solo para A/B y E)

SL1 = 3.5(básico) + (-0.6) (irregularidad) + 2.0 (código) + 0 (suelo) = 4.9

Como 4.9 > 0.5, el edificio no requiere evaluación detallada adicional, según FEMA P-154 Internacional. Es considerado de baja vulnerabilidad sísmica según la evaluación rápida.

Paso 9. Grado de revisión:

Definir si la inspección se realizó en el exterior, interior, ambos, o si hubo limitaciones de acceso.

- Exterior:

	Parcial	**X**	Todos los lados		Aéreo

- Interior

	Ninguno	**X**	Visible		Completo

Especificar si se observaron conexiones estructurales y si las condiciones de los materiales son visibles o no.

- Planos revisados

X	Sí		No

Paso 10. Otros riesgos:

¿Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada?

	Golpeo Potencial (a menor que SL 2> limite, si es conocido)
X	Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos
	Riesgo geológico o tipo de suelo F
	Daño significativo, deterioro del sistema estructural

Paso 11. Acción requerida:

En correspondencia con los resultados, decidir si es necesario una evaluación estructural más detallada o si se requiere la edificación medidas de refuerzo inmediato.

¿Requiere evaluación estructural detallada?

	Sí, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio
	Sí, puntaje menor que el límite
	Sí, otros peligros presentes
X	NO

¿Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)

	Sí, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados
	No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada.
X	No, no se identifican peligros no estructurales
	DNK = no conoce

4.2 Inspección visual rápida FEMA P-154 (NEC)

Esta parte explica la mejor manera de completar la evaluación visual rápida de la debilidad sísmica de la estructura que está bajo análisis. Entre los lineamientos que integran el formato de evaluación visual rápida, se encuentran:

Paso 1. Datos Generales del Edificio:

- Nombre del Edificio: Anónimo
- Dirección: Anónimo
- Sitio de referencia: Anónimo
- Código Postal: 070206
- Tipo de uso: Consultorios
- Latitud: Anónimo
- Longitud: Anónimo
- Zona: Anónimo

Paso 2. Datos del profesional

- Nombre del evaluador: Genesis Ordoñez y Junior Cordova.
- C.I: 0750201154 & 0706697711
- Fecha: 11 de abril del 2025
- Hora: 14:30

Paso 3. Datos construcción

- Número de pisos: 5 pisos
- Fecha de construcción:2023
- Superficie total construida: $194{,}02\ m^2$
- Ampliaciones posteriores: Ninguna:
- Años remodelación: Ninguna

Paso 4. Ocupación

Asambleas		Comercial		Servicio de Emergencia	
Industria		Oficina	**X**	Educación	

Utilidad		Alamacén		Residencial #	
Historico		Albergue		Público	

Paso 5. Tipo de suelo

	A		B		C	**X**	D		E		F		DNK
Roca		Roca		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Si DNK,	
Dura		Débil		Denso		Duro		Blando		Pobre		Asumir tipo D	

Paso 6. Riesgos geológicos

RIESGOS GEOLÓGICOS					
Licuefacción:		Deslizamiento:		Ruptura de Superficie:	
SI		SI		SI	
NO	**X**	NO	**X**	NO	**X**
DNK		DNK		DNK	

- Peligro de caídas exteriores

	Chimeneas sin soporte lateral		Apéndices
	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada		Parapetos
X	Otros: No presenta riesgos.		

Paso 7. Tipología del Sistema structural

Pórticos de Madera Livianos, de viviendas multifamiliares de 1 a 2 pisos.	W1	
Pórticos de Madera Livianos, múltiples unidades, varios pisos para edificios residenciales, con áreas en planta en cada piso con más de 300m2.	W1A	
Pórticos de madera para edificios, comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500m2.	W2	
Pórtico de Acero Laminado, (Pórtico Resistente a Momento).	S1	
Pórtico de Acero Laminado, con diagonales.	S2	
Pórtico de Acero Liviano o Conformado en frío.	S3	
Pórtico de Acero Laminados, con muros estructurales hormigón.	S4	
Pórtico de Acero con paredes con mamposterías de bloque.	S5	
Pórtico de Hormigón Armado.	C1	
Pórtico de Hormigón Armado, con muros de corte.	C2	**X**

Pórtico de Hormigón Armado, con mamposterías de relleno sin refuerzo.	C3	
Losas Prefabricadas de Hormigón (Tilt-up).	PC1	
Pórtico de Hormigón Armado prefabricados.	PC2	
Edificios con mamposterías reforzada con diafragmas flexibles.	RM1	
Edificios con mamposterías reforzada con diafragmas rígidos.	RM2	
Edificios con Mamposterías no reforzada.	URM	
Vivienda prefabricada.	MH	

Paso 8. Puntajes básicos, modificadores y puntaje final Nivel 1

Paso 9. Grado de revision

Parámetros Calificativos de la estructura	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
				MRF	BR	LM	RCSW	URMING	MRF	SW	URMINF	TU		FD	RD		
PUNTAJE BÁSICO		3,2	2,9	2,1	2,00	2,6	2	1,7	1,5	2	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1	1,5
IRREGULARIDADES																	
Irregularidad vertical Grave, VL1	-1,2	-1,2	-1,2	-1	-1	-1,1	-1	-0,8	-0,9	-1	-0,7	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7	NA
Irregularidad vertical Moderada, VL1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	NA
Irregularidad en planta, PL1	-1,1	-1	-1	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4	NA
CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	-1,1	-1	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0	-0,1
Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post código moderno (construido a partir de 2015)	1,6	1,9	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
SUELO																	
Suelo Tipo A o B	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelo Tipo E (1-3Pisos)	0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0	0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-0,3	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	NA	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	NA	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	NA
Puntaje Mínimo	1,1	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1
PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1 > SMIN																	

- ✓ Puntaje básico = 2.0
- ✓ Irregularidad vertical moderada (VL1) = -0.6
- ✓ Post código moderno (desde 2015) = +2.1

- ✓ Suelo tipo D = 0

  SL1 = 2.0-0.6+2.1+0 = 3.5, Indica baja vulnerabilidad según la metodología rápida FEMA P-154 NEC (2015)

- Exterior:

	Parcial	**X**	Todos los lados		Aéreo

- Interior

	Ninguno	**X**	Visible		Completo

- Planos revisados

X	Sí		No

Paso 10 Otros riesgos.

¿Existen condiciones que justifiquen la necesidad de realizar una evaluación estructural exhaustiva?

	Posible impacto con estructuras cercanas (cuando la separación es menor al límite SL2, si se conoce)
X	Peligro de colapso por la proximidad de edificaciones más altas.
	Presencia de riesgos geológicos o ubicación sobre suelos tipo F.
	Deterioro severo o daños importantes en el sistema estructural.

Paso 11 Acción requerida

¿Es necesario un análisis estructural a detalle?

	Sí, tipo de edificación FEMA no está identificado.
	Sí, puntaje obtenido está por debajo del límite
	Sí, otros riesgos relevantes.
X	NO

¿Se recomienda una evaluación detallada de elementos no estructurales?

	Sí, Se han identificado riesgos no estructurales que requieren ser evaluados
	No, aunque existen riesgos no estructurales, no es necesario un análisis detallado; basta con medidas de mitigación.
X	No, no se han detectado amenazas no estructurales.

	DNK = no conoce

4.3 Detalle de dimensiones de elementos estructurales

4.3.1 Dimensiones y propiedades estructurales de los componentes del sistema

Para el diseño de los elementos estructurales, se consideraron las siguientes propiedades, aplicables de manera uniforme a todas las estructuras analizadas:

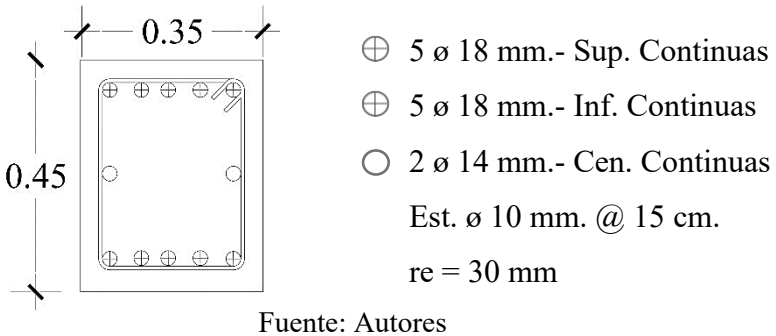
- La resistencia del concreto a compresión es $f'c$ = 240 kg/cm^2.
- El módulo elástico del concreto, Ec = 15100$\sqrt{f'c}$ = 233928.19 kg/cm^2.
- El límite de fluencia del acero perteneciente a fy = 4200 kg/cm^2.
- El módulo de elasticidad del acero utilizado es Es = 2039000 kg/cm^2.

Las secciones de los elementos estructurales fueron dimensionadas para cada tipo de estructura conforme a los lineamientos establecidos por la norma ACI. 318-2015 y realizando los chequeos sísmicos correspondientes para obtener una edificación sismorresistente.

4.3.2 Tipos de vigas estructurales

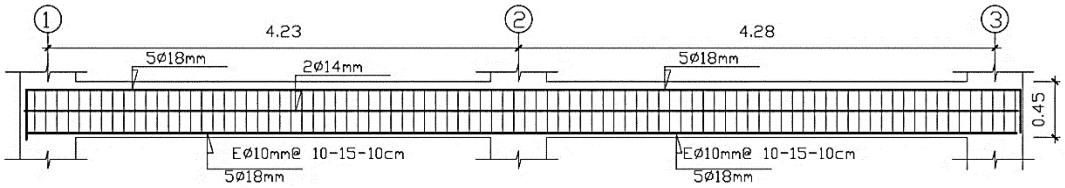
En la ejecución de la losa del mezzanine, se emplearon vigas de concreto armado con dimensiones de 35 × 45 cm y para la primera planta alta hasta la losa de la terraza, vigas de concreto armado con dimensiones de 35 × 50 cm, seleccionadas conforme a los criterios de diseño estructural establecidos para garantizar la capacidad portante y el adecuado comportamiento ante cargas gravitacionales. Las figuras que se presentan a continuación ilustran las vistas transversal y longitudinal de dichas vigas, proporcionando una representación detallada de su configuración geométrica y disposición dentro del sistema estructural. (ver ilustración 61 a ilustración 64).

Ilustración 61 Vista sección transversal de viga de losa mezanine



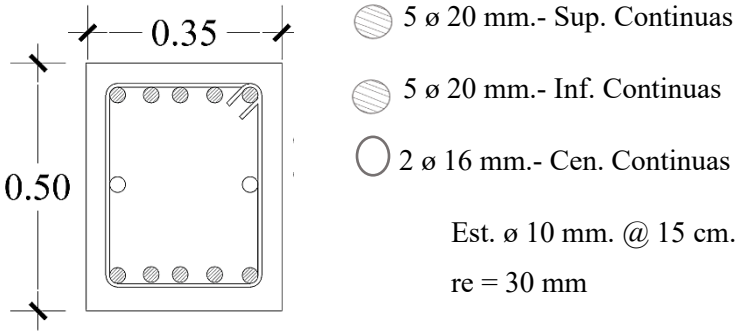
Fuente: Autores

Ilustración 62 Vista sección longitudinal de viga de losa mezanine



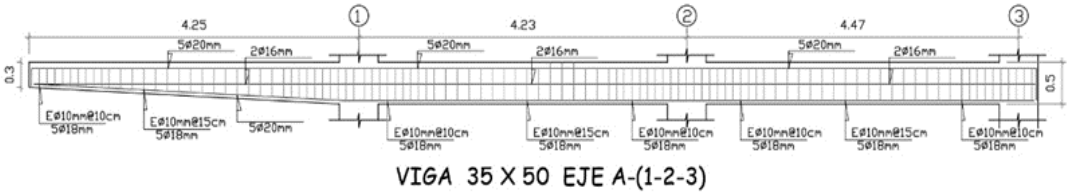
Fuente: Autores

Ilustración 63 Vista sección transversal de viga de losa de primera planta hasta la terraza



Fuente: Autores

Ilustración 64 Vista sección longitudinal de viga de losa de primera planta hasta la terraza



Fuente: Autores

4.3.3 Tipos de columnas estructurales

Se emplearon columnas de hormigón armado cuyas dimensiones varían según el nivel de la edificación. Estas dimensiones fueron determinadas conforme a los criterios de diseño estructural establecidos para garantizar la capacidad portante y el adecuado comportamiento ante cargas gravitacionales. En la siguiente tabla 13 se detallará por cada nivel la dimensión de las columnas utilizadas.

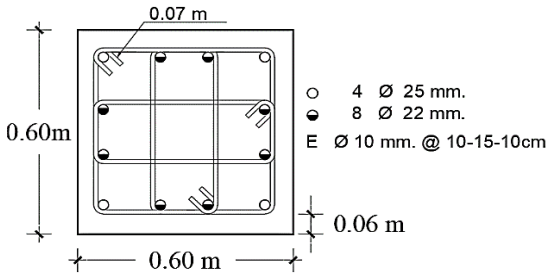
Tabla 13 Columnas utilizadas por cada nivel de la edificación

Columnas estructurales de Hormigón armado	
Nivel	**Columnas**
Columnas planta baja y mezanine	Columna #1 = 50 x 50 cm
	Columna #2 a la #18 = 50 x 50 cm
Columnas primer planta alta	Columna #1 = 60 x 60 cm
	Columna #2 a la #18 = 50 x 50 cm
Columna segunda planta alta	Columnas #1 a la #18 = 50 x 50 cm
Columna tercera planta alta	Columnas #1, #2, #3, #4, #7, #10, #13, #16= 50 x 50 cm
	Columnas #5, #6, #8, #9, #11, #12, #14, #15, #17, #18= 45 x 45 cm
Columna terraza	Columnas #1, #2, #3, #4, #7, #10, #13, #16 = 45 x 45 cm
	Columnas #5, #6, #8, #9, #11, #12, #17, #18 = 40 x 40 cm
	Columnas de tapagradas #8, #9, #11, #12 = 40 x 40 cm

Fuente: Autores

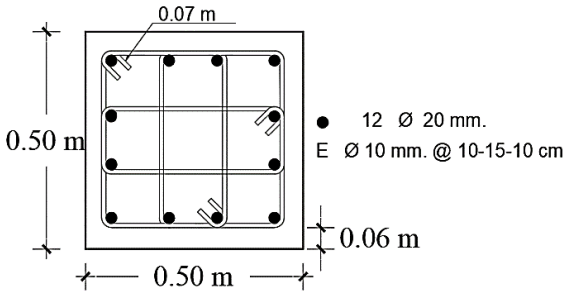
Las figuras que se presentan a continuación ilustran las vistas transversal y longitudinal de dichas columnas, proporcionando una representación detallada de su configuración geométrica y disposición dentro del sistema estructural. (ver ilustración 65 hasta la ilustración 74)

Ilustración 65 Columnas planta baja y mezzanine : columna #1



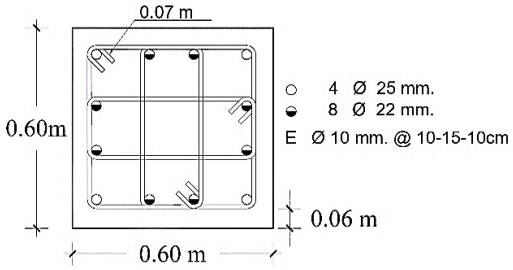
Fuente: Autores

Ilustración 66 Columnas planta baja y mezzanine: columna #2 a la #18



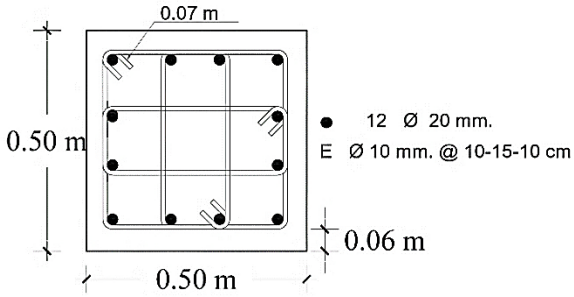
Fuente: Autores

Ilustración 67 Columnas primera planta alta #1



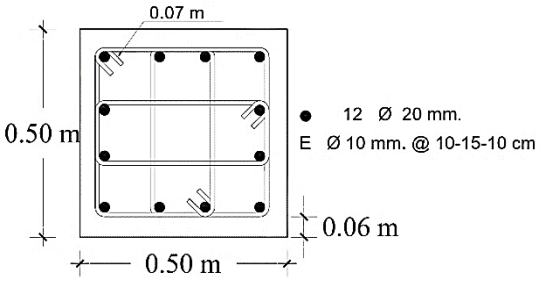
Fuente: Autores

Ilustración 68 Columnas primera planta alta #2 a la #18



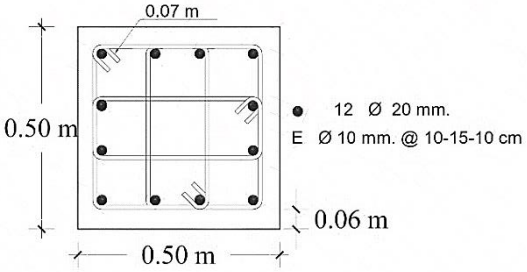
Fuente: Autores

Ilustración 69 Columna segunda planta alta #1 a la #18



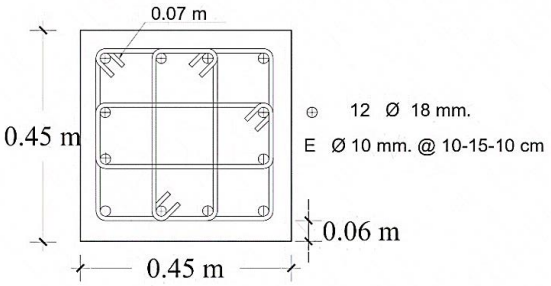
Fuente: Autores

Ilustración 70 Columna tercera planta alta: # 1-2-3-4-7-10-13-16



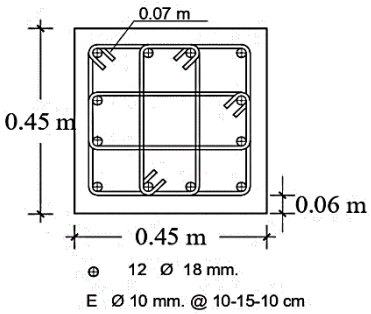
Fuente: Autores

lustración 71 Columna tercera planta alta: #5-6-8-9-11-12-14-15-17-18



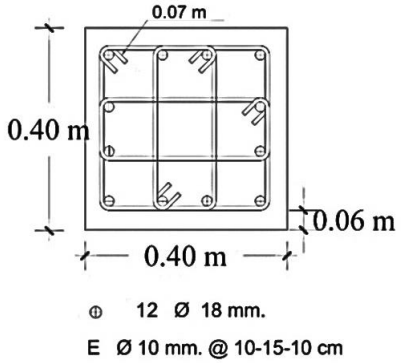
Fuente: Autores

Ilustración 72 Columnas de terraza: #1-2-3-4-7-10-13-16



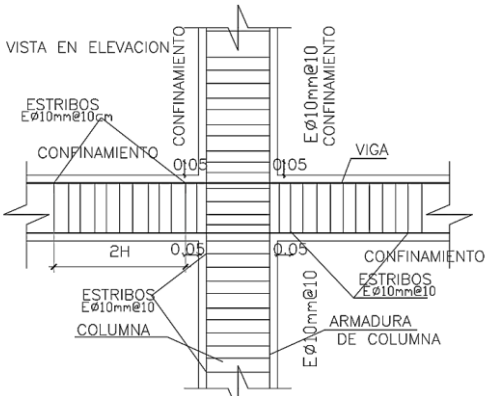
Fuente: Autores

Ilustración 73 Columnas terraza: #5-6-8-9-11-12-17-18



Fuente: Autores

Ilustración 74 Vista de sección longitudinal de las columnas de todos los niveles

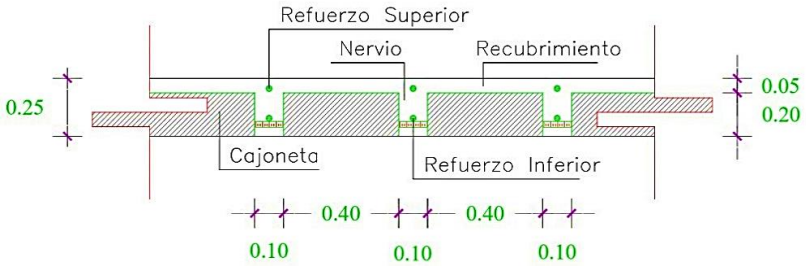


Fuente: Autores

4.3.4 Losa

El nivel de cada piso de la edificación se implementaron losas con un espesor de 25 cm el cual incluye el recubrimiento superior de 5cm. Refuerzo superior de ϕ16 mm, y de refuerzo inferior de ϕ 14 mm. En la siguiente ilustración se visualiza el detalle de losa, la misma que conforma para cada una de las plantas de la estructura. (ver ilustración 75)

Ilustración 75 Detalle de losa

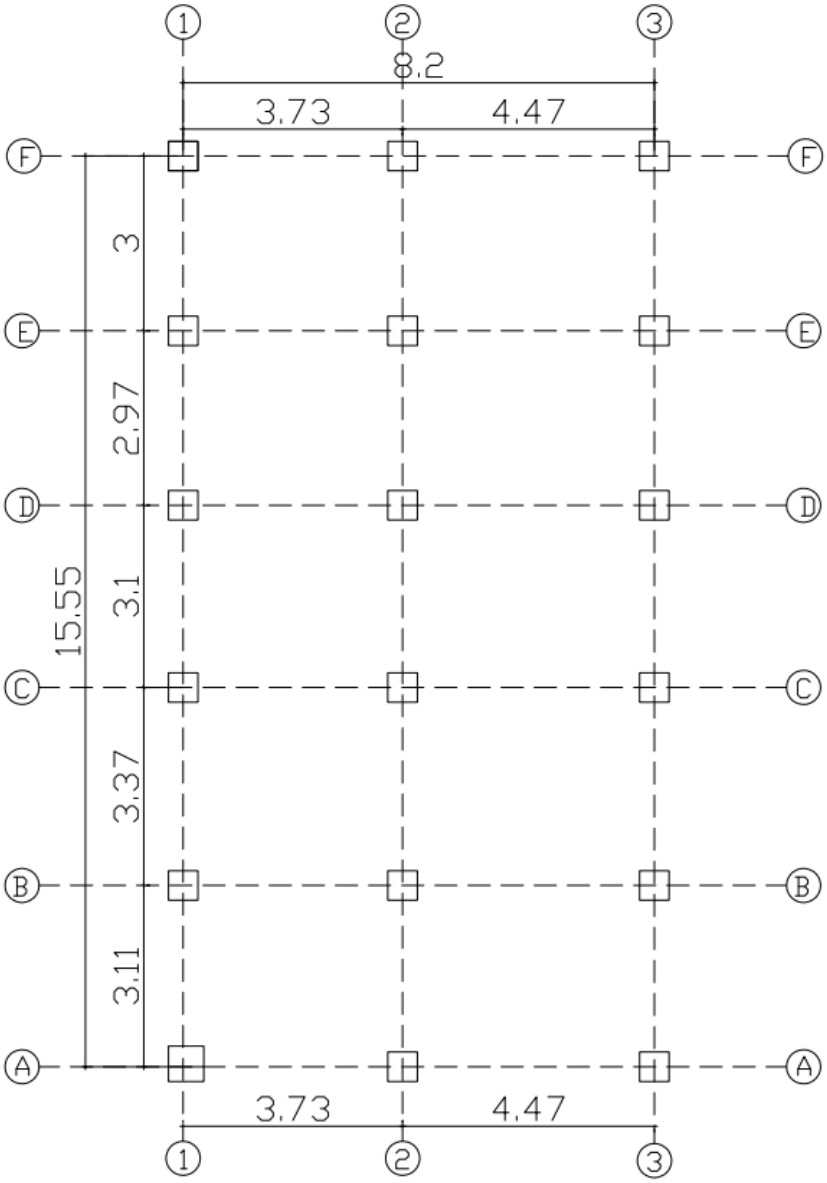


Fuente: Autores

4.3.5 Configuración de Planta y Elevación

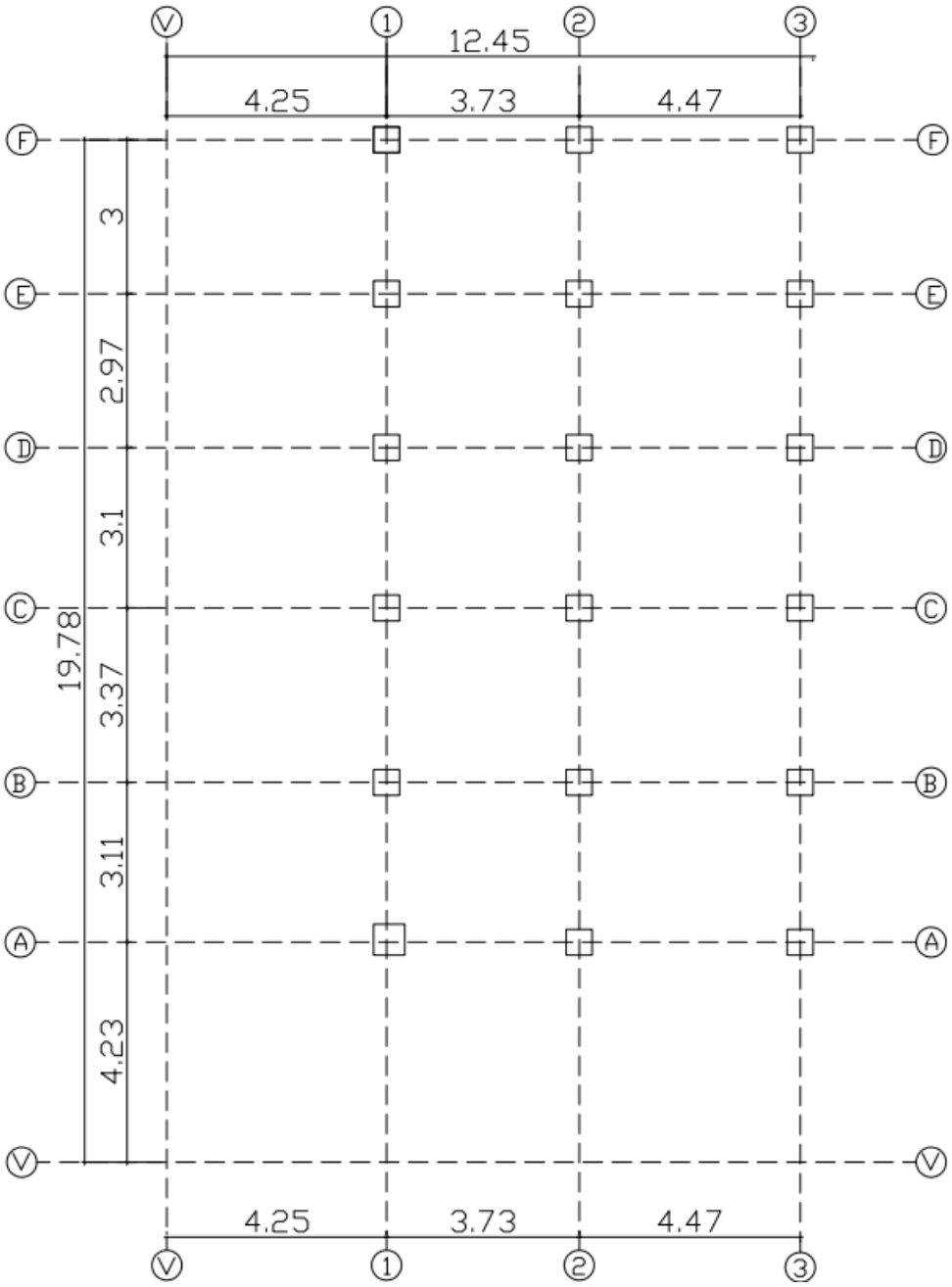
La edificación presenta uniformidad en las dimensiones de los vanos a lo largo de los diferentes niveles, lo que implica que las luces de las vigas principales se mantienen constantes en cada planta, en función de la configuración estructural. Las longitudes correspondientes se encuentran detalladas en las ilustraciones 76, 77, 78 y 79.

Ilustración 76 Configuración en planta - Mezanine



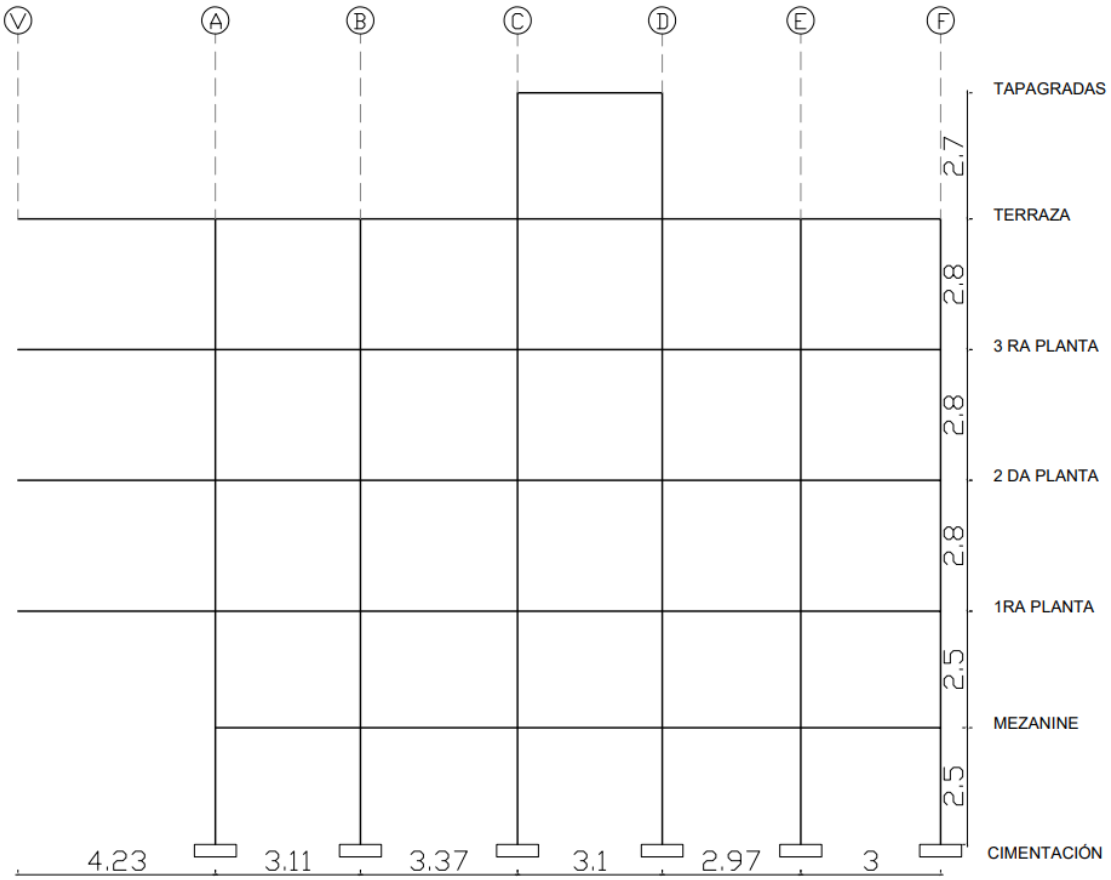
Fuente: Autores

Ilustración 77 Configuración en planta (Planta alta 1 hasta la terraza)



Fuente: Autores

Ilustración 78 Configuración de elevación



Fuente: Autores

4.3.6 Calculo para definir rotulas plásticas en vigas

1) Datos

Simbología	Valor
L	4,47 cm
Bw	35 cm
H	50 cm
As	15,71 cm^2
As'	19,73 cm^2
f'c	280 Kg/ cm^2
r	4cm
F'y	5250 Kg/cm^2
Ec	252671,328 Kg/ cm^2
Es	2039000 Kg/ cm^2
I	364583,3333 cm^4

2) Momento en el eje y

Es necesario encontrar ciertas variables principales como:

- Módulo de elasticidad del concreto Ec

$Ec = 15100\sqrt{f'c}$

$Ec = 15100\sqrt{280Kg/cm^2}$

$Ec = 252671{,}328\ Kg/cm^2$

- Módulo de elasticidad del acero Es

$Ec = 2039000Kg/cm^2$

En este caso se usa el valor del acero comercial

- Inercia de la viga

$$I = \frac{Bw \cdot H^3}{12}$$

$$I = \frac{35 \cdot 50^3}{12}$$

$$I = 364583{,}33\ cm^4$$

- Coeficiente β_1 factor de corrección

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\left(\frac{f'c \cdot 28}{7}\right)$$

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\left(\frac{280 \cdot 28}{7}\right)$$

$$\beta_1 = 0{,}85$$

- Momento en el eje Y.

$$M_y = A_5 \cdot f'_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_y = 15.71\ cm^2 \cdot 5250\ Kg/cm^2 \cdot \left(46 - \frac{9{,}9012\ cm}{2}\right)$$

$$M_y = 3385649{,}393\ Kg \cdot cm$$

Coeficiente

$$C = 11{,}6485$$

$$c = \frac{15.71\ cm^2 \cdot 5250\ \mathrm{kg}/cm^2}{0{,}85 \cdot \frac{280\mathrm{Kg}}{cm^2} \cdot 0.85 \cdot 35\mathrm{cm}}$$

$$C = 11{,}6485$$

Peralte efectivo d

$$d = 46$$

Profundidad del bloque de compresión

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$a = 0.85 \cdot 11{,}6485$$

$$a = 9{,}901\ cm$$

Momento de fluencia

$$M_y = A_s \cdot f'y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_y = 15.71\ cm^2 \cdot 5250\ \mathrm{Kg}/cm^2 \cdot \left(46 - \frac{9{,}9012\ cm}{2}\right)$$

$$M_y = 3385649{,}393\ \mathrm{Kg} \cdot \mathrm{cm}$$

- Rotación de fluencia

$$\theta_y = \frac{L \cdot M_y}{6 \cdot Ec \cdot I}$$

$$\theta_y = \frac{4{,}47\mathrm{cm} \cdot 3385649{,}393\ Kg \cdot cm}{6 \cdot 252671{,}328 \frac{\mathrm{Kg}}{cm^2} \cdot\ 364583{,}3333\ cm^4}$$

$$\theta_y = 2{,}73808E - 05$$

3) Cuantías

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$$

$$\rho = \frac{15.71\ cm^2}{35\ \mathrm{cm} \cdot 46\ \mathrm{cm}}$$

$$\rho = 0{,}009757764$$

$$\rho = 0{,}975776398\ \%$$

- Cuantía a compresión

$$\rho' = \frac{A_s{}'}{b_w \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{19{,}73\ cm^2}{35cm * 46\text{cm}}$$

$$\rho' = 0{,}012254658$$

$$\rho' = 1{,}225465839\ \%$$

- Cuantía balanceada

$$\rho_{\text{balanceado}} = 0{,}85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'c}{f'y} \cdot \left(\frac{0{,}003}{0{,}003 + \frac{f'y}{Es}} \right)$$

$$\rho_{\text{balanceado}} = 0{,}85 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{280\text{Kg}/cm^2}{5250\ \text{Kg}/cm^2} \cdot \left(\frac{0{,}003}{0{,}003 + \frac{5250\ \text{Kg}/cm^2}{2039000\ \text{Kg}/cm^2}} \right)$$

$$\rho_{\text{balanceado}} = 0{,}020736201$$

$$\rho_{\text{balanceado}} = 2{,}073620128\ \%$$

$$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{\text{balanceado}}}$$

$$\frac{0{,}009757764 - 0{,}012254658}{0{,}020736201}$$

$$-0{,}120412335$$

4) Verificar si cumple la condición.

- Primera condición

$$\frac{d}{3}$$

- Cortante del estribo.

$$V_s = \frac{2 \cdot \mathrm{A_{estri}} \cdot f'y \cdot d}{Sep.estri}$$

$$V_s = \frac{2 \cdot 0{,}79\ cm^2 \cdot \frac{5250\mathrm{Kg}}{cm^2} \cdot 46\ \mathrm{cm}}{15\ cm}$$

$$V_s = 25438Kg$$

- Momentos en rotulas plásticas

$$M_1 = M_2 = A_s \cdot 1{,}25 \cdot f'y \cdot (d - \left(a \cdot \frac{1{,}25}{2}\right)$$

$$M_1 = M_2 = 15{,}71\ cm^2 \cdot 1{,}25 \cdot 5250\ \mathrm{Kg}/cm^2 \cdot (46\ cm - \left(9{,}901\ cm \cdot \frac{1{,}25}{2}\right)$$

$$M_1 = M_2 = 3385649{,}393\ \mathrm{Kg{\cdot}cm}$$

- **Segunda condición**

$$\frac{3}{4} \cdot Vd$$

$$\frac{3}{4} \cdot 1522888{,}393\ \mathrm{Kg}$$

$$1142166{,}295\ Kg$$

Se verificar si cumple $v_S > \frac{3}{4} vd$

$$25438\ Kg > 1142166{,}295\ Kg$$

No conforme

- Intervalos de fórmulas

$$\frac{V_d}{b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'c}}$$

$$\frac{1522888{,}393\ Kg}{50cm \cdot 46 \cdot \sqrt{280\ Kg/cm^2}}$$

6,76

4.3.7 Calculo para definir rotulas plásticas en columnas

1) Datos

f'c: 280 kg/cm^2

Fy: 4200 kg/cm^2

b: 50 cm

h: 50cm

Ec: 252671,328 kg/cm^2

Es: 2039000 kg/cm^2

rec: 40 cm

S: 15 cm

ϕ_r: 20 mm

ϕ_{st}: 10 mm

2. Áreas de los aceros

- **Área de acero transversal (estribos o refuerzo transversal)**

$$A_v = \#_v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_{st})^2$$

$$A_v = 4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (10)^2$$

$$A_v = 314{,}159\ mm^2$$

- **Área de acero longitudinal**

$$A_s = \#_s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_v)^2$$

$$A_s = 8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (20)^2$$

$$A_s = 25.13\ mm^2$$

- **Área de acero de compresión**

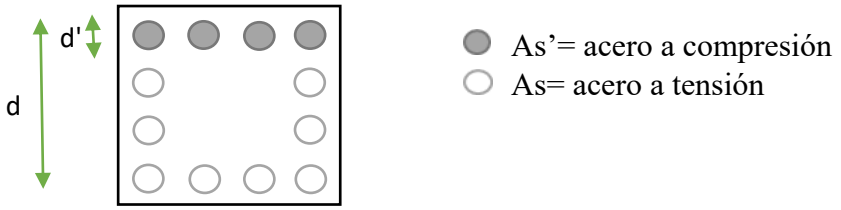
$$A_{s'} = \#_{s'} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\phi_r)^2$$

$$A_{s'} = 3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (20)^2$$

$$A_{s'} = 9.42\ mm^2$$

3. Peraltes d

Es la longitud medida entre la zona más comprimida de la sección y el centroide del acero en tracción, cuando la sección está sometida a flexo-compresión.



$$d = h - rec - \phi_{st} - \phi_r \cdot \frac{1}{2}$$

$$d = 50cm - 4\ cm - 1cm - 2 \cdot \frac{1}{2}$$

$$d = 44\ cm$$

$$d' = rec + \phi_{st} + \frac{\phi_r}{2}$$

$$d' = 4 + 1 + \frac{2}{2}$$

$$d' = 6$$

4. Carca axial máxima (Pu)

La carga axial máxima Pu corresponde a la mayor fuerza axial que una columna, o cualquier elemento sometido a compresión, puede resistir antes de fallar por compresión pura o por flexo-compresión. Este valor generalmente se obtiene mediante un software de análisis estructural.

5. Valor de β_C

$$\beta_C = \frac{d'}{d}$$

$$\beta_C = \frac{6}{44}$$

$$\beta_C = 0{,}136$$

6. Calcular la deformación del acero

El análisis de la deformación del acero resulta clave para evaluar el desempeño de elementos de hormigón armado bajo cargas específicas, como ocurre en columnas y vigas.

$$\varepsilon_y = \frac{f'y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{4200\,\frac{Kg}{cm^2}}{2039000\,\frac{Kg}{cm^2}}$$

$$\varepsilon_y = 0{,}00206$$

7. Deformación máxima a comprensión del concreto (ε_0)

ε_0 =0.003

8. Factor de deformación α_y

$$\alpha_y = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_o}$$

$$\alpha_y = \frac{0{,}00206}{0.003}$$

$$\alpha_y = 0{,}687$$

9. Calcular el valor correspondiente a η_0

$$\eta_0 = \frac{P_U}{b \cdot d \cdot f'c}$$

$$\eta_0 = \frac{365{,}75\ Kg}{50\ \text{cm} \cdot 44\text{cm} \cdot 280\ \text{Kg}/cm^2}$$

$$\eta_0 = 0{,}001$$

10. Estimar la cuantía del acero en la zona a tensión

$$p_t = \frac{A_s \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f'c}$$

$$p_t = \frac{25{,}13\ cm^2 \cdot 4200\ \text{Kg}/cm^2}{50\text{cm} \cdot 44\text{cm} \cdot 280\ \text{Kg}/cm^2}$$

$$p_t = 0{,}171$$

11. Calcular la cuantía a compresión

$$\rho_{t'} = \frac{A_{s'} \cdot f'y}{b \cdot d \cdot f'c}$$

$$\rho_{t'} = \frac{9{,}42\ cm^2 \cdot\ 4200\ \mathrm{Kg}/cm^2}{50\ \mathrm{cm} \cdot 44\mathrm{cm} \cdot 280\ \mathrm{Kg}/cm^2}$$

$$\rho_{t'} = 0{,}064$$

12. Encontrar el coeficiente de corrección o ajuste

$$C_2 = 1 + \frac{0.45}{(0{,}84 + \rho_t)}$$

$$C_2 = 1 + \frac{0.45}{(0{,}84 + 0{,}171)}$$

$$C_2 = 1{,}445$$

13. Estimar el parámetro K correspondiente

$$k = \sqrt{(\rho_t + \rho_{t'})^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot \alpha y^2} + (\rho_t + \beta_1 \cdot \rho_{t'}) \cdot \frac{1}{\alpha y}} - (\rho_t + p_t^4) \cdot \frac{1}{2 \cdot \alpha_y}$$

$$k = \sqrt{(0{,}171 + 0{,}064)^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot 0{,}687^2} + (0{,}171 + 0{,}85 \cdot 0{,}064) \cdot \frac{1}{0{,}687}} - (0{,}171 + 0{,}171^4) \cdot \frac{1}{2 \cdot 0{,}687}$$

$$k = 0{,}368253389$$

14. Calcular la curvatura

$$\phi_y = \left(1{,}05 + (c_2 - 1{,}05) \cdot \frac{\eta_0}{0{,}03}\right) \cdot \frac{\varepsilon_y}{(1 - k) \cdot d}$$

$$\phi_y = \left(1{,}05 + (1{,}445 - 1{,}05) \cdot \frac{0{,}001}{0{,}03}\right) \cdot \frac{0{,}00206}{(1 - 0{,}368253389) \cdot 44}$$

$$\phi_y = 7{,}87903E - 05\ rad/cm$$

15. Calcular la deformación del concreto

$$\varepsilon_c = \phi_y \cdot d - \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_c = 7{,}87903E - 05\ rad/cm \cdot 44 - 0{,}00206$$

$$\varepsilon_c = 0{,}0014$$

$$\varepsilon_c < 0{,}004$$

$$0{,}004 < 0{,}004$$

Si cumple

16. coeficiente de eficiencia

$$\eta = \frac{0,75}{1+\alpha_y} \cdot \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^{0,7}$$

$$\eta = \frac{0,75}{1+0,687} \cdot \left(\frac{0,0014}{0,003}\right)^{0,7}$$

$$\eta = 0,0261$$

17. Factor de reducción del concreto

Se usa para reducir la contribución del concreto según su nivel de deformación.

$$\alpha_c = (1 - B'c) \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon y} - B'c \quad \text{el resultado debe ser} \leq 1$$

$$\alpha_c = (1 - 0,136) \cdot \frac{0,0014}{0,00206} - 0,136 \quad \text{el resultado debe ser} \leq 1$$

$$\alpha_c = 0,45 \leq 1$$

18. Momento máximo de fluencia

$$My = 0,5 \cdot f'c \cdot b \cdot d^2 \cdot ((1+\beta_c - \eta) \cdot \eta_0 + (2-\eta) \cdot \rho_t + (\eta - 2 \cdot \beta_c) \cdot \alpha_c \cdot \rho_t'$$

$$My = 0,5 \cdot \frac{280Kg}{cm^2} \cdot 50cm \cdot 44^2 \cdot ((1+0,136 - 0,261) \cdot 0,001 + (2 - 0,261) \cdot 0,064$$
$$+ (0,261 - 2 \cdot 0,136) \cdot 0,45 \cdot 0,064$$

$$My = 4037509,414 \text{ Kg·cm}$$

19. Inercia de la columna

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{50 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm}^3}{12}$$

$$I = 520833,3333\ cm^4$$

20. Ángulo de giro en el punto de fluencia

$$\theta_y = \frac{L \cdot M_y}{9 \cdot \varepsilon_c \cdot I}$$

$$\theta_y = \frac{2,8 \text{ cm} \cdot 4032262,08\ Kg \cdot cm}{9 \cdot 252671,328 \frac{Kg}{cm^2} \cdot 520833,3333\ cm^4}$$

$$\theta_y = 0,00001$$

21. Aplicar la norma ASCE 41-10

Condición i

$$\frac{Pu}{Ag \cdot f'c}$$

$$\frac{365{,}75\ \text{Kg}}{2500\ cm^2 \cdot 280\ \text{Kg}/cm^2}$$

$$0{,}001$$

$$\rho = \frac{\text{Av}}{\text{b} \cdot \text{s}}$$

$$\rho = \frac{3{,}1415}{50\text{cm} \cdot 15\text{cm}}$$

$$0{,}004$$

Condición ii

$$\frac{\text{Pu}}{\text{Ag} \cdot f'c}$$

$$\frac{365{,}75\ \text{Kg}}{2500\ cm^2 \cdot 280\ \text{Kg}/cm^2}$$

$$0{,}001$$

$$\rho = \frac{\text{Av}}{\text{b} \cdot \text{s}}$$

$$\rho = \frac{3{,}1415}{50\text{cm} \cdot 15\text{cm}}$$

$$0{,}004$$

$$\frac{\text{v} \cdot 0{,}11954}{\text{b} \cdot \text{d} \cdot \sqrt{\text{f}'\text{c}}}$$

$$\frac{365{,}75\ \text{Kg} \cdot 0{,}11954}{50\ \text{cm} \cdot 44\ \text{cm} \cdot \sqrt{280\ \text{Kg}/cm^2}}$$

$$0{,}0012$$

22. Giro plástico total

$$\theta_u = \theta_y + a$$

$$\theta_u = 0{,}00001 + 0{,}03995$$

$$\theta_u = 0{,}03996$$

23. Momento último

$$M_U = M_y + 0{,}05 \cdot \varepsilon_c \cdot I(\theta_u - \theta_y)$$

$$M_U = 4032262{,}08\ Kg \cdot cm + 0{,}05 \cdot 252671{,}328\ Kg/cm^2 \cdot 520833{,}3333\ cm^4(0{,}03996 - 0{,}00001)$$

$$M_U = 6660965{,}089\ Kg \cdot cm$$

Tabla 14 Formación de rótulas en el eje X-X

Step	*Monitored Displ*	*Base Force*	*A-B*	*B-C*	*C-D*	*D-E*	*>E*	*A-IO*	*IO-LS*	*LS-CP*	*>CP*	*Total*
	cm	kgf										
0	0	0	620	0	0	0	0	620	0	0	0	620
1	3,22	232815,65	620	0	0	0	0	620	0	0	0	620
2	9,8613	639402,82	562	58	0	0	0	607	12	0	1	620
3	13,9366	791994,67	486	134	0	0	0	596	21	0	3	620
4	13,9869	792909,07	486	134	0	0	0	596	21	0	3	620
5	14,9554	815644,47	472	148	0	0	0	585	31	0	4	620
6	14,968	815363,69	472	148	0	0	0	585	31	0	4	620
7	15,1189	819023,29	471	149	0	0	0	585	31	0	4	620
8	15,1441	819022,76	471	149	0	0	0	583	33	0	4	620
9	18,3216	874196,67	446	173	1	0	0	552	64	0	4	620
10	18,3216	874196,52	446	173	1	0	0	552	64	0	4	620
11	18,3235	874243,95	446	173	1	0	0	552	64	0	4	620

Fuente: Autores

Tabla 15 Formación de rótulas en el eje Y-Y

Step	*Monitored Displ*	*Base Force*	*A-B*	*B-C*	*C-D*	*D-E*	*>E*	*A-IO*	*IO-LS*	*LS-CP*	*>CP*	*Total*
	cm	kgf										
0	0	0	620	0	0	0	0	620	0	0	0	620
1	3,22	334711,88	620	0	0	0	0	620	0	0	0	620
2	10,0625	900470,75	563	57	0	0	0	608	10	0	2	620
3	13,685	1066334,37	502	118	0	0	0	591	26	0	3	620
4	15,9868	1127461,18	475	144	1	0	0	574	43	0	3	620
5	15,9868	1127459,36	475	144	1	0	0	573	43	0	4	620
6	15,9908	1127628,84	475	144	1	0	0	573	43	0	4	620

Fuente: Autores

4.4 Análisis estático no lineal (Pushover)

4.4.1 Dinámico espectral

4.4.1.1 Elaboración del espectro de diseño en aceleraciones.

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción, se definieron los espectros de respuesta sísmica para el modelo estructural, considerando cuatro escenarios de amenaza: sismos frecuentes (72 años de periodo de retorno), ocasional (225 años), raros (475 años) y muy raros (2500 años). Estos espectros se elaboraron en función de la ubicación geográfica de la edificación y las características del suelo de cimentación, parámetros fundamentales que influyen directamente en la demanda sísmica.

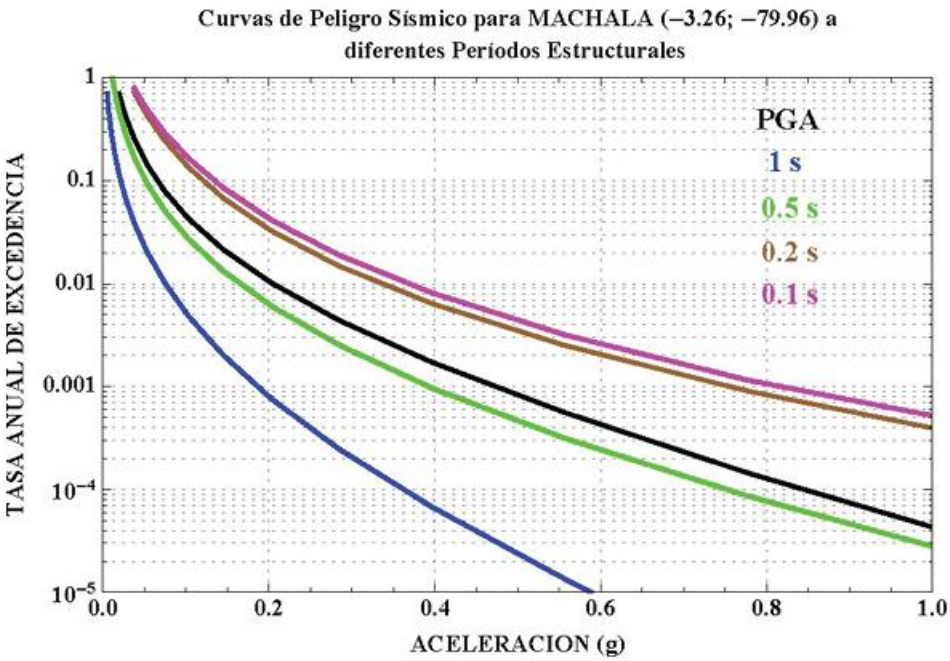
Para la generación de los espectros, se emplearon las tasas de excedencia anual especificadas en la tabla 16 de la normativa, junto con la curva de peligro sísmico específica para la ciudad de Machala.

Tabla 16 Tasa de excedencia anual para diferentes tipos de sismo

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de	Período de	Tasa anual de
1	Frecuente	50%	72	0,01389
2	Ocasional	20%	225	0,00444
3	Raro	10%	475	0,00211
4	Muy raro	2%	2500	0,0004

Fuente: (NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente)

Ilustración 79 Curva de peligro sísmico de la ciudad de Machala



Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

Para determinar el factor sísmico Z, se utilizó la curva de peligro sísmico, trazando líneas horizontales desde las tasas de excedencia anual hasta interceptar con la curva de aceleración máxima esperada (PGA), y desde esos puntos se proyectaron líneas verticales para obtener el valor correspondiente. La edificación se encuentra en una zona sísmica tipo V, según la normativa ecuatoriana, lo que implica una alta amenaza sísmica, y se asienta sobre un suelo tipo D, cuyas características amplifican los efectos del movimiento sísmico. A partir de estos parámetros, se obtuvieron los valores necesarios para el análisis, los cuales se presentan en las tablas 17.

Tabla 17 Coeficientes de perfil de suelo NEC 2015

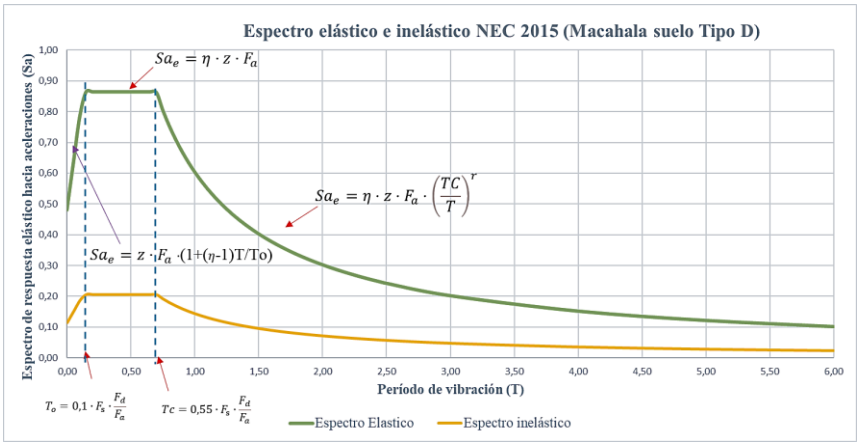
Coeficiente de perfil de suelo tipo D – Machala		
Descripción	**Símbolo**	**Valor**
Aceleración máxima en roca.	Z	0,4
Relación de amplificación espectral.	η	1,8
Coeficiente de amplificación sísmica del suelo para periodos cortos.	Fa	1,2
Factor de amplificación aplicado al espectro elástico de respuesta	Fd	1,19

Comportamiento no lineal de los suelos.	Fs	1,28
Período límite del espectro elástico de aceleraciones	To	0,127
Período límite de vibración característico del espectro elástico de aceleraciones.	Tc	0,698
Factor del espectro elástico según la ubicación geográfica del proyecto	r	1

Fuente: Norma Ecuatoriana de construcción, 2015

Los Espectros de diseño sísmico, tanto elásticos como inelásticos, definidos para la ciudad de Machala se muestran en las Ilustraciones, donde se evidencia la reducción de demanda sísmica al considerar el comportamiento inelástico de la estructura.

Ilustración 80 Espectro elástico e inelástico NEC 2015



Fuente: Autores

Mediante el análisis estructural con los espectros definidos, se determinaron los períodos fundamentales de vibración considerando tres modos por cada nivel, lo que resultó en un total de 15 modos de vibración como se presenta en la tabla 18.

Tabla 18 Periodos fundamentales y participación de masa.

Modal	***Periodo***	***UX***	***UY***	***UZ***	***RZ***
1	0,732	0,456	0,207	0	0,337
2	0,611	0,544	0,212	0	0,243
3	0,321	0,005	0,597	0	0,398
4	0,237	0,429	0,231	0	0,34

5	0,2	0,578	0,189	0	0,233
6	0,13	0,518	0,199	0	0,282
7	0,119	0,603	0,177	0	0,22
8	0,108	0,034	0,878	0	0,088
9	0,097	0,837	0,083	0	0,08
10	0,082	0,121	0,276	0	0,603
11	0,081	0,125	0,326	0	0,549
12	0,075	0,007	0,353	0	0,64
13	0,066	0,76	0,11	0	0,131
14	0,044	0,916	0,061	0	0,023
15	0,042	0,039	0,421	0	0,54

Fuente: autores

El periodo principal en la dirección X de la estructura se presenta en el modo 2, con un valor de 0.611 segundos, mientras que en la dirección Y corresponde al modo 3, con un periodo de 0.321 segundos. Por otro lado, el modo 1, que tiene el mayor periodo (0.732 segundos), muestra una participación predominante en el eje de rotación RZ, lo que indica que el comportamiento inicial de la estructura es torsional.

4.4.1.2 Supervisión del período natural de oscilación de una edificación (T)

Se verifica el período fundamental de vibración conforme a la NEC-SE-DS, la cual establece que dicho valor no debe superar en más del 30% al período estimado mediante la fórmula empírica del Método 1. Esta verificación asegura que el modelo no sobreestime la flexibilidad estructural.

$$T = C_t \cdot h_n^{\alpha}$$

C_t: Coeficiente asociado al uso o tipo estructural de la edificación

h_n: Altura total del edificio desde la base (n pisos).

Dado que la edificación tiene una altura de 13.4m, en la tabla 19 se presentan los coeficientes necesarios para calcular el período fundamental según la normativa.

Tabla 19 Coeficientes para el cálculo del periodo

Tipo de estructura	C_t	α
Pórticos especiales de concreto armado		
Conformadas por muros estructurales, diagonales rigidizadores y otros sistemas basados en muros portantes o mampostería estructural.	0,055	0,75

Fuente: autores

Teniendo como resultado:

$$T = 0{,}055 \cdot (13{,}4\ m)^{0{,}75}$$

T = 0,385 segundos

El método 2 establece que el periodo de la estructura no debe superar en más del 30% al periodo obtenido por el método 1.

T = 1,30 (0,385 segundos)

T = 0,501 segundos

Como resultado de la verificación entre el período computacional y el período teórico, se obtuvo una excedencia del 18,04% estando dentro del límite del 30 % permitido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

4.4.1.3 Desplazamientos generados por sismos.

A partir de las características estructurales actuales de la edificación destinada a servicios clínicos, se evaluaron los desplazamientos máximos provocados por los diferentes escenarios sísmicos considerados en ambas direcciones principales. Los resultados obtenidos de este análisis se presentan en las tablas 20, 21, donde se detallan los valores registrados para cada caso de carga.

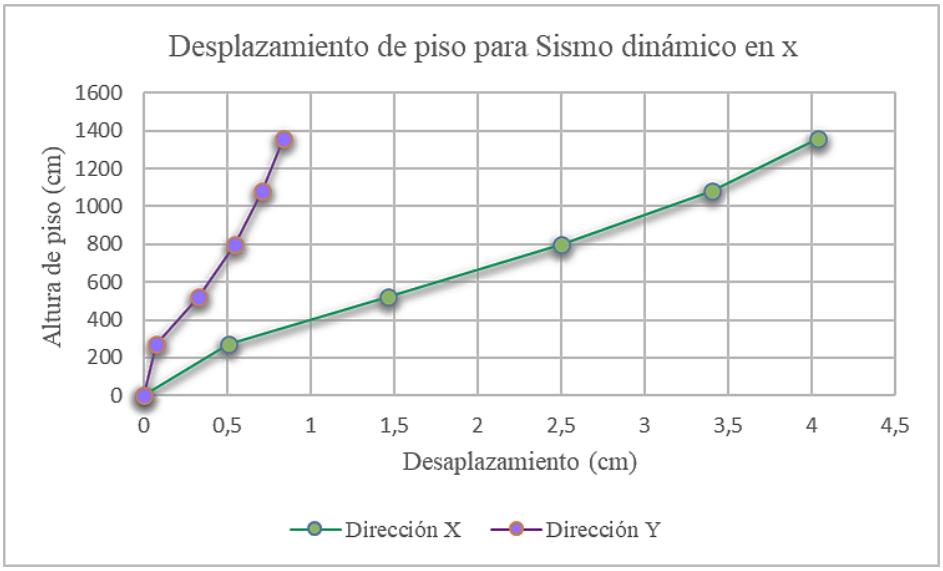
Tabla 20 Desplazamientos para el Sismo en X

Desplazamiento por piso para sismo en X

Planta	Altura	X (cm)	Y (cm)
Terraza	1360	4,3758	0,88
3ra planta	1080	3,7184	0,751
2da planta	800	2,7727	0,5773
1ra planta	520	1,63	0,3447
Mezzanine	270	0,5606	0,0817
Cimentación	20	0	0

Fuente: autores

Ilustración 81 Desplazamiento de piso para sismo dinámico en "X"



Fuente: autores

El análisis de desplazamientos muestra que la estructura presenta un comportamiento predominantemente traslacional en dirección X, con desplazamientos máximos en la terraza que alcanzan los 4,3758 cm. En contraste, los desplazamientos en dirección Y son considerablemente menores, siendo de solo 0,88 cm en el mismo nivel.

Tabla 21 Desplazamiento por piso para sismo en Y

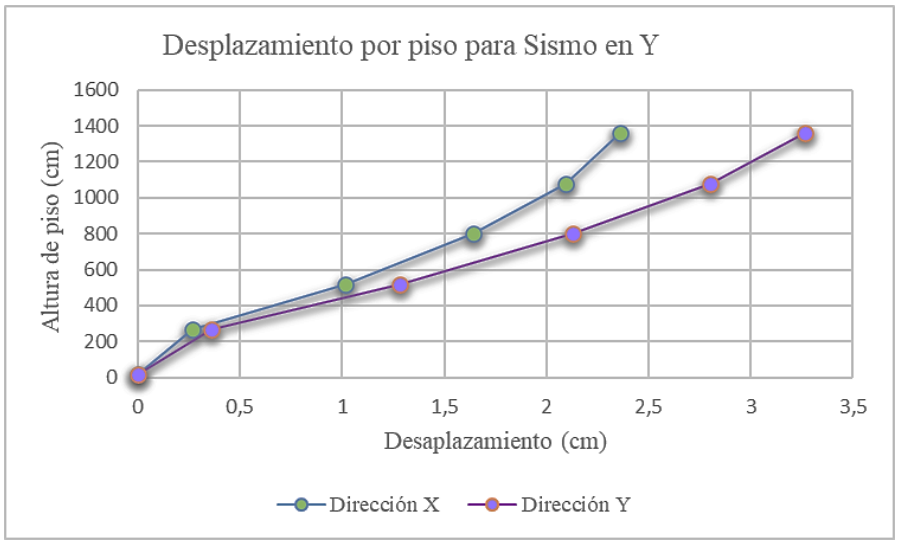
Desplazamiento por piso para sismo en Y

Planta	**Altura**	**X (cm)**	**Y (cm)**
Terraza	1360	2,3593	3,2658
3ra planta	1080	2,0947	2,803
2da planta	800	1,6413	2,1264
1ra planta	520	1,0172	1,2848

Mezzanine	270	0,2695	0,3575
Cimentación	20	0	0

Fuente: Autores

Ilustración 82 Desplazamiento de piso para sismo dinámico en "Y"



Fuente: Autores

Ante el sismo en dirección Y, la estructura muestra un desplazamiento máximo de 3.27 cm en la terraza, lo que confirma un comportamiento traslacional en ese sentido. Sin embargo, también se observan desplazamientos considerables en dirección X, con un valor de 2.36 cm, lo que evidencia un acoplamiento leve entre ambos ejes. Esta interacción indica que, aunque el movimiento principal ocurre en Y, existe cierta influencia transversal, debido a una ligera asimetría en la distribución de rigidez o masa.

4.4.1.4 Cálculo de derivas entrepiso

De acuerdo con lo establecido en la NEC-SE-DS, la deriva inelástica permitida para edificaciones construidas con sistemas estructurales de hormigón armado, acero o madera, no debe superar el valor de 0.02. Por tanto, es necesario aplicar una fórmula de conversión que permita estimar las derivas inelásticas a partir de dichos resultados.

$$\Delta_i = 0{,}75 \cdot R \cdot \Delta e$$

Las siguientes tablas 22 y 23 presentan los desplazamientos por piso ante un sismo en la dirección X y dirección Y útiles para evaluar el comportamiento lateral de la estructura.

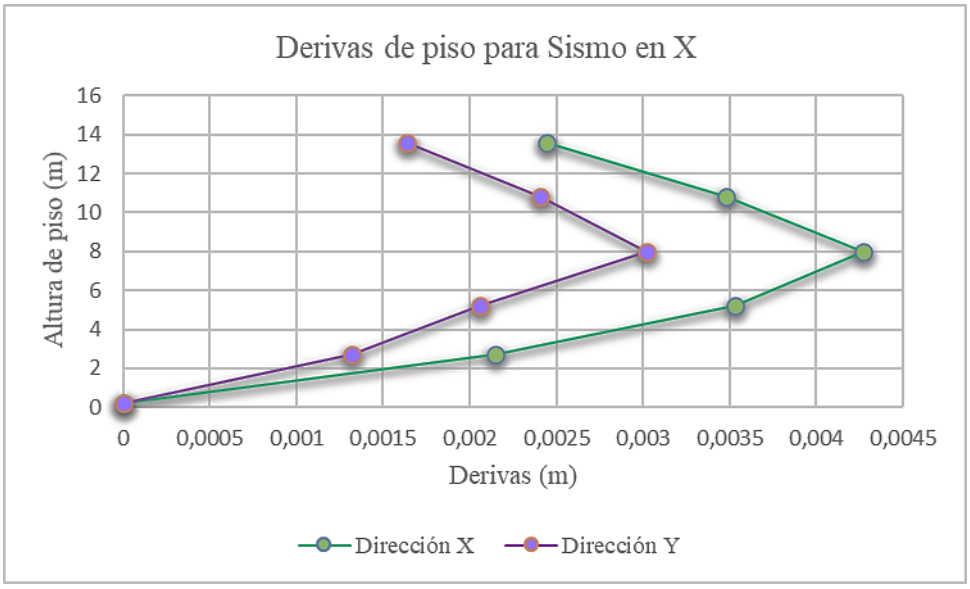
Tabla 22 Derivas por piso para sismo en X

Derivas por piso para sismo en X

Planta	Altura (m)	X (m)	Y (m)
Terraza	13,6	0,002447	0,00164
3ra planta	10,8	0,00348	0,002403
2da planta	8	0,004269	0,003018
1ra planta	5,2	0,003533	0,00206
Mezzanine	2,7	0,002148	0,001319
Cimentación	0,2	0	0

Fuente: Autores

Ilustración 83 Derivas por piso para sismo en "x"



Fuente: Autores

$$\text{Deriva Inelástica X} = 0{,}75 \cdot R \cdot Deriva\ Elastica\ X$$

$$\text{Deriva Inelástica X} = 0{,}75 \cdot 7 \cdot 0{,}004269$$

$$\text{Deriva Inelástica X} = 2{,}24\% < 2\%$$

Con base en el análisis de derivas inelásticas, y considerando como límite el valor máximo permitido del 2 % según lo estipulado por la NEC-SE-DS, se concluye que la edificación no cumple con el criterio de verificación por derivas. En particular, en la dirección X, se registró una deriva inelástica máxima del 2,24 % en la segunda planta alta, superando el umbral normativo permitido.

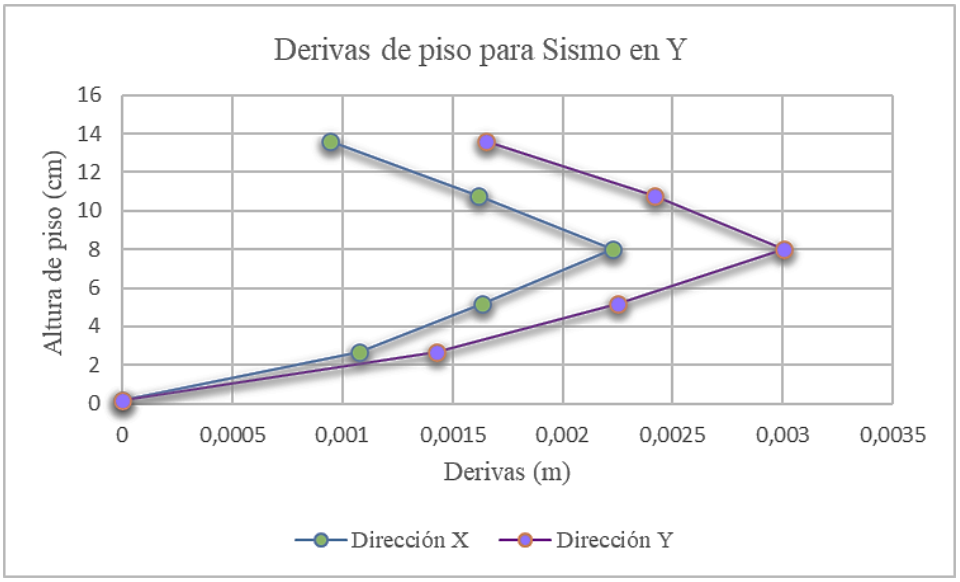
Tabla 23 Deriva por piso para sismo en Y

Deriva por piso para sismo en Y

Planta	**Altura**	**X (cm)**	**Y (cm)**
Terraza	1360	2,3593	3,2658
3ra planta	1080	2,0947	2,803
2da planta	800	1,6413	2,1264
1ra planta	520	1,0172	1,2848
Mezzanine	270	0,2695	0,3575
Cimentación	20	0	0

Fuente: Autores

Ilustración 84 Derivas por piso para sismo en "y"



Fuente: Autores

$$\text{Deriva Inelástica Y} = 0{,}75 \cdot R \cdot Deriva\ Elastica\ \text{Y}$$

$$\text{Deriva Inelástica Y} = 0{,}75 \cdot 7 \cdot 0{,}003265$$

$$\text{Deriva Inelástica Y} = 1{,}71\% < 2\%$$

Con base en el análisis de derivas inelásticas, y considerando como límite el valor máximo permitido del 2 % según lo estipulado por la NEC-SE-DS, se concluye que la edificación sí cumple con el criterio de verificación por derivas. En particular, en la dirección Y, se registró una deriva inelástica máxima del 1,71 % en la segunda planta alta.

4.5 Análisis sísmico estático.

4.5.1 Cálculo de coeficientes sísmicos C y K

Para iniciar este proceso, se emplean los periodos fundamentales correspondientes a los modos de vibración en las direcciones X y Y, previamente determinados mediante el análisis estructural. En este caso, los valores obtenidos son, Tx = 0,611 segundos y Ty = 0,321 segundos, los cuales servirán como base para los cálculos posteriores relacionados con el diseño y evaluación sísmica de la edificación.

$$Sa = n \cdot z \cdot Fa$$

Posteriormente, se emplean los coeficientes utilizados en el cálculo de la cortante basal con el fin de determinar el coeficiente sísmico C, cuyas variables y valores se presentan en la Tabla 24. El valor de este coeficiente se establece mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{Sa \cdot I}{R \cdot \phi e \cdot \phi p}$$

Tabla 24 Coeficientes para el cálculo de cortante basal

Variable	*Valor*
T	0.6
R	7
ϕe	1
ϕp	0.9
I	1.5
Sa	0.787

Fuente: Autores

Con el propósito de estimar el coeficiente K, asociado al período fundamental de vibración de la estructura, se hará uso de los valores indicados en la Tabla 25, los cuales se encuentran establecidos conforme a lo dispuesto en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Tabla 25 Coeficiente de K en función de T

Valores de T (s)	***K***
≤ 0.5	1
0.5 < T ≤ 2.5	0.75 + 0.50 T
0.5 < T ≤ 2.5	2

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

Los resultados presentados en la Tabla 26 serán utilizados como referencia para definir los patrones de carga correspondientes al análisis del sismo estático. Estos valores permitirán establecer las solicitaciones laterales necesarias para la evaluación estructural bajo este tipo de acción sísmica.

Tabla 26 Coeficientes de análisis estático

Tipo	***Dirección Y***	***Dirección X***
T (segundos)	0.321	0.611
C	0.205	0.205
K	1	1.055

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

4.5.2 Distribución de cargas laterales entre niveles

El análisis sísmico estático en edificaciones se basa en aplicar fuerzas horizontales en los centros de masa de los distintos pisos. Estas fuerzas son determinadas a partir del cálculo de la cortante basal. El procedimiento para dicha determinación se detalla a continuación.

$$Cs = 0.205$$

$$W\ reactiva = 1123.52\ Ton$$

$$Vdiseño = 0.205 * 1123.52\ Ton = 230.322\ \text{Ton}$$

Una vez obtenida la cortante basal de diseño, se procede al cálculo de las fuerzas laterales correspondientes a cada piso, utilizando para ello los datos previamente recopilados y presentados en la Tabla 27, 28 y 29.

Tabla 27 Cálculos sísmicos de la estructura

Pisos	*5*	*Unidad*
Altura	2.8	m
	2.8	m
	2.8	m
	2.5	m
	2.5	m

T	0.611	Seg
Sa elástica	0.787	G
V diseño	0.2057	Ton
W sísmico	1123.52	Ton
Cs	0.205	

Fuente: Autores

Tabla 28 Cálculo de fuerzas laterales por cada piso

Piso	***hi (entrepiso)***	***HI***	***Mass X*** **tonf-s²/m**	***WI***
Terraza	2,8	13,4	22,9574	225,212094
Planta 3	2,8	10,6	25,38338	249,0109578
Planta 2	2,8	7,8	25,64129	251,5410549
Planta 1	2,5	5	25,64181	251,5461561
Mezanine	2,5	2,5	14,90448	146,2129488

Fuente: Autores

Tabla 29 Fuerzas laterales para el sentido X y sentido Y

WI*HI*kx	***aix***	***fix***	***WI*HI*Ky***	***aiY***	***fiY***
3485,385526	0,333426765	77,0368537	3017,84206	0,326512938	75,4394429
3009,04581	0,287858087	66,5084021	2639,51615	0,285580278	65,9821237
2198,946844	0,210360583	48,6029293	1962,02023	0,212279164	49,0462092
1375,246425	0,131561907	30,3968261	1257,73078	0,136079147	31,4405153
384,6019795	0,036792657	8,50078885	365,532372	0,039548474	9,13750885
10453,22658			9242,64159		

Fuente: Autores

4.5.3 Cargas verticales por piso

Para determinar la carga vertical total por piso, se realizó un corte en el modelo estructural, lo que permitió identificar y cuantificar las cargas gravitacionales en cada nivel como se visualiza en la tabla 30.

Tabla 30 Fuerza vertical por piso

Nivel	***P(ton)***
Terraza	301,3842
Planta 3	595,6864
Planta 2	892,78
Planta 1	1187,0859
Mezanine	1355,1476

Fuente: autores

Se observa que el mezanine concentra la mayor carga vertical (1355,15 ton), seguido de la planta 1 (1187,09 ton), lo cual es coherente con la acumulación de cargas desde los niveles superiores. A medida que se asciende, las cargas disminuyen, siendo la terraza el nivel con menor carga (301,38 ton). Esta distribución es consistente con el comportamiento esperado de estructuras gravitacionales, en donde las cargas verticales se van sumando hacia abajo.

4.5.4 Cortantes por piso

De acuerdo con lo establecido en la NEC-SE-DS, se debe realizar un ajuste al cortante sísmico basal cuando no se cumple con la condición indicada por la normativa.

$$\frac{sismo\ dinámico}{sismo\ estático} \geq 0{,}85\ \textit{(estructuras irregulares)}$$

Si se determina la necesidad de realizar un ajuste, se debe calcular el 85 % del cortante requerido y dividirlo entre la relación entre la fuerza sísmica obtenida del análisis dinámico y la del análisis estático. El resultado de esta operación debe ser multiplicado por la gravedad para obtener el valor ajustado. (ver tabla 31)

Tabla 31 Cortantes

Sismo	***Eje X (Ton)***	***Eje Y (Ton)***
Estático	231,0458	231,0458
Dinámico	135,6765	112,2929
Relación D/E	0,587	0,486

Fuente: Autores

$$Ajuste\ en\ X = \frac{0{,}85}{0{,}587 * 9{,}81} = 14{,}199$$

$$Ajuste\ en\ Y = \frac{0{,}85}{0{,}486 * 9{,}81} = 17{,}157$$

Debido a que las proporciones evaluadas no cumplieron con el mínimo del 85 % establecido, se realizó el ajuste correspondiente. Para ello, se recalcularon los valores

considerando la gravedad en cada análisis, obteniéndose resultados actualizados que se muestran en la Tabla 32

Tabla 32 Reajuste de cortante

Sismo	*Eje X (Ton)*	*Eje Y (Ton)*
Estático	231,0458	231,0458
Dinámico	196,4554	196,4554
Relación D/E	0,85	0,85

Fuente: Autores

Se analizaron las cortantes por piso, observándose que los valores obtenidos varían según la dirección del eje considerado en el análisis estructural. (ver tabla 33 y 34)

Tabla 33 Cortante por piso en el eje X

Nivel	*Vx(ton)*
Terraza	77,0369
Planta 3	143,5453
Planta 2	192,1482
Planta 1	222,5451
Mezanine	231,0458

Fuente: Autores

Tabla 34 Cortante por piso en el eje Y

Nivel	*Vy(ton)*
Terraza	75,4395
Planta 3	141,4216
Planta 2	190,4678
Planta 1	221,9083
Mezanine	231,0458

Fuente: autores

El cortante más alto se presenta en el mezanine, con 231,05 toneladas, y va disminuyendo a medida que se asciende.

4.5.5 Índices de estabilidad

Se determinaron los índices de estabilidad en la dirección X, verificando que los valores obtenidos se mantuvieran por debajo del límite de 0.30 establecido por la normativa. (ver tabla 35 y 36)

Tabla 35 Cálculo de índices de estabilidad por piso en el eje X

Nivel	*P (ton)*	*Vx(ton)*	*Hi (m)*	*Desplazamiento (m)*	*Q (índice de estabilidad)*
Terraza	301,3842	77,0369	2,8	0,043758	0,061139392
Planta 3	595,6864	143,5453	2,8	0,037184	0,05510954
Planta 2	892,78	192,1482	2,8	0,027727	0,046010079
Planta 1	1187,0859	222,5451	2,5	0,0163	0,034778569
Mezanine	1355,1476	231,0458	2,5	0,005606	0,013152297

Fuente: autores

Tabla 36 Cálculo de índices de estabilidad por piso en el eje Y

Nivel	*P (ton)*	*Vy (ton)*	*Hi (m)*	*Desplazamiento (m)*	*Q (índice de estabilidad)*
Terraza	301,3842	75,4395	2,8	0,032658	0,046596493
Planta 3	595,6864	141,4216	2,8	0,02803	0,042166447
Planta 2	892,78	190,4678	2,8	0,021264	0,035596707
Planta 1	1187,0859	221,9083	2,5	0,012848	0,02749186
Mezanine	1355,1476	231,0458	2,5	0,003575	0,008387346

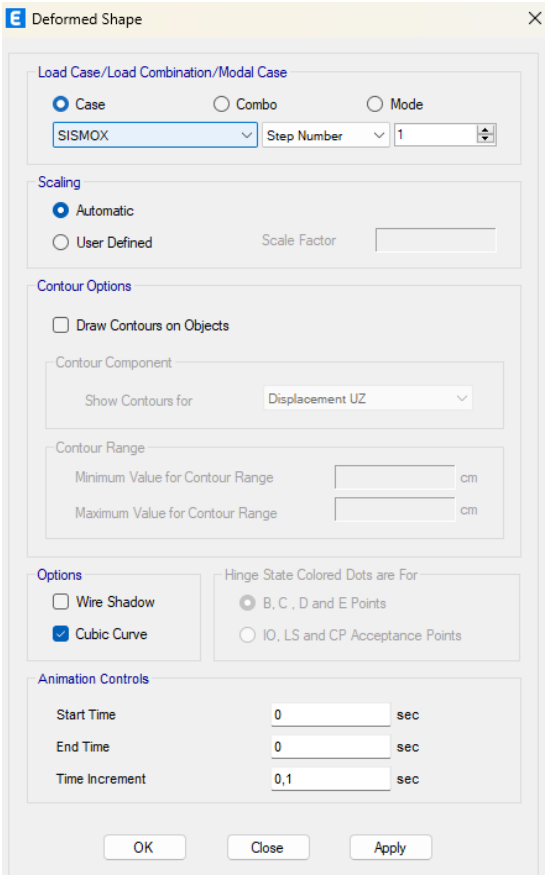
Fuente: autores

Se observa que el valor más alto corresponde a la terraza en el sentido “x” y en el sentido “y”, con un Q de 0.0611 y Q de 0,0465, y va disminuyendo progresivamente hacia la base. Esto se debe a que, a pesar de que los pisos inferiores soportan mayores cargas verticales y fuerzas cortantes, sus desplazamientos son menores, lo que reduce su contribución al efecto P-Delta. Todos los valores obtenidos se mantuvieran por debajo del límite de 0.30 establecido por la normativa, lo que indica que la estructura no es vulnerable a inestabilidad.

4.5.6 Distorsiones de piso

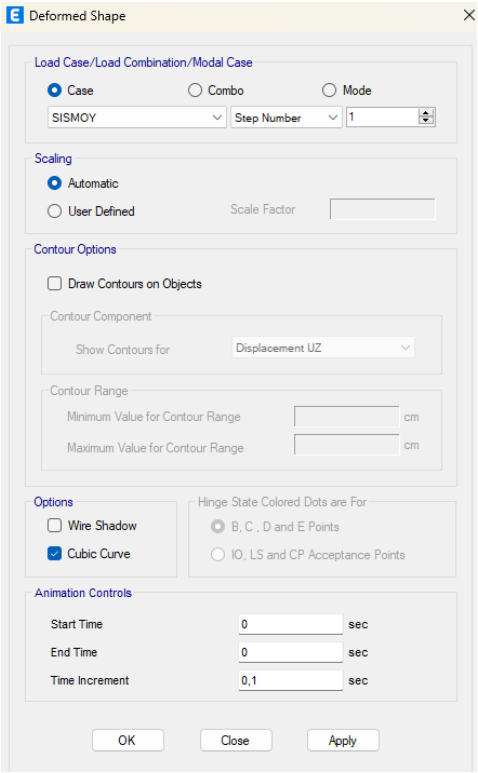
Se establece como criterio que el promedio de los desplazamientos entre pisos debe superar al del último nivel, con el fin de evitar irregularidades estructurales. Para ello, se consideran los casos de carga sísmica en las direcciones X y Y, los cuales permiten obtener las deformaciones máximas requeridas para el análisis.

Ilustración 85 Distorsión de piso en X



Fuente: Autores

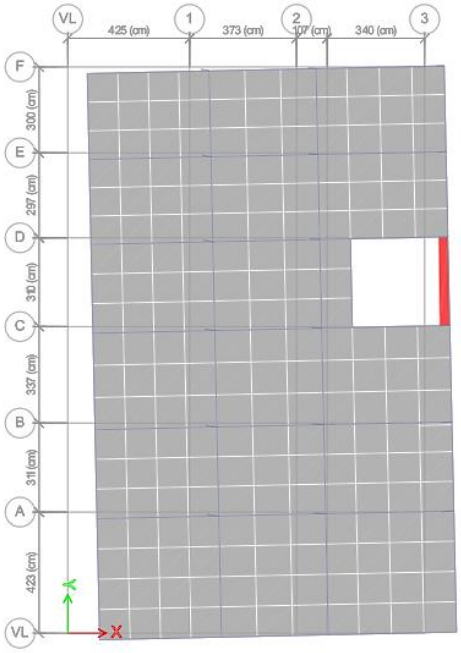
Ilustración 86 Distorsión de piso en Y



Fuente: Autores

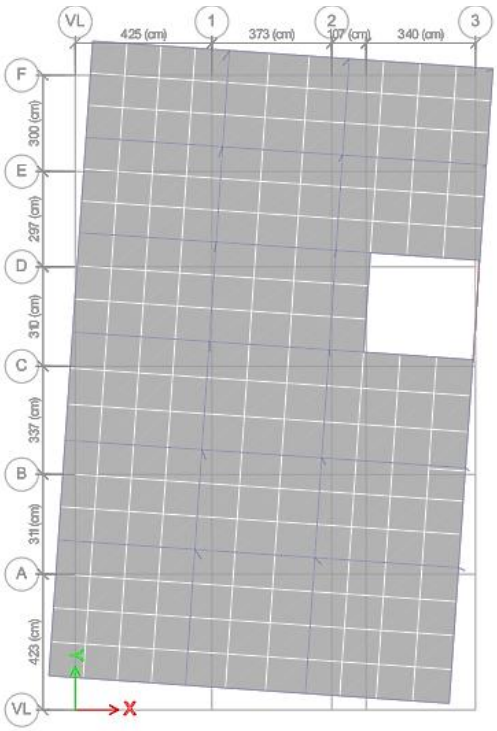
Esto permite obtener la vista en planta de la estructura considerando los efectos del sismo estático.

Ilustración 87 Vista en planta de la estructura bajo la acción del sismo en dirección X.



Fuente: Autores

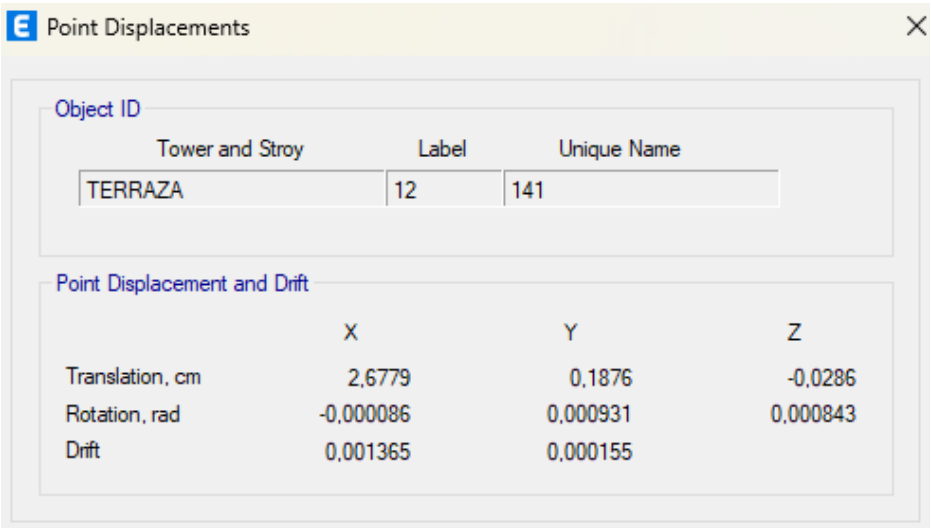
Ilustración 88 Vista en planta de la estructura bajo la acción del sismo en dirección Y.



Fuente: Autores

Desplazamiento en dos puntos escogidos donde más se deforma.

Ilustración 89 Desplazamientos generados por el sismo en dirección X – primer punto de control.



Point Displacements

Object ID

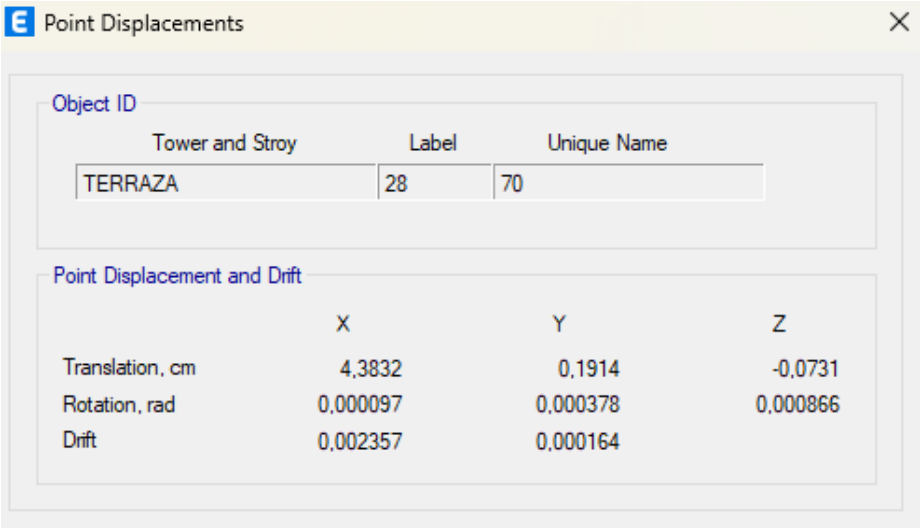
Tower and Stroy	Label	Unique Name
TERRAZA	12	141

Point Displacement and Drift

	X	Y	Z
Translation, cm	2,6779	0,1876	-0,0286
Rotation, rad	-0,000086	0,000931	0,000843
Drift	0,001365	0,000155	

Fuente: Autores

Ilustración 90 Desplazamientos generados por el sismo en dirección X – Segundo punto de control



Point Displacements

Object ID

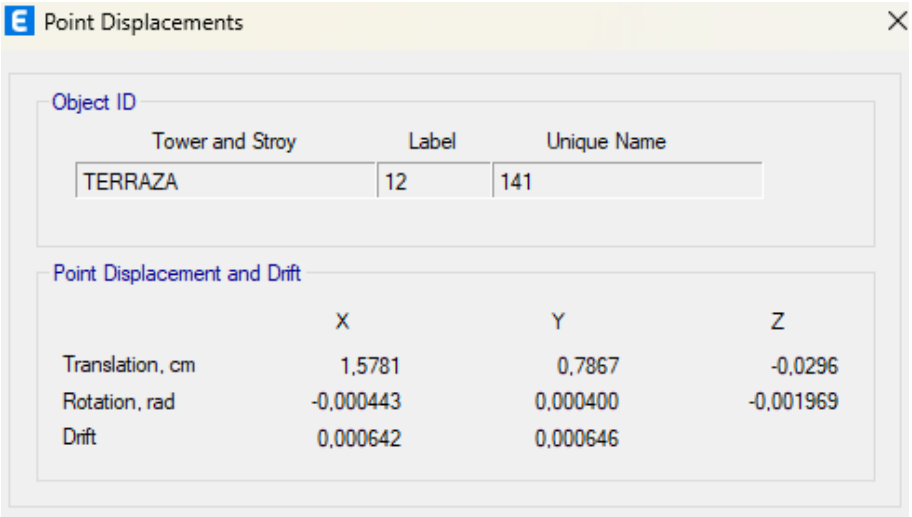
Tower and Stroy	Label	Unique Name
TERRAZA	28	70

Point Displacement and Drift

	X	Y	Z
Translation, cm	4,3832	0,1914	-0,0731
Rotation, rad	0,000097	0,000378	0,000866
Drift	0,002357	0,000164	

Fuente: Autores

Ilustración 91 Desplazamientos generados por el sismo en dirección Y – Primer punto de control.



Point Displacements

Object ID

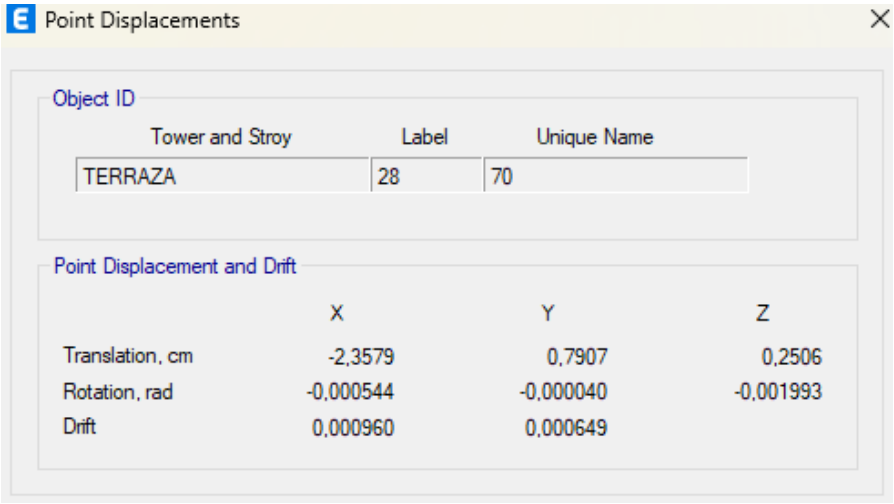
Tower and Stroy	Label	Unique Name
TERRAZA	12	141

Point Displacement and Drift

	X	Y	Z
Translation, cm	1,5781	0,7867	-0,0296
Rotation, rad	-0,000443	0,000400	-0,001969
Drift	0,000642	0,000646	

Fuente: Autores

Ilustración 92 Desplazamientos generados por el sismo en dirección Y – Segundo punto de control



Point Displacements

Object ID

Tower and Stroy	Label	Unique Name
TERRAZA	28	70

Point Displacement and Drift

	X	Y	Z
Translation, cm	-2,3579	0,7907	0,2506
Rotation, rad	-0,000544	-0,000040	-0,001993
Drift	0,000960	0,000649	

Fuente: Autores

Una vez definidos los valores de entrada, se procede con el cálculo y la verificación de la distorsión entre pisos.

$$Distorsión \ = \left[\frac{1{,}2 * (Desplazamiento\ 1 + Desplazamiento\ 2)}{2}\right]$$

$$Distorsión \ = \left[\frac{1{,}2 * (2{,}6779 + 4{,}3832)}{2}\right]$$

$$Distorsión\ en\ X \ = \ 4{,}237\ cm$$

$$4{,}237\ \text{cm} < 4{,}3832\text{cm}$$

No cumple con el criterio establecido, presenta distorsión.

$$Distorsión \ = \left[\frac{1{,}2 * (Desplazamiento\ 1 + Desplazamiento\ 2)}{2}\right]$$

$$Distorsión \ = \left[\frac{1{,}2 * (0{,}7867 + 0{,}7907)}{2}\right]$$

$$Distorsión\ en\ Y \ = \ 0{,}94644\ cm$$

$$0{,}94644\ cm > 0{,}7907\ cm$$

Cumple, no presenta distorsión de piso.

Tabla 37 Resultados de la verificación de distorsión entre pisos.

Distorsiones de piso		
Dirección X		
Desplazamiento 1	2,6779	Torsión
Desplazamiento 2	4,3832	
	4,23666	No Cumple, Presenta Distorsión
Dirección Y		
Desplazamiento 1	0,7867	Torsión
Desplazamiento 2	0,7907	
	0,94644	Cumple

Fuente: Autores

4.5.7 Deflexiones de piso

Para seleccionar la viga crítica, se identifica aquella que presenta el mayor momento flector, mediante la revisión de los datos estructurales. A continuación, se muestra la tabla con los momentos máximos correspondientes a los diferentes elementos horizontales.

Tabla 38 Momentos máximos de las vigas.

Piso	***Viga***	***Numero***	***Caso***	***V2***	***T***	***M3***
3TA. P. ALTA	B34	216	Combo de servicio	8,219	487,056	-2887,7
2DA. P.ALTA	B34	191	Combo de servicio	8,2117	486,514	-2882
1RA.P.ALTA	B34	97	Combo de servicio	8,7736	492,049	-2840,4
3TA. P. ALTA	B34	216	Combo de servicio	8,1525	487,056	-2757,4
2DA. P.ALTA	B34	191	Combo de servicio	8,1452	486,514	-2751,8
2DA. P.ALTA	B33	190	Combo de servicio	7,9689	-560,81	-2715,2
3TA. P. ALTA	B33	215	Combo de servicio	7,9384	-565,9	-2714,4
1RA.P.ALTA	B34	97	Combo de servicio	8,7079	492,049	-2703
1RA.P.ALTA	B33	96	Combo de servicio	8,5525	-556,52	-2691,9
3TA. P. ALTA	B34	216	Combo de servicio	10,1249	476,825	-2612,8
2DA. P.ALTA	B34	191	Combo de servicio	10,115	476,294	-2607,3
2DA. P.ALTA	B33	190	Combo de servicio	7,902	-560,81	-2588,2

3TA. P. ALTA	B33	215	Combo de servicio	7,8716	-565,9	-2587,9
1RA.P.ALTA	B34	97	Combo de servicio	10,0597	481,569	-2559,6
1RA.P.ALTA	B33	96	Combo de servicio	8,4864	-556,52	-2557,3
3TA. P. ALTA	B34	216	Combo de servicio	10,0919	476,825	-2532,3
2DA. P.ALTA	B34	191	Combo de servicio	10,0821	476,294	-2526,9

Fuente: Autores

Del análisis se verifica que la viga con el mayor momento flector corresponde al elemento B20, por lo tanto, se espera que este sea el que presente la mayor deflexión en la estructura.

$$M_{máx} = 2887{,}7T * cm$$

4.5.8 Verificación de la viga con mayor deflexión

Se verifica que la viga presenta una deflexión de 4,1058 cm. Este valor debe ser comparado con la deflexión máxima admisible para una viga de hormigón armado con una longitud de 423 cm, la cual se determina según los criterios establecidos por la normativa vigente.

$$\frac{L}{360}$$

Por lo tanto, el valor de máxima deflexión es:

$$\frac{423}{360}$$

Deflexión máxima = 1,175 cm

Para que la estructura cumpla con la verificación de deflexiones, la viga analizada debe presentar una deflexión inferior al valor máximo permitido por la normativa.

4,1058 cm < 1,175 cm

Por lo tanto, no cumple.

4.5.9 Control de torsión

El control de torsión se lleva a cabo a través del análisis del parámetro Rz, considerando únicamente los ejes X y Y, dado que en estas direcciones se concentra el mayor efecto torsional sobre la estructura. A continuación, se presenta la tabla con los distintos valores obtenidos de R.

Tabla 39 Traslación de la estructura

Tipos	*Rz*
Modo 2	0,2039
Modo 3	0,2913

Fuente: Autores

Al multiplicar estos valores por 100, se expresan en forma de porcentaje. Con ello, se procede a comprobar si cumplen con los límites establecidos por la normativa correspondiente.

Traslación en X = 0,2039*100 = 20,39% <10% No cumple.

Traslación en Y = 0,2913*100 = 29,13% < 10% No cumple.

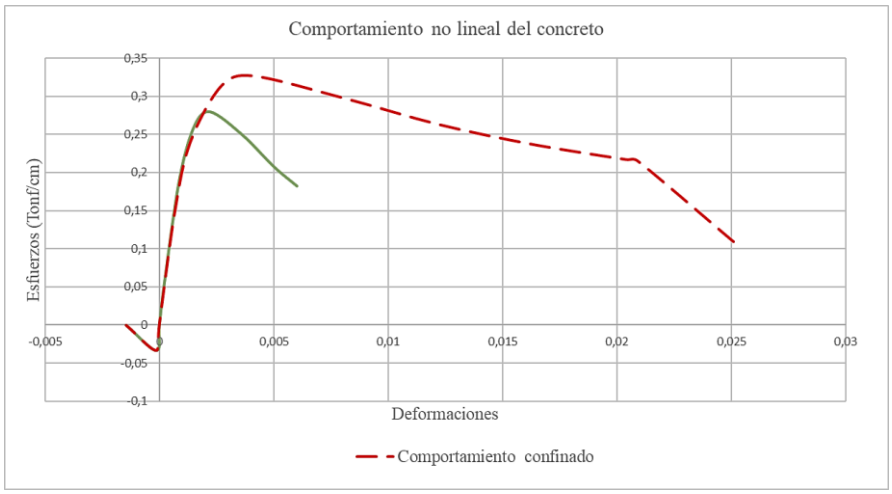
Ambos valores superan el límite del 10 % establecido por la NEC-2015 para estructuras con comportamiento principalmente traslacional, lo que indica que la edificación presenta un comportamiento torsional significativo en ambos ejes.

4.6 Resultados del análisis estático no lineal

4.6.1 Comportamiento no lineal del concreto

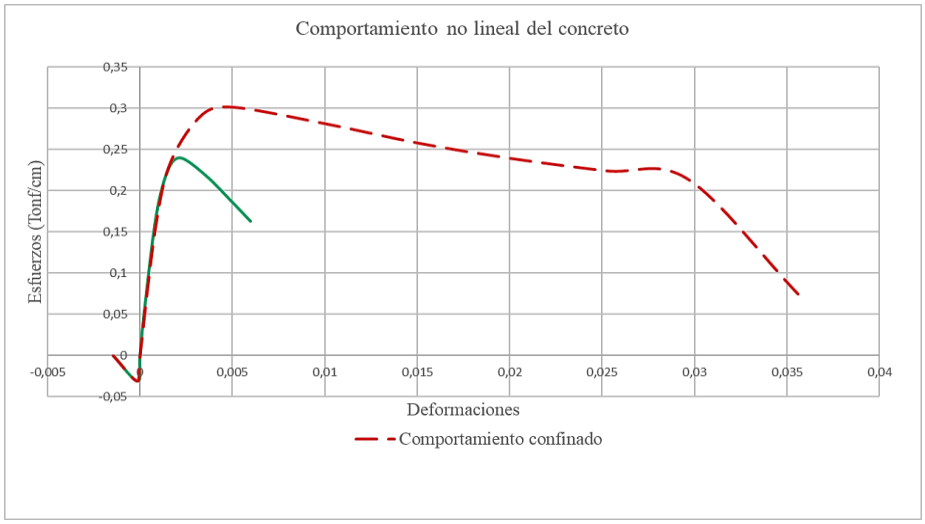
Como resultado del análisis estructural realizado, se evidencia que el concreto no presenta un comportamiento estrictamente lineal ante cargas de gran magnitud. Ver la ilustración 93 y 94

Ilustración 93 Comportamiento no lineal de la columna de concreto de 50x50, Fc 280kg/cm2



Fuente: Autores

Ilustración 94 Comportamiento no lineal de la columna de concreto de 35x35, Fc 240 kg/cm2

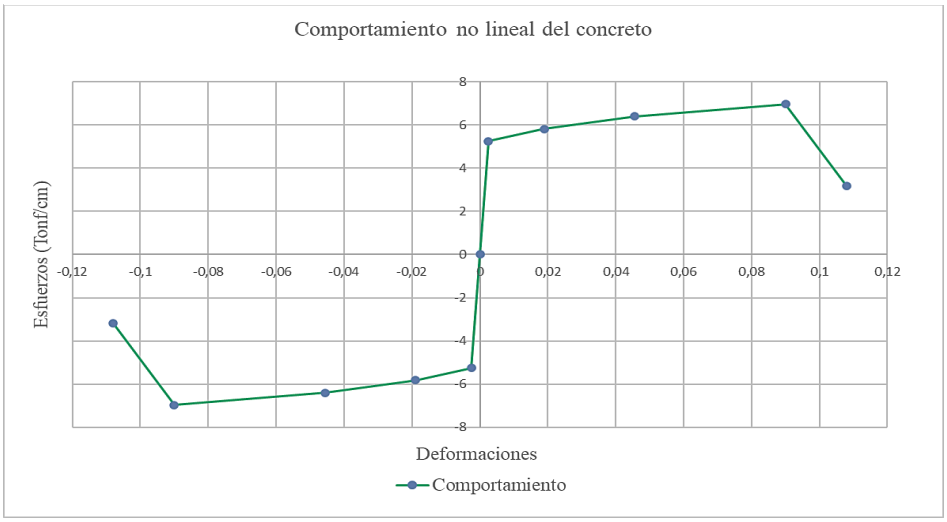


Fuente: Autores

Las curvas muestran cómo el concreto responde inicialmente de forma lineal, alcanzando su resistencia máxima, y luego pierde capacidad a medida que aumentan las deformaciones. La línea discontinua refleja el efecto del confinamiento, que mejora la ductilidad del material, permitiendo que soporte mayores deformaciones sin fallar bruscamente.

Para el fy, su comportamiento con el concreto. Ver la ilustración 95.

Ilustración 95 Comportamiento no lineal del acero Fy 4200



Fuente: Autores

En la gráfica se observa que, inicialmente, el acero responde de forma lineal elástica, donde los esfuerzos aumentan proporcionalmente con la deformación. Al alcanzar el límite de fluencia, el material entra en una etapa plástica, donde puede seguir deformándose sin un incremento significativo en el esfuerzo. Esta zona plana de la curva es clave para la disipación de energía durante eventos sísmicos. Posteriormente, la curva presenta un leve endurecimiento por deformación, hasta llegar a una deformación máxima, seguida por una pérdida de resistencia que indica el inicio del deterioro del material.

4.6.2 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño

Las siguientes ilustraciones comparan el espectro de demanda sísmica con la curva de capacidad estructural en coordenadas espectrales, resultado del análisis estático no lineal (pushover). Estas imágenes corresponden a los diferentes niveles de amenaza sísmica evaluados (frecuente, ocasional, raro y muy raro) y están enfocadas en la dirección X de la estructura, lo que permite visualizar claramente el punto de desempeño alcanzado en cada escenario.

Ilustración 96 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 72 años

Fuente: Autores

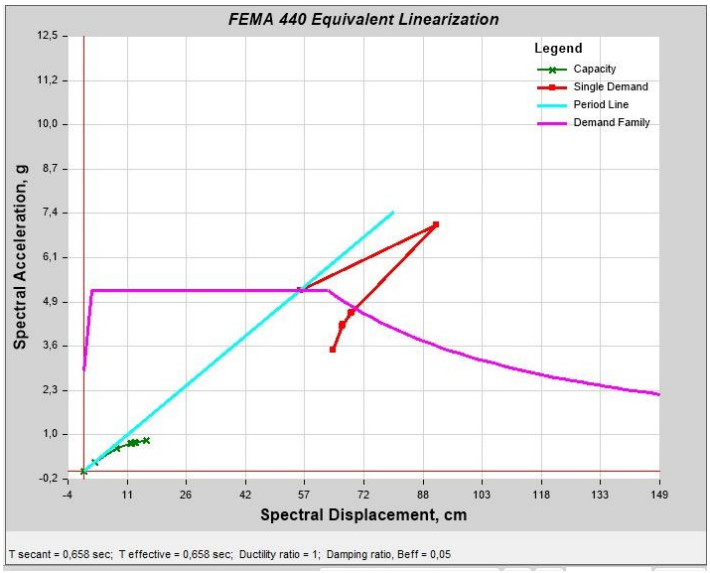
La estructura se mantiene en el rango elástico porque la ductilidad en el punto de desempeño es igual a 1.0, indicando que no se supera el límite de fluencia. No hay daño ni deformaciones permanentes, y el amortiguamiento del 5 % respalda un comportamiento típicamente elástico según FEMA 440.

Ilustración 97 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 225 años

Fuente: Autores

La estructura alcanza su punto de desempeño sin superar el umbral de fluencia, con una ductilidad igual a 1 y un amortiguamiento efectivo del 5 %. Esto confirma que el edificio responde dentro del rango elástico, sin presentar daños ni deformaciones permanentes, lo que lo clasifica como habitable para este nivel de amenaza sísmica.

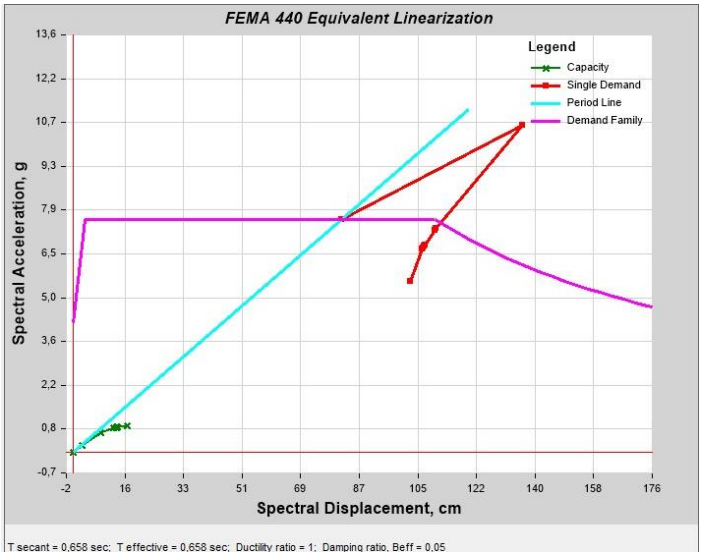
Ilustración 98 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 475 años



Fuente: Autores

El punto de desempeño se alcanza en el rango inelástico, lo que implica que la estructura ha superado su límite elástico y comienza a absorber energía a través de deformaciones permanentes.

Ilustración 99 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "x" para un sismo de 2500 años

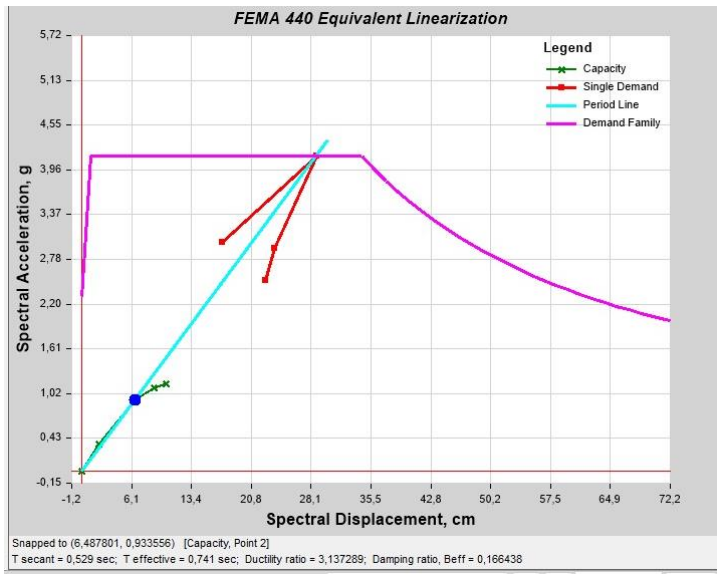


Fuente: Autores

El punto de desempeño supera ampliamente el rango elástico y entra en una zona de comportamiento no lineal profundo. La estructura no tiene suficiente capacidad de deformación para resistir esta demanda, por lo que se considera no habitable y con probabilidad de colapso parcial o total.

Las siguientes ilustraciones comparan el espectro de demanda sísmica con la curva de capacidad estructural en coordenadas espectrales, resultado del análisis estático no lineal (Pushover). Estas imágenes corresponden a los diferentes niveles de amenaza sísmica evaluados (frecuente, ocasional, raro y muy raro) y están enfocadas en la dirección Y de la estructura, lo que permite visualizar claramente el punto de desempeño alcanzado en cada escenario.

Ilustración 100 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 72 años



Fuente: Autores

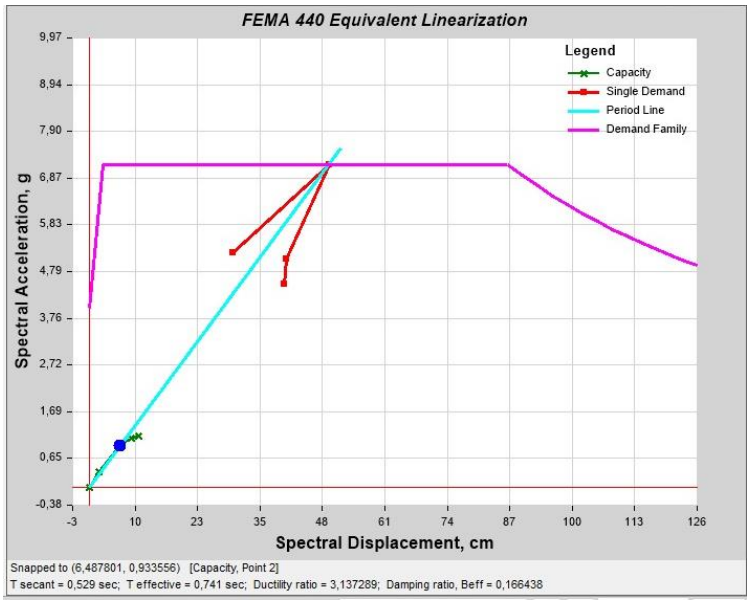
El análisis espectral indica que la estructura en dirección Y presenta un comportamiento inelástico moderado, con una ductilidad de 3.14. Aunque supera el límite elástico, mantiene una respuesta estable y segura. El punto de desempeño se ubica dentro de la curva de capacidad y el amortiguamiento efectivo del 16.6 % contribuye a una adecuada disipación de energía.

Ilustración 101 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 225 años

Fuente: Autores

La estructura muestra un comportamiento inelástico moderado, con una ductilidad de 3.13. El punto de desempeño se ubica aún dentro de la curva de capacidad, lo que indica que, a pesar de la exigencia sísmica, la estructura conserva su integridad y puede disipar energía sin fallas significativas. La respuesta sigue siendo aceptable y controlada.

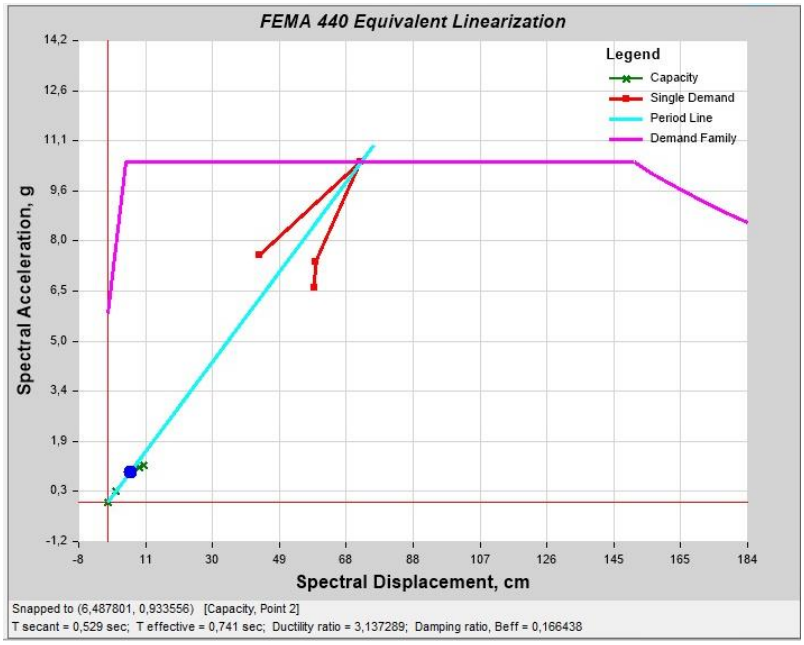
Ilustración 102 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 475 años



Fuente: Autores

La estructura opera en un régimen inelástico moderado, con una ductilidad de 3.13, lo que indica que ha superado la fluencia sin comprometer su estabilidad. El punto de desempeño se mantiene dentro de la curva de capacidad, demostrando que la demanda sísmica puede ser absorbida sin falla estructural.

Ilustración 103 Espectro demanda/capacidad y punto de desempeño en sentido "y" para un sismo de 2500 años



Fuente: Autores

La estructura presenta un comportamiento inelástico con una ductilidad de 3.13. El punto de desempeño permanece dentro de la curva de capacidad, lo que indica que la demanda sísmica es cubierta por la capacidad resistente. El amortiguamiento efectivo de 16.6 % ayuda a reducir la respuesta sísmica, permitiendo que la estructura conserve estabilidad y control de deformaciones pese a la severidad del evento.

4.6.3 Curva de capacidad

La curva Pushover representa la relación entre el desplazamiento experimentado por el edificio y la cortante que actúa sobre él, evidenciando el comportamiento estructural tanto en la etapa elástica como en la inelástica. Ver la ilustración 104 y 105

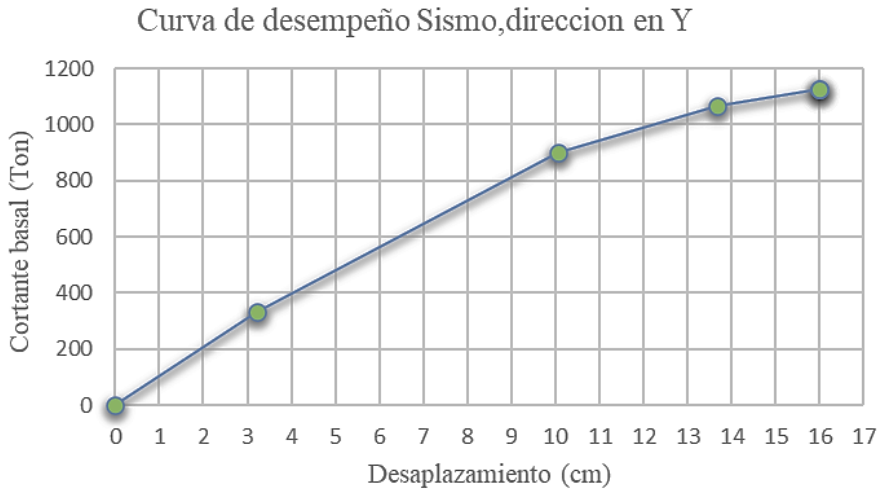
Ilustración 104 Curva de desempeño sísmico, dirección X

Fuente: Autores

La etapa inicial de la curva muestra un comportamiento lineal entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento estructural, lo que indica que la estructura responde de manera elástica, es decir, sin daños ni deformaciones permanentes. Esta etapa se extiende hasta aproximadamente los 10 cm de desplazamiento.

A partir de ese punto, la pendiente de la curva comienza a disminuir, marcando el inicio del comportamiento no lineal. El cortante basal máximo alcanza un valor cercano a las 875,08 toneladas con un desplazamiento de aproximadamente 18,35 cm, Este punto representa la capacidad máxima de la estructura.

Ilustración 105 Curva de desempeño sísmico, dirección Y



Fuente: Autores

4.6.4 Curva Capacidad

En la tabla 40 junto con la siguiente ilustración se presentan los niveles de desempeño estructural en dirección X, expresados en términos de desplazamiento, junto con las demandas sísmicas asociadas a distintos periodos de retorno.

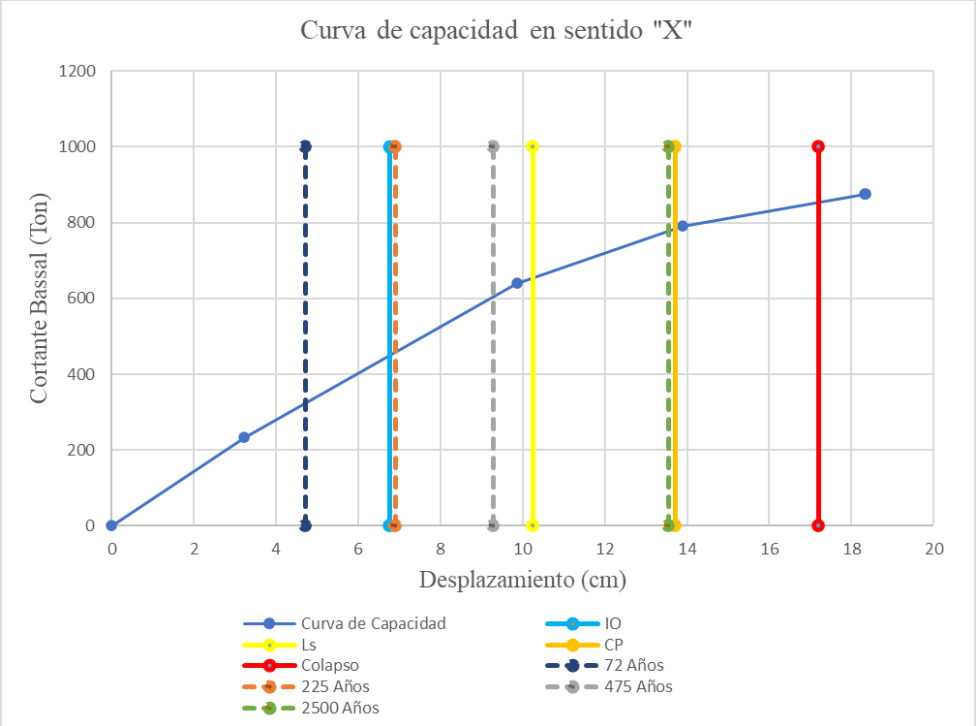
Tabla 40 Niveles de desempeño estructural en sentido X

Niveles de desempeño estructural - Desplazamiento

IO	Ls	CP	Colapso	72 AÑOS	225 AÑOS	475 AÑOS	2500 AÑOS
6,7749	10,2474	13,7199	17,1924	4,7176	6,8972	9,2924	13,5514

Fuente: Autores

Ilustración 106 Curva de capacidad en sentido X



Fuente: Autores

Ductilidad Máxima

Datos:

DY: Desplazamiento de fluencia (6,7749 cm).

DU: Desplazamiento último o máximo (18,35 cm).

$$\frac{DY}{DU} = 2{,}708527063$$

Tabla 41 Ductilidad en sentido "X"

Sismos	*Ductilidad de demanda*	*Ductilidad de reserva*	
72 años	0,696335001	2,012192062	Edificio Habitable
225 años	1,018051927	1,690475136	Edificio Habitable
475 años	1,371592201	1,336934863	No es habitable
2500 años	2,000236166	0,708290897	No es habitable

Fuente: Autores

En dirección X, la estructura alcanza los desplazamientos exigidos por los sismos de 475 y 2500 años, pero no dispone de la ductilidad suficiente para considerarse habitable. Para el evento de 475 años, la ductilidad de reserva es apenas 1.33 frente a una demanda de 1.37, sin margen de seguridad. En el caso de 2500 años, la demanda (2.00) supera ampliamente la reserva (0.71), lo que indica riesgo de comportamiento inestable o colapso local.

Cortante de la estructura

Tabla 42 Cortante de la estructura en sentido "X"

V diseño	
231,1247886	Ton
V elástico	
970,7240448	Ton
V máximo	
875,0778	
Sobre resistencia	
3,786170256	Mínimo 3 para estructuras de hormigón
Factor de reducción R	
4,199999708	

Fuente: Autores

Aunque la estructura en dirección X presenta un buen índice de sobre resistencia (3.78), superior al mínimo exigido por la norma, no alcanza la ductilidad necesaria para eventos sísmicos de 475 y 2500 años. Esto significa que, si bien puede resistir grandes fuerzas, su capacidad de deformación es limitada, lo que la vuelve vulnerable a comportamientos inestables ante demandas sísmicas extremas.

En la tabla 43 junto con la siguiente ilustración se presentan los niveles de desempeño estructural en dirección X, expresados en términos de desplazamiento, junto con las demandas sísmicas asociadas a distintos periodos de retorno.

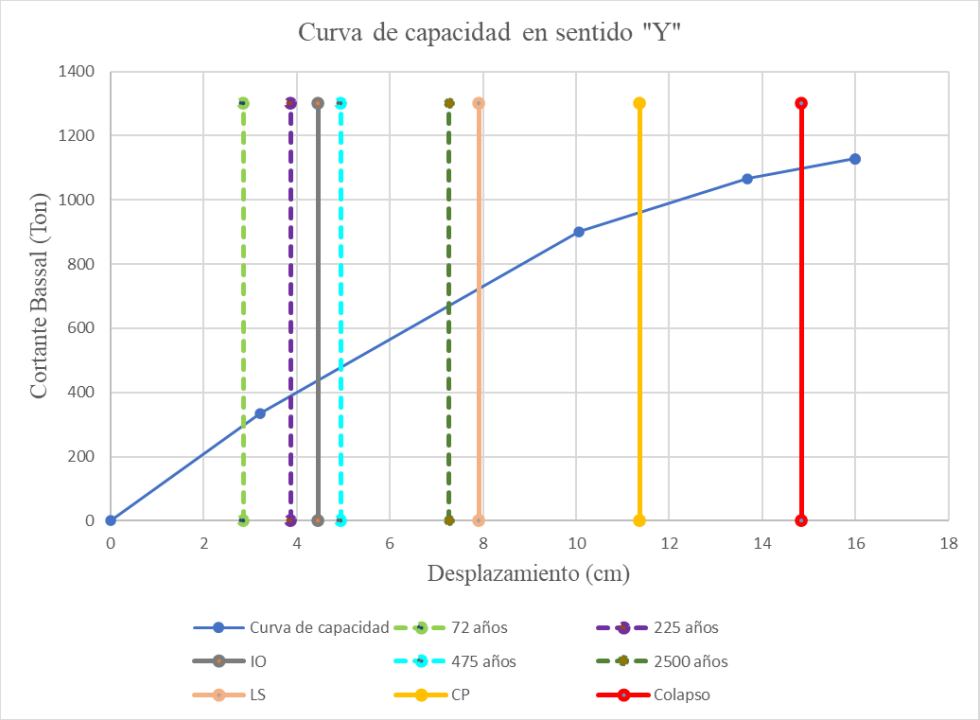
Tabla 43 Niveles de desempeño estructural en sentido "Y"

Niveles de desempeño estructural - Desplazamiento

IO	Ls	CP	Colapso	72 AÑOS	225 AÑOS	475 AÑOS	2500 AÑOS
4,4598	7,9191	11,3784	14,8377	2,8635	3,8757	4,958	7,2688

Fuente: Autores

Ilustración 107 Curva de capacidad en sentido Y



Fuente: Autores

Se observa que la curva de capacidad atraviesa progresivamente los tres primeros niveles y se aproxima al umbral de colapso, sin rebasarlo.

Ductilidad Máxima

Datos:

DY: Desplazamiento de fluencia (4,4598cm).

DU: Desplazamiento último o máximo (15,9908cm).

$$\frac{DY}{DU} = 3{,}585541953$$

Tabla 44 Ductilidad en sentido “Y”

Sismos	*Ductilidad de demanda*	*Ductilidad de reserva*	
72 años	0,642069151	2,943472801	Edificio Habitable
225 años	0,869030001	2,716511951	Edificio Habitable
475 años	1,111709045	2,473832907	Edificio Habitable
2500 años	1,629848872	1,95569308	Edificio Habitable

Fuente: Autores

En dirección Y, la estructura presenta una ductilidad máxima de 3.59, superior a la demanda sísmica en todos los niveles de amenaza. Incluso para el sismo de 2500 años, cuya ductilidad de demanda es 1.63, la estructura mantiene una reserva adecuada de capacidad, lo que permite mantener un desempeño estructural seguro y predecible. Por tanto, se clasifica como habitable frente a todos los escenarios sísmicos evaluados, evidenciando una adecuada capacidad de deformación y disipación de energía.

Tabla 45 Cortante de la estructura en sentido "Y"

V diseño	
231,1247886	Ton
V elástico	
970,7240448	Ton
V máximo	
1127,6288	Ton
Sobre resistencia	
4,878874338	Mínimo 3 para estructuras de hormigón
Factor de reducción R	
4,199999708	

Fuente: Autores

Se obtiene para el sentido “Y” En dirección Y, la estructura presenta una ductilidad máxima de 3.59, superior a la demanda sísmica en todos los niveles de amenaza. Incluso para el sismo de 2500 años, cuya ductilidad de demanda es 1.63, La estructura posee

margen de seguridad, asegurando estabilidad. Por tanto, se clasifica como habitable frente a todos los escenarios sísmicos evaluados, evidenciando una adecuada capacidad de deformación y disipación de energía.

Se evidencia que la estructura experimentaría daños importantes en un sismo severo, pero mantendría su integridad estructural.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El análisis de la literatura científica permitió identificar que los métodos empíricos como FEMA P-154 y los análisis no lineales tipo pushover son herramientas complementarias para evaluar la vulnerabilidad sísmica en estructuras de marcos a momento. Esta revisión también permitió comprender que, edificaciones con volados o irregularidades pueden desarrollar concentraciones de esfuerzo que alteran su desempeño estructural, por lo que su análisis debe incluir consideraciones adicionales sobre deformabilidad y resistencia.
- El levantamiento en campo reveló que el edificio, aunque construido recientemente, presenta una irregularidad en planta significativa, lo cual incide directamente en su respuesta sísmica. A pesar de que los resultados de FEMA P-154 (puntaje NEC: 3.5 e internacional: 4.9) indican una baja vulnerabilidad sísmica debido a su clasificación como tipo C2 sobre suelo tipo D, la irregularidad detectada justifica un análisis más detallado mediante modelos computacionales.
- Al aplicar tanto métodos empíricos como el análisis no lineal, se pudo determinar que el edificio muestra un comportamiento sísmico desigual según la dirección del sismo: en dirección “X” solo cumple con los niveles de amenaza de 72 y 225 años (habitable), pero falla frente a los de 475 y 2500 años (no habitable por insuficiencia de ductilidad); mientras que en dirección “Y” mantiene un comportamiento favorable en todos los escenarios. Esto valida la importancia de combinar ambas metodologías para obtener un diagnóstico completo y confiable.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar inspecciones técnicas periódicas en edificaciones con características similares a la analizada, especialmente en zonas donde existan volados o elementos sobresalientes, ya que estas áreas pueden presentar mayor sensibilidad ante esfuerzos inducidos por cargas sísmicas acumuladas.
- Considerando que la estructura mostró un buen desempeño ante amenazas sísmicas moderadas pero limitado frente a eventos extremos, se recomienda evaluar medidas de refuerzo que incrementen la capacidad de disipación de energía y mejoren su comportamiento inelástico.
- La aplicación conjunta del método FEMA P-154 y el análisis no lineal tipo Pushover resultó útil para una evaluación integral. Por ello, se recomienda seguir utilizando enfoques combinados que permitan contrastar diagnósticos empíricos con resultados numéricos detallados.

6. Referencias bibliográficas

Añazco a, a. p. c. l. (2023). vista de análisis no lineal estático (pushover) de marcos especiales a momento compuestos (c-smf). https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/201/127

Arif, w., & craifaleanu, i. g. (2023). assessment of the seismic vulnerability of a multi-storey rc structure with plan irregularity: a case study. iop conference series, 1185(1), 012021–012021. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1185/1/012021

Cajamarca.d, oleg. v., & marin.c. (2022). macroseismic intensity-based catalogue of earthquakes in ecuador. structural mechanics of engineering constructions and buildings, 18(2), 161–171. https://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-2-161-171

Collantes, g. (2022). seismic design for performance in non-structural elements using the direct displacement methodology in reinforced concrete buildings. revista ingenieria de construccion, 37(2), 213–227. https://doi.org/10.7764/ric.00027.21

Fernández limés, a., fernández lorenzo, i., & cobelo cristiá, w. d. (2023). influencia de la interacción suelo-estructura estática en edificios de 100 metros de altura. ingeniería y desarrollo, 41(02), 213–232. https://doi.org/10.14482/inde.41.02.201.456

Girgin, s. c. (2020). effect of modeling beam-column joints on performance assessment of columns in non-ductile rc frames. teknik dergi/technical journal of turkish chamber of civil engineers, 31(6), 10339–10358. https://doi.org/10.18400/tekderg.456752

Harirchian, e., lahmer, t., buddhiraju, s., mohammad, k., & mosavi, a. (2020). earthquake safety assessment of buildings through rapid visual screening. buildings, 10(3), 51. https://doi.org/10.3390/buildings10030051

Iñiguez, g. p. (2024). incidencia de la vulnerabilidad sísmica en la funcionalidad y economía de instituciones públicas del cantón el empalme, ecuador. revista científica y tecnológica upse, 11(1), 42–52. https://doi.org/10.26423/rctu.v11i1.776

Khan, s. u., qureshi, m. i., rana, i. a., & maqsoom, a. (2019). seismic vulnerability assessment of building stock of malakand (pakistan) using fema p-154 method. sn applied sciences, 1(12), 1–14. https://doi.org/10.1007/s42452-019-1681-z

Kim, s., moon, t., & kim, s. j. (2020). effect of uncertainties in material and structural detailing on the seismic vulnerability of rc frames considering construction quality defects. applied sciences, 10(24), 8832. https://doi.org/10.3390/app10248832

Kwong, k. b., deshon, h. r., kim, j. w., & lu, z. (2019). resolving teleseismic earthquake catalog and insar data discrepancies in absolute space to explore rupture complexity along the ecuadorian megathrust fault. journal of geophysical research: solid earth, 124(7), 6703–6719. https://doi.org/10.1029/2018jb016271

Malavé, j., & pinoargote, v. (2023). análisis de vulnerabilidad sísmica en estructuras de la parroquia manglaralto del cantón santa elena, provincia de santa elena. 593 digital publisher ceit, 8(1–1), 122–143. https://doi.org/10.33386/593dp.2023.1-1.1542

Menéndez g; garcía j; reyna a. (2023). vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de portoviejo: reflexiones del 16-a. revista ingenio, 6(1), 73–86. https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i1.565

Meyers-angulo, j. e., martínez-cuevas, s., & gaspar-escribano, j. m. (2023). classifying buildings according to seismic vulnerability using cluster-ann techniques: application to the city of murcia, spain. bulletin of earthquake engineering, 21(7), 3581–3622. https://doi.org/10.1007/s10518-023-01671-5

Mora, v. e., & baque, b. s. (2025). aplicación de fema p-154 para el análisis de vulnerabilidad sísmica en construcciones del sector el matal-jama. revista científica finibus - ingeniería, industria y arquitectura, 8(15), 78–84. https://doi.org/10.56124/finibus.v8i15.008

Nery, f. , & m. e. (2021). vista de vulnerabilidad sísmica de edificios educacionales. comparación de dos métodos cualitativos. casos de estudio. https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/2338/1777

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf

Palomo, i. r. i., martínez, j. de j., benedetty, c. a., de almeida, l. c., trautwein, l. m., & krahl, p. a. (2024). prediction of the ultimate capacity of reinforced concrete

elements using nonlinear analysis methodologies. revista ibracon de estruturas e materiais, 17(2). https://doi.org/10.1590/s1983-41952024000200010

Ramaglia, g., lignola, g. p., fabbrocino, f., & prota, a. (2022). unified simplified capacity model for beam-column joints into rc moment resisting frame. applied sciences, 12(21), 10709–10709. https://doi.org/10.3390/app122110709

Rathnasiri, h. m. s. c., jayasinghe, j. a. s. c., & bandara, c. s. (2020). development of irregularity index based on dynamic characteristics to quantify the vertical geometric irregularities. engineer: journal of the institution of engineers, 53(1), 41. https://doi.org/10.4038/engineer.v53i1.7398

Rodriguez l. (2021). theoretical methodological aspects about earthquake prediction. https://doi.org/10.15446/rbct,n49.93823

Sun, y.-s., li, h.-c., chang, l.-y., ye, z.-k., & chen, c.-c. (2020). real-time probabilistic seismic hazard assessment based on seismicity anomaly. hazards earth syst. sci, 20, 743–753. https://doi.org/10.5194/nhess-20-743-2020

Unda, s. b. (2019). properties of several soils cultivated with cocoa in the province of el oro, ecuador. 1, 155–166. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210

Vega, e. m. f. (2021). evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante análisis estático no lineal pushover: estudio de caso. journal boliviano de ciencias, 17(50), 56–90. https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.20

Vyrovoy, v., korobko, o., zakorchemny, y., & urazmanova, n. (2019). роль активних елементів структури в життєвому циклі будівельних конструкцій. collection of scientific works of the ukrainian state university of railway transport, 0(186). https://doi.org/10.18664/1994-7852.186.2019.186355

Zarate, a., andrade, a., jaramillo, k., mendoza, k., & toapanta, l. (2023). evaluación del riesgo sísmico en ecuador mediante el uso del software r-crisis. green world journal, 6(3), 093–093. https://doi.org/10.53313/gwj62093

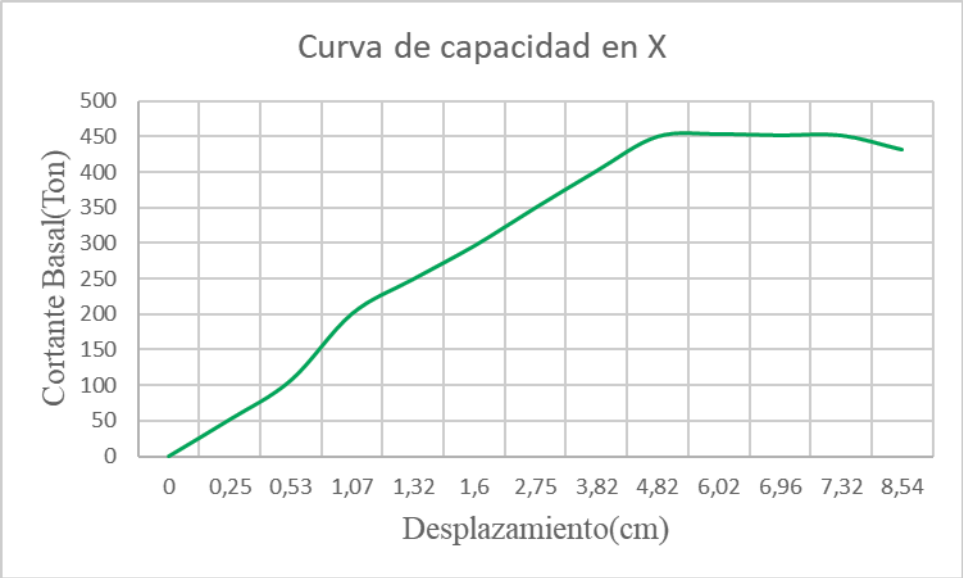
Zhang, x., reichard-flynn, w., zhang, m., hirn, m., & lin, y. (2022). spatiotemporal graph convolutional networks for earthquake source characterization. journal of geophysical research: solid earth, 127(11). https://doi.org/10.1029/2022jb024401

Zhang, z. j., chen, b. sen, bai, r., & liu, y. p. (2023). non-linear behavior and design of steel structures: review and outlook. in buildings (vol. 13, issue 8). multidisciplinary digital publishing institute (mdpi). https://doi.org/10.3390/buildings13082111

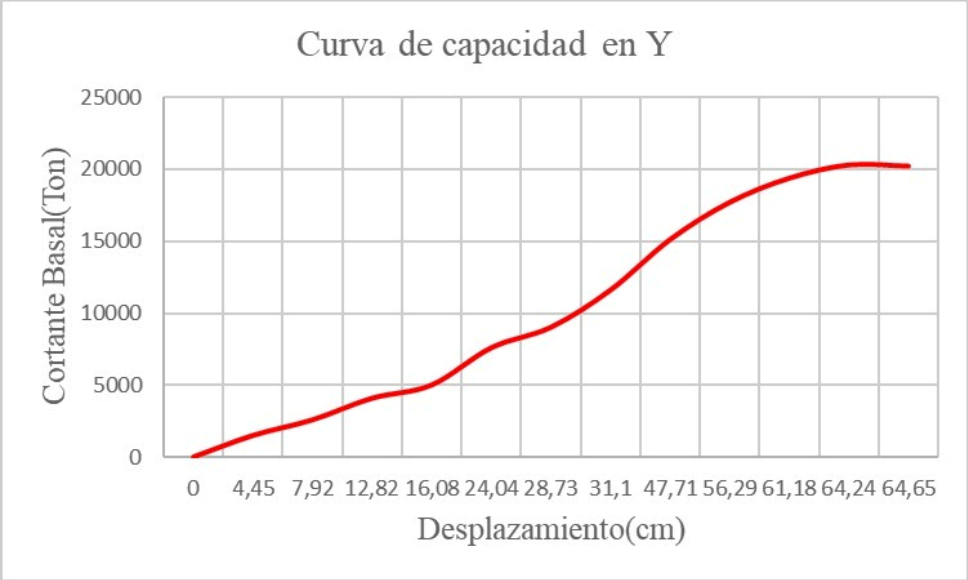
Zúñiga, c., valverde, d., garcia, n., silva, c. e., gomez, d., & bompa, d. v. (2022). comparative study of the cost and behavior of rc special moment frame buildings with drop and hidden beams subjected to seismic loads. frontiers in built environment, 8. https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1032643

Anexos:

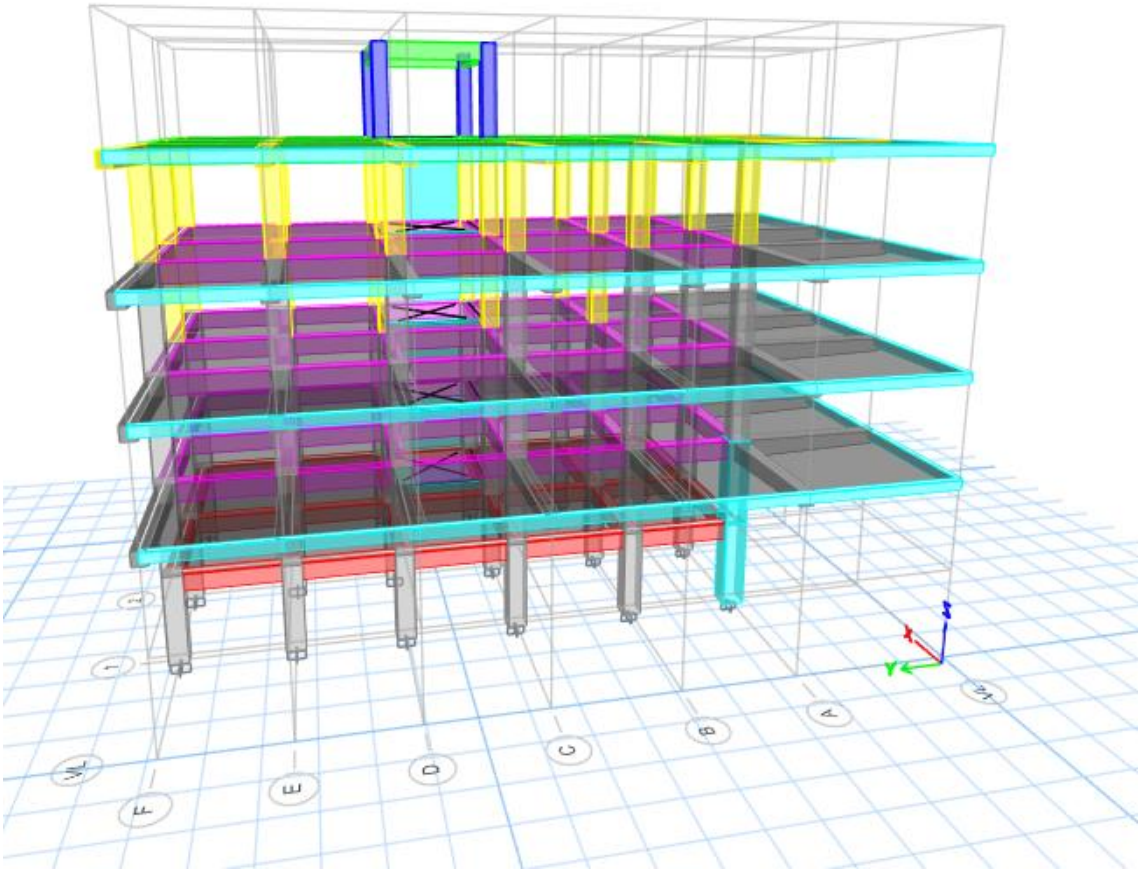
Anexo 1. Curva Pushover en sentido en X



Anexo 2. Curva Pushover en sentido en Y

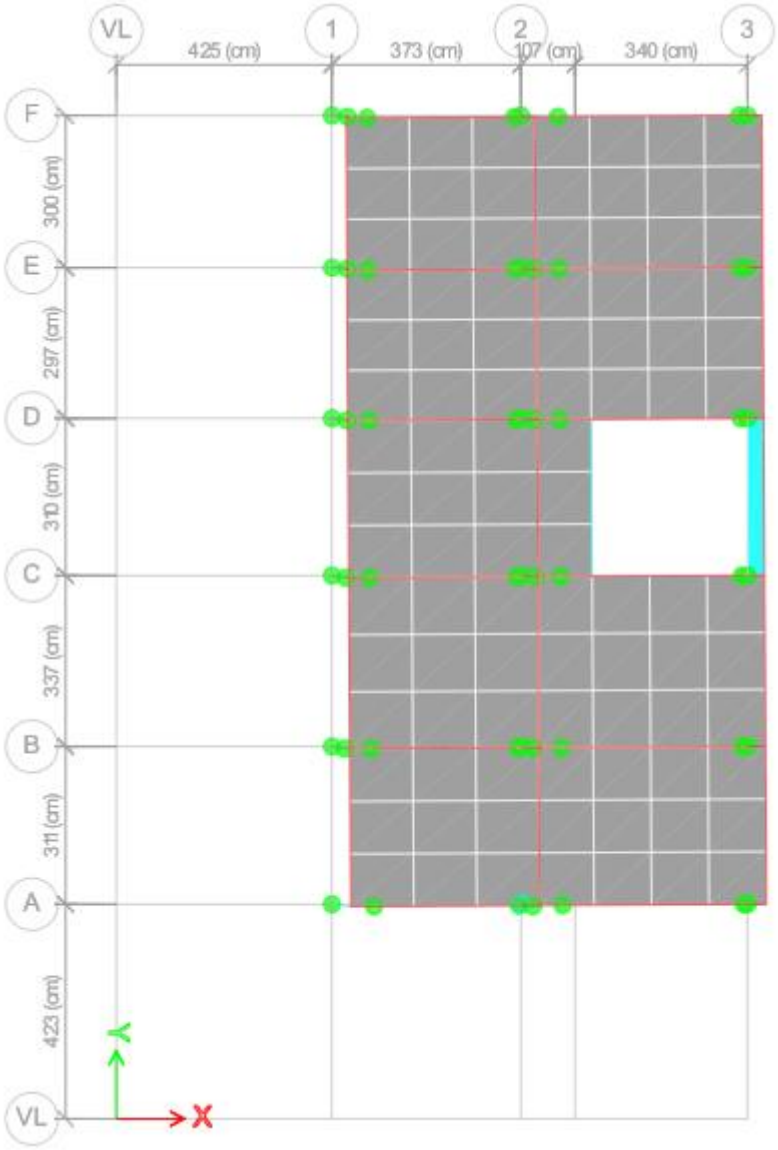


Anexo 3. Modelado en el Software

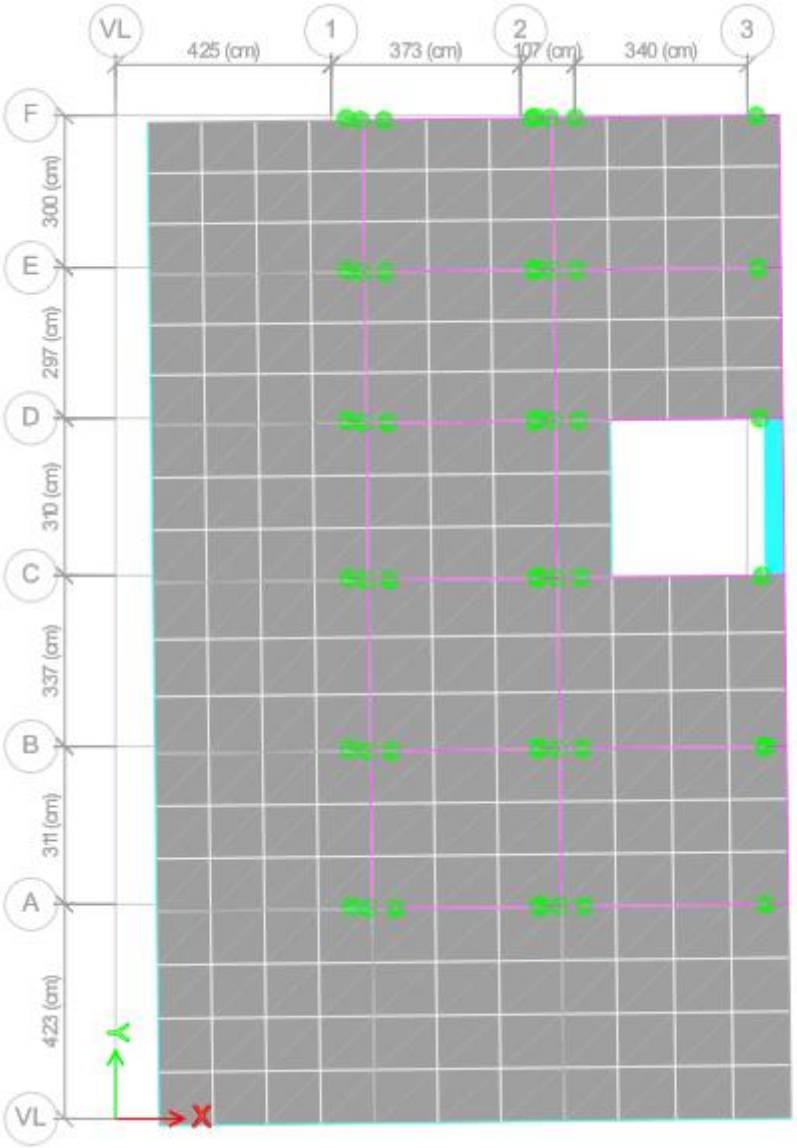


Anexo 4. Formación de rotulas en sentido en X-X

Mezanine

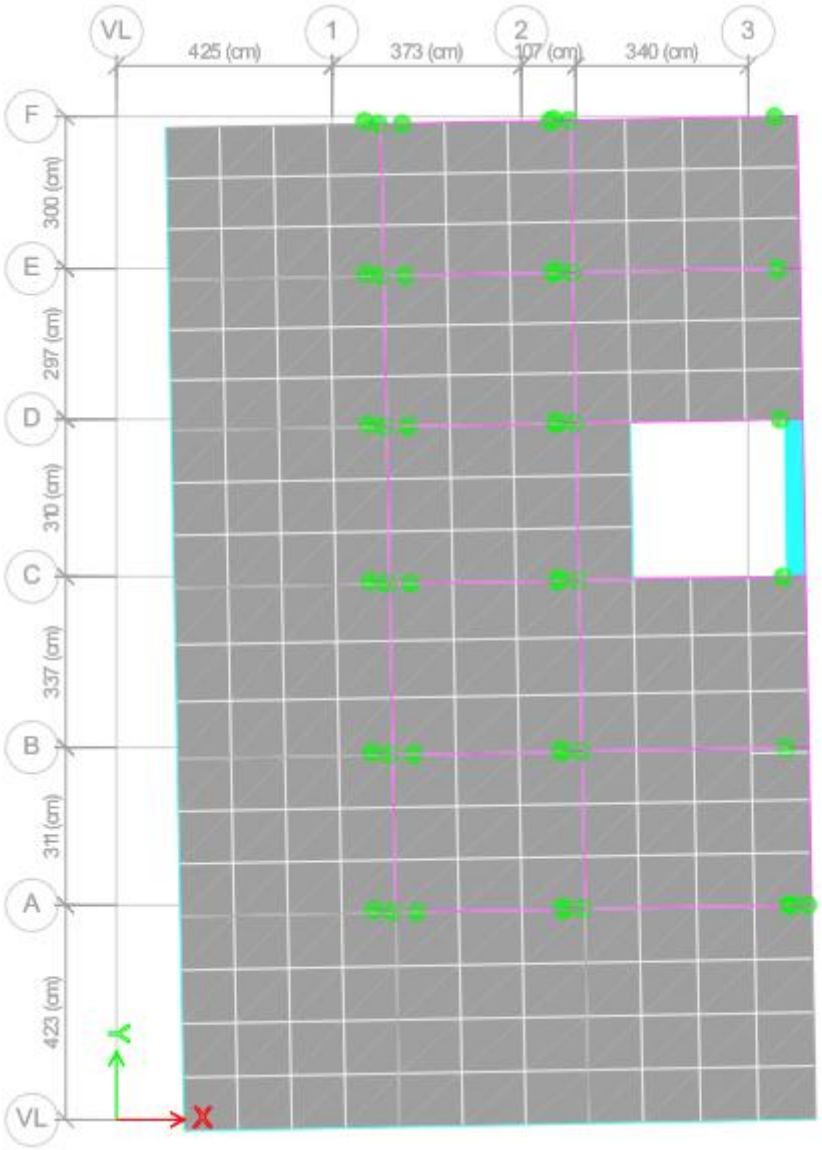


Primer piso

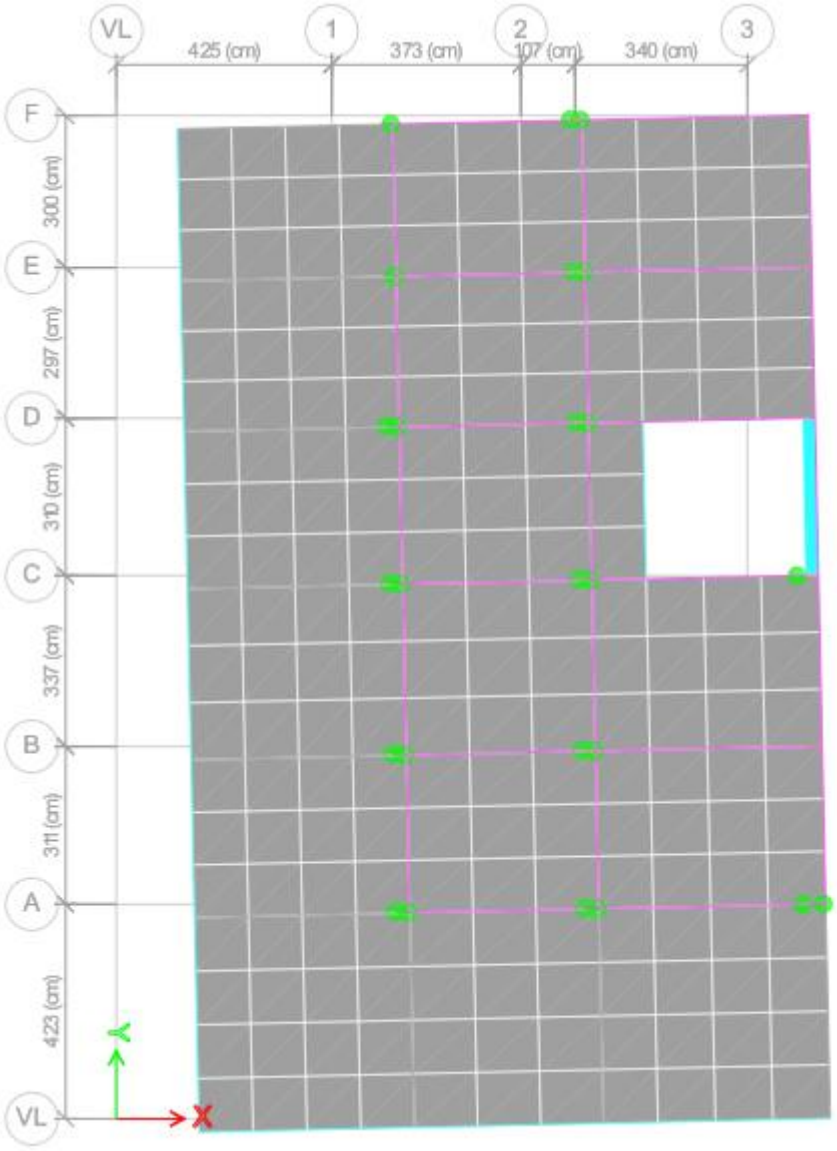

VL
1
2
3
425 (cm)
373 (cm)
107 (cm)
340 (cm)
F
E
D
C
B
A
VL
300 (cm)
297 (cm)
310 (cm)
337 (cm)
311 (cm)
423 (cm)
Y
X

A
B
C
D
E

Segundo piso

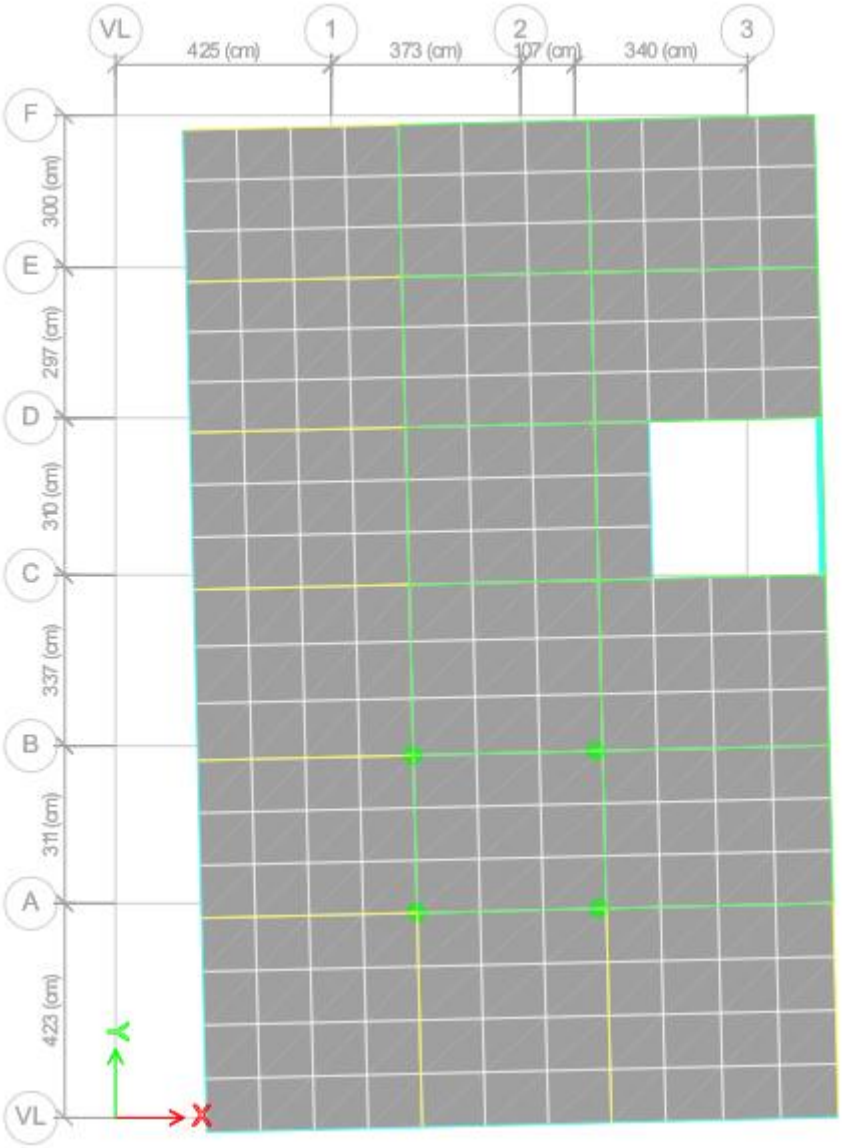


Tercer piso


VL
1
2
3
425 (cm)
373 (cm)
107 (cm)
340 (cm)
F
E
D
C
B
A
VL
300 (cm)
297 (cm)
310 (cm)
337 (cm)
311 (cm)
423 (cm)
Y
X

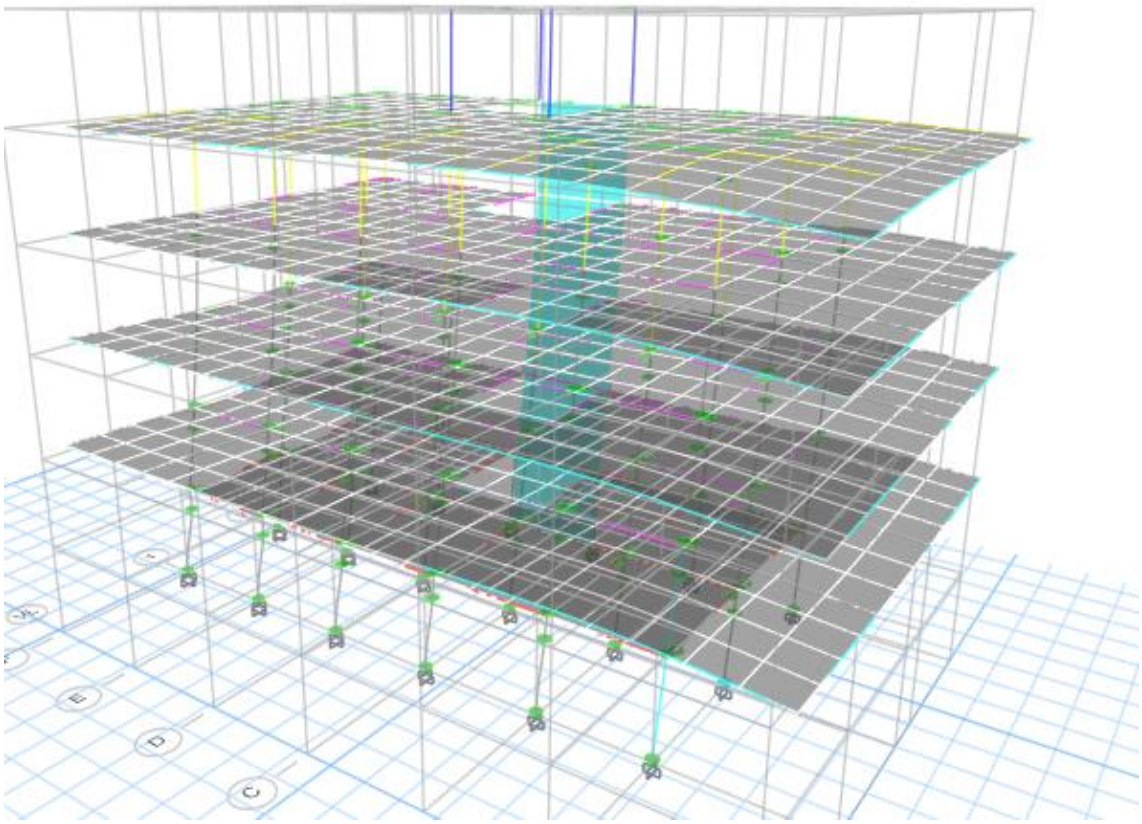
A
B
C
D
E

Cuarto piso


VL
1
2
3
425 (cm)
373 (cm)
107 (cm)
340 (cm)
F
E
D
C
B
A
VL
300 (cm)
297 (cm)
310 (cm)
337 (cm)
311 (cm)
423 (cm)
Y
X

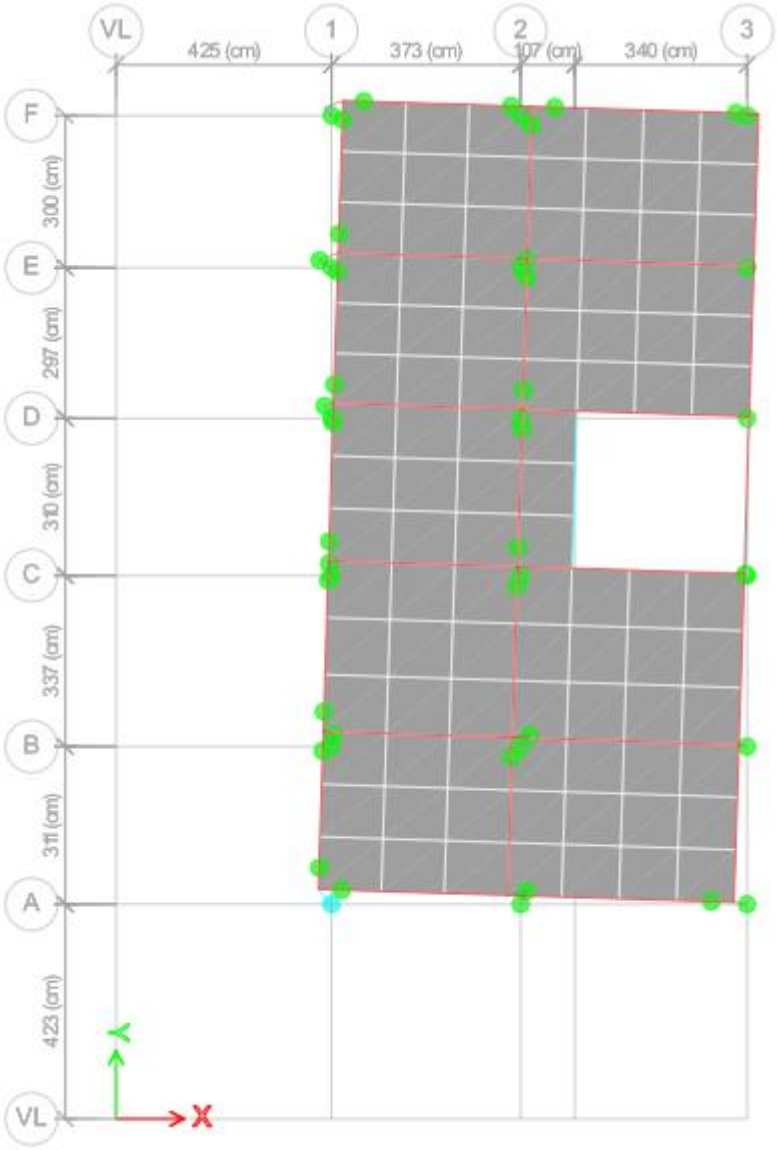
A
B
C
D
E

Edificio completo

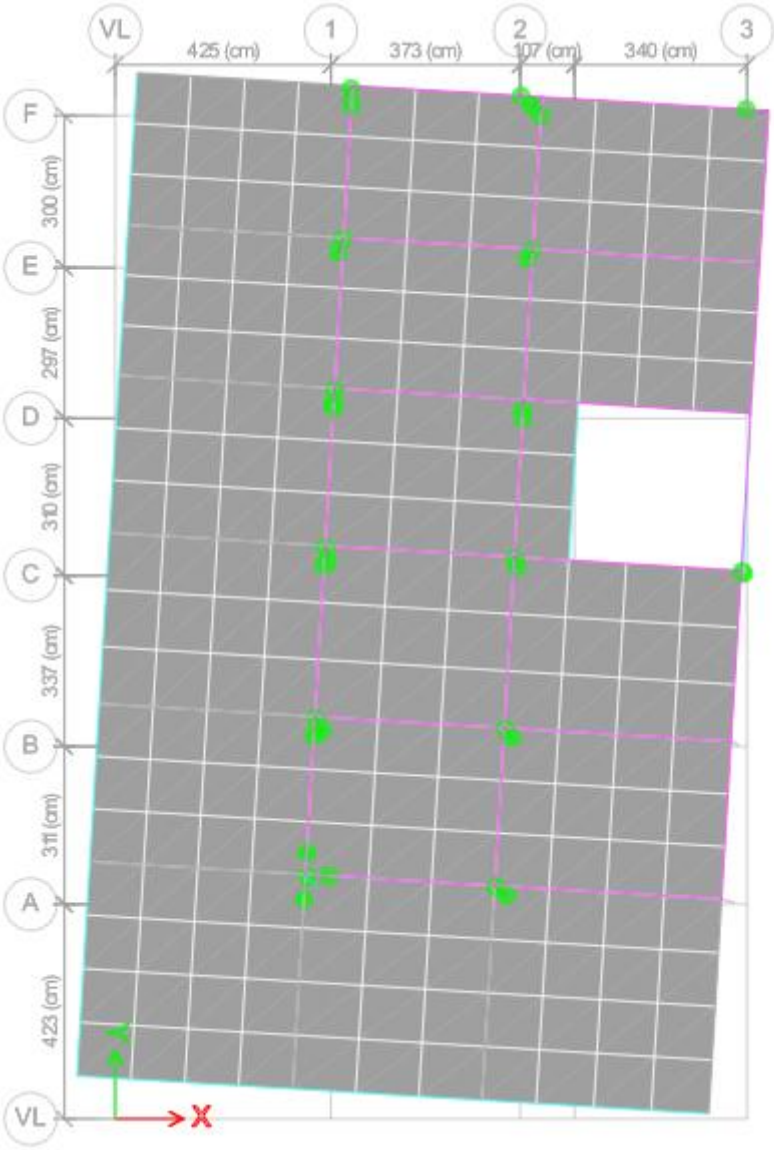


Anexo 5. Formación de rotulas en sentido en Y-Y

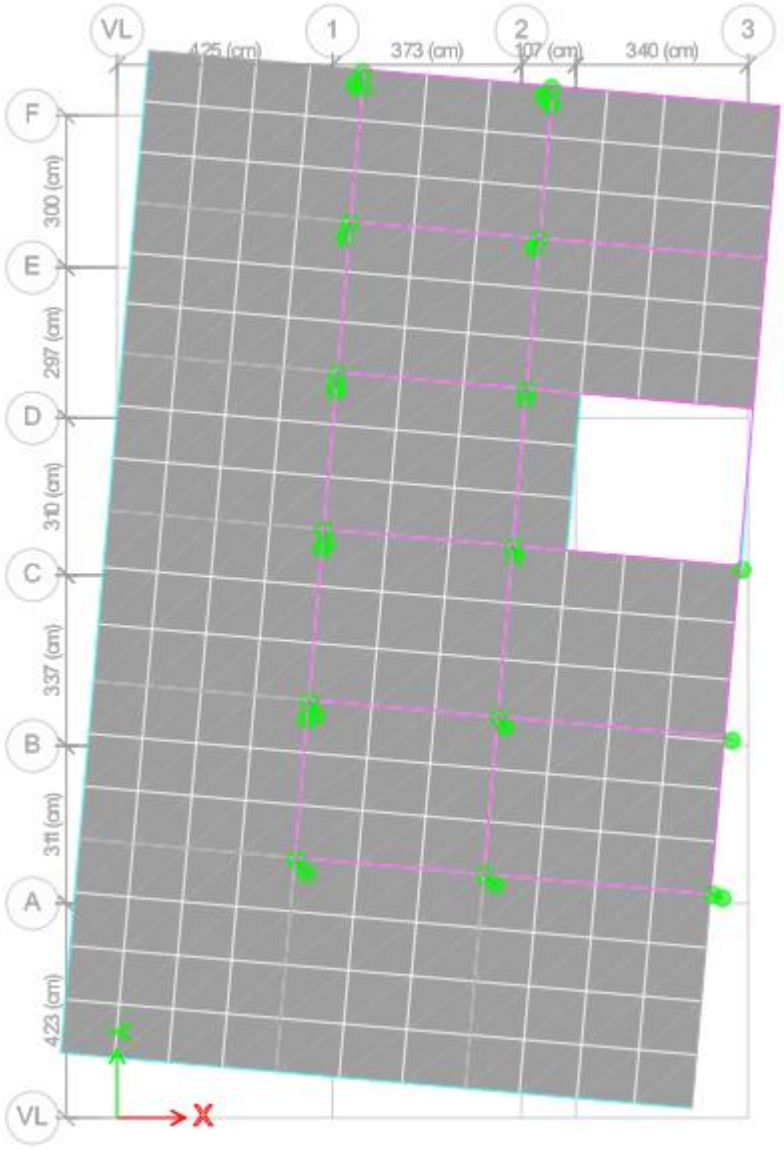
Mezanine



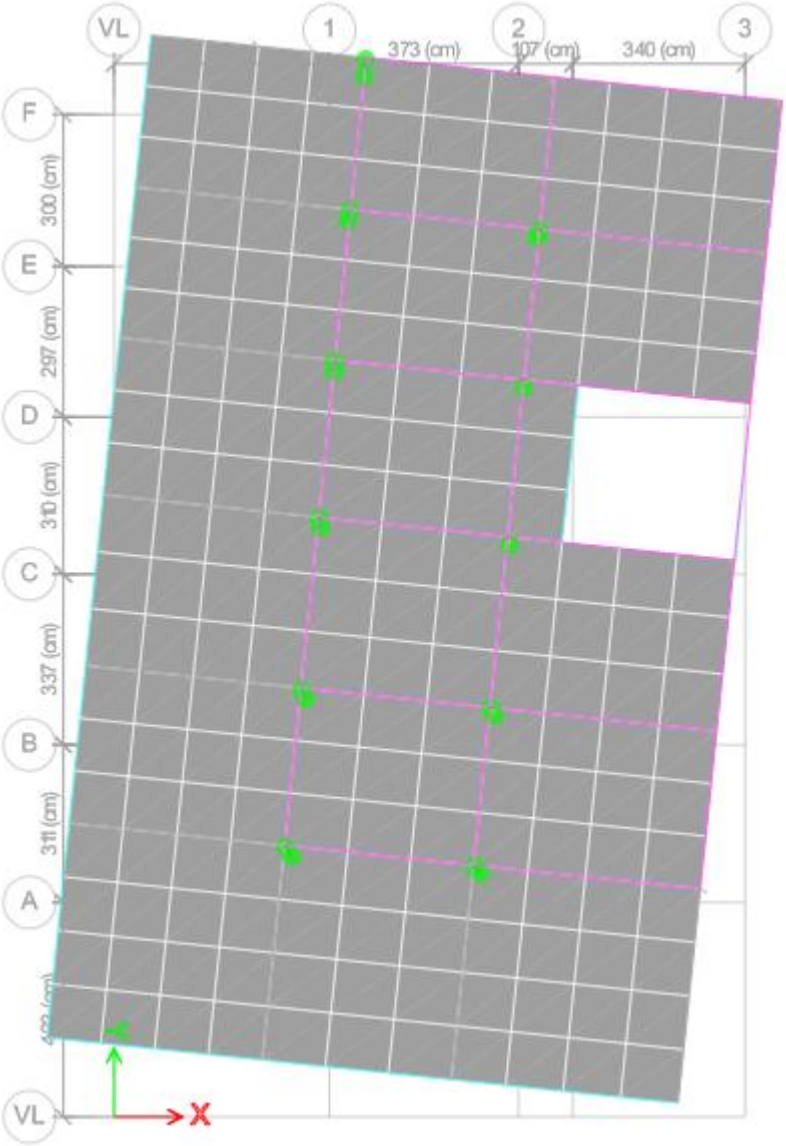
Segundo piso



Segundo piso

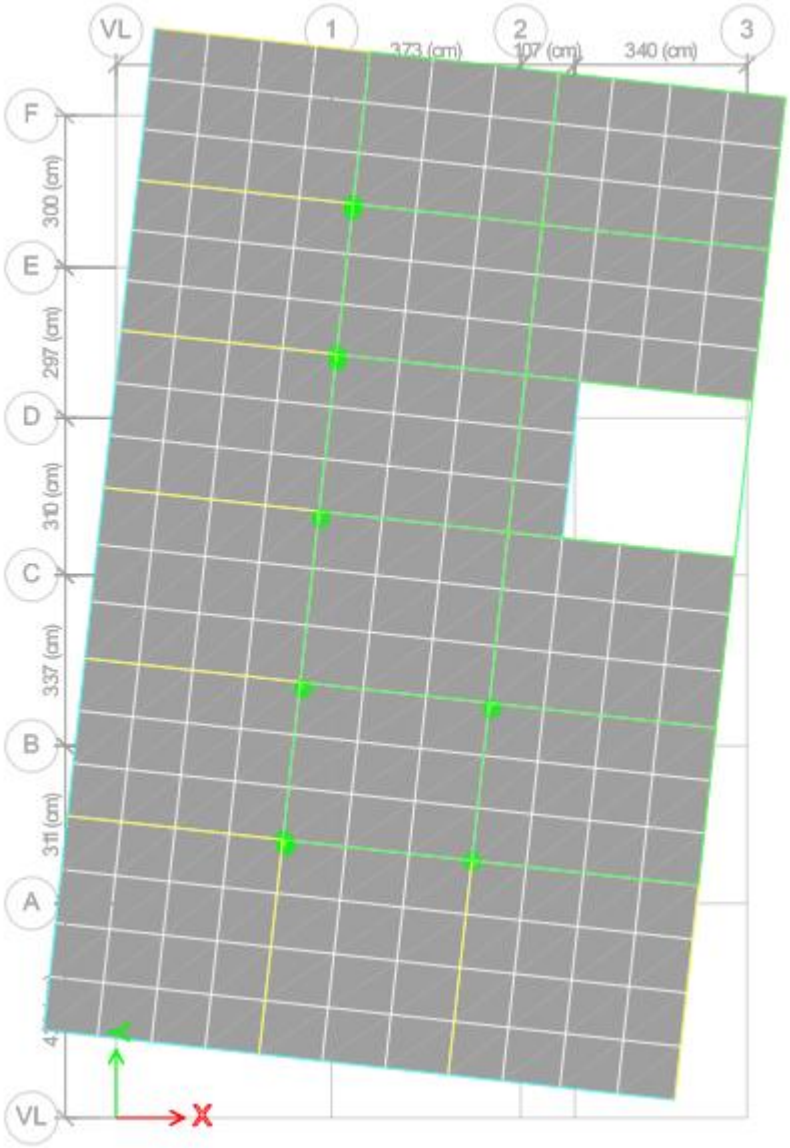


Tercer piso


VL
1
2
3
373 (cm)
107 (cm)
340 (cm)
F
E
D
C
B
A
VL
300 (cm)
297 (cm)
310 (cm)
337 (cm)
311 (cm)
X

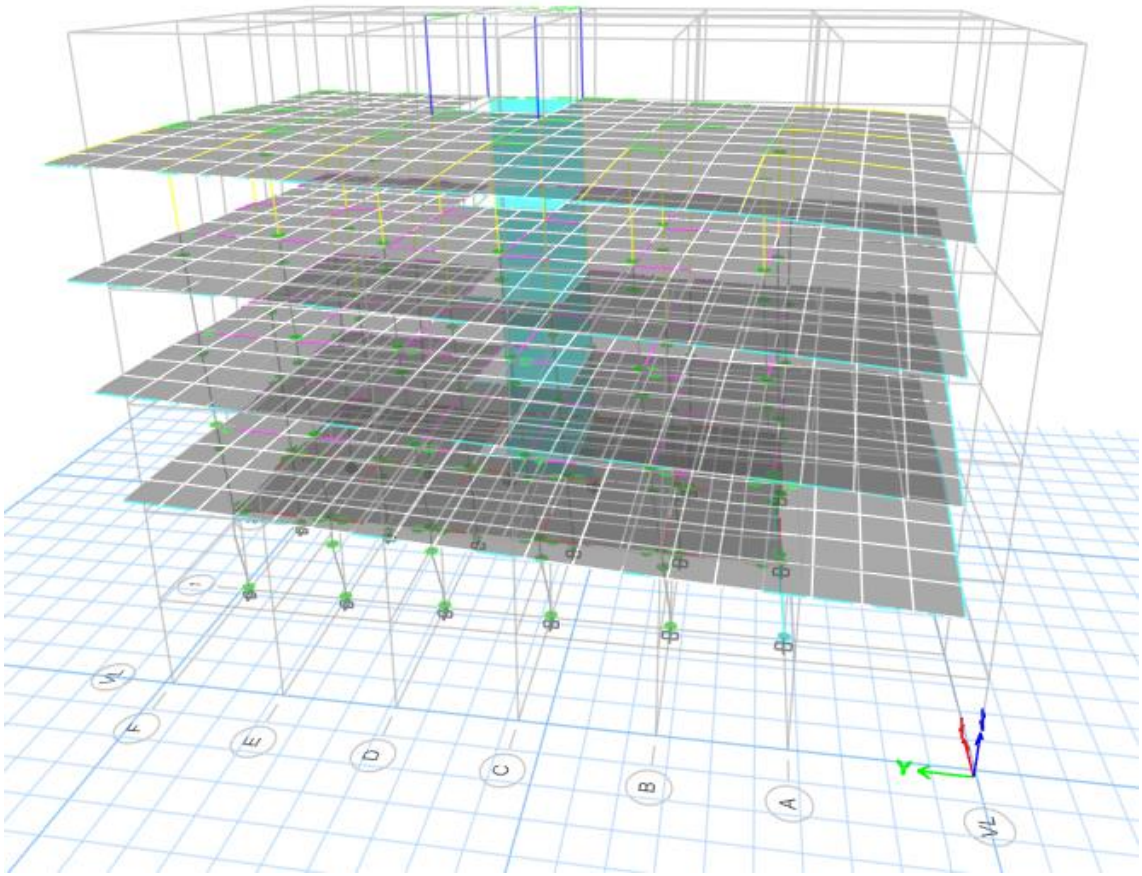
A
B
C
D
E

Cuarto Piso


VL
1
2
3
373 (cm)
107 (cm)
340 (cm)
F
E
D
C
B
A
VL
300 (cm)
297 (cm)
310 (cm)
337 (cm)
311 (cm)
X

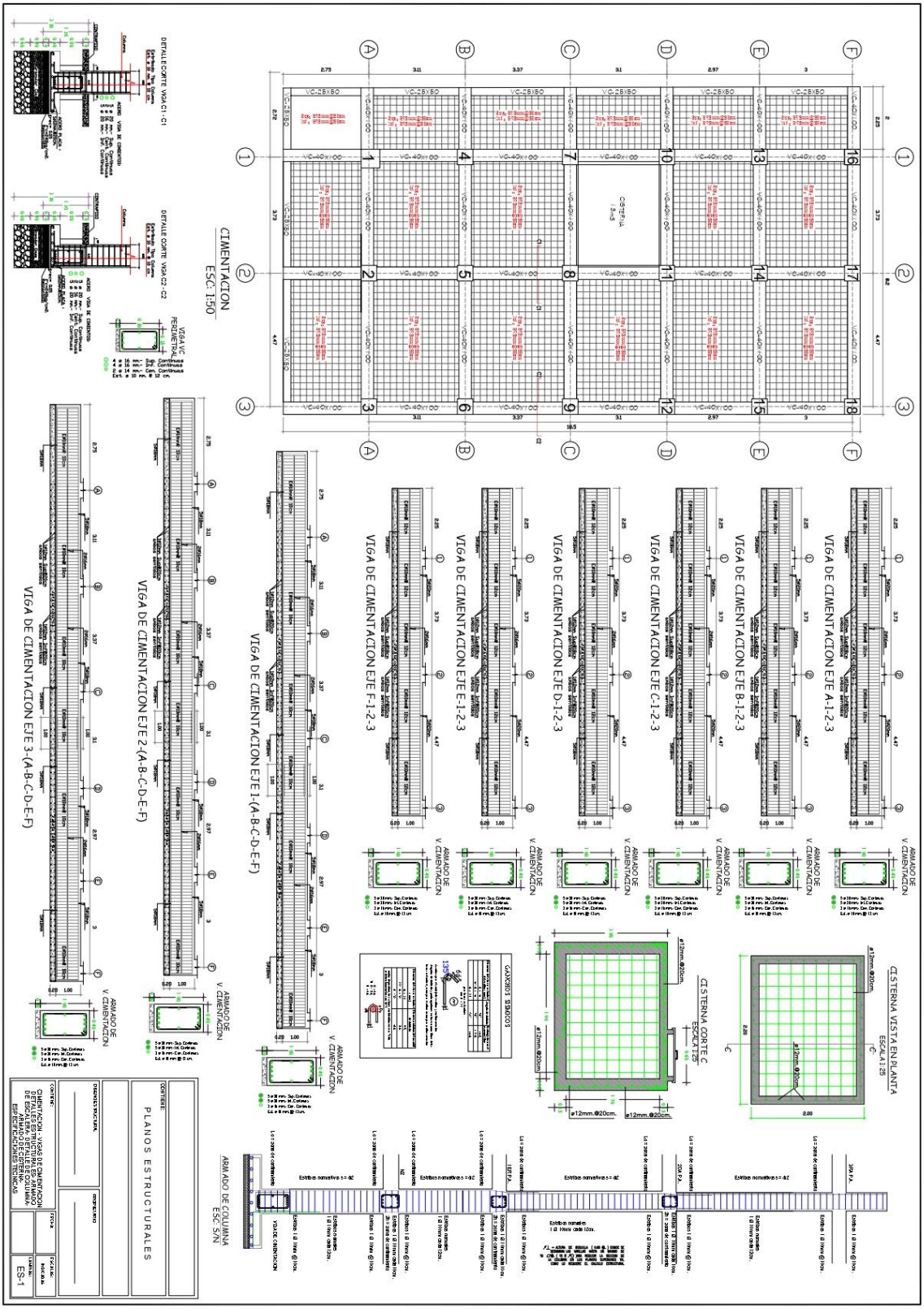
A
B
C
D
E

Edificio completo

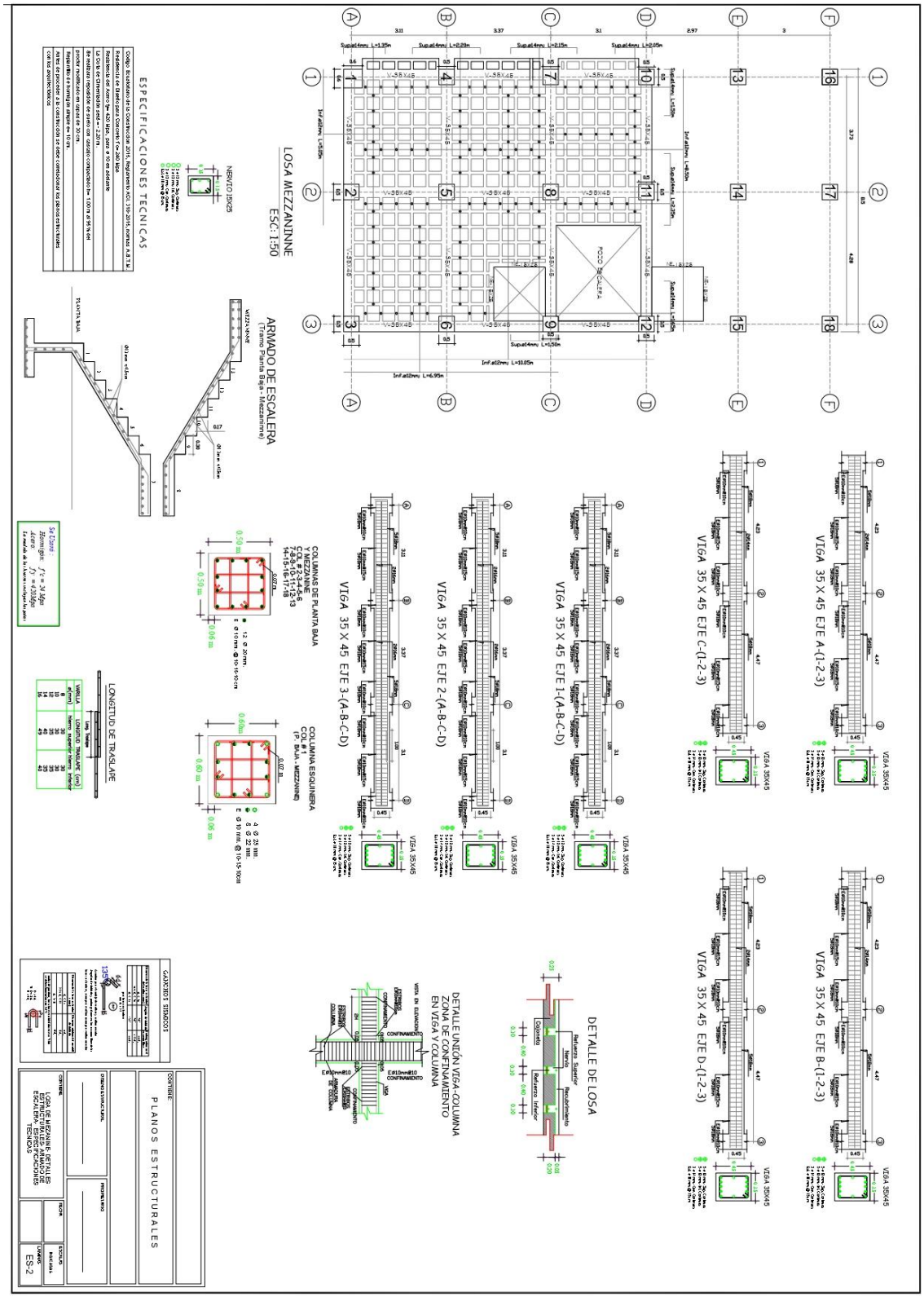


Anexo 6. Estructura analizada

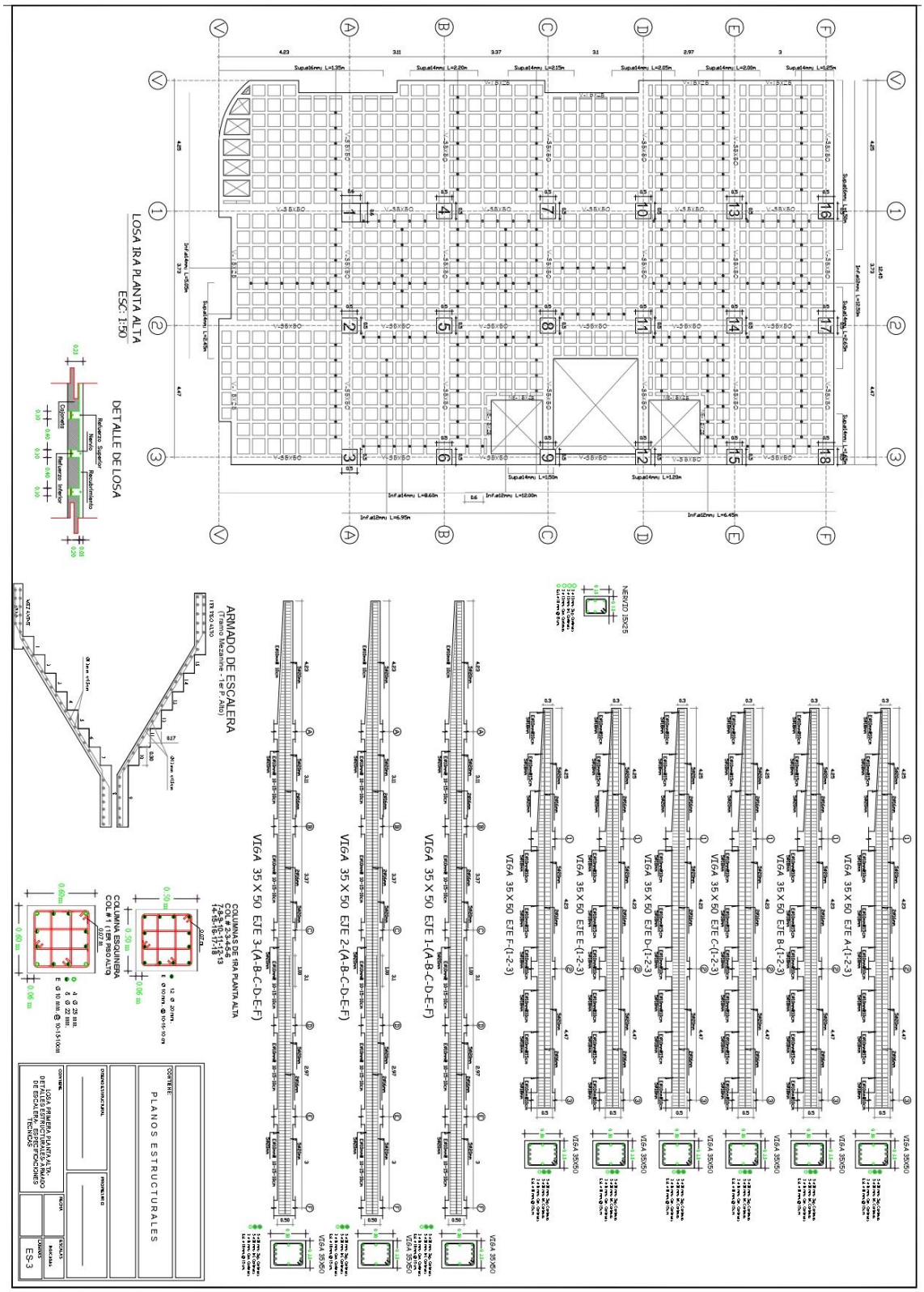
Anexo 7. Planos estructurales – Cimentación y columnas



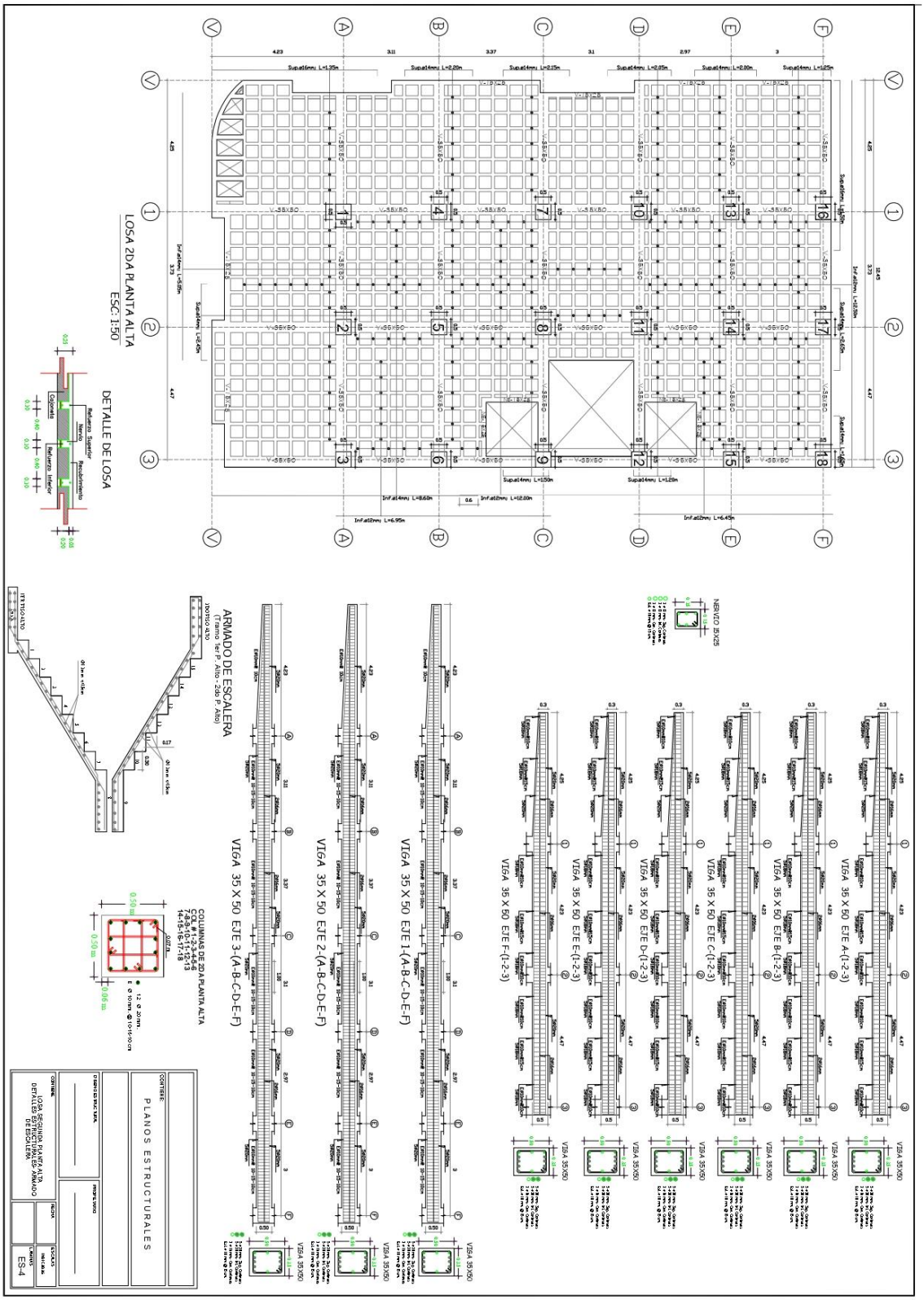
Anexo 8. Planos estructurales – Mezanine.



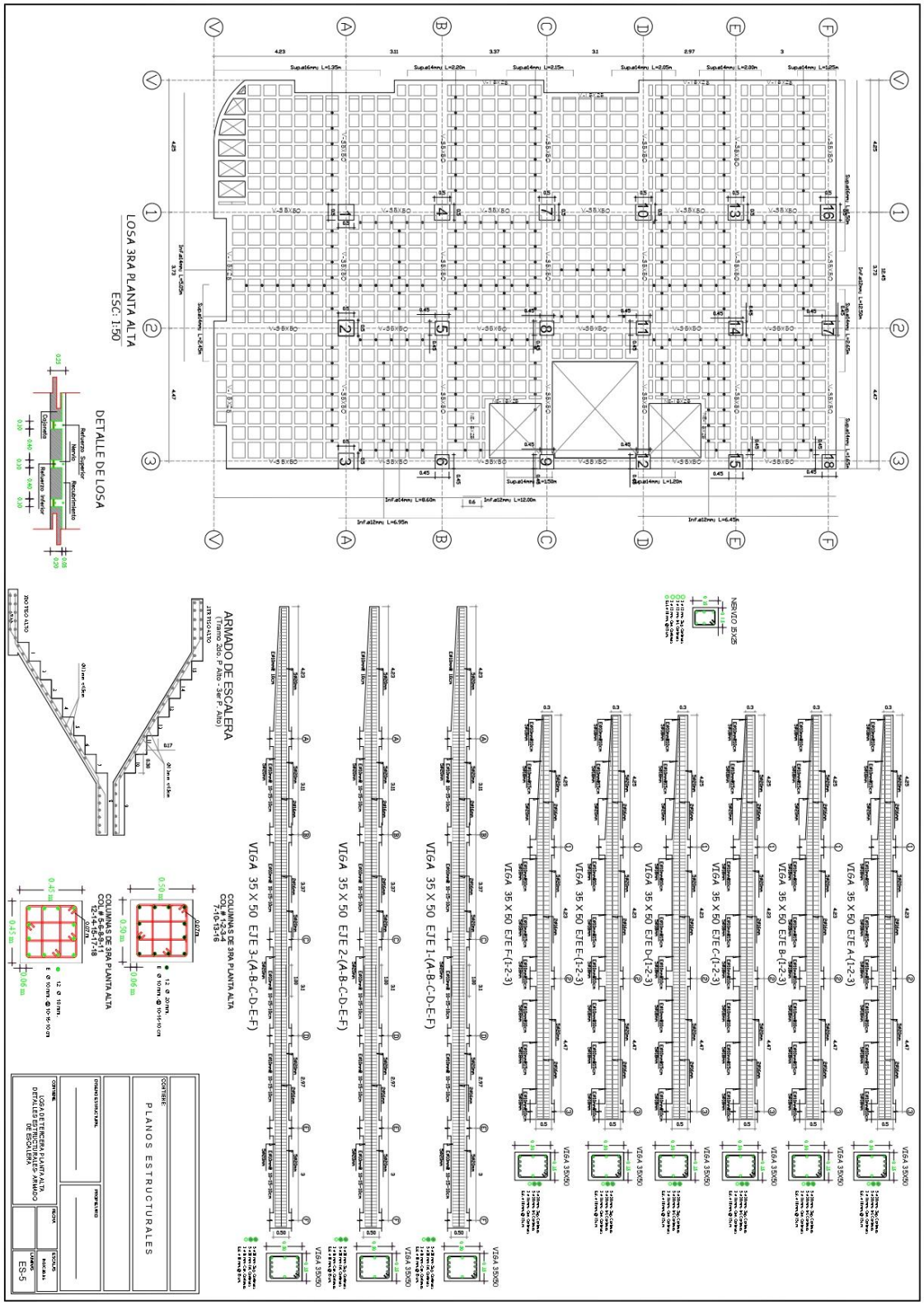
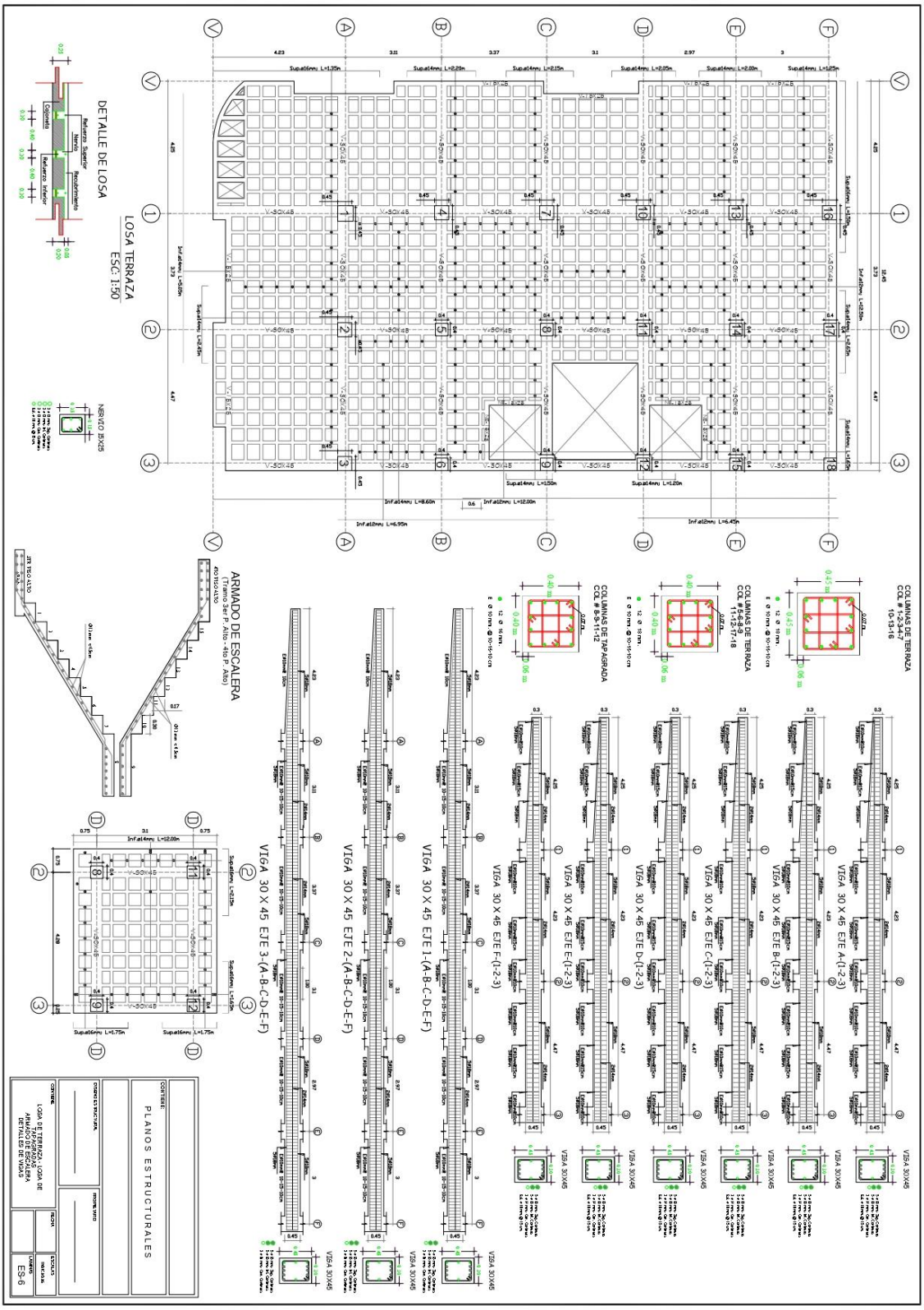
Anexo 9. Planos estructurales –Primera Planta Alta, columnas y vigas.



Anexo 10. Planos estructurales – Segunda Planta Alta, columnas y vigas.



Anexo 11. Planos estructurales – Tercera Planta Alta, columnas y vigas.



Anexo 12. Planos estructurales – Terraza, columnas y vigas.