

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**TESIS**

**NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
FACTOR DE REDUCCIÓN SÍSMICA EN ESTRUCTURAS  
APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Gregory Yens Díaz Caballero

**Línea de Investigación Institucional:**

Transporte y Urbanismo

**Línea de Investigación por Programa de Estudios:**

Estructuras

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

**ASESORES:**

Mg. JUAN CARLOS, GALLARDO MENDOZA

Ing. JUSSY FERNANDO, PAREDES LEÓN

**DEDICATORIA:**

La presente tesis se la dedico a Dios y a toda mi familia, en especial a mi Padre, Madre, Hermano y Hermana, quienes me motivan a ser una mejor persona y a superar todas las pruebas que se me presenten, por el respaldo y apoyo en mi formación profesional

**AGRADECIMIENTOS:**

Mi agradecimiento formal al Mg. Edison A. Moscoso Alcantara, quien me asesoro externamente en el desarrollo de la tesis, y me brindo sus conocimientos y amistad en la culminación de la carrera profesional.



**HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

---

Dr. CASIO AURELIO TORRES LOPEZ  
**PRESIDENTE**

---

Ing. RANDO PORRAS OLARTE  
**JURADO**

---

Ing. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES  
**JURADO**

---

Ing. JULIO FREDY PORRAS MAYTA  
**JURADO**

---

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA  
**SECRETARIO DOCENTE**

## INDICE

RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
CAPITULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3.1. Práctica o Social .....	2
1.3.2. Metodológica .....	3
1.4. DELIMITACIONES .....	3
1.4.1. Espacial .....	3
1.4.2. Temporal.....	4
1.4.3. Económica .....	4
1.5. LIMITACIONES .....	4
1.6. OBJETIVOS .....	4
1.6.1. Objetivo general.....	4
1.6.2. Objetivos específicos .....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. ANTECEDENTES .....	5
2.1.1. Nacionales .....	5
2.1.2. Internacionales.....	7
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	9
2.2.1. Análisis sísmico de estructuras .....	9
2.2.2. Diseño estructural de pórticos en concreto armado .....	14

2.2.3. Capacidad estructural .....	26
2.2.4. Peligro sísmico.....	33
2.2.5. Niveles de desempeño.....	35
2.2.6. Objetivos de desempeño .....	37
2.2.7. Métodos para estimar el punto de desempeño .....	37
2.2.8. Factor de reducción sísmica .....	41
2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS .....	42
2.4. HIPOTESIS .....	43
2.4.1. Hipótesis General .....	43
2.4.2. Hipótesis Específicos .....	43
2.5. VARIABLES .....	44
2.5.1. Definición conceptual de la variable .....	44
2.5.2. Definición operacional de la variable .....	44
2.5.3. Operacionalización de la variable.....	45
CAPITULO III. METODOLOGÍA .....	46
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.3.1. Descriptivo - explicativo .....	46
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.5.1. Población .....	47
3.5.2. Muestra.....	47
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.6.1. Técnicas de recolección de datos .....	48
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos .....	48
3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	48

3.8. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE DATOS .....	48
CAPITULO IV. RESULTADOS .....	49
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS .....	49
4.2. ANÁLISIS, DISEÑO Y RESPUESTA DE LAS ESTRUCTURAS .....	49
4.2.1. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo muy rígido S1 .....	49
4.2.2. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo muy rígido S1 .....	68
4.2.3. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo muy rígido S1 .....	78
4.2.4. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo muy rígido S1 .....	88
4.2.5. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo blando S3.....	98
4.2.6. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo blando S3.....	108
4.2.7. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo blando S3.....	118
4.2.8. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo blando S3.....	128
4.2.9. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo muy rígido S1 .....	138
4.2.10. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo muy rígido S1 ...	147
4.2.11. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo muy rígido S1 ...	155
4.2.12. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo muy rígido S1 ...	163
4.2.13. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo blando S3.....	171
4.2.14. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo blando S3.....	179
4.2.15. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo blando S3.....	187
4.2.16. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo blando S3.....	195
4.3. RESUMEN DE RESULTADOS.....	203
4.3.1. Resumen del análisis sísmico .....	203
4.3.2. Resumen del diseño estructural.....	206
4.3.3. Resumen del Análisis no lineal .....	207
CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	213

CONCLUSIONES .....	215
RECOMENDACIONES.....	216
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	217
ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	219

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sistema estructural .....	12
<b>Tabla 2.</b> Irregularidades en altura .....	13
<b>Tabla 3.</b> Irregularidades en planta .....	13
<b>Tabla 4.</b> Límites para la deriva de entrepiso .....	14
<b>Tabla 5.</b> Combinaciones de diseño de concreto armado .....	14
<b>Tabla 6.</b> Coeficientes de reducción.....	15
<b>Tabla 7.</b> Niveles de desempeño en elementos estructurales .....	35
<b>Tabla 8.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z4 y S1.....	54
<b>Tabla 9.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	55
<b>Tabla 10.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z4 y S1.....	57
<b>Tabla 11.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	58
<b>Tabla 12.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z4 y S1.....	58
<b>Tabla 13.</b> Parámetros para procedimientos no lineales en vigas de C.A. ....	64
<b>Tabla 14.</b> Parámetros para procedimientos no lineales en col. de C.A. ....	65
<b>Tabla 15.</b> Criterios de aceptación. ....	66
<b>Tabla 16.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z3 y S1.....	70
<b>Tabla 17.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z3 y S1 .....	71
<b>Tabla 18.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z3 y S1.....	72
<b>Tabla 19.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z3 y S1 .....	73
<b>Tabla 20.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z3 y S1.....	73
<b>Tabla 21.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z2 y S1.....	80
<b>Tabla 22.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z2 y S1 .....	81
<b>Tabla 23.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z2 y S1.....	82
<b>Tabla 24.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z2 y S1 .....	83
<b>Tabla 25.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z2 y S1.....	83
<b>Tabla 26.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z1 y S1.....	90
<b>Tabla 27.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z1 y S1 .....	91
<b>Tabla 28.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z1 y S1.....	92
<b>Tabla 29.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z1 y S1 .....	93
<b>Tabla 30.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z1 y S1.....	93
<b>Tabla 31.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z4 y S3.....	100
<b>Tabla 32.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z4 y S3 .....	101
<b>Tabla 33.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z4 y S3.....	102

<b>Tabla 34.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z4 y S3 .....	103
<b>Tabla 35.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z4 y S3.....	103
<b>Tabla 36.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z3 y S3.....	110
<b>Tabla 37.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z3 y S3 .....	111
<b>Tabla 38.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z3 y S3.....	112
<b>Tabla 39.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z3 y S3 .....	113
<b>Tabla 40.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z3 y S3.....	113
<b>Tabla 41.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z2 y S3.....	120
<b>Tabla 42.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z2 y S3 .....	121
<b>Tabla 43.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z2 y S3.....	122
<b>Tabla 44.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z2 y S3 .....	123
<b>Tabla 45.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z2 y S3.....	123
<b>Tabla 46.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z1 y S3.....	130
<b>Tabla 47.</b> Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z1 y S3 .....	131
<b>Tabla 48.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z1 y S3.....	132
<b>Tabla 49.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z1 y S3 .....	133
<b>Tabla 50.</b> Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z1 y S3.....	133
<b>Tabla 51.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z4 y S1.....	140
<b>Tabla 52.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z4 y S1.....	141
<b>Tabla 53.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z4 y S1 .....	142
<b>Tabla 54.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z4 y S1 .....	142
<b>Tabla 55.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z4 y S1.....	143
<b>Tabla 56.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z3 y S1.....	148
<b>Tabla 57.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z3 y S1.....	149
<b>Tabla 58.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z3 y S1 .....	150
<b>Tabla 59.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z3 y S1 .....	150
<b>Tabla 60.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z3 y S1.....	151
<b>Tabla 61.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z2 y S1.....	156
<b>Tabla 62.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z2 y S1.....	157
<b>Tabla 63.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z2 y S1 .....	158
<b>Tabla 64.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z2 y S1 .....	158
<b>Tabla 65.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z2 y S1.....	159
<b>Tabla 66.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z1 y S1.....	164
<b>Tabla 67.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z1 y S1.....	165

<b>Tabla 68.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z1 y S1 .....	166
<b>Tabla 69.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z1 y S1 .....	166
<b>Tabla 70.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z1 y S1.....	167
<b>Tabla 71.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z4 y S3.....	172
<b>Tabla 72.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z4 y S3.....	173
<b>Tabla 73.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z4 y S3 .....	174
<b>Tabla 74.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z4 y S3 .....	174
<b>Tabla 75.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z4 y S3.....	175
<b>Tabla 76.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z3 y S3.....	180
<b>Tabla 77.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z3 y S3.....	181
<b>Tabla 78.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z3 y S3 .....	182
<b>Tabla 79.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z3 y S3 .....	182
<b>Tabla 80.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z3 y S3.....	183
<b>Tabla 81.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z2 y S3.....	188
<b>Tabla 82.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z2 y S3.....	189
<b>Tabla 83.</b> Cortante estático y dinámico - Estructura 10 niveles en Z2 y S3.....	190
<b>Tabla 84.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z2 y S3 .....	190
<b>Tabla 85.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z2 y S3.....	191
<b>Tabla 86.</b> Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z1 y S3.....	196
<b>Tabla 87.</b> Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z1 y S3.....	197
<b>Tabla 88.</b> Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z1 y S3 .....	198
<b>Tabla 89.</b> Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z1 y S3 .....	198
<b>Tabla 90.</b> Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z1 y S3.....	199
<b>Tabla 91.</b> Resumen del análisis sísmico en Estructuras de 3 niveles .....	203
<b>Tabla 92.</b> Resumen del análisis sísmico en Estructuras de 10 niveles .....	203
<b>Tabla 93.</b> Resumen de vigas y columnas en Estructuras de 3 niveles.....	206
<b>Tabla 94.</b> Resumen de vigas y columnas en Estructuras de 10 niveles.....	206
<b>Tabla 95.</b> Resumen del cálculo del factor R en Estructuras de 3 niveles .....	207
<b>Tabla 96.</b> Resumen del cálculo del factor R en Estructuras de 10 niveles .....	207
<b>Tabla 97.</b> Resumen del nivel de desempeño en Estructuras de 3 y 10 niveles.....	207



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de zonificación sísmica del Perú .....	3
<b>Figura 2:</b> Procedimientos de análisis sísmico .....	10
<b>Figura 3:</b> Diagrama de fuerza deformación .....	10
<b>Figura 4:</b> Distribución de esfuerzos en compresión .....	16
<b>Figura 5:</b> Diagrama de interacción de una sección rectangular .....	18
<b>Figura 6:</b> Capacidad especial de disipación de energía .....	19
<b>Figura 7:</b> Capacidad moderada de disipación de energía .....	20
<b>Figura 8:</b> Capacidad mínima de disipación de energía .....	20
<b>Figura 9:</b> Disposición del refuerzo por corte y confinamiento en vigas .....	22
<b>Figura 10:</b> Análisis estático no lineal pushover .....	26
<b>Figura 11:</b> Rotulas plásticas .....	27
<b>Figura 12:</b> Definición de rotulas plásticas en el programa Etabs. ....	30
<b>Figura 13:</b> Definición de rotulas plásticas en el programa Etabs. ....	31
<b>Figura 14:</b> Representación bilineal .....	32
<b>Figura 15:</b> Mapa de isoaceleraciones del Perú, T=475 años .....	33
<b>Figura 16:</b> Comportamiento estructural y niveles de desempeño .....	36
<b>Figura 17:</b> Objetivos de desempeño sísmico .....	37
<b>Figura 18:</b> Curva de capacidad y factores $R_{\mu}$ y $R_{\Omega}$ .....	41
<b>Figura 19:</b> Estructura de 3 niveles en Z4 y S1 .....	50
<b>Figura 20:</b> Estructura de 3 niveles en Z4 y S1 – Vista en planta y elevación .....	52
<b>Figura 21:</b> Estructura de 3 niveles en Z4 y S1 – Vista 3D .....	53
<b>Figura 22:</b> Definición de la masa - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	54
<b>Figura 23:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z4 y S1. ....	55
<b>Figura 24:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z4 y S1. ....	56
<b>Figura 25:</b> Acero en vigas del 1° nivel - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	59
<b>Figura 26:</b> Acero en vigas del 2° y 3° nivel - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	60
<b>Figura 27:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	61
<b>Figura 28:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	62
<b>Figura 29:</b> Diagrama momento curvatura para elementos de C.A. ....	63
<b>Figura 30:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z4 y S1 .....	66
<b>Figura 31:</b> Estructura de 3 niveles en Z3 y S1 – Vista en planta y elevación .....	69
<b>Figura 32:</b> Estructura de 3 niveles en Z3 y S1 – Vista 3D .....	70
<b>Figura 33:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z3 y S1 .....	71

<b>Figura 34:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z3 y S1. ....	72
<b>Figura 35:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S1 .....	74
<b>Figura 36:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S1 .....	75
<b>Figura 37:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z3 y S1 .....	76
<b>Figura 38:</b> Estructura de 3 niveles en Z2 y S1 – Vista en planta y elevación .....	79
<b>Figura 39:</b> Estructura de 3 niveles en Z2 y S1 – Vista 3D.....	80
<b>Figura 40:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z2 y S1 .....	81
<b>Figura 41:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z2 y S1. ....	82
<b>Figura 42:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S1 .....	84
<b>Figura 43:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S1 .....	85
<b>Figura 44:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z2 y S1 .....	86
<b>Figura 45:</b> Estructura de 3 niveles en Z1 y S1 – Vista en planta y elevación .....	89
<b>Figura 46:</b> Estructura de 3 niveles en Z1 y S1 – Vista 3D.....	90
<b>Figura 47:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z1 y S1 .....	91
<b>Figura 48:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z1 y S1. ....	92
<b>Figura 49:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S1 .....	94
<b>Figura 50:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S1 .....	95
<b>Figura 51:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z1 y S1 .....	96
<b>Figura 52:</b> Estructura de 3 niveles en Z4 y S3 – Vista en planta y elevación .....	99
<b>Figura 53:</b> Estructura de 3 niveles en Z4 y S3 – Vista 3D.....	100
<b>Figura 54:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z4 y S3 .....	101
<b>Figura 55:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z4 y S3. ....	102
<b>Figura 56:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z4 y S3 .....	104
<b>Figura 57:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z4 y S3.....	105
<b>Figura 58:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z4 y S3.....	106
<b>Figura 59:</b> Estructura de 3 niveles en Z3 y S3 – Vista en planta y elevación .....	109
<b>Figura 60:</b> Estructura de 3 niveles en Z3 y S3 – Vista 3D.....	110
<b>Figura 61:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z3 y S3 .....	111
<b>Figura 62:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z3 y S3 .....	112
<b>Figura 63:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S3 .....	114
<b>Figura 64:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S3.....	115
<b>Figura 65:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z3 y S3.....	116
<b>Figura 66:</b> Estructura de 3 niveles en Z2 y S3 – Vista en planta y elevación .....	119
<b>Figura 67:</b> Estructura de 3 niveles en Z2 y S3 – Vista Elevación y 3D .....	120

<b>Figura 68:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z2 y S3 .....	121
<b>Figura 69:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z2 y S3. ....	122
<b>Figura 70:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S3 .....	124
<b>Figura 71:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S3.....	125
<b>Figura 72:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z2 y S3.....	126
<b>Figura 73:</b> Estructura de 3 niveles en Z1 y S3 – Vista en planta y elevación .....	129
<b>Figura 74:</b> Estructura de 3 niveles en Z1 y S3 – Vista Elevación y 3D .....	130
<b>Figura 75:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z1 y S3 .....	131
<b>Figura 76:</b> Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z1 y S3. ....	132
<b>Figura 77:</b> Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S3 .....	134
<b>Figura 78:</b> Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S3.....	135
<b>Figura 79:</b> Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z1 y S3.....	136
<b>Figura 80:</b> Estructura de 10 niveles en Z4 y S1 .....	138
<b>Figura 81:</b> Estructura de 10 niveles en Z4 y S1 – Vista en planta y elevación .....	139
<b>Figura 82:</b> Estructura de 10 niveles en Z4 y S1 – Vista Elevación y 3D .....	140
<b>Figura 83:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z4 y S1. ....	141
<b>Figura 84:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z4 y S1 .....	144
<b>Figura 85:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z4 y S1.....	145
<b>Figura 86:</b> Estructura de 10 niveles en Z3 y S1 – Vista en planta.....	147
<b>Figura 87:</b> Estructura de 10 niveles en Z3 y S1 – Vista Elevación y 3D .....	148
<b>Figura 88:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z3 y S1 .....	149
<b>Figura 89:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z3 y S1 .....	152
<b>Figura 90:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z3 y S1.....	153
<b>Figura 91:</b> Estructura de 10 niveles en Z2 y S1 – Vista en planta.....	155
<b>Figura 92:</b> Estructura de 10 niveles en Z2 y S1 – Vista Elevación y 3D .....	156
<b>Figura 93:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z2 y S1 .....	157
<b>Figura 94:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z2 y S1 .....	160
<b>Figura 95:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z2 y S1.....	161
<b>Figura 96:</b> Estructura de 10 niveles en Z1 y S1 – Vista en planta.....	163
<b>Figura 97:</b> Estructura de 10 niveles en Z1 y S1 – Vista Elevación y 3D .....	164
<b>Figura 98:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z1 y S1 .....	165
<b>Figura 99:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z1 y S1 .....	168
<b>Figura 100:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z1 y S1.....	169
<b>Figura 101:</b> Estructura de 10 niveles en Z4 y S3 – Vista en planta.....	171

<b>Figura 102:</b> Estructura de 10 niveles en Z4 y S3 – Vista Elevación y 3D.....	172
<b>Figura 103:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z4 y S3 .....	173
<b>Figura 104:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z4 y S3 .....	176
<b>Figura 105:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z4 y S3.....	177
<b>Figura 106:</b> Estructura de 10 niveles en Z3 y S3 – Vista en planta.....	179
<b>Figura 107:</b> Estructura de 10 niveles en Z3 y S3 – Vista Elevación y 3D.....	180
<b>Figura 108:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z3 y S3 .....	181
<b>Figura 109:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z3 y S3 .....	184
<b>Figura 110:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z3 y S3.....	185
<b>Figura 111:</b> Estructura de 10 niveles en Z2 y S3 – Vista en planta y elevación ....	187
<b>Figura 112:</b> Estructura de 10 niveles en Z2 y S3 – Vista Elevación y 3D.....	188
<b>Figura 113:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z2 y S3 .....	189
<b>Figura 114:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z2 y S3 .....	192
<b>Figura 115:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z2 y S3.....	193
<b>Figura 116:</b> Estructura de 10 niveles en Z1 y S3 – Vista en planta y elevación ....	195
<b>Figura 117:</b> Estructura de 10 niveles en Z1 y S3 – Vista Elevación y 3D.....	196
<b>Figura 118:</b> Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z1 y S3 .....	197
<b>Figura 119:</b> Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z1 y S3 .....	200
<b>Figura 120:</b> Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z1 y S3.....	201
<b>Figura 121:</b> Resumen de espectros de diseño en Estructuras de 3 niveles.....	204
<b>Figura 122:</b> Resumen de espectros de diseño en Estructuras de 10 niveles.....	205
<b>Figura 123:</b> Resumen de factores $R_{\mu}$ y $R_{\Omega}$ y factor de reducción R, en Estructuras de 3 niveles.....	208
<b>Figura 124:</b> Resumen de factores $R_{\mu}$ y $R_{\Omega}$ y factor de reducción R, en Estructuras de 10 niveles.....	210

## RESUMEN

La presente investigación respondió al siguiente problema general: ¿De qué manera el nivel de peligro sísmico influye en el factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado? El objetivo general fue: Determinar la influencia del nivel de peligro sísmico en la obtención del factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado, y la hipótesis general que se verificó fue: El nivel de peligro sísmico influye significativamente en la obtención del factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado.

Según su metodología; su método de investigación general fue el científico, con un tipo de investigación aplicada, nivel de investigación descriptivo-explicativo, y un diseño de investigación cuasi experimental. La población estuvo conformada por las edificaciones con sistema estructural de pórticos de concreto armado con una importancia de uso común en el Perú. El tipo de muestreo fue no probabilístico dirigido y está dada por Estructuras aporticadas regulares de concreto armado de 3 y 10 niveles con un uso de oficinas, ubicadas en las zonas sísmicas 1, 2, 3 y 4 y apoyadas en suelos del tipo muy rígido S1 y suelos del tipo blando S3 en el Perú.

La conclusión fundamental fue que el nivel de peligro influye en la obtención del factor de reducción sísmica, ya que acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se pudo apreciar que el factor de reducción sísmica varía de acuerdo al peligro sísmico y al periodo de la estructura.

**Palabras clave:** Nivel de peligro sísmico, factor de reducción sísmica, pórticos de concreto armado.

## ABSTRACT

The present investigation responded to the following general problem: How does the level of seismic hazard influence the seismic reduction factor of the Peruvian standard E.030-2018 in structures provided with reinforced concrete? The general objective was: To determine the influence of the level of seismic danger in obtaining the seismic reduction factor of the Peruvian norm E.030-2018 in structures provided with reinforced concrete, and the general hypothesis that was verified was: The level of danger Seismic influences significantly in obtaining the seismic reduction factor of the Peruvian standard E.030-2018 in structures provided with reinforced concrete.

According to its methodology; His method of general research was the scientist, with a type of applied research, level of descriptive-explanatory research, and a quasi-experimental research design. The population was made up of buildings with a structural system of reinforced concrete frames with an importance of common use in Peru. The type of sampling was non-probabilistic directed and is given by regular contributed structures of reinforced concrete of 3 and 10 levels with a use of offices, located in seismic zones 1, 2, 3 and 4 and supported on soils of the very rigid type S1 and soils of the soft type S3 in Peru.

The fundamental conclusion was that the level of danger influences the obtaining of the seismic reduction factor, since according to the results obtained in the present investigation it was possible to appreciate that the seismic reduction factor varies according to the seismic danger and the period of the structure.

**Keywords:** Seismic hazard level, seismic reduction factor, reinforced concrete porches

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país con alta presencia de actividad sísmica. Este presenta distintos niveles de peligro sísmico en todo su territorio de acuerdo a la zona sísmica y tipo de suelo.

Actualmente para el diseño sísmico de las edificaciones, los diferentes códigos en Sudamérica definen la fuerza sísmica a través de un espectro de respuesta elástico y define un espectro de diseño inelástico, el cual considera un factor de reducción sísmica, que depende directamente del sistema estructural.

En Perú, las edificaciones se diseñan bajo el principio de que las estructuras no deberían colapsar ni causar daños graves a las personas, pero se permite el daño estructural ante un nivel de peligro sísmico de sismo severo (sismo raro) de acuerdo a la norma E.030. Y considera al factor de reducción sísmica constante en edificaciones regulares, ya sea que presenten un elevado nivel peligro sísmico (zona 4, suelo S3) o un bajo nivel de peligro sísmico (Zona 1, suelo S1).

En la presente tesis, se analizó el efecto del nivel de peligro sísmico en base a la zonificación sísmica y tipo de suelo del territorio peruano para estructuras aporticadas de concreto armado con configuración regular. Y se obtuvo el factor de reducción sísmica mediante un análisis estático no lineal, la cual se comparó con el factor de reducción sísmica que indica la norma E.030.

Esta investigación está conformada por 5 capítulos, los cuales se describen a continuación:

El capítulo I; hace mención al problema de investigación, en el cual se indica el planteamiento del problema, la formulación del problema general y específicos, justificación, delimitaciones, limitaciones, objetivos generales y específicos.

El capítulo II; hace mención al marco teórico, en el cual se indica los antecedentes (nacionales e internacionales), marco conceptual, definición de términos, hipótesis y las variables (independiente y dependiente).

El capítulo III; presenta la metodología, en el cual se indica el método de investigación, tipo y nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procedimientos de la información y análisis de datos.

El capítulo IV; hace mención a los resultados; en el cual se describe y se muestran los resultados obtenidos de las estructuras evaluadas.

El capítulo V; corresponde a la discusión de resultados.

Finalmente se presenta las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. Díaz Caballero, Gregory Yens.



## **CAPITULO I.**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Perú es un país ubicado en una zona de intensa actividad sísmica, puesto que se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico, donde las edificaciones deben construirse siguiendo los criterios del diseño sismorresistente aceptando que durante su vida útil la estructura experimentará al menos un sismo de gran intensidad (sismo severo) y varios sismos de moderada y leve intensidad.

Actualmente para el diseño sísmico de edificaciones consideradas comunes (Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos) los diferentes códigos internacionales para el análisis sísmico obtienen la fuerza sísmica a través de un espectro de diseño elástico, el cual a través de un factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R$ , la cual de aquí en adelante se le mencionara como factor de reducción sísmica, hace incursionar a las estructuras en un intervalo de comportamiento inelástico (daño estructural) sin llegar al colapso - Estructura (nivel de desempeño: seguridad de vida).

Sin embargo, el factor de reducción sísmica varía en los diferentes códigos sísmicos internacionales. Por ejemplo, en los códigos sudamericanos, para un sistema estructural regular de pórticos de concreto armado, la Norma chilena (Nch 433) toma valores desde 7 a 11 (de acuerdo al tipo de análisis sísmico, al periodo del suelo y de la estructura), la Norma colombiana (NSR-10) toma un valor de 7, la Norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015 toma un valor de 10 y Norma peruana E-030-2018 toma un valor de 8.

La norma peruana E.030-2018, en concordancia con códigos internacionales como por ejemplo el FEMA 440 y el ASCE/SEI 41-13, para edificaciones de

importancia común permite un nivel de desempeño de seguridad de vida, en el cual se aceptan daños importantes debido a sismos severos sin llegar al colapso.

Adicionalmente a esto, en la norma peruana E.030-2018, el factor de reducción sísmica para pórticos de concreto armado es igual 8, ya sea para edificaciones que se encuentren ubicadas en zonas que tengan gran demanda sísmica (zona 4, suelo S3) así como como aquellas ubicadas en zonas donde la demanda sísmica es mínima (zona 1, suelo S1), y no da mayor información sobre ello. Generando esto una incertidumbre en el proceso de diseño de una edificación, puesto que estuviéramos sobreestimando o subestimando la acción sísmica por una inadecuada selección del factor de reducción sísmica.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General**

¿De qué manera el nivel de peligro sísmico influye en el factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Cuál es el valor para un sismo severo en tipo de suelo muy rígido del factor de reducción sísmica para estructuras aporticadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú mediante un análisis estático no lineal?
- b) ¿Cuál es el valor para un sismo severo en tipo de suelo blando del factor de reducción sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú mediante un análisis estático no lineal?
- c) ¿Qué nivel de desempeño se obtiene al aplicar el factor de reducción sísmica de acuerdo a lo indicado en la norma E.030-2018?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1. Práctica o Social**

Mediante la presente investigación se pretende dar a conocer a los profesionales encargados del diseño estructural de edificaciones la parte cuantitativa del factor de reducción de las fuerzas sísmicas, con resultados de como el nivel de peligro sísmico influye en la obtención del factor de reducción sísmica mediante un análisis estático no lineal, para así llegar al objetivo general que es determinar la influencia del nivel de peligro sísmico

en la obtención del factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado.

### 1.3.2. Metodológica

Se justifica metodológicamente debido a que propone desarrollar un método para evaluar el factor de reducción sísmica con respecto al nivel de peligro sísmico en el Perú, siguiendo un procesamiento de datos con el programa computacional Etabs en su versión 16.2.1 y aplicando las normas peruanas E.020 “Cargas”, E.030 “Diseño sismorresistente”, E.060 “Concreto armado” y códigos internacionales como el Visión 2000, Fema 440 y el Asce/Sei 41-13. La metodología utilizada servirá para investigaciones análogas y con aplicación a diferentes temas de investigación en el campo de la ingeniería estructural.

## 1.4. DELIMITACIONES

### 1.4.1. Espacial

La presente investigación se desarrolla en territorio peruano, el cual evaluara edificaciones apoyadas en suelos muy rígidos (S1) y suelos blandos (S3) ubicadas en las 4 diferentes zonas sísmicas del Perú, de acuerdo al peligro sísmico indicado en la norma Sismorresistente E.030-2018 vigente.

*Figura 1: Mapa de zonificación sísmica del Perú*



**Fuente:** Norma técnica E.030-2018 “Diseño sismorresistente”

#### **1.4.2. Temporal**

El trabajo de investigación es llevado a cabo entre los meses de marzo a julio del año 2019.

#### **1.4.3. Económica**

La presente tesis es financiada en su totalidad por el tesista, quien corrió con los gastos en su totalidad.

### **1.5. LIMITACIONES**

La poca información bibliográfica en idioma español, al utilizar la metodología del diseño por desempeño, solo se encuentra información bibliográfica en idioma inglés.

### **1.6. OBJETIVOS**

#### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del nivel de peligro sísmico en la obtención del factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporricadas de concreto armado.

#### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar el valor para un sismo severo en tipo de suelo muy rígido del factor de reducción sísmica para estructuras aporricadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú análisis estático no lineal.
- b) Determinar el valor para un sismo severo en tipo de suelo blando del factor de reducción sísmica en estructuras aporricadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú mediante un análisis estático no lineal.
- c) Identificar qué nivel de desempeño se obtiene al aplicar el factor de reducción sísmica de acuerdo a lo indicado en la norma E.030-2018.

## **CAPITULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

##### **2.1.1. Nacionales**

Roncal (2017), en su tesis de pregrado titulada “Determinación del peligro sísmico en el territorio nacional y elaboración de aplicativo web” sustentada en la Universidad Nacional de Ingeniería, tuvo como objetivo general Hallar el nivel del peligro sísmico sobre el territorio peruano a través el método probabilístico empleando una data sísmica actualizada al año 2016 y el modelo de G-R considerando el método de ajuste de máxima verosimilitud en un suelo tipo roca dura para así poder compararlos con los espectros de diseño que están establecidos en la norma técnica de edificación E030. Las conclusiones fueron las siguientes: a) Las mayores aceleraciones horizontales PGA se presentan en el borde costero del territorio nacional encontrándose valores de aceleración de 0.49g en Piura; 0.43 g en Lima y Áncash; 0.56 g en Ica; y 0.50 g en Arequipa, Moquegua y Tacna evaluados para 10 % de excedencia en 50 años. b) La morfología de distribución de las isolíneas en los mapas de isoaceleraciones espectrales son muy similares para los diversos periodos de retorno evaluados: 100, 145, 475, 1000, 2475 y 5000 años. c) El mapa de isoaceleraciones hallados para un PGA máximo y 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años proporciona aceleraciones de gran similitud con los estudios obtenidos por el IGP, dando valores de aceleración levemente mayores a las del IGP en casi todo el territorio nacional a excepción de la zona nor-central del Perú (zona de Moyobamba) en la que el mapa del IGP da aceleraciones levemente mayores.

Huapaya (2016), en su tesis de pregrado titulada “Evaluación de los indicadores de comportamiento sísmico de edificios con sistema aporticado a través del método estático no lineal” sustentada en la Universidad Ricardo Palma, tuvo como objetivo general medir la sobrerresistencia y la ductilidad para edificios con sistema estructural de pórticos a través del método estático no lineal y de esta manera poder comparar la capacidad de estos con lo que se menciona en la norma técnica de edificación E.030. Las conclusiones fueron las siguientes: a) La sobrerresistencia depende del periodo fundamental de la estructura. A medida que esta aumenta, el valor de la sobre resistencia también aumenta. b) el valor de la ductilidad depende del periodo fundamental de la estructura; cuando el periodo fundamental aumenta, la ductilidad disminuye. c) El espectro de capacidad de las estructuras analizadas es superior al espectro de diseño que se menciona la norma E030.

Asmat (2016), en su tesis de pregrado titulada “Disposiciones sísmicas de diseño y análisis en base a desempeño aplicables a edificaciones de concreto armado” sustentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú, tuvo como objetivo general ofrecer una herramienta de análisis y diseño aplicables a edificaciones de concreto armado que garantice un comportamiento inelástico adecuado de manera que se cumpla con el nivel de desempeño deseado. Las conclusiones fueron las siguientes: a) Las edificaciones con configuraciones sencillas y regulares pueden ser comparadas con otras configuraciones similares, para obtener información sobre su comportamiento estructural y su respuesta sísmica. b) Los códigos y normas técnicas de edificación para el diseño en concreto armado ofrecen disposiciones que permiten a los elementos estructurales ser capaces de no sufrir grandes daños durante un sísmico severo. c) Si bien el análisis lineal elástico, con cargas amplificadas, es el procedimiento convencional debido a su sencillez y la buena aproximación de resultados, tiene algunas desventajas frente al análisis no lineal. Una de estas, es la posibilidad de identificar mecanismos plásticos o fallas frágiles en los elementos estructurales, lo cual no se puede lograr con análisis lineales.

### 2.1.2. Internacionales

Pérez (2013), en su tesis de pregrado titulada “Diseño sismo resistente por desempeño y sus efectos en el comportamiento estructural” sustentada en la Universidad Técnica de Abanto, tuvo como objetivo general Estudiar y compara el método sismo resistente por desempeño y el método sismo resistente basado en fuerzas. Las conclusiones fueron las siguientes: a) Los resultados obtenidos del análisis del comportamiento de una edificación pueden llegar a variar considerablemente en función de la normativa que se aplique, por tal, el criterio y conocimiento del ingeniero estructural será determinante al momento de interpretar los resultados. b) Se debe verificar que para el diseño de la edificación se cumpla con el criterio de columna fuerte-viga débil con el propósito de garantizar la aparición de las rotulas plásticas en las vigas y no en las columnas. c) El análisis estático no lineal (Pushover) es una alternativa muy práctica para encontrar la respuesta de una estructura ante acción sísmica en comparación con la forma de análisis actual de las diferentes normas en donde se considera que la estructura se comportará en el rango elástico y se espera daño en las estructuras presentando incoherencia en la metodología. d) El método de diseño sismo resistente basado en fuerzas presenta restricciones debido a que solo se considera un sismo severo, la cual tiene una baja probabilidad de ocurrencia, mientras que el diseño sismo resistente por desempeño toma en cuenta diferentes sismos con una probabilidad de ocurrencia alta como los Sismos Frecuentes y Ocasionales al igual que sismos de gran magnitud como el Sismo Muy Raro

Villanueva (2009), en su tesis de pregrado titulada “Diseño sísmico por desempeño aplicado a un edificio de hormigón armado” sustentada en la Universidad Austral de Chile, tuvo como objetivo general Aplicar la metodología de Diseño Sísmico Por Desempeño a una estructura de hormigón armado, compuestos con muros y marcos, para comparar los resultados con los hallados al aplicar la Norma Chilena NCh 433 Of. 96. Las conclusiones fueron las siguientes: a) Los factores de reducción de la demanda sísmica  $R_{\mu}$  obtenidos para el Sismo raro y muy raro son menores que los dados en la Nch433.Of.96, siendo el factor de reducción sísmica

obtenido para un sismo raro un 60,5% menor, para el sismo muy raro un 42,3% menor, al obtenido utilizando la Nch433.Of. 96. b) Tal como se esperaba la estructura se mantiene en el rango elástico durante la ocurrencia del Sismo Frecuente y Ocasional, e incursiona en el rango inelástico durante la ocurrencia del Sismo Rara y Muy Raro. c) Al analizar la estructura mediante un diseño por desempeño, se concluyó que aplicando la norma chilena Nch.433. Of.96, usando el método modal espectral y diseñando los elementos estructurales usando el código de diseño ACI318-05, la estructura tiene un desempeño mejor que el esperado, ya que permanecerá Operacional durante un sismo frecuente y un sismo ocasional, y proporcionará la Seguridad de Vida luego de un sismo raro y un sismo muy raro.

Aguilar (2007), en su informe de investigación titulado "Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte", tuvo como objetivo principal contribuir con la norma sísmica de Ecuador a todos los profesionales que calculan edificios en Ibero América, para que conozcan la parte cuantitativa del factor de reducción de las fuerzas sísmicas. Dando como conclusiones las siguientes: a) En algunos países no hay consistencia entre el factor R y la deriva de piso máxima permitida. En el caso del CEC-2000 el valor de la deriva de piso es demasiado alta para el valor de R asignado. b) Existe una relación entre la sobre resistencia y el desplazamiento relativo máximo de entrepiso, del mismo modo existe una relación entre la sobre resistencia y el periodo fundamental. A mayor distorsión o mayor periodo la sobre resistencia disminuye. c) A mayor ductilidad por curvatura, en vigas y columnas mayor es el factor de redundancia. d) La distorsión máxima de piso permitida presenta una relación con el factor de reducción de las fuerzas sísmicas. Al igual que el tipo de suelo, el periodo - Estructura y la ductilidad.



## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. Análisis sísmico de estructuras

El análisis sísmico en una estructura es de gran importancia, puesto que ayuda a garantizar un buen comportamiento - Estructura ante eventos sísmicos. Comprender el comportamiento estructural es fundamental en el campo de la ingeniería estructural, ya que permite caracterizar de manera más racional el nivel de daño que pueda presentar una estructura frente a un evento sísmico.

En nuestro país, el artículo 3 “Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente” de la norma E.030 “Diseño Sismorresistente”, describe que la filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

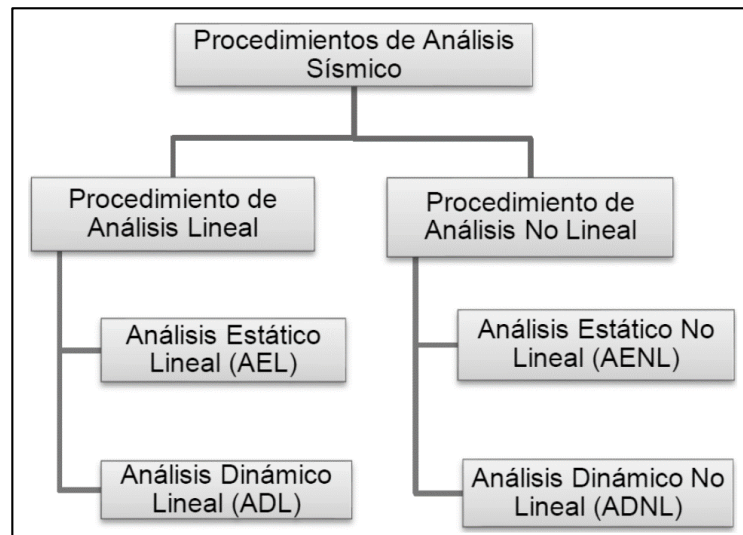
- “Evitar pérdidas de vidas humanas”.
- “Asegurar la continuidad de los servicios básicos”.
- “Minimizar los daños a la propiedad”.

De acuerdo a esta filosofía se establecen los siguientes principios:

- “La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes debido a movimientos sísmicos calificados como severos”.
- “La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables”.
- “Las edificaciones esenciales, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo”.

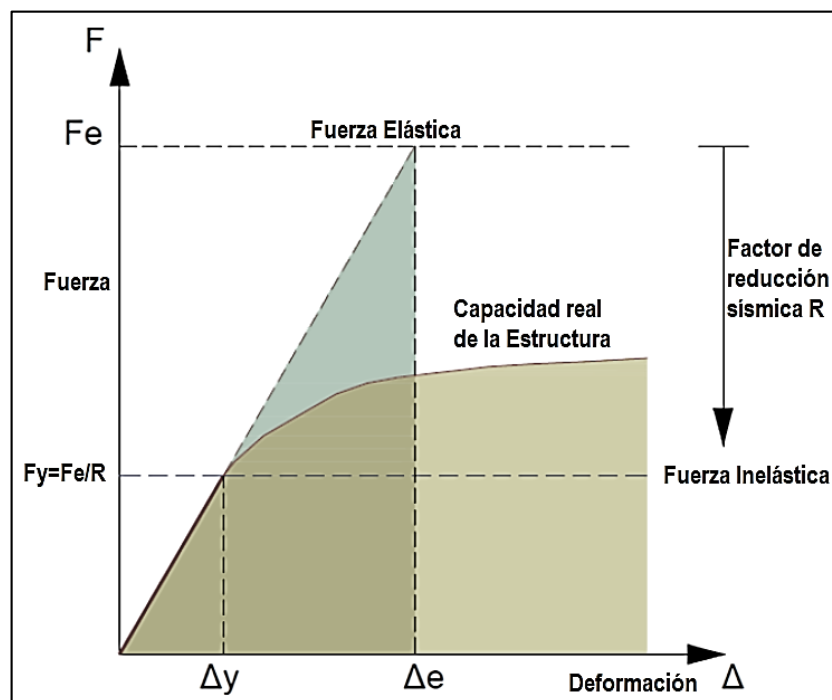
Para el análisis sísmico de edificaciones, existen varios procedimientos, los cuales pueden ser lineales o no lineales, los cuales a su vez pueden ser estáticos o dinámicos.

En la mayoría de códigos sismorresistente internacionales, el análisis sísmico está basado en procedimientos lineales elásticos ya que es un procedimiento de sencilla aplicación.

**Figura 2:** Procedimientos de análisis sísmico

**Fuente:** ASCE 41-13

Los códigos sismorresistentes definen la acción sísmica a través de un espectro de respuesta elástico y define un espectro de diseño inelástico, el cual considera un factor de reducción sísmica, conocido como  $R$ , que depende directamente del sistema estructural.

**Figura 3:** Diagrama de fuerza deformación

**Fuente:** Propia

En un análisis lineal la rigidez y el amortiguamiento son constantes, no varían con el tiempo. Los desplazamientos, esfuerzos, reacciones, son directamente proporcionales a la magnitud de las fuerzas aplicadas.

En Perú, de acuerdo al art. 27 “Procedimientos de análisis sísmico” de la norma E.030, Indica que para el análisis sísmico se hace considerando un comportamiento lineal y elástico, mediante los siguientes:

- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes.
- Análisis dinámico modal espectral.

En la presente tesis se utilizará el análisis sísmico dinámico modal espectral para el diseño de las estructuras.

### **2.2.1.1. Análisis sísmico dinámico modal espectral**

Esta metodología supone que la respuesta dinámica de una estructura puede ser estimada a partir de la respuesta independiente de cada modo natural de vibración usando el espectro de respuesta elástico lineal.

En el art. 29 “Análisis dinámico modal espectral” de la norma E.030 indica “cualquier estructura puede ser diseñada usando este tipo de análisis sísmico”. Para este tipo de análisis la norma E.030 tiene en cuenta lo siguiente:

#### **A. Estimación del Peso**

De acuerdo a la norma E.030, “el peso de una estructura se calcula adicionando a la carga muerta (permanente) un porcentaje de la carga viva que se determina de la siguiente manera”:

- “En edificaciones esenciales e importantes (A y B), se considera el 50% de la carga viva”.
- “En edificaciones comunes (C), se considera el 25% de la carga viva”.
- “En techos y azoteas en general se considera el 25% de la carga viva”

#### **B. Análisis modal**

Se realiza el análisis modal independientemente de las cargas que actúan sobre las estructuras, y depende de la rigidez y ubicación de los elementos estructurales que conforman la edificación.

El artículo 29.1 “Modos de vibración” de la norma E.030, indica que “en cada dirección se consideraran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total”.

### C. Aceleración espectral

De acuerdo al art. 29.2 “Aceleración espectral” de la norma E.030, el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones está definido por:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

Donde:

- Z : Factor de zona
- U : Factor de uso (Categoría de la edificación)
- C : Factor de amplificación sísmica
- S : Factor de suelo
- R : Factor de reducción de las fuerzas sísmicas
- g : Gravedad

### Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R_0$ )

*Tabla 1. Sistema estructural*

Sistema	$R_0$	Material
Pórticos de Concreto Armado	8.00	
Dual	7.00	Concreto
Muros Estructurales	6.00	armado
Muros de ductilidad limitada	4.00	
Albañilería Confinada	3.00	Albañilería
Albañilería Armada	3.00	
Pórticos SMF	8.00	Acero
Pórticos IMF	5.00	
Pórticos OMF	4.00	
Pórticos SCBF	7.00	
Pórticos OCBF	4.00	
Pórticos EBF	8.00	

*Fuente: Norma E.030*

### Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R)

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, de acuerdo al art. 23 “Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas”, de la norma E.030, se determina con la siguiente expresión:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

Donde:

$R_0$ : Coeficiente básico de Reducción de las fuerzas sísmicas.

$I_a$ : Factor de irregularidad en altura.

$I_p$ : Factor de irregularidad en planta.

**Tabla 2.** Irregularidades en altura

Irregularidad	$I_a$
De Rigidez	0.75
De extrema de Rigidez	0.50
De Masa	0.90
De Geometría Vertical	0.90
Discontinuidad en los S.R	0.80
Discontinuidad extrema en los S.R.	0.60
No Presenta Irregularidad	1.00

**Fuente:** Norma E.030

**Tabla 3.** Irregularidades en planta

Irregularidad	$I_p$
Torsional	0.75
Torsional Extrema	0.60
Esquinas Entrantes	0.90
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no Paralelos	0.90
No Presenta Irregularidad	1.00

**Fuente:** Norma E.030

#### D. Fuerza cortante mínima

De acuerdo al art. 29.2 “Fuerza cortante mínima” de la norma E.030, “Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado en el análisis estático para estructuras regulares ni menor que el 90% para estructuras irregulares”.

De no cumplirse esta condición, será necesario escalar el cortante dinámico para cumplir con lo señalado para el diseño estructural, sin considerar este aumento para la verificación de los desplazamientos.

## E. Desplazamientos laterales y derivas admisibles

De acuerdo al art. 31 “Determinación de desplazamientos laterales” de la norma E.030, “Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75R, los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico”.

Las derivas máximas permisibles según la norma E.030 no deberán ser mayores a lo indicado en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Límites para la deriva de entrepiso

Material Predominante	$(\Delta_i / h_{ei})$
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.01

*Fuente: Norma E.030*

## 2.2.2. Diseño estructural de pórticos en concreto armado

### 2.2.2.1. Metodología de diseño en C.A.

De acuerdo a la norma E.060 “Concreto armado” Todos los elementos de C.A. se diseñarán mediante el método de “Diseño por Resistencia”, el cual consiste amplificar las cargas de servicio y reducir la resistencia nominal en la sección del elemento, mediante factores de amplificación y reducción respectivamente.

El artículo 9.2 “Resistencia requerida” de la norma E.060. Indica las combinaciones que dependen del tipo de carga actuante: Carga Viva (CV), Carga Muerta (CM) y Carga de Sismo (CS).

**Tabla 5.** Combinaciones de diseño de concreto armado

Combinaciones
1.4CM+1.7CV
1.25 (CM+CV) + CS
1.25 (CM+CV) - CS
09CM + CS
09CM - CS

*Fuente: Norma técnica peruana E-060*

El artículo 9.3 “Resistencia” de la norma E.060, menciona los siguientes coeficientes de reducción:

**Tabla 6.** Coeficientes de reducción

Descripción	$\Phi$
Flexión sin carga axial	0.90
Carga axial y carga axial con flexión	
a. Carga axial de tracción con o sin flexión	0.90
b. Carga axial de compresión con o sin flexión	
Elementos con refuerzo en espiral	0.75
Otros elementos	0.70
Cortante y torsión	0.85
Aplastamiento en el concreto	0.70
Zonas de anclaje de postensado	0.85

*Fuente: Norma E-060*

#### **2.2.2.2. Conceptos de diseño de elementos de C.A.**

La presente tesis al tratarse de pórticos de concreto armado, se enfoca solamente en el diseño por flexión, corte (Vigas) y flexo compresión (Columnas). Por tal, es conveniente conocer las suposiciones que se utiliza para el cálculo de la resistencia en secciones a flexión y carga axial

En el art. 10.2 “Hipótesis de Diseño”, de la norma E.060, se indica:

- “Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro”.
- “La máxima deformación unitaria utilizable del concreto,  $\epsilon_{cu}$ , en la fibra extrema sometida a compresión, se asumirá igual a 0,003”.
- “El esfuerzo en el refuerzo deberá tomarse como  $E_s$  veces la deformación unitaria del acero”.
- “La resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión”.
- “La relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria del concreto se debe suponer rectangular equivalente de esfuerzos de concreto”.

- “Un esfuerzo en el concreto de  $0,85 f'c$  uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal del elemento y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia  $a = \beta_1 \cdot c$  de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión”.
- “La distancia desde la fibra de deformación unitaria máxima en compresión al eje neutro,  $c$ , se debe medir en dirección perpendicular al eje neutro”.
- “Para  $f'c$  entre  $175 \text{ kg/cm}^2$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$ , el factor  $\beta_1$  se debe tomar como  $0,85$ . Para  $f'c$  mayor o igual a  $560 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\beta_1$  se debe tomar como  $0,65$ . Para  $f'c$  entre  $280 \text{ kg/cm}^2$  y  $560 \text{ kg/cm}^2$  se debe interpolar linealmente entre  $0,85$  y  $0,65$ ”.

### A. Diseño a Flexión

Para el diseño a flexión, en general, las secciones de concreto armado deberán cumplir con lo siguiente:

$$\phi M_n \geq M_u$$

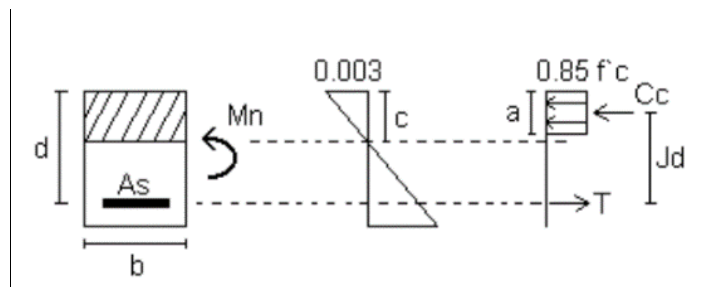
Para el diseño a flexión, en general, las secciones de concreto armado deberán cumplir con lo siguiente:

Donde:

- $M_n$  : Resistencia nominal a flexión.
- $M_u$  : Momento actuante, obtenido de las combinaciones.
- $\phi$  : Factor de reducción a flexión  $0.90$ .

Para secciones simplemente armadas, la resistencia se determina de la siguiente manera:

**Figura 4.** Distribución de esfuerzos en compresión



**Fuente:** Morales R (2005)



$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Resolviendo las ecuaciones, para el cálculo del área de acero de refuerzo en vigas por flexión se tiene:

$$A_s = \frac{0,85 f'_c b d}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{0,85 \phi f'_c b d^2}} \right]$$

Donde:

- $M_u$  : Momento actuante último.
- $A_s$  : Área de acero requerido por flexión
- $f'_c$  : Resistencia del concreto a la compresión
- $f_y$  : Resistencia a la fluencia del acero
- $b$  : Ancho de la sección
- $d$  : Peralte efectivo de la sección
- $\phi$  : Factor de reducción a flexión 0.90

## B. Diseño por corte

Para el diseño a corte, en general, las secciones de concreto armado deberán cumplir con lo siguiente:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Donde:

- $V_n$  : Resistencia nominal a corte.
- $V_u$  : Cortante actuante, obtenido de las combinaciones.
- $\phi$  : Factor de reducción a corte 0.85.

La resistencia nominal a corte será la suma de la resistencia al corte del concreto ( $V_c$ ) y del acero de refuerzo transversal ( $V_s$ ). Es decir:

$$V_n = V_c + V_s$$

La resistencia al corte del concreto y del acero se obtiene de la siguiente:

$$V_c = \phi \cdot 0,53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

Donde:

- $A_v$  : Área de acero del refuerzo por corte

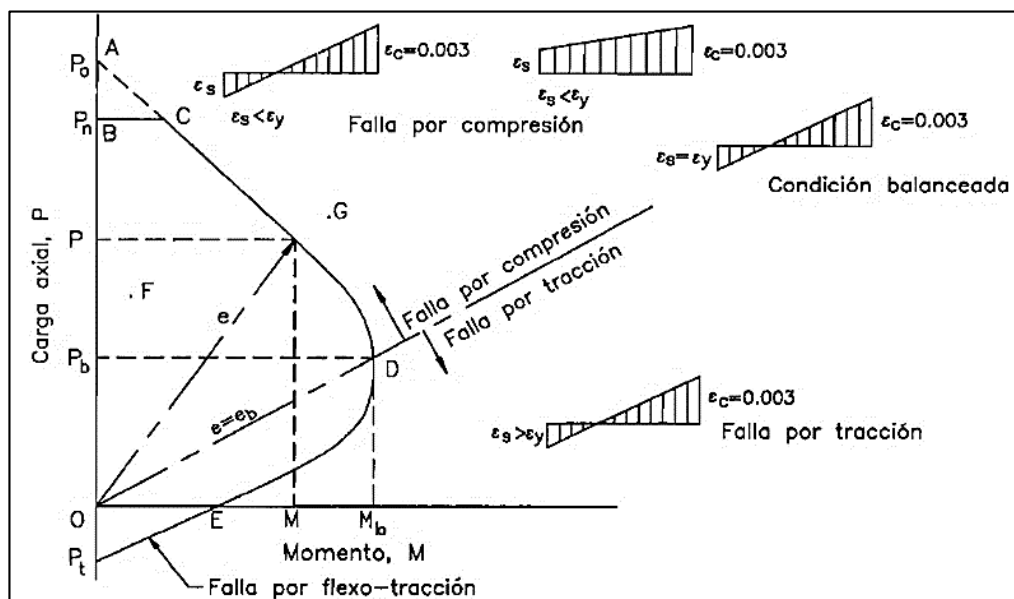
- $f_c$  : Resistencia del concreto a la compresión
- $f_y$  : Resistencia a la fluencia del acero
- $b$  : Ancho de la sección
- $d$  : Peralte efectivo de la sección
- $s$  : Espaciamiento de estribos

### C. Diseño a flexo-compresión

Para el diseño a flexo compresión se considera lo siguiente:

- Para cada combinación de cargas amplificadas, se considera que la carga axial ( $P_u$ ) y la flexión ( $M_u$ ) ocurren simultáneamente.
- Se construye el diagrama de interacciones para determinar que las combinaciones de fuerzas se encuentren dentro de la región aceptable de este diagrama.

Figura 5. Diagrama de interacción de una sección rectangular



Fuente: Diseño de estructuras de C.A, Harmsen T(2002)

De la figura mostrada se tiene los siguientes puntos:

- Punto A. (Compresión pura): Corresponde cuando la sección no está sometida a flexión. La norma restringe el valor máximo a  $0.8\phi P_o$ , ya que la flexión siempre está presente al aplicar carga axial.
- Punto D (Falla Balanceada): Representa la combinación de carga y momento que define la condición balanceada.
- Punto E (Flexión pura): No presenta carga axial.

### 2.2.2.3. Diseño de pórticos de concreto armado.

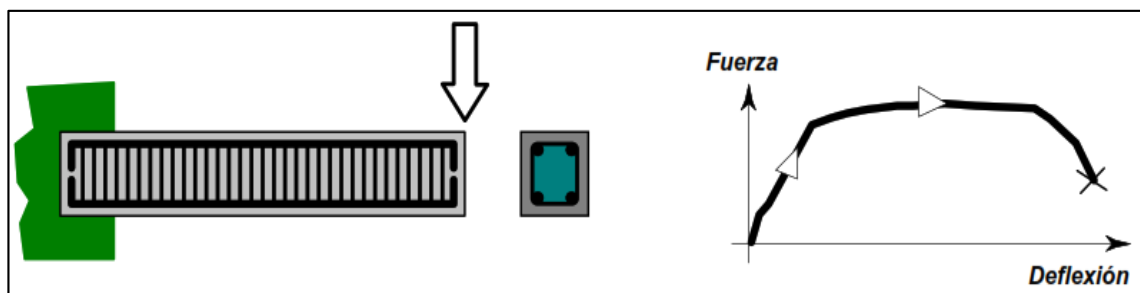
Para edificaciones con sistema estructural de pórticos de concreto armado, ante un evento sísmico se espera que:

- Se produzcan daños en vigas y no en columnas. Criterio de columna fuerte - viga débil.
- Se produzcan daños en lugares visibles, donde sea posible la reparación y reforzamiento después de un sismo de diseño (severo). Criterio de nudo fuerte – viga débil.
- Se produzcan daños en los elementos estructurales por flexión y no por corte. Por tal, la fuerza a corte de las vigas y columnas se obtiene a partir de la máxima capacidad a flexión del elemento.

El código ACI 318-14 y el ASCE/SEI 7-16, clasifican a los sistemas de pórticos de concreto armado en:

- **Pórticos especiales a momento:** Son pórticos diseñados con capacidad de incursionar en el rango inelástico, con una ductilidad y disipación de energía elevada, la cual requiere un estricto control de fallas frágiles, presentando un detallado sismorresistente más exigente de acuerdo a la norma. Se utilizan en zonas de alta sismicidad.

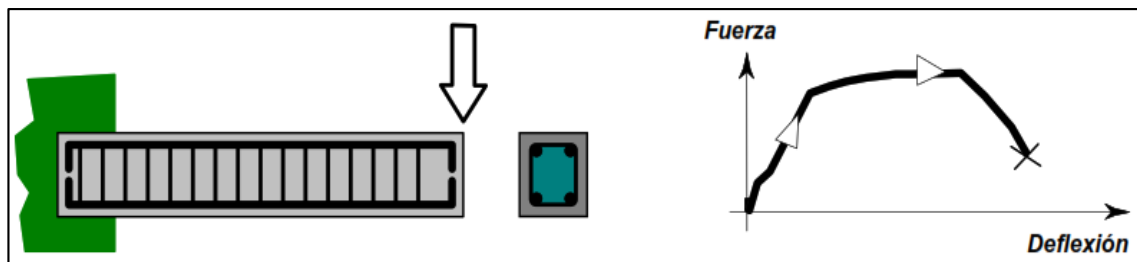
**Figura 6.** Capacidad especial de disipación de energía



*Fuente: Reglamento colombiano NSR-10*

- **Pórticos intermedios a momento:** Son pórticos diseñados con capacidad de incursionar en el rango inelástico, con una ductilidad y disipación de energía moderada, la cual requiere limitar la generación de fallas frágiles, presentando un detallado sismorresistente considerable de acuerdo a la norma. Se utilizan en zonas de moderada sismicidad.

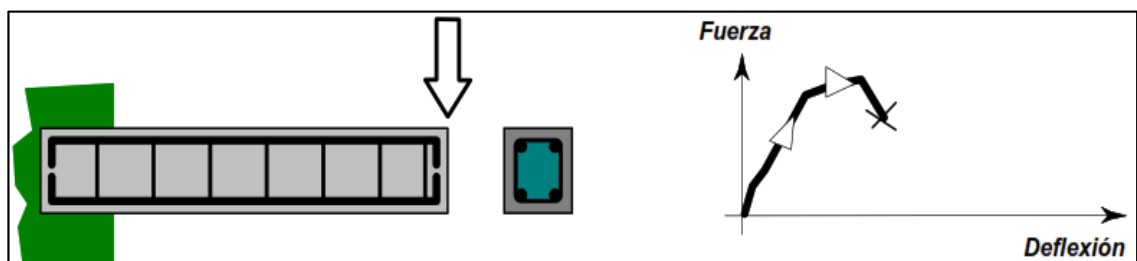
Figura 7. Capacidad moderada de disipación de energía



Fuente: Reglamento colombiano NSR-10

- **Pórticos ordinarios a momento:** Son pórticos diseñados para que tengan un comportamiento elástico, con una capacidad limitada de incursionar en el rango inelástico y disipar energía. El detallado es de manera convencional sin exigencias sísmicas. Se utilizan en zonas de baja sismicidad.

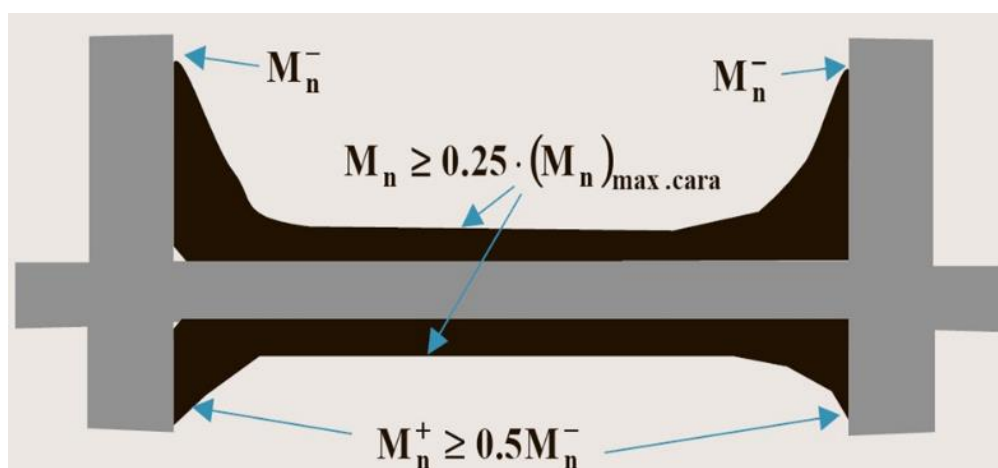
Figura 8. Capacidad mínima de disipación de energía



Fuente: Reglamento colombiano NSR-10

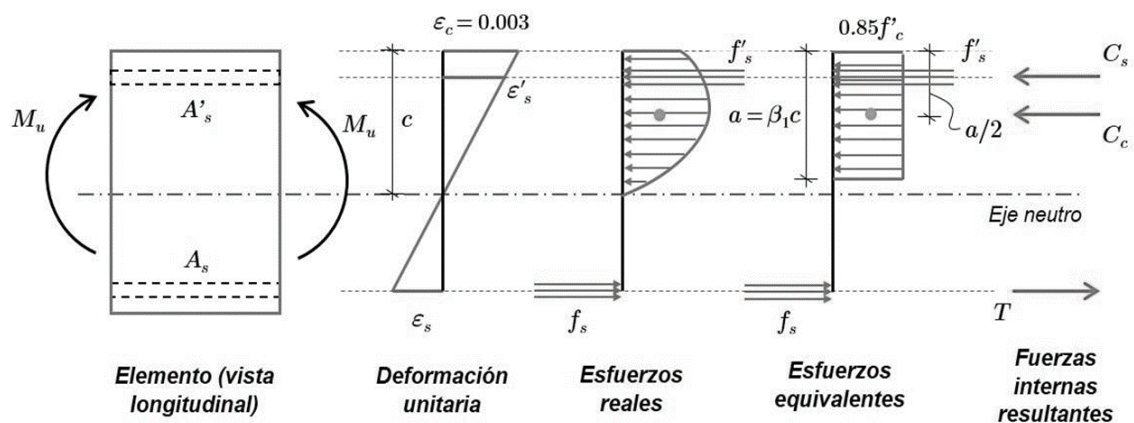
## A. Consideraciones para el diseño de pórticos especiales a momento

### A.1. Demanda de acero de refuerzo por flexión en vigas

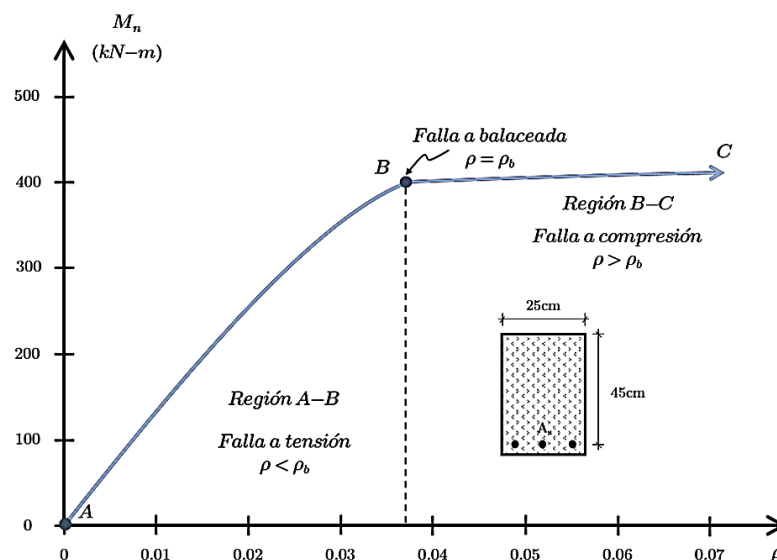


En vigas, la resistencia a momento positivo en la cara del nudo no debe ser menor que la mitad (1/2) de la resistencia a momento negativo dada en esa misma cara. La resistencia a momento negativo o positivo, en cualquier sección a lo largo de la longitud de la viga, debe ser al menos igual a un cuarto (1/4) de la resistencia máxima a momento proporcionada en la cara de cualquiera de los nudos.

El acero de refuerzo a compresión permite que el acero de refuerzo a tracción desarrolle una mayor deformación antes de que el concreto alcance su agotamiento, al obtener una menor profundidad del eje neutro "c" producto del equilibrio de fuerzas de tracción y compresión ( $T = C$ ). De esta forma, la sección se hace más dúctil sin incrementar de forma considerable su resistencia a flexión



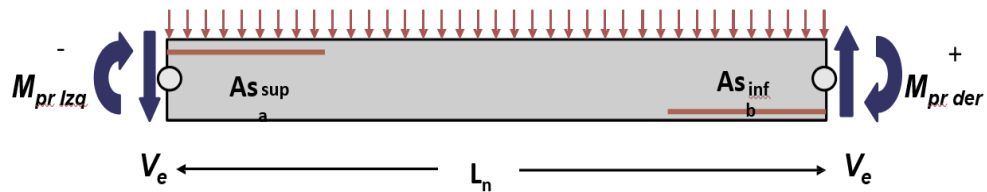
Se debe controlar la cuantía del acero a tracción de sección sub-reforzada para propiciar una falla a flexión y un comportamiento dúctil.



## A.2. Demanda de acero de refuerzo por corte en vigas.

La fuerza cortante de diseño ( $V_e$ ), se determina a partir de las fuerzas estáticas entre las caras del nodo.

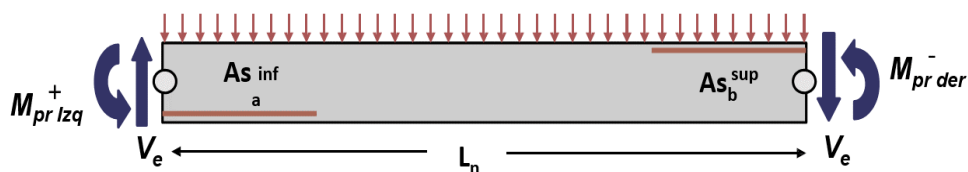
### Caso 1



$$V_e = V_p + V_g$$

$$V_e = \left[ \frac{M_{pr\ lzq}^- + M_{pr\ Der}^+}{L_n} \right] + \left[ \frac{W_u L_n}{2} \right]$$

### Caso 2

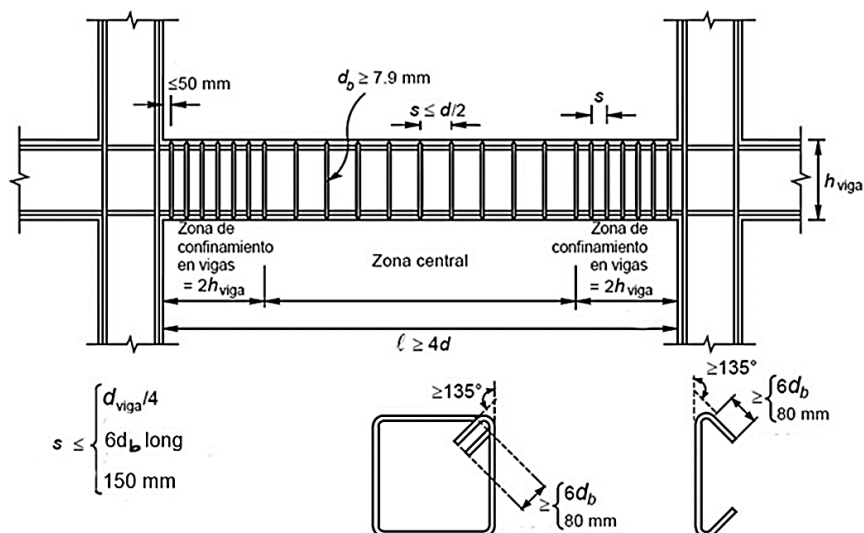


$$V_e = V_p + V_g$$

$$V_e = \left[ \frac{M_{pr\ lzq}^+ + M_{pr\ Der}^-}{L_n} \right] + \left[ \frac{W_u L_n}{2} \right]$$

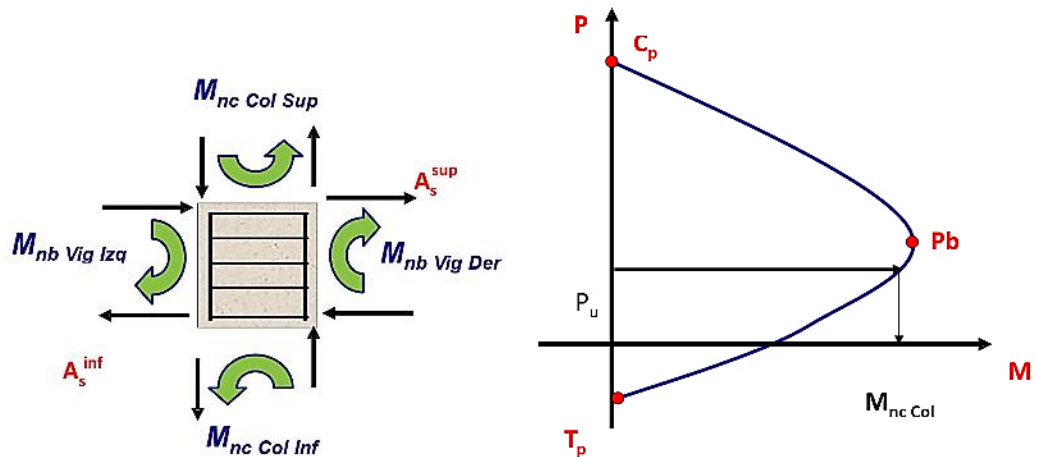
Los momentos máximos en vigas se determinan con el acero a flexión real proporcionado en la cara de la columna.

**Figura 9.** Disposición del refuerzo por corte y confinamiento en vigas

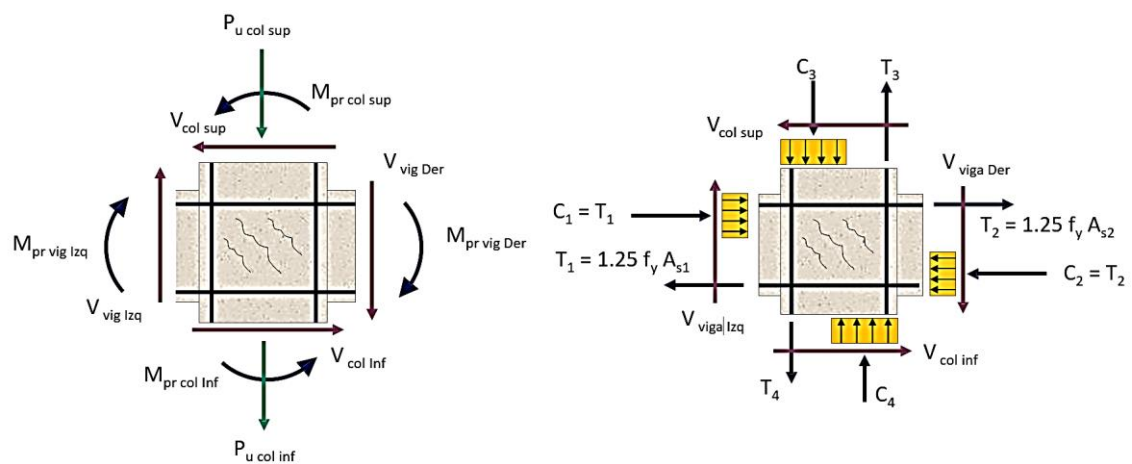


### A.3. Resistencia mínima a flexión en columnas

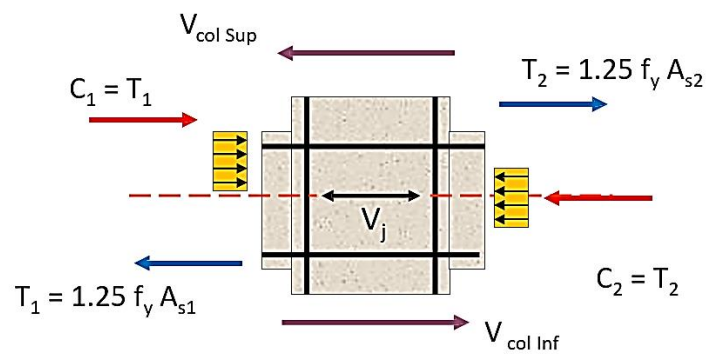
Se garantiza que se cumpla la condición de columna fuerte-viga débil, a través de la sumatoria de los momentos máximos probables que ocurren en las caras del nudo.



### A.4. Equilibrio de fuerzas externas en nudos



### A.4. Equilibrio de fuerzas externas en nudos



$$V_j = \begin{cases} V_{j1} = C_1 + T_2 - V_{\text{col sup}} = 1.25 (A_{s1} + A_{s2}) f_y - V_{\text{col sup}} \\ V_{j2} = C_2 + T_1 - V_{\text{col inf}} = 1.25 (A_{s1} + A_{s2}) f_y - V_{\text{col inf}} \end{cases}$$

Para Nodos Confinados en las 4 caras  $\longrightarrow V_c = 5,3 \sqrt{f'_c} A_j$

Para Nodos Confinados en 3 caras o en 2 caras opuestas  $\longrightarrow V_c = 4,0 \sqrt{f'_c} A_j$

Para Nodos No Confinados  $\longrightarrow V_c = 3,2 \sqrt{f'_c} A_j$

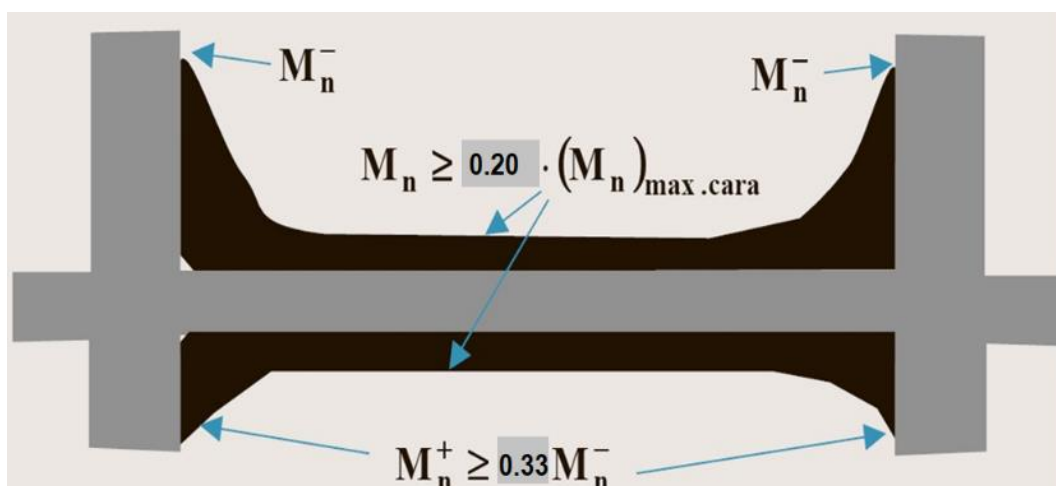
Donde

$A_j$ : Área horizontal efectiva de la sección transversal en un plano paralelo al acero de refuerzo que genera el corte en el nudo-

## B. Consideraciones para el diseño de pórticos intermedios a momento

Los pórticos intermedios a momento se diseñan siguiendo los mismos requisitos dispuestos para los pórticos especiales a momento, pero con una exigencia menor de ductilidad, la cual se podría calificar como MODERADA.

Para una ductilidad moderada, se tiene en vigas que la resistencia a momento positivo en la cara del nudo no debe ser menor que la mitad (1/3) de la resistencia a momento negativo dada en esa misma cara. La resistencia a momento negativo o positivo, en cualquier sección a lo largo de la longitud de la viga, debe ser al menos igual a un cuarto (1/5) de la resistencia máxima a momento proporcionada en la cara de cualquiera de los nudos.



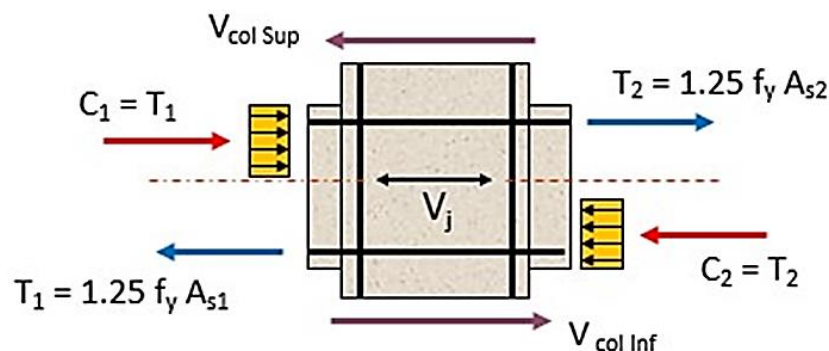


Se reduce la demanda de corte por capacidad debido a que disminuye la sumatoria de momentos máximos probables en vigas en la cara de la columna. Esto trae como consecuencia la posibilidad de disponer de menor cantidad de acero transversal, siempre y cuando, se cumplan los requisitos de confinamiento.

Se hace menos exigente cumplir con la condición de columna fuerte-viga débil expresada a través de la relación de momentos en el nudo, debido a que se tiene una menor capacidad a flexión en vigas.

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb}$$

Se reduce la demanda por corte en el nudo.



$$V_j = \begin{cases} V_{j1} = C_1 + T_2 - V_{col\ sup} = 1.25 (A_{s1} + A_{s2}) f_y - V_{col\ sup} \\ V_{j2} = C_2 + T_1 - V_{col\ inf} = 1.25 (A_{s1} + A_{s2}) f_y - V_{col\ inf} \end{cases}$$

### C. Consideraciones para el diseño de pórticos ordinarios a momento

Los pórticos ordinarios a momento se diseñan sin requisitos de ductilidad, por lo tanto, no hay disposiciones particulares para el control de las posibles fallas frágiles, ya que no se espera que los mismos tengan incursión inelástica, sino que resistan en su rango elástico.

Se realiza el diseño convencional conforme a los diagramas de momento, corte y fuerza axial ante las cargas amplificadas.

No aplica el diseño por capacidad, por lo tanto, no se requiere cumplir con la condición de columna fuerte-viga débil a través de la sumatoria de

momentos en los nudos, y tampoco se requiere verificar la relación demanda/capacidad por corte en dichos nudos

### 2.2.3. Capacidad estructural

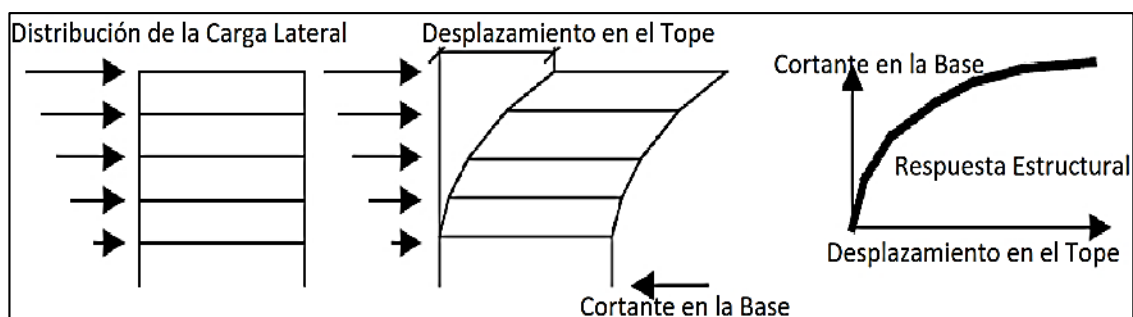
La capacidad estructural de una edificación depende de la resistencia y deformación máxima de elementos estructurales en forma individual.

Para determinar la capacidad total de una estructura (Curva de capacidad), más allá del rango elástico, se utiliza el análisis no lineal. Para obtener la capacidad de las estructuras en la presente tesis, se utilizó un análisis estático no lineal (Pushover), el cual se establece la aplicación de un patrón de carga lateral monótonicamente creciente, hasta alcanzar un desplazamiento máximo definido en el tope, o bien, el colapso de la estructura.

#### 2.2.3.1. Análisis estático no lineal.

Consiste en aplicar una distribución vertical de carga lateral a la estructura (en el que se incorpora directamente la no linealidad de los materiales), la cual debe incrementarse monótonamente hasta que la estructura alcance un desplazamiento esperado. La relación que existe entre la carga incrementada aplicada a la estructura y el desplazamiento que se genera en el tope de la estructura, se representa por medio de la curva de capacidad.

**Figura 10.** Análisis estático no lineal pushover



*Fuente: Diseño por desempeño - Disepro*

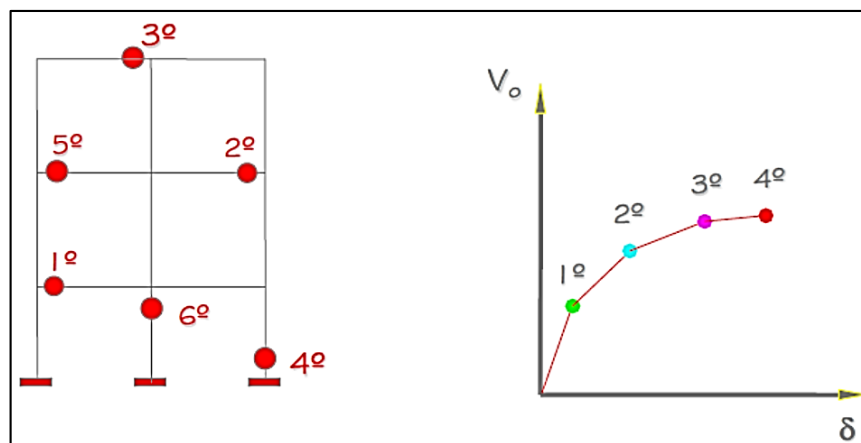
El análisis estático no lineal de carga incremental asume que los múltiples grados de libertad - Estructura están directamente relacionados a la respuesta sísmica de un sistema equivalente de un grado de libertad con características de histéresis apropiadas.

Debido a la constante aplicación de las cargas laterales, la estructura se ira dañando, de manera que existirá un cambio en la rigidez del elemento dañado. Al principio la estructura comienza con una respuesta elástica asociada a la rigidez inicial, con el incremento de las fuerzas los elementos superan su cedencia, se produce una reducción de la rigidez y con ello, dicha estructura consigue incursionar en el rango inelástico

El cambio de rigidez se realiza en función del diagrama momento curvatura de los elementos estructurales, el cual se calcula para cada incremento de carga, y la rigidez se evalúa de acuerdo al modelo de plasticidad adoptado.

A cada elemento estructural se le asignan rotulas plásticas en función a su tipo de falla posible a dar, estas rotulas indican cuál es su capacidad cedente y ultima en términos de curvaturas, rotaciones o desplazamiento según el tipo de sollicitación.

**Figura 11.** Rotulas plásticas



**Fuente:** Análisis estático no lineal - CCIP

Para el análisis estático no lineal se tiene el siguiente procedimiento:

#### A. Carga Gravitacional

Para la carga gravitacional el ASCE 41-13, para procedimientos de análisis no lineal, considera lo siguiente:

$$Q_G = Q_D + Q_L$$

Donde:

- $Q_G$  : Carga gravitacional.
- $Q_D$  : Carga muerta (100%).
- $Q_L$  : Carga viva (25%).

## B. Patrón de cargas laterales

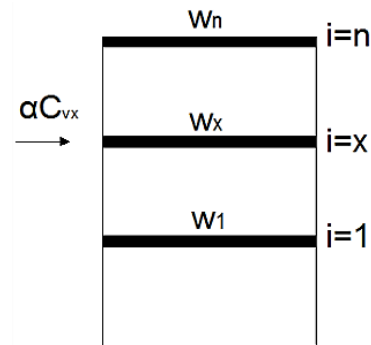
Para poder aplicar la técnica de Pushover primero se selecciona una carga lateral, para que luego sea incrementada monotónicamente.

El FEMA 440 indica que se debe ser aplicar al menos un patrón de cargas laterales de cada uno de los 2 grupos mencionados a continuación:

### B.1. Grupo 1

#### ➤ Distribución vertical de carga proporcional a los valores de $C_{vx}$

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

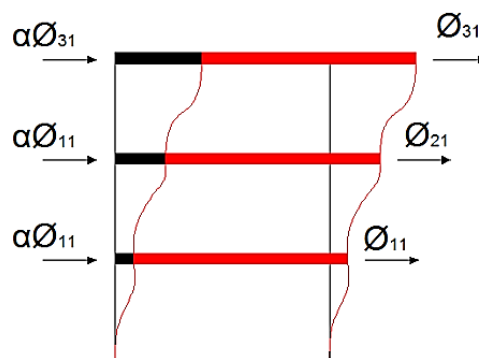


Donde:

- $C_{vx}$  : Factor de distribución vertical de carga.
- $k$  : 2.0 para  $T \geq 2.5$ seg. / 1.0 para  $T \leq 0.5$ seg.  
(Interpolación lineal en valores intermedios de  $T$ ).
- $W_x$  : Porción del peso total - Estructura en el nivel  $x$ .
- $h_x$  : Altura (en pies) desde la base hasta el nivel  $x$ .
- $W_i$  : Porción del peso total - Estructura en el nivel  $i$ .
- $h_i$  : Altura (en pies) desde la base hasta el nivel  $i$ .

Este patrón de cargas es válido, solo cuando la masa participativa del modo fundamental - Estructura en la dirección considerada, es mayor al 75%.

#### ➤ Distribución vertical proporcional a la forma del modo fundamental en la dirección considerada

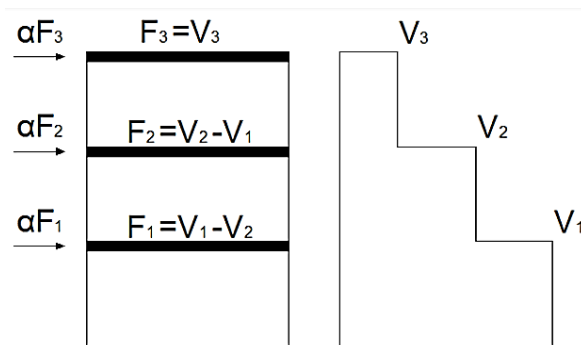


Este patrón de cargas es válido, solo cuando la masa participativa del modo fundamental - Estructura en la dirección considerada, es mayor al 75%.

➤ **Distribución vertical proporcional a la distribución de cortantes por piso.**

Calculadas combinando respuestas modales de un análisis de espectro de respuesta del edificio, incluyendo modos suficientes para capturar al menos el 90% de la masa total del edificio.

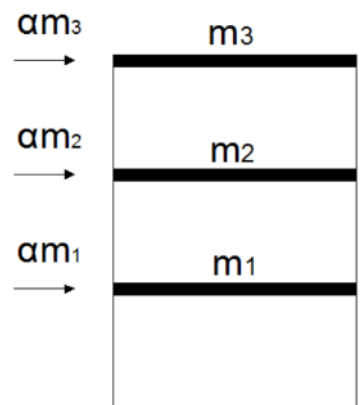
**En la presente tesis, se utilizó este patrón de cargas laterales para el análisis estático no lineal de las estructuras.**



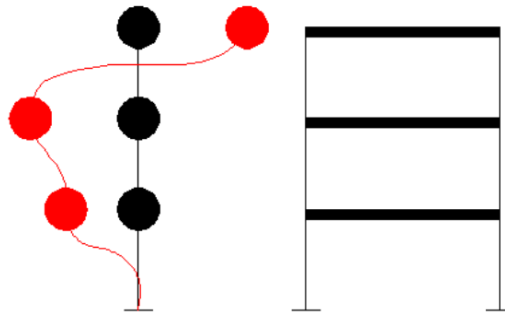
Esta distribución debe ser usado cuando el período del modo fundamental excede 1.0 segundo. Aunque también puede ser usado en estructuras en donde no cumpla que el periodo fundamental sea mayor al 75%.

## B.2. Grupo 2

➤ **Distribución de fuerzas laterales en cada nivel, proporcional a la masa total de cada nivel.**



- **Distribución de carga adaptativa que cambia a medida que se desplaza la estructura.** La distribución de carga adaptativa debe modificarse a partir de la distribución de carga original utilizando un procedimiento que considere las propiedades - Estructura al entrar en cedencia



### C. Selección del punto de monitoreo

Se define un punto de monitoreo, en el cual se determinará el desplazamiento estudiado, en función del incremento monofónico de las cargas laterales, inicialmente se asume un desplazamiento esperado el cual puede ser un 10% de la altura de la edificación.

### D. Rotulas plásticas

Se aplican y se ubican las rotulas plásticas, según la normativa deseada. La ubicación de las rotulas en vigas se debe encontrar lo más cercano posible de la cara de la columna.

**Figura 12.** Definición de rotulas plásticas en el programa Etabs.

**RECUADRO 1** →

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.0442
D-	-0.2	-0.0236
C-	-1.1	-0.0236
B-	-1.	0.
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.1	0.025
D	0.2	0.025
E	0.2	0.05

**RECUADRO 2** →

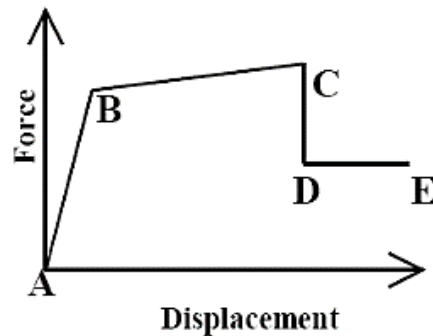
	Positive	Negative
Use Yield Moment	Moment SF 18756.861	37513.72
Use Yield Rotation (Steel Objects Only)	Rotation SF 1.	1.

**RECUADRO 3** →

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	0.01	-8.558E-03
Life Safety	0.02	-0.0171
Collapse Prevention	0.025	-0.0236

*Fuente: del Etabs*

**Recuadro 1:** Los puntos (E-, D-, C-, B-), (A, B, C, D, E), se refieren a los valores límites que dan los diferentes códigos para el diagrama de momento curvatura de los elementos de concreto armado.



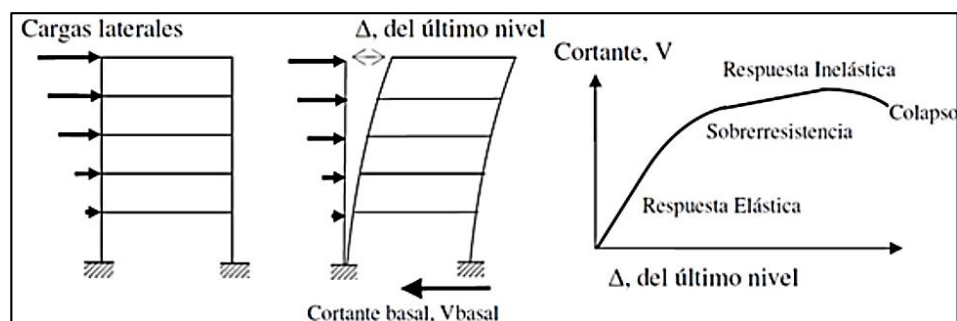
**Recuadro 2:** En ese recuadro se indica la resistencia a la fluencia (Used yield moment) y el desplazamiento de fluencia (Used yield rotation), lo cuales en el programa son activados por defecto. El programa calculo automáticamente la fuerza y deformación de fluencia. Deseleccionando las casillas se puede introducir de forma manual dichos valores.

**Recuadro 3:** En ese recuadro se menciona los criterios de aceptación que se usan para indicar el estado de las rotulas asignadas, estos criterios no afectan el comportamiento de la estructura. Estos valores de aceptación se refieren a las deformaciones, rotaciones y desplazamientos, los cuales se puede ingresar de acuerdo a los criterios de aceptación del código con el que se esté evaluando (FEMA 440, ASCE 41-13, etc.)

## E. Curva de capacidad

La curva de capacidad es la representación de la relación que se da entre la carga lateral incremental aplicada y el desplazamiento que se genera en el tope de la estructura.

**Figura 13.** Definición de rotulas plásticas en el programa Etabs.



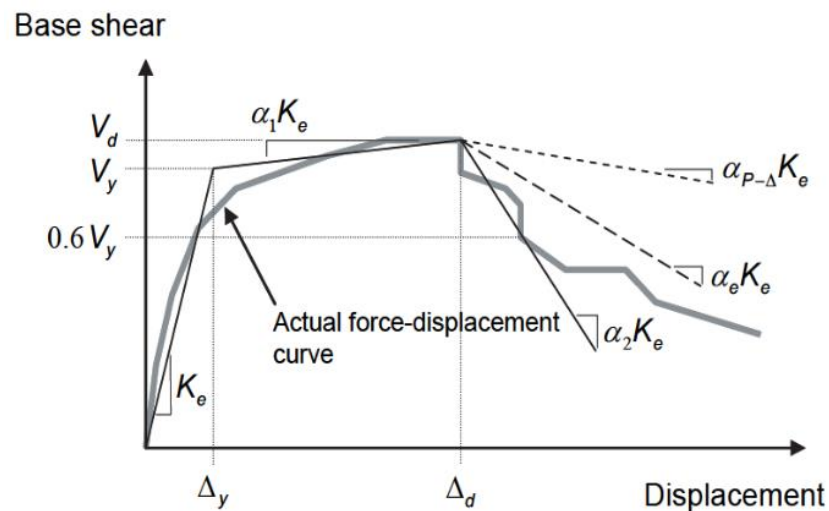
**Fuente:** Análisis sísmico por desempeño, Aguiar R.

### 2.2.3.2. Representación bilineal de la curva de capacidad.

Para obtener la curva bilineal, se define el punto de fluencia y el punto de agotamiento de la capacidad de la estructura.

El procedimiento propuesto en el FEMA 356, para obtener la representación bilineal de la curva de capacidad corresponde al criterio de las áreas iguales, la cual se basa específicamente en que la energía disipada por la estructura, dada por el área bajo la curva real sea igual a la energía disipado por la curva idealizada mediante un sistema elastoplástico.

**Figura 14.** Representación bilineal



**Fuente:** FEMA 356.

El primer segmento lineal de la curva idealizada debe iniciar en el origen de coordenadas, con una pendiente igual a la rigidez lateral efectiva  $K_e$ , la cual se toma como la rigidez secante calculada a una fuerza cortante basal igual al 60% de la resistencia cedente efectiva  $V_y$  de la edificación.

El segundo segmento lineal con pendiente positiva post-cedencia  $\alpha_1 K_e$ , debe determinarse a partir del punto  $(V_d, \Delta_d)$  y el punto de intersección con el primer segmento lineal, de manera de equilibrar las áreas por encima y por debajo entre ambas curvas real e idealizada. El punto  $(V_d, \Delta_d)$  será el menor entre el punto de desplazamiento objetivo calculado y el punto de desplazamiento correspondiente al corte máximo en la base.

El tercer segmento lineal debe representar la pendiente negativa post-cedencia  $\alpha_2 K_e$ , determinada por el punto  $(V_d, \Delta_d)$  y el punto en el cual el corte en la base se degrada un 60% del corte cedente efectivo. La selección del 60% se basa en juicios.

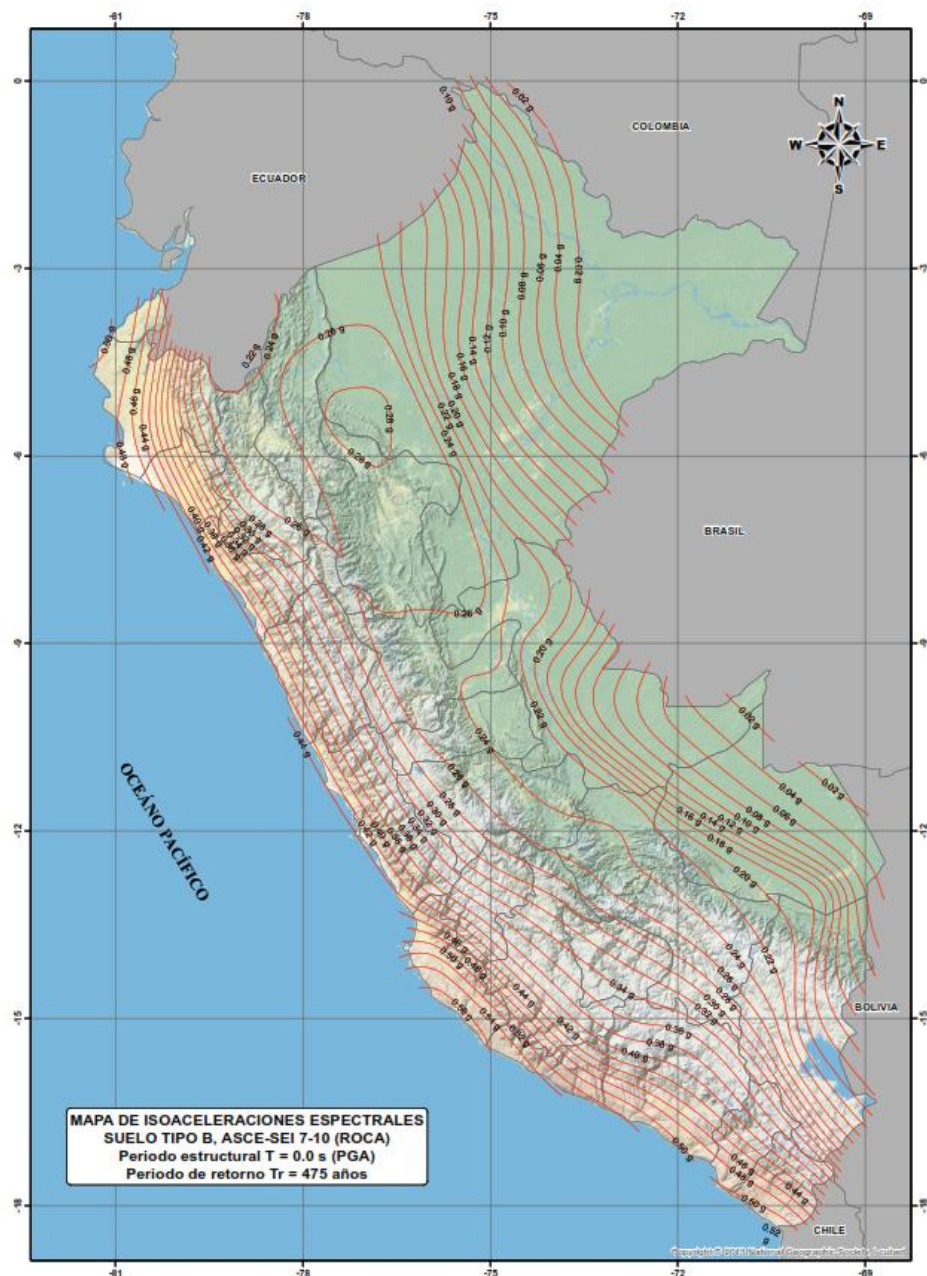


### 2.2.4. Peligro sísmico

Se conoce como peligro o amenaza sísmica al término técnico con el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia de un evento sísmico en un determinado lugar, durante un periodo de tiempo.

El peligro sísmico puede calcularse a nivel regional y a nivel local, para lo cual se debe considerar los parámetros de fuentes sismo génicas, así como también los registros de eventos sísmicos ocurridos en cada zona fuente y la atenuación del movimiento del terreno.

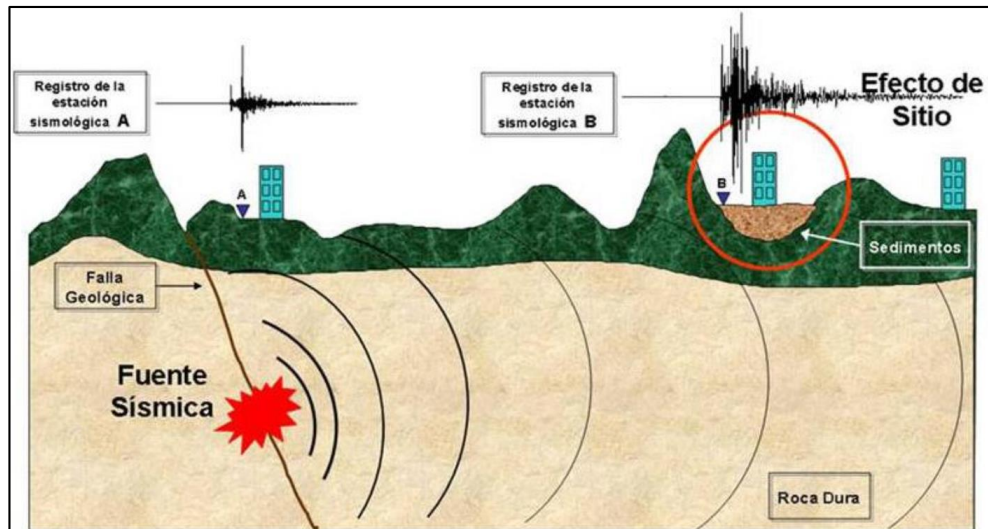
**Figura 15.** Mapa de isoaceleraciones del Perú,  $T=475$  años



*Fuente: Aguilar Z.*

Para definir el peligro sísmico, también se evalúa el efecto que tendrá el tipo de suelo en la cuantificación del movimiento generado por un sismo.

Las vibraciones suelen ser más notables en suelos blandos que en aquellos duros o rocosos, debido a que la vibración se amplifica o atenúa en función del período fundamental del material que forma el suelo.



Los niveles de amenaza sísmica de acuerdo a los códigos internacionales, se muestran a continuación:

#### SEAOC - VISIÓN 2000

Nivel de sismo de diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
<b>Raro</b>	<b>475 años</b>	<b>10% en 50 años</b>
Muy Raro	970 años	10% en 100 años

#### FEMA/ASCE

Nivel de sismo de diseño	Probabilidad de excedencia
Sismo 1	50% en 50 años
Sismo 2	20% en 50 años
<b>Sismo de seguridad básico BSE-1</b>	<b>10% en 50 años</b>
Sismo de seguridad básico BSE-2	2% en 50 años

En la presente tesis se evaluó las estructuras con un nivel de peligro sísmico de sismo raro, el cual de acuerdo a la norma E.030 se le considera como severo, el cual se varió la zona y el tipo de suelo.

### 2.2.5. Niveles de desempeño

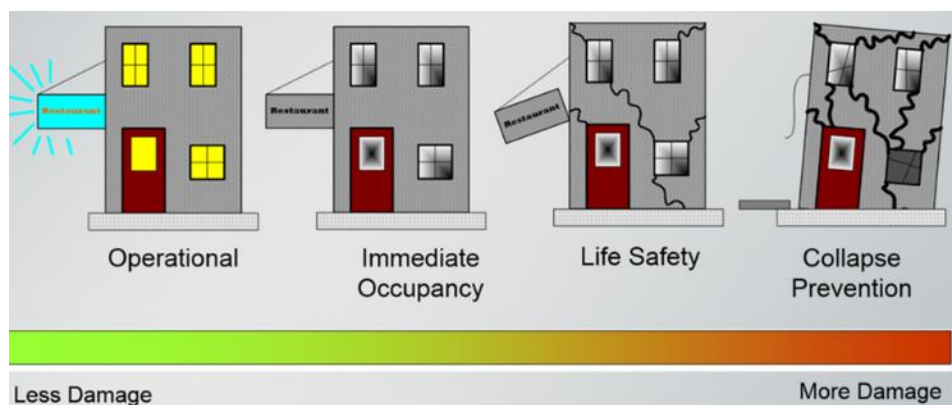
Los niveles de desempeño están referidos a puntos discretos en una escala continua, el cual describe el comportamiento esperado o daño de una estructura.

El ASCE 41-13, presenta 4 niveles de desempeño para elementos estructurales

*Tabla 7. Niveles de desempeño en elementos estructurales*

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción
Muy leve	<b>Operacional</b>	Después de un evento sísmico la operación es funcional, presenta la continuidad de sus servicios. Daño estructural despreciable o nulo, conserva la resistencia y rigidez original.
Leve	<b>Ocupación inmediata</b>	Después de un evento sísmico La estructura conserva sustancialmente la resistencia y rigidez original. Presenta la continuidad de sus servicios.
Moderado	<b>Seguridad de vida</b>	Después de un evento sísmico los elementos estructurales presentan daño parcial, pero conserva un margen de seguridad contra la aparición del colapso parcial o total.
Severo	<b>Prevención al colapso</b>	Presenta estructuras dañados y sigue apoyando cargas de gravedad, pero no presenta un margen contra el colapso.

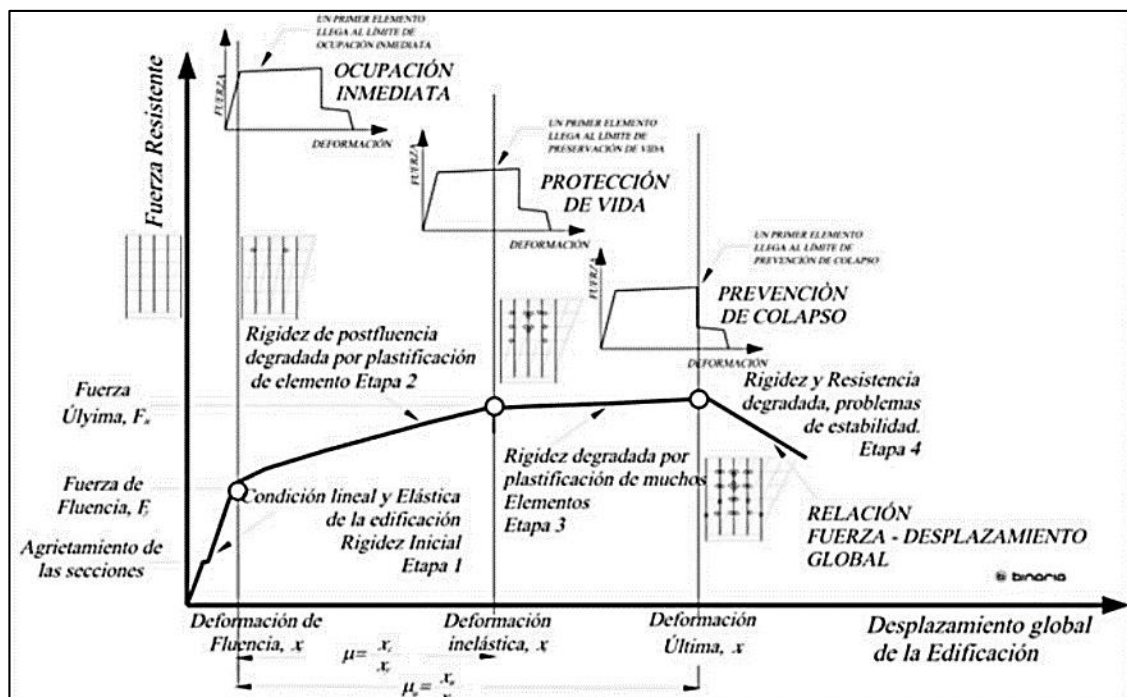
*Fuente: ASCE 41-13*



Para elementos no estructurales se presenta 4 niveles de desempeño los cuales se mencionan a continuación.

- **Operacional No estructural (N.A):** Después del evento sísmico los componentes no estructurales son capaces de proporcionar las funciones que proporcionaron antes del sismo.
- **Posición de retención No estructural (N.B):** Después del evento sísmico los componentes no estructurales pueden dañarse, pero estas se mantienen asegurados en su lugar, así como puertas, escaleras, ascensores, y sistemas contra incendios generalmente permanecen operativos.
- **Seguridad de vida No estructural (N.C):** Después del evento sísmico los componentes no estructurales presentan daño, pero estas no presentan una amenaza para las personas.
- **Rendimiento no estructural no considerado (N.D):** No se considera para el desempeño de la estructura.

Figura 16. Comportamiento estructural y niveles de desempeño



Fuente: Diseño por desempeño - Disepro



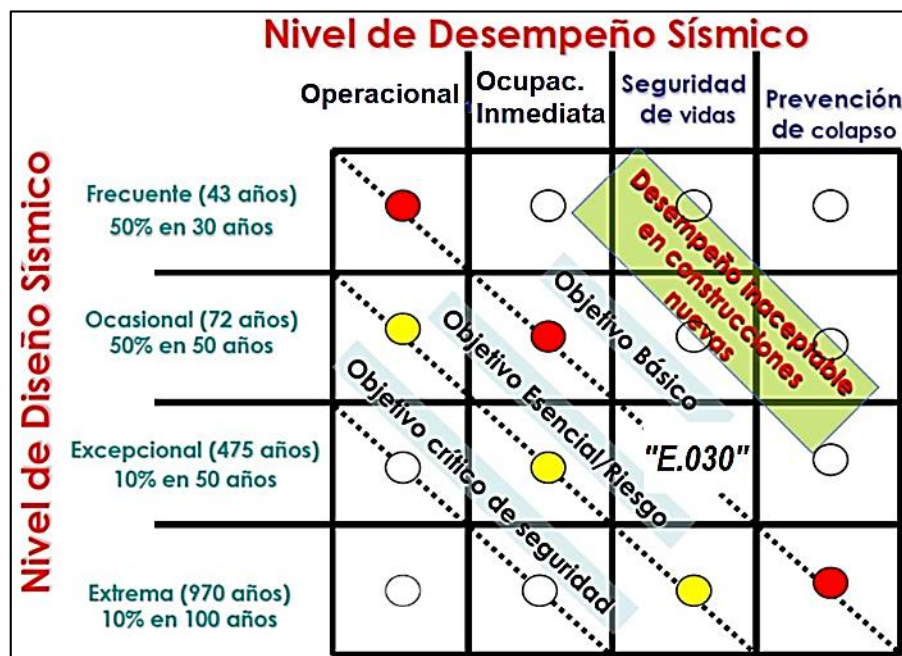
### 2.2.6. Objetivos de desempeño

Está referido al tipo de comportamiento esperado de una estructura, bajo una demanda sísmica. Se obtiene al definir el máximo estado permisible de daño (nivel de desempeño) para un peligro sísmico identificado (nivel de sismo de diseño). Se definen 3 objetivos de desempeño, los cuales son:

- **Objetivo básico:** Para edificaciones comunes.
- **Objetivo de riesgo esencial:** Edificaciones importantes.
- **Objetivo de seguridad crítica:** Edificaciones esenciales.

En concordancia con códigos internacionales, la norma peruana E.030, tiene como diseño de estructuras de importancia común un objetivo común, en el cual las estructuras ante un sismo severo (excepcional) tienen un nivel de desempeño de seguridad de vida.

Figura 17. Objetivos de desempeño sísmico



Fuente: Propia en base al ASCE 41-13

### 2.2.7. Métodos para estimar el punto de desempeño

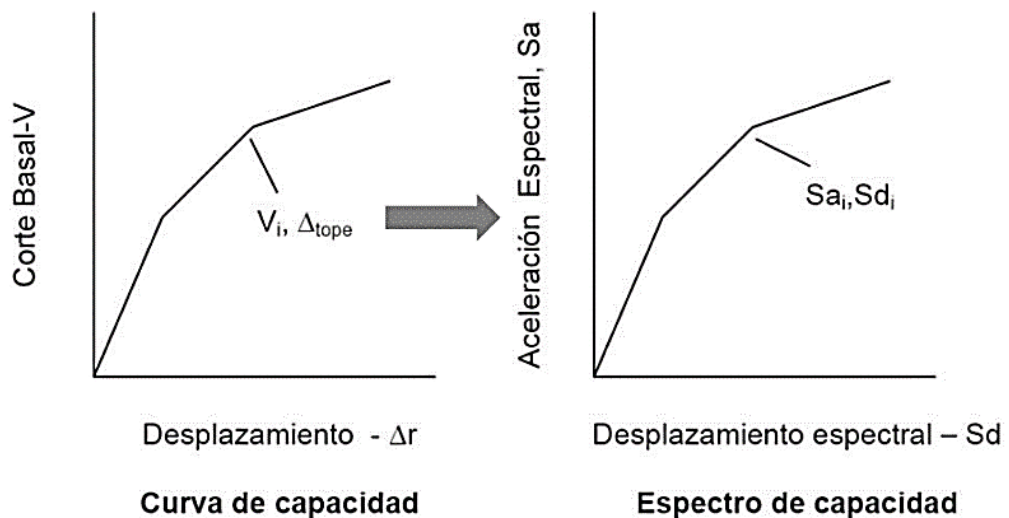
Se describen a continuación los dos principales métodos para obtener el punto de desempeño, los cuales son:

- Método del espectro de capacidad.
- Método de los coeficientes de desplazamientos.

### 2.2.7.1. Método del espectro de capacidad.

Es un proceso estático no lineal que provee una representación gráfica del espectro de capacidad, la cual se compara con el espectro de demanda sísmica. La demanda es la representación del movimiento del suelo, mientras que la capacidad es la habilidad que posee la estructura para resistir la demanda sísmica. El método requiere de tres elementos claves para su procedimiento, los cuales se describen a continuación:

- **Capacidad:** Se obtendrá la curva de capacidad, la misma que deberá ser llevada a formato ADSR (Espectro de respuesta aceleración – desplazamiento), al hacer este cambio se convierte la curva de capacidad a un espectro de capacidad.



La conversión de la curva de capacidad al espectro de capacidad se logra a través de la aplicación de las ecuaciones de dinámica, para obtener pseudo-aceleraciones ( $S_a$ ) y pseudodesplazamiento ( $S_d$ ).

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad S_d = \frac{\Delta_{tope}}{PF_1 \phi_{tope,1}}$$

$$PF_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g]}{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g]} \quad \alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g]^2}{[\sum_{i=1}^N w_i/g][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g]}$$

Donde:

$w_i / g$  = masa asignada al nivel  $i$

$\phi_{i,1}$  = amplitud del modo 1 en el nivel  $i$

$N$  = nivel  $N$ , correspondiente al más alto de la estructura

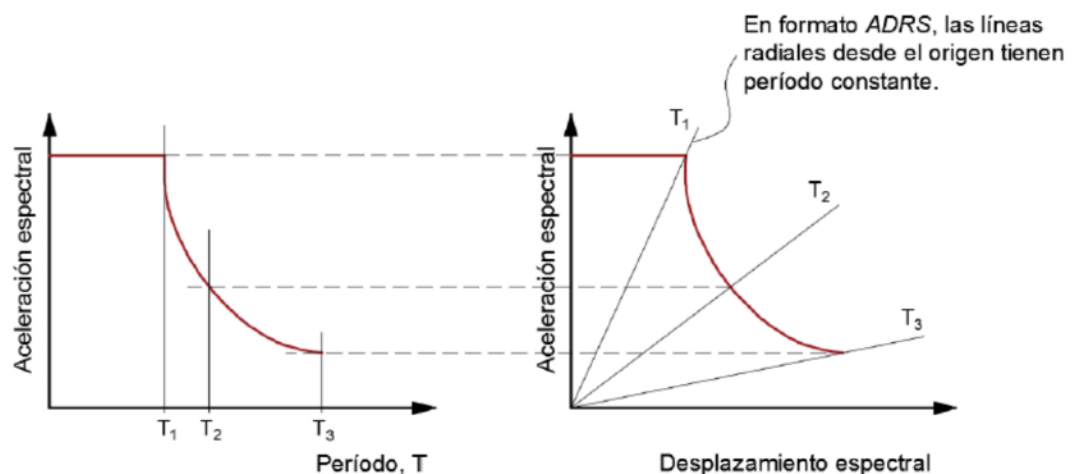
$W$  = peso de la estructura considerado para el cálculo de la curva de capacidad

$\Delta_{tope}$  = desplazamiento en el tope (techo), obtenido de la curva de capacidad

- **Demanda:** El espectro de demanda vendrá representado por el espectro definido según el sismo de estudio, el cual tendrá un periodo de retorno y una aceleración en función del nivel de amenaza que se quiera estudiar.

El espectro de respuesta que representa la demanda, también debe ser graficado en formato ADRS. Para convertir un espectro de respuesta estándar de valores  $S_{ai}$ ,  $T_i$  a un formato equivalente  $S_{ai}$ ,  $S_{di}$ , se debe determinar cada desplazamiento espectral  $S_{di}$  para cada  $T_i$  con la siguiente ecuación:

$$S_{di} = \left( \frac{T_i}{2\pi} \right)^2 S_{ai} g$$



$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2$$

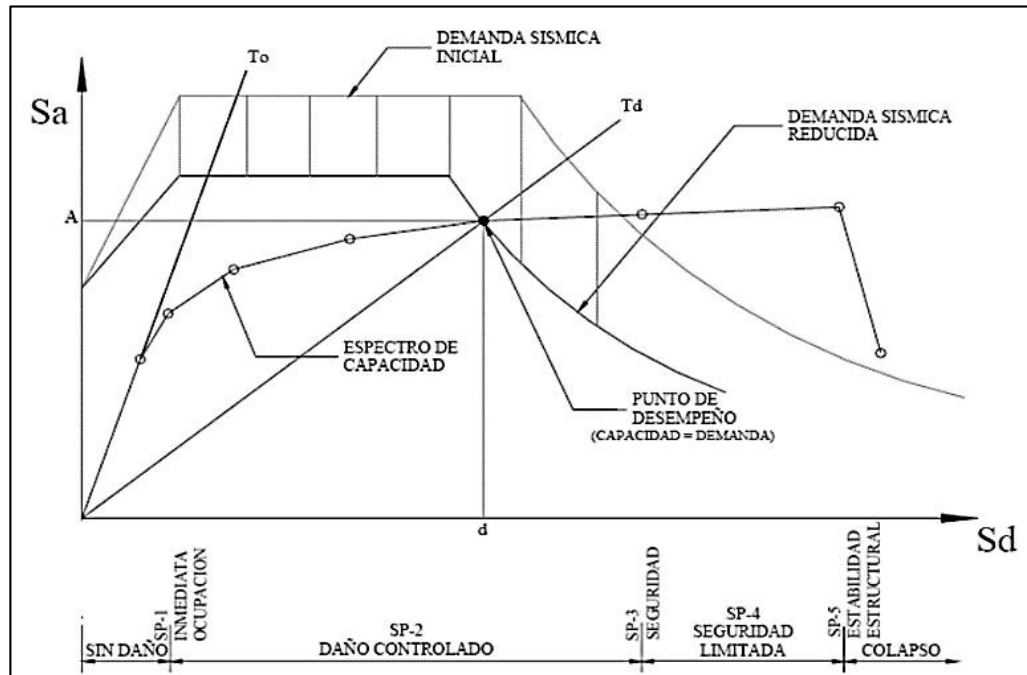
**Espectro tradicional**  
( $S_a$  versus  $T$ )

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

**Espectro ADRS**  
( $S_a$  versus  $S_d$ )

- **Desempeño:** Al tener construida el espectro de capacidad y definida el espectro de demanda, puede realizarse una comprobación del desempeño, mediante la verificación de que el daño de los elementos

estructurales y no estructurales esté dentro de los límites aceptables del objetivo de desempeño seleccionado, para las fuerzas y desplazamientos a los que se han sometido, de acuerdo a la demanda de desplazamiento.



### 2.2.7.2. Método de los coeficientes de desplazamientos.

El método de los coeficientes de desplazamientos proporciona un proceso numérico directo para calcular la demanda de desplazamiento. No requiere convertir la curva de capacidad en coordenadas espectrales. Obtiene el punto de desempeño sobre la curva de capacidad idealizada de forma bilineal, para esto utiliza algunos factores que ponderan la demanda sísmica a partir de un espectro de aceleraciones elástico. Estos factores tienen relación con parámetros dependientes de las características llevadas a un sistema de 1 G.D.L.

El código ASCE 41-13 establece este método como procedimiento para determinar el desempeño sísmico de las estructuras.



### 2.2.8. Factor de reducción sísmica

Para la obtención del factor de reducción sísmica ( $R$ ), existen varios trabajos de investigación como por ejemplo las de Uang (1991), Bertero (1991), Miranda (1997), Whittaker (1999), etc.

Para la presente tesis se utilizó el código ATC-19 (1995), el cual considera que el factor de reducción sísmica, se obtiene de:

$$R = R_{\mu} \cdot R_{\Omega} \cdot R_R$$

Donde:

$R$  : Factor de reducción sísmica.

$R_{\mu}$  : Factor de ductilidad

$R_{\Omega}$  : Factor de sobre resistencia

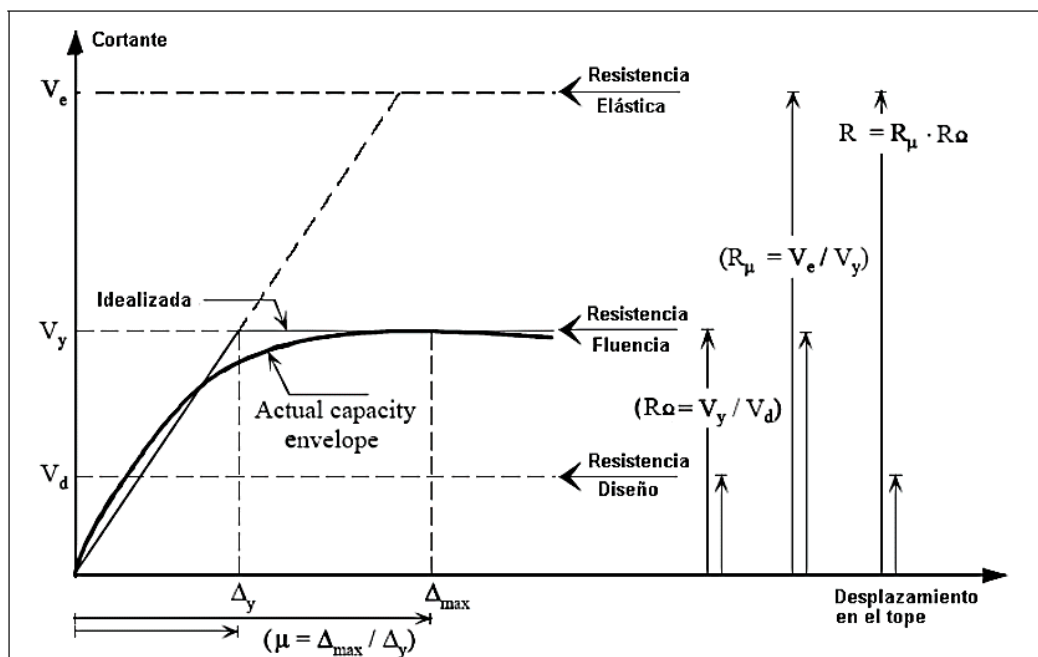
$R_R$  : Factor de redundancia

El valor del factor de redundancia no se considerará variable al tener estructuras de igual configuración estructural en donde se variará el valor de peligro sísmico y tipo de suelo. Por tal se considerará  $R_R$  igual a 1.

Para el valor del factor de ductilidad y el factor de sobre resistencia se emplearon las siguientes ecuaciones (Mwafy y Elnashai, 2002):

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y} \quad R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$$

**Figura 18:** Curva de capacidad y factores  $R_{\mu}$  y  $R_{\Omega}$ .



**Fuente:** Mwafy y Elnashai, 2002.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS

- a. **Peligro sísmico:** Es el termino técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo. En el Perú el peligro sísmico depende de la zonificación y del tipo de suelo indicadas en la norma E.030-2018.
- b. **Factor de reducción sísmica:** Factor mediante el cual se pasa del espectro elástico al espectro inelástico con el fin de que la estructura disipe energía ante una cierta demanda sísmica.
- c. **Estructuras aporticadas:** Llamados también pórticos, son estructuras de acero, concreto y madera, conformados por columnas y vigas, unidas mediante zonas de confinamiento formando un ángulo de 90°.
- d. **Fuerzas sísmicas:** Fuerzas causadas por movimientos terrestres provocados por un terremoto; el diseño de los componentes horizontales es vital, ya que son los que menos resisten este tipo de movimientos.
- e. **Niveles de desempeño:** Los niveles de desempeño describen o representa un estado límite de daño, en función de daños físicos en la estructura, seguridad en los ocupantes y la funcionalidad - Estructura posterior al evento sísmico.
- f. **Niveles de diseño sísmico:** El desempeño de una depende o varía según la magnitud del sismo, distancia del epicentro, la dirección de propagación de la ruptura de la falla, las características geológicas de la región y locales. Por lo que es necesario distinguir los eventos sísmicos, que representan rango de severidad sísmica para un desempeño particular - Estructura deseado.
- g. **Objetivos de desempeño:** Los objetivos del diseño por desempeño se dan por la combinación de los niveles de desempeño sísmico y los niveles de movimiento sísmico.
- h. **Análisis lineal:** Es el basado en un comportamiento elástico-lineal de los materiales constituyentes y en la consideración del equilibrio en la estructura sin deformar. En este caso se puede utilizar para el cálculo de solicitaciones la sección bruta de hormigón.

- i. **Análisis no lineal:** El análisis no lineal tiene como objetivo la obtención de las respuestas estructurales considerando la situación más cercana a la realidad tomando en cuenta el comportamiento más real posible de los materiales y - Estructura en general.
- j. **Ductilidad:** Ductilidad se denomina a la capacidad que tiene una edificación para poder desplazarse más allá de su límite elástico mientras resiste una significativa fuerza y absorbe energía por el comportamiento inelástico.
- k. **Sobrerresistencia:** Nivel de seguridad que se le da a las estructuras en la etapa de diseño al mayorizar las cargas y reducir la resistencia de los elementos estructurales.
- l. **Redundancia:** Mide la capacidad de incursionar la estructural en el rango no lineal.
- m. **Rótula plástica:** Estado plástico que alcanza la sección de un elemento estructural, a la cual también se le llama articulación plástica.

## 2.4. HIPOTESIS

### 2.4.1. Hipótesis General

El nivel de peligro sísmico influye significativamente en la obtención del factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado.

### 2.4.2. Hipótesis Específicos

- a) Para un sismo severo en tipo de suelo muy rígido el factor de reducción sísmica obtenido mediante un análisis no lineal es menor a lo indicado en la norma peruana E.030-2018 para estructuras aporticadas de concreto armado.
- b) Para un sismo severo en tipo de suelo blando el factor de reducción sísmica obtenido mediante un análisis no lineal es similar a lo indicado en la norma peruana E.030-2018 para estructuras aporticadas de concreto armado.
- c) Se obtiene un nivel de desempeño de seguridad de vida al aplicar el factor de reducción sísmica de acuerdo a lo indicado en la norma E.030-2018.

## 2.5. VARIABLES

### 2.5.1. Definición conceptual de la variable

PROBLEMA	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL
<p><b>Problema General</b> ¿De qué manera el nivel de peligro sísmico influye en la obtención del factor de reducción sísmica de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado?</p>	<p><b>Variable independiente</b> Nivel de peligro sísmico.</p>	<p>Es el termino técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo. En el Perú el peligro sísmico depende de la zonificación y del tipo de suelo indicadas en la norma E.030-2018.</p>
	<p><b>Variable dependiente</b> Factor de reducción sísmica.</p>	<p>Factor mediante el cual se pasa del espectro elástico al espectro inelástico con el fin de que la estructura disipe energía ante una cierta demanda sísmica.</p>

### 2.5.2. Definición operacional de la variable

PROBLEMA	VARIABLES	DEFINICION OPERACIONAL
<p><b>Problema General</b> ¿ De qué manera el nivel de peligro sísmico influye en la obtención del factor de reducción sísmica R de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado?</p>	<p><b>Variable independiente</b> Nivel de peligro sísmico.</p>	<p>También llamado amenaza sísmica, se obtiene de los registros obtenidos de los sismos ocurridos en cada zona fuente.</p>
	<p><b>Variable dependiente</b> Factor de reducción sísmica.</p>	<p>Es el producto de la ductilidad, redundancia y sobre resistencia.</p>

## 2.5.3. Operacionalización de la variable

VAR.	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTO
<b>Variable independiente</b> Nivel de peligro sísmico.	Es el término técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo. En el Perú el peligro sísmico se divide en 4 zonas sísmicas de distinto nivel de sismicidad indicadas en la norma E.030-2018	Sismo severo en tipo de suelo muy rígido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Periodo del suelo 0.40 seg.</li> <li>- Suelo tipo S1</li> <li>- Periodo de retorno 475 años</li> </ul>	Norma E.030
		Sismo severo en tipo de suelo blando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Periodo del suelo 1.00 seg.</li> <li>- Suelo tipo S3</li> <li>- Periodo de retorno 475 años</li> </ul>	Norma E.030
		Nivel de desempeño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operacional</li> <li>- Ocupación inmediata</li> <li>- Seguridad de vida</li> <li>- Prevención al colapso</li> </ul>	ASCE 41-13 VISION 2000
<b>Variable dependiente</b> Factor de reducción sísmica.	Factor mediante el cual se pasa del espectro elástico al espectro inelástico con el fin de que la estructura disipe energía ante una cierta demanda sísmica.	Análisis sísmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modos de vibración</li> <li>- Desplazamientos</li> <li>- Distorsiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hojas de cálculo (Excel)</li> <li>- Programa ETABS 2016.</li> </ul>
		Diseño estructural	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones de vigas y columnas</li> <li>- Acero de refuerzo en vigas y columnas.</li> </ul>	
		Análisis no lineal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ductilidad</li> <li>- sobre resistencia</li> <li>- redundancia</li> </ul>	

## **CAPITULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación presento como método general el método científico y como método específico se empleará el Método experimental, ya que se manipula el nivel peligro sísmico para analizar los resultados del factor de reducción sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado.

### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación fue aplicada, puesto que utiliza los conocimientos teóricos y los aplica a una realidad problemática.

### **3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. Descriptivo - explicativo**

El nivel de la investigación fue descriptivo-explicativo, puesto que el nivel descriptivo se especifica las características del diseño sísmico por desempeño; y el nivel explicativo porque plantea la relación entre el nivel de peligro sísmico (Variable independiente) con el factor de reducción de fuerzas sísmicas (Variable dependiente), y se da una solución, que se ajuste a la realidad nacional.

### **3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación tuvo un diseño experimental del tipo cuasi experimental, porque se utilizan las estructuras aporticadas de concreto armado en el cual varia el nivel de peligro sísmico (variable independiente) para evaluar el factor de reducción sísmica (variable dependiente) mediante un diseño por desempeño, de tal manera de verificar si los valores del factor de reducción sísmica obtenidos son similares o no al factor de reducción sísmica que establece la norma de diseño sismorresistente E.030 en estructuras aporticadas de concreto armado.

### 3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.5.1. Población

La población de la presente investigación estuvo conformada por estructuras (edificaciones) con un sistema estructural de pórticos de concreto armado con una importancia de uso común (Oficinas, hoteles, viviendas, restaurantes y condominios) en el Perú.

#### 3.5.2. Muestra

La muestra presento un tipo de muestreo no probabilístico dirigido, por lo que se han seleccionado Estructuras aporticadas de concreto armado con configuración estructural regular de 3 y 10 niveles de uso oficinas, ubicados en las zonas sísmicas 1, 2, 3 y 4 del territorio peruano apoyados en suelos muy rígidos S1 y suelos blandos S3.

Se muestra a continuación la ubicación de las edificaciones de 3 y 10 niveles de acuerdo a lo indicado a la norma E-030 y a los estudios de microzonificación sísmica obtenidas del CISMID:

*Tabla 8. Ubicación de las estructuras de 3 y 10 niveles a evaluar*

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Zonificación sísmica</b>	<b>Ubicación de la muestra</b>
<b>Suelo S1</b>	<b>Zona 4</b>	Urb. Santa Cruz, Distrito de San Isidro, Provincia y Departamento de Lima
	<b>Zona 3</b>	Urb. Las Palmeras, Distrito de Caraz, Provincia de Huaylas y Departamento de Ancash
	<b>Zona 2</b>	Urb. Picchu alto, Distrito de Cusco, Provincia y Departamento de Cusco
	<b>Zona 1</b>	Centro poblado La Joya, Ciudad Puerto Maldonado, Distrito y Prov. Tambopata, Dep. Madre de Dios
<b>Suelo S3</b>	<b>Zona 4</b>	Urb. Rinconada Baja, Distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima
	<b>Zona 3</b>	Urb. Recuay, Distrito Recuay, Provincia de Recuay, y Departamento de Ancash
	<b>Zona 2</b>	Urb. Atoqsaycuchi, Distrito de Cusco, Provincia y Departamento de Cusco
	<b>Zona 1</b>	Centro poblado El Triunfo, Ciudad Puerto Maldonado, Distrito y Prov. Tambopata, Dep. Madre de Dios

*Fuente: Propia*

### **3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos**

- **Observación:** El presente trabajo de investigación presenta las características y la parte cuantitativa del factor de reducción sísmica en base a un nivel de peligro sísmico de sismo severo.
- **Análisis bibliográficos:** Información de noticias, libros, informes y revistas relacionado con el peligro sísmico en el Perú y del factor de reducción sísmica.

#### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma técnica E.020, norma técnica E.030, norma técnica E.060.
- Código ASCE/SEI 41-13.
- Utilización de la herramienta computacional.

### **3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el procesamiento de datos se realizaron modelos matemáticos tridimensionales en el programa computacional ETABS en su versión 16.2.1, mediante el cual se analizará y diseñará las estructuras de 3 y 10 niveles de acuerdo a la metodología del diseño por resistencia última, de acuerdo a lo indicado en la norma E.060. Posteriormente al diseño se ingresará al programa computacional la cantidad de acero de refuerzo de cada elemento estructural (columnas y vigas) para evaluar su desempeño mediante la metodología del diseño por desempeño sísmico, de acuerdo a lo indicado en el código ASCE/SEI 41-13, FEMA 440 y VISION 2000.

### **3.8. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE DATOS**

Su análisis de datos será tipo cuantitativo, y se mostrarán mediante tablas el resumen de los resultados obtenidos, así como el análisis sísmico, diseño estructural, cálculo del factor de reducción sísmica de las estructuras evaluadas.



## **CAPITULO IV. RESULTADOS**

### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS**

Tal como se mencionó en el ítem 3.5.2, Se analizarán edificaciones regulares de 3 y 10 niveles con diferentes niveles de peligro sísmico, el cual de acuerdo a la norma sismorresistente E.030 el peligro sísmico en el Perú se divide en 4 zonas sísmicas (zona 1, zona 2, zona 3 y zona 4) apoyadas en suelo del tipo muy rígido S1 y suelo del tipo blando S3, teniéndose en total 16 estructuras a analizar.

Las 16 edificaciones se han definido de tal manera que se pueda tener resultados al variar el periodo de las estructuras. Estructura de 3 niveles (periodo bajo), y estructura de 10 niveles (periodo alto).

### **4.2. ANÁLISIS, DISEÑO Y RESPUESTA DE LAS ESTRUCTURAS**

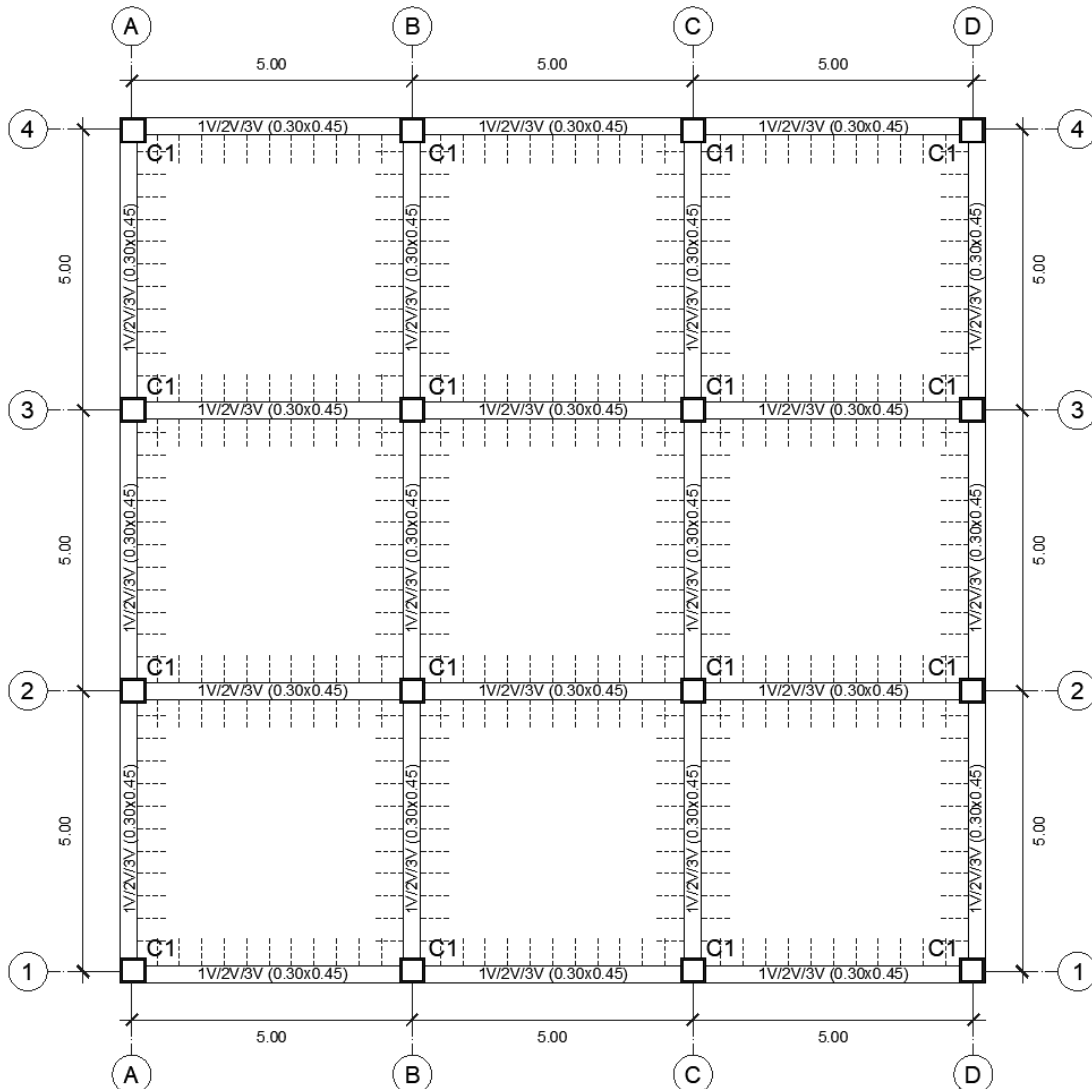
#### **4.2.1. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo muy rígido S1**

Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.

- ✓ Vigas peraltadas de  $30 \times 45 \text{ cm}^2$  y columnas de  $45 \times 45 \text{ cm}^2$  en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.

**Figura 19:** Estructura de 3 niveles en Z4 y S1



**Fuente:** Propia

- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E = 217\,371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y = 4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E = 2000\,000 \text{ kg/cm}^2$ .

- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto:  $2400\text{kg/m}^2$
    - Acabados:  $100\text{kg/m}^2$
    - Tabiquería:  $150\text{kg/m}^2$
    - Ladrillo de techo:  $50\text{kg/m}^2$
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas):  $250\text{kg/m}^2$ .
    - Sobrecarga viva de techo:  $100\text{kg/m}^2$ .

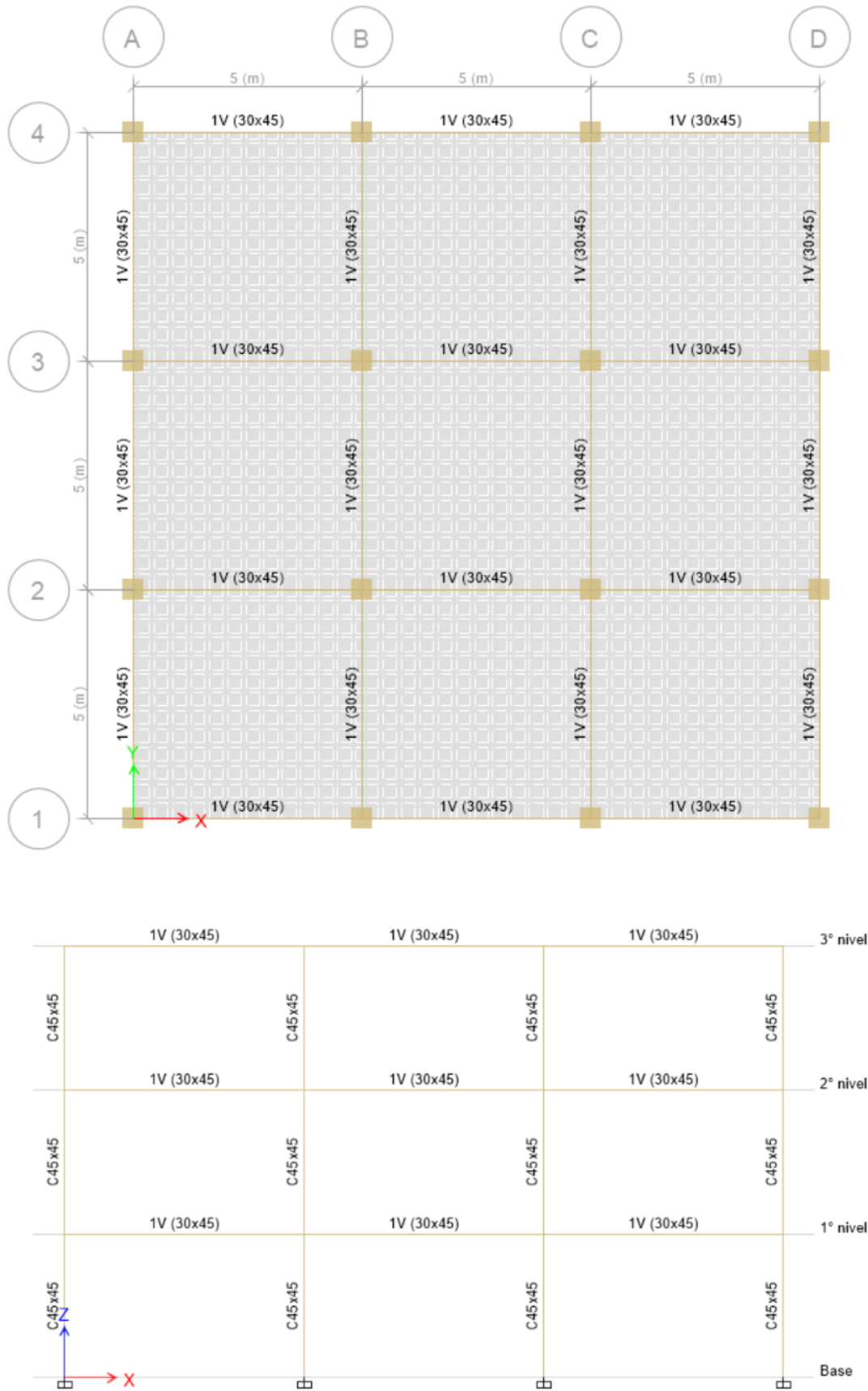
#### **4.2.1.1. Modelo matemático.**

Para realizar el análisis y diseño estructural se realizó un modelo matemático teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

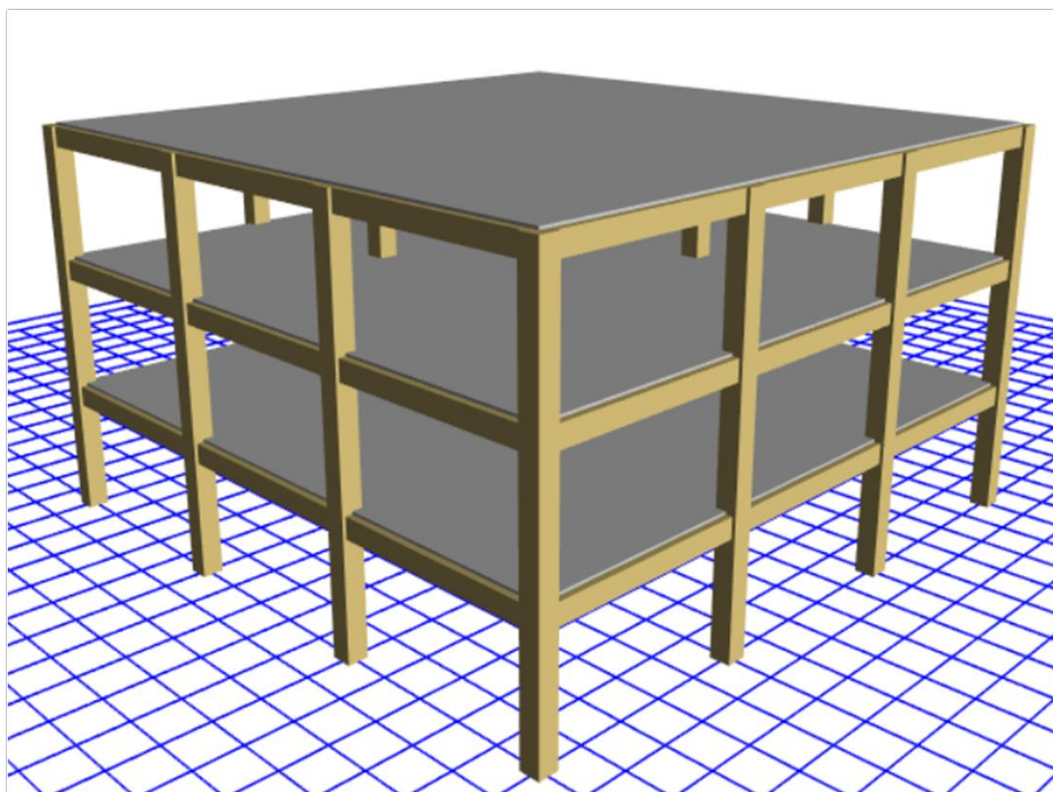
- Se hizo un Vista Elevación y 3D, restringiendo la base de la edificación empotrado al suelo.
- Se consideró un diafragma rígido por cada nivel, asignando por cada nivel 3 grados de libertad.
- Las vigas y columnas fueron modelados como elementos frame.
- Las losas aligeradas en 2 direcciones fueron modeladas como elementos membrana del tipo waffle.
- Las sobrecargas muertas (tabiquería, acabados y ladrillo de techo) y sobrecargas vivas fueron ingresados como cargas distribuidas en las losas.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 4 Y SUELO MUY RÍGIDO S1:

**Figura 20:** Estructura de 3 niveles en Z4 y S1 – Vista en planta y elevación



**Figura 21:** Estructura de 3 niveles en Z4 y S1 – Vista 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### **4.2.1.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.**

El análisis sísmico se realizó según la Norma Técnica E.030 (2018), con el procedimiento de superposición modal espectral, a partir del Nivel del terreno natural. Se trabajó con la combinación cuadrática completa (CQC). Considerando las condiciones de suelo, las características - Estructura y las condiciones de uso.

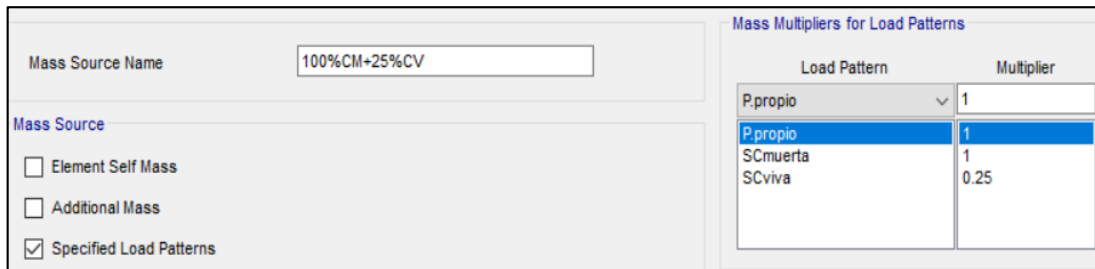
El artículo 29 “Análisis dinámico modal espectral” de la norma técnica E.030 “Diseño sismorresistente”, indica que cualquier estructura puede ser diseñada usando este tipo de análisis sísmico.

#### **A. Masa de la estructura**

El peso de la edificación (P) para el análisis sísmico se realizó adicionando a la carga permanente y total - Estructura (CM) un porcentaje de la carga viva o sobrecarga (CV). La estructura a analizar es de uso oficinas, con una importancia de uso común, por tal se utilizó la siguiente expresión.

$$P = 100\%CM + 25\%CV$$

**Figura 22:** Definición de la masa - Estructura 3 niveles en Z4 y S1



Load Pattern	Multiplier
P.propio	1
SCmuerta	1
SCviva	0.25

**Fuente:** Obtenida del Etabs.

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 9.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z4 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	15.17922	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	20.67054	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	20.67054	7.5	7.5	7.5	7.5

**Fuente:** Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

Se realizó un análisis modal considerando que la suma de las masas efectivas de los modos de vibración sea por lo menos el 90% de la masa total. Se presenta a continuación los resultados obtenidos del análisis.

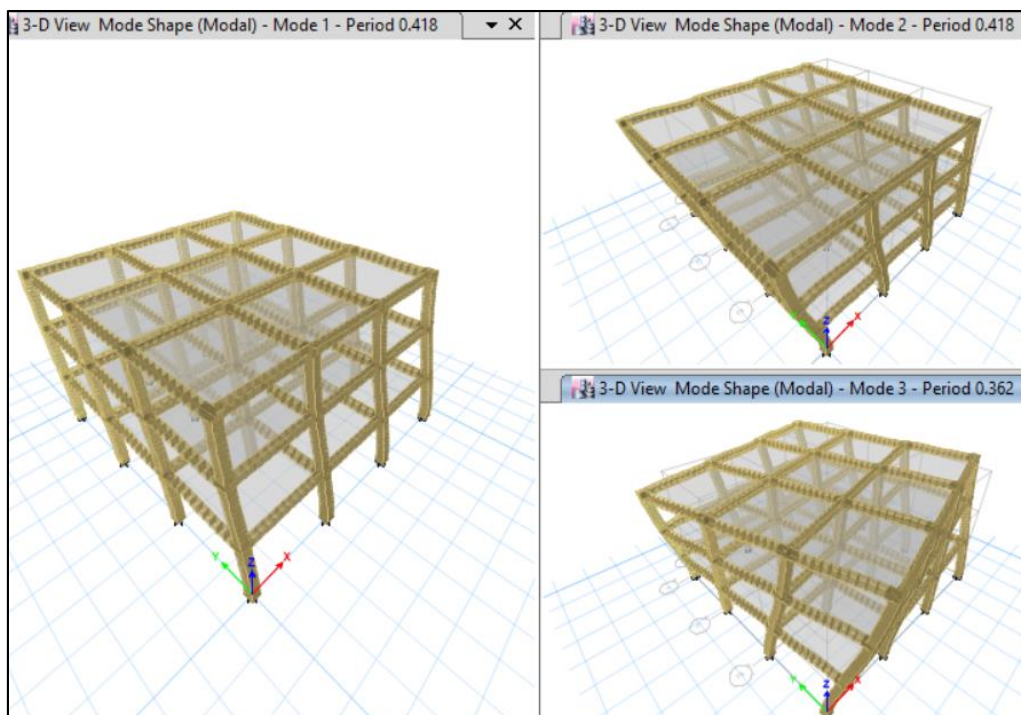
**Tabla 10.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z4 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.4180</b>	0.0000	<b>0.8474</b>	0.0000	0.0000	84.7400	0.0000
2	<b>0.4180</b>	<b>0.8474</b>	0.0000	0.0000	84.7400	84.7400	0.0000
3	<b>0.3620</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8501</b>	84.7400	84.7400	85.0100
4	0.1270	0.0000	0.1188	0.0000	84.7400	96.6300	85.0100
5	0.1270	0.1188	0.0000	0.0000	96.6300	96.6300	85.0100
6	0.1110	0.0000	0.0000	0.1168	96.6300	96.6300	96.6900
7	0.0710	0.0337	0.0000	0.0000	99.9900	96.6300	96.6900
8	0.0710	0.0000	0.0337	0.0000	99.9900	99.9900	96.6900
9	0.0620	0.0000	0.0000	0.0330	99.9900	99.9900	99.9900

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados mostrados anteriormente, se muestra que el primer modo de vibración es traslacional y predominante en dirección Y-Y, el segundo modo de vibración es traslacional y predominante en dirección X-X, el tercer modo de vibración es rotacional alrededor del eje Z. Los resultados del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.418 s**.

**Figura 23:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z4 y S1.



### C. Aceleración espectral

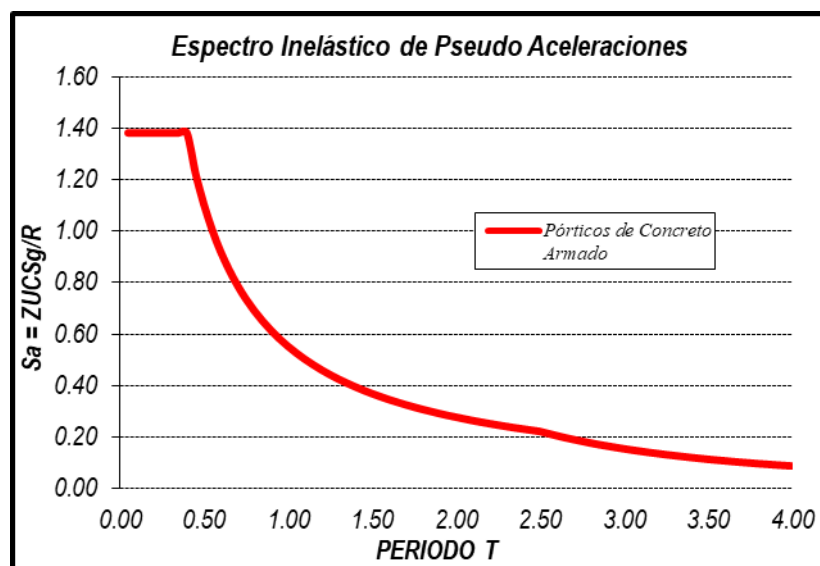
Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones.

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

De la formula mencionada anteriormente se obtiene:

**Figura 24:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z4 y S1.

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.450	Zona 4
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
Ro:	8.000	Pórticos de Concreto Armado
la:	1.000	No Presenta Irregularidad
lp:	1.000	No Presenta Irregularidad
R:	8.000	Coefficiente de Reducción Sísmica



Fuente: Propia.



#### D. Fuerza cortante de diseño

Se muestra a continuación la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica obtenida del análisis sísmico.

**Tabla 11.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z4 y S1

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.45	1.00	2.39	1.00	8.00	0.135	554.28	59.67
Y-Y	0.45	1.00	2.39	1.00	8.00	0.135	554.28	59.67

Spec	Fx tonf	Fy tonf
SX	<b>64.498</b>	0.000
SY	0.000	<b>64.498</b>

*Fuente:* Propia a partir del análisis sísmico

A continuación, se muestra la comparación de la fuerza cortante estática y dinámica. En caso la fuerza cortante dinámica sea menor que el 80% de la estática, será necesario escalar la cortante dinámica para cumplir con la fuerza cortante mínima establecida en la norma E.030.

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	64.498	59.671
Y-Y	64.498	59.671

Del análisis dinámico en la Dirección X-X e Y-Y, se obtienen el cortante dinámico en la base es mayor que el 80% del cortante estático. Por lo tanto, la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 64.50 Tonf.**

## E. Desplazamientos laterales y distorsiones

En las tablas siguientes se muestran los desplazamientos laterales y distorsiones máximos de cada nivel. Estos valores fueron determinados multiplicando los resultados obtenidos en el programa de análisis por 0.75R, conforme se especifica en la norma técnica E.030 para estructuras regulares.

**Tabla 12.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z4 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>4.9890</b>	0.4002
3° nivel	Sy Max	0.4002	<b>4.9890</b>
2° nivel	Sx Max	3.6600	0.2934
2° nivel	Sy Max	0.2934	3.6600
1° nivel	Sx Max	1.5786	0.1272
1° nivel	Sy Max	0.1272	1.5786

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 13.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z4 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00449	0.00035
3° nivel	Sy Max	0.00035	0.00449
2° nivel	Sx Max	<b>0.00696</b>	0.00055
2° nivel	Sy Max	0.00055	<b>0.00696</b>
1° nivel	Sx Max	0.00526	0.00043
1° nivel	Sy Max	0.00043	0.00526

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De las tablas mostradas se obtiene que los desplazamientos y distorsiones máximos son iguales en ambas direcciones (X-X e Y-Y) puesto que la estructura es simétrica en ambas direcciones.

El **desplazamiento máximo obtenido es de 4.989 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00696**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

### 4.2.1.3. Diseño estructural

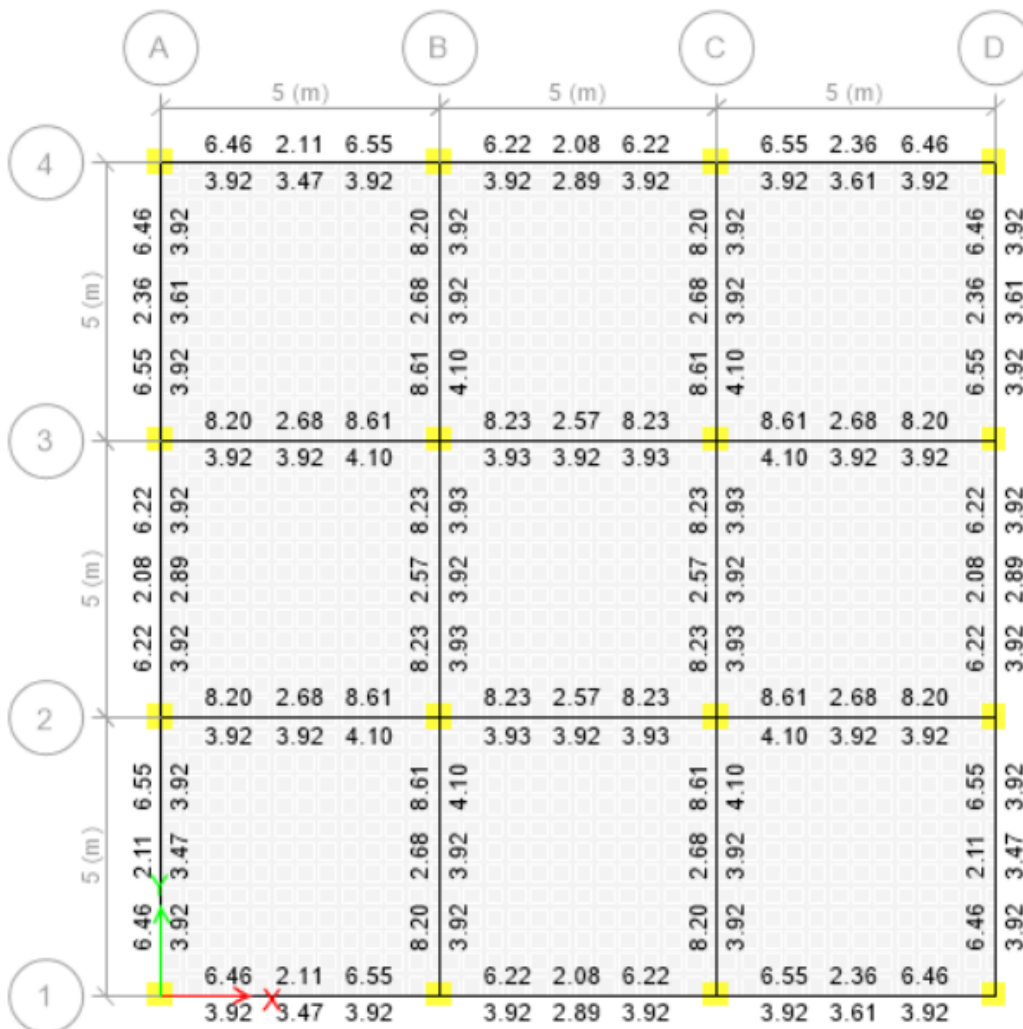
Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

Para el diseño de vigas y columnas se tomó en cuenta el método del diseño por resistencia indicada en la norma E.060, el cual amplifica las cargas de servicio mediante combinaciones y reduce la resistencia de los elementos estructurales mediante factores de reducción.

#### A. Diseño de vigas

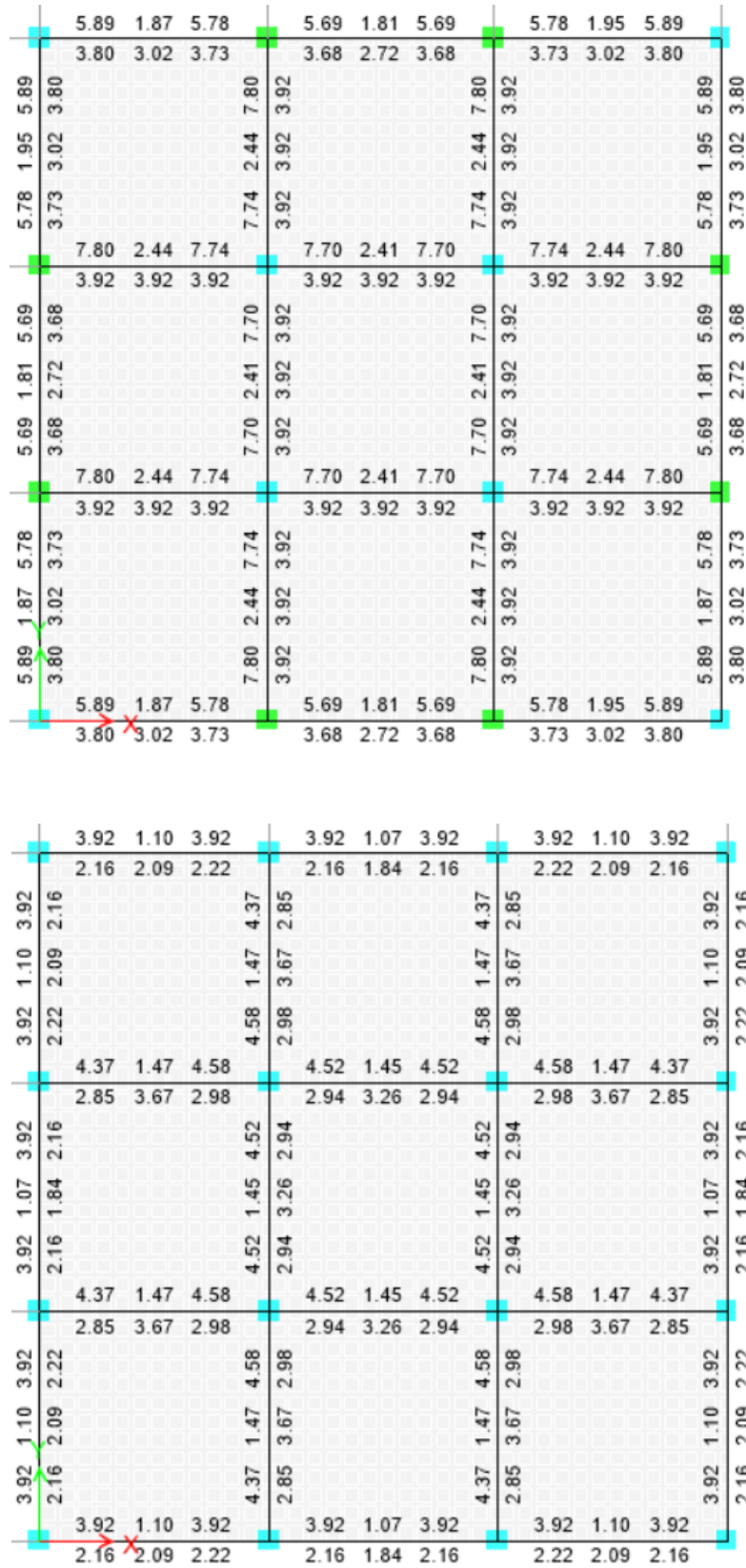
Se muestra a continuación el área de acero de refuerzo en  $\text{cm}^2$  de las vigas - Estructura de 3 niveles ubicada en zona 4 y suelo muy rígido S1.

**Figura 25:** Acero en vigas del 1° nivel - Estructura 3 niveles en Z4 y S1



**Fuente:** Del Etabs a partir del diseño estructural.

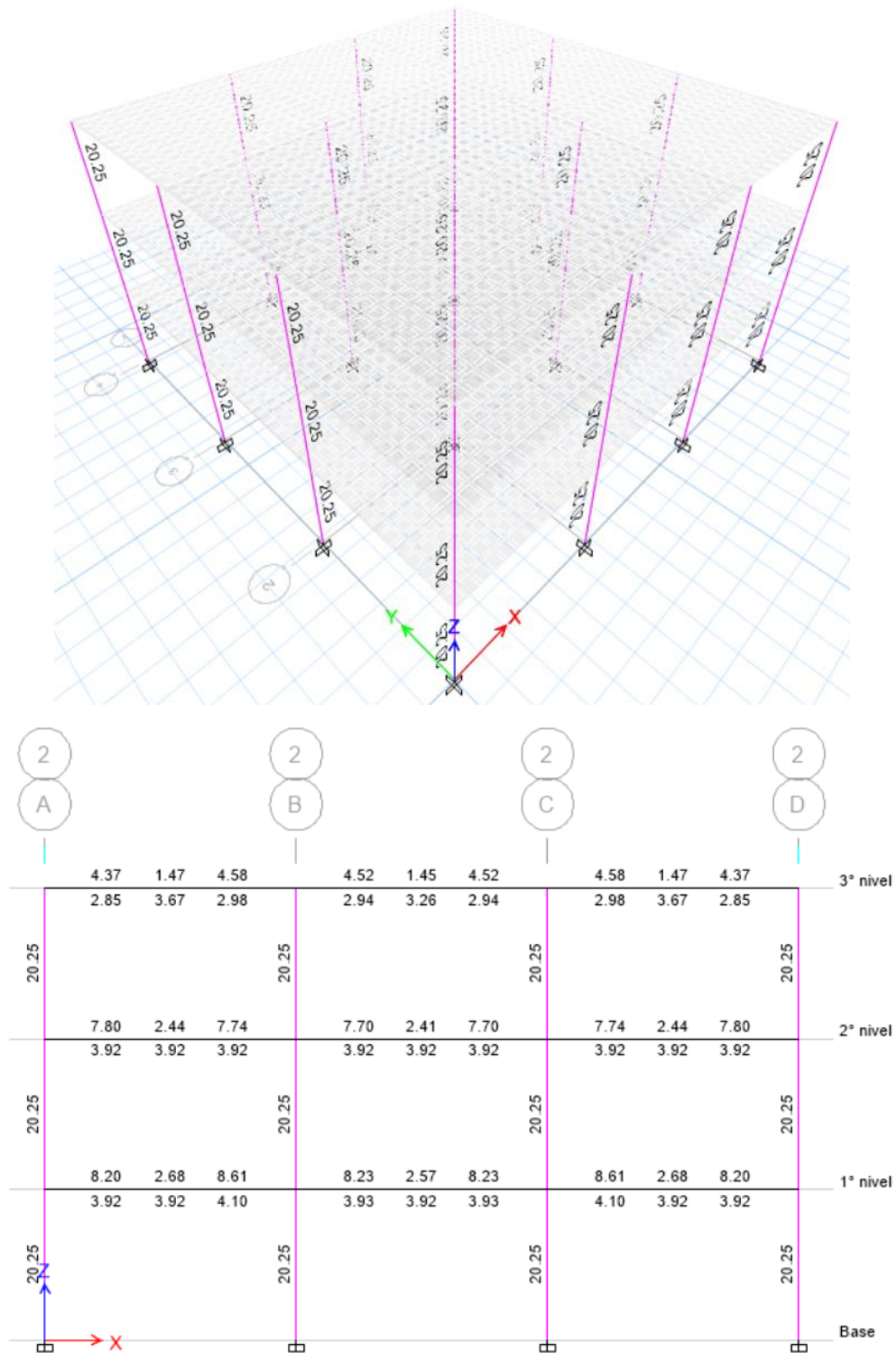
Figura 26: Acero en vigas del 2° y 3° nivel - Estructura 3 niveles en Z4 y S1



## B. Diseño de columnas

Se muestra a continuación el área de acero de refuerzo en  $\text{cm}^2$  de las columnas.

**Figura 27:** Acero en vigas y columnas - Estructura 3 niveles en Z4 y S1



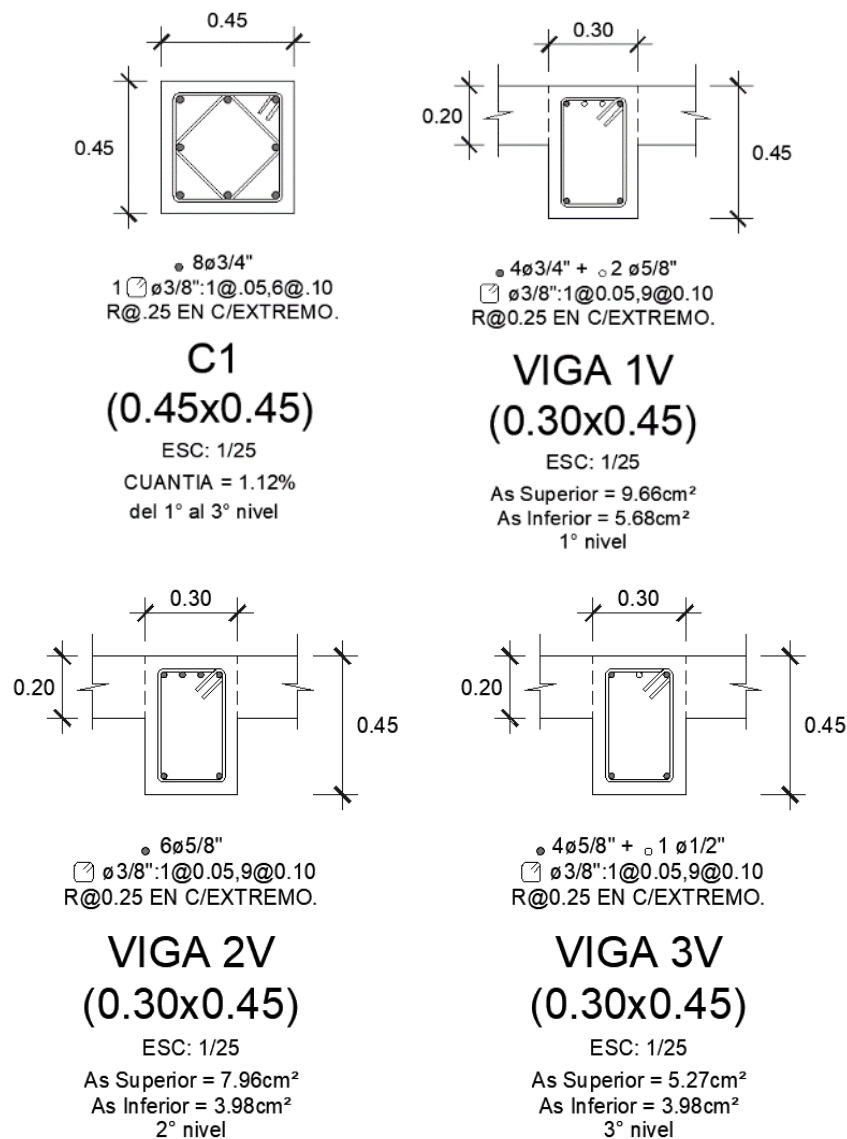
**Fuente:** Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $20.25\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $45 \times 45\text{cm}^2$  se consideró  $8\phi 3/4"$  equivalentes a  $22.72\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.12%.

### C. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 28:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z4 y S1



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.1.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica

##### A. Curva de capacidad de la estructura.

Para el cálculo de la curva de capacidad - Estructura se utilizó el análisis estático no lineal (AENL).

Para poder realizar el AENL se requiere ingresar al programa las secciones de las vigas y columnas con el acero de refuerzo obtenidas del análisis y diseño estructural indicados en el numeral 4.2.1.3.

##### A.1. Carga Gravitacional.

Se consideró una carga gravitacional para el análisis no lineal de acuerdo al ASCE 41-13, el cual menciona lo siguiente:

$$Q_G = Q_D + Q_L$$

Donde:

$Q_G$ : Carga gravitacional.

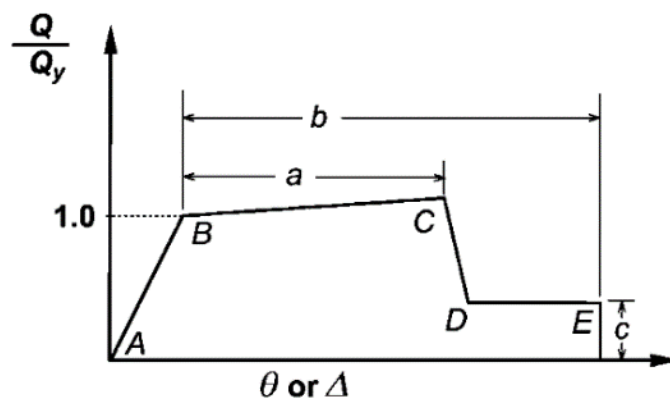
$Q_D$ : Carga muerta (100%)

$Q_L$ : Carga viva (25%)

##### A.2. Rotulas plásticas

Se asignó rotulas plásticas en los encuentros de las vigas con las caras de las columnas, puesto que es el lugar donde se producen inicialmente las fallas de la estructura. Para esto es necesario conocer el comportamiento de los elementos de concreto mediante un diagrama de momento curvatura.

*Figura 29: Diagrama momento curvatura para elementos de C.A.*



Fuente: ASCE 41-13.

De la figura mostrada anteriormente el valor 1 en el eje vertical expresa el valor de cadencia cuando se analiza un elemento a flexión. El tramo AB es el rango lineal o elástico del elemento, el tramo de B a C es donde se presentan las deformaciones plásticas. El parámetro  $c$  (minúscula) es la resistencia reducida luego de la repentina caída desde C hasta D (ASCE 41-13, 2014. p.117).

El programa ETABS 2016 posee la opción de asignar rotulas plásticas de forma automática a los elementos de C.A. como vigas y columnas, puesto que tiene integrado en ella las tablas del ASCE 41-13 para vigas y columnas de concreto.

**Tabla 14. Parámetros para procedimientos no lineales en vigas de C.A.**

Conditions	Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>				
	Plastic Rotations Angle (radians)	Residual Strength Ratio	c	Plastic Rotations Angle (radians)				
				Performance Level				
	a	b		IO	LS	CP		
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>								
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ <sup>d</sup>						
$\rho_{bal}$								
$\leq 0.0$	C	$\leq 3$ (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
$\leq 0.0$	C	$\geq 6$ (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
$\geq 0.5$	C	$\leq 3$ (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
$\geq 0.5$	C	$\geq 6$ (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3$ (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6$ (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3$ (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6$ (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear <sup>b</sup>								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span <sup>b</sup>								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint <sup>b</sup>								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

NOTE:  $f'_c$  in lb/in.<sup>2</sup> (MPa) units.

<sup>a</sup>Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

<sup>b</sup>Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

<sup>c</sup>"C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at  $\leq d/3$ , and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops ( $V_s$ ) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.

<sup>d</sup> $V$  is the design shear force from NSP or NDP.

**Fuente: ASCE 41-13.**

De la tabla mostrada, para el caso de las vigas se hará uso de las condiciones i y ii, puesto que se evaluó la capacidad ante esfuerzos a flexión y corte.



**Tabla 15.** Parámetros para procedimientos no lineales en col. de C.A.

Conditions		Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>		
		Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
		a	b		Performance Level		
					IO	LS	CP
<b>Condition i.<sup>b</sup></b>							
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$						
$A_g f_c'$							
≤0.1	≥0.006			0.2	0.005	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006			0.0	0.003	0.009	0.010
≤0.1	=0.002			0.2	0.005	0.027	0.034
≥0.6	=0.002			0.0	0.002	0.004	0.005
<b>Condition ii.<sup>b</sup></b>							
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$					
$A_g f_c'$							
≤0.1	≥0.006	≤3 (0.25)		0.2	0.005	0.045	0.060
≤0.1	≥0.006	≥6 (0.5)		0.2	0.005	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006	≤3 (0.25)		0.0	0.003	0.009	0.010
≥0.6	≥0.006	≥6 (0.5)		0.0	0.003	0.007	0.008
≤0.1	≤0.0005	≤3 (0.25)		0.2	0.005	0.010	0.012
≤0.1	≤0.0005	≥6 (0.5)		0.2	0.004	0.005	0.006
≥0.6	≤0.0005	≤3 (0.25)		0.0	0.002	0.003	0.004
≥0.6	≤0.0005	≥6 (0.5)		0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Condition iii.<sup>b</sup></b>							
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$						
$A_g f_c'$							
≤0.1	≥0.006			0.0	0.0	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006			0.0	0.0	0.007	0.008
≤0.1	≤0.0005			0.0	0.0	0.005	0.006
≥0.6	≤0.0005			0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height<sup>b</sup></b>							
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$						
$A_g f_c'$							
≤0.1	≥0.006			0.4	0.0	0.045	0.060
≥0.6	≥0.006			0.4	0.0	0.007	0.008
≤0.1	≤0.0005			0.2	0.0	0.005	0.006
≥0.6	≤0.0005			0.0	0.0	0.0	0.0

NOTE:  $f_c'$  is in lb/in.<sup>2</sup> (MPa) units.

<sup>a</sup>Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

<sup>b</sup>Refer to Section 10.4.2.2.2 for definition of conditions i, ii, and iii. Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-2). Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

<sup>c</sup>Where  $P > 0.7A_s f_c'$ , the plastic rotation angles should be taken as zero for all performance levels unless the column has transverse reinforcement consisting of hoops with 135-degree hooks spaced at  $\leq d/3$  and the strength provided by the hoops ( $V$ ) is at least 3/4 of the design shear. Axial load  $P$  should be based on the maximum expected axial loads caused by gravity and earthquake loads.

<sup>d</sup> $V$  is the design shear force from NSP or NDP.

**Fuente:** ASCE 41-13.

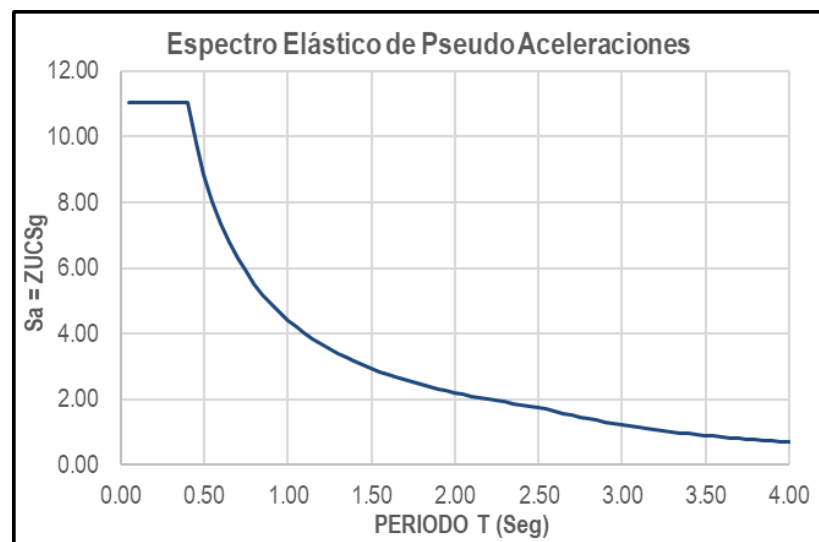
De la tabla mostrada, para el caso de las columnas se hará uso de las condiciones i y ii, puesto que se evaluó la capacidad ante esfuerzos a flexo compresión y corte.

## B. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

**Figura 30:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z4 y S1



**Fuente:** Propia a partir de los parámetros sísmicos

## C. Nivel de desempeño.

Se obtuvo el nivel de desempeño - Estructura en base a los elementos estructurales y con el método de los coeficientes de acuerdo a lo indicado en el ASCE 41-13, el cual a su vez muestra los siguientes niveles de desempeño: Operacional, Ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención al colapso.

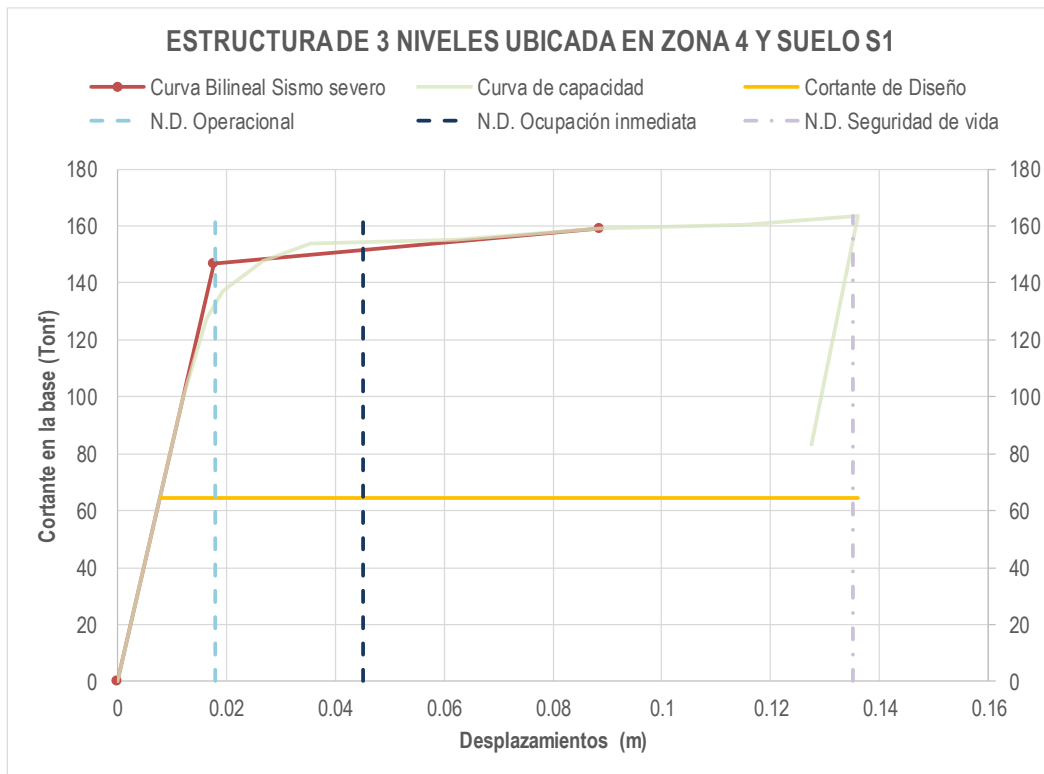
Los niveles de desempeño fueron medidos a través de los criterios de aceptación indicados en el código VISION 2000, en función a la distorsión total de la estructura.

**Tabla 16.** Criterios de aceptación.

Nivel de desempeño	Distorsiones
Ocupación inmediata	0.002-0.005
Seguridad de vida	0.015
Prevención al colapso	0.025

**Fuente:** Visión 2000.

## D. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica (R)



### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$	
Ve 596.71 Vy 146.64	Vy 146.64 Vd 64.50	N° ejes de columnas 3
<b>R<sub>μ</sub>: 4.07</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 2.27</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>

$$R = 9.24$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 4.07 y el factor de sobre resistencia es de 2.27. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.24**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo muy rígido S1) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

De aquí en adelante se muestran los resultados de las demás estructuras, en las cuales se tomaron los mismos criterios y consideraciones para el análisis, diseño estructural y para el análisis no lineal que se mencionaron en la ESTRUCTURA DE 3 NIVELES UBICADA EN ZONA 4 Y SUELO S1.

#### **4.2.2. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo muy rígido S1**

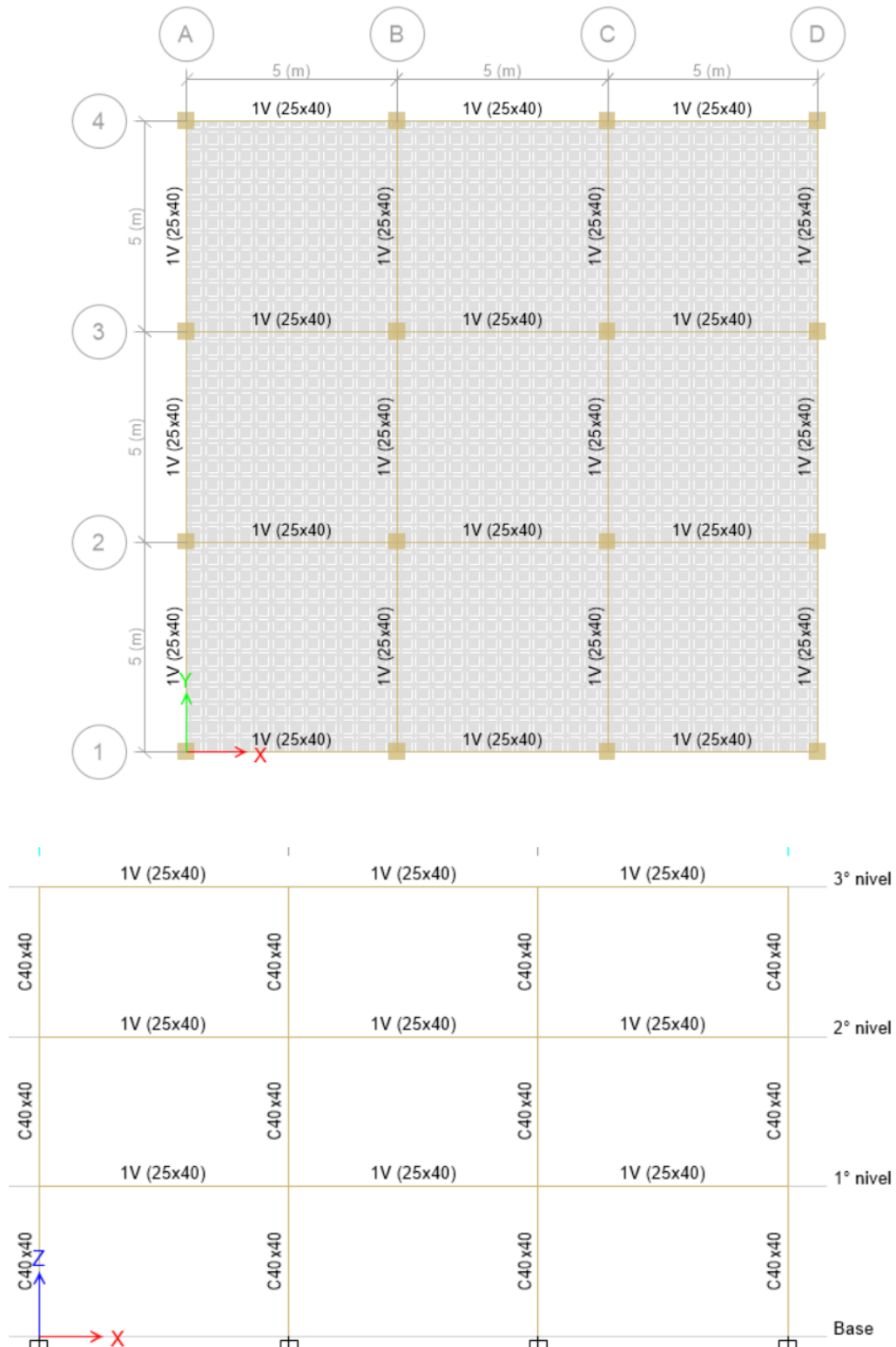
Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 25x40cm<sup>2</sup> y columnas de 40x40cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\,371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\,000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

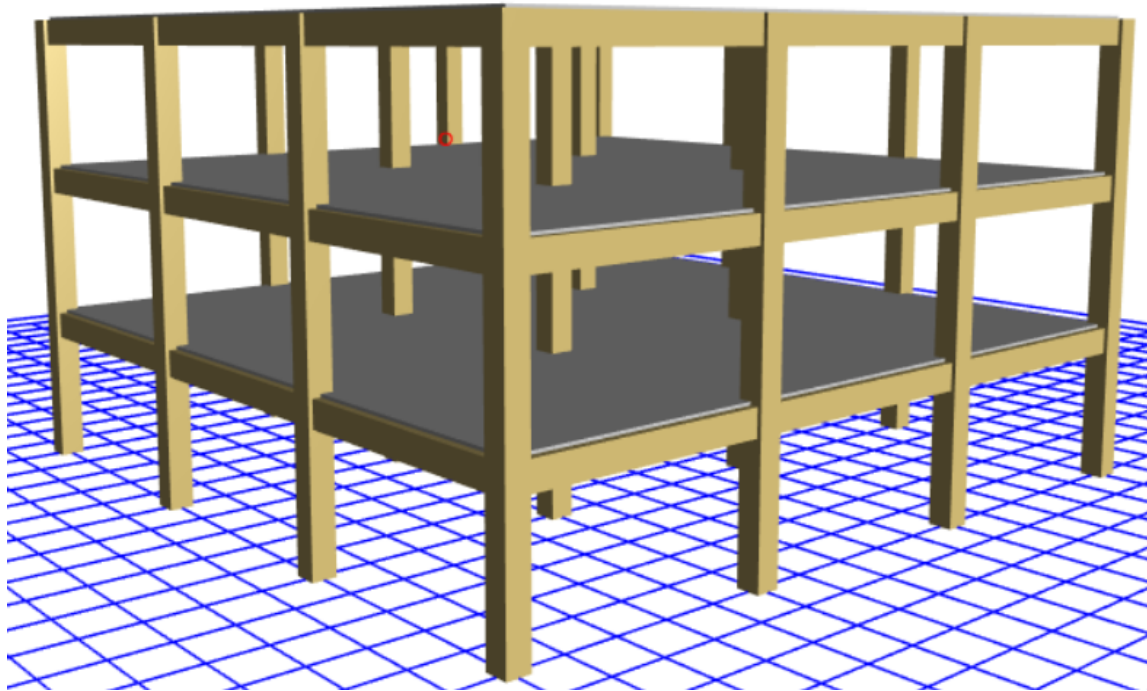
#### 4.2.2.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 3 Y SUELO MUY RIGIDO S1:

**Figura 31:** Estructura de 3 niveles en Z3 y S1 – Vista en planta y elevación



**Figura 32:** Estructura de 3 niveles en Z3 y S1 – Vista 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.2.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 17.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z3 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	14.0236	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	19.26529	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	19.26529	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

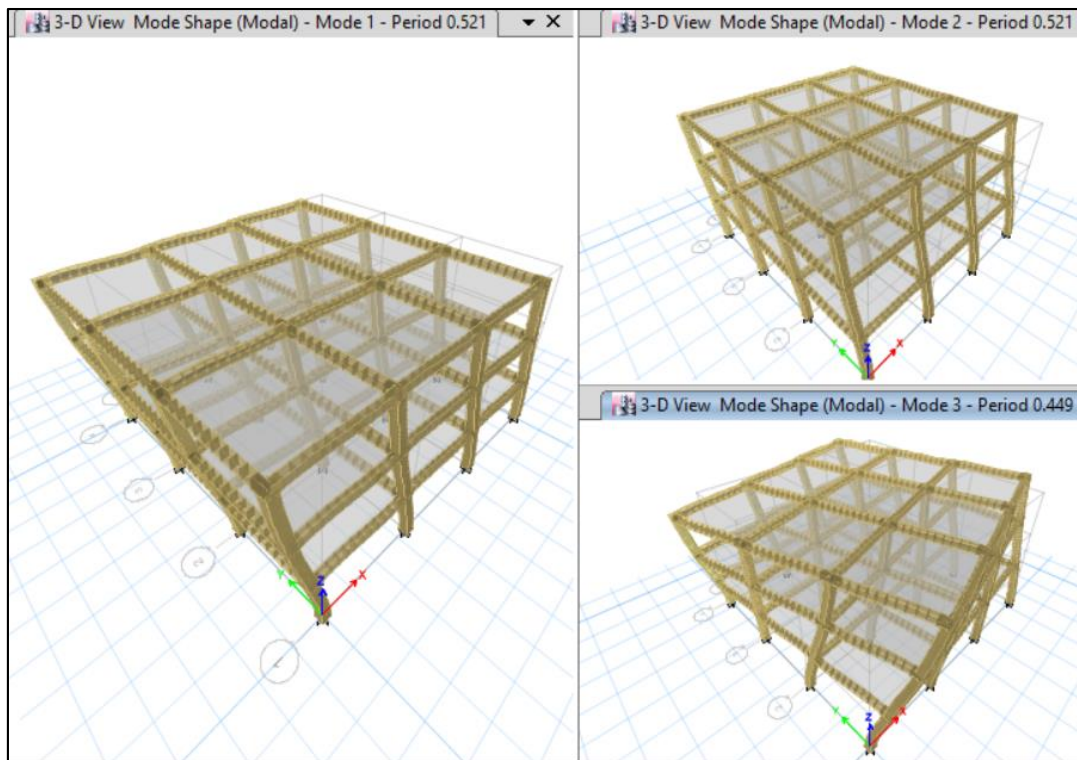
**Tabla 18.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z3 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.5210</b>	<b>0.8449</b>	0.0000	0.0000	84.4900	0.0000	0.0000
2	<b>0.5210</b>	0.0000	<b>0.8449</b>	0.0000	84.4900	84.4900	0.0000
3	<b>0.4490</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8475</b>	84.4900	84.4900	84.7500
4	0.1580	0.1203	0.0000	0.0000	96.5300	84.4900	84.7500
5	0.1580	0.0000	0.1203	0.0000	96.5300	96.5300	84.7500
6	0.1370	0.0000	0.0000	0.1184	96.5300	96.5300	96.5900
7	0.0870	0.0347	0.0000	0.0000	100.0000	96.5300	96.5900
8	0.0870	0.0000	0.0347	0.0000	100.0000	100.0000	96.5900
9	0.0760	0.0000	0.0000	0.0341	100.0000	100.0000	99.9900

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.521 s**.

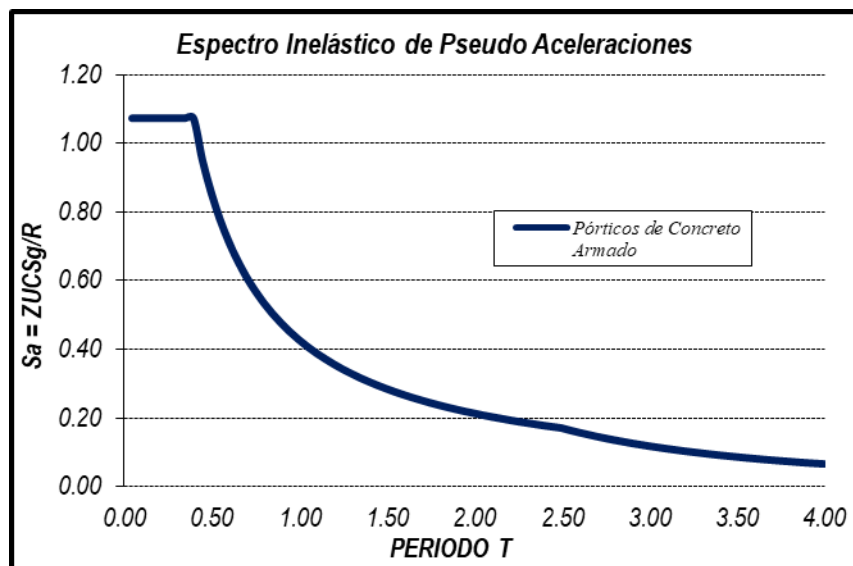
**Figura 33:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z3 y S1



### C. Aceleración espectral

**Figura 34:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z3 y S1.

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.350	Zona 3
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
Ro:	8.000	Pórticos de Concreto Armado
la:	1.000	No Presenta Irregularidad
lp:	1.000	No Presenta Irregularidad
R:	8.000	Coefficiente de Reducción Sismica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 19.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z3 y S1

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.35	1.00	1.92	1.00	8.00	0.084	515.38	34.62
Y-Y	0.35	1.00	1.92	1.00	8.00	0.084	515.38	34.62

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>37.525</b>	0.000
SY	0.000	<b>37.525</b>



Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	37.525	34.623
Y-Y	37.525	34.623

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 37.53 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 20.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z3 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>4.8402</b>	0.3918
3° nivel	Sy Max	0.3918	<b>4.8402</b>
2° nivel	Sx Max	3.5352	0.2850
2° nivel	Sy Max	0.2850	3.5352
1° nivel	Sx Max	1.5150	0.1224
1° nivel	Sy Max	0.1224	1.5150

**Tabla 21.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z3 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00445	0.00035
3° nivel	Sy Max	0.00035	0.00445
2° nivel	Sx Max	<b>0.00676</b>	0.00055
2° nivel	Sy Max	0.00055	<b>0.00676</b>
1° nivel	Sx Max	0.00505	0.00041
1° nivel	Sy Max	0.00041	0.00505

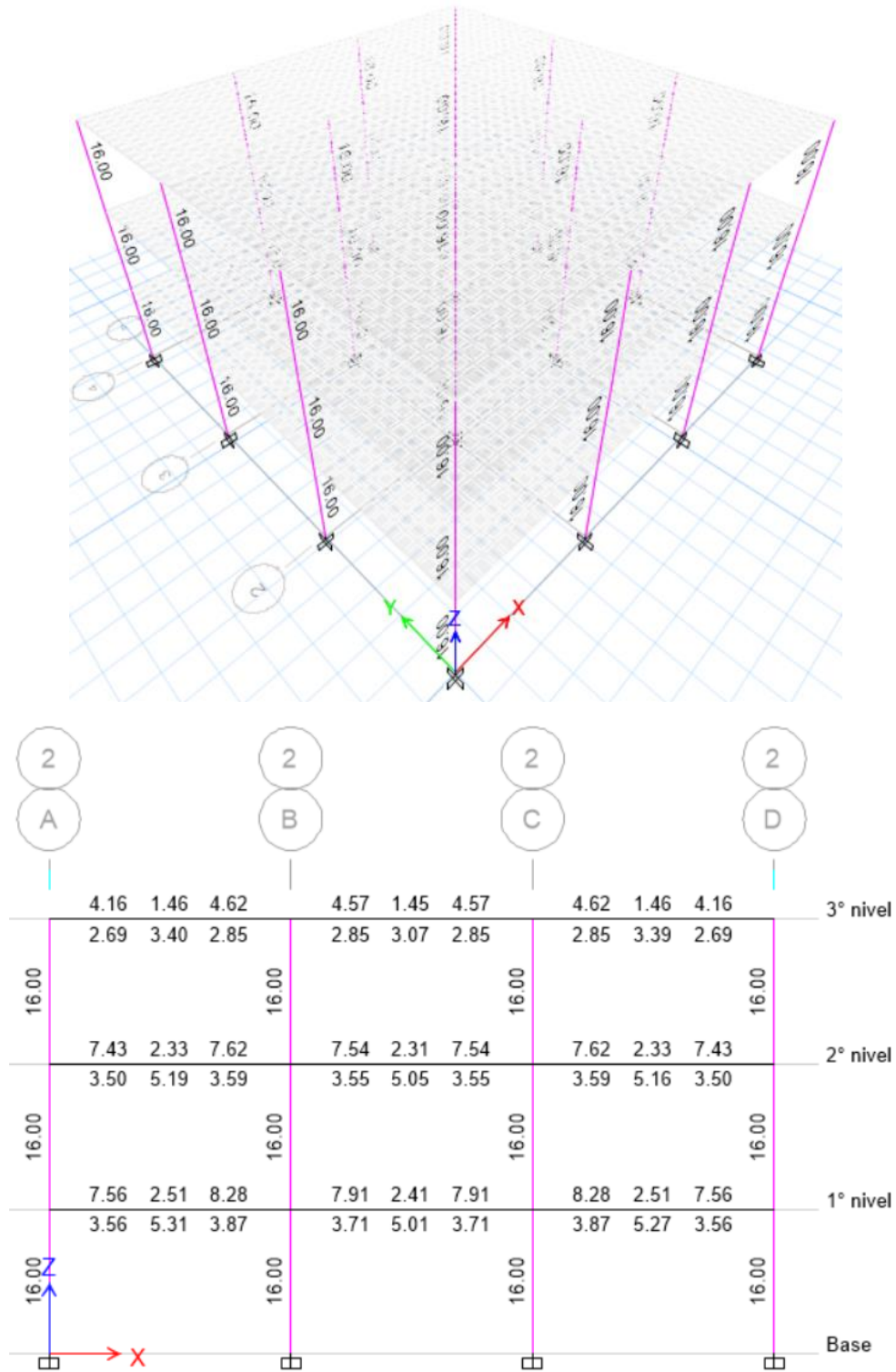
**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 4.84 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00676**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

4.2.2.3. Diseño estructural

A. Diseño de vigas y columnas

Figura 35: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S1



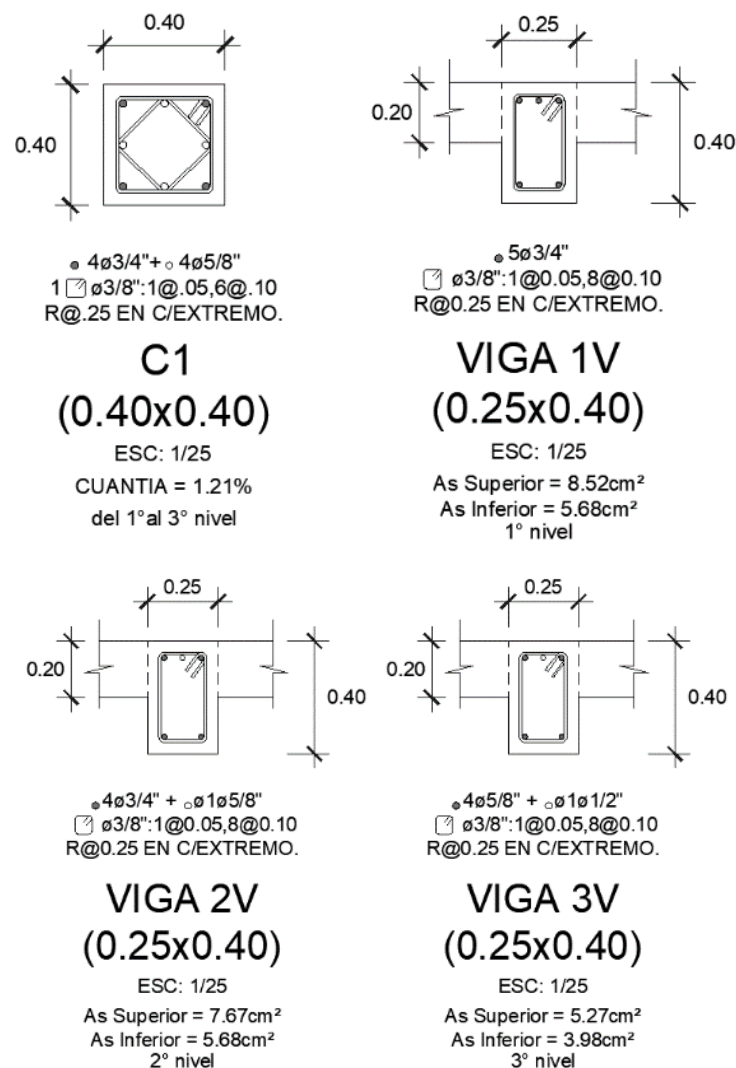
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $16.00\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $40 \times 40\text{cm}^2$  se consideró  $4\phi 3/4" + 4\phi 5/8"$  equivalentes a  $19.32\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.21%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 36:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S1



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.2.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

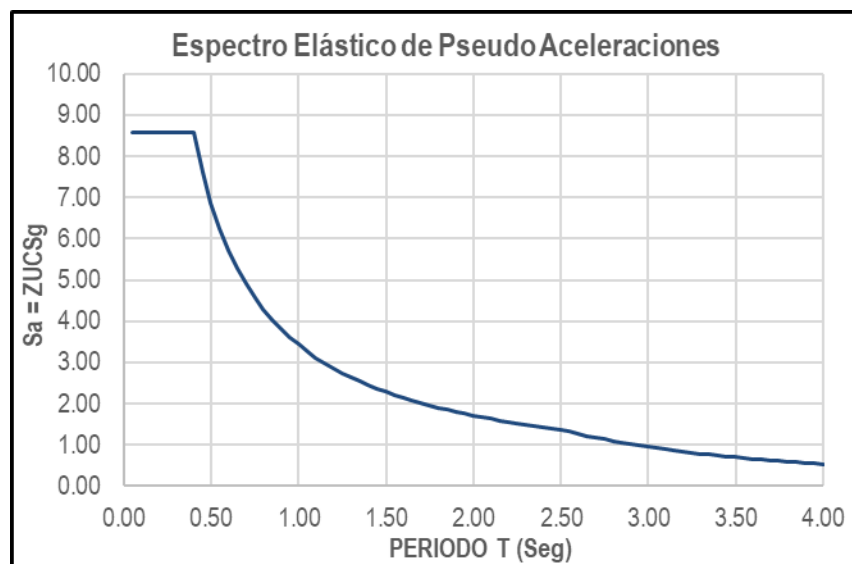
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

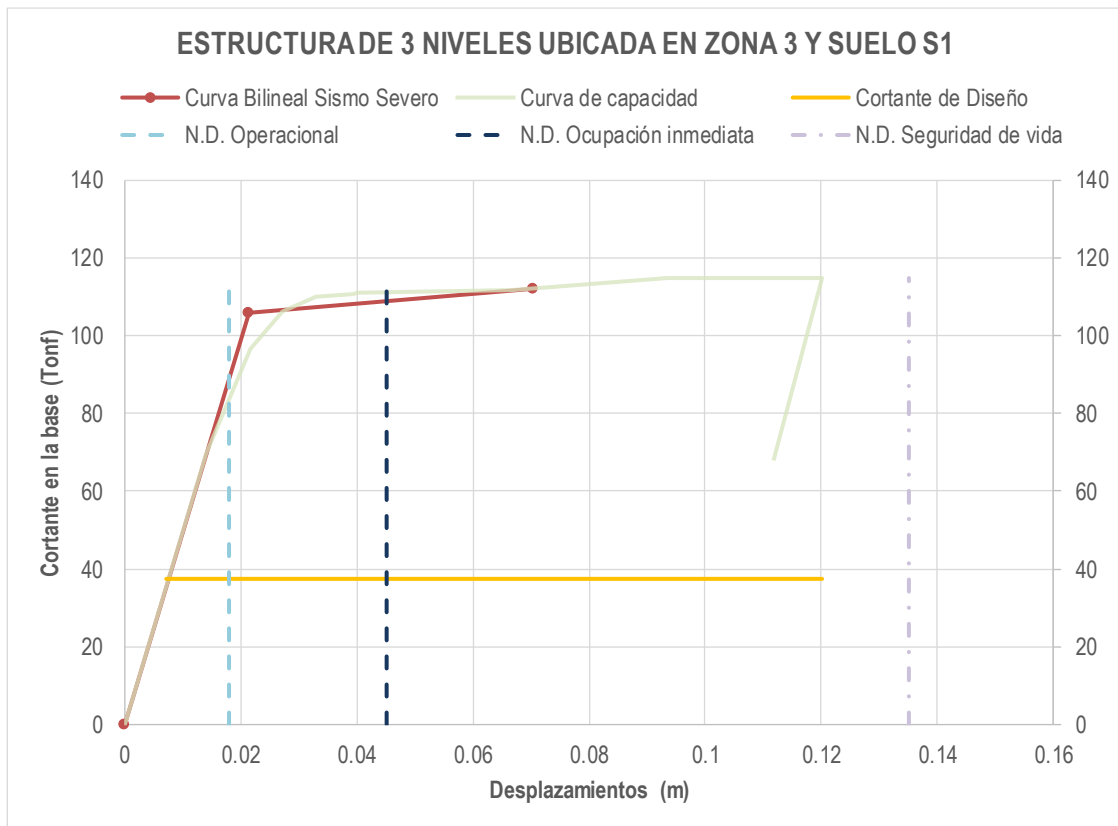
**Figura 37:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z3 y S1

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.350	Zona 3
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
R:	1.000	Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.

## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA												
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$													
<table border="0"> <tr> <td><math>V_e</math></td> <td>346.23</td> <td><math>V_y</math></td> <td>105.77</td> </tr> <tr> <td><math>V_y</math></td> <td>105.77</td> <td><math>V_d</math></td> <td>37.53</td> </tr> </table>	$V_e$	346.23	$V_y$	105.77	$V_y$	105.77	$V_d$	37.53	<table border="0"> <tr> <td><math>V_y</math></td> <td>105.77</td> <td><math>V_d</math></td> <td>37.53</td> </tr> </table>	$V_y$	105.77	$V_d$	37.53	Nº ejes de columnas: 3
$V_e$	346.23	$V_y$	105.77											
$V_y$	105.77	$V_d$	37.53											
$V_y$	105.77	$V_d$	37.53											
<b><math>R_{\mu}</math>: 3.27</b>	<b><math>R_{\Omega}</math>: 2.82</b>	<b><math>R_R</math>: 1.00</b>												

$$R = 9.22$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 3.27 y el factor de sobre resistencia es de 2.82. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.22**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.3. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo muy rígido S1

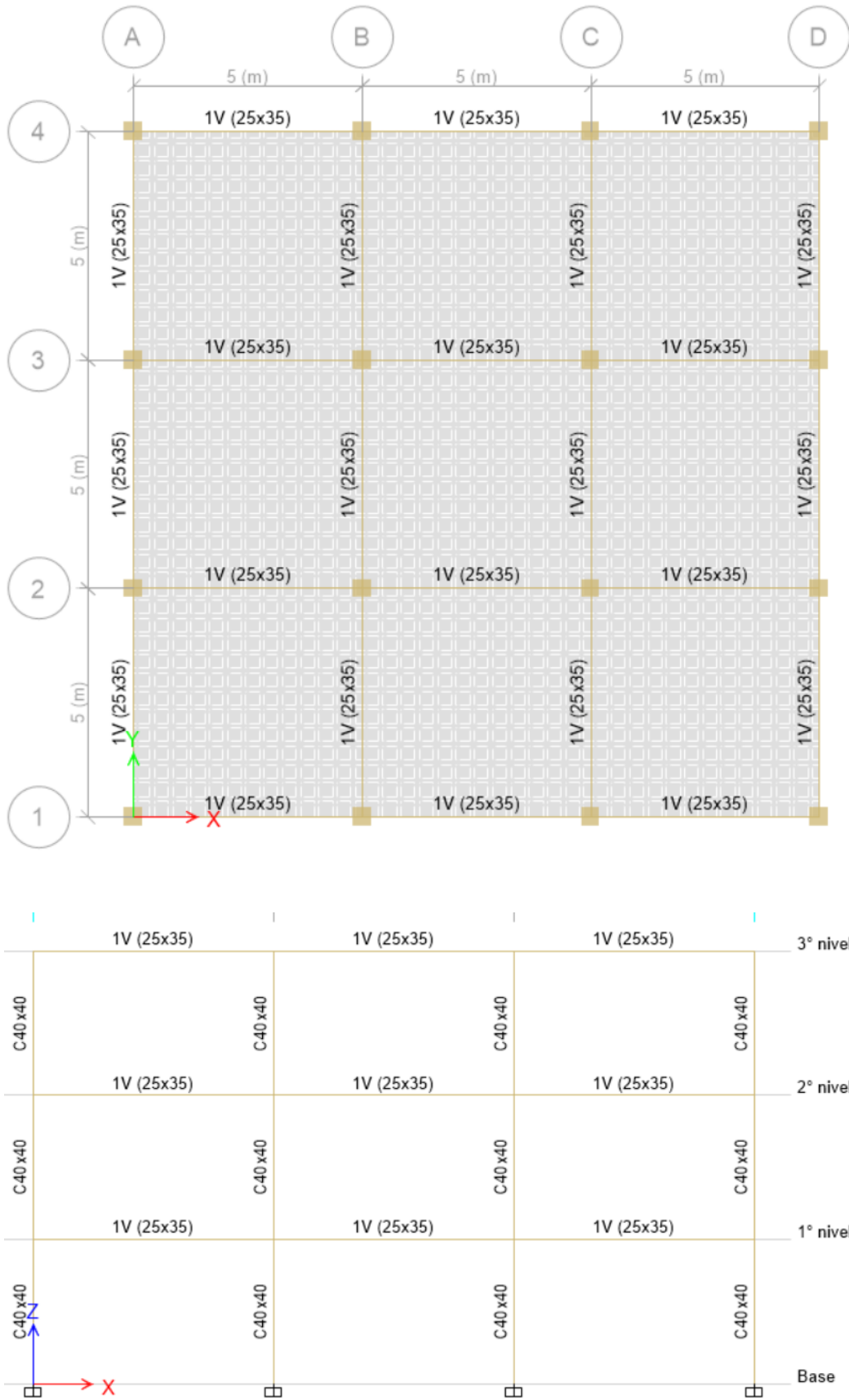
Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 25x35cm<sup>2</sup> y columnas de 40x40cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\ 371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\ 000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

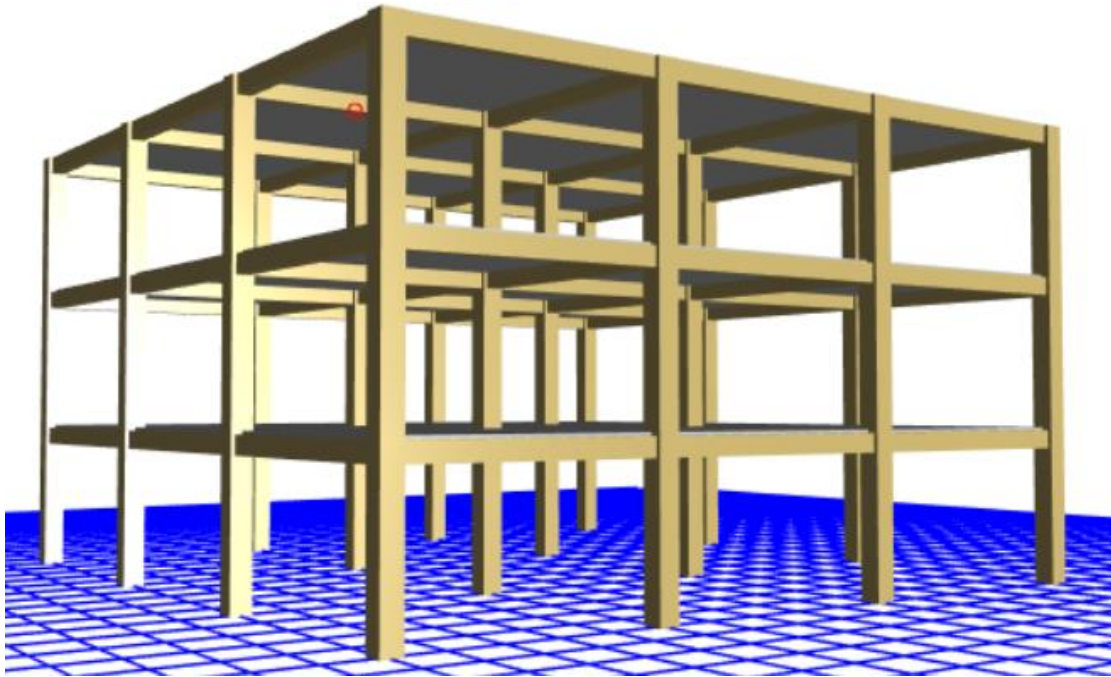
##### 4.2.3.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 2 Y SUELO MUY RIGIDO S1:

**Figura 38:** Estructura de 3 niveles en Z2 y S1 – Vista en planta y elevación



**Figura 39:** Estructura de 3 niveles en Z2 y S1 – Vista 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.3.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 22.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z2 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	13.68587	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	18.92756	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	18.92756	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático



## B. Análisis modal

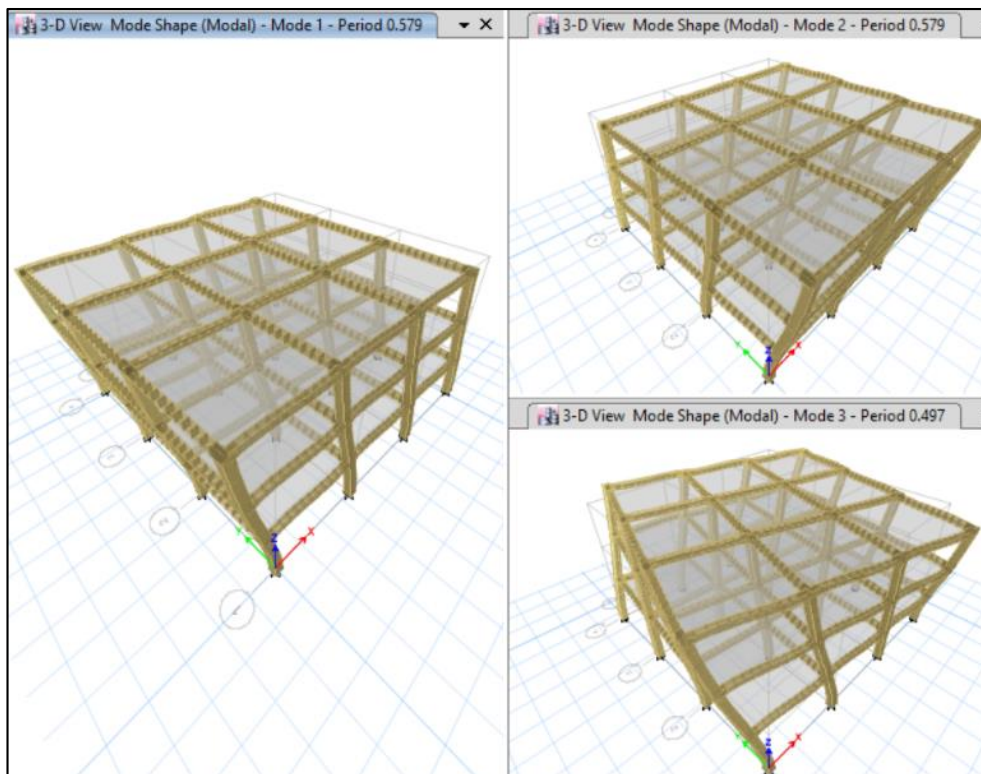
**Tabla 23.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z2 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.5790</b>	<b>0.8309</b>	0.0000	0.0000	83.0900	0.0000	0.0000
2	<b>0.5790</b>	0.0000	<b>0.8309</b>	0.0000	83.0900	83.0900	0.0000
3	<b>0.4970</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8340</b>	83.0900	83.0900	83.4000
4	0.1690	0.1298	0.0000	0.0000	96.0700	83.0900	83.4000
5	0.1690	0.0000	0.1298	0.0000	96.0700	96.0700	83.4000
6	0.1470	0.0000	0.0000	0.1274	96.0700	96.0700	96.1400
7	0.0890	0.0392	0.0000	0.0000	100.0000	96.0700	96.1400
8	0.0890	0.0000	0.0392	0.0000	100.0000	100.0000	96.1400
9	0.0780	0.0000	0.0000	0.0385	100.0000	100.0000	99.9900

*Fuente: Propia a partir del análisis modal*

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.579 s**.

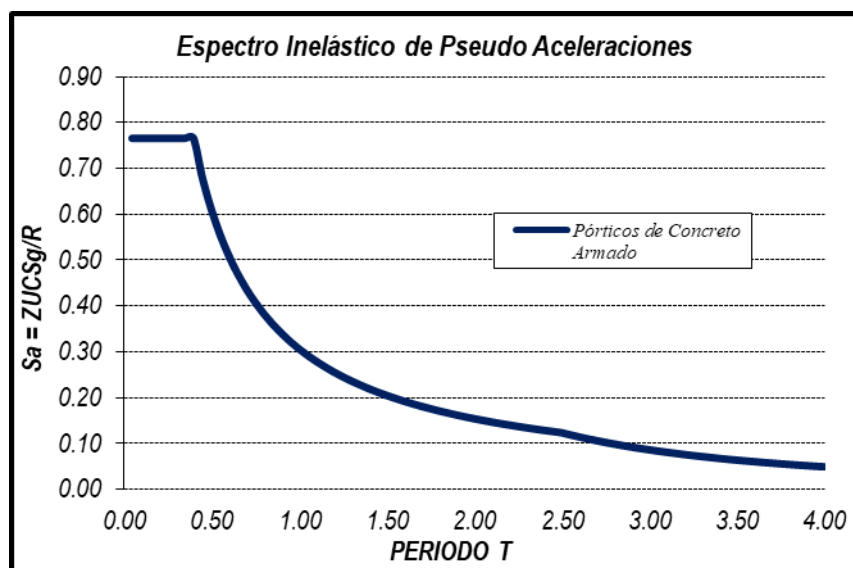
**Figura 40:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z2 y S1



### C. Aceleración espectral

**Figura 41:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z2 y S1.

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.250	Zona 2
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
Ro:	8.000	Pórticos de Concreto Armado
la:	1.000	No Presenta Irregularidad
lp:	1.000	No Presenta Irregularidad
R:	8.000	Coefficiente de Reducción Sismica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 24.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z2 y S1

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.25	1.00	1.73	1.00	8.00	0.054	505.45	21.82
Y-Y	0.25	1.00	1.73	1.00	8.00	0.054	505.45	21.82

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>23.441</b>	0.000
SY	0.000	<b>23.441</b>

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	23.441	21.824
Y-Y	23.441	21.824

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 21.82 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 25.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z2 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>3.8826</b>	0.3138
3° nivel	Sy Max	0.3138	<b>3.8826</b>
2° nivel	Sx Max	2.7522	0.2214
2° nivel	Sy Max	0.2214	2.7522
1° nivel	Sx Max	1.1316	0.0912
1° nivel	Sy Max	0.0912	1.1316

**Tabla 26.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z2 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00385	0.00031
3° nivel	Sy Max	0.00031	0.00385
2° nivel	Sx Max	<b>0.00542</b>	0.00043
2° nivel	Sy Max	0.00043	<b>0.00542</b>
1° nivel	Sx Max	0.00377	0.00031
1° nivel	Sy Max	0.00031	0.00377

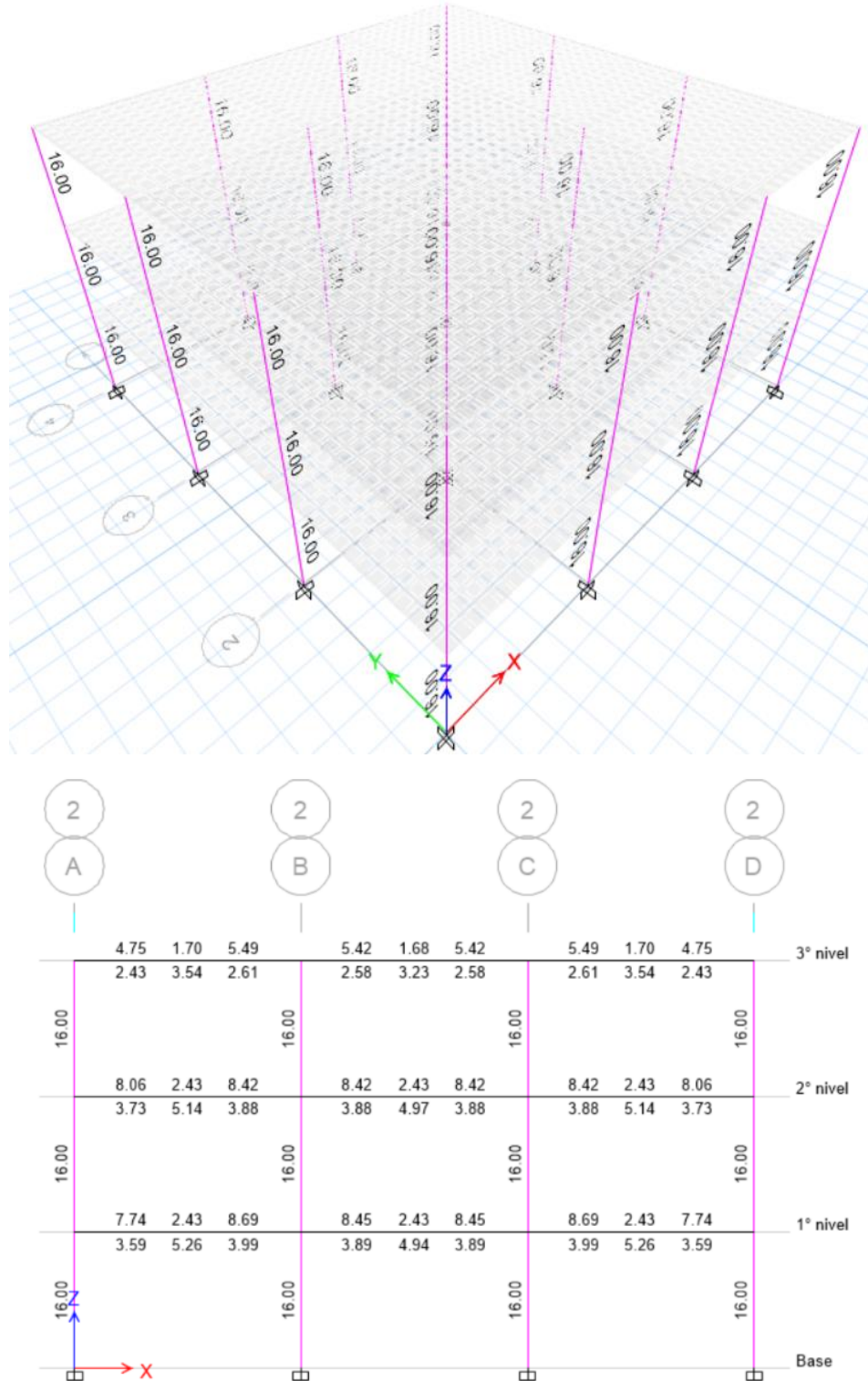
**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 3.88 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00542**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

4.2.3.3. Diseño estructural

A. Diseño de vigas y columnas

Figura 42: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S1



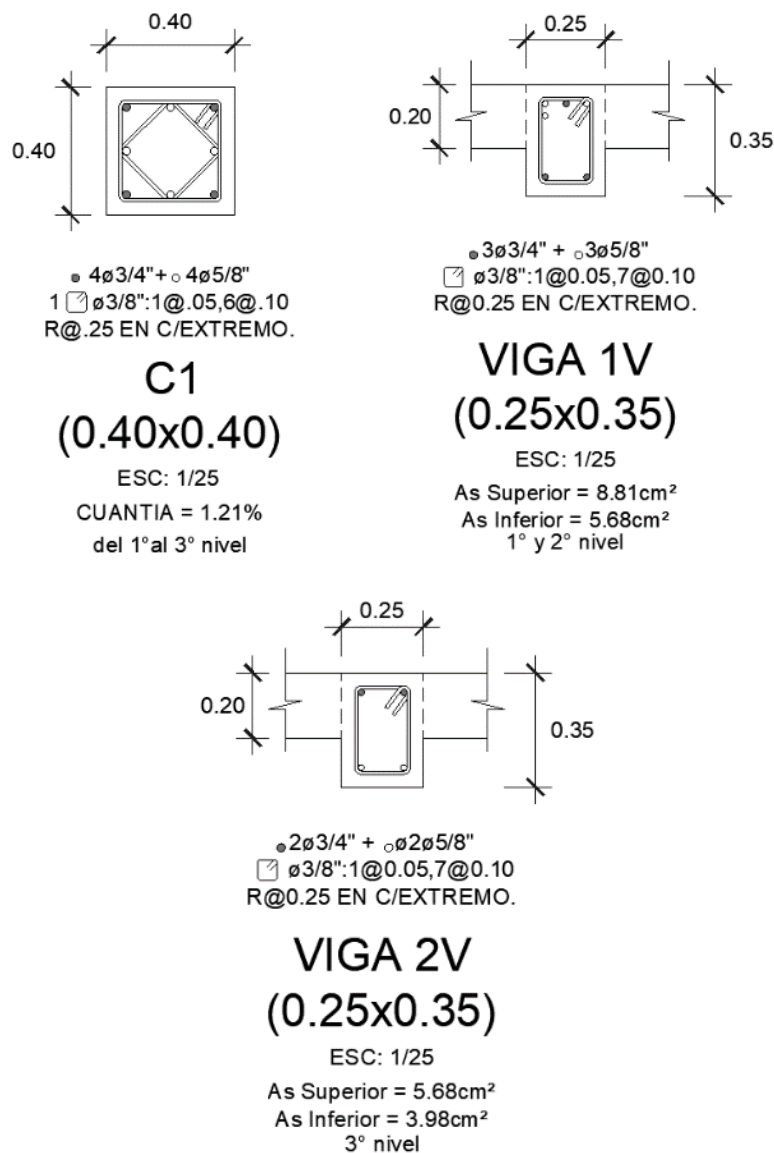
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $16.00\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $40 \times 40\text{cm}^2$  se consideró  $4\phi 3/4'' + 4\phi 5/8''$  equivalentes a  $19.32\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.21%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 43:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S1



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.3.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

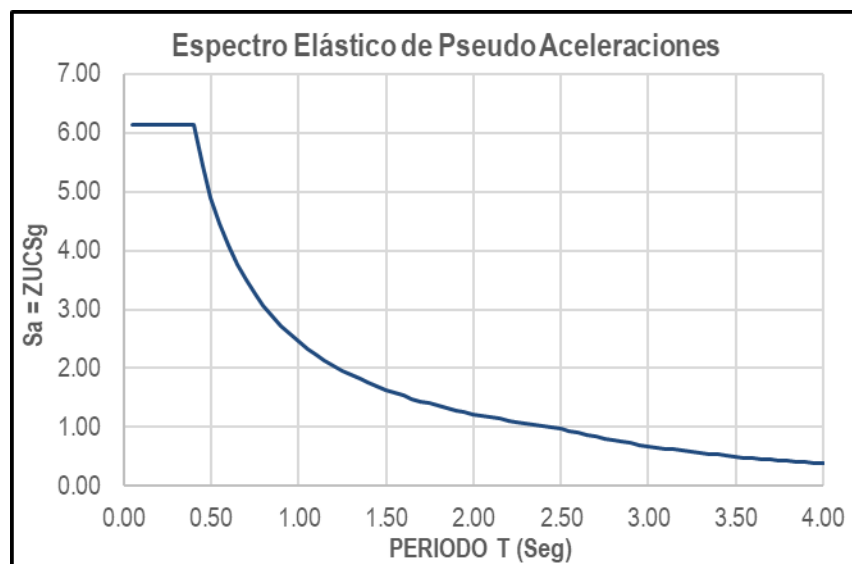
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

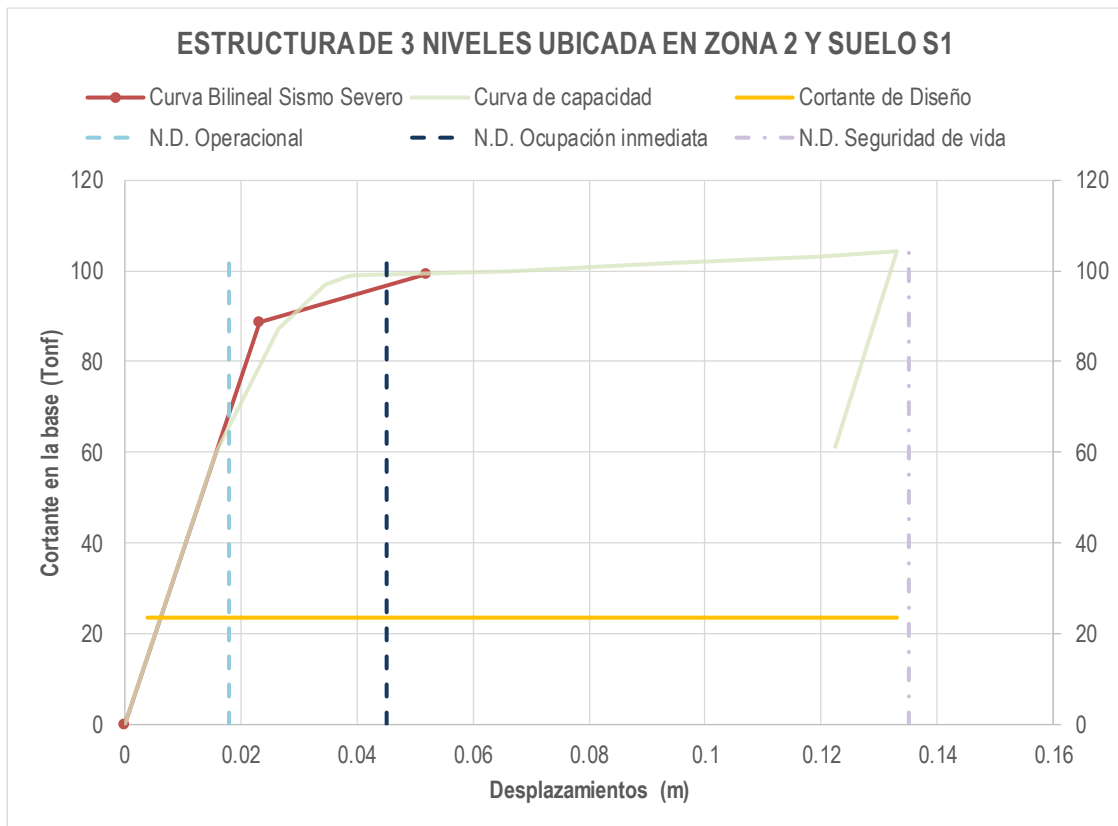
**Figura 44:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z2 y S1

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.250	Zona 2
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
R:	1.000	Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.

## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA								
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$									
<table border="0"> <tr> <td><math>V_e</math></td> <td>218.24</td> <td><math>V_y</math></td> <td>88.56</td> </tr> <tr> <td><math>V_y</math></td> <td>88.56</td> <td><math>V_d</math></td> <td>23.44</td> </tr> </table>	$V_e$	218.24	$V_y$	88.56	$V_y$	88.56	$V_d$	23.44		Nº ejes de columnas: 3
$V_e$	218.24	$V_y$	88.56							
$V_y$	88.56	$V_d$	23.44							
<b>R<sub>μ</sub>: 2.46</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 3.78</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>								

$$R = 9.30$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 2.46 y el factor de sobre resistencia es de 3.78. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.30**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.4. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo muy rígido S1

Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

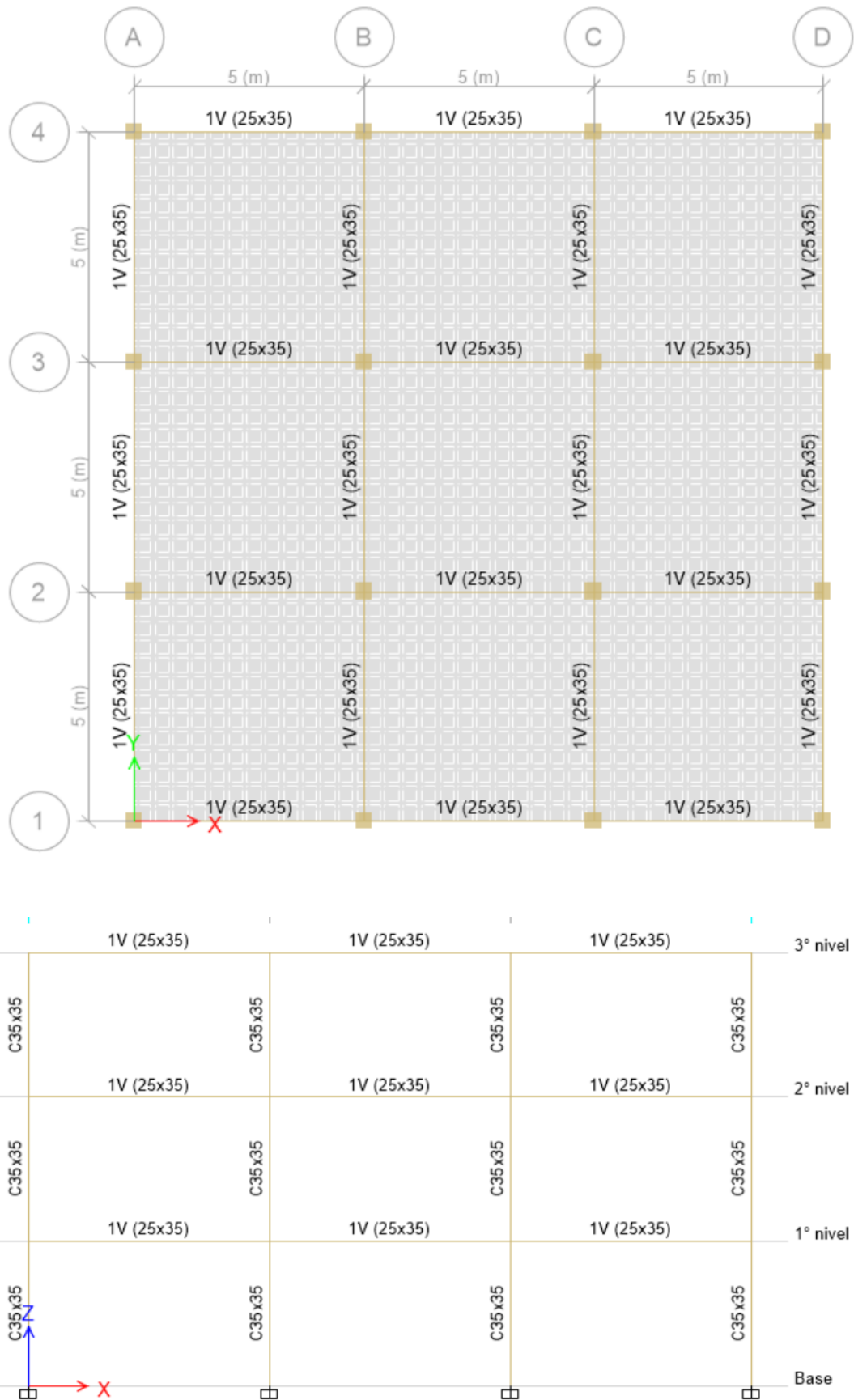
- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 25x35cm<sup>2</sup> y columnas de 35x35cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\ 371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\ 000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

##### 4.2.4.1. Modelo matemático.

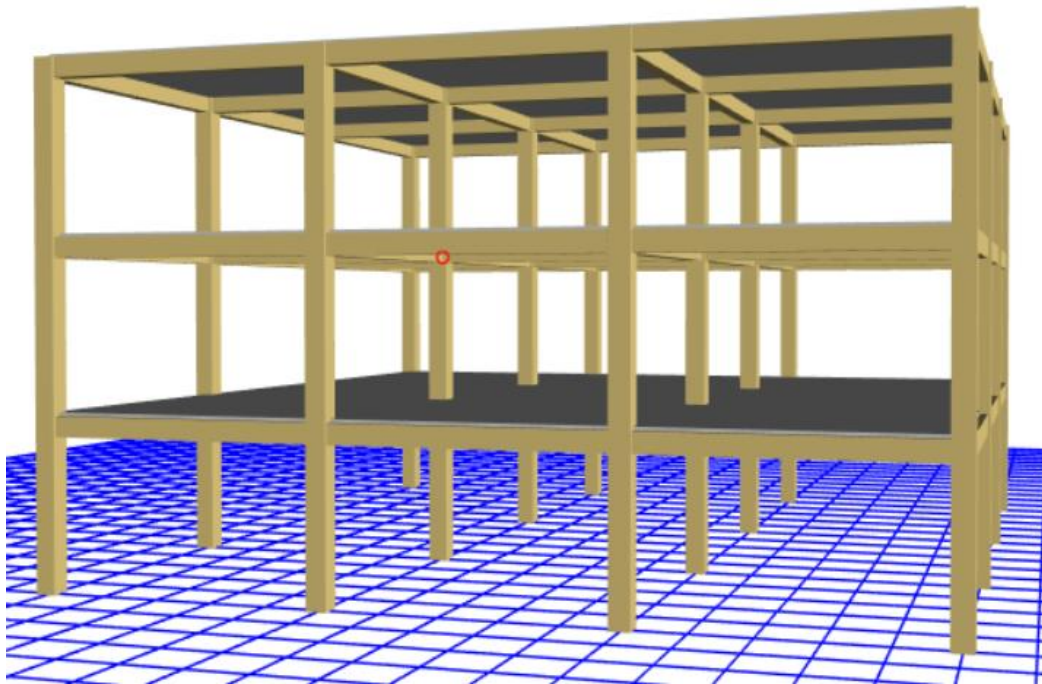
Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 1 Y SUELO MUY RIGIDO S1:



**Figura 45:** Estructura de 3 niveles en Z1 y S1 – Vista en planta y elevación



**Figura 46:** Estructura de 3 niveles en Z1 y S1 – Vista 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.4.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 27.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z1 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	13.4913	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	18.51274	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	18.51274	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

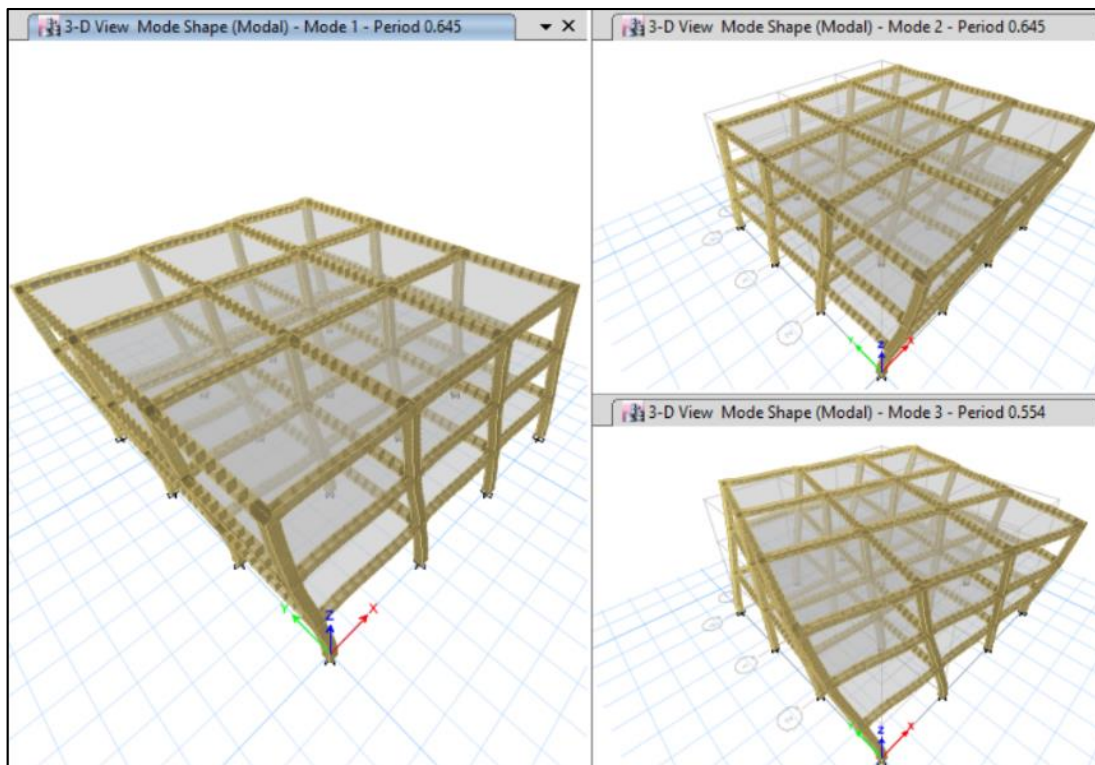
**Tabla 28.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z1 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.6450</b>	<b>0.8490</b>	0.0000	0.0000	84.9000	0.0000	0.0000
2	<b>0.6450</b>	0.0000	<b>0.8490</b>	0.0000	84.9000	84.9000	0.0000
3	<b>0.5540</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8515</b>	84.9000	84.9000	85.1500
4	0.1980	0.1176	0.0000	0.0000	96.6600	84.9000	85.1500
5	0.1980	0.0000	0.1176	0.0000	96.6600	96.6600	85.1500
6	0.1710	0.0000	0.0000	0.1157	96.6600	96.6600	96.7300
7	0.1110	0.0333	0.0000	0.0000	100.0000	96.6600	96.7300
8	0.1110	0.0000	0.0333	0.0000	100.0000	100.0000	96.7300
9	0.0970	0.0000	0.0000	0.0327	100.0000	100.0000	100.0000

*Fuente: Propia a partir del análisis modal*

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.6450 s**.

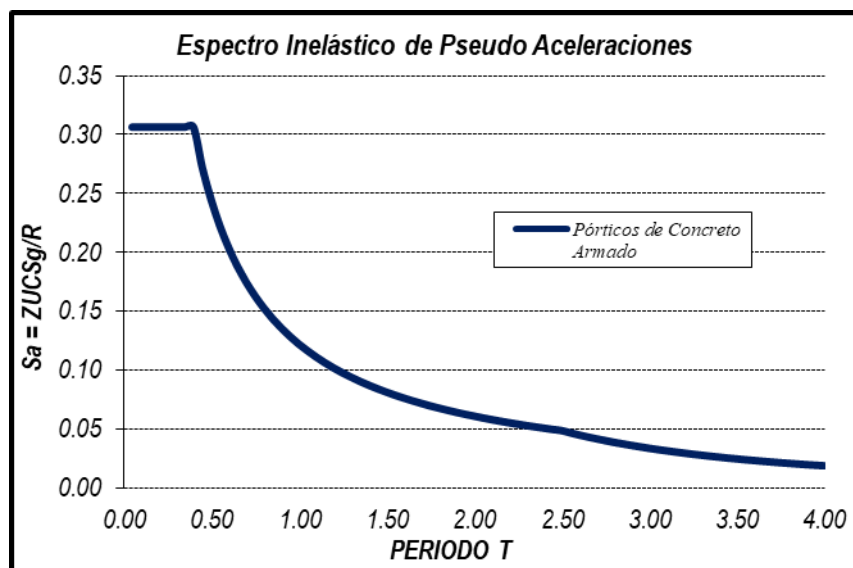
**Figura 47:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z1 y S1



### C. Aceleración espectral

**Figura 48:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z1 y S1.

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.100	Zona 1
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
R <sub>o</sub> :	8.000	Pórticos de Concreto Armado
l <sub>a</sub> :	1.000	No Presenta Irregularidad
l <sub>p</sub> :	1.000	No Presenta Irregularidad
R:	8.000	Coefficiente de Reducción Sísmica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 29.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z1 y S1

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.10	1.00	1.55	1.00	8.00	0.019	495.40	7.68
Y-Y	0.10	1.00	1.55	1.00	8.00	0.019	495.40	7.68

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>8.429</b>	0.000
SY	0.000	<b>8.429</b>

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	8.429	7.681
Y-Y	8.429	7.681

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 8.43 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 30.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z1 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>1.7112</b>	0.1398
3° nivel	Sy Max	0.1398	<b>1.7112</b>
2° nivel	Sx Max	1.2612	0.1026
2° nivel	Sy Max	0.1026	1.2612
1° nivel	Sx Max	0.5484	0.0444
1° nivel	Sy Max	0.0444	0.5484

**Tabla 31.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z1 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00155	0.00013
3° nivel	Sy Max	0.00013	0.00155
2° nivel	Sx Max	<b>0.00239</b>	0.00019
2° nivel	Sy Max	0.00019	<b>0.00239</b>
1° nivel	Sx Max	0.00183	0.00015
1° nivel	Sy Max	0.00015	0.00183

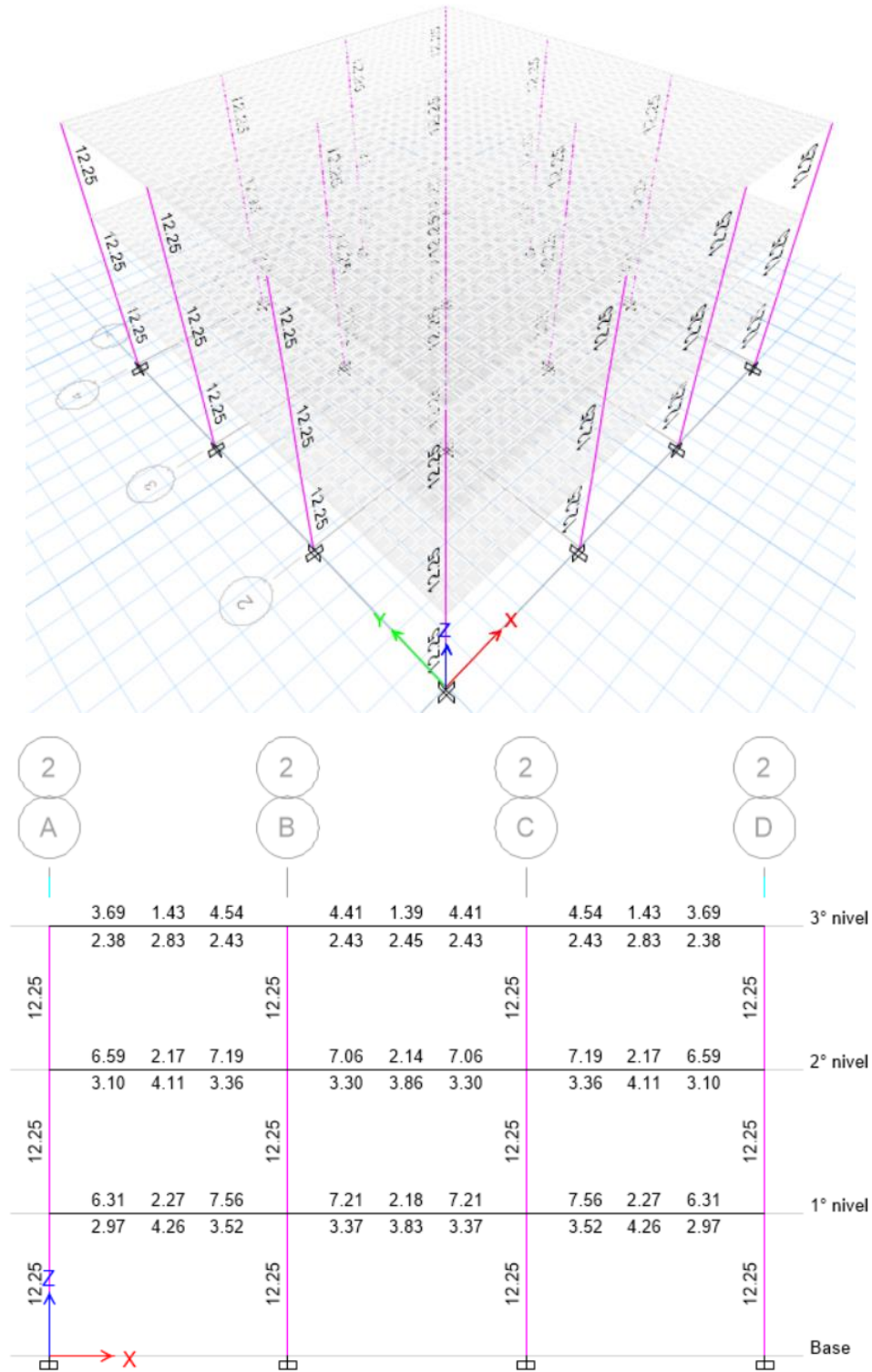
**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 1.71 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00239**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

4.2.4.3. Diseño estructural

A. Diseño de vigas y columnas

Figura 49: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S1



Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

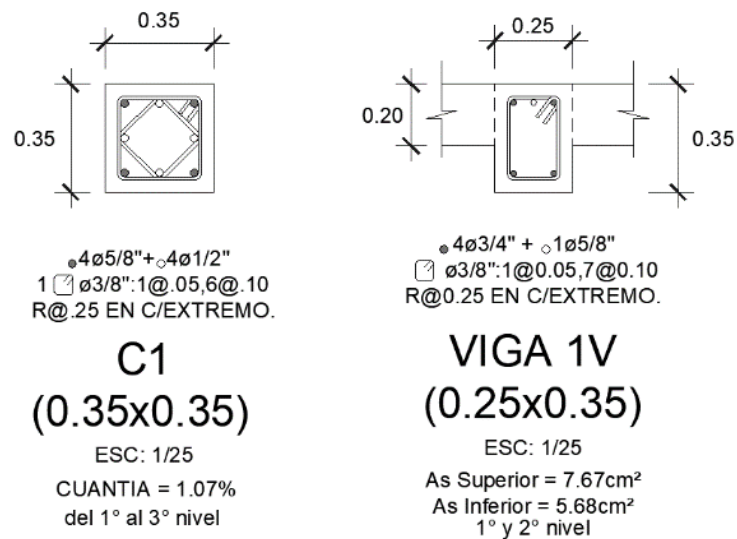


De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $12.25\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $40 \times 40\text{cm}^2$  se consideró  $4\phi 5/8'' + 4\phi 1/2''$  equivalentes a  $13.12\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.07%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 50:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S1



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.4.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

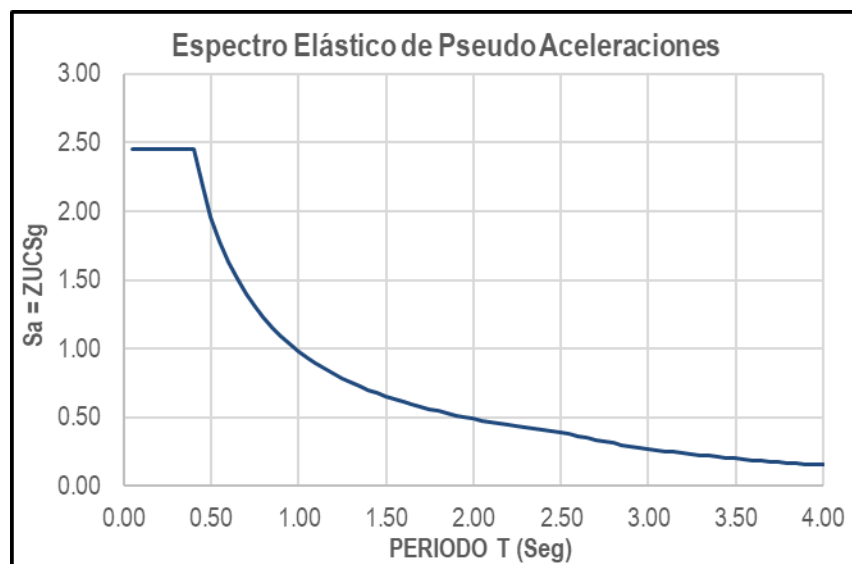
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

**Figura 51:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z1 y S1

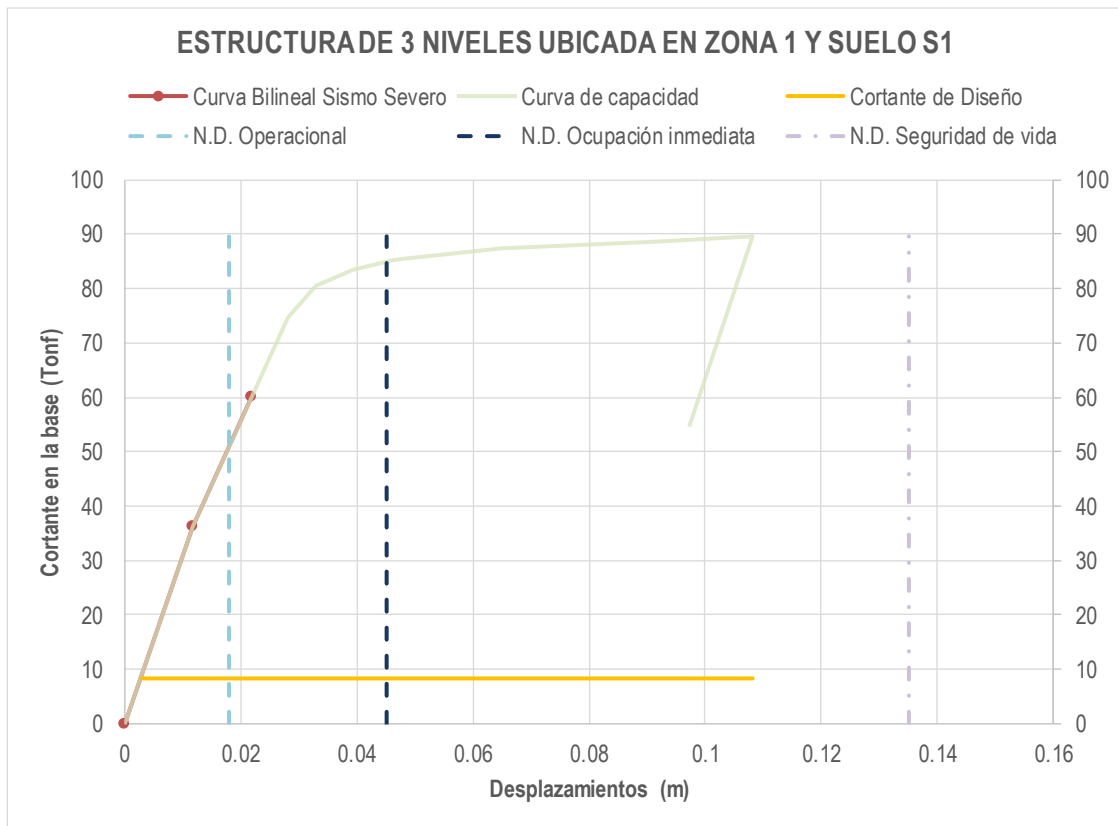
Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.100	Zona 1
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.000	S1 (Muy Rígido)
R:	1.000	Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.



## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA										
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$											
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">V<sub>e</sub></td> <td>76.81</td> </tr> <tr> <td>V<sub>y</sub></td> <td>36.43</td> </tr> </table>	V <sub>e</sub>	76.81	V <sub>y</sub>	36.43	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">V<sub>y</sub></td> <td>36.43</td> </tr> <tr> <td>V<sub>d</sub></td> <td>8.43</td> </tr> </table>	V <sub>y</sub>	36.43	V <sub>d</sub>	8.43	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">N° ejes de columnas</td> <td>3</td> </tr> </table>	N° ejes de columnas	3
V <sub>e</sub>	76.81											
V <sub>y</sub>	36.43											
V <sub>y</sub>	36.43											
V <sub>d</sub>	8.43											
N° ejes de columnas	3											
<b>R<sub>μ</sub>: 2.11</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 4.32</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>										

$$R = 9.12$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de a 2.11 y el factor de sobre resistencia es de 4.32. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.12**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **Ocupación inmediata**.

#### 4.2.5. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo blando S3

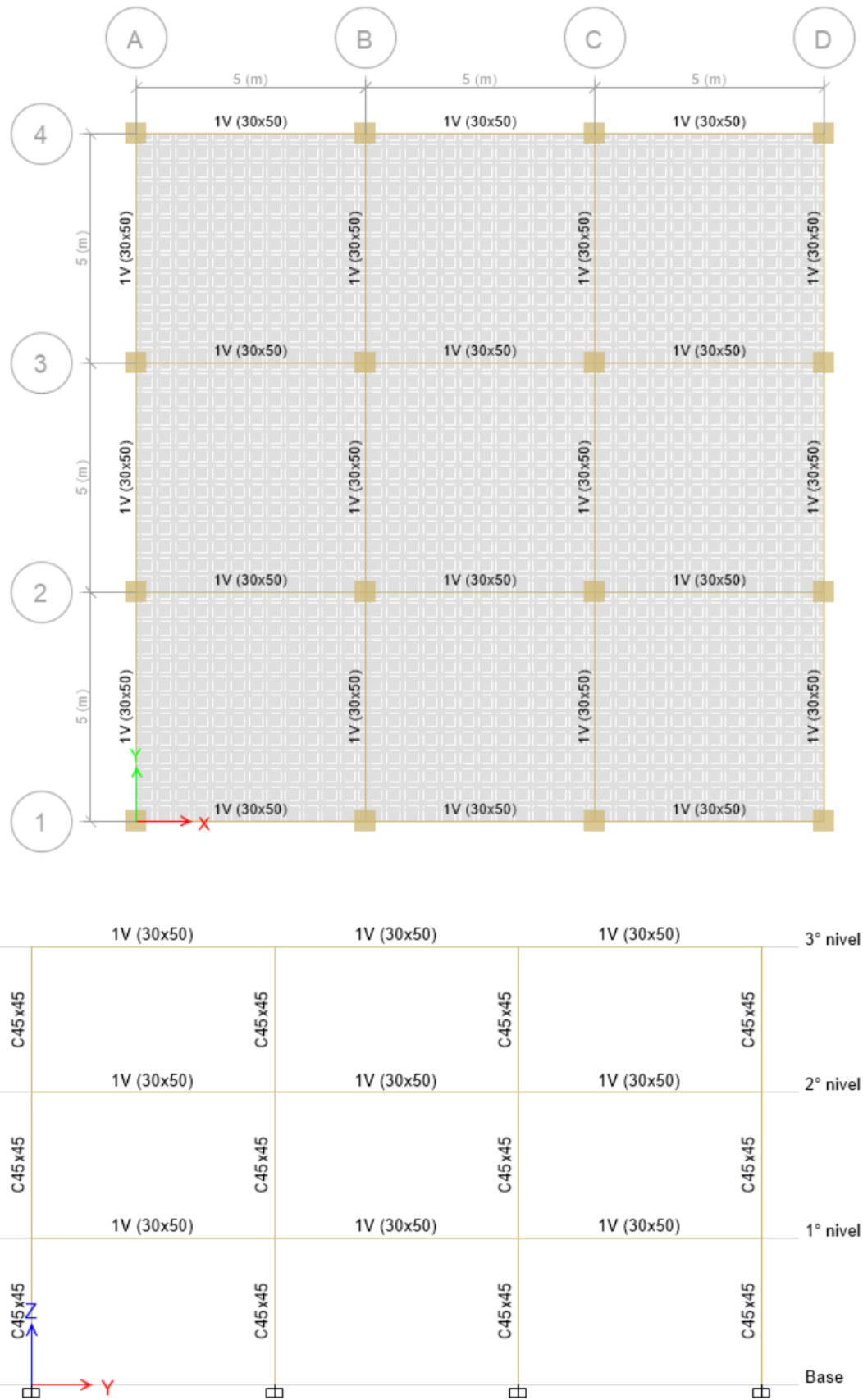
Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x50cm<sup>2</sup> y columnas de 45x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\,371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\,000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

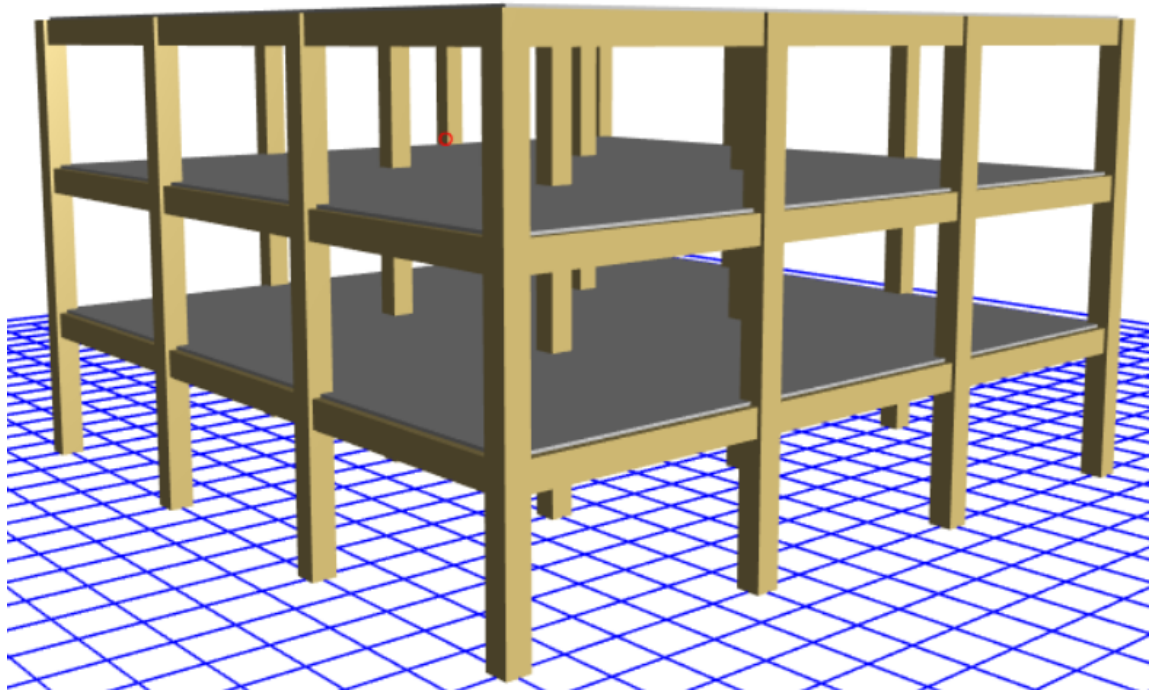
##### 4.2.5.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 4 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 52:** Estructura de 3 niveles en Z4 y S3 – Vista en planta y elevación



**Figura 53:** Estructura de 3 niveles en Z4 y S3 – Vista 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.5.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 32.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z4 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	15.58009	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	21.07142	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	21.07142	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

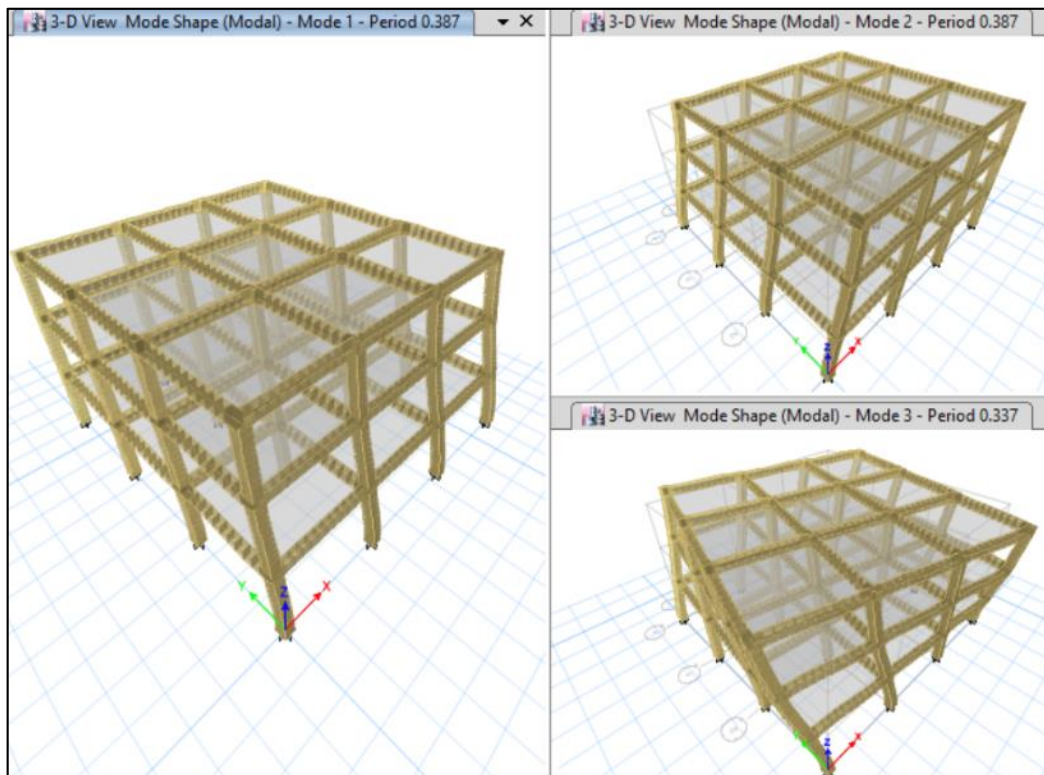
**Tabla 33.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z4 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.3870</b>	0.0000	<b>0.8572</b>	0.0000	0.0000	85.7200	0.0000
2	<b>0.3870</b>	<b>0.8572</b>	0.0000	0.0000	85.7200	85.7200	0.0000
3	<b>0.3370</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8595</b>	85.7200	85.7200	85.9500
4	0.1210	0.0000	0.1126	0.0000	85.7200	96.9700	85.9500
5	0.1210	0.1126	0.0000	0.0000	96.9700	96.9700	85.9500
6	0.1060	0.0000	0.0000	0.1107	96.9700	96.9700	97.0300
7	0.0690	0.0000	0.0302	0.0000	96.9700	99.9900	97.0300
8	0.0690	0.0302	0.0000	0.0000	99.9900	99.9900	97.0300
9	0.0610	0.0000	0.0000	0.0297	99.9900	99.9900	99.9900

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.3870 s**.

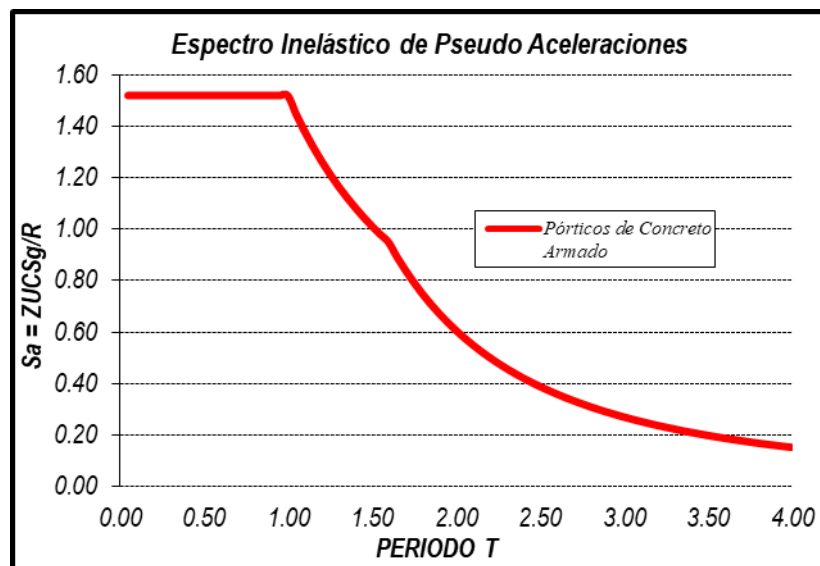
**Figura 54:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z4 y S3



### C. Aceleración espectral

**Figura 55:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z4 y S3.

Dirección X-X e Y-Y		
Z:	0.450	Zona 4
U:	1.000	CAT. C. (Común)
S:	1.100	S3 (Suelo Blando)
Ro:	8.000	Pórticos de Concreto Armado
la:	1.000	No Presenta Irregularidad
lp:	1.000	No Presenta Irregularidad
R:	8.000	Coefficiente de Reducción Sísmica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 34.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z4 y S3

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.10	8.00	0.155	566.07	70.05
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.10	8.00	0.155	566.07	70.05

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>75.845</b>	0.000
SY	0.000	<b>75.845</b>

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	75.845	70.051
Y-Y	75.845	70.051

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 75.85 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 35.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z4 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>4.8516</b>	0.3906
3° nivel	Sy Max	0.3906	<b>4.8516</b>
2° nivel	Sx Max	3.6282	0.2916
2° nivel	Sy Max	0.2916	3.6282
1° nivel	Sx Max	1.6146	0.1302
1° nivel	Sy Max	0.1302	1.6146

**Tabla 36.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z4 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00414	0.00033
3° nivel	Sy Max	0.00033	0.00414
2° nivel	Sx Max	<b>0.00673</b>	0.00054
2° nivel	Sy Max	0.00054	<b>0.00673</b>
1° nivel	Sx Max	0.00538	0.00043
1° nivel	Sy Max	0.00043	0.00538

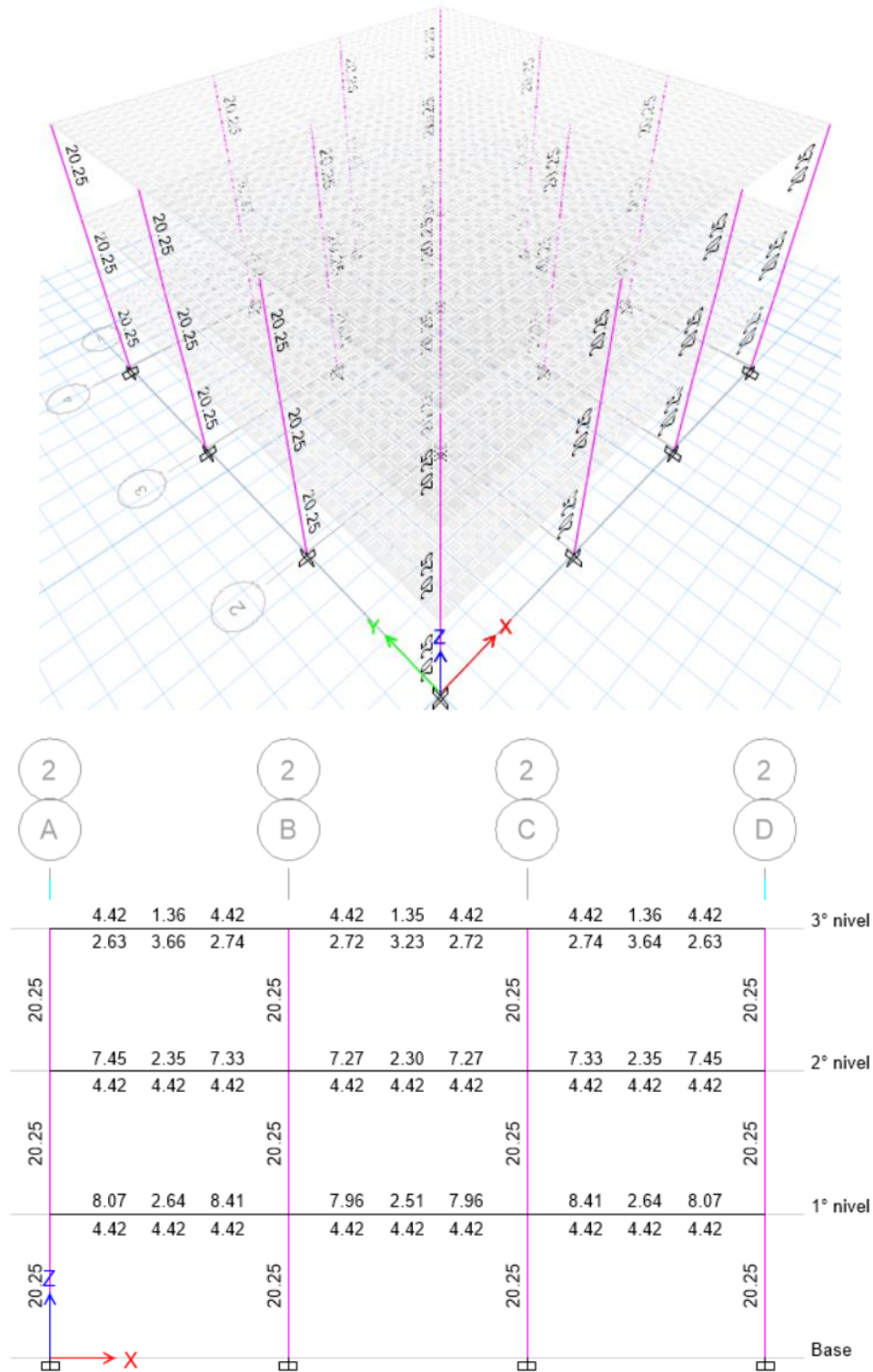
**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 4.85 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00673**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

### 4.2.5.3. Diseño estructural

#### A. Diseño de vigas y columnas

Figura 56: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z4 y S3



Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

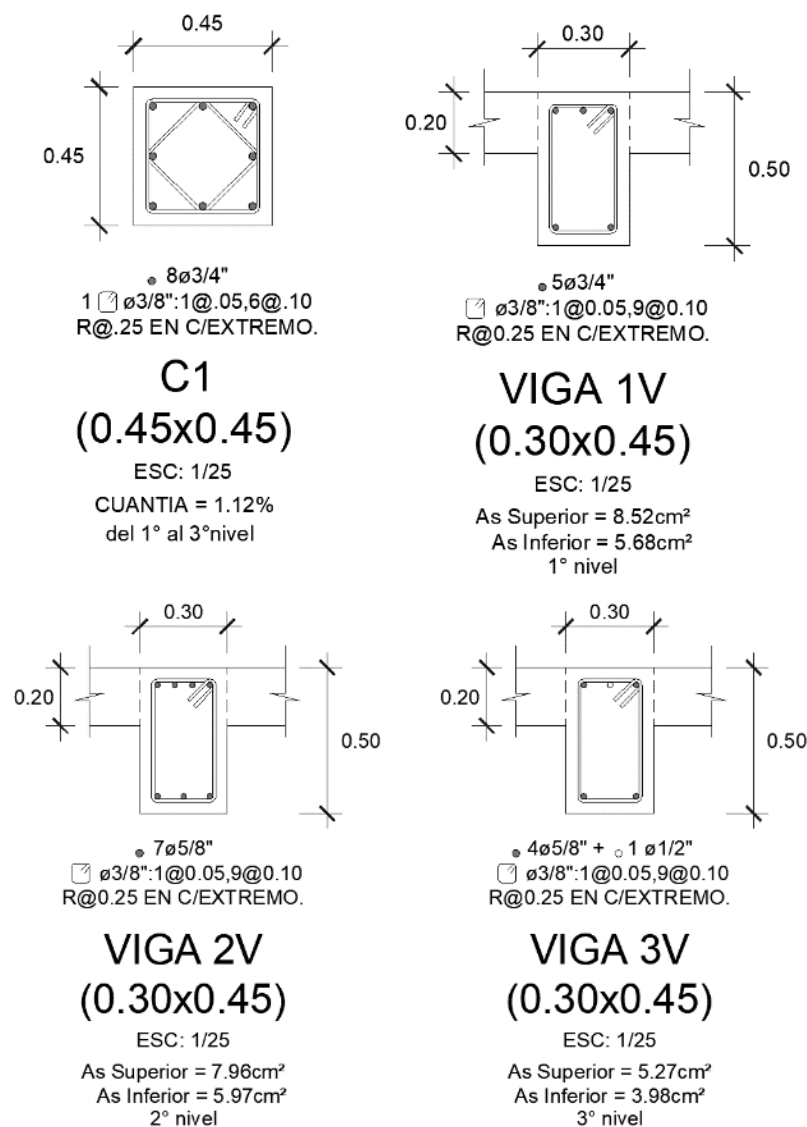


De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $20.25\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $45 \times 45\text{cm}^2$  se consideró  $8\phi 3/4"$  equivalentes a  $22.72\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.12%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 57:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z4 y S3



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.5.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

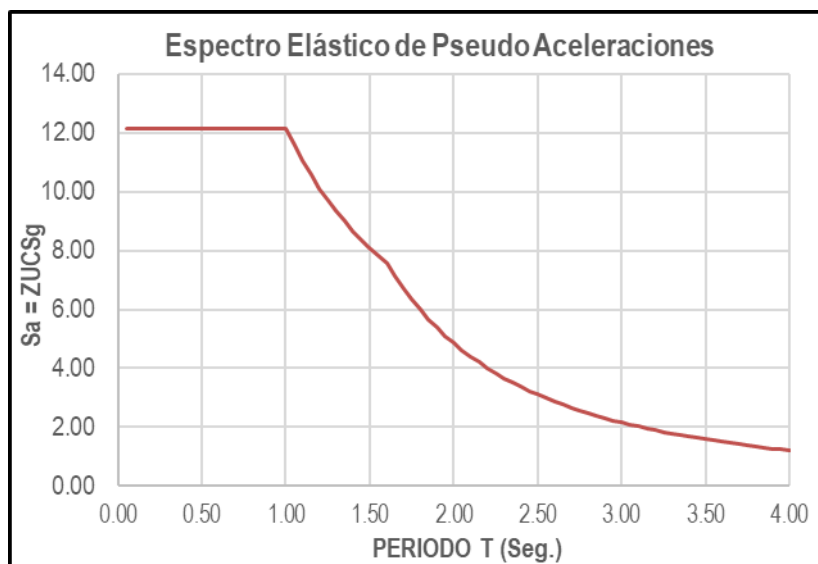
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

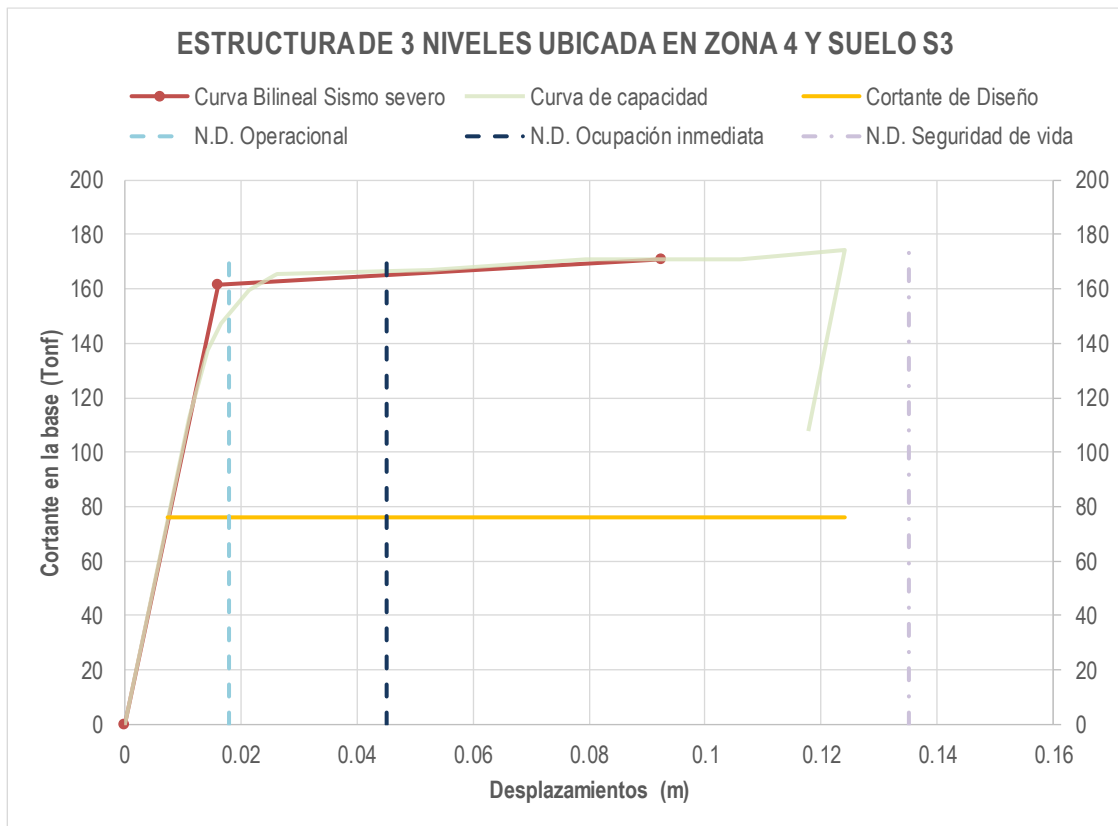
**Figura 58:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z4 y S3

Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.450 Zona 4
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	1.100 S3 (Suelo Blando)
R:	1.000 Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.

## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA										
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$											
<table border="0"> <tr> <td><math>V_e</math></td> <td>700.51</td> </tr> <tr> <td><math>V_y</math></td> <td>161.75</td> </tr> </table>	$V_e$	700.51	$V_y$	161.75	<table border="0"> <tr> <td><math>V_y</math></td> <td>161.75</td> </tr> <tr> <td><math>V_d</math></td> <td>75.84</td> </tr> </table>	$V_y$	161.75	$V_d$	75.84	<table border="0"> <tr> <td>Nº ejes de columnas</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nº ejes de columnas	3
$V_e$	700.51											
$V_y$	161.75											
$V_y$	161.75											
$V_d$	75.84											
Nº ejes de columnas	3											
<b><math>R_{\mu}</math>: 4.33</b>	<b><math>R_{\Omega}</math>: 2.13</b>	<b><math>R_R</math>: 1.00</b>										

$$R = 9.22$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 4.33 y el factor de sobre resistencia es de 2.13. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.22**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.6. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo blando S3

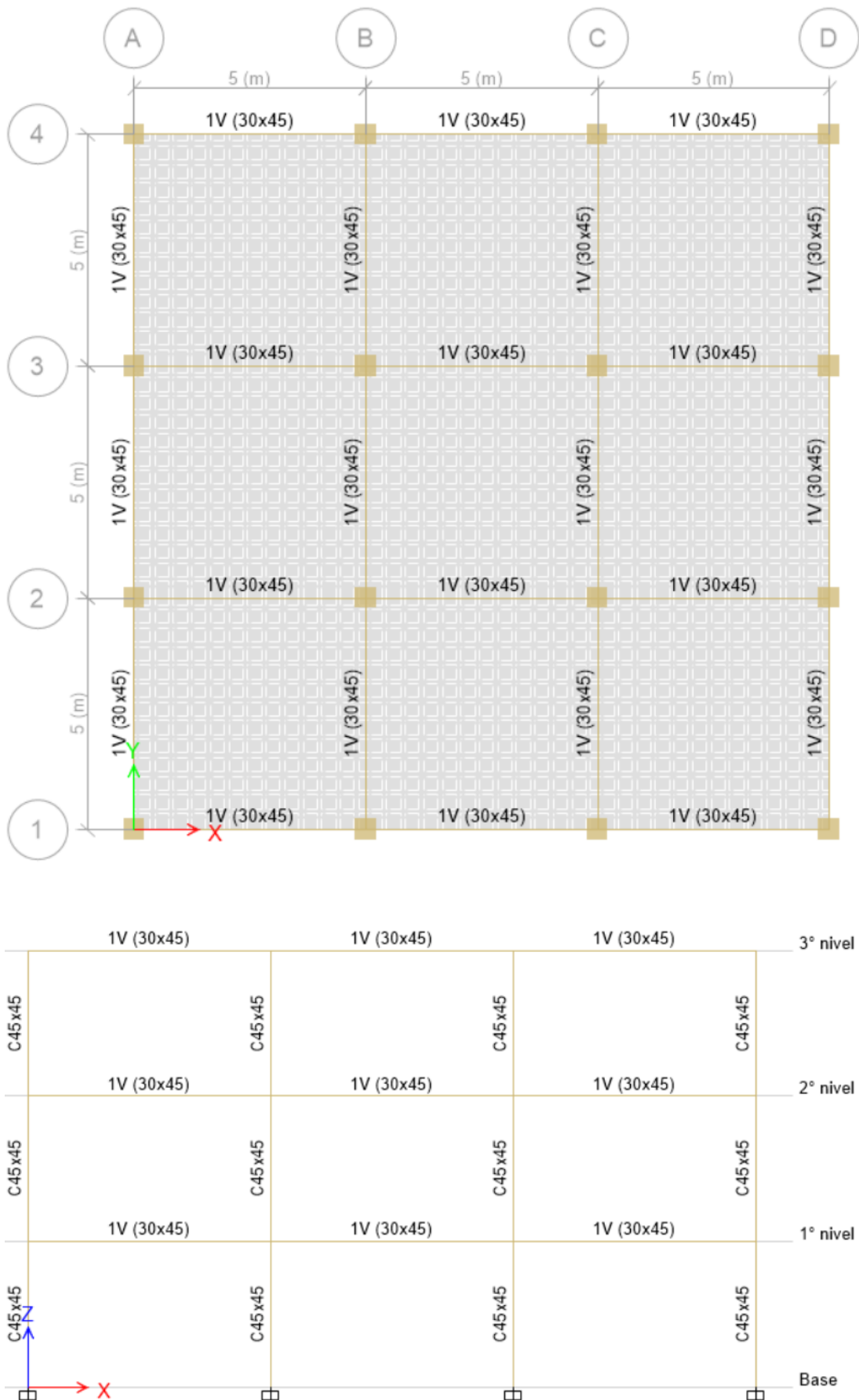
Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x45cm<sup>2</sup> y columnas de 45x45cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\ 371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\ 000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

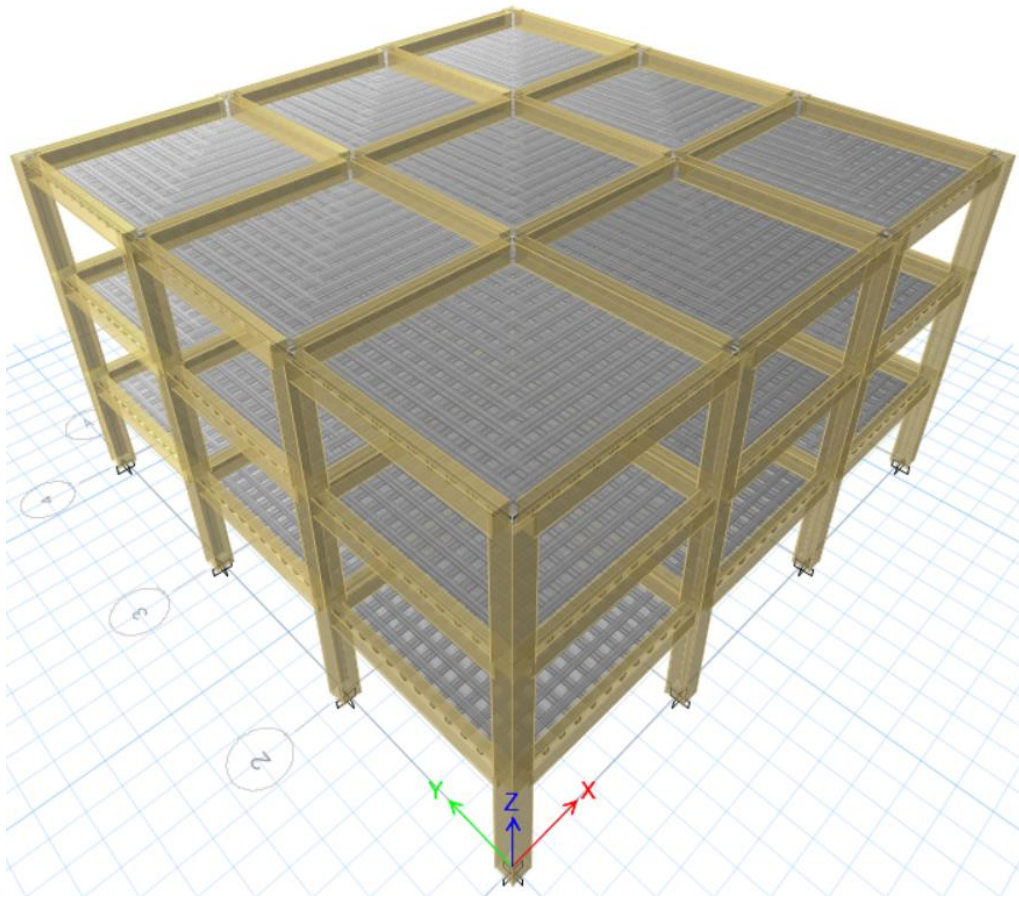
##### 4.2.6.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 3 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 59:** Estructura de 3 niveles en Z3 y S3 – Vista en planta y elevación



**Figura 60:** Estructura de 3 niveles en Z3 y S3 – Vista 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.6.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 37.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	15.17922	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	20.67054	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	20.67054	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

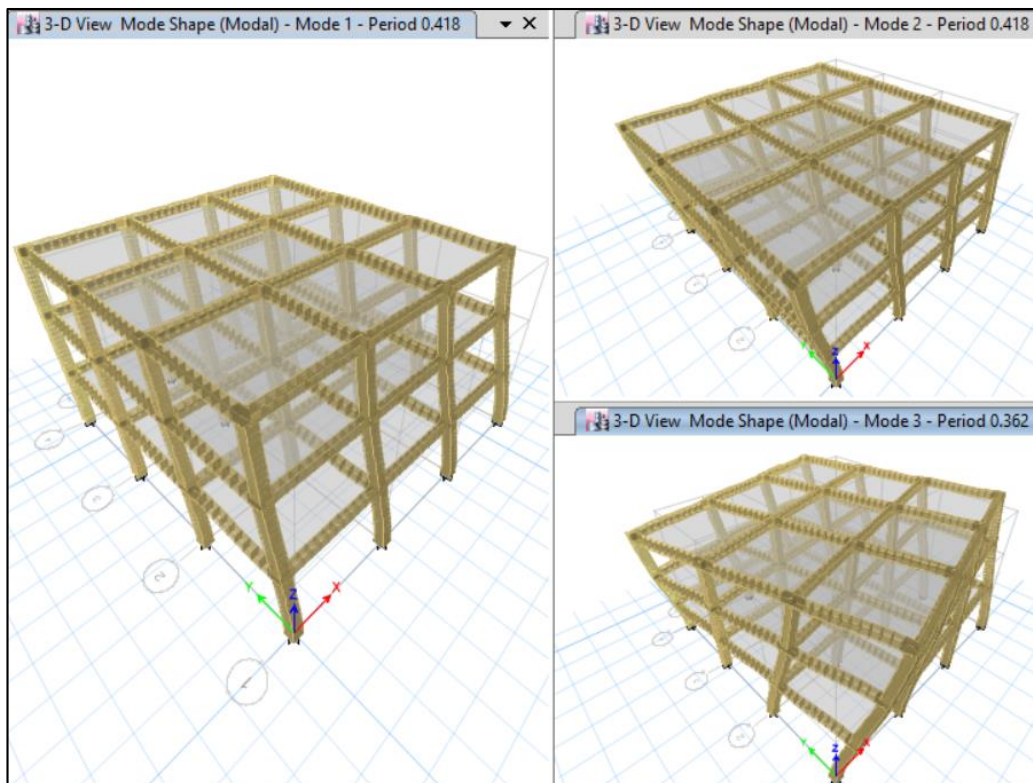
**Tabla 38.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.4180</b>	0.0000	<b>0.8474</b>	0.0000	0.0000	84.7400	0.0000
2	<b>0.4180</b>	<b>0.8474</b>	0.0000	0.0000	84.7400	84.7400	0.0000
3	<b>0.3620</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8501</b>	84.7400	84.7400	85.0100
4	0.1270	0.0000	0.1188	0.0000	84.7400	96.6300	85.0100
5	0.1270	0.1188	0.0000	0.0000	96.6300	96.6300	85.0100
6	0.1110	0.0000	0.0000	0.1168	96.6300	96.6300	96.6900
7	0.0710	0.0337	0.0000	0.0000	99.9900	96.6300	96.6900
8	0.0710	0.0000	0.0337	0.0000	99.9900	99.9900	96.6900
9	0.0620	0.0000	0.0000	0.0330	99.9900	99.9900	99.9900

*Fuente: Propia a partir del análisis modal*

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.418 s**.

**Figura 61:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

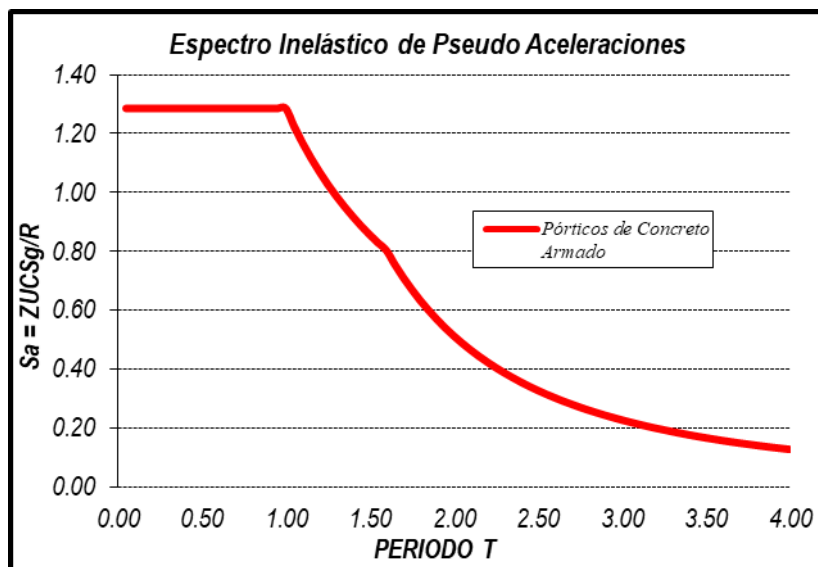




### C. Aceleración espectral

**Figura 62:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.350 Zona 3
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	1.200 S3 (Suelo Blando)
Ro:	8.000 Pórticos de Concreto Armado
Ia:	1.000 No Presenta Irregularidad
Ip:	1.000 No Presenta Irregularidad
R:	8.000 Coeficiente de Reducción Sísmica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 39.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.35	1.00	2.50	1.20	8.00	0.131	554.28	58.20
Y-Y	0.35	1.00	2.50	1.20	8.00	0.131	554.28	58.20

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>62.384</b>	0.000
SY	0.000	<b>62.384</b>



Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	62.384	58.199
Y-Y	62.384	58.199

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 62.38 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 40.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>4.8288</b>	0.3870
3° nivel	Sy Max	0.3870	<b>4.8288</b>
2° nivel	Sx Max	3.5430	0.2838
2° nivel	Sy Max	0.2838	3.5430
1° nivel	Sx Max	1.5276	0.1230
1° nivel	Sy Max	0.1230	1.5276

**Tabla 41.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00434	0.00034
3° nivel	Sy Max	0.00034	0.00434
2° nivel	Sx Max	<b>0.00674</b>	0.00053
2° nivel	Sy Max	0.00053	<b>0.00674</b>
1° nivel	Sx Max	0.00509	0.00041
1° nivel	Sy Max	0.00041	0.00509

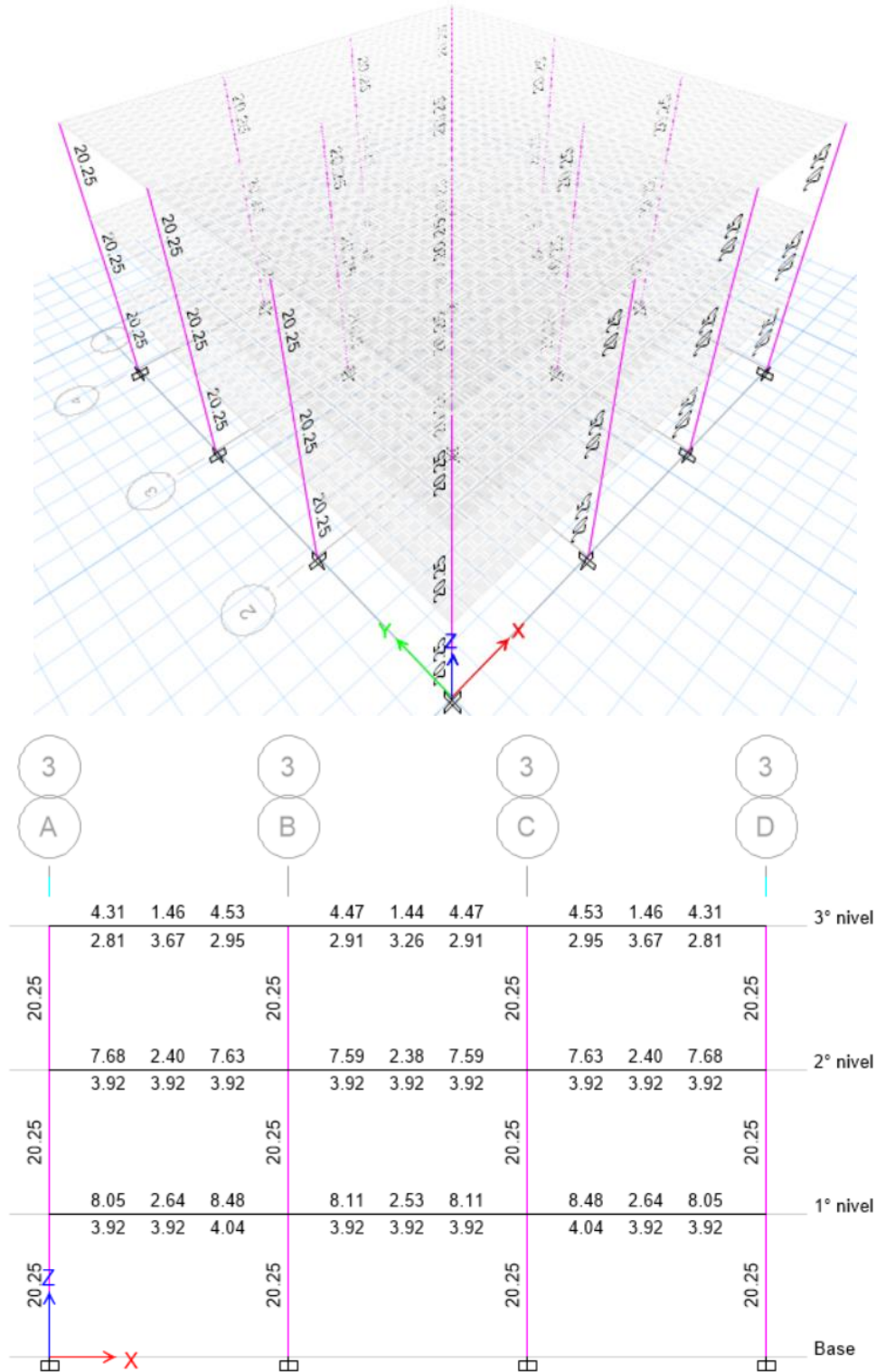
**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 4.83 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00674**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

4.2.6.3. Diseño estructural

A. Diseño de vigas y columnas

Figura 63: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S3



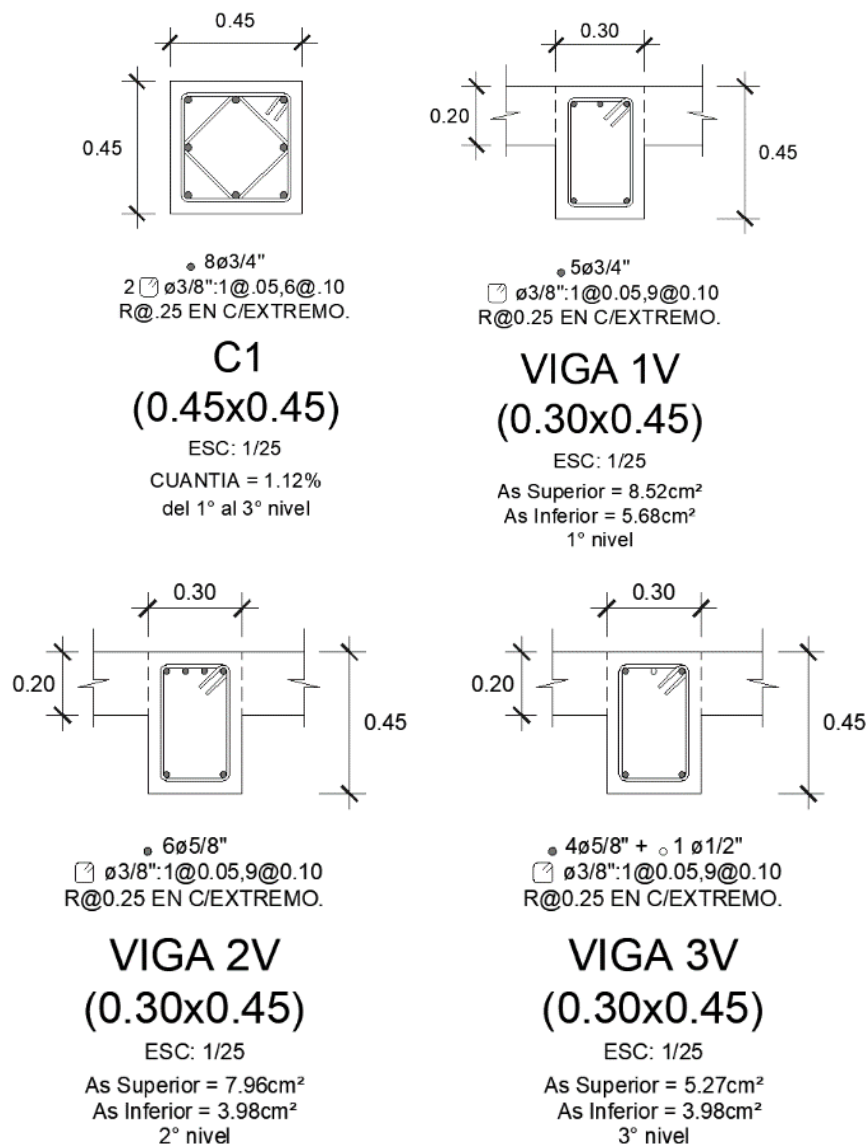
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $20.25\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $45 \times 45\text{cm}^2$  se consideró  $8\phi 3/4"$  equivalentes a  $22.72\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.12%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 64:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z3 y S3



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.6.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

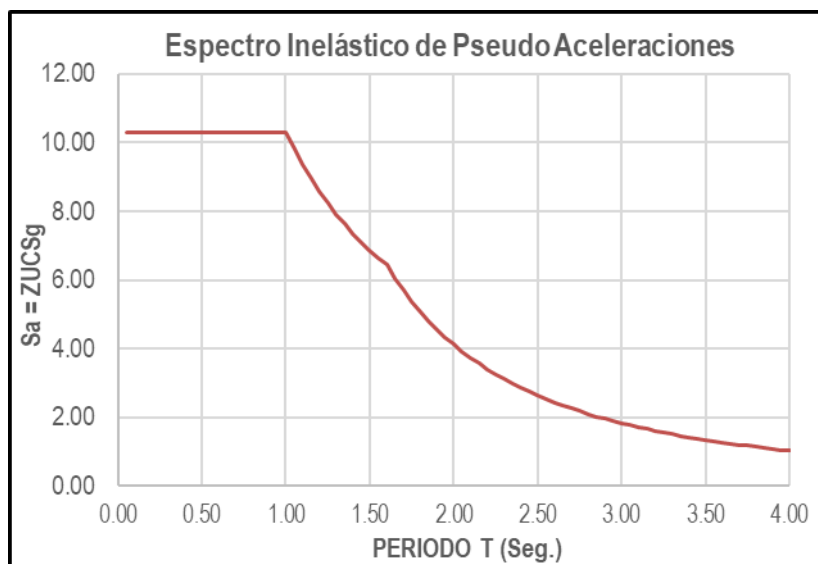
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

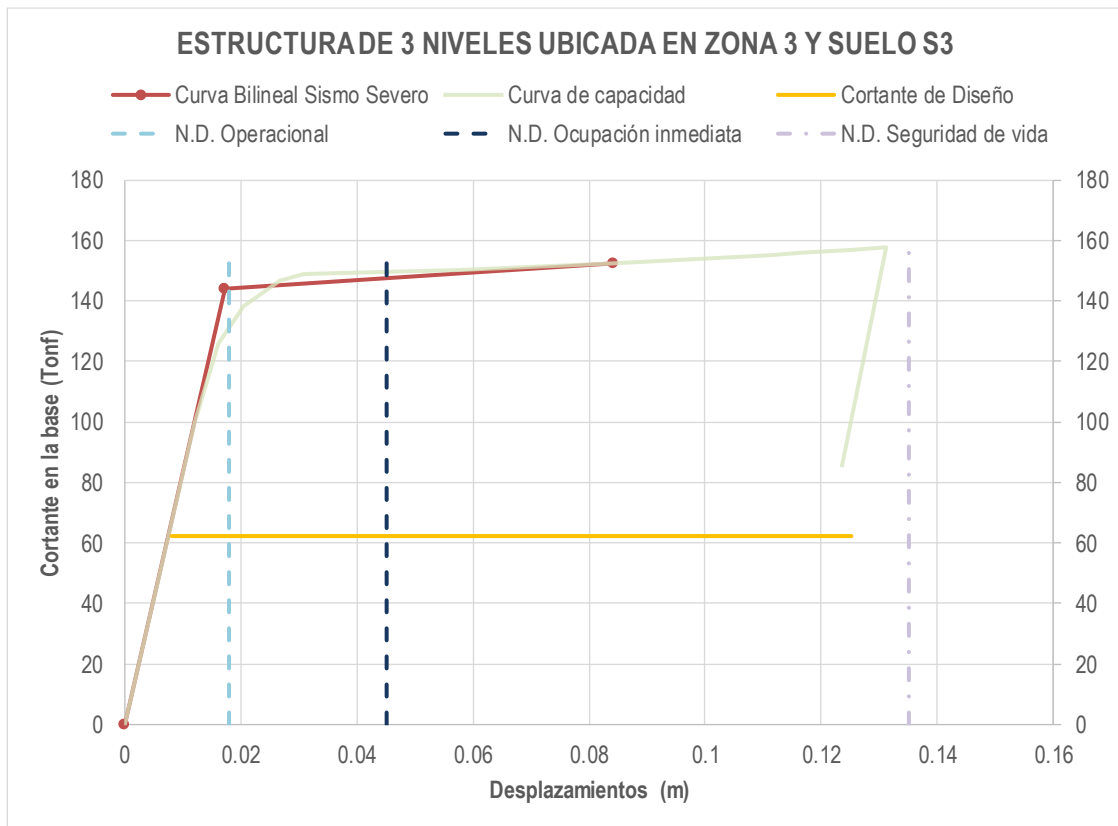
**Figura 65:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z3 y S3

Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.350 Zona 3
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	1.200 S3 (Suelo Blando)
R:	1.000 Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.

## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA										
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$											
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">V<sub>e</sub></td> <td>581.99</td> </tr> <tr> <td>V<sub>y</sub></td> <td>143.95</td> </tr> </table>	V <sub>e</sub>	581.99	V <sub>y</sub>	143.95	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">V<sub>y</sub></td> <td>143.95</td> </tr> <tr> <td>V<sub>d</sub></td> <td>62.38</td> </tr> </table>	V <sub>y</sub>	143.95	V <sub>d</sub>	62.38	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">N° ejes de columnas</td> <td>3</td> </tr> </table>	N° ejes de columnas	3
V <sub>e</sub>	581.99											
V <sub>y</sub>	143.95											
V <sub>y</sub>	143.95											
V <sub>d</sub>	62.38											
N° ejes de columnas	3											
<b>R<sub>μ</sub>: 4.04</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 2.31</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>										

$$R = 9.33$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 4.04 y el factor de sobre resistencia es de 2.31. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.33**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.7. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo blando S3

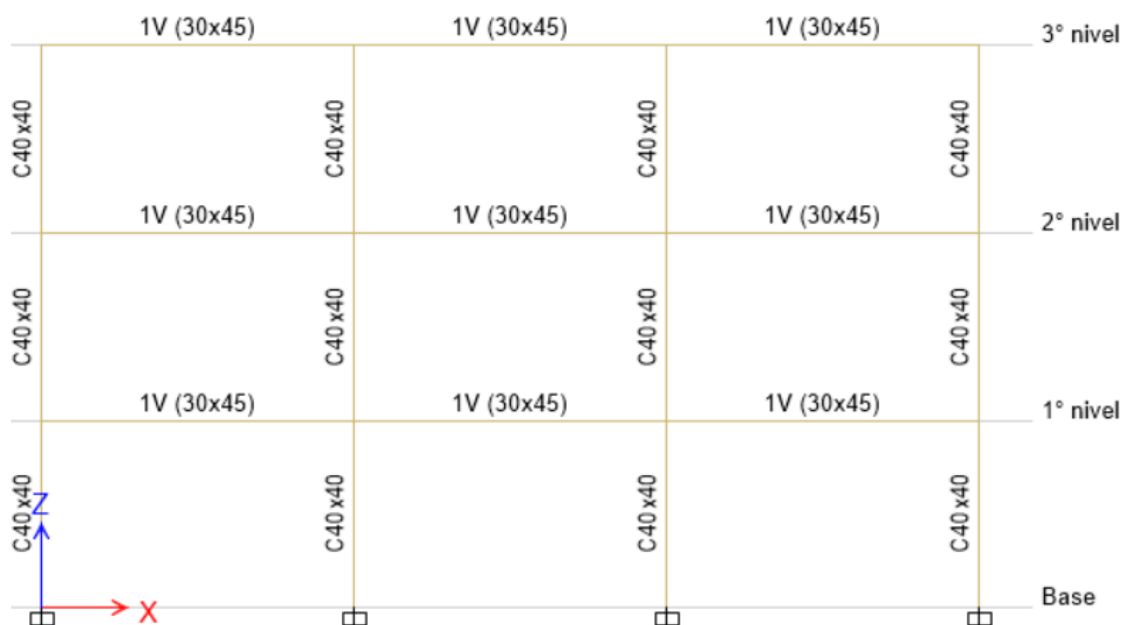
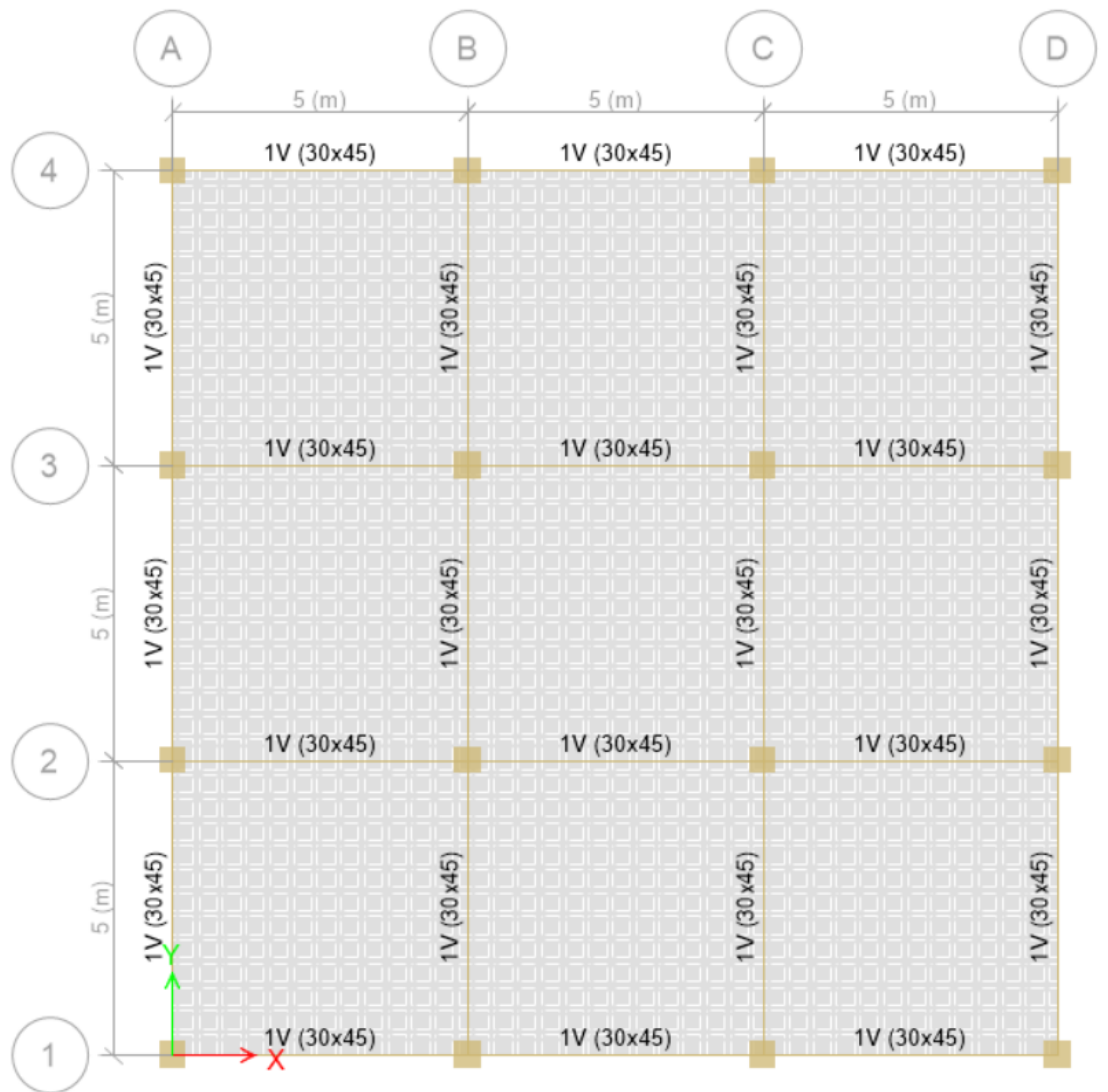
Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x45cm<sup>2</sup> y columnas de 40x40cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\,371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\,000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

##### 4.2.7.1. Modelo matemático.

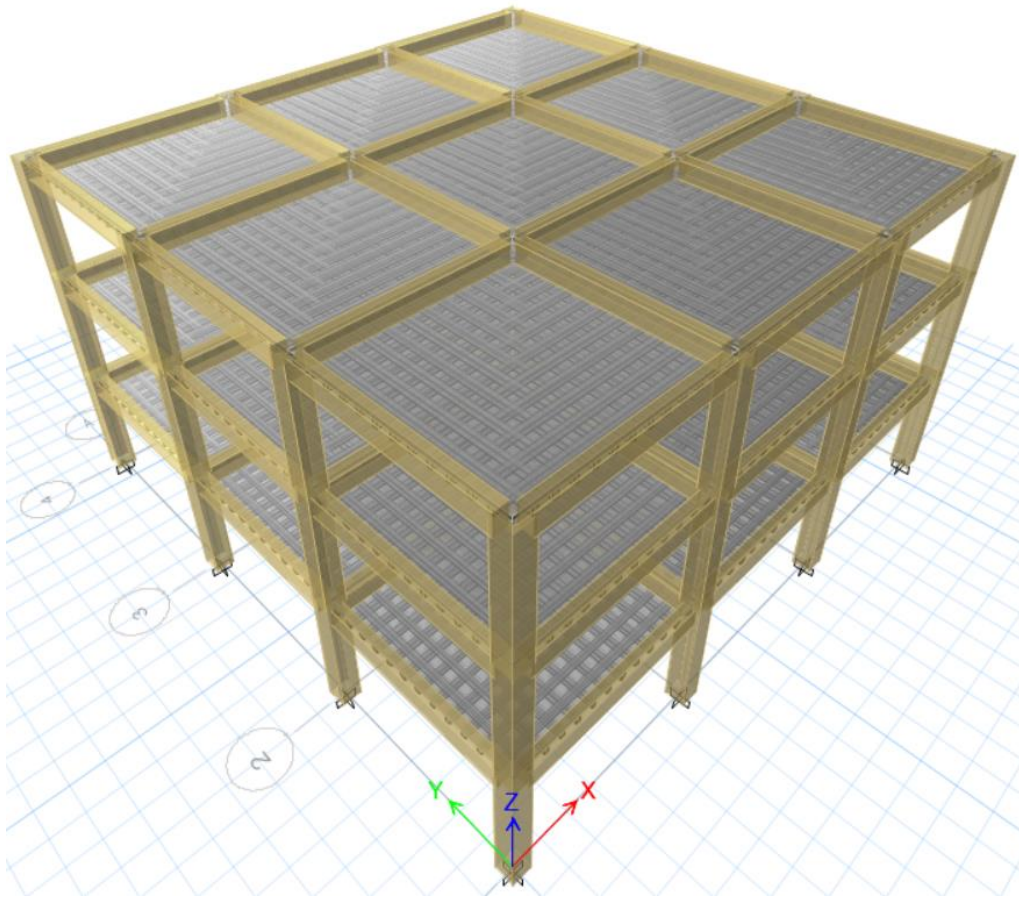
Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 2 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 66:** Estructura de 3 niveles en Z2 y S3 – Vista en planta y elevación





**Figura 67:** Estructura de 3 niveles en Z2 y S3 – Vista Elevación y 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.7.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 42.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z2 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	14.96924	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	20.21094	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	20.21094	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático



## B. Análisis modal

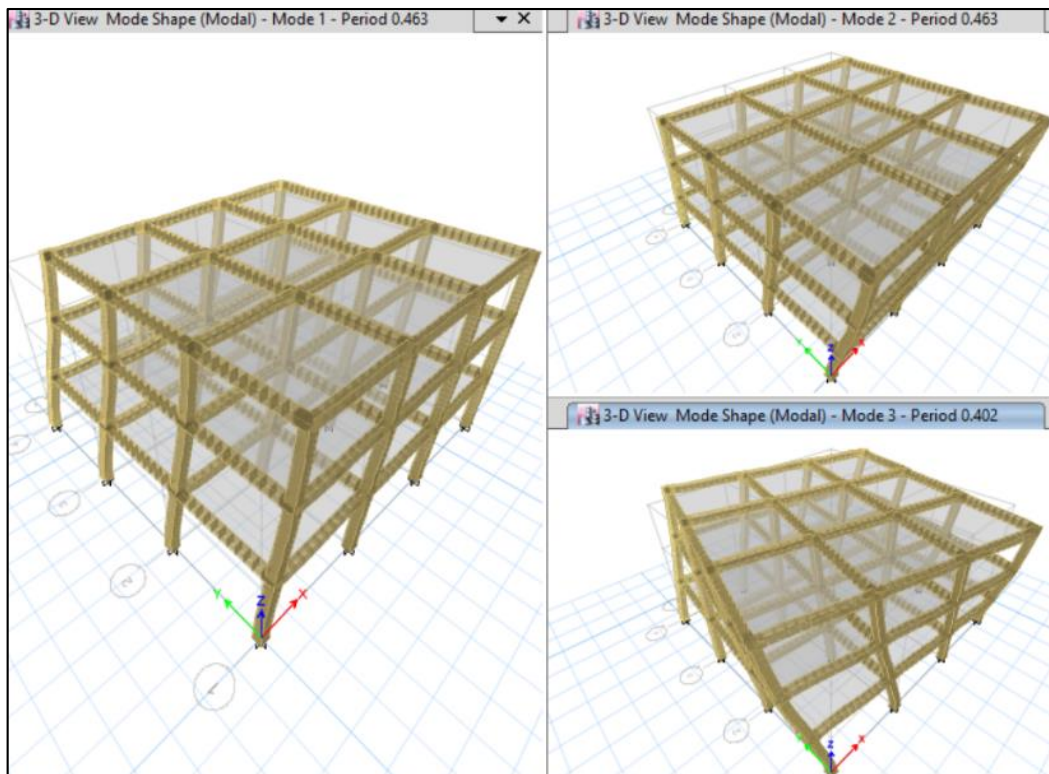
**Tabla 43.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z2 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.4630</b>	<b>0.8616</b>	0.0000	0.0000	86.1600	0.0000	0.0000
2	<b>0.4630</b>	0.0000	<b>0.8616</b>	0.0000	86.1600	86.1600	0.0000
3	<b>0.4020</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8638</b>	86.1600	86.1600	86.3800
4	0.1460	0.1097	0.0000	0.0000	97.1300	86.1600	86.3800
5	0.1460	0.0000	0.1097	0.0000	97.1300	97.1300	86.3800
6	0.1280	0.0000	0.0000	0.1080	97.1300	97.1300	97.1800
7	0.0860	0.0287	0.0000	0.0000	100.0000	97.1300	97.1800
8	0.0860	0.0000	0.0287	0.0000	100.0000	100.0000	97.1800
9	0.0750	0.0000	0.0000	0.0281	100.0000	100.0000	99.9900

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.463 s**.

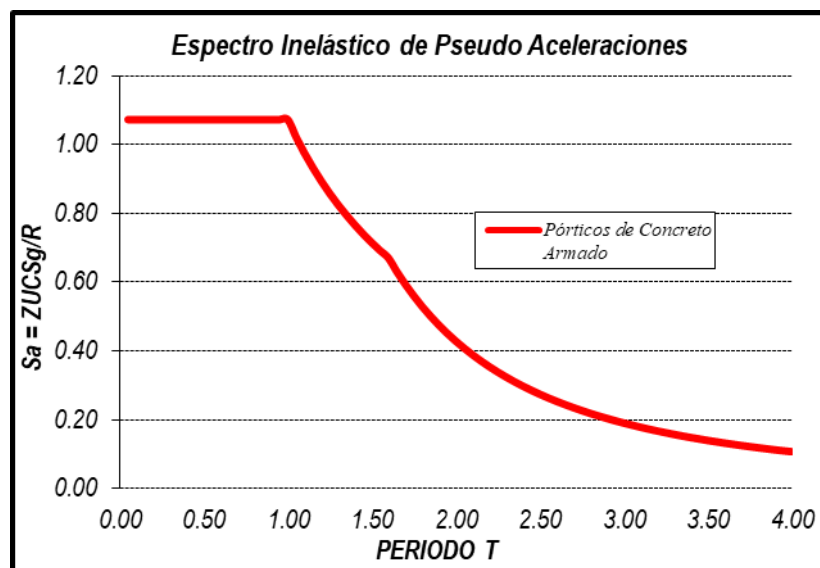
**Figura 68:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z2 y S3



### C. Aceleración espectral

**Figura 69:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z2 y S3.

Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.250 Zona 2
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	1.400 S3 (Suelo Blando)
Ro:	8.000 Pórticos de Concreto Armado
la:	1.000 No Presenta Irregularidad
lp:	1.000 No Presenta Irregularidad
R:	8.000 Coeficiente de Reducción Sísmica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 44.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z2 y S3

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.25	1.00	2.50	1.40	8.00	0.109	543.20	47.53
Y-Y	0.25	1.00	2.50	1.40	8.00	0.109	543.20	47.53

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>51.690</b>	0.000
SY	0.000	<b>51.690</b>

Dirección	Dinámico	Estático
	V(tonf)	80% V(tonf)
X-X	51.690	47.530
Y-Y	51.690	47.530

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 51.69 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 45.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z2 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>4.8888</b>	0.3936
3° nivel	Sy Max	0.3936	<b>4.8888</b>
2° nivel	Sx Max	3.6894	0.2970
2° nivel	Sy Max	0.2970	3.6894
1° nivel	Sx Max	1.6650	0.1344
1° nivel	Sy Max	0.1344	1.6650

**Tabla 46.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z2 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00406	0.00032
3° nivel	Sy Max	0.00032	0.00406
2° nivel	Sx Max	<b>0.00677</b>	0.00054
2° nivel	Sy Max	0.00054	<b>0.00677</b>
1° nivel	Sx Max	0.00555	0.00045
1° nivel	Sy Max	0.00045	0.00555

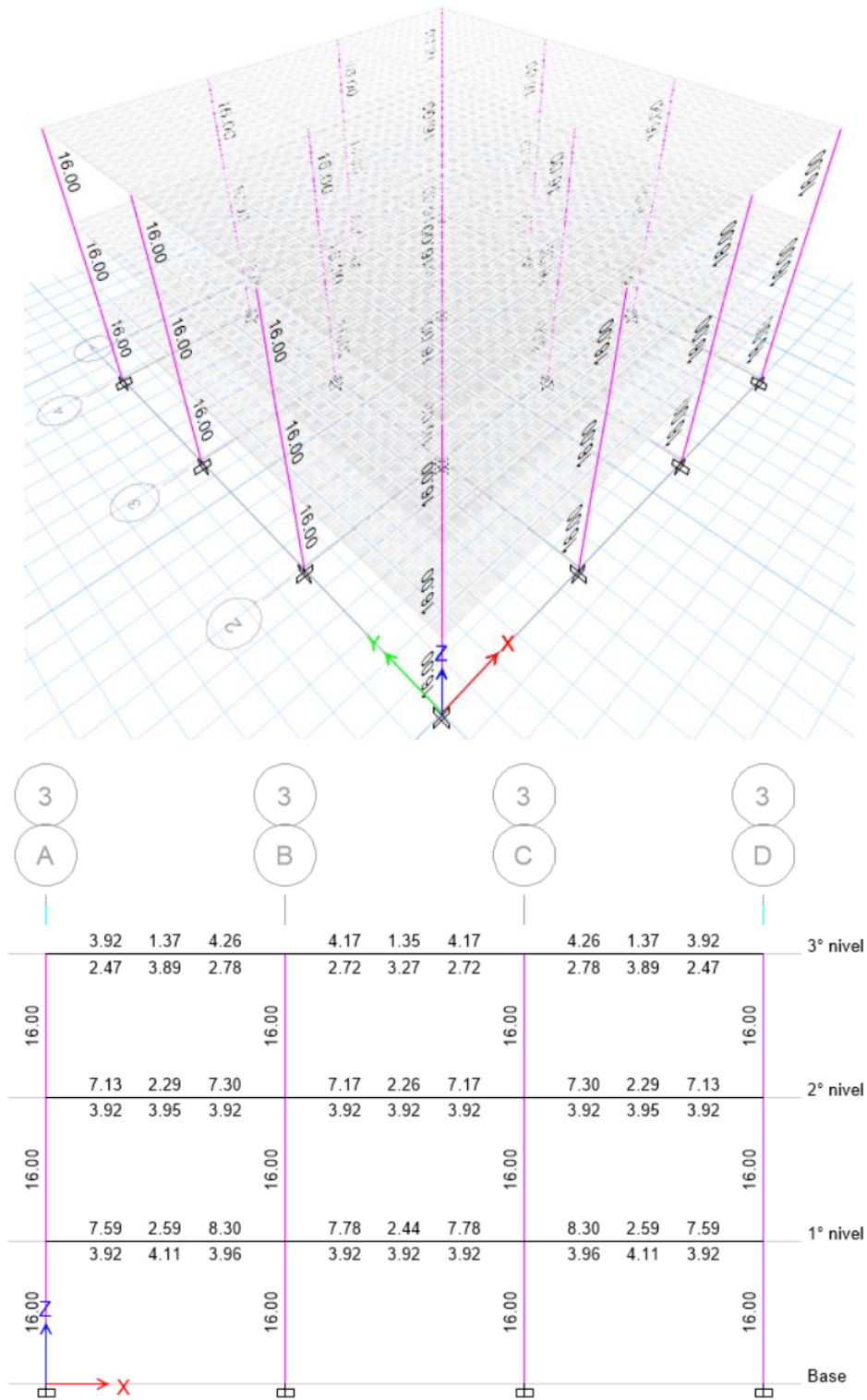
*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 4.89 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00677**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

4.2.7.3. Diseño estructural

A. Diseño de vigas y columnas

Figura 70: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S3



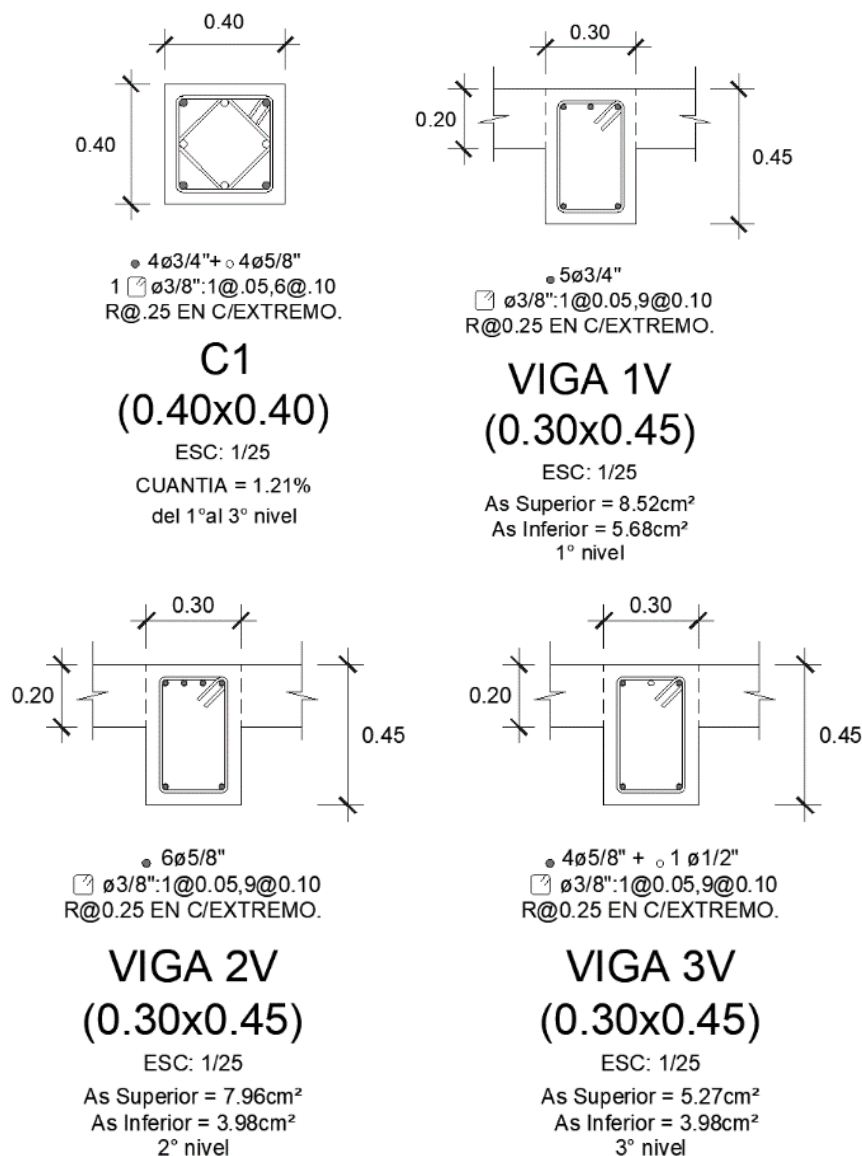
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $16.00\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $40 \times 40\text{cm}^2$  se consideró  $4\phi 3/4" + 4\phi 5/8"$  equivalentes a  $19.32\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.21%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 71:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z2 y S3



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.7.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

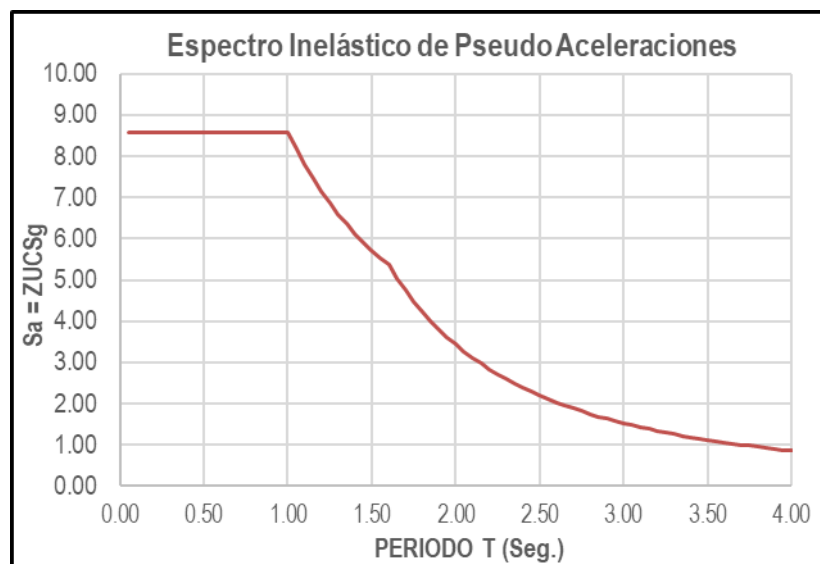
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

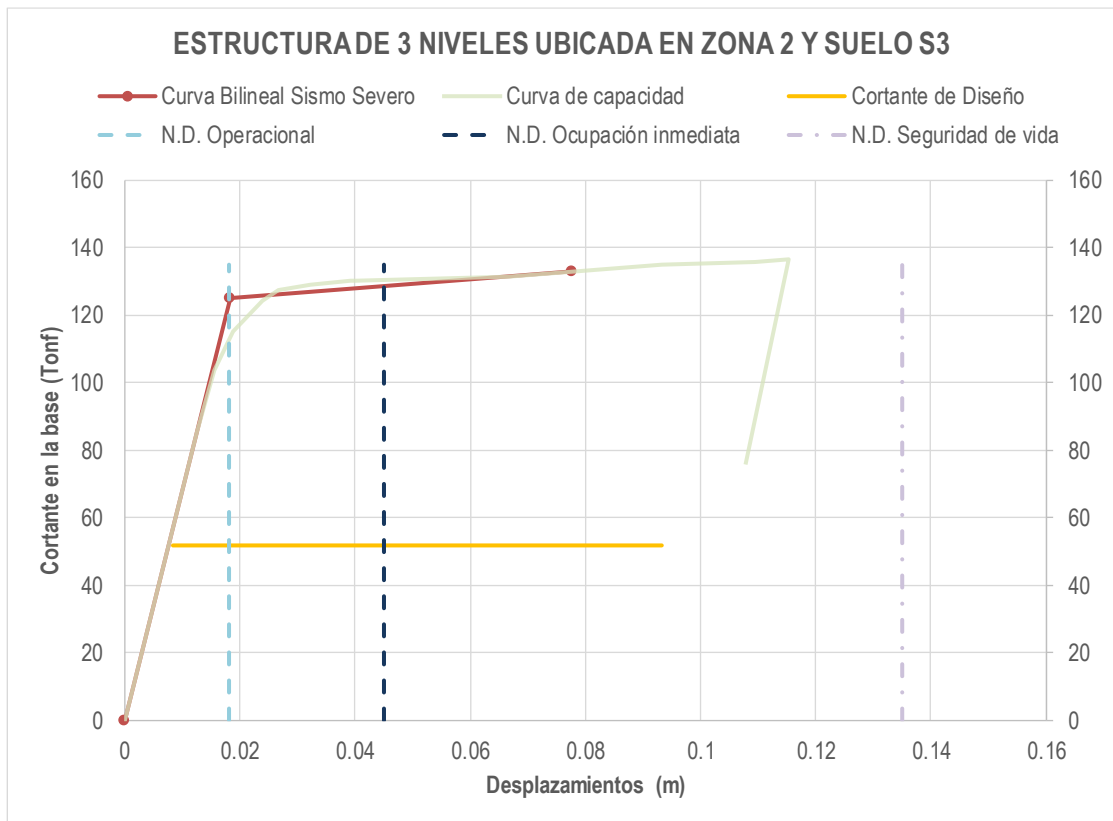
**Figura 72:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z2 y S3

Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.250 Zona 2
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	1.400 S3 (Suelo Blando)
R:	1.000 Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.

## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$	
Ve      475.30 Vy      125.11	Vy      125.11 Vd      51.69	N° ejes de columnas      3
<b>R<sub>μ</sub>:      3.80</b>	<b>R<sub>Ω</sub>:      2.42</b>	<b>R<sub>R</sub>:      1.00</b>

$$R = 9.20$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 3.80 y el factor de sobre resistencia es de 2.42. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.20**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.8. Estructura de 3 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo blando S3

Se consideró una estructura con configuración regular y rigideces iguales en ambas direcciones con las siguientes características:

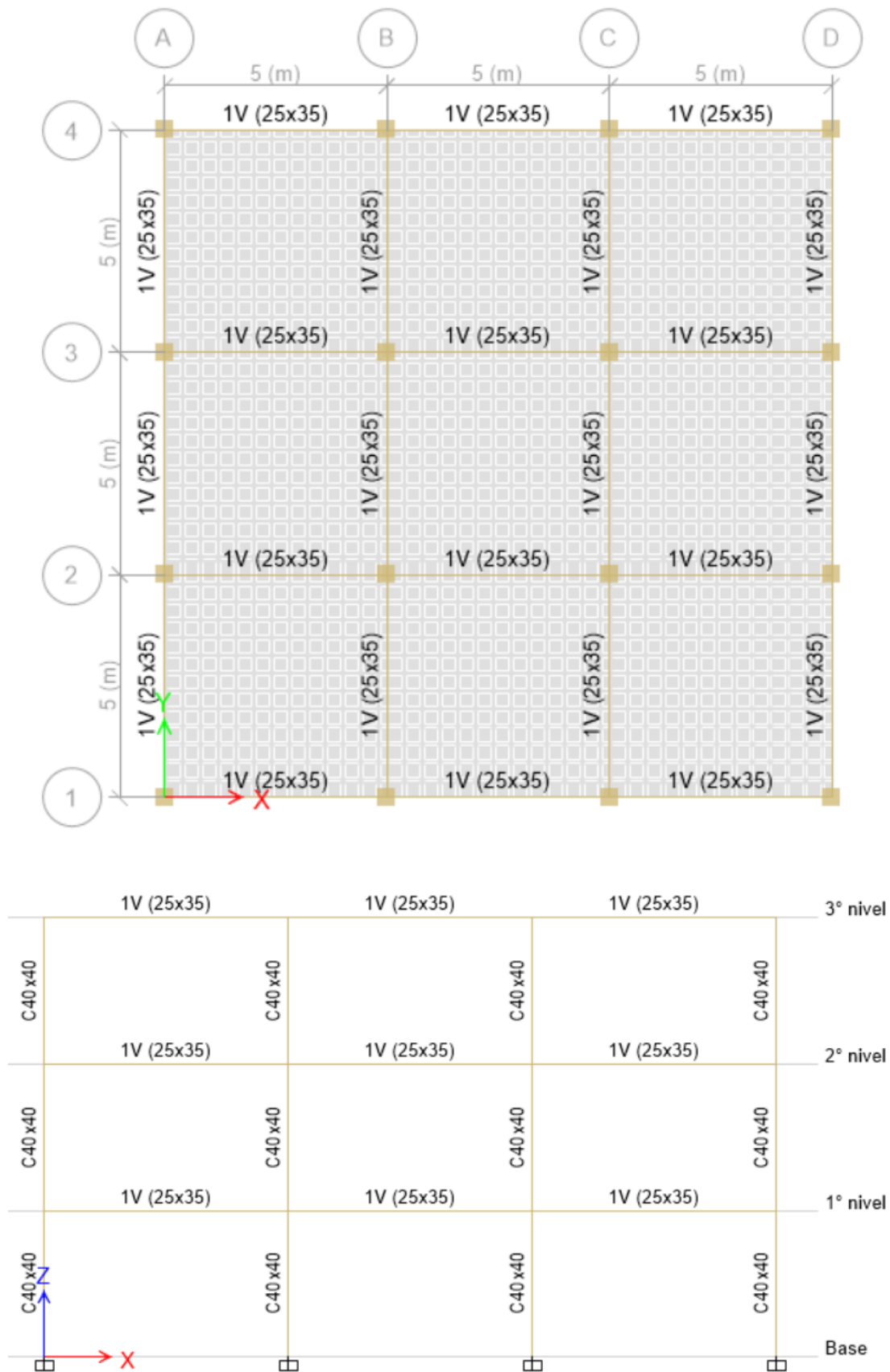
- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 9m.
- ✓ 3 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 225.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 25x35cm<sup>2</sup> y columnas de 40x40cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.
- ✓ Resistencia a la compresión del concreto:  $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del concreto:  $E=217\,371 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Resistencia a la fluencia del acero corrugado A615:  $f_y=4200.00 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Módulo de elasticidad del acero corrugado A615:  $E=2000\,000 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Cargas consideradas:
  - Cargas muertas.
    - Peso propio del concreto: 2400kg/m<sup>2</sup>
    - Acabados: 100kg/m<sup>2</sup>
    - Tabiquería: 150kg/m<sup>2</sup>
    - Ladrillo de techo: 50kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas vivas.
    - Sobrecarga viva de entrepiso (Oficinas): 250kg/m<sup>2</sup>.
    - Sobrecarga viva de techo: 100kg/m<sup>2</sup>.

##### 4.2.8.1. Modelo matemático.

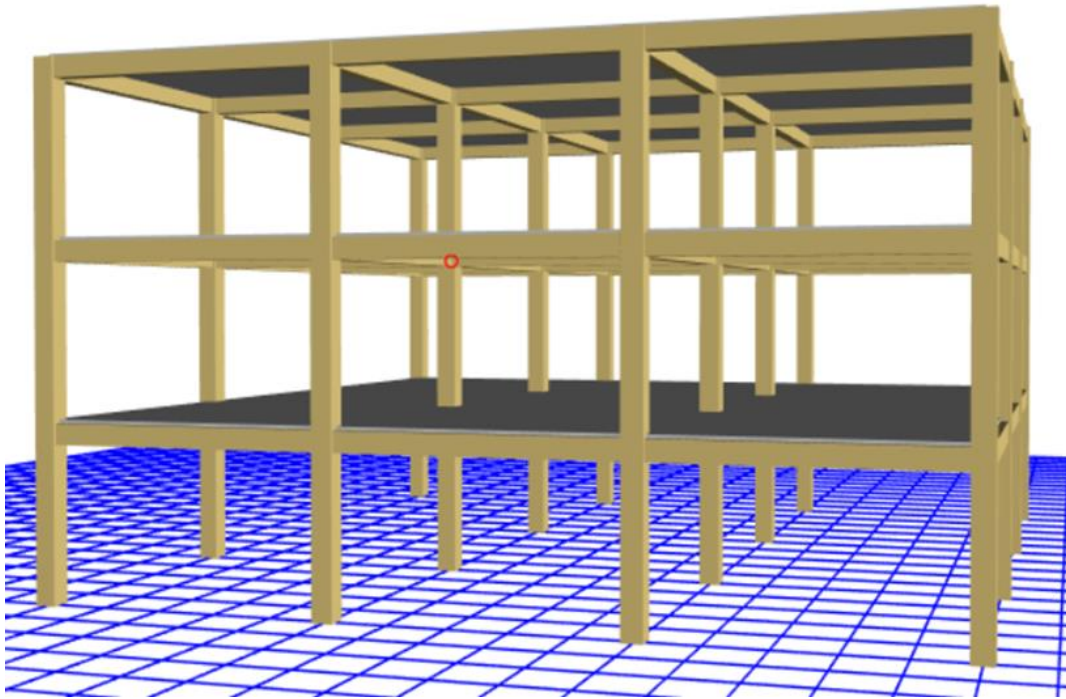
Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 3 NIVELES UBICADO EN ZONA 1 Y SUELO BLANDO S3:



**Figura 73:** Estructura de 3 niveles en Z1 y S3 – Vista en planta y elevación



**Figura 74:** Estructura de 3 niveles en Z1 y S3 – Vista Elevación y 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.8.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 47.** Centros de masas y rigideces - Estructura 3 niveles en Z1 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
3° nivel	13.68587	7.5	7.5	7.5	7.5
2° nivel	18.92756	7.5	7.5	7.5	7.5
1° nivel	18.92756	7.5	7.5	7.5	7.5

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

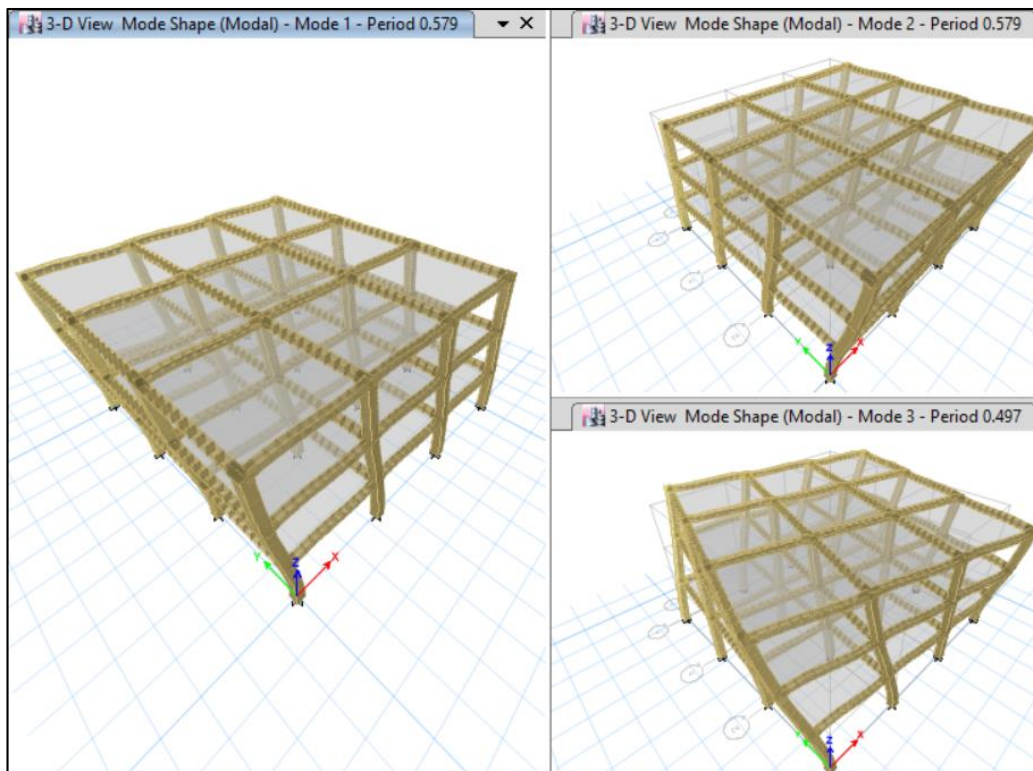
**Tabla 48.** Modos de vibración - Estructura 3 niveles en Z1 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.5790</b>	<b>0.8309</b>	0.0000	0.0000	83.0900	0.0000	0.0000
2	<b>0.5790</b>	0.0000	<b>0.8309</b>	0.0000	83.0900	83.0900	0.0000
3	<b>0.4970</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8340</b>	83.0900	83.0900	83.4000
4	0.1690	0.1298	0.0000	0.0000	96.0700	83.0900	83.4000
5	0.1690	0.0000	0.1298	0.0000	96.0700	96.0700	83.4000
6	0.1470	0.0000	0.0000	0.1274	96.0700	96.0700	96.1400
7	0.0890	0.0392	0.0000	0.0000	100.0000	96.0700	96.1400
8	0.0890	0.0000	0.0392	0.0000	100.0000	100.0000	96.1400
9	0.0780	0.0000	0.0000	0.0385	100.0000	100.0000	99.9900

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.579 s**.

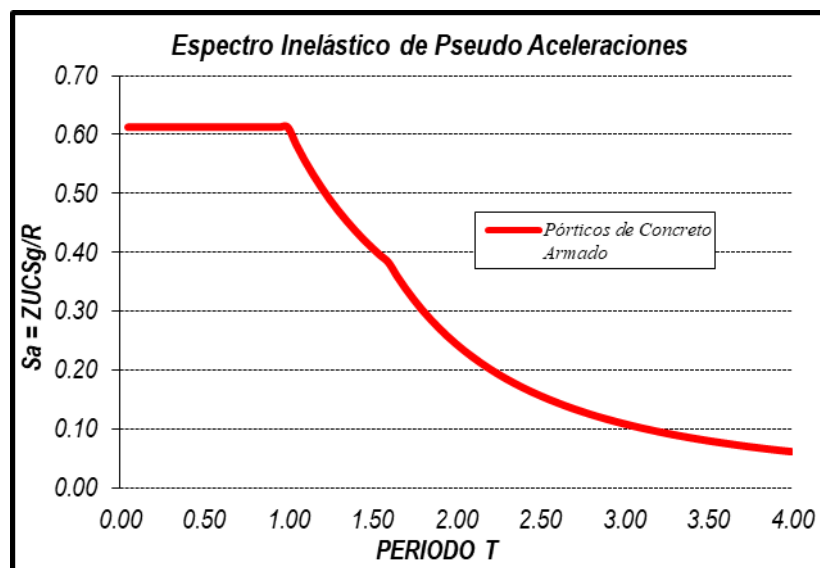
**Figura 75:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 3 niveles en Z1 y S3



### C. Aceleración espectral

**Figura 76:** Espectro de diseño - Estructura 3 niveles en Z1 y S3.

Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.100 Zona 1
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	2.000 S3 (Suelo Blando)
Ro:	8.000 Pórticos de Concreto Armado
la:	1.000 No Presenta Irregularidad
lp:	1.000 No Presenta Irregularidad
R:	8.000 Coeficiente de Reducción Sísmica



Fuente: Propia.

### D. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 49.** Cortante estático y dinámico - Estructura 3 niveles en Z1 y S3

Dirección	Z	U	C	S	R	ZUCS/R	P (ton)	0.80*V(ton)
X-X	0.10	1.00	2.50	2.00	8.00	0.063	505.45	25.27
Y-Y	0.10	1.00	2.50	2.00	8.00	0.063	505.45	25.27

	Fx	Fy
Spec	tonf	tonf
SX	<b>26.630</b>	0.000
SY	0.000	<b>26.630</b>

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	26.630	25.272
Y-Y	26.630	25.272

De los resultados, el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 26.63 Tonf.**

### E. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 50.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 3 niveles en Z1 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
3° nivel	Sx Max	<b>4.4664</b>	0.3552
3° nivel	Sy Max	0.3552	<b>4.4664</b>
2° nivel	Sx Max	3.1674	0.2520
2° nivel	Sy Max	0.2520	3.1674
1° nivel	Sx Max	1.2978	0.1038
1° nivel	Sy Max	0.1038	1.2978

**Tabla 51.** Distorsiones máximas - Estructura 3 niveles en Z1 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
3° nivel	Sx Max	0.00438	0.00034
3° nivel	Sy Max	0.00034	0.00438
2° nivel	Sx Max	<b>0.00625</b>	0.00049
2° nivel	Sy Max	0.00049	<b>0.00625</b>
1° nivel	Sx Max	0.00433	0.00035
1° nivel	Sy Max	0.00035	0.00433

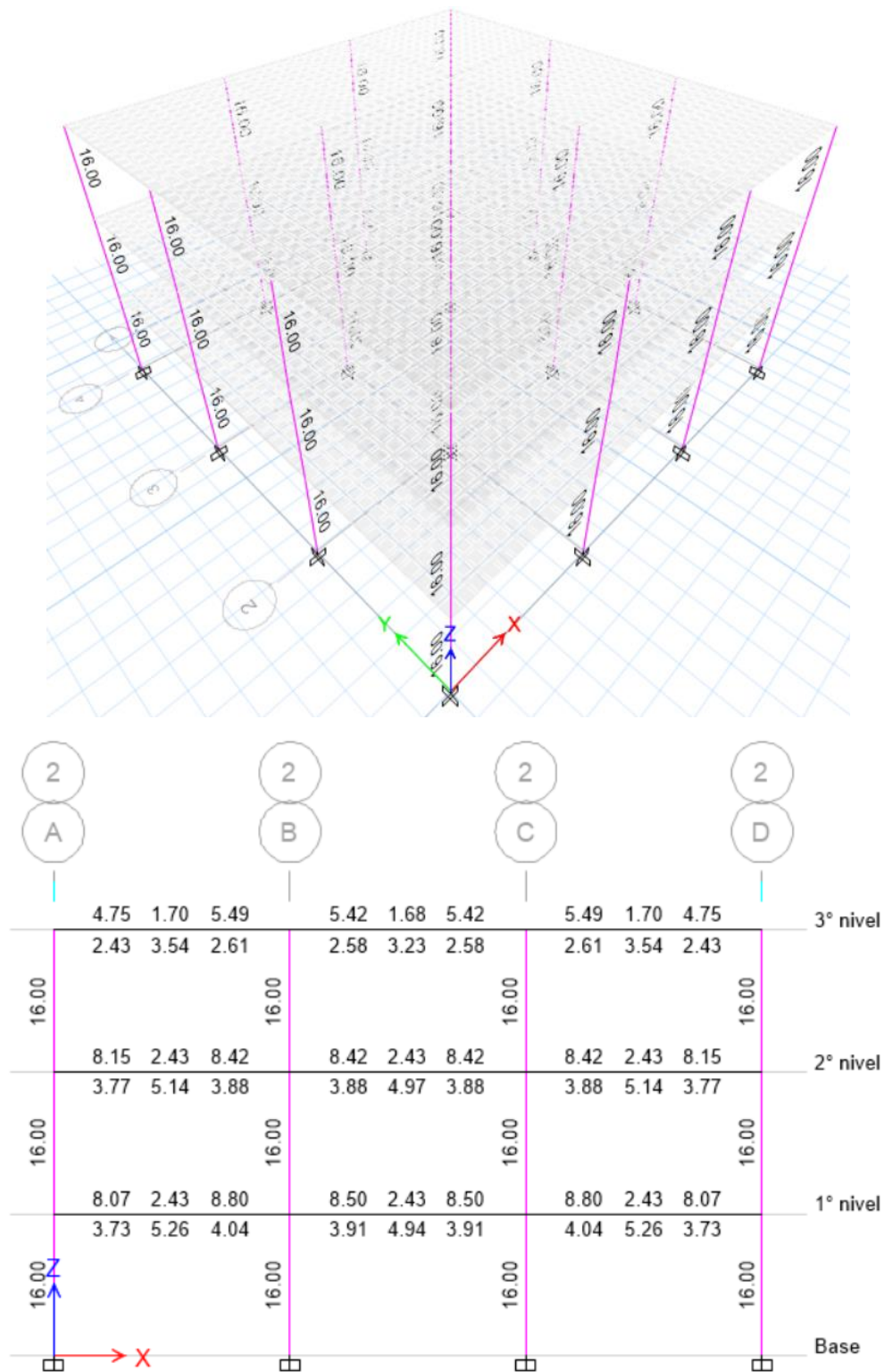
**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

El **desplazamiento máximo en X e Y obtenido es de 4.47 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00625**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

4.2.8.3. Diseño estructural

A. Diseño de vigas y columnas

Figura 77: Acero en columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S3



Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

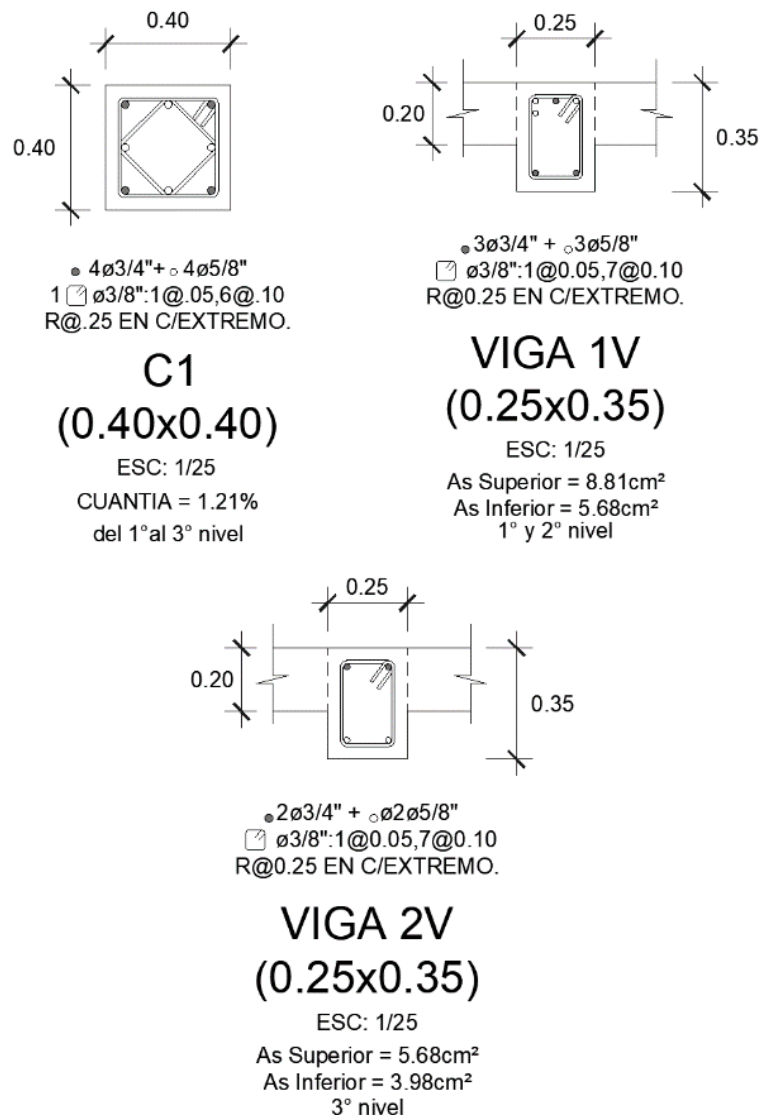


De la figura mostrada se tiene que el área de acero requerido en columnas es de  $16.00\text{cm}^2$ , por lo tanto, para la columna de  $40 \times 40\text{cm}^2$  se consideró  $4\phi 3/4" + 4\phi 5/8"$  equivalentes a  $19.32\text{cm}^2$ , teniendo una cuantía en columnas de 1.21%.

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero. Cabe mencionar que, para uniformizar las vigas, se consideró un diseño de las vigas por cada nivel, tomando en cuenta las vigas con mayor área de acero requerido.

**Figura 78:** Columnas y vigas - Estructura 3 niveles en Z1 y S3



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.8.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R

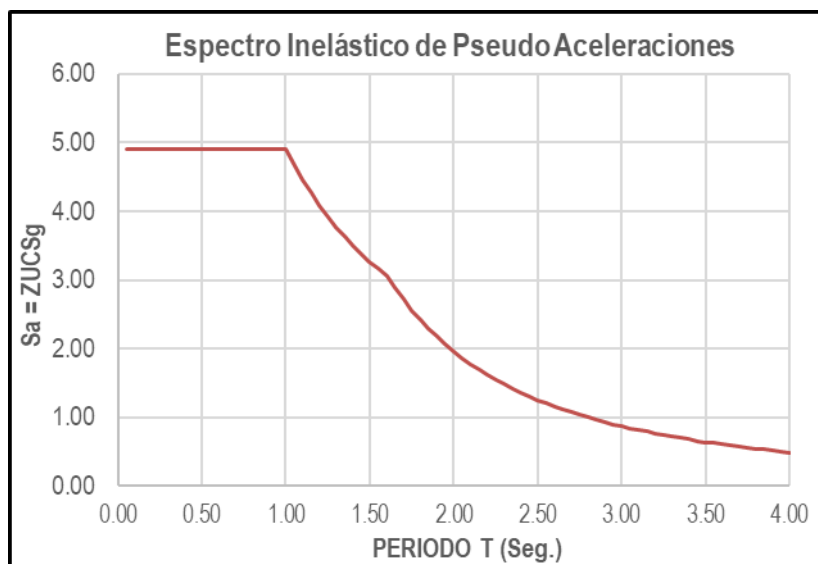
##### A. Nivel de peligro sísmico.

El nivel de peligro sísmico considerado en concordancia con la norma E.030 es de un sismo severo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años con un periodo de retorno de 475 años.

El nivel de peligro sísmico se ingresó al programa mediante un espectro elástico de pseudo aceleraciones de un sismo severo de acuerdo a la norma E.030.

**Figura 79:** Espectro elástico en Estructura 3 niveles en Z1 y S3

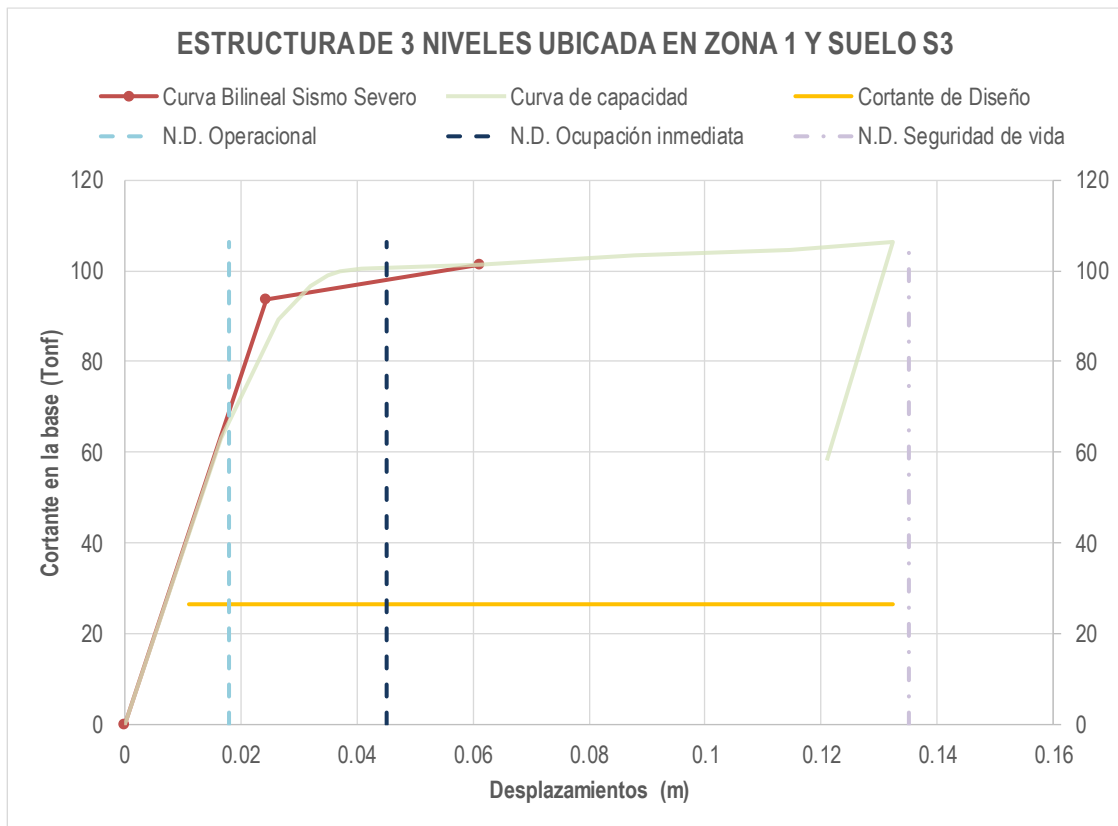
Dirección X-X e Y-Y	
Z:	0.100 Zona 1
U:	1.000 CAT. C. (Común)
S:	2.000 S3 (Suelo Blando)
R:	1.000 Factor de Reducción Sísmica



**Fuente:** Propia.



## B. Cálculo de la curva de capacidad y del factor de reducción sísmica R



### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$	
Ve      252.72	Vy      93.58	Nº ejes de columnas      3
Vy      93.58	Vd      26.63	
<b>R<sub>μ</sub>:      2.70</b>	<b>R<sub>Ω</sub>:      3.51</b>	<b>R<sub>R</sub>:      1.00</b>

$$R = 9.48$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

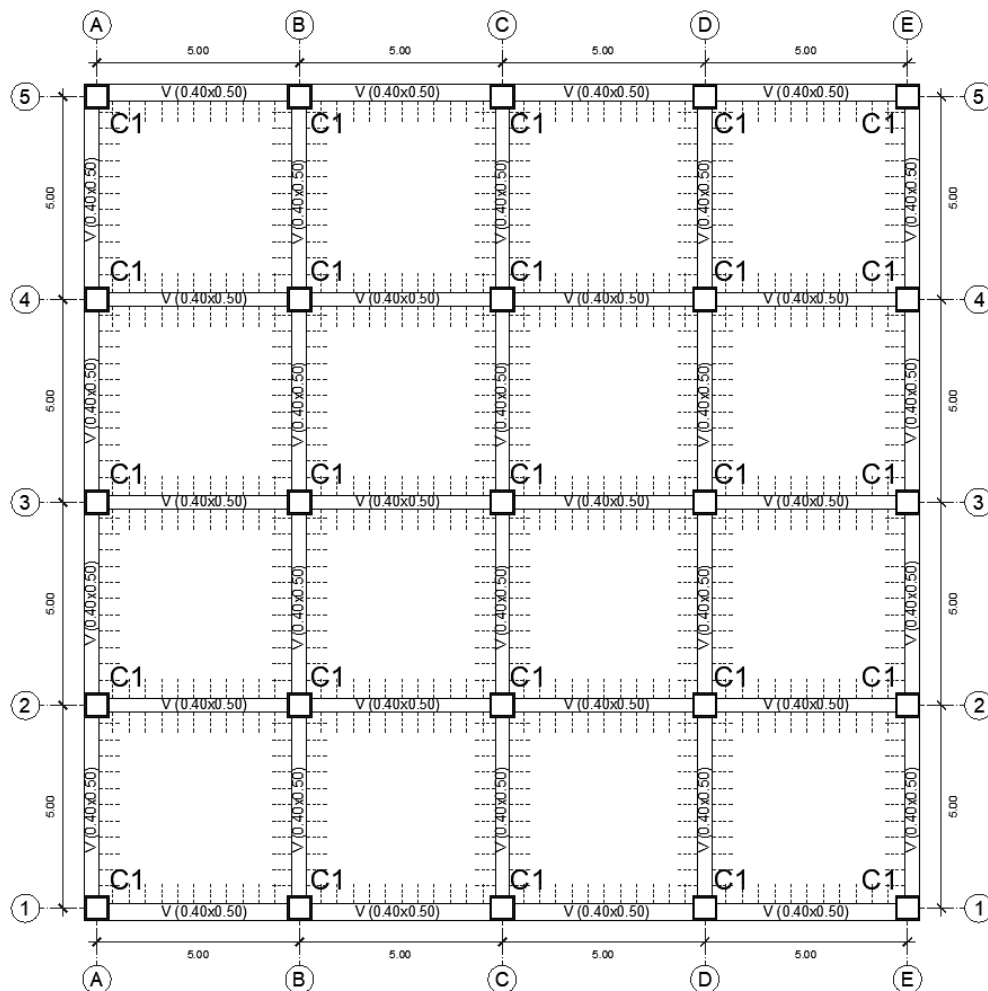
- El factor de ductilidad es de 2.70 y el factor de sobre resistencia es de 3.51. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.48**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.9. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo muy rígido S1

Para las estructuras de 10 niveles, se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras de 3 niveles, y se tuvieron las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 40x50cm<sup>2</sup> y columnas de 60x60cm<sup>2</sup> en todos sus niveles, los cuales se mostrarán con el acero de refuerzo requerido después del análisis y diseño estructural.

**Figura 80:** Estructura de 10 niveles en Z4 y S1

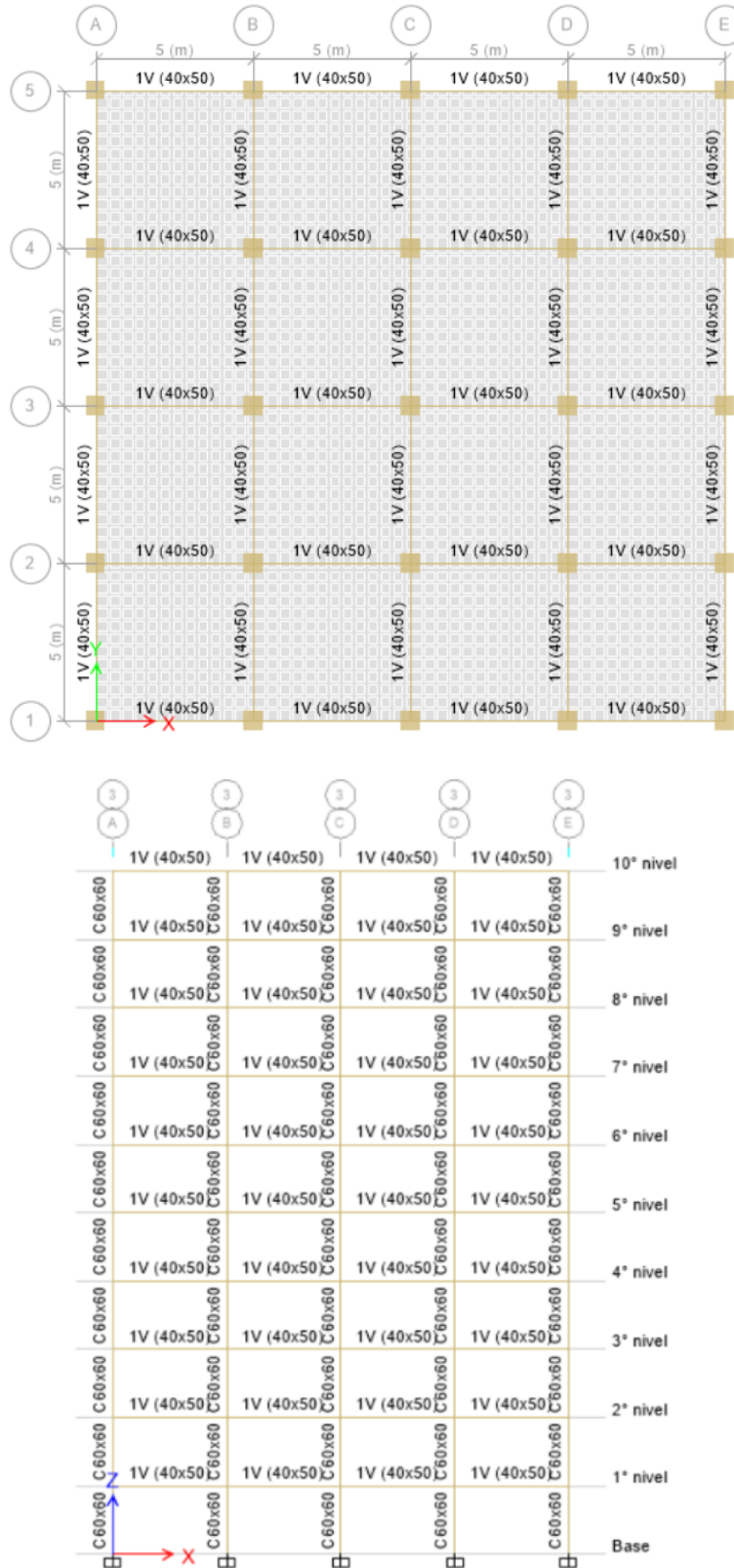


Fuente: Propia

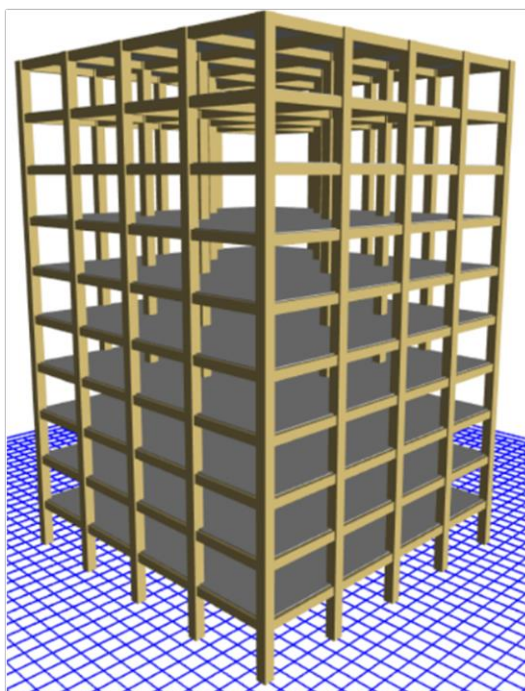
**4.2.9.1. Modelo matemático.**

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 4 Y SUELO MUY RÍGIDO S1:

**Figura 81:** Estructura de 10 niveles en Z4 y S1 – Vista en planta y elevación



**Figura 82:** Estructura de 10 niveles en Z4 y S1 – Vista Elevación y 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.9.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Para la ubicación en planta del centro de masas y rigideces en todos los niveles, se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 52.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z4 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	30.37531	10	10	10	10
9° nivel	41.32706	10	10	10	10
8° nivel	41.32706	10	10	10	10
7° nivel	41.32706	10	10	10	10
6° nivel	41.32706	10	10	10	10
5° nivel	41.32706	10	10	10	10
4° nivel	41.32706	10	10	10	10
3° nivel	41.32706	10	10	10	10
2° nivel	41.32706	10	10	10	10
1° nivel	41.32706	10	10	10	10

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

Se realizó un análisis modal considerando que la suma de las masas efectivas de los modos sea por lo menos el 90% de la masa total.

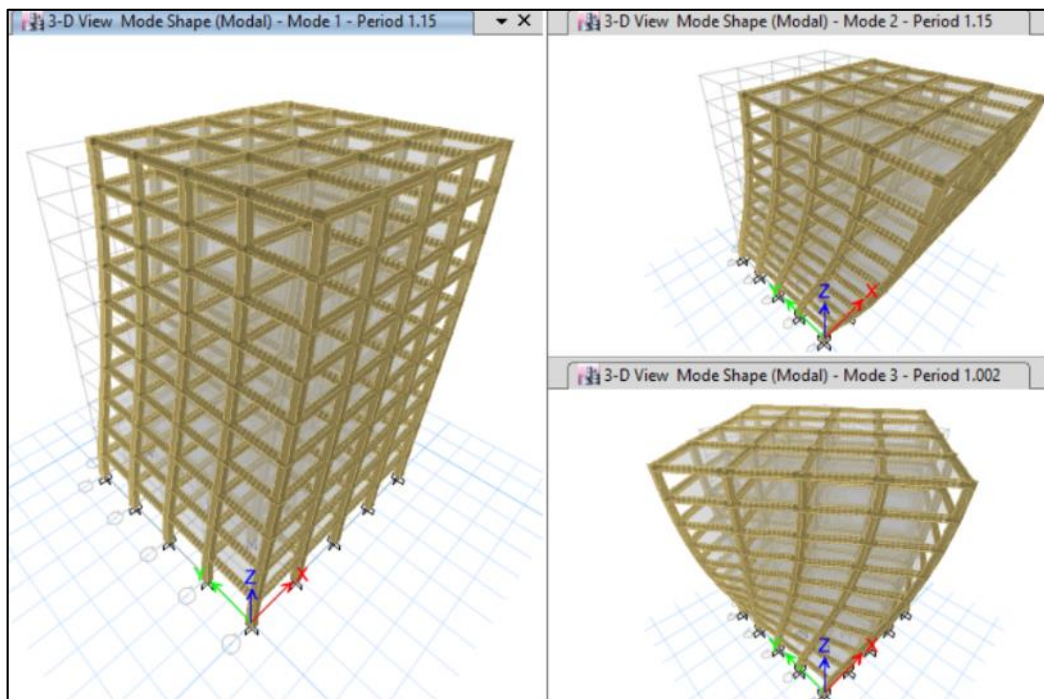
**Tabla 53.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z4 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>1.1500</b>	<b>0.8013</b>	0.0000	0.0000	80.1300	0.0000	0.0000
2	<b>1.1500</b>	0.0000	<b>0.8013</b>	0.0000	80.1300	80.1300	0.0000
3	<b>1.0020</b>	0.0000	0.0000	<b>0.8065</b>	80.1300	80.1300	80.6500
4	0.3690	0.1010	0.0000	0.0000	90.2300	80.1300	80.6500
5	0.3690	0.0000	0.1010	0.0000	90.2300	90.2300	80.6500
6	0.3230	0.0000	0.0000	0.0971	90.2300	90.2300	90.3500
7	0.2060	0.0388	0.0000	0.0000	94.1200	90.2300	90.3500
8	0.2060	0.0000	0.0388	0.0000	94.1200	94.1200	90.3500
9	0.1820	0.0000	0.0000	0.0384	94.1200	94.1200	94.1900
10	0.1360	0.0218	0.0000	0.0000	96.3000	94.1200	94.1900
11	0.1360	0.0000	0.0218	0.0000	96.3000	96.3000	94.1900
12	0.1210	0.0000	0.0000	0.0215	96.3000	96.3000	96.3400

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **1.15 seg.**

**Figura 83:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z4 y S1.



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 54.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z4 y S1

Dirección	Dinámico	Estático
	V(tonf)	80% V(tonf)
X-X	<b>168.411</b>	156.239
Y-Y	<b>168.411</b>	156.239

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

Del análisis dinámico en la Dirección X-X e Y-Y, se obtienen el cortante dinámico en la base es mayor que el 80% del cortante estático. Por lo tanto, la fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de **168.41 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 55.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z4 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>13.9452</b>	1.2714
10° nivel	Sy Max	1.2714	<b>13.9452</b>
9° nivel	Sx Max	13.4766	1.2258
9° nivel	Sy Max	1.2258	13.4766
8° nivel	Sx Max	12.7218	1.1502
8° nivel	Sy Max	1.1502	12.7218
7° nivel	Sx Max	11.6766	1.0470
7° nivel	Sy Max	1.0470	11.6766
6° nivel	Sx Max	10.3746	0.9228
6° nivel	Sy Max	0.9228	10.3746
5° nivel	Sx Max	8.8434	0.7812
5° nivel	Sy Max	0.7812	8.8434
4° nivel	Sx Max	7.1046	0.6246
4° nivel	Sy Max	0.6246	7.1046
3° nivel	Sx Max	5.1804	0.4542
3° nivel	Sy Max	0.4542	5.1804
2° nivel	Sx Max	3.1320	0.2754
2° nivel	Sy Max	0.2754	3.1320
1° nivel	Sx Max	1.1628	0.1026
1° nivel	Sy Max	0.1026	1.1628

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 56.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z4 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00191	0.00015
10° nivel	Sy Max	0.00015	0.00191
9° nivel	Sx Max	0.00304	0.00025
9° nivel	Sy Max	0.00025	0.00304
8° nivel	Sx Max	0.00406	0.00034
8° nivel	Sy Max	0.00034	0.00406
7° nivel	Sx Max	0.00487	0.00041
7° nivel	Sy Max	0.00041	0.00487
6° nivel	Sx Max	0.00550	0.00047
6° nivel	Sy Max	0.00047	0.00550
5° nivel	Sx Max	0.00605	0.00052
5° nivel	Sy Max	0.00052	0.00605
4° nivel	Sx Max	0.00654	0.00056
4° nivel	Sy Max	0.00056	0.00654
3° nivel	Sx Max	<b>0.00687</b>	0.00060
3° nivel	Sy Max	0.00060	<b>0.00687</b>
2° nivel	Sx Max	0.00657	0.00060
2° nivel	Sy Max	0.00060	0.00657
1° nivel	Sx Max	0.00388	0.00034
1° nivel	Sy Max	0.00034	0.00388

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De las tablas mostradas se obtiene que los desplazamientos y distorsiones máximos son iguales en ambas direcciones (X-X e Y-Y) puesto que la estructura es simétrica y con la misma configuración estructural en ambas direcciones.

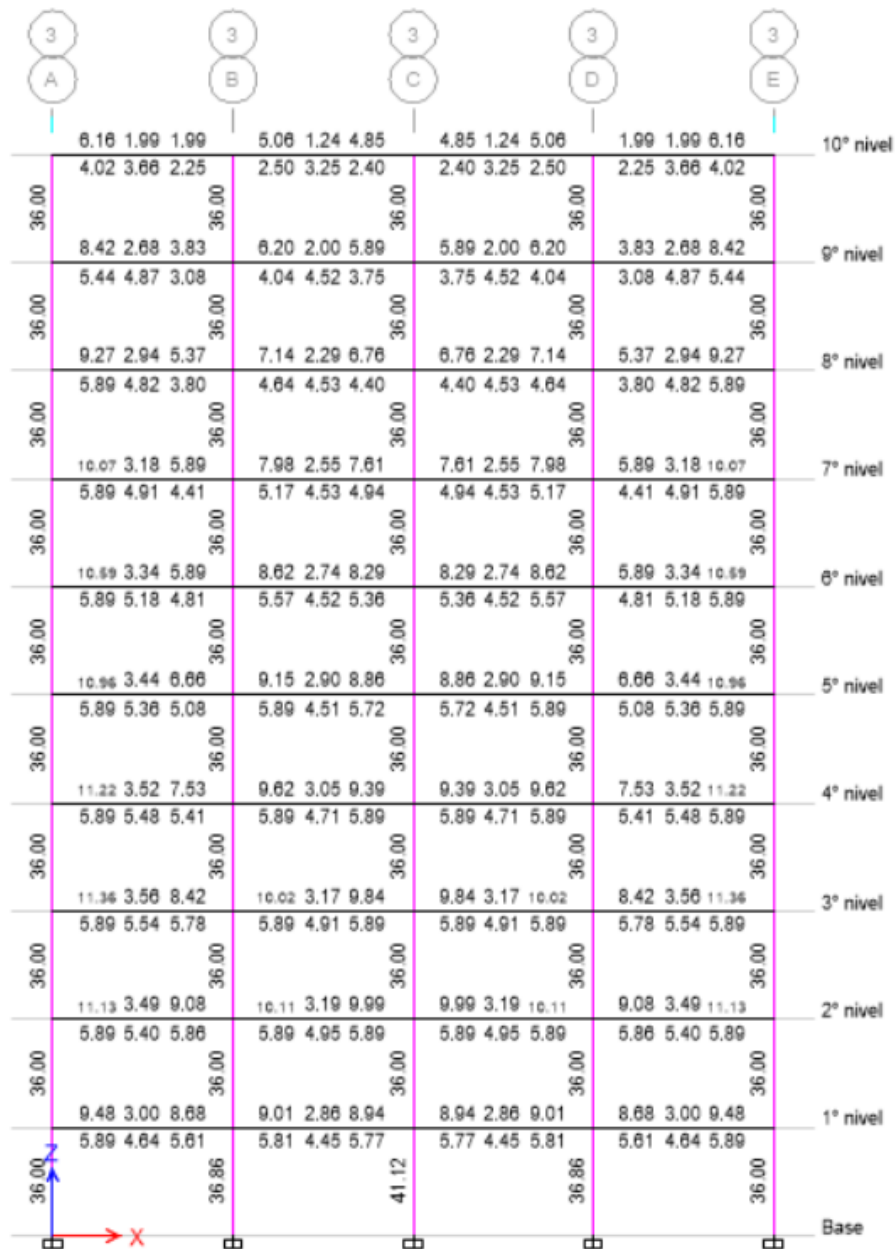
El **desplazamiento máximo obtenido es de 13.95 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00687**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

### 4.2.9.3. Diseño estructural

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

#### A. Diseño de vigas y columnas

**Figura 84:** Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z4 y S1



Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

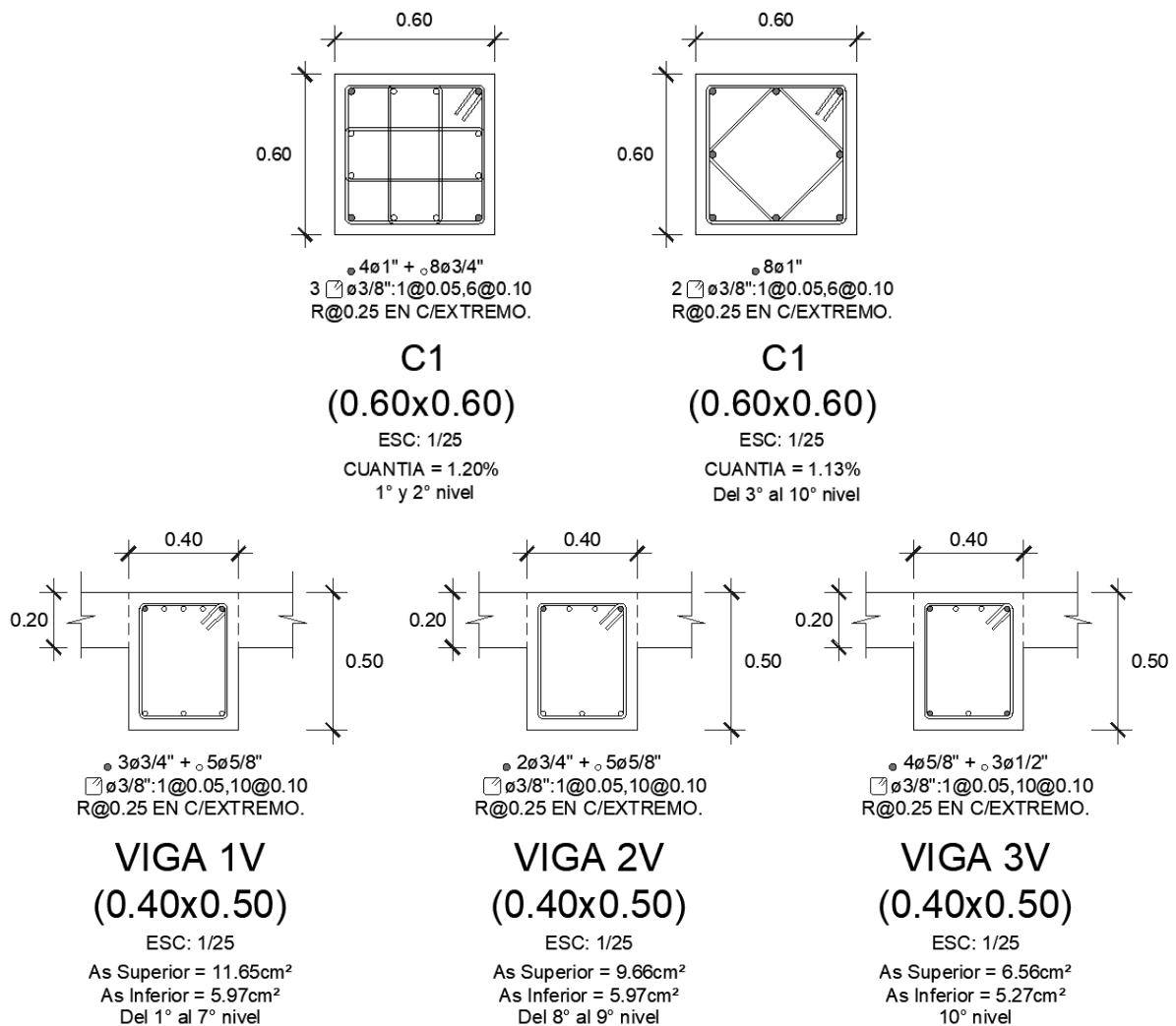


De la figura mostrada se tiene que la columna de 60x60 en el primer nivel requiere un área de acero máximo de 41.12cm<sup>2</sup>, y en los demás niveles un área de acero de 36.00cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, para la columna de 60x60cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel se consideró a criterio acero de 4ø1"+8ø3/4" equivalentes a 43.12cm<sup>2</sup> (cuantía de 1.20%), y del tercer al décimo nivel acero de 8ø1" equivalentes a 40.80cm<sup>2</sup> (cuantía de 1.13%) .

**B. Resumen del diseño en vigas y columnas**

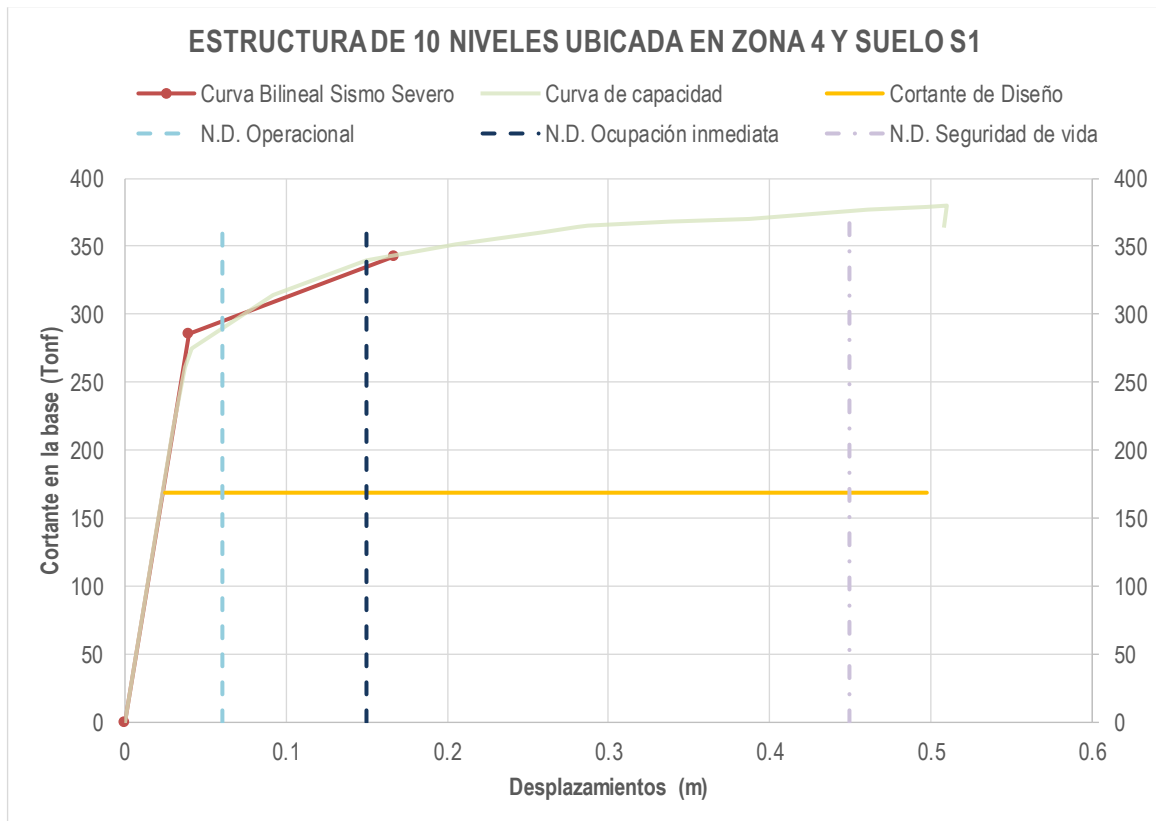
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 85: Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z4 y S1**



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.9.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA								
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$									
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Ve</td> <td style="width: 50%;">1543.86</td> </tr> <tr> <td>Vy</td> <td>285.95</td> </tr> </table>	Ve	1543.86	Vy	285.95	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Vy</td> <td style="width: 50%;">285.95</td> </tr> <tr> <td>Vd</td> <td>168.41</td> </tr> </table>	Vy	285.95	Vd	168.41	N° ejes de columnas 4
Ve	1543.86									
Vy	285.95									
Vy	285.95									
Vd	168.41									
<b>R<sub>μ</sub>: 5.40</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 1.70</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>								

$$R = 9.18$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 5.40 y el factor de sobre resistencia es de 1.70. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.18**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo muy rígido S1) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.10. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo muy rígido S1

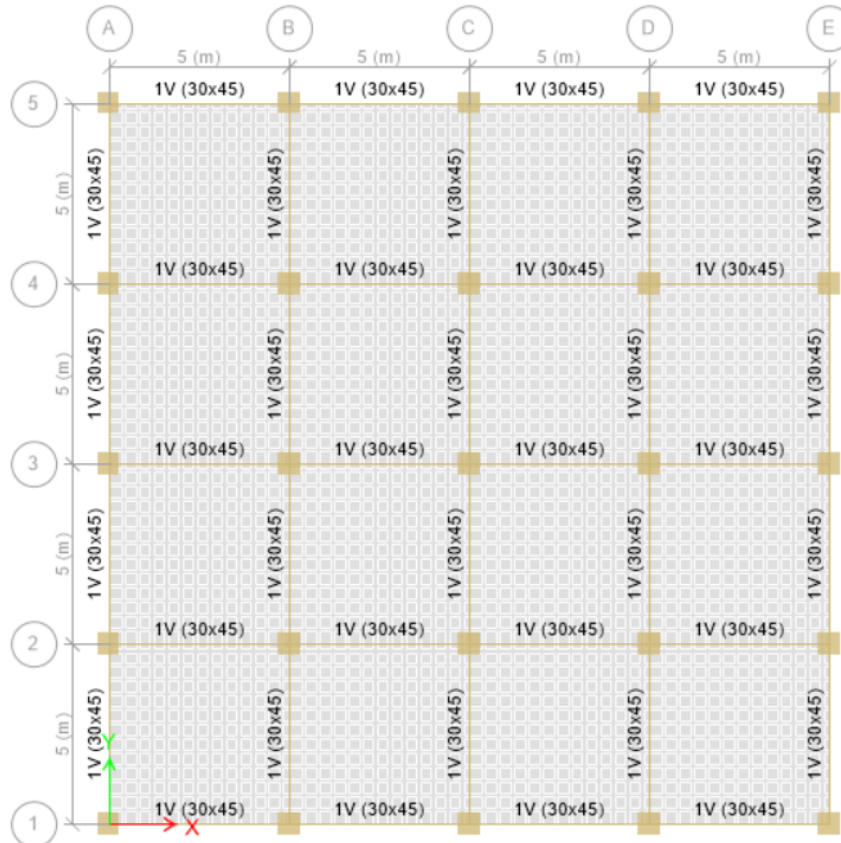
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras de 3 niveles, y se tuvieron las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos los niveles, columnas de 60x60cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel, y columnas de 50x50cm<sup>2</sup> en los demás niveles.

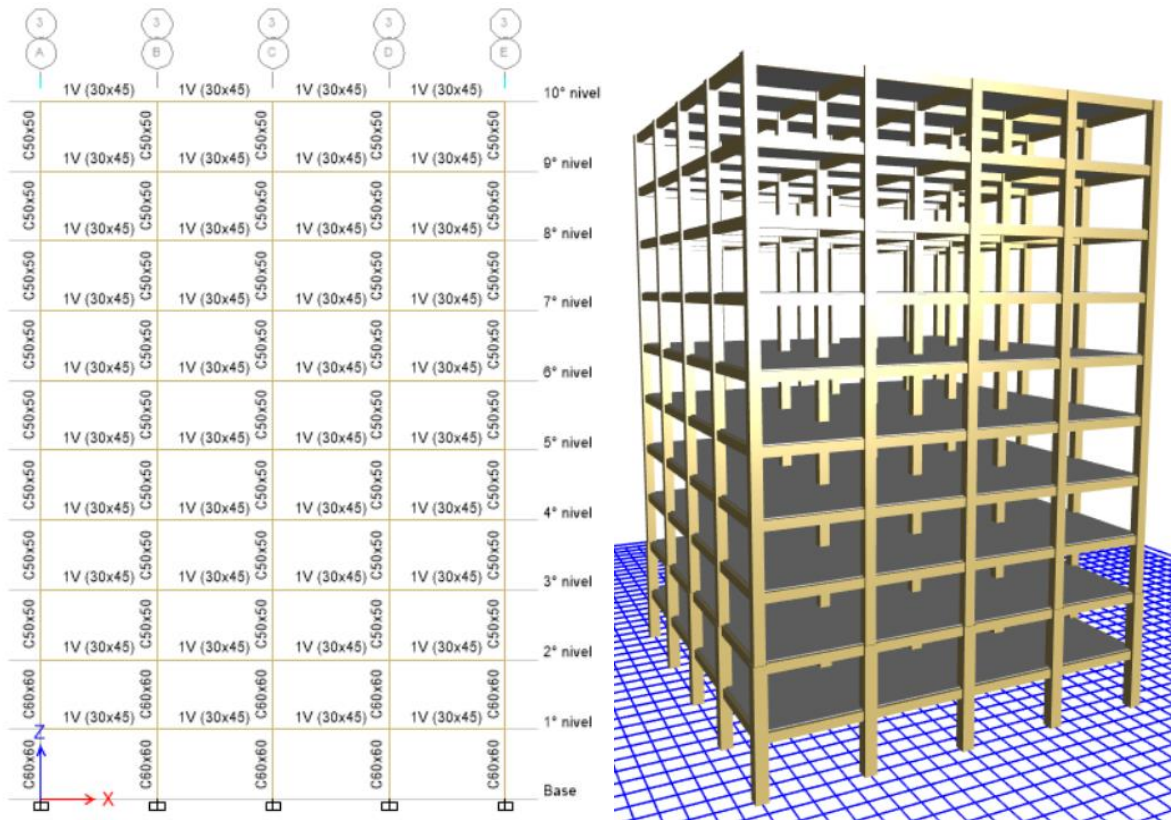
##### 4.2.10.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 3 Y SUELO MUY RIGIDO S1:

**Figura 86:** Estructura de 10 niveles en Z3 y S1 – Vista en planta



**Figura 87:** Estructura de 10 niveles en Z3 y S1 – Vista Elevación y 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.10.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 57.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z3 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	26.69821	10	10	10	10
9° nivel	36.64044	10	10	10	10
8° nivel	36.64044	10	10	10	10
7° nivel	36.64044	10	10	10	10
6° nivel	36.64044	10	10	10	10
5° nivel	36.64044	10	10	10	10
4° nivel	36.64044	10	10	10	10
3° nivel	36.64044	10	10	10	10
2° nivel	37.51781	10	10	10	10
1° nivel	38.52733	10	10	10	10

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

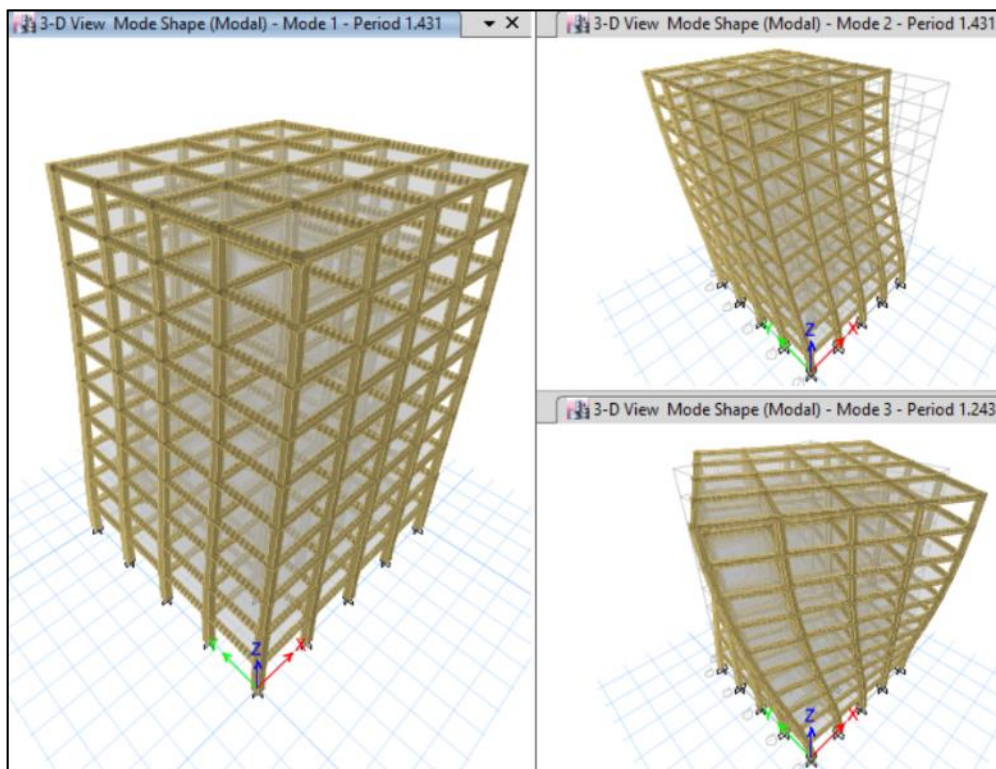
**Tabla 58.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z3 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>1.4310</b>	<b>0.7763</b>	0.0000	0.0000	77.6300	0.0000	0.0000
2	<b>1.4310</b>	0.0000	<b>0.7763</b>	0.0000	77.6300	77.6300	0.0000
3	<b>1.2430</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7781</b>	77.6300	77.6300	77.8100
4	0.4620	0.1039	0.0000	0.0000	88.0300	77.6400	77.8100
5	0.4620	0.0000	0.1039	0.0000	88.0300	88.0300	77.8100
6	0.4030	0.0000	0.0000	0.1019	88.0300	88.0300	88.0000
7	0.2610	0.0436	0.0000	0.0000	92.3900	88.0300	88.0000
8	0.2610	0.0000	0.0436	0.0000	92.3900	92.3900	88.0000
9	0.2290	0.0000	0.0000	0.0438	92.3900	92.3900	92.3800
10	0.1730	0.0249	0.0001	0.0000	94.8700	92.4000	92.3800
11	0.1730	0.0001	0.0249	0.0000	94.8800	94.8800	92.3800
12	0.1530	0.0000	0.0000	0.0251	94.8800	94.8800	94.8900

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **1.431 seg.**

**Figura 88:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z3 y S1



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 59.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z3 y S1

Dirección	Dinámico	Estático
	V(tonf)	80% V(tonf)
X-X	94.495	<b>108.503</b>
Y-Y	94.495	<b>108.503</b>

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 108.503 Ton.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 60.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z3 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>13.6302</b>	1.2924
10° nivel	Sy Max	1.2924	<b>13.6302</b>
9° nivel	Sx Max	13.1592	1.2396
9° nivel	Sy Max	1.2396	13.1592
8° nivel	Sx Max	12.3798	1.1538
8° nivel	Sy Max	1.1538	12.3798
7° nivel	Sx Max	11.2998	1.0404
7° nivel	Sy Max	1.0404	11.2998
6° nivel	Sx Max	9.9570	0.9048
6° nivel	Sy Max	0.9048	9.9570
5° nivel	Sx Max	8.3802	0.7530
5° nivel	Sy Max	0.7530	8.3802
4° nivel	Sx Max	6.5880	0.5862
4° nivel	Sy Max	0.5862	6.5880
3° nivel	Sx Max	4.6098	0.4074
3° nivel	Sy Max	0.4074	4.6098
2° nivel	Sx Max	2.5656	0.2256
2° nivel	Sy Max	0.2256	2.5656
1° nivel	Sx Max	0.8976	0.0792
1° nivel	Sy Max	0.0792	0.8976

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 61.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z3 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00207	0.00017
10° nivel	Sy Max	0.00017	0.00207
9° nivel	Sx Max	0.00330	0.00029
9° nivel	Sy Max	0.00029	0.00330
8° nivel	Sx Max	0.00435	0.00038
8° nivel	Sy Max	0.00038	0.00435
7° nivel	Sx Max	0.00514	0.00045
7° nivel	Sy Max	0.00045	0.00514
6° nivel	Sx Max	0.00575	0.00050
6° nivel	Sy Max	0.00050	0.00575
5° nivel	Sx Max	0.00629	0.00056
5° nivel	Sy Max	0.00056	0.00629
4° nivel	Sx Max	0.00675	0.00059
4° nivel	Sy Max	0.00059	0.00675
3° nivel	Sx Max	<b>0.00686</b>	0.00061
3° nivel	Sy Max	0.00061	<b>0.00686</b>
2° nivel	Sx Max	0.00556	0.00049
2° nivel	Sy Max	0.00049	0.00556
1° nivel	Sx Max	0.00299	0.00026
1° nivel	Sy Max	0.00026	0.00299

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 13.63 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00686**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

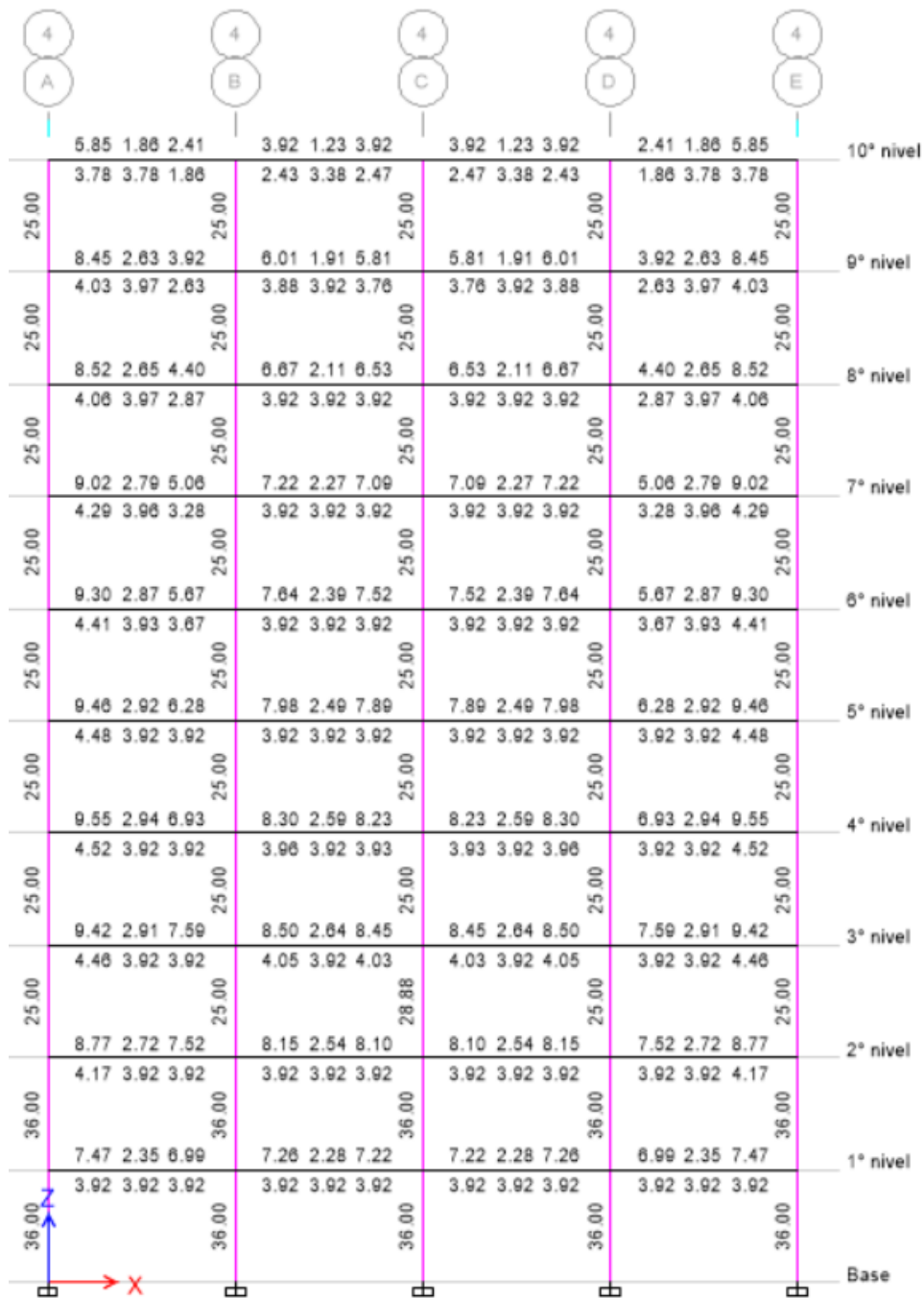


**4.2.10.3. Diseño estructural**

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

**A. Diseño de vigas y columnas**

**Figura 89:** Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z3 y S1



Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.

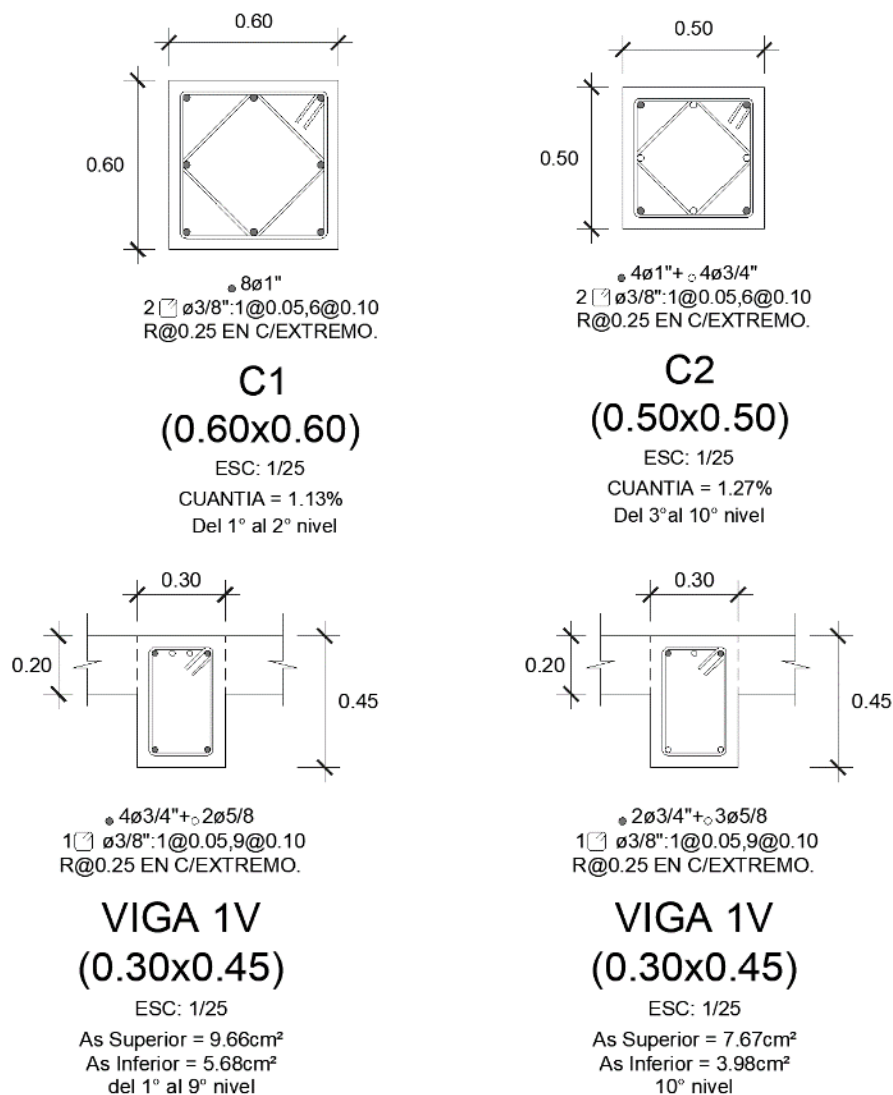


De la figura mostrada se tiene que la columna de 60x60 en el primer y segundo nivel requiere un área de acero máximo de 36.00cm<sup>2</sup>, y en los demás niveles la columna de 50x50cm<sup>2</sup> requiere un área de acero máximo de 28.88cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, para la columna de 60x60cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel se consideró acero de 8ø1" equivalentes a 40.80cm<sup>2</sup> (cuantía de 1.13%). Y para la columna de 50x50cm<sup>2</sup> de los demás niveles se consideró acero de 4ø1"+4ø3/4" equivalentes a 31.76 (cuantía de 1.27%).

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

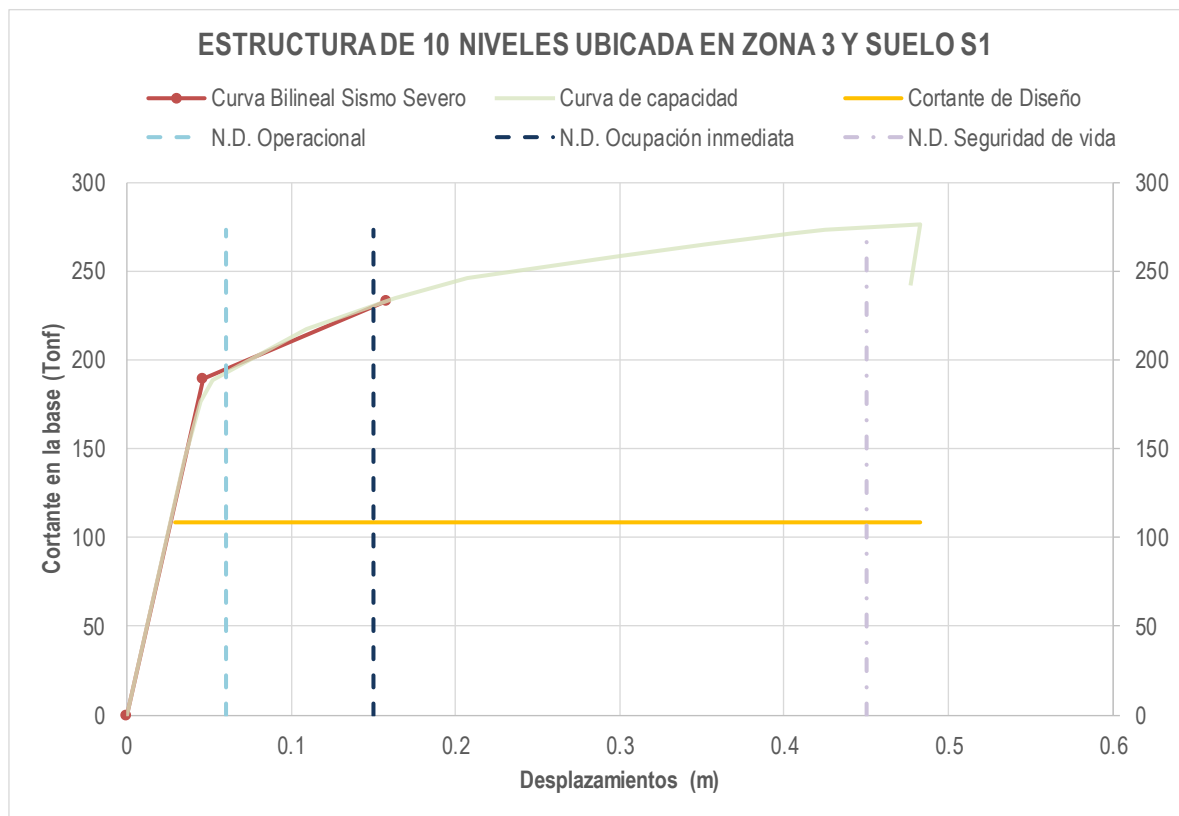
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 90: Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z3 y S1**



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.2.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 4.55 y el factor de sobre resistencia es de 1.75. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **7.96**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.11. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo muy rígido S1

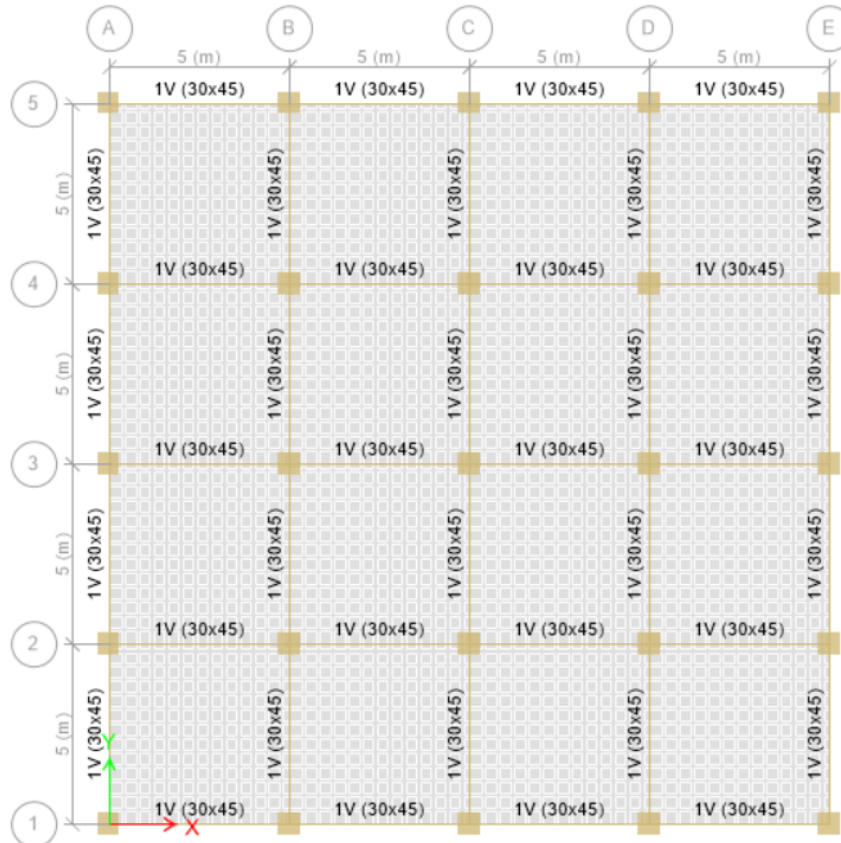
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras anteriores, y se tuvieron las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x45cm<sup>2</sup> en todos los niveles, columnas de 55x55cm<sup>2</sup> desde el primer al cuarto nivel, y columnas de 45x45cm<sup>2</sup> en los demás niveles.

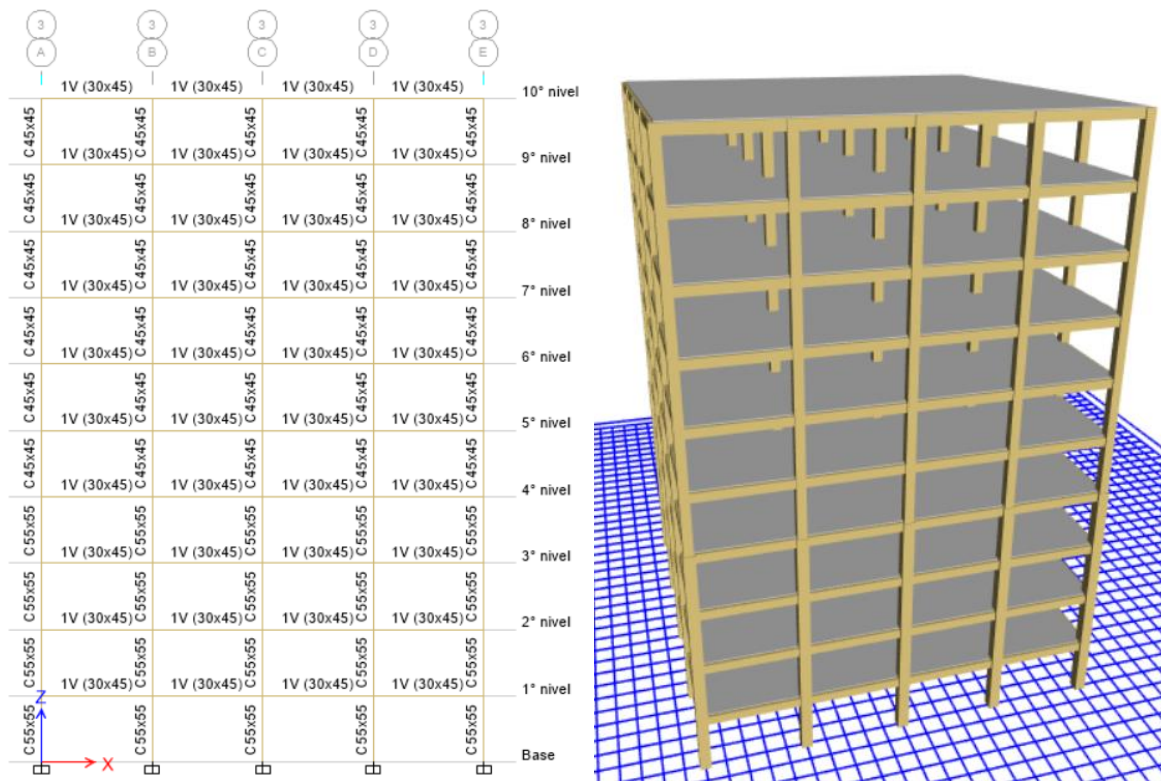
##### 4.2.11.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 2 Y SUELO MUY RIGIDO S1:

**Figura 91:** Estructura de 10 niveles en Z2 y S1 – Vista en planta



**Figura 92:** Estructura de 10 niveles en Z2 y S1 – Vista Elevación y 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.11.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 62.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z2 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	26.32836	10	10	10	10
9° nivel	35.83466	10	10	10	10
8° nivel	35.83466	10	10	10	10
7° nivel	35.83466	10	10	10	10
6° nivel	35.83466	10	10	10	10
5° nivel	35.83466	10	10	10	10
4° nivel	36.62025	10	10	10	10
3° nivel	37.538	10	10	10	10
2° nivel	37.538	10	10	10	10
1° nivel	37.538	10	10	10	10

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

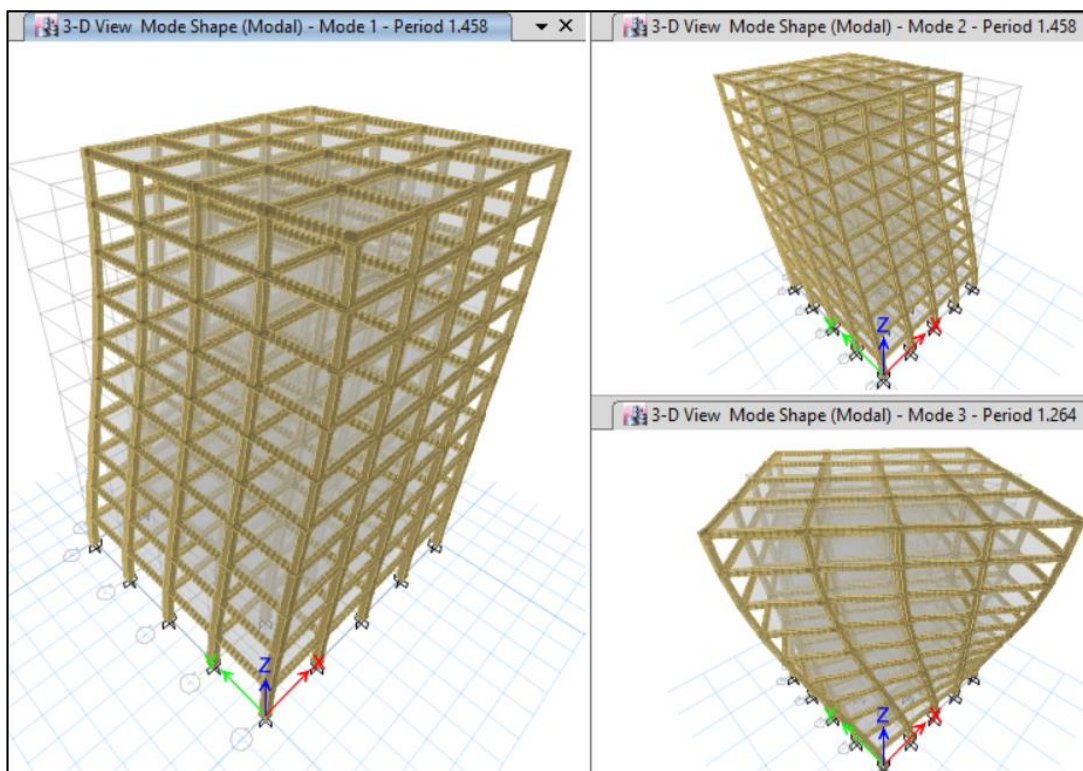
**Tabla 63.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z2 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>1.4580</b>	<b>0.7770</b>	0.0000	0.0000	77.7000	0.0000	0.0000
2	<b>1.4580</b>	0.0000	<b>0.7770</b>	0.0000	77.7000	77.7000	0.0000
3	<b>1.2640</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7781</b>	77.7000	77.7000	77.8100
4	0.4850	0.1116	0.0000	0.0000	88.8500	77.7000	77.8100
5	0.4850	0.0000	0.1116	0.0000	88.8500	88.8500	77.8100
6	0.4230	0.0000	0.0000	0.1110	88.8500	88.8500	88.9100
7	0.2750	0.0407	0.0000	0.0000	92.9200	88.8500	88.9100
8	0.2750	0.0000	0.0407	0.0000	92.9200	92.9200	88.9100
9	0.2430	0.0000	0.0000	0.0406	92.9200	92.9200	92.9700
10	0.1830	0.0231	0.0000	0.0000	95.2400	92.9200	92.9700
11	0.1830	0.0000	0.0231	0.0000	95.2400	95.2400	92.9700
12	0.1620	0.0000	0.0000	0.0229	95.2400	95.2400	95.2600

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **1.458 seg.**

**Figura 93:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z2 y S1



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 64.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z2 y S1

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	65.517	<b>76.533</b>
Y-Y	65.517	<b>76.533</b>

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal, la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 76.53 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 65.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z2 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>9.9954</b>	0.9534
10° nivel	Sy Max	0.9534	<b>9.9954</b>
9° nivel	Sx Max	9.6510	0.9144
9° nivel	Sy Max	0.9144	9.6510
8° nivel	Sx Max	9.0576	0.8484
8° nivel	Sy Max	0.8484	9.0576
7° nivel	Sx Max	8.2320	0.7602
7° nivel	Sy Max	0.7602	8.2320
6° nivel	Sx Max	7.2090	0.6564
6° nivel	Sy Max	0.6564	7.2090
5° nivel	Sx Max	6.0132	0.5400
5° nivel	Sy Max	0.5400	6.0132
4° nivel	Sx Max	4.6650	0.4140
4° nivel	Sy Max	0.4140	4.6650
3° nivel	Sx Max	3.3738	0.2982
3° nivel	Sy Max	0.2982	3.3738
2° nivel	Sx Max	2.0172	0.1782
2° nivel	Sy Max	0.1782	2.0172
1° nivel	Sx Max	0.7302	0.0648
1° nivel	Sy Max	0.0648	0.7302

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 66.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z2 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00153	0.00013
10° nivel	Sy Max	0.00013	0.00153
9° nivel	Sx Max	0.00253	0.00022
9° nivel	Sy Max	0.00022	0.00253
8° nivel	Sx Max	0.00335	0.00029
8° nivel	Sy Max	0.00029	0.00335
7° nivel	Sx Max	0.00394	0.00035
7° nivel	Sy Max	0.00035	0.00394
6° nivel	Sx Max	0.00439	0.00039
6° nivel	Sy Max	0.00039	0.00439
5° nivel	Sx Max	<b>0.00474</b>	0.00042
5° nivel	Sy Max	0.00042	<b>0.00474</b>
4° nivel	Sx Max	0.00440	0.00038
4° nivel	Sy Max	0.00038	0.00440
3° nivel	Sx Max	0.00456	0.00040
3° nivel	Sy Max	0.00040	0.00456
2° nivel	Sx Max	0.00430	0.00038
2° nivel	Sy Max	0.00038	0.00430
1° nivel	Sx Max	0.00244	0.00022
1° nivel	Sy Max	0.00022	0.00244

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 9.995 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00474**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

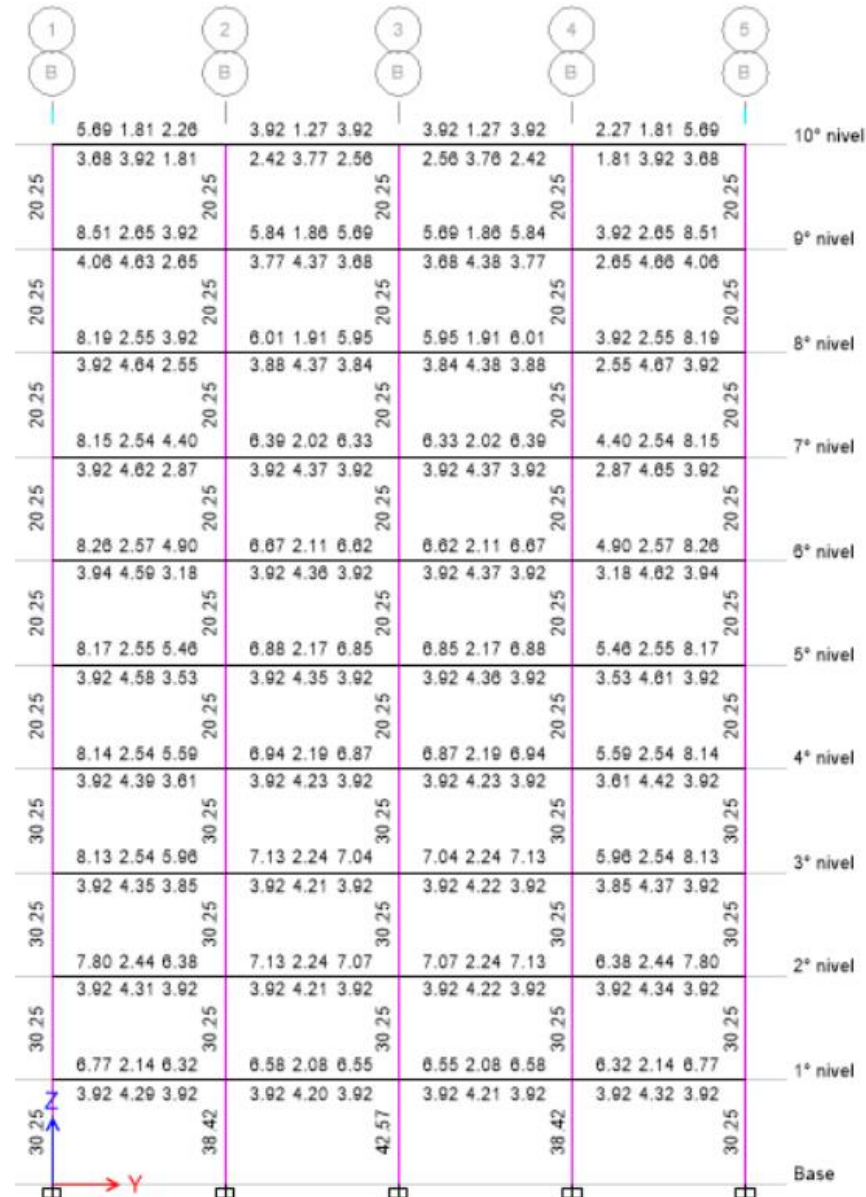


### 4.2.11.3. Diseño estructural

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

#### A. Diseño de vigas y columnas

**Figura 94:** Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z2 y S1



**Fuente:** Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que la columna de 55x55cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel requiere un área de acero máximo de 42.57cm<sup>2</sup>, la columna de 55x55cm<sup>2</sup> del tercero y cuarto nivel requiere un área de acero máximo de

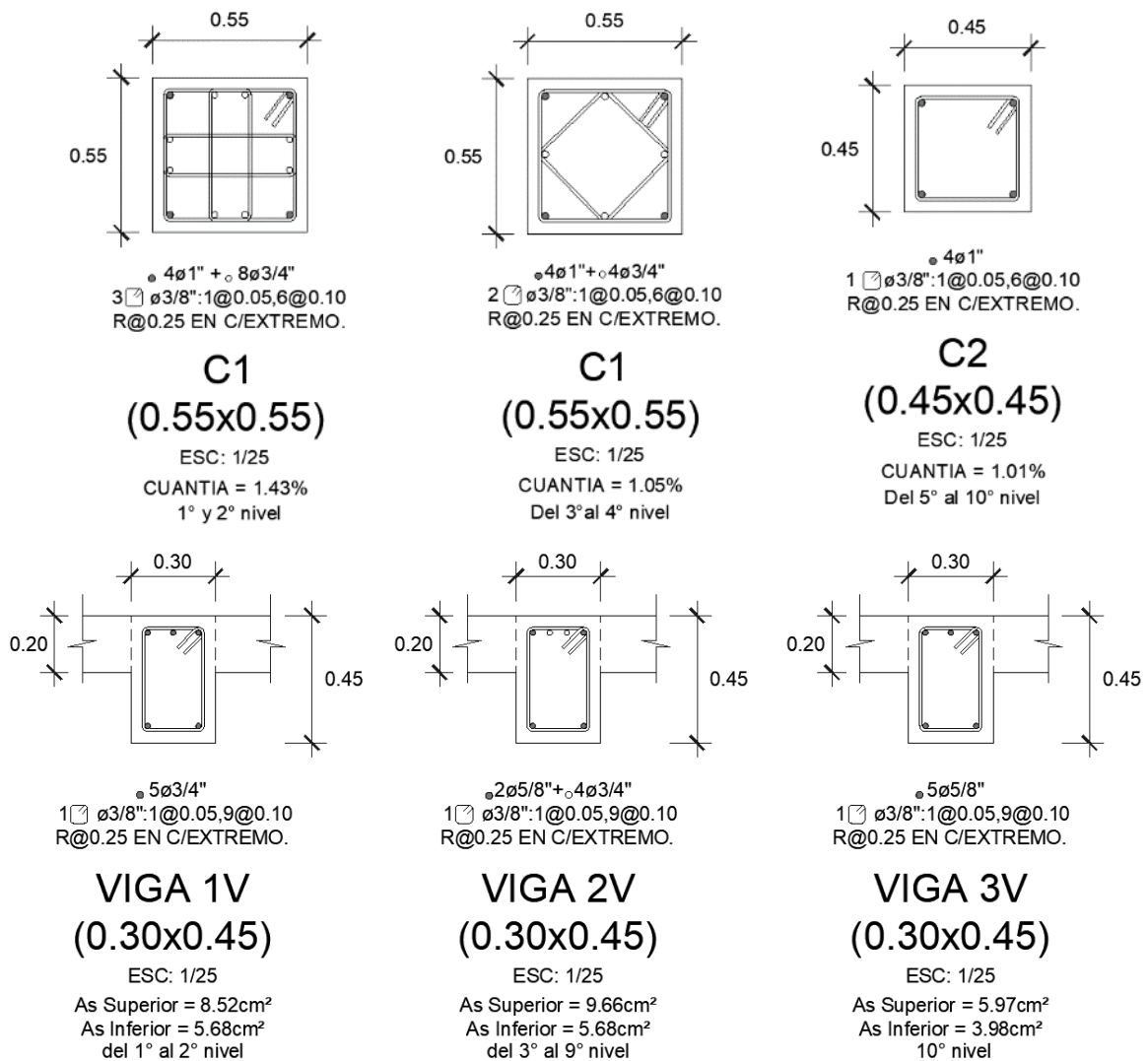


30.25cm<sup>2</sup>, y la columna de 45x45cm<sup>2</sup> del quinto al décimo nivel requiere un acero máximo de 20.25cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, para la columna de 55x55cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel se consideró acero de 4ø1"+8ø3/4" equivalentes a 43.12cm<sup>2</sup> (cuantía de 1.43%), para la columna de 55x55cm<sup>2</sup> del tercer y cuarto nivel se consideró acero de 4ø1"+4ø3/4" equivalentes a 31.76 (cuantía de 1.05%), y las columnas de 45x45cm<sup>2</sup> de los demás niveles se consideró acero de 4ø1" equivalentes a 20.40 (cuantía de 1.01%).

### B. Resumen del diseño en vigas y columnas

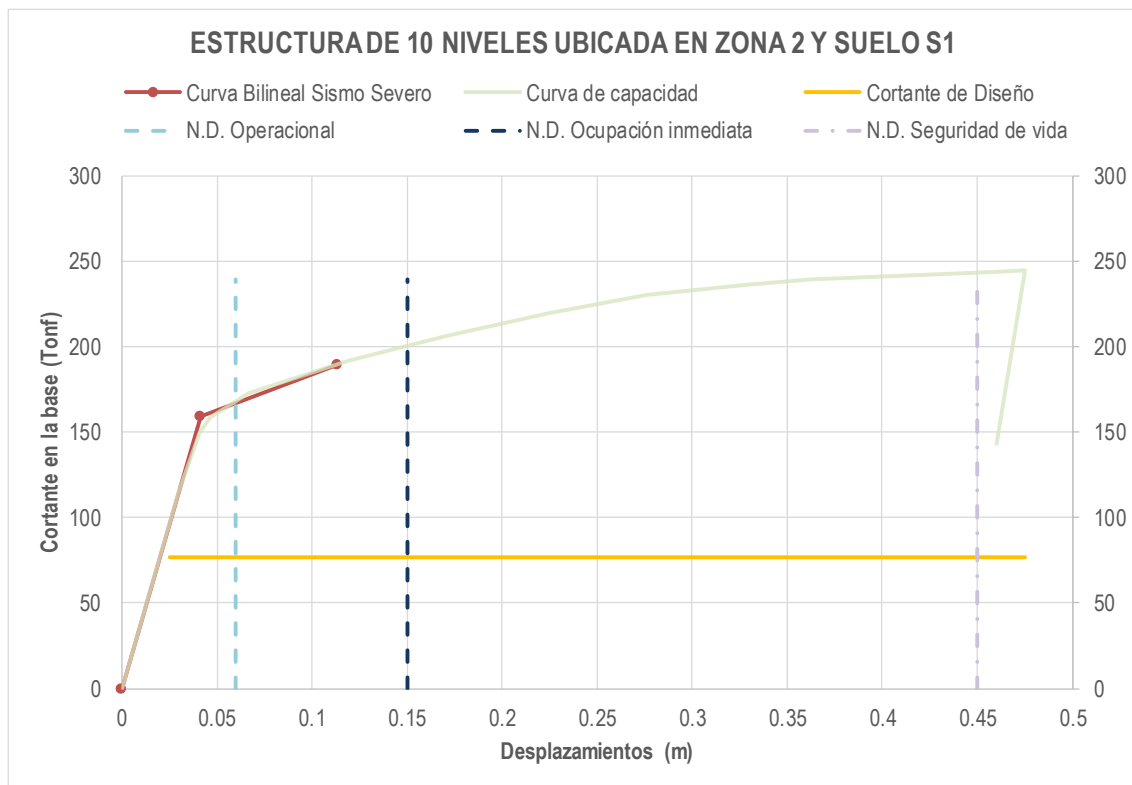
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 95:** Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z2 y S1



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.11.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



#### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD		R - SOBRE RESISTENCIA		R - REDUNDANCIA	
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$		$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$			
Ve	596.50	Vy	158.93	Nº ejes de columnas	4
Vy	158.93	Vd	76.53		
<b>R<sub>μ</sub>:</b>	<b>3.75</b>	<b>R<sub>Ω</sub>:</b>	<b>2.08</b>	<b>RR:</b>	<b>1.00</b>
<b>R= 7.80</b>					

**Fuente:** Propia a partir del análisis No Lineal

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de a 3.75 y el factor de sobre resistencia es de 2.08. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **7.80**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **Ocupación inmediata**.

#### 4.2.12. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo muy rígido S1

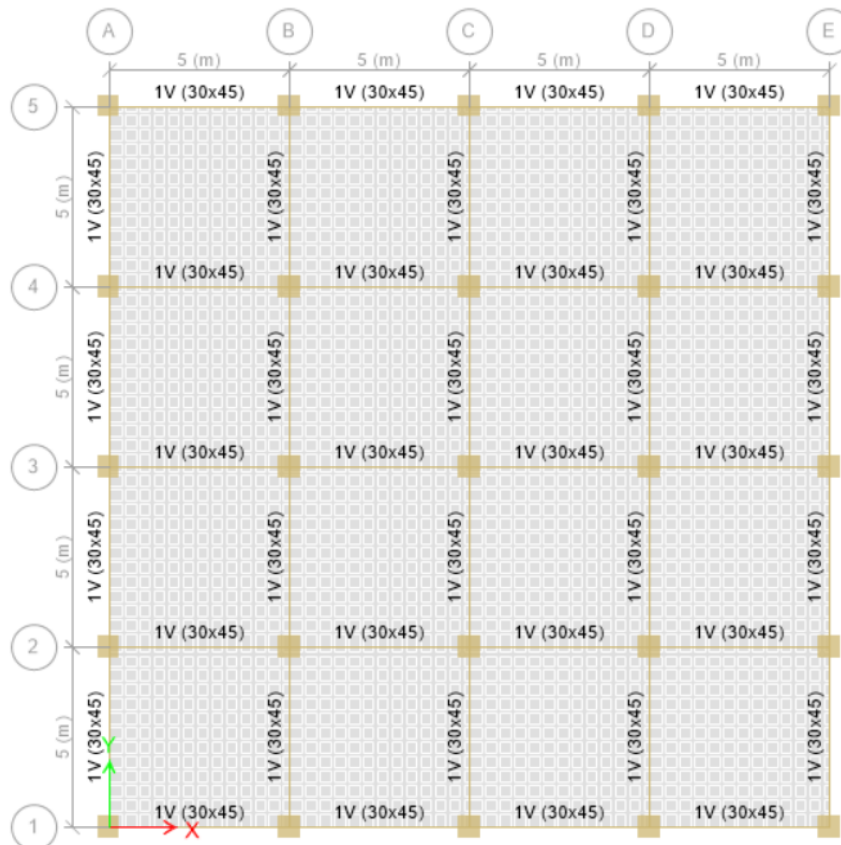
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras anteriores, y se tuvieron las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x40cm<sup>2</sup> en todos los niveles, columnas de 55x55cm<sup>2</sup> del primer al quinto nivel, y columnas de 40x40cm<sup>2</sup> en los demás niveles.

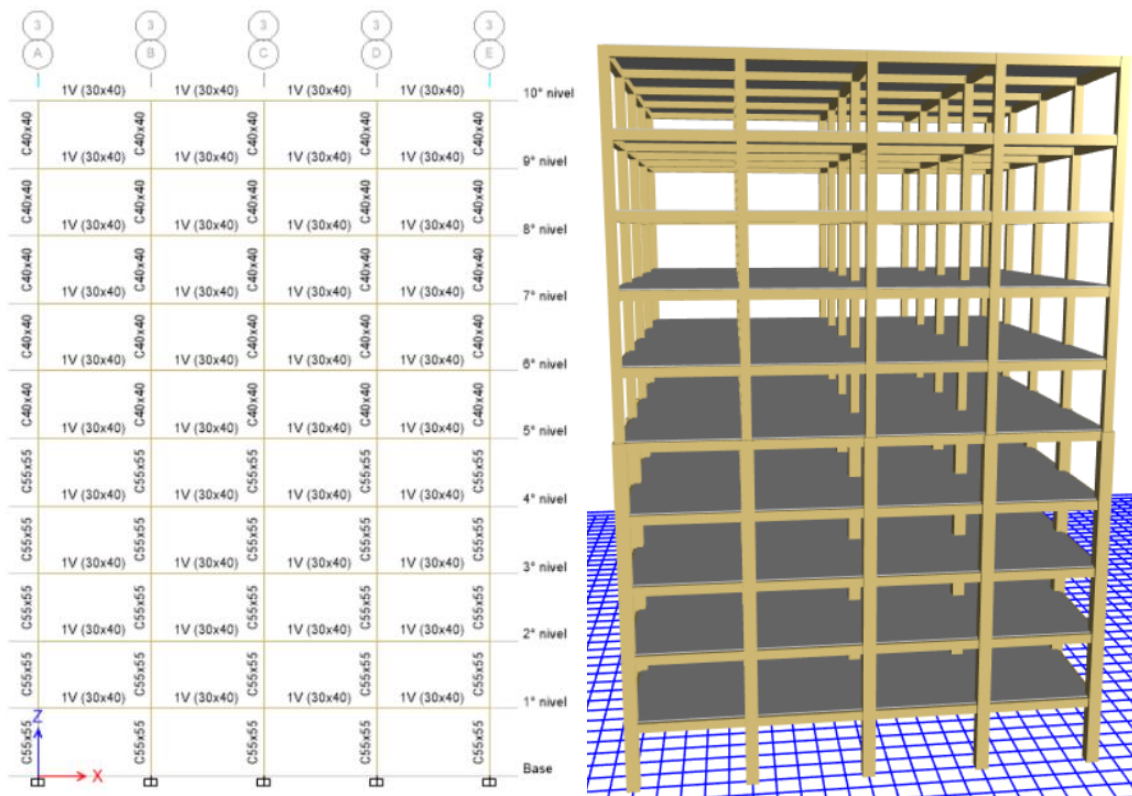
##### 4.2.12.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 1 Y SUELO MUY RIGIDO S1:

**Figura 96:** Estructura de 10 niveles en Z1 y S1 – Vista en planta



**Figura 97:** Estructura de 10 niveles en Z1 y S1 – Vista Elevación y 3D



*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.12.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 67.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z1 y S1

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	25.32893	10	10	10	10
9° nivel	34.4452	10	10	10	10
8° nivel	34.4452	10	10	10	10
7° nivel	34.4452	10	10	10	10
6° nivel	34.4452	10	10	10	10
5° nivel	35.57678	10	10	10	10
4° nivel	36.88456	10	10	10	10
3° nivel	36.88456	10	10	10	10
2° nivel	36.88456	10	10	10	10
1° nivel	36.88456	10	10	10	10

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

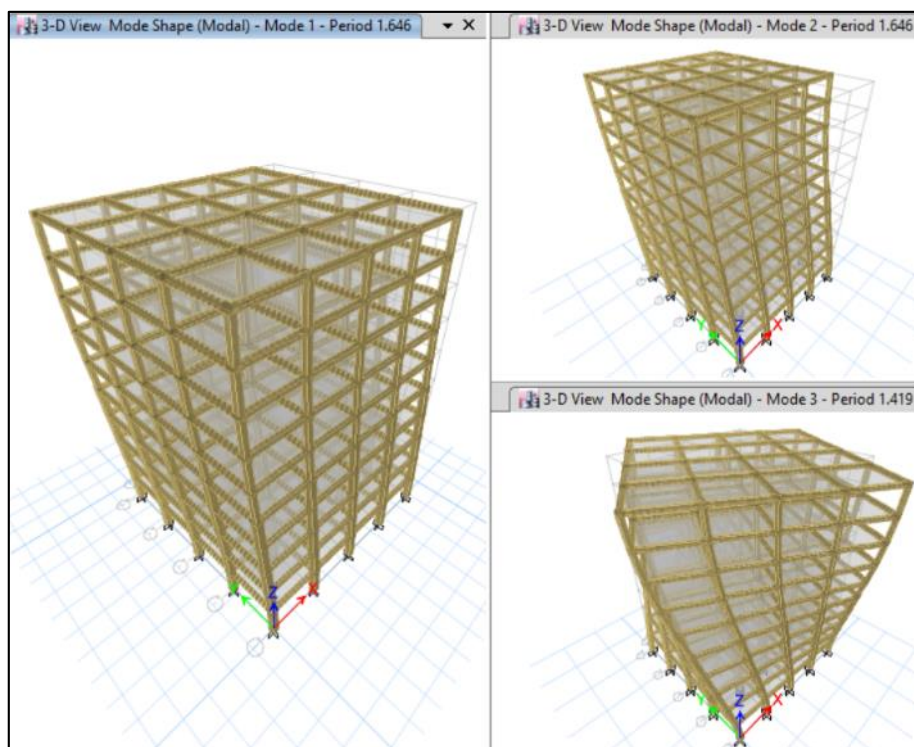
**Tabla 68.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z1 y S1

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>1.6460</b>	<b>0.7649</b>	0.0000	0.0000	76.4900	0.0000	0.0000
2	<b>1.6460</b>	0.0000	<b>0.7649</b>	0.0000	76.4900	76.4900	0.0000
3	<b>1.4190</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7646</b>	76.4900	76.4900	76.4600
4	0.5610	0.1147	0.0000	0.0000	87.9600	76.4900	76.4600
5	0.5610	0.0000	0.1147	0.0000	87.9600	87.9600	76.4600
6	0.4900	0.0000	0.0000	0.1157	87.9600	87.9600	88.0200
7	0.3120	0.0413	0.0000	0.0000	92.0800	87.9600	88.0200
8	0.3120	0.0000	0.0413	0.0000	92.0800	92.0800	88.0200
9	0.2740	0.0000	0.0000	0.0408	92.0800	92.0800	92.1000
10	0.2090	0.0260	0.0000	0.0000	94.6800	92.0800	92.1000
11	0.2090	0.0000	0.0260	0.0000	94.6800	94.6800	92.1000
12	0.1840	0.0000	0.0000	0.0261	94.6800	94.6800	94.7100

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **1.646 seg.**

**Figura 98:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z1 y S1



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 69.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z1 y S1

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	22.571	<b>29.879</b>
Y-Y	22.571	<b>29.879</b>

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal, la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 29.88 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 70.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z1 y S1

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>4.5732</b>	0.4416
10° nivel	Sy Max	0.4416	<b>4.5732</b>
9° nivel	Sx Max	4.4040	0.4212
9° nivel	Sy Max	0.4212	4.4040
8° nivel	Sx Max	4.1082	0.3870
8° nivel	Sy Max	0.3870	4.1082
7° nivel	Sx Max	3.6966	0.3420
7° nivel	Sy Max	0.3420	3.6966
6° nivel	Sx Max	3.1866	0.2892
6° nivel	Sy Max	0.2892	3.1866
5° nivel	Sx Max	2.5950	0.2316
5° nivel	Sy Max	0.2316	2.5950
4° nivel	Sx Max	2.0544	0.1818
4° nivel	Sy Max	0.1818	2.0544
3° nivel	Sx Max	1.4718	0.1296
3° nivel	Sy Max	0.1296	1.4718
2° nivel	Sx Max	0.8634	0.0762
2° nivel	Sy Max	0.0762	0.8634
1° nivel	Sx Max	0.3024	0.0264
1° nivel	Sy Max	0.0264	0.3024

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 71.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z1 y S1

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00078	0.00007
10° nivel	Sy Max	0.00007	0.00078
9° nivel	Sx Max	0.00129	0.00011
9° nivel	Sy Max	0.00011	0.00129
8° nivel	Sx Max	0.00168	0.00015
8° nivel	Sy Max	0.00015	0.00168
7° nivel	Sx Max	0.00197	0.00017
7° nivel	Sy Max	0.00017	0.00197
6° nivel	Sx Max	<b>0.00216</b>	0.00019
6° nivel	Sy Max	0.00019	<b>0.00216</b>
5° nivel	Sx Max	0.00188	0.00017
5° nivel	Sy Max	0.00017	0.00188
4° nivel	Sx Max	0.00199	0.00017
4° nivel	Sy Max	0.00017	0.00199
3° nivel	Sx Max	0.00205	0.00018
3° nivel	Sy Max	0.00018	0.00205
2° nivel	Sx Max	0.00187	0.00016
2° nivel	Sy Max	0.00016	0.00187
1° nivel	Sx Max	0.00101	0.00009
1° nivel	Sy Max	0.00009	0.00101

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 4.57 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00216**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

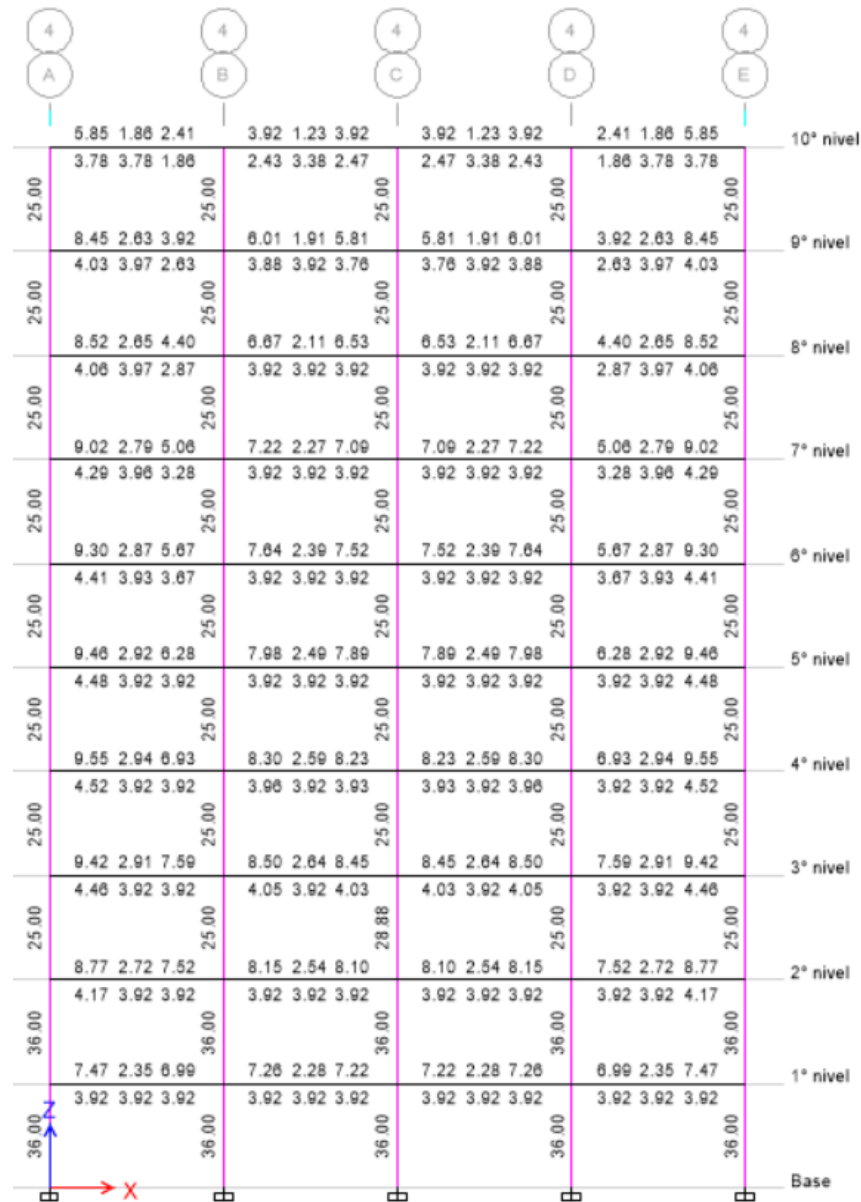


### 4.2.12.3. Diseño estructural

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

#### A. Diseño de vigas y columnas

**Figura 99:** Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z1 y S1



**Fuente:** Del Etabs a partir del diseño estructural.

De la figura mostrada se tiene que la columna de 55x55cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel requiere un área de acero máximo de 42.57cm<sup>2</sup>, la columna de 55x55cm<sup>2</sup> del tercero y cuarto nivel requiere un área de acero máximo de

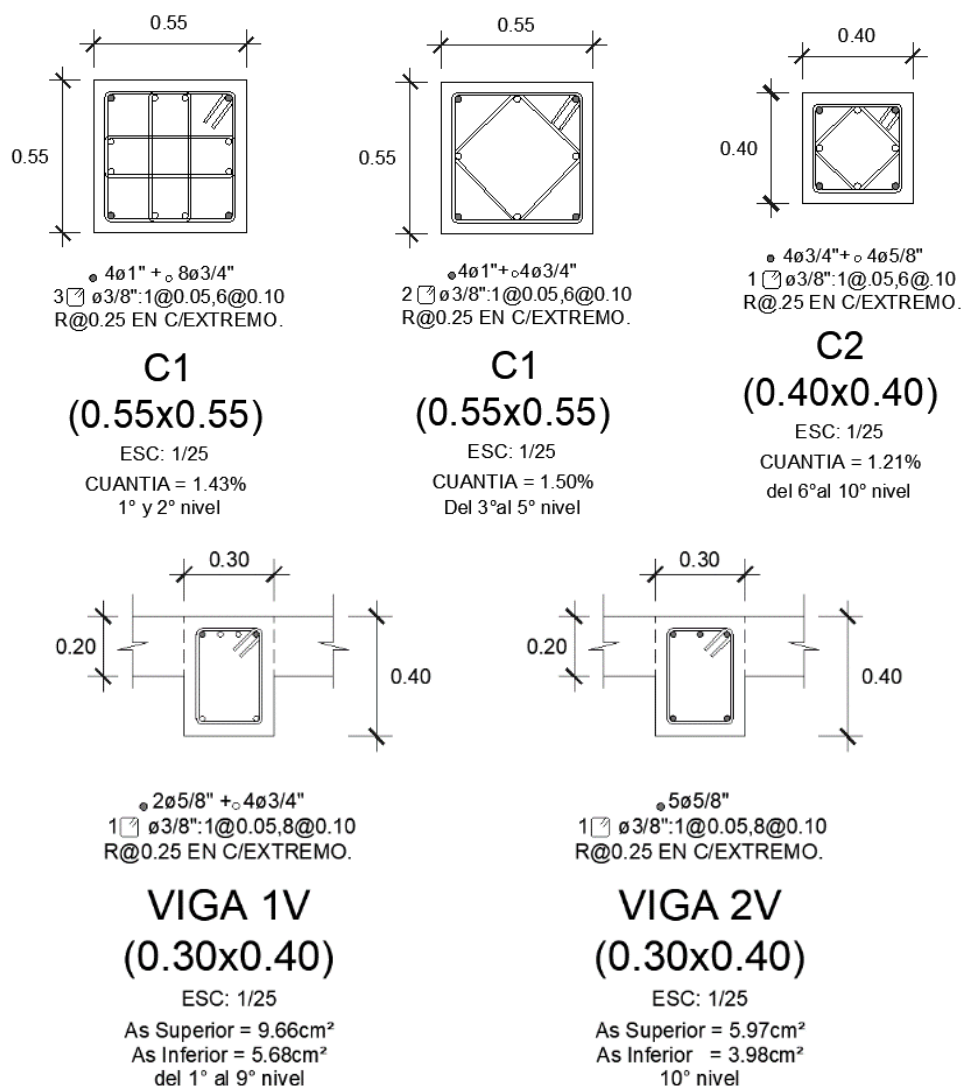


30.25cm<sup>2</sup>, y la columna de 45x45cm<sup>2</sup> del quinto al décimo nivel requiere un acero máximo de 20.25cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, para la columna de 55x55cm<sup>2</sup> en el primer y segundo nivel se consideró acero de 4ø1"+8ø3/4" equivalentes a 43.12cm<sup>2</sup> (cuantía de 1.43%), para la columna de 55x55cm<sup>2</sup> del tercer al quinto nivel se consideró acero de 4ø1"+4ø3/4" equivalentes a 31.76 (cuantía de 1.05%), y las columnas de 40x40cm<sup>2</sup> de los demás niveles se consideró acero de 4ø3/4"+4ø5/8" equivalentes a 19.32 (cuantía de 1.21%).

## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

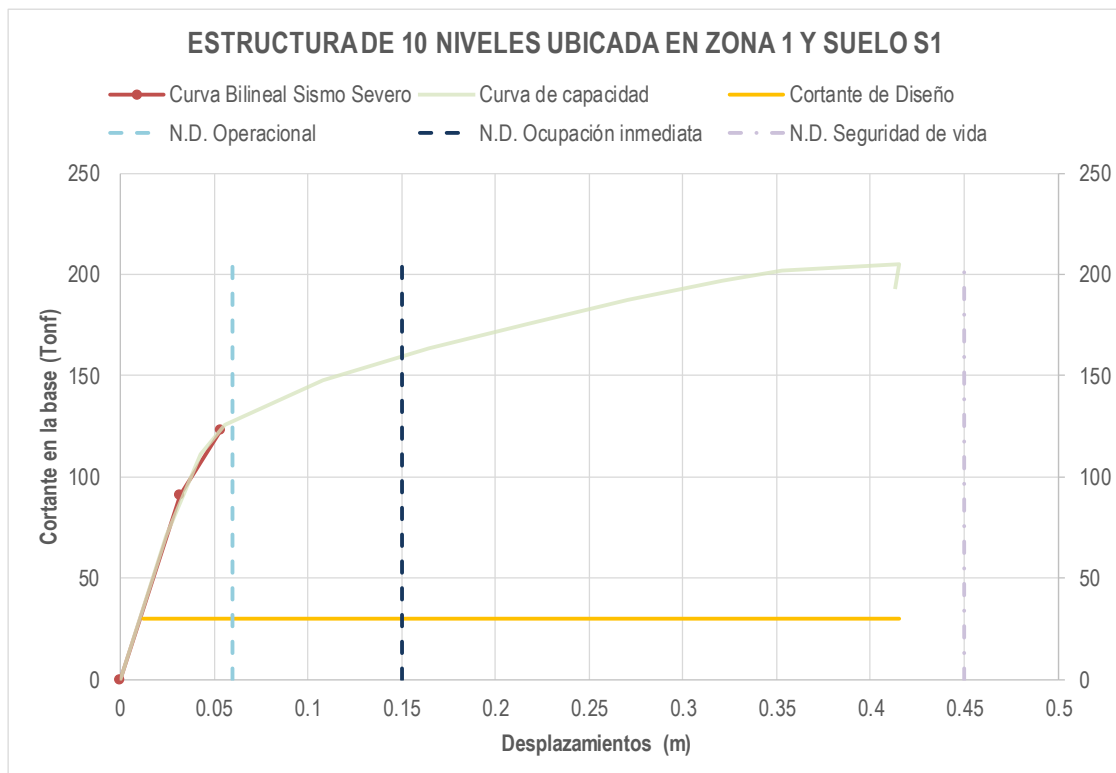
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 100:** Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z1 y S1



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.12.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



#### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD		R - SOBRE RESISTENCIA		R - REDUNDANCIA	
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$		$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$			
Ve	206.28	Vy	91.14	N° ejes de columnas	4
Vy	91.14	Vd	29.88		
<b>R<sub>μ</sub>:</b>	<b>2.26</b>	<b>R<sub>Ω</sub>:</b>	<b>3.05</b>	<b>R<sub>R</sub>:</b>	<b>1.00</b>

$$R = 6.89$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de a 2.26 y el factor de sobre resistencia es de 3.05. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **6.89**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **Ocupación inmediata**.

#### 4.2.13. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 4 y Suelo blando S3

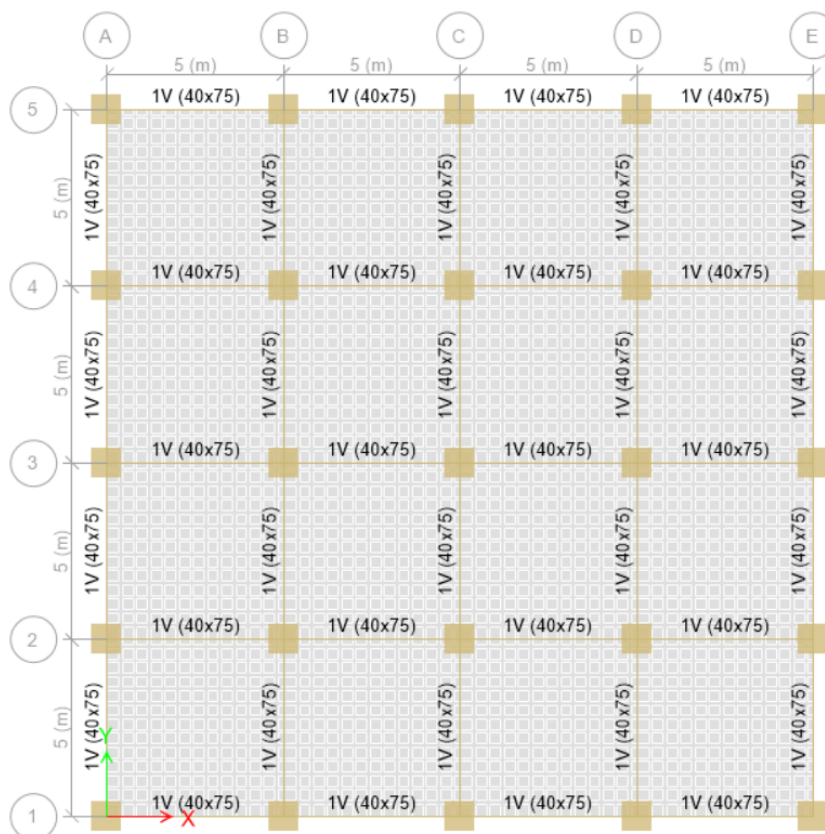
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras anteriores, y se tuvieron las siguientes características:

- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 40x75cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, 35x65cm<sup>2</sup> del 6° al 8° nivel y de 30x50cm<sup>2</sup> del 9° al 10° nivel. Columnas de 85x85cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, 75x75cm<sup>2</sup> del 6° al 9° nivel y de 50x50cm<sup>2</sup> en el 10° nivel.

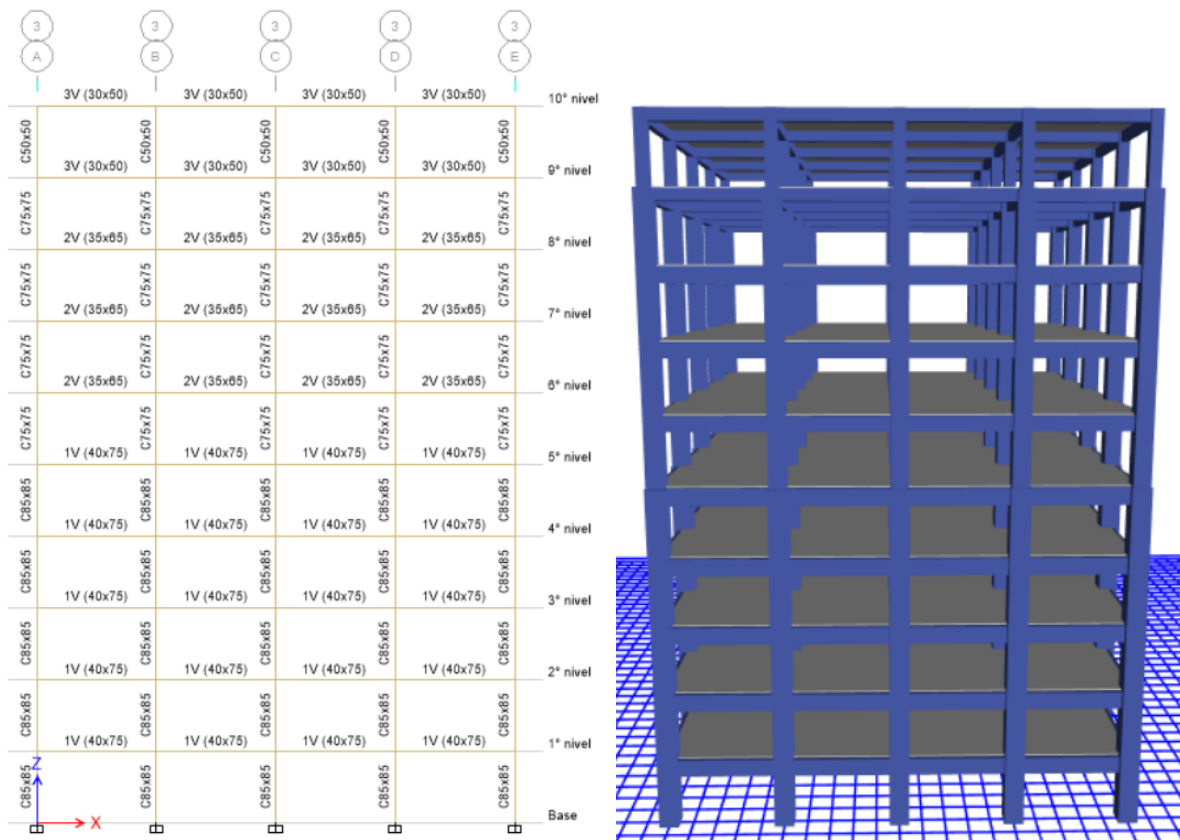
##### 4.2.13.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 4 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 101:** Estructura de 10 niveles en Z4 y S3 – Vista en planta



**Figura 102:** Estructura de 10 niveles en Z4 y S3 – Vista Elevación y 3D



Fuente: Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.13.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 72.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z4 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	27.35899	10	10	10	10
9° nivel	39.80207	10	10	10	10
8° nivel	45.89437	10	10	10	10
7° nivel	45.89437	10	10	10	10
6° nivel	45.89437	10	10	10	10
5° nivel	50.0854	10	10	10	10
4° nivel	51.55379	10	10	10	10
3° nivel	51.55379	10	10	10	10
2° nivel	51.55379	10	10	10	10
1° nivel	51.55379	10	10	10	10

Fuente: Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

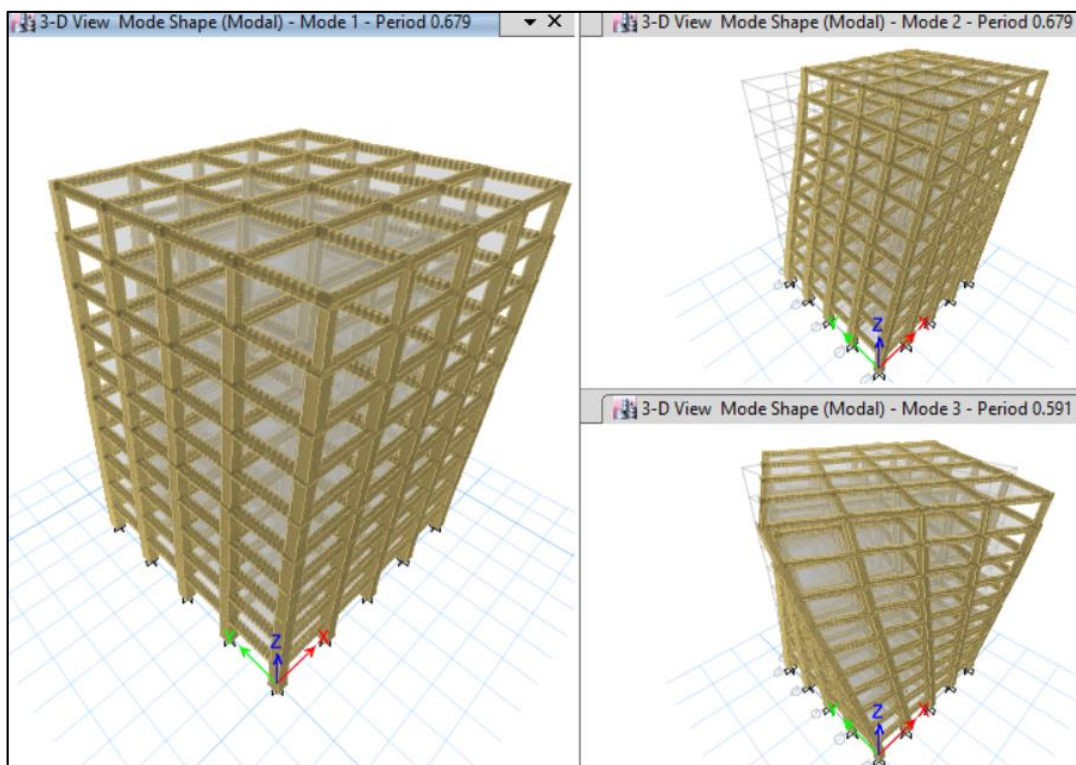
**Tabla 73.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z4 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.6790</b>	0.0000	<b>0.7385</b>	0.0000	0.0000	73.8500	0.0000
2	<b>0.6790</b>	<b>0.7385</b>	0.0000	0.0000	73.8500	73.8500	0.0000
3	<b>0.5910</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7455</b>	73.8500	73.8500	74.5500
4	0.2590	0.0054	0.1277	0.0000	74.3900	86.6200	74.5500
5	0.2590	0.1277	0.0054	0.0000	87.1500	87.1500	74.5500
6	0.2300	0.0000	0.0000	0.1276	87.1500	87.1500	87.3000
7	0.1490	0.0433	0.0001	0.0000	91.4800	87.1700	87.3000
8	0.1490	0.0001	0.0433	0.0000	91.5000	91.5000	87.3000
9	0.1330	0.0000	0.0000	0.0423	91.5000	91.5000	91.5400
10	0.0980	0.0000	0.0314	0.0000	91.5000	94.6400	91.5400
11	0.0980	0.0314	0.0000	0.0000	94.6400	94.6400	91.5400
12	0.0880	0.0000	0.0000	0.0314	94.6400	94.6400	94.6700

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.679 seg.**

**Figura 103:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z4 y S3



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 74.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z4 y S3

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	528.537	<b>559.636</b>
Y-Y	528.537	<b>559.636</b>

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 559.64 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 75.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z4 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>17.2068</b>	1.4706
10° nivel	Sy Max	1.4706	<b>17.2068</b>
9° nivel	Sx Max	15.7410	1.3422
9° nivel	Sy Max	1.3422	15.7410
8° nivel	Sx Max	14.1216	1.2042
8° nivel	Sy Max	1.2042	14.1216
7° nivel	Sx Max	12.3666	1.0554
7° nivel	Sy Max	1.0554	12.3666
6° nivel	Sx Max	10.3422	0.8826
6° nivel	Sy Max	0.8826	10.3422
5° nivel	Sx Max	8.3082	0.7098
5° nivel	Sy Max	0.7098	8.3082
4° nivel	Sx Max	6.5226	0.5592
4° nivel	Sy Max	0.5592	6.5226
3° nivel	Sx Max	4.6644	0.4020
3° nivel	Sy Max	0.4020	4.6644
2° nivel	Sx Max	2.7666	0.2400
2° nivel	Sy Max	0.2400	2.7666
1° nivel	Sx Max	1.0134	0.0888
1° nivel	Sy Max	0.0888	1.0134

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 76.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z4 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00518	0.00043
10° nivel	Sy Max	0.00043	0.00518
9° nivel	Sx Max	0.00562	0.00046
9° nivel	Sy Max	0.00046	0.00562
8° nivel	Sx Max	0.00602	0.00050
8° nivel	Sy Max	0.00050	0.00602
7° nivel	Sx Max	<b>0.00688</b>	0.00058
7° nivel	Sy Max	0.00058	<b>0.00688</b>
6° nivel	Sx Max	0.00687	0.00058
6° nivel	Sy Max	0.00058	0.00687
5° nivel	Sx Max	0.00599	0.00050
5° nivel	Sy Max	0.00050	0.00599
4° nivel	Sx Max	0.00621	0.00052
4° nivel	Sy Max	0.00052	0.00621
3° nivel	Sx Max	0.00634	0.00054
3° nivel	Sy Max	0.00054	0.00634
2° nivel	Sx Max	0.00584	0.00050
2° nivel	Sy Max	0.00050	0.00584
1° nivel	Sx Max	0.00338	0.00029
1° nivel	Sy Max	0.00029	0.00338

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 17.21 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00688**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

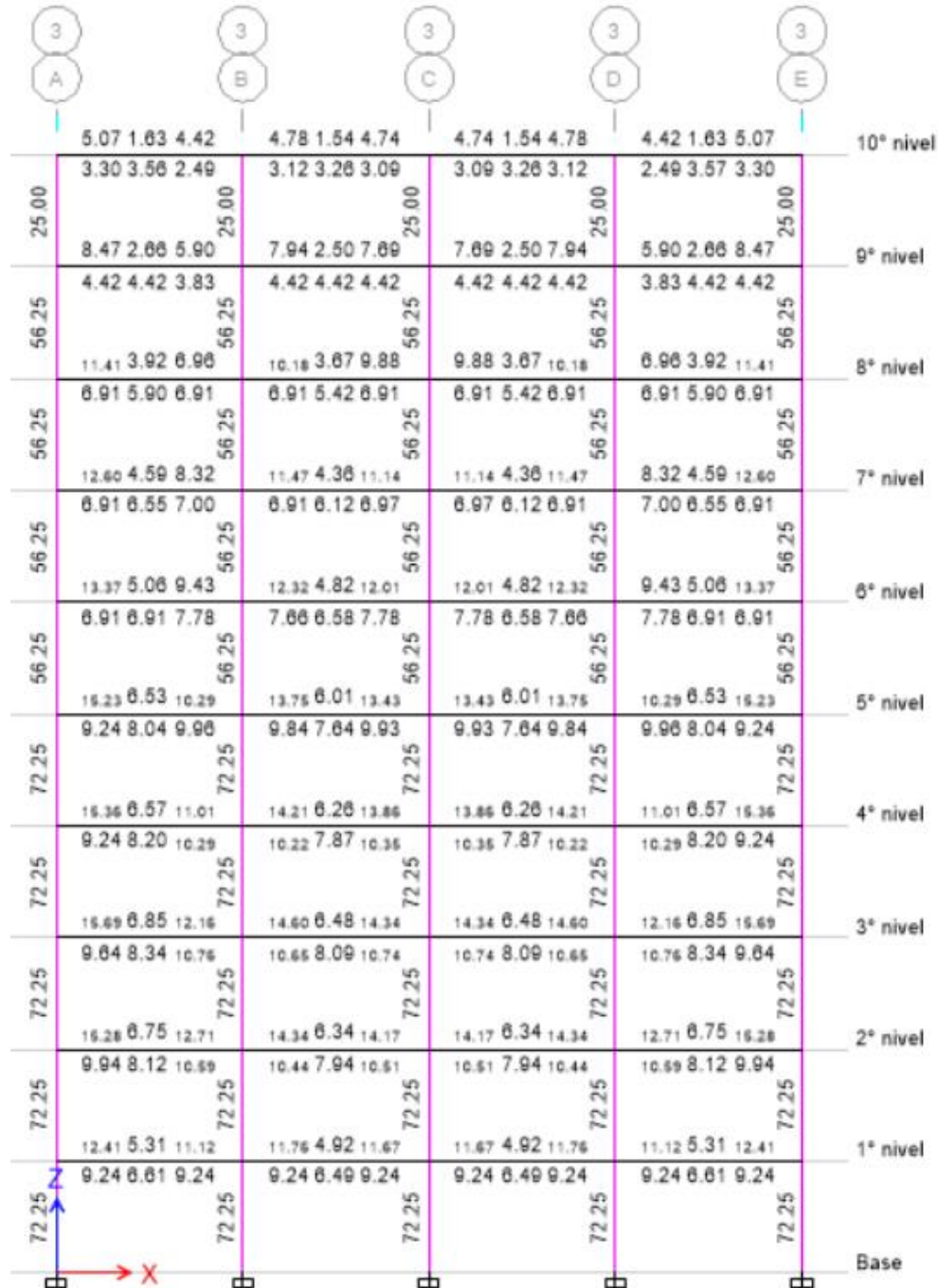


**4.2.13.3. Diseño estructural**

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

**A. Diseño de vigas y columnas**

*Figura 104: Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z4 y S3*



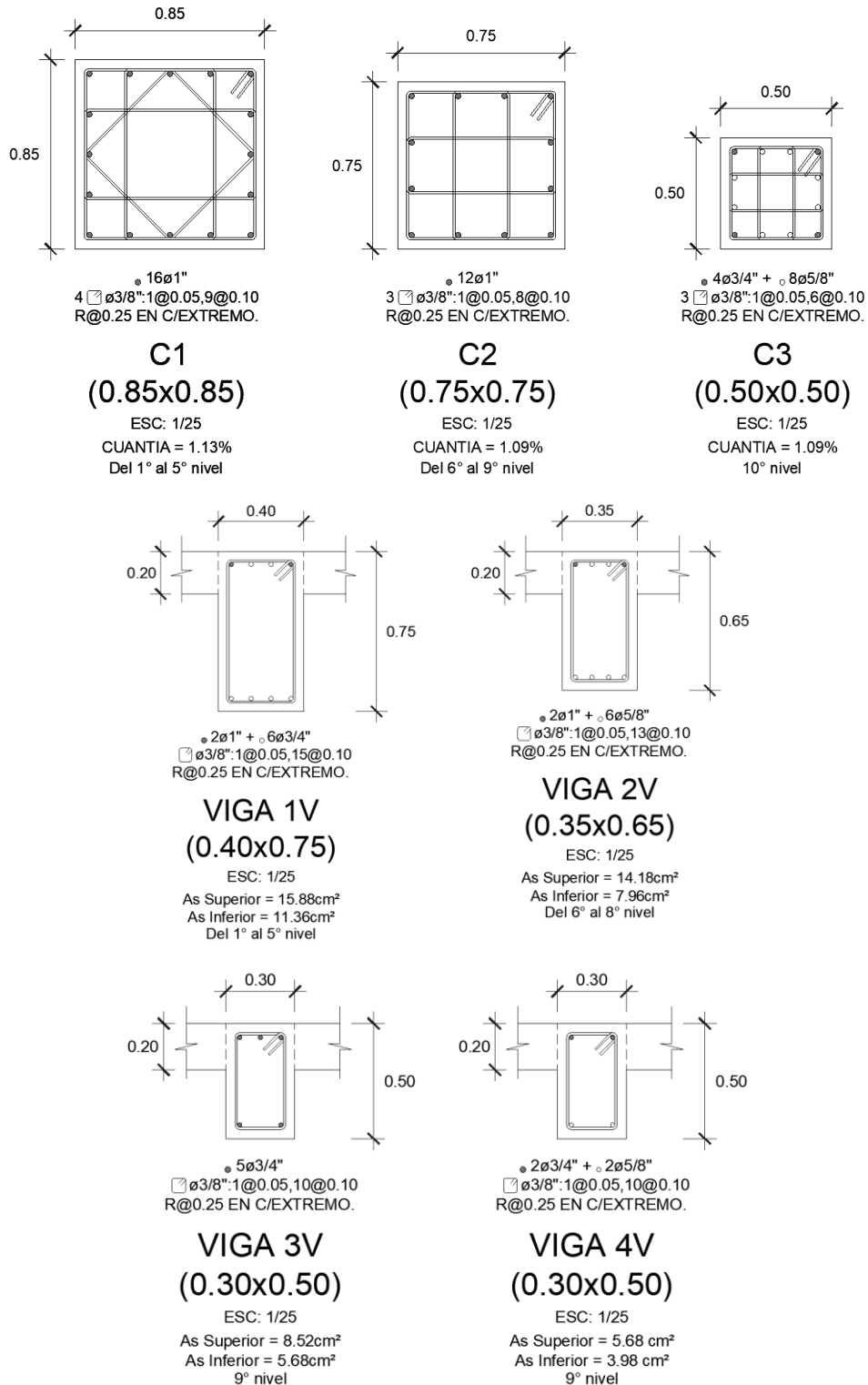
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.



## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

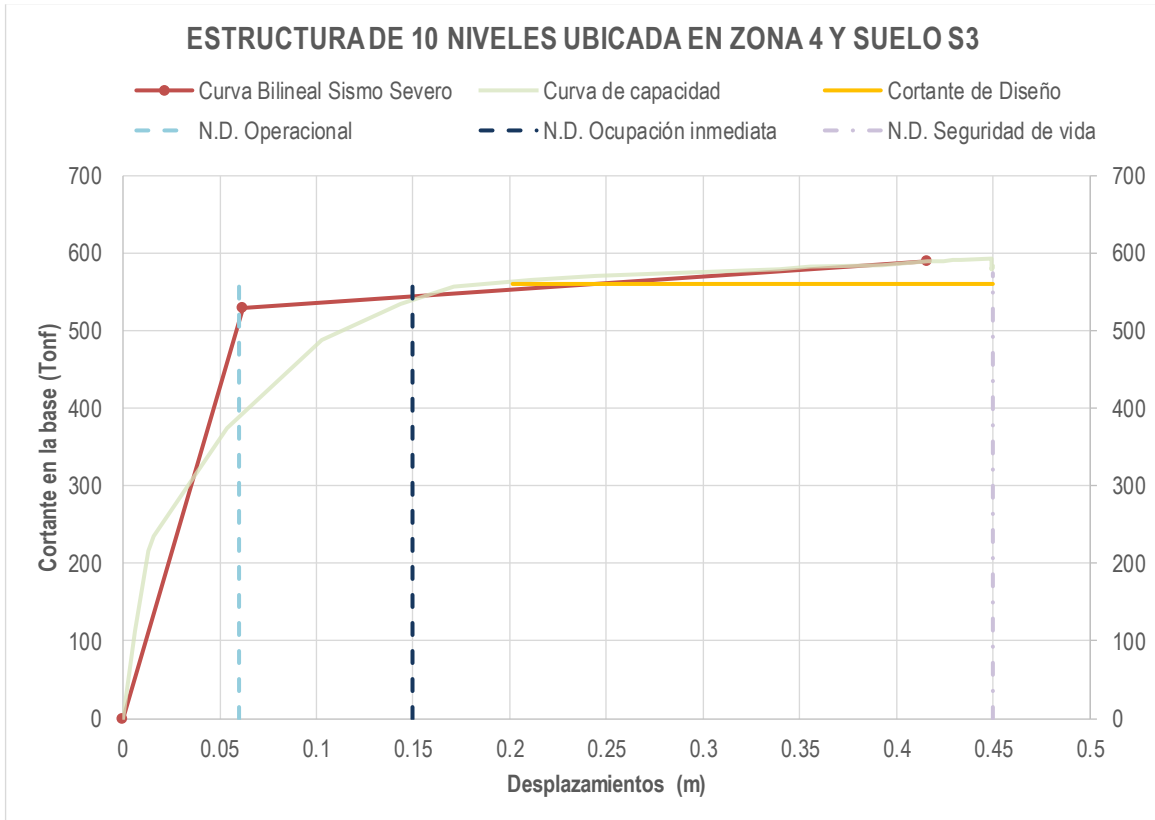
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 105: Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z4 y S3**



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

**4.2.13.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R**



**Cálculo del factor de reducción sísmica R**

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$	
Ve 5596.36	Vy 528.16	Nº ejes de columnas 4
Vy 528.16	Vd 559.64	
<b>R<sub>μ</sub>: 10.60</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 0.94</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>

**R= 9.96**

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de a 10.60 y el factor de sobre resistencia es de 0.94. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **9.96**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.14. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 3 y Suelo blando S3

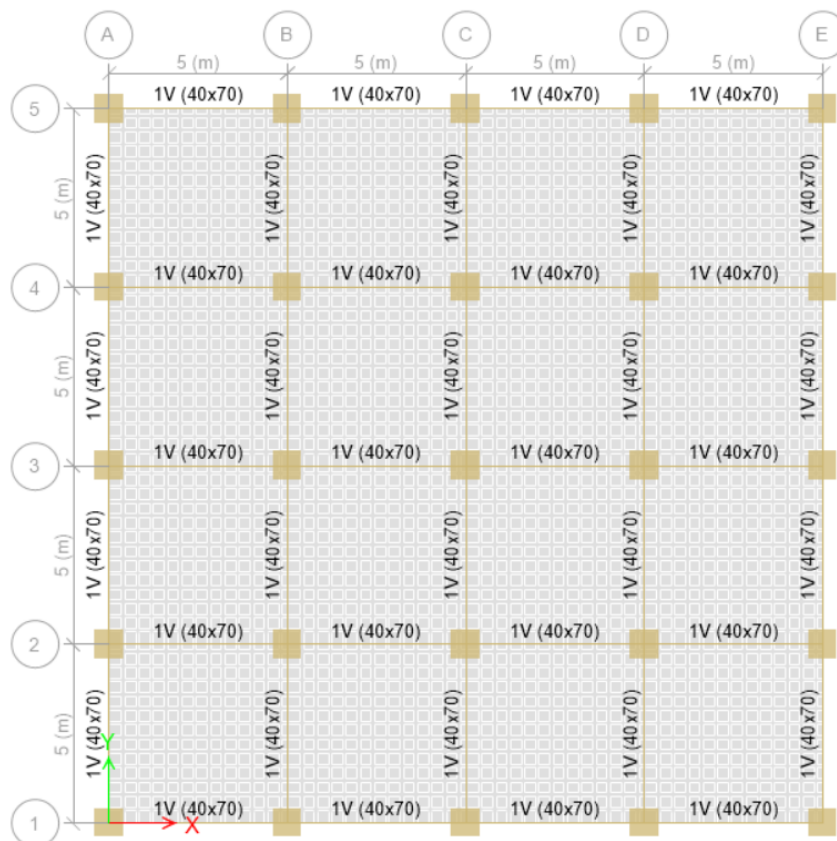
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras de 3 niveles, y se tuvieron las siguientes características:

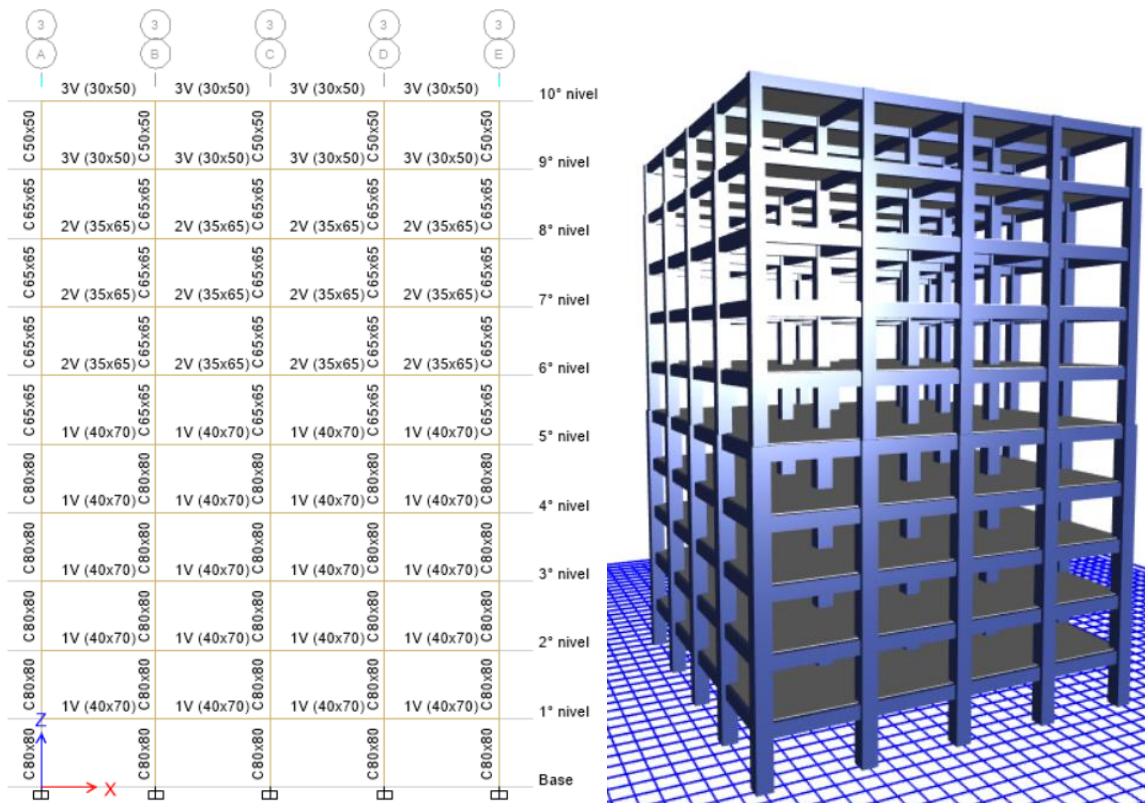
- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 40x70cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, 35x65cm<sup>2</sup> del 6° al 8° nivel y de 30x50cm<sup>2</sup> del 9° al 10° nivel. Columnas de 80x80cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, 65x65cm<sup>2</sup> del 6° al 9° nivel y de 50x50cm<sup>2</sup> en el 10° nivel.

##### 4.2.14.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 3 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 106:** Estructura de 10 niveles en Z3 y S3 – Vista en planta



**Figura 107:** Estructura de 10 niveles en Z3 y S3 – Vista Elevación y 3D

*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.14.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 77.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z3 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	27.35899	10	10	10	10
9° nivel	38.66407	10	10	10	10
8° nivel	43.54739	10	10	10	10
7° nivel	43.54739	10	10	10	10
6° nivel	43.54739	10	10	10	10
5° nivel	47.36796	10	10	10	10
4° nivel	49.36405	10	10	10	10
3° nivel	49.36405	10	10	10	10
2° nivel	49.36405	10	10	10	10
1° nivel	49.36405	10	10	10	10

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

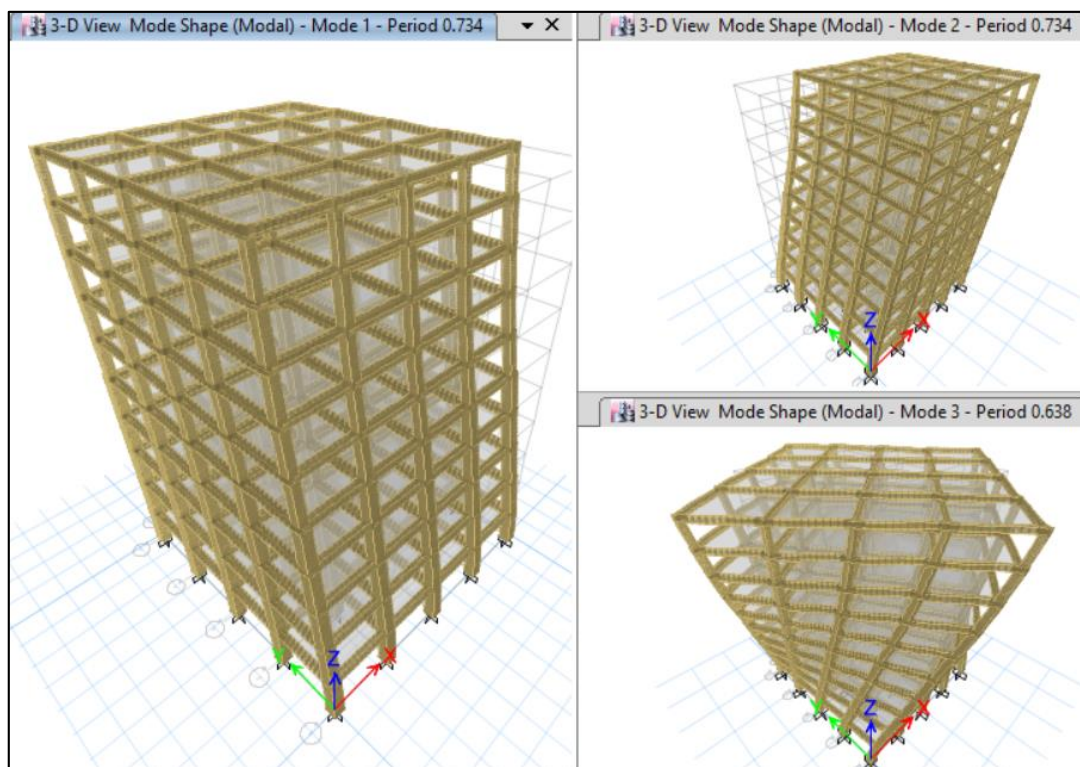
**Tabla 78.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z3 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.7340</b>	0.0000	<b>0.7463</b>	0.0000	0.0000	74.6300	0.0000
2	<b>0.7340</b>	<b>0.7463</b>	0.0000	0.0000	74.6300	74.6300	0.0000
3	<b>0.6380</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7514</b>	74.6300	74.6300	75.1400
4	0.2770	0.0011	0.1262	0.0000	74.7400	87.2600	75.1400
5	0.2770	0.1262	0.0011	0.0000	87.3700	87.3700	75.1400
6	0.2450	0.0000	0.0000	0.1235	87.3700	87.3700	87.4800
7	0.1610	0.0000	0.0419	0.0000	87.3700	91.5600	87.4800
8	0.1610	0.0419	0.0000	0.0000	91.5600	91.5600	87.4800
9	0.1440	0.0000	0.0000	0.0410	91.5600	91.5600	91.5800
10	0.1070	0.0000	0.0311	0.0000	91.5600	94.6700	91.5800
11	0.1070	0.0311	0.0000	0.0000	94.6700	94.6700	91.5800
12	0.0960	0.0000	0.0000	0.0311	94.6700	94.6700	94.7000

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.734 seg.**

**Figura 108:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z3 y S3



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 79.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z3 y S3

Dirección	Dinámico	Estático
	V(tonf)	80% V(tonf)
X-X	432.917	<b>454.603</b>
Y-Y	432.917	<b>454.603</b>

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 454.60 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 80.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z3 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>16.7046</b>	1.4340
10° nivel	Sy Max	1.4340	<b>16.7046</b>
9° nivel	Sx Max	15.4530	1.3248
9° nivel	Sy Max	1.3248	15.4530
8° nivel	Sx Max	13.9968	1.1994
8° nivel	Sy Max	1.1994	13.9968
7° nivel	Sx Max	12.3864	1.0620
7° nivel	Sy Max	1.0620	12.3864
6° nivel	Sx Max	10.4538	0.8958
6° nivel	Sy Max	0.8958	10.4538
5° nivel	Sx Max	8.4042	0.7200
5° nivel	Sy Max	0.7200	8.4042
4° nivel	Sx Max	6.6282	0.5694
4° nivel	Sy Max	0.5694	6.6282
3° nivel	Sx Max	4.7520	0.4104
3° nivel	Sy Max	0.4104	4.7520
2° nivel	Sx Max	2.8242	0.2454
2° nivel	Sy Max	0.2454	2.8242
1° nivel	Sx Max	1.0350	0.0906
1° nivel	Sy Max	0.0906	1.0350

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 81.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z3 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00442	0.00037
10° nivel	Sy Max	0.00037	0.00442
9° nivel	Sx Max	0.00507	0.00042
9° nivel	Sy Max	0.00042	0.00507
8° nivel	Sx Max	0.00553	0.00046
8° nivel	Sy Max	0.00046	0.00553
7° nivel	Sx Max	0.00657	0.00055
7° nivel	Sy Max	0.00055	0.00657
6° nivel	Sx Max	<b>0.00692</b>	0.00059
6° nivel	Sy Max	0.00059	<b>0.00692</b>
5° nivel	Sx Max	0.00596	0.00050
5° nivel	Sy Max	0.00050	0.00596
4° nivel	Sx Max	0.00627	0.00053
4° nivel	Sy Max	0.00053	0.00627
3° nivel	Sx Max	0.00643	0.00055
3° nivel	Sy Max	0.00055	0.00643
2° nivel	Sx Max	0.00596	0.00052
2° nivel	Sy Max	0.00052	0.00596
1° nivel	Sx Max	0.00345	0.00030
1° nivel	Sy Max	0.00030	0.00345

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 16.70 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00692**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

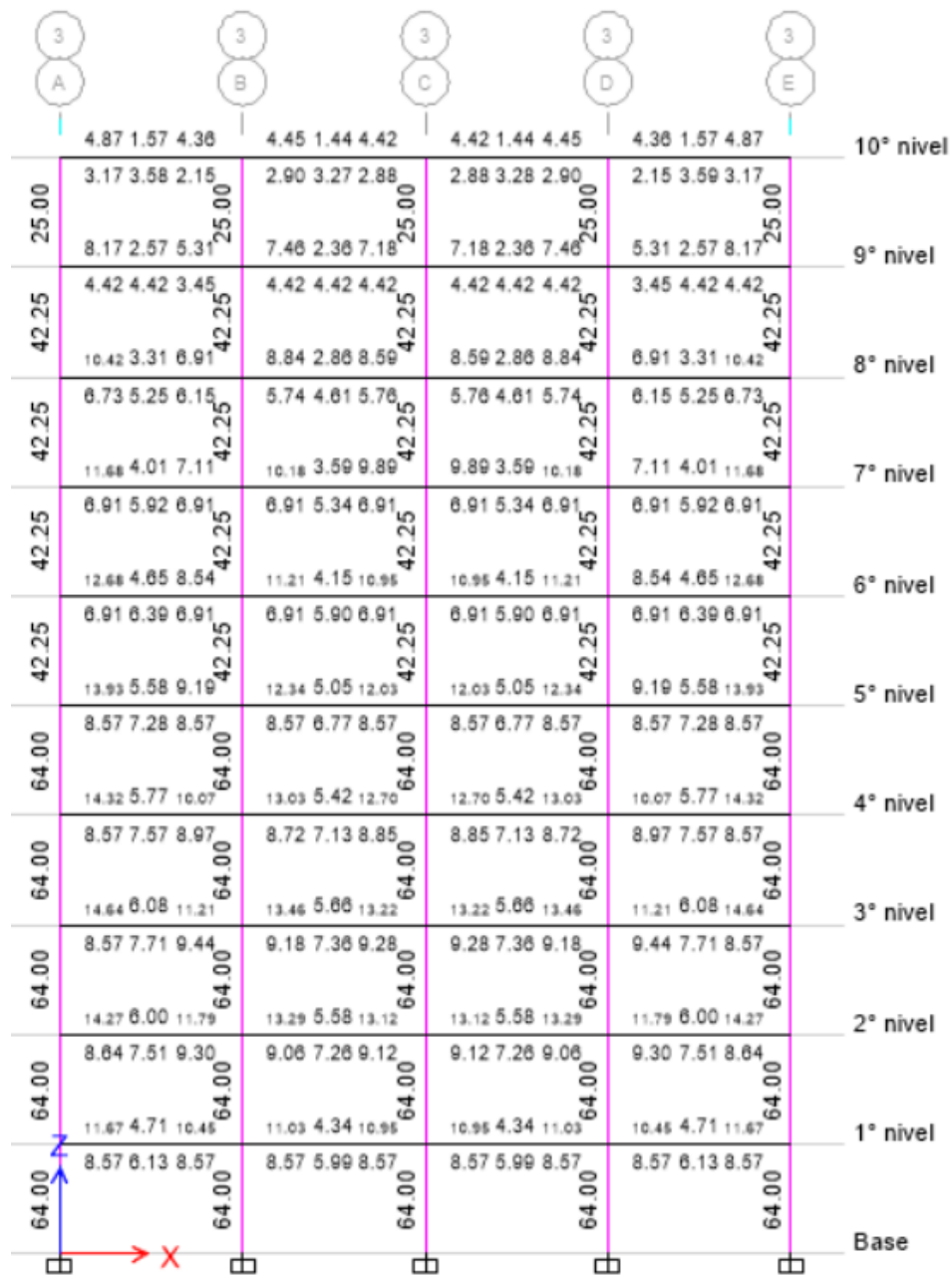


### 4.2.14.3. Diseño estructural

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

#### A. Diseño de vigas y columnas

Figura 109: Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z3 y S3



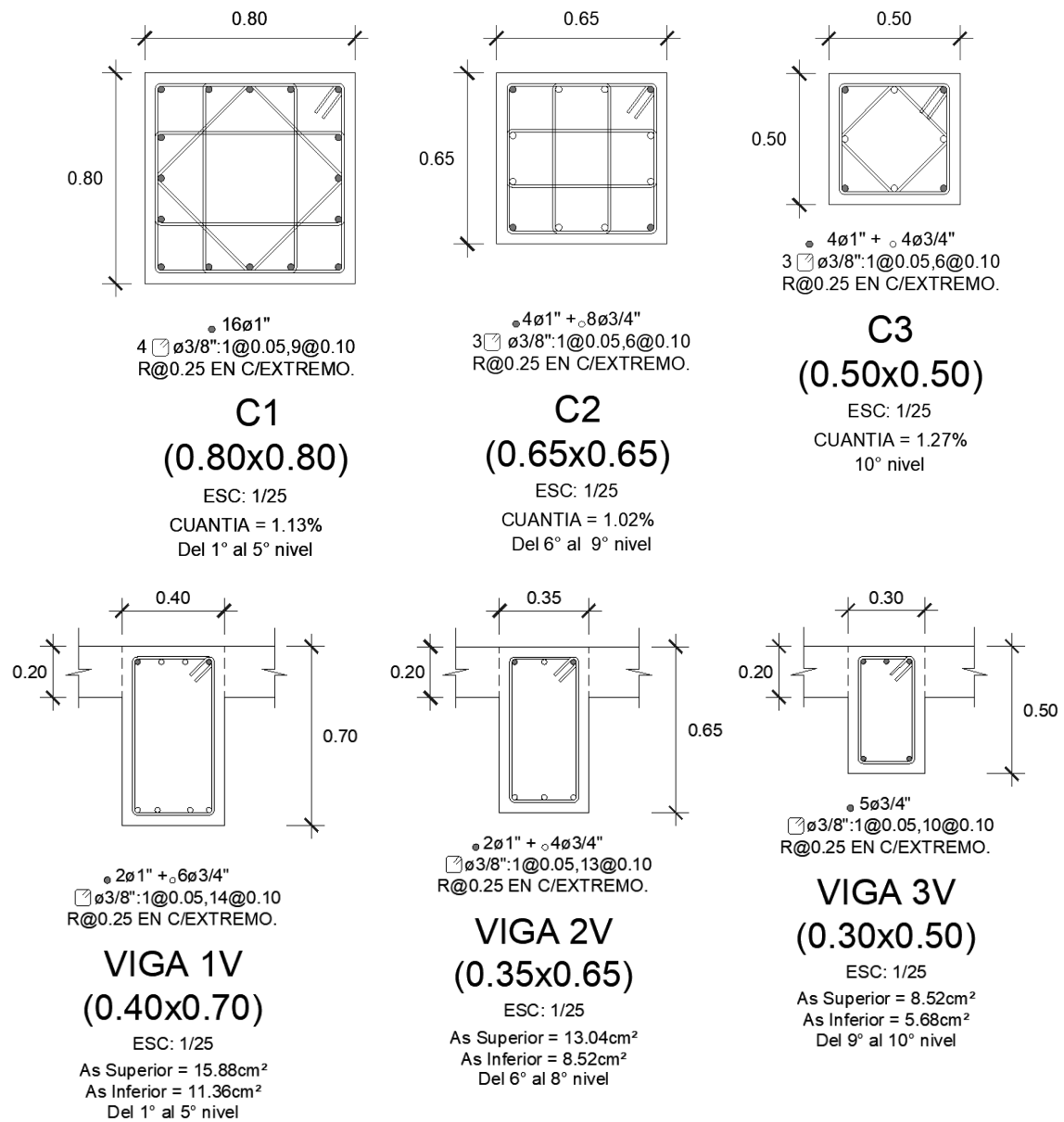
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.



## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

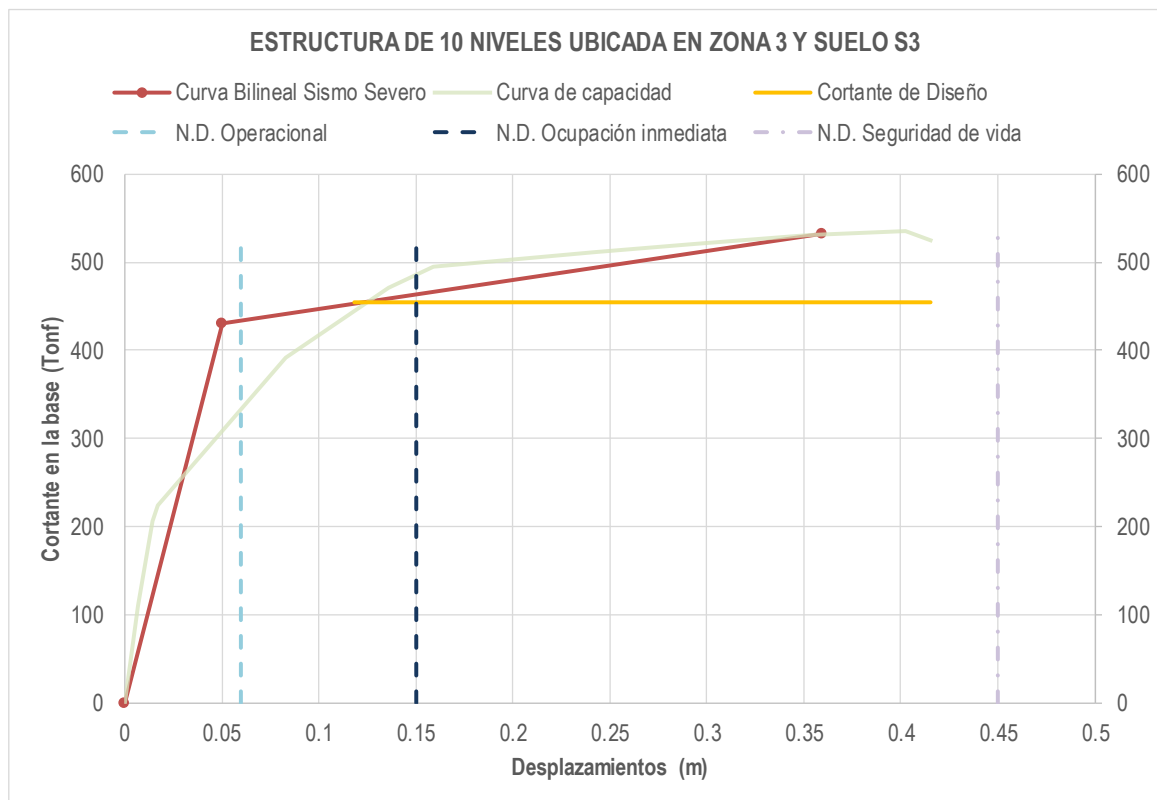
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 110: Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z3 y S3**



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.14.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



#### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD	R - SOBRE RESISTENCIA	R - REDUNDANCIA
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$	$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$	
Ve 4546.03 Vy 431.31	Vy 431.31 Vd 454.60	N° ejes de columnas 4
<b>R<sub>μ</sub>: 10.54</b>	<b>R<sub>Ω</sub>: 0.95</b>	<b>R<sub>R</sub>: 1.00</b>

$$R = 10.01$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de a 10.54 y el factor de sobre resistencia es de 0.95. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **10.01**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 3 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.15. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 2 y Suelo blando S3

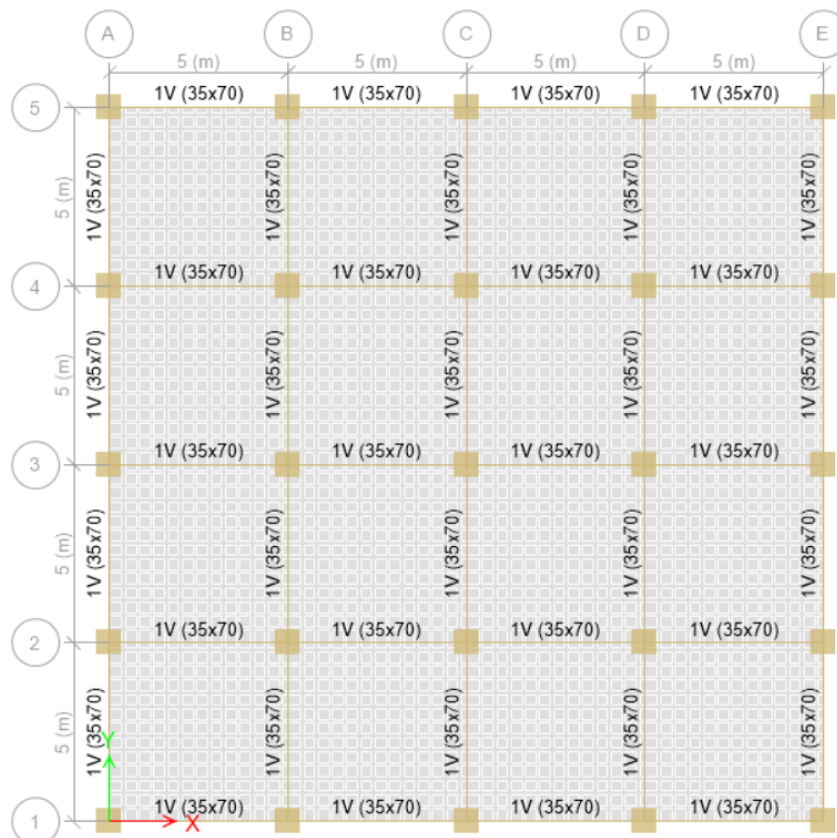
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras de 3 niveles, y se tuvieron las siguientes características:

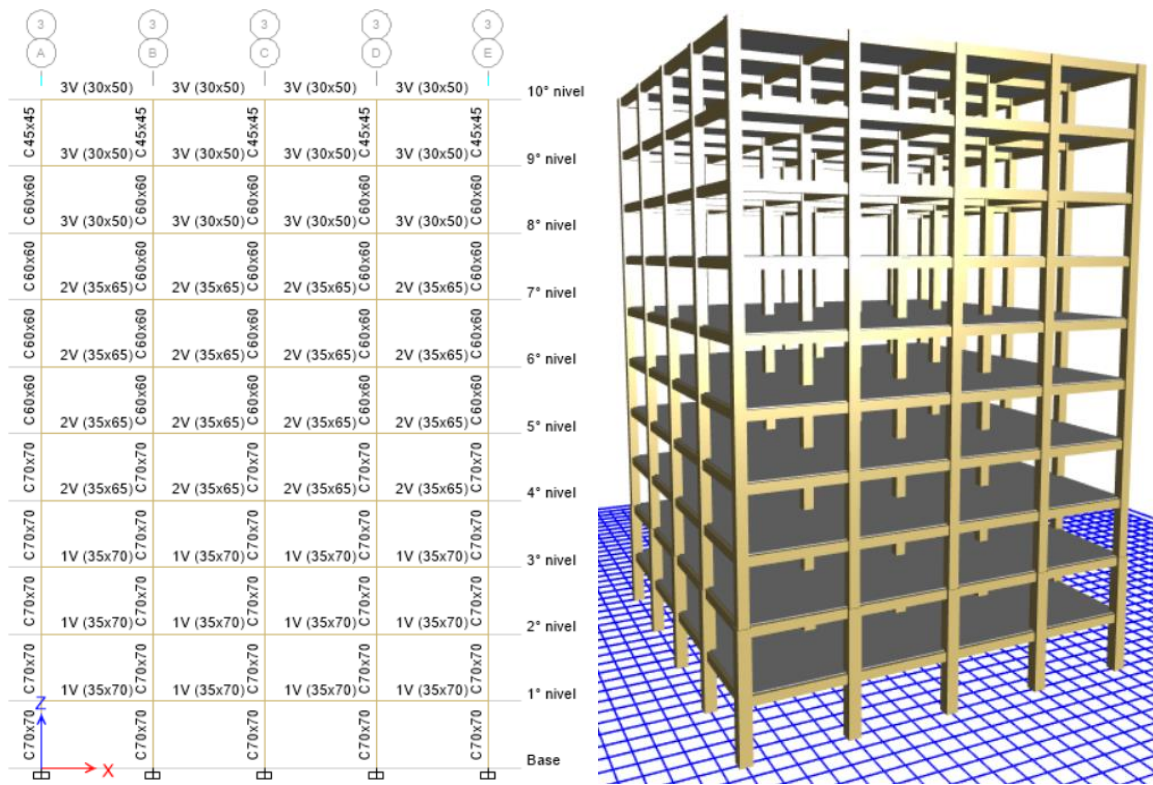
- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 35x70cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, 35x65cm<sup>2</sup> del 6° al 8° nivel y de 30x50cm<sup>2</sup> del 9° al 10° nivel. Columnas de 70x70cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, 60x60cm<sup>2</sup> del 6° al 9° nivel y de 45x45cm<sup>2</sup> en el 10° nivel.

##### 4.2.15.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 2 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 111:** Estructura de 10 niveles en Z2 y S3 – Vista en planta



**Figura 112:** Estructura de 10 niveles en Z2 y S3 – Vista Elevación y 3D

Fuente: Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.10.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 82.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z2 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	26.99648	10	10	10	10
9° nivel	37.72797	10	10	10	10
8° nivel	39.17342	10	10	10	10
7° nivel	42.51156	10	10	10	10
6° nivel	42.51156	10	10	10	10
5° nivel	43.48192	10	10	10	10
4° nivel	44.67499	10	10	10	10
3° nivel	45.41163	10	10	10	10
2° nivel	45.41163	10	10	10	10
1° nivel	45.41163	10	10	10	10

Fuente: Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

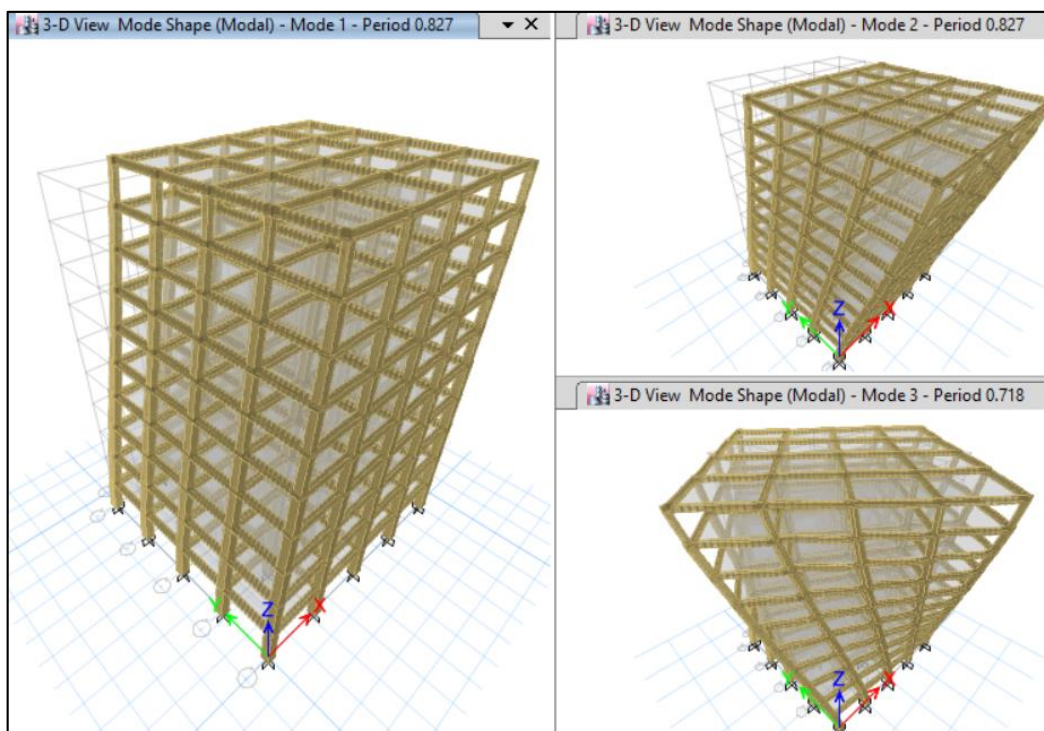
**Tabla 83.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z2 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>0.8270</b>	<b>0.7490</b>	0.0000	0.0000	74.9000	0.0000	0.0000
2	<b>0.8270</b>	0.0000	<b>0.7490</b>	0.0000	74.9000	74.9000	0.0000
3	<b>0.7180</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7549</b>	74.9000	74.9000	75.4900
4	0.3150	0.1222	0.0004	0.0000	87.1300	74.9400	75.4900
5	0.3150	0.0004	0.1222	0.0000	87.1600	87.1600	75.4900
6	0.2780	0.0000	0.0000	0.1179	87.1600	87.1600	87.2800
7	0.1810	0.0533	0.0000	0.0000	92.4900	87.1600	87.2800
8	0.1810	0.0000	0.0533	0.0000	92.4900	92.4900	87.2800
9	0.1620	0.0000	0.0000	0.0524	92.4900	92.4900	92.5200
10	0.1200	0.0242	0.0000	0.0000	94.9100	92.4900	92.5200
11	0.1200	0.0000	0.0242	0.0000	94.9100	94.9100	92.5200
12	0.1070	0.0000	0.0000	0.0243	94.9100	94.9100	94.9500

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **0.827 seg.**

**Figura 113:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z2 y S3



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 84.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z2 y S3

Dirección	Dinámico	Estático
	V(tonf)	80% V(tonf)
X-X	338.708	354.658
Y-Y	338.708	354.658

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 354.66 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 85.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z2 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>17.6490</b>	1.5210
10° nivel	Sy Max	1.5210	<b>17.6490</b>
9° nivel	Sx Max	16.3680	1.4100
9° nivel	Sy Max	1.4100	16.3680
8° nivel	Sx Max	14.6430	1.2606
8° nivel	Sy Max	1.2606	14.6430
7° nivel	Sx Max	12.7890	1.1004
7° nivel	Sy Max	1.1004	12.7890
6° nivel	Sx Max	10.9836	0.9456
6° nivel	Sy Max	0.9456	10.9836
5° nivel	Sx Max	8.9460	0.7710
5° nivel	Sy Max	0.7710	8.9460
4° nivel	Sx Max	6.9504	0.6012
4° nivel	Sy Max	0.6012	6.9504
3° nivel	Sx Max	4.9242	0.4278
3° nivel	Sy Max	0.4278	4.9242
2° nivel	Sx Max	2.9598	0.2586
2° nivel	Sy Max	0.2586	2.9598
1° nivel	Sx Max	1.1184	0.0984
1° nivel	Sy Max	0.0984	1.1184

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 86.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z2 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00451	0.00037
10° nivel	Sy Max	0.00037	0.00451
9° nivel	Sx Max	0.00599	0.00050
9° nivel	Sy Max	0.00050	0.00599
8° nivel	Sx Max	0.00638	0.00053
8° nivel	Sy Max	0.00053	0.00638
7° nivel	Sx Max	0.00614	0.00052
7° nivel	Sy Max	0.00052	0.00614
6° nivel	Sx Max	<b>0.00687</b>	0.00058
6° nivel	Sy Max	0.00058	<b>0.00687</b>
5° nivel	Sx Max	0.00669	0.00056
5° nivel	Sy Max	0.00056	0.00669
4° nivel	Sx Max	0.00677	0.00058
4° nivel	Sy Max	0.00058	0.00677
3° nivel	Sx Max	0.00655	0.00056
3° nivel	Sy Max	0.00056	0.00655
2° nivel	Sx Max	0.00614	0.00052
2° nivel	Sy Max	0.00052	0.00614
1° nivel	Sx Max	0.00373	0.00033
1° nivel	Sy Max	0.00033	0.00373

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 17.65 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00687**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

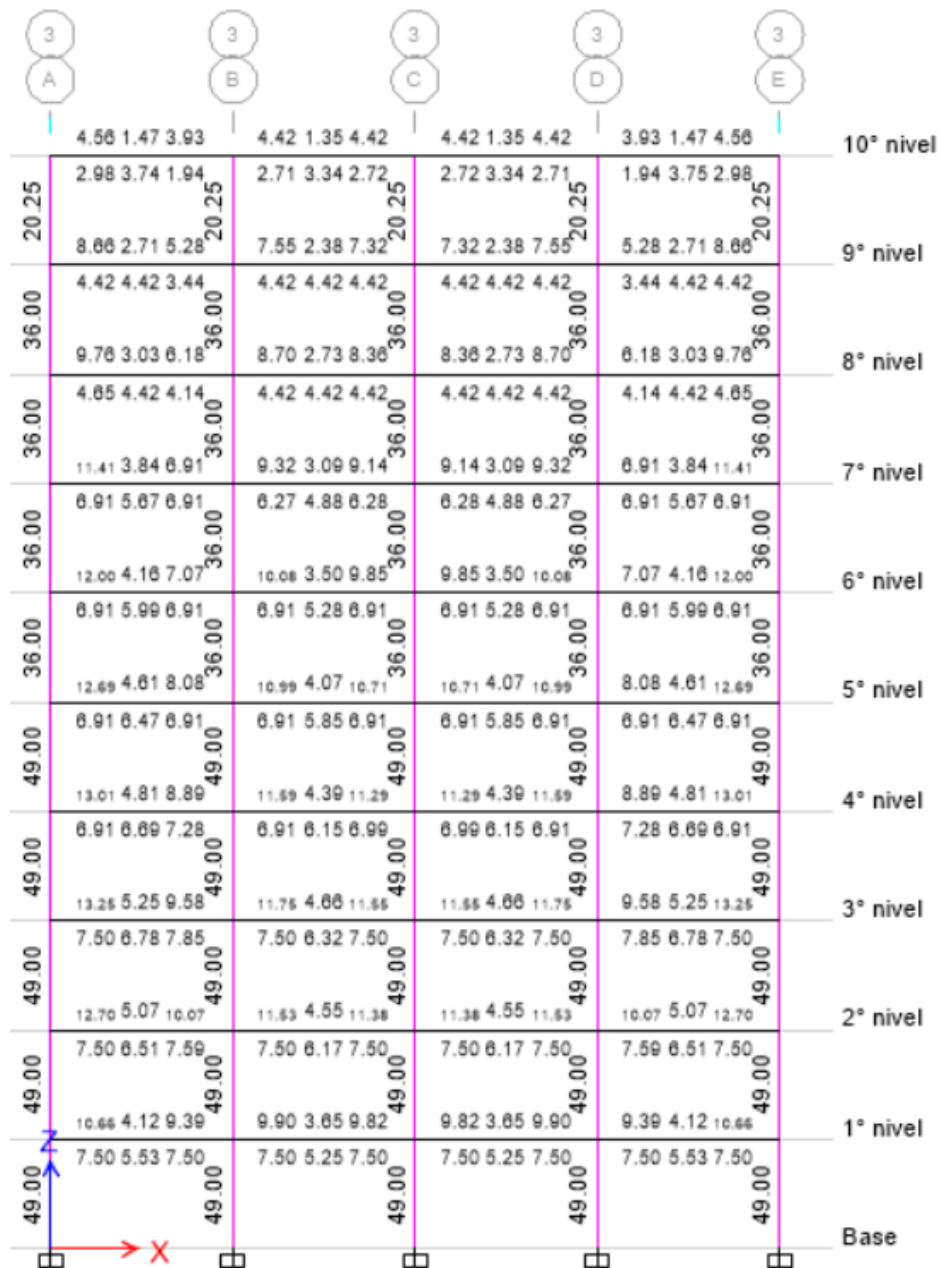


### 4.2.15.3. Diseño estructural

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

#### A. Diseño de vigas y columnas

Figura 114: Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z2 y S3



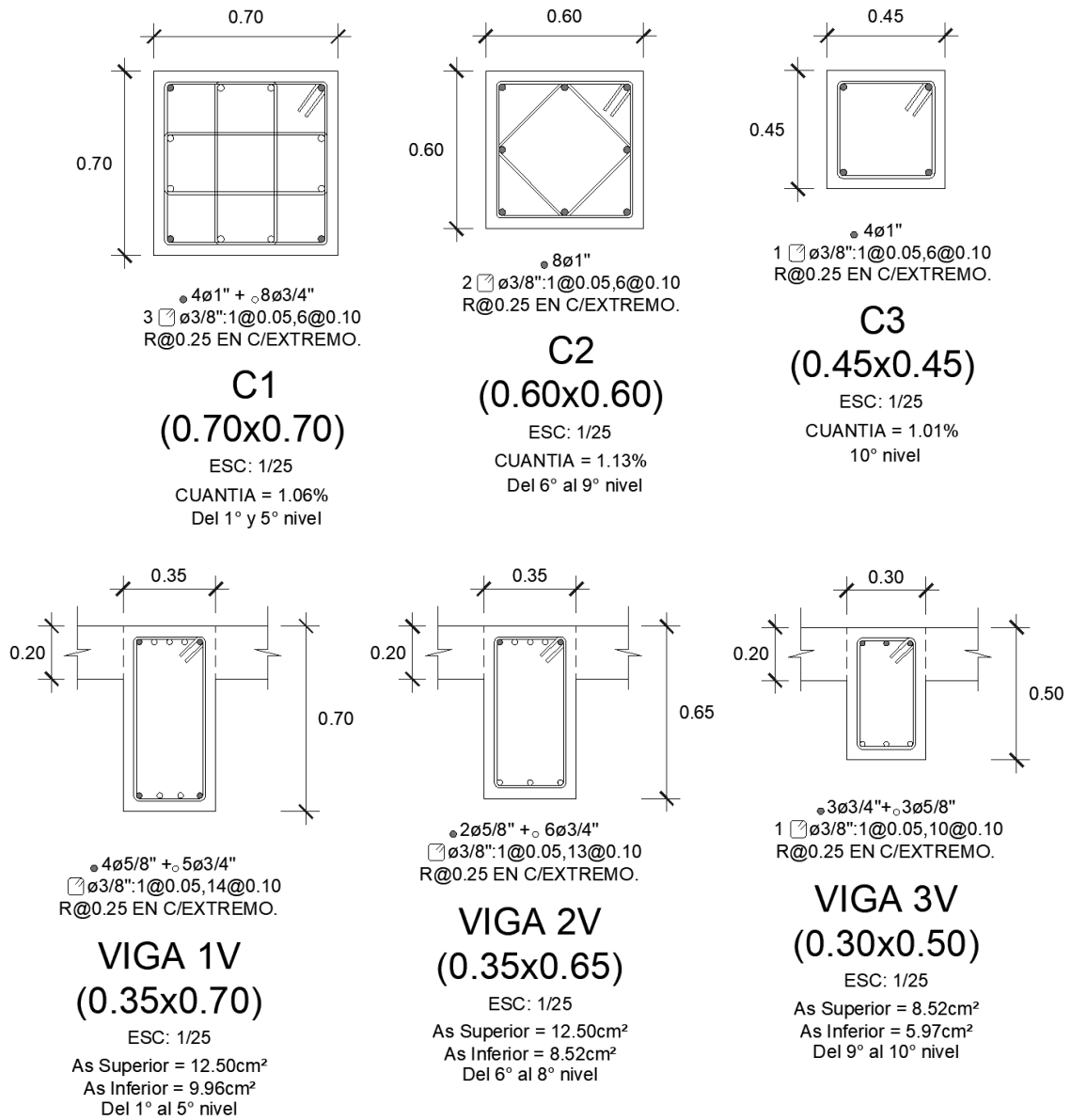
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.



**B. Resumen del diseño en vigas y columnas**

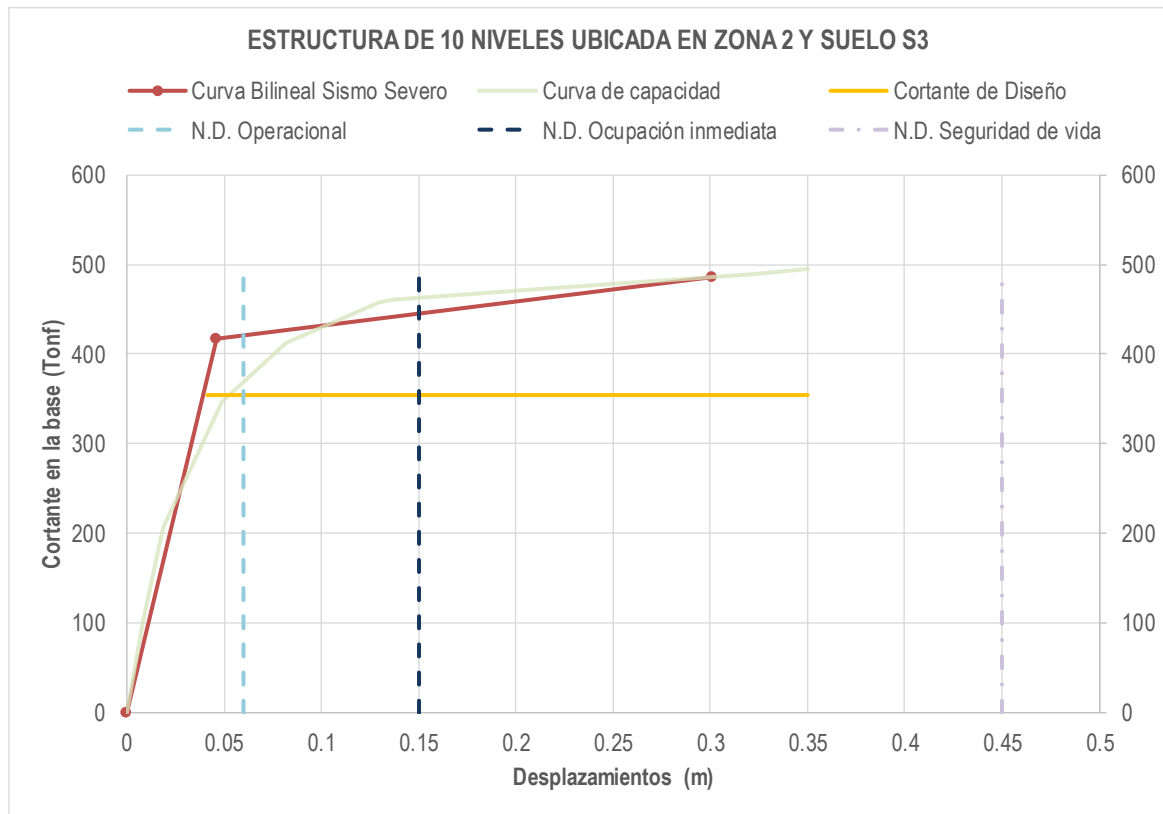
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 115: Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z2 y S3**



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.15.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 8.49 y el factor de sobre resistencia es de 1.18. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **10.02**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 4 y en un suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

#### 4.2.16. Estructura de 10 niveles ubicada en Zona 1 y Suelo blando S3

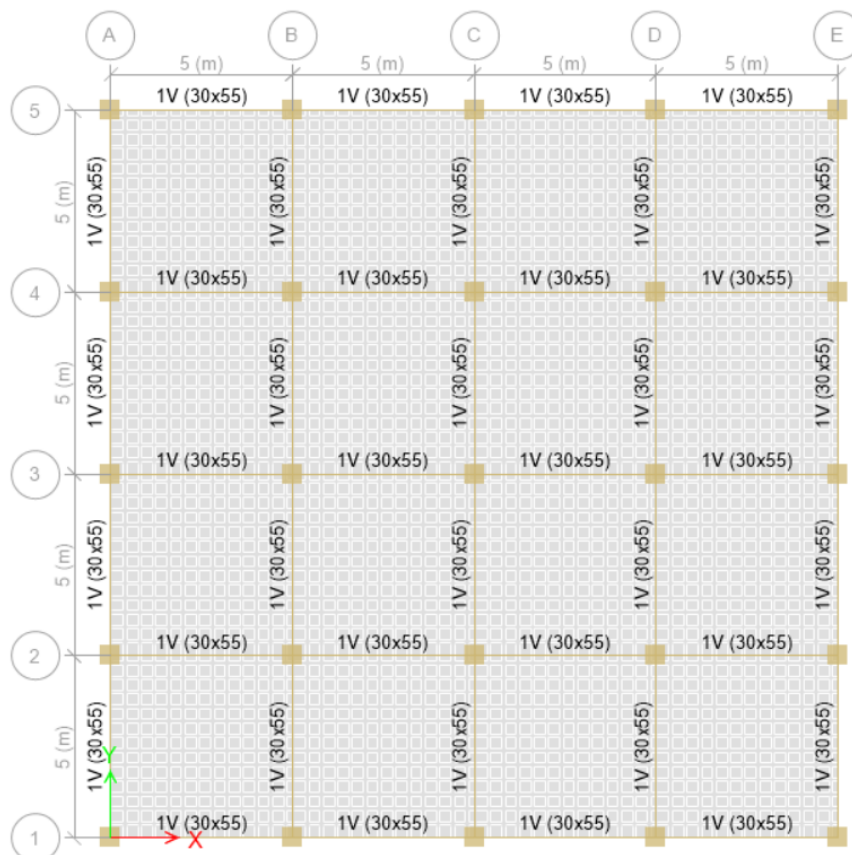
Se consideró el mismo material y las mismas cargas consideradas en las estructuras de 3 niveles, y se tuvieron las siguientes características:

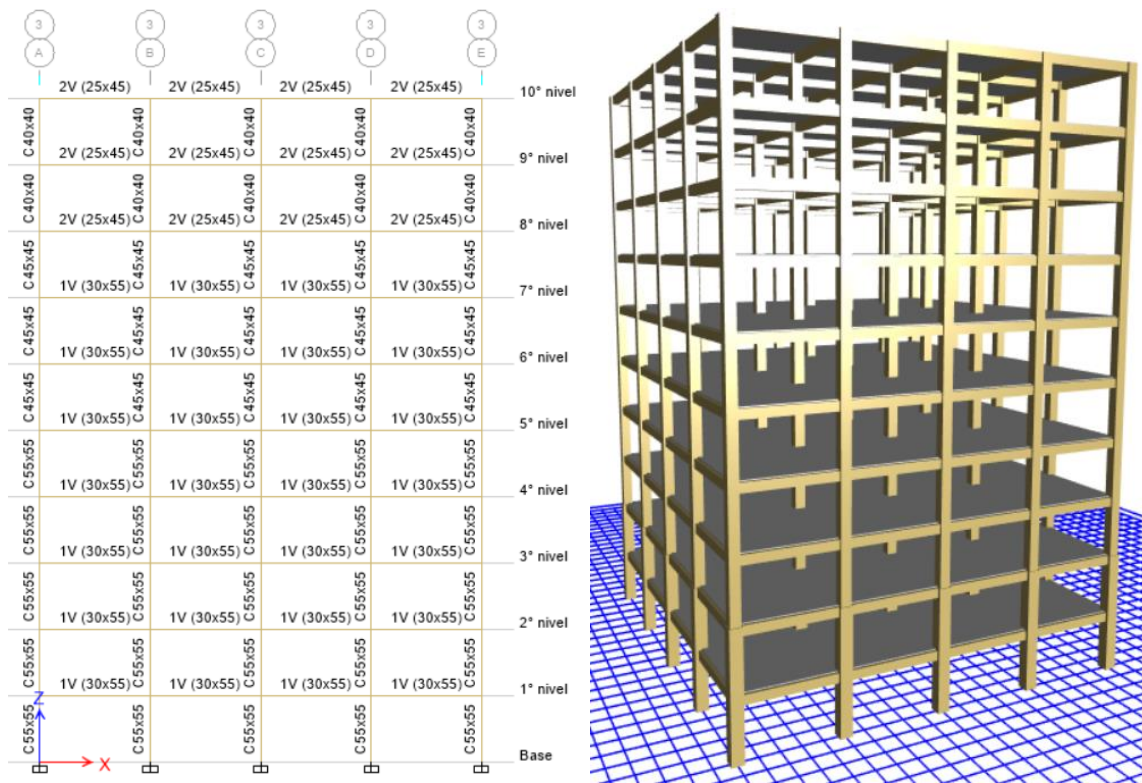
- ✓ Sistema estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.
- ✓ Altura de 3m en todos sus niveles, con una altura total de 30m.
- ✓ 4 pórticos en cada dirección espaciados uniformemente cada 5m, comprendiendo un área de 400.00m<sup>2</sup>.
- ✓ Losas aligeradas en 2 direcciones con 20cm de espesor en todos sus niveles.
- ✓ Vigas peraltadas de 30x55cm<sup>2</sup> desde el 1° al 8° nivel, y 25x45cm<sup>2</sup> del 9° al 10° nivel. Columnas de 55x55cm<sup>2</sup> desde el 1° al 5° nivel, de 45x45cm<sup>2</sup> del 6° al 8° nivel y de 40x40cm<sup>2</sup> del 9° al 10° nivel.

##### 4.2.16.1. Modelo matemático.

Se muestra a continuación las vistas del modelo matemático - Estructura DE 10 NIVELES UBICADO EN ZONA 1 Y SUELO BLANDO S3:

**Figura 116:** Estructura de 10 niveles en Z1 y S3 – Vista en planta



**Figura 117:** Estructura de 10 niveles en Z1 y S3 – Vista Elevación y 3D

*Fuente:* Propia a partir de los planos de estructuras.

#### 4.2.16.2. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

##### A. Masa de la estructura

Se tomó en cuenta que la coordenada (0,0) se encuentra ubicada en la esquina inferior izquierda de la planta de la estructura.

**Tabla 87.** Centros de masas y rigideces - Estructura 10 niveles en Z1 y S3

Nivel	Masa (t s <sup>2</sup> /m)	Centro de masas		Centro de Rigideces	
		X <sub>M</sub> (m)	Y <sub>M</sub> (m)	X <sub>R</sub> (m)	Y <sub>R</sub> (m)
10° nivel	24.9912	10	10	10	10
9° nivel	34.10747	10	10	10	10
8° nivel	34.44244	10	10	10	10
7° nivel	37.1709	10	10	10	10
6° nivel	37.1709	10	10	10	10
5° nivel	37.92712	10	10	10	10
4° nivel	38.84486	10	10	10	10
3° nivel	38.84486	10	10	10	10
2° nivel	38.84486	10	10	10	10
1° nivel	38.84486	10	10	10	10

*Fuente:* Propia a partir del modelo matemático

## B. Análisis modal

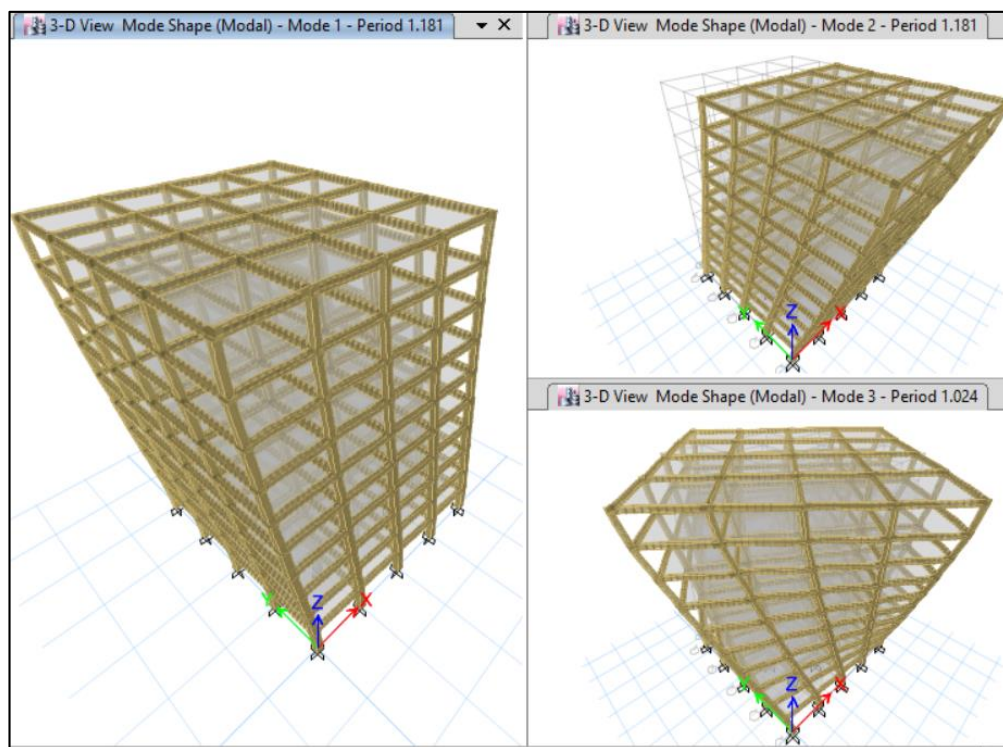
**Tabla 88.** Modos de vibración - Estructura 10 niveles en Z1 y S3

Modo	Periodo	Modos individuales			Acumulado (%)		
		UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	<b>1.1810</b>	<b>0.7685</b>	0.0000	0.0000	76.8500	0.0000	0.0000
2	<b>1.1810</b>	0.0000	<b>0.7685</b>	0.0000	76.8500	76.8500	0.0000
3	<b>1.0240</b>	0.0000	0.0000	<b>0.7721</b>	76.8500	76.8500	77.2100
4	0.4450	0.1141	0.0000	0.0000	88.2600	76.8500	77.2100
5	0.4450	0.0000	0.1141	0.0000	88.2600	88.2600	77.2100
6	0.3910	0.0000	0.0000	0.1111	88.2600	88.2600	88.3200
7	0.2570	0.0454	0.0000	0.0000	92.8000	88.2600	88.3200
8	0.2570	0.0000	0.0454	0.0000	92.8000	92.8000	88.3200
9	0.2270	0.0000	0.0000	0.0450	92.8000	92.8000	92.8100
10	0.1700	0.0252	0.0000	0.0000	95.3200	92.8000	92.8100
11	0.1700	0.0000	0.0252	0.0000	95.3200	95.3200	92.8100
12	0.1510	0.0000	0.0000	0.0253	95.3200	95.3200	95.3500

**Fuente:** Propia a partir del análisis modal

De los resultados, los periodos del 1° y 2° modo de vibración son iguales y con un periodo de **1.181 seg.**

**Figura 118:** Vista del 1°, 2° y 3° modo - Estructura 10 niveles en Z1 y S3



### C. Fuerza cortante de diseño

**Tabla 89.** Cortante de diseño - Estructura 10 niveles en Z1 y S3

Dirección	Dinámico V(tonf)	Estático 80% V(tonf)
X-X	147.598	<b>149.961</b>
Y-Y	147.598	<b>149.961</b>

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

De los resultados, el cortante dinámico es menor al 80% del cortante estático, por tal la **fuerza cortante de diseño en dirección X-X e Y-Y es de 149.96 Tonf.**

### D. Desplazamientos laterales y distorsiones

**Tabla 90.** Desplazamientos lat. máximos - Estructura 10 niveles en Z1 y S3

Nivel	Carga	UX*0.75R (cm)	UY*0.75R (cm)
10° nivel	Sx Max	<b>17.0580</b>	1.5006
10° nivel	Sy Max	1.5006	<b>17.0580</b>
9° nivel	Sx Max	16.1322	1.4184
9° nivel	Sy Max	1.4184	16.1322
8° nivel	Sx Max	14.5002	1.2702
8° nivel	Sy Max	1.2702	14.5002
7° nivel	Sx Max	12.8034	1.1190
7° nivel	Sy Max	1.1190	12.8034
6° nivel	Sx Max	11.0802	0.9672
6° nivel	Sy Max	0.9672	11.0802
5° nivel	Sx Max	9.0918	0.7926
5° nivel	Sy Max	0.7926	9.0918
4° nivel	Sx Max	7.2678	0.6348
4° nivel	Sy Max	0.6348	7.2678
3° nivel	Sx Max	5.2914	0.4632
3° nivel	Sy Max	0.4632	5.2914
2° nivel	Sx Max	3.2166	0.2832
2° nivel	Sy Max	0.2832	3.2166
1° nivel	Sx Max	1.2210	0.1080
1° nivel	Sy Max	0.1080	1.2210

*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 91.** Distorsiones máximas - Estructura 10 niveles en Z1 y S3

Nivel	Carga	Drift X*0.75R	Drift Y*0.75R
10° nivel	Sx Max	0.00332	0.00028
10° nivel	Sy Max	0.00028	0.00332
9° nivel	Sx Max	0.00577	0.00049
9° nivel	Sy Max	0.00049	0.00577
8° nivel	Sx Max	0.00591	0.00050
8° nivel	Sy Max	0.00050	0.00591
7° nivel	Sx Max	0.00590	0.00050
7° nivel	Sy Max	0.00050	0.00590
6° nivel	Sx Max	0.00673	0.00058
6° nivel	Sy Max	0.00058	0.00673
5° nivel	Sx Max	0.00613	0.00053
5° nivel	Sy Max	0.00053	0.00613
4° nivel	Sx Max	0.00661	0.00057
4° nivel	Sy Max	0.00057	0.00661
3° nivel	Sx Max	<b>0.00692</b>	0.00060
3° nivel	Sy Max	0.00060	<b>0.00692</b>
2° nivel	Sx Max	0.00665	0.00058
2° nivel	Sy Max	0.00058	0.00665
1° nivel	Sx Max	0.00407	0.00036
1° nivel	Sy Max	0.00036	0.00407

**Fuente:** Propia a partir del análisis sísmico

De los resultados obtenidos, el **desplazamiento máximo en dirección X-X e Y-Y obtenido es de 17.06 cm** y la **distorsión máxima es de 0.00692**, la cual cumple con las máximas distorsiones establecidas en la norma E.030 para estructuras de concreto armado.

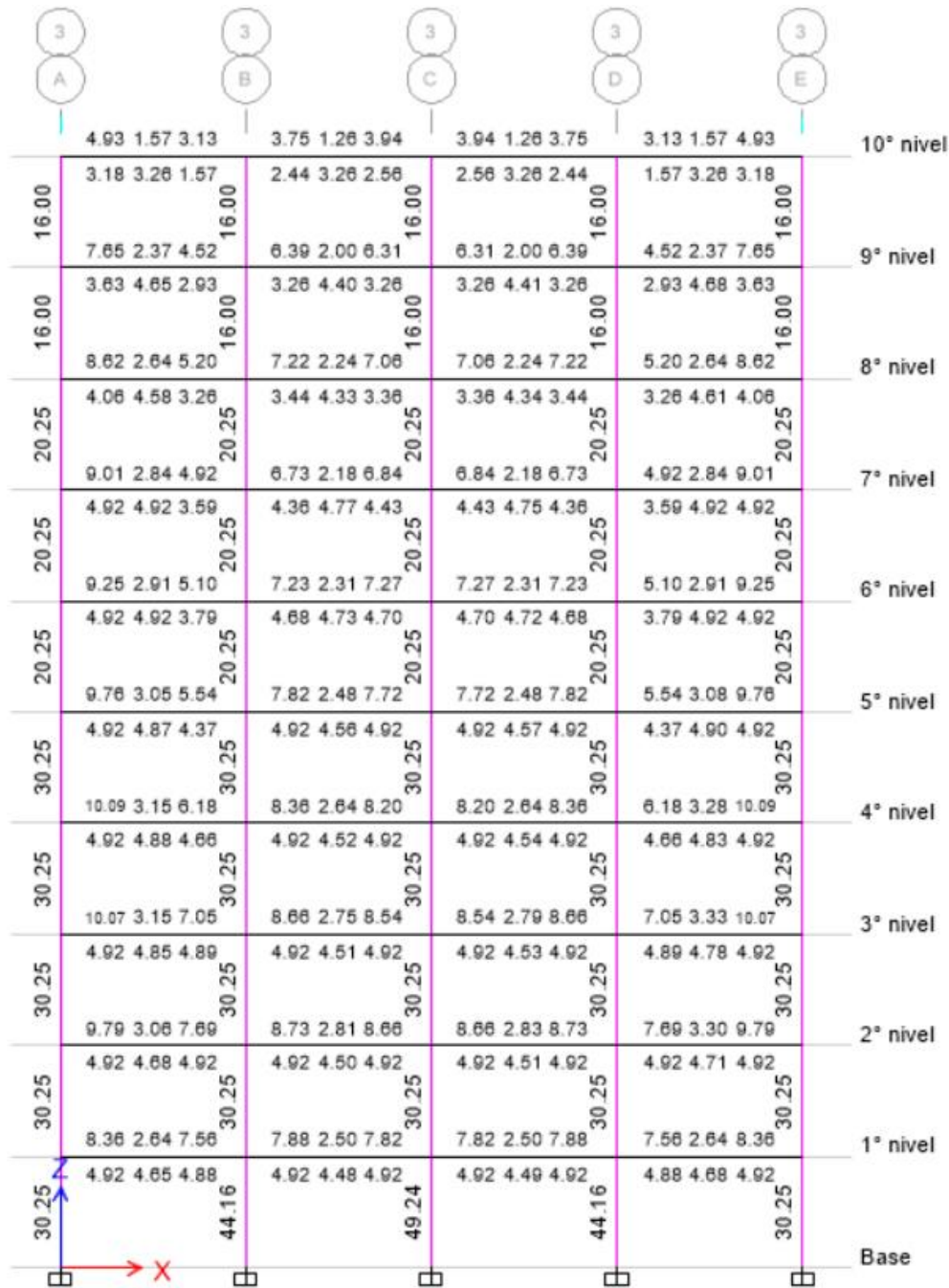


**4.2.16.3. Diseño estructural**

Al ser las vigas y columnas los elementos estructurales que dan rigidez y resistencia a la estructura, se realizó el diseño de las vigas y columnas con el programa ETABS.

**A. Diseño de vigas y columnas**

**Figura 119:** Acero en vigas y columnas - Estructura 10 niveles en Z1 y S3



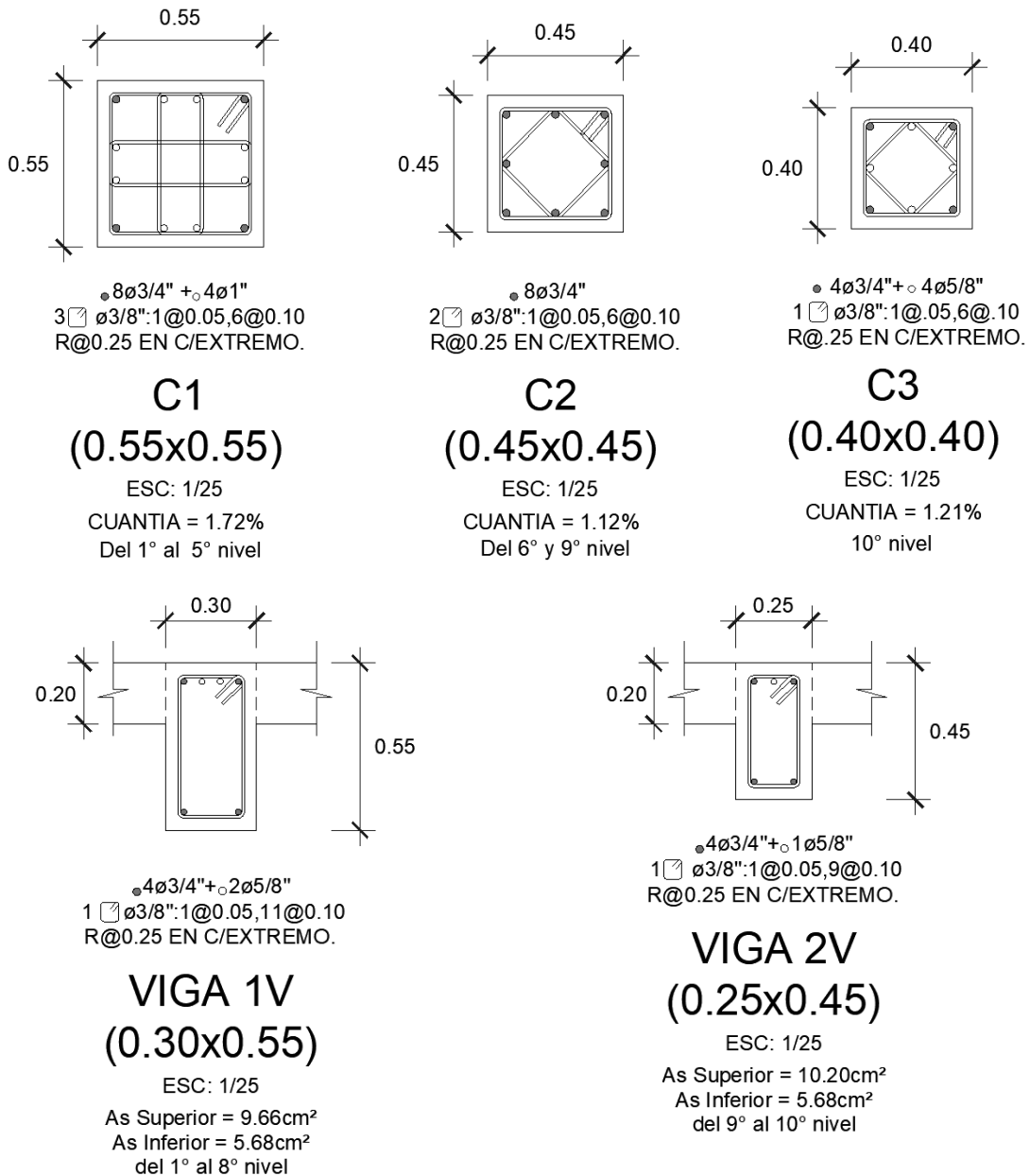
Fuente: Del Etabs a partir del diseño estructural.



## B. Resumen del diseño en vigas y columnas

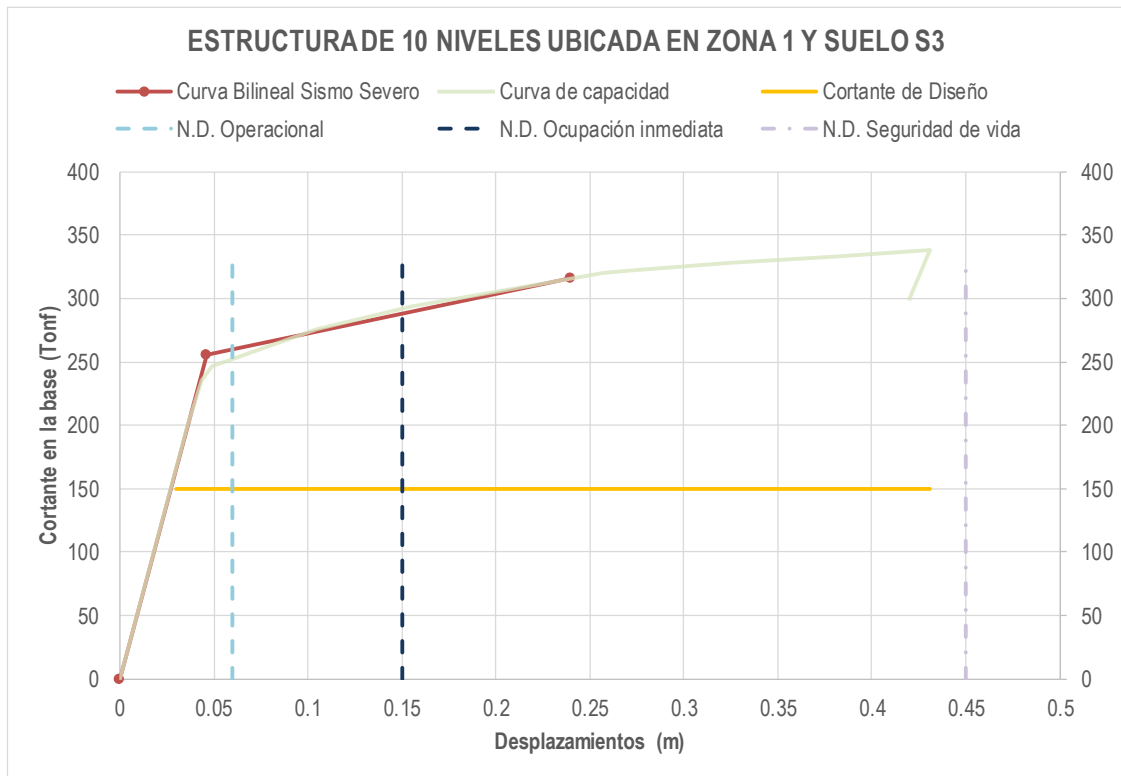
Se muestra a continuación las secciones obtenidas de las vigas y columnas con sus respectivas áreas de acero.

**Figura 120:** Columnas y vigas - Estructura 10 niveles en Z1 y S3



**Fuente:** Propia a partir del análisis y diseño estructural.

#### 4.2.16.4. Análisis no lineal y cálculo del factor de reducción sísmica R



#### Cálculo del factor de reducción sísmica R

R - DUCTILIDAD		R - SOBRE RESISTENCIA		R - REDUNDANCIA	
$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$		$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d}$			
Ve	1499.61	Vy	255.98	Nº ejes de columnas	4
Vy	255.98	Vd	149.96		
<b>R<sub>μ</sub>:</b>	<b>5.86</b>	<b>R<sub>Ω</sub>:</b>	<b>1.71</b>	<b>R<sub>R</sub>:</b>	<b>1.00</b>

$$R = 10.02$$

*Fuente: Propia a partir del análisis No Lineal*

De la figura mostrada, se tiene los siguientes resultados.

- El factor de ductilidad es de 5.86 y el factor de sobre resistencia es de 1.71. Obteniéndose un valor del factor de reducción sísmica R igual a **10.02**.
- Para un sismo raro (sismo de diseño) la estructura diseñada (ubicada en zona 1 y apoyado en suelo blando S3) con las normas peruanas E.030 y E.060, presenta un nivel de desempeño (N.D.) de **seguridad de vida**.

### 4.3. RESUMEN DE RESULTADOS

Se presenta a continuación los resultados de las 16 estructuras evaluadas.

#### 4.3.1. Resumen del análisis sísmico

**Tabla 92.** Resumen del análisis sísmico en Estructuras de 3 niveles

Tipo de Suelo	Zonificación sísmica	Tp. Suelo. (seg.)	T. Estruct. (seg.)	V Diseño (Tonf)	Desplaza. ( $\Delta$ - cm)	Drift ( $\Delta/h$ )
Suelo S1	Zona 4	0.400	0.418	64.500	4.989	0.00696
	Zona 3	0.400	0.521	37.530	4.840	0.00676
	Zona 2	0.400	0.579	23.440	3.883	0.00542
	Zona 1	0.400	0.645	8.430	1.711	0.00239
Suelo S3	Zona 4	1.000	0.387	75.840	4.852	0.00673
	Zona 3	1.000	0.418	62.380	4.829	0.00674
	Zona 2	1.000	0.463	51.690	4.889	0.00677
	Zona 1	1.000	0.579	26.630	4.466	0.00625

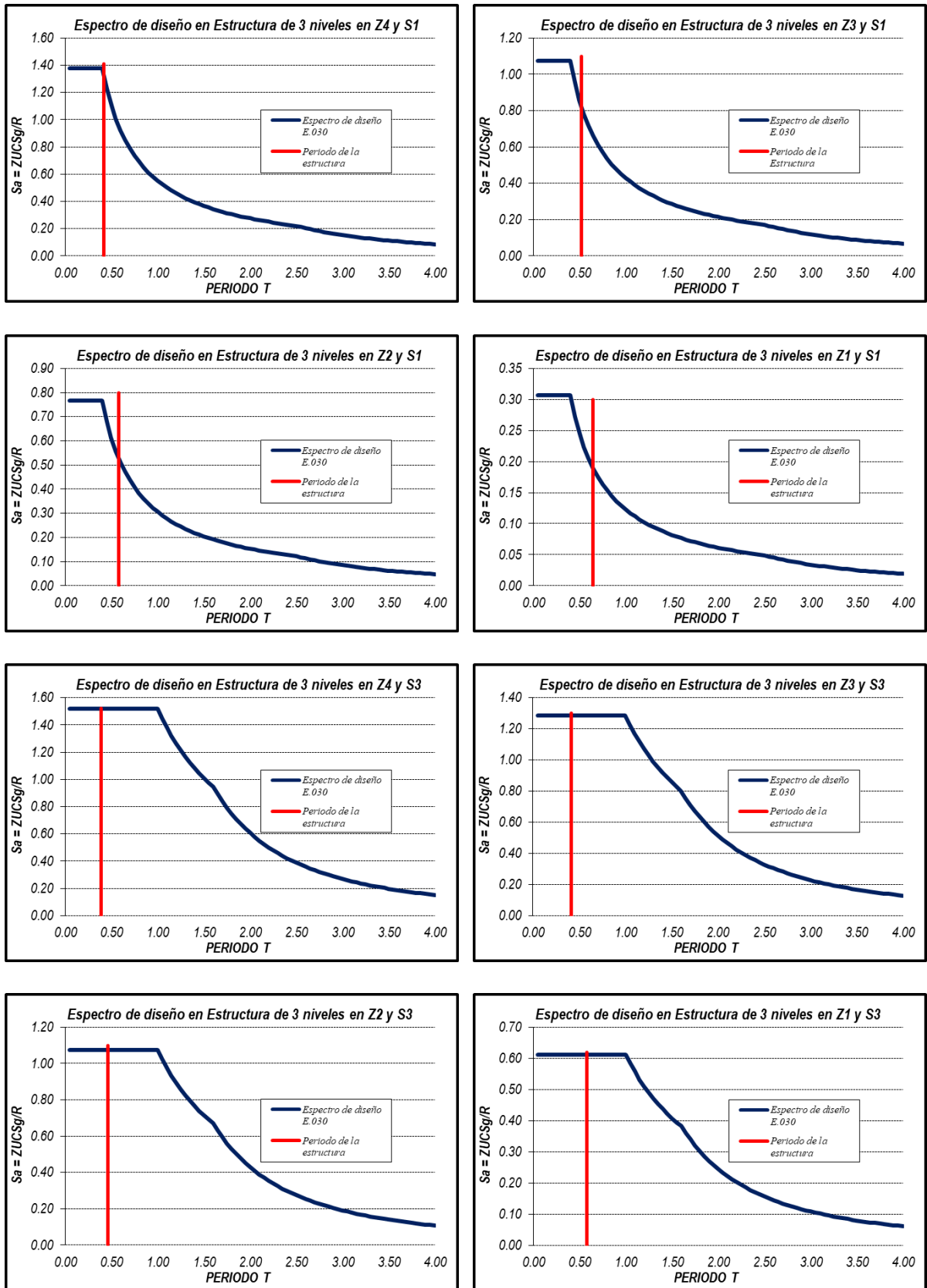
*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

**Tabla 93.** Resumen del análisis sísmico en Estructuras de 10 niveles

Tipo de Suelo	Zonificación sísmica	Tp. Suelo. (seg.)	T. Estruct. (seg.)	V Diseño (Tonf)	Desplaza. ( $\Delta$ - cm)	Drift ( $\Delta/h$ )
Suelo S1	Zona 4	0.400	1.150	168.410	13.945	0.00687
	Zona 3	0.400	1.431	108.500	13.630	0.00686
	Zona 2	0.400	1.458	76.530	9.995	0.00474
	Zona 1	0.400	1.646	29.880	4.573	0.00216
Suelo S3	Zona 4	1.000	0.679	559.640	17.207	0.00688
	Zona 3	1.000	0.734	454.600	16.705	0.00692
	Zona 2	1.000	0.827	354.660	17.649	0.00687
	Zona 1	1.000	1.181	149.960	17.058	0.00692

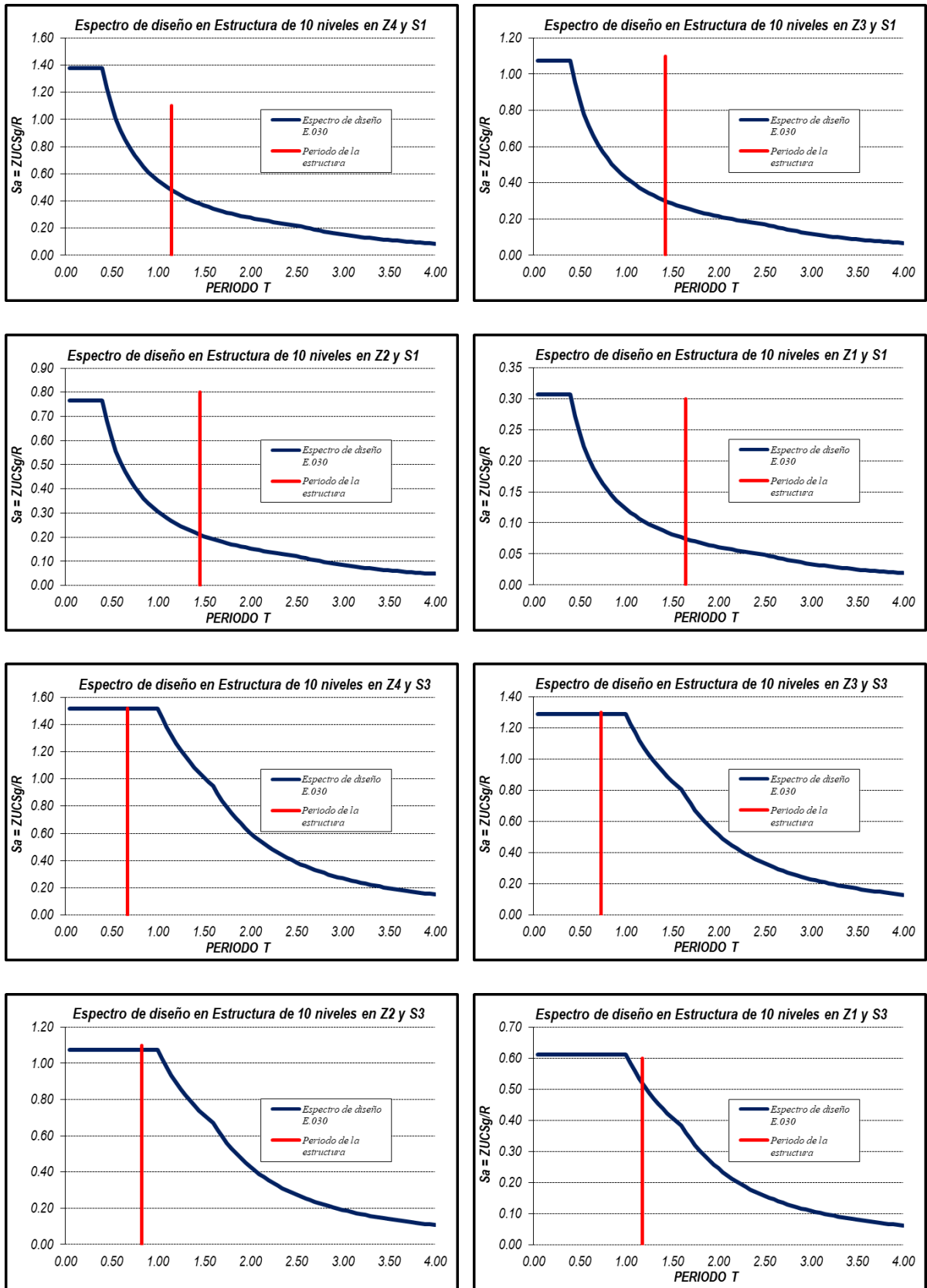
*Fuente: Propia a partir del análisis sísmico*

Figura 121: Resumen de espectros de diseño en Estructuras de 3 niveles



Fuente: Propia a partir del análisis sísmico

Figura 122: Resumen de espectros de diseño en Estructuras de 10 niveles



Fuente: Propia a partir del análisis sísmico

### 4.3.2. Resumen del diseño estructural

Se muestra a continuación las secciones de las vigas y columnas obtenidas del diseño estructural de las 16 estructuras.

**Tabla 94.** Resumen de vigas y columnas en Estructuras de 3 niveles

Tipo de Suelo	Zonificación sísmica	Columnas del 1° al 3° nivel	Viga del 1° al 3° nivel
Suelo S1	Zona 4	45x45cm <sup>2</sup>	30x45cm <sup>2</sup>
	Zona 3	40x40cm <sup>2</sup>	25x40cm <sup>2</sup>
	Zona 2	40x40cm <sup>2</sup>	25x35cm <sup>2</sup>
	Zona 1	35x35cm <sup>2</sup>	25x35cm <sup>2</sup>
Suelo S3	Zona 4	45x45cm <sup>2</sup>	30x50cm <sup>2</sup>
	Zona 3	45x45cm <sup>2</sup>	30x45cm <sup>2</sup>
	Zona 2	40x40cm <sup>2</sup>	30x45cm <sup>2</sup>
	Zona 1	40x40cm <sup>2</sup>	25x35cm <sup>2</sup>

*Fuente: Propia a partir del diseño estructural*

**Tabla 95.** Resumen de vigas y columnas en Estructuras de 10 niveles

Tipo de Suelo	Zonificación sísmica	Columnas 1° al 2° niv.	Columnas 3° al 4° niv.	Columnas 5° niv.	Columnas 6° al 10° niv.	Vigas 1° al 10° niv.
Suelo S1	Zona 4	60x60cm <sup>2</sup>	60x60cm <sup>2</sup>	60x60cm <sup>2</sup>	60x60cm <sup>2</sup>	40x50cm <sup>2</sup>
	Zona 3	60x60cm <sup>2</sup>	50x50cm <sup>2</sup>	50x50cm <sup>2</sup>	50x50cm <sup>2</sup>	30x45cm <sup>2</sup>
	Zona 2	55x55cm <sup>2</sup>	55x55cm <sup>2</sup>	45x45cm <sup>2</sup>	45x45cm <sup>2</sup>	30x45cm <sup>2</sup>
	Zona 1	55x55cm <sup>2</sup>	55x55cm <sup>2</sup>	55x55cm <sup>2</sup>	40x40cm <sup>2</sup>	30x40cm <sup>2</sup>

Tipo de Suelo	Zonificación sísmica	Columnas 1° al 5° niv.	Columnas 6° al 9° niv.	Columnas 10° niv.	Vigas 1° al 5° niv.	Vigas 6° al 8° niv.	Vigas 9° al 10° niv.
Suelo S3	Zona 4	85x85cm <sup>2</sup>	75x75cm <sup>2</sup>	50x50cm <sup>2</sup>	40x75cm <sup>2</sup>	35x65cm <sup>2</sup>	30x50cm <sup>2</sup>
	Zona 3	80x80cm <sup>2</sup>	65x65cm <sup>2</sup>	50x50cm <sup>2</sup>	40x70cm <sup>2</sup>	35x65cm <sup>2</sup>	30x50cm <sup>2</sup>
	Zona 2	70x70cm <sup>2</sup>	60x60cm <sup>2</sup>	45x45cm <sup>2</sup>	35x70cm <sup>2</sup>	35x65cm <sup>2</sup>	30x50cm <sup>2</sup>
	Zona 1	55x55cm <sup>2</sup>	45x45cm <sup>2</sup>	40x40cm <sup>2</sup>	30x55cm <sup>2</sup>	30x55cm <sup>2</sup>	25x45cm <sup>2</sup>

*Fuente: Propia a partir del diseño estructural*

### 4.3.3. Resumen del Análisis no lineal

Se muestra a continuación los resultados del cálculo del factor de reducción sísmica y los niveles de desempeño de las 16 estructuras.

**Tabla 96.** Resumen del cálculo del factor R en Estructuras de 3 niveles

Tipo de Suelo	Zona sísmica	$R_{\mu}$ Ductilidad	$R_{\Omega}$ sobrerresist.	$R_R$ Redundan.	Factor R Calculado	Factor R Norma E.030	% ( $R_{\text{calculado}}/R_{\text{norma E-030}}$ )
Suelo S1 (Muy Rígido)	Zona 4	4.07	2.27	1.00	<b>9.24</b>	8.00	1.15 %
	Zona 3	3.27	2.82	1.00	<b>9.22</b>	8.00	1.15 %
	Zona 2	2.46	3.78	1.00	<b>9.30</b>	8.00	1.16 %
	Zona 1	2.11	4.32	1.00	<b>9.12</b>	8.00	1.14 %
Suelo S3 (Blando)	Zona 4	4.33	2.13	1.00	<b>9.22</b>	8.00	1.15 %
	Zona 3	4.04	2.31	1.00	<b>9.33</b>	8.00	1.17 %
	Zona 2	3.80	2.42	1.00	<b>9.20</b>	8.00	1.15 %
	Zona 1	2.70	3.51	1.00	<b>9.48</b>	8.00	1.18 %

**Tabla 97.** Resumen del cálculo del factor R en Estructuras de 10 niveles

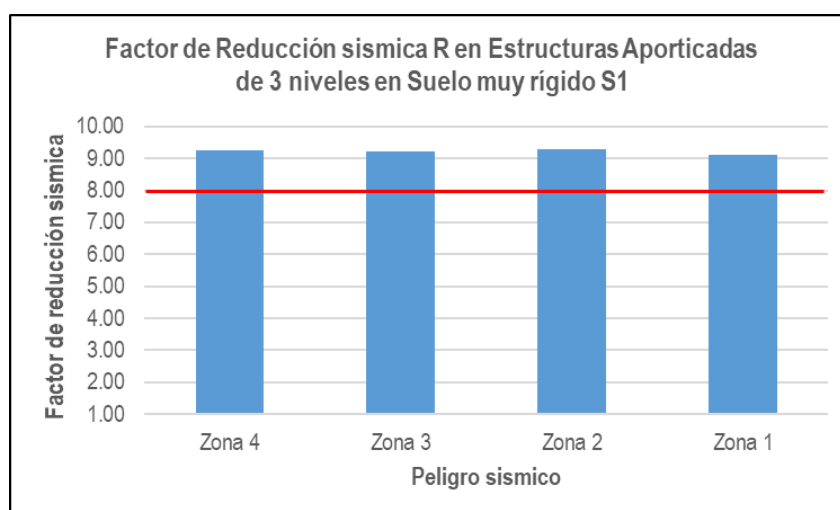
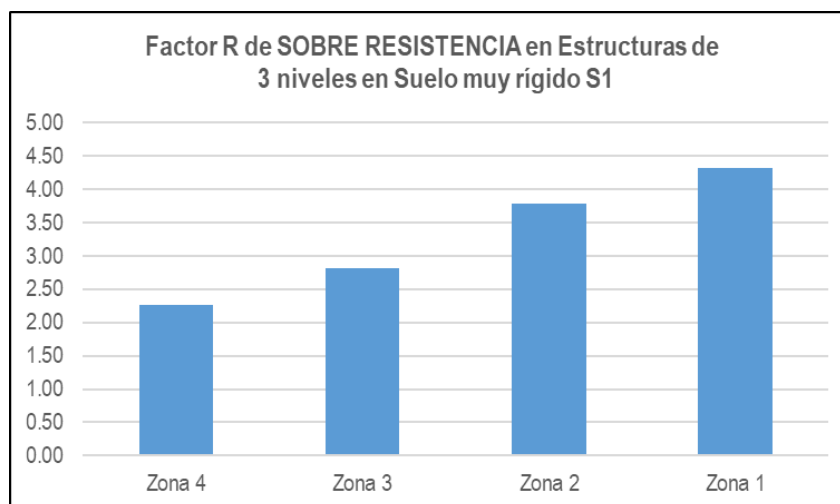
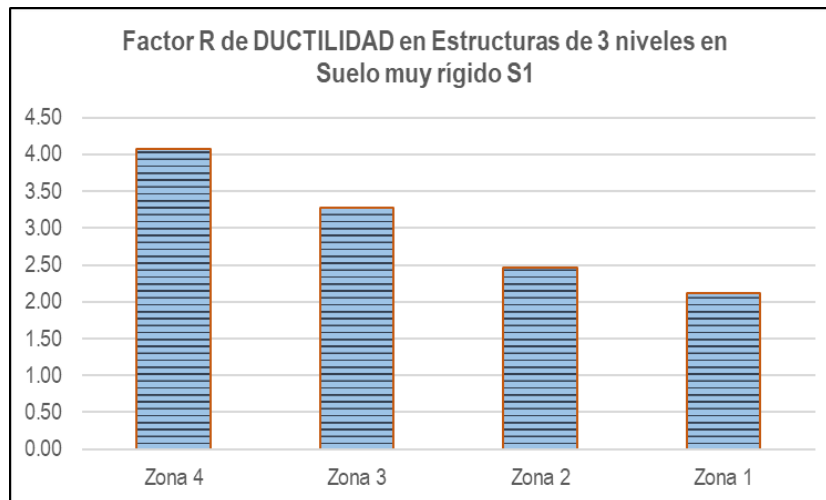
Tipo de Suelo	Zona sísmica	$R_{\mu}$ Ductilidad	$R_{\Omega}$ sobrerresist.	$R_R$ Redundan.	Factor R Calculado	Factor R Norma E.030	% ( $R_{\text{calculado}}/R_{\text{norma E-030}}$ )
Suelo S1 (Muy Rígido)	Zona 4	5.40	1.70	1.00	<b>9.18</b>	8.00	1.15 %
	Zona 3	4.55	1.75	1.00	<b>7.96</b>	8.00	1.00 %
	Zona 2	3.75	2.08	1.00	<b>7.80</b>	8.00	0.98 %
	Zona 1	2.26	3.05	1.00	<b>6.89</b>	8.00	0.86 %
Suelo S3 (Blando)	Zona 4	10.60	0.94	1.00	<b>9.96</b>	8.00	1.25 %
	Zona 3	10.54	0.95	1.00	<b>10.01</b>	8.00	1.25 %
	Zona 2	8.49	1.18	1.00	<b>10.02</b>	8.00	1.25 %
	Zona 1	5.86	1.71	1.00	<b>10.02</b>	8.00	1.25 %

**Tabla 98.** Resumen del nivel de desempeño en Estructuras de 3 y 10 niveles

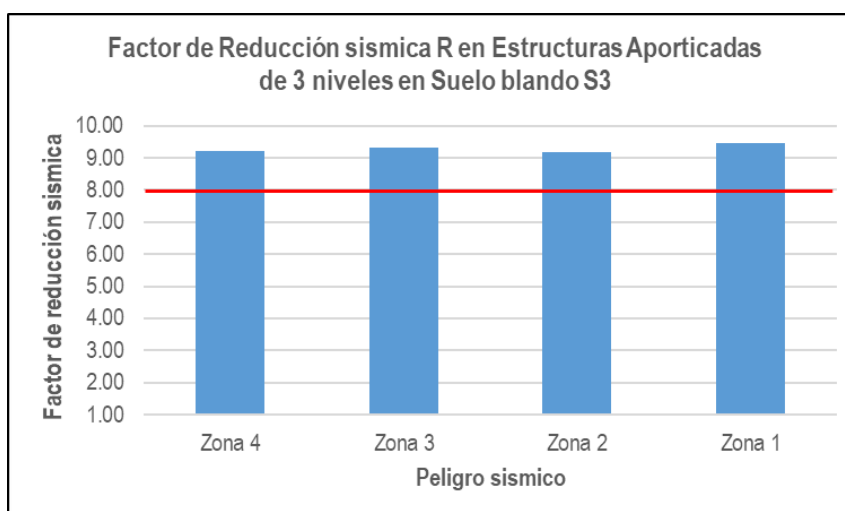
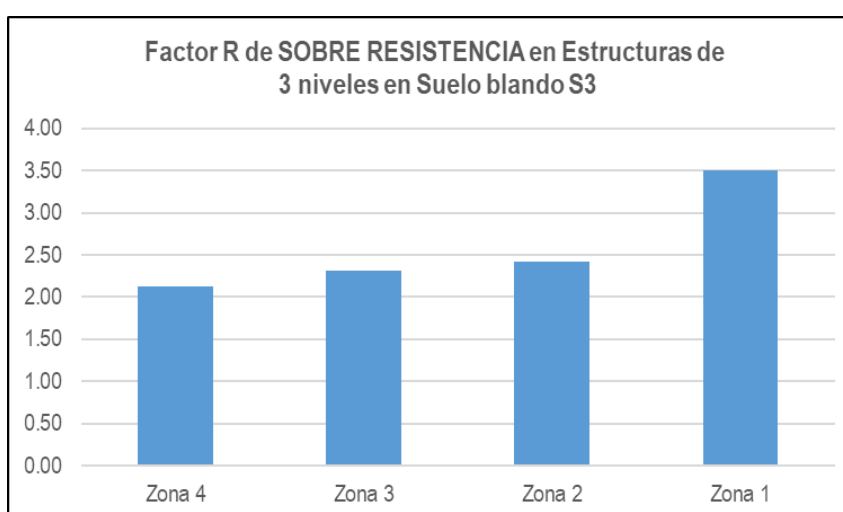
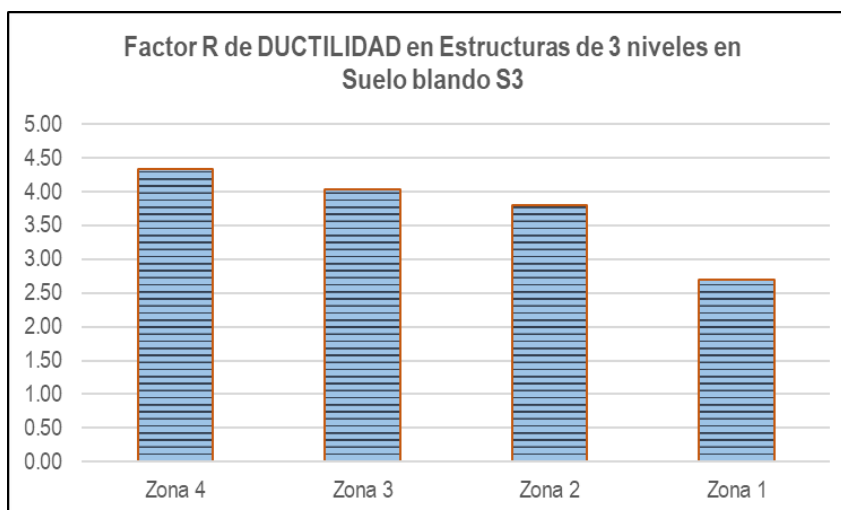
Tipo de Suelo	Zonificación sísmica	Nivel de desempeño Estructura 3 niveles	Nivel de desempeño Estructura 10 niveles
Suelo S1 (Muy Rígido)	Zona 4	Seguridad de vida	Seguridad de vida
	Zona 3	Seguridad de vida	Seguridad de vida
	Zona 2	Seguridad de vida	<b>Ocupación inmediata</b>
	Zona 1	<b>Ocupación inmediata</b>	<b>Ocupación inmediata</b>
Suelo S3 (Blando)	Zona 4	Seguridad de vida	Seguridad de vida
	Zona 3	Seguridad de vida	Seguridad de vida
	Zona 2	Seguridad de vida	Seguridad de vida
	Zona 1	Seguridad de vida	Seguridad de vida

**Fuente:** Propia a partir del análisis no lineal

**Figura 123:** Resumen de factores  $R_{\mu}$  y  $R_{\Omega}$  y factor de reducción  $R$ , en Estructuras de 3 niveles



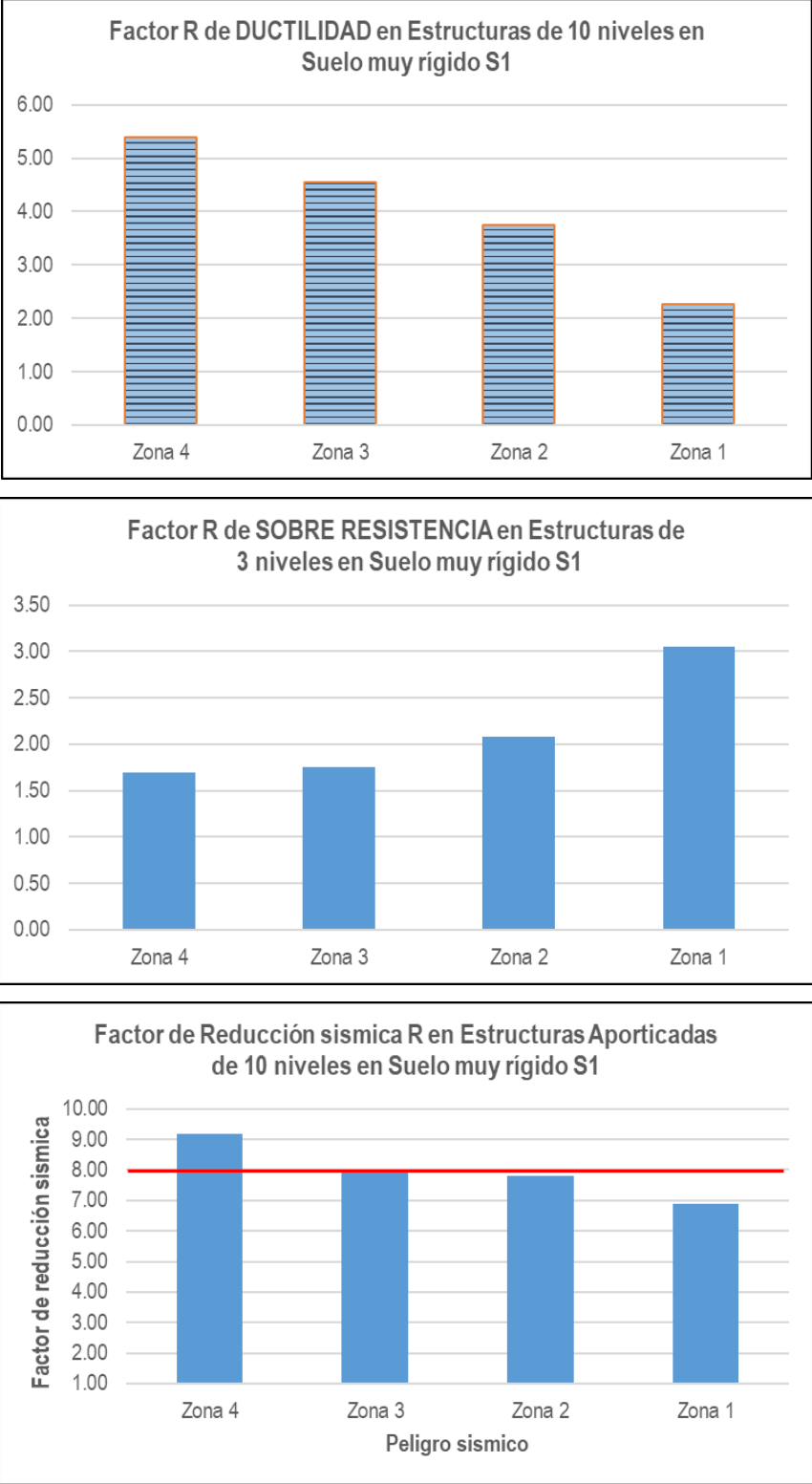


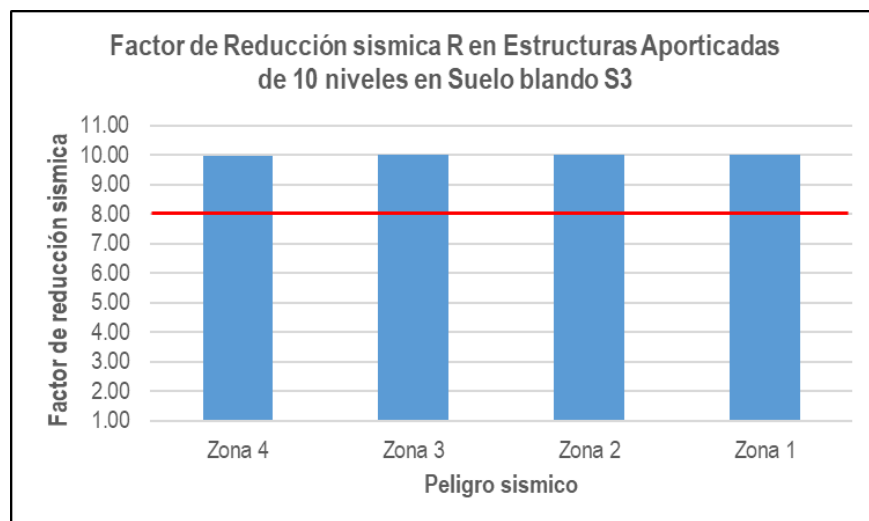
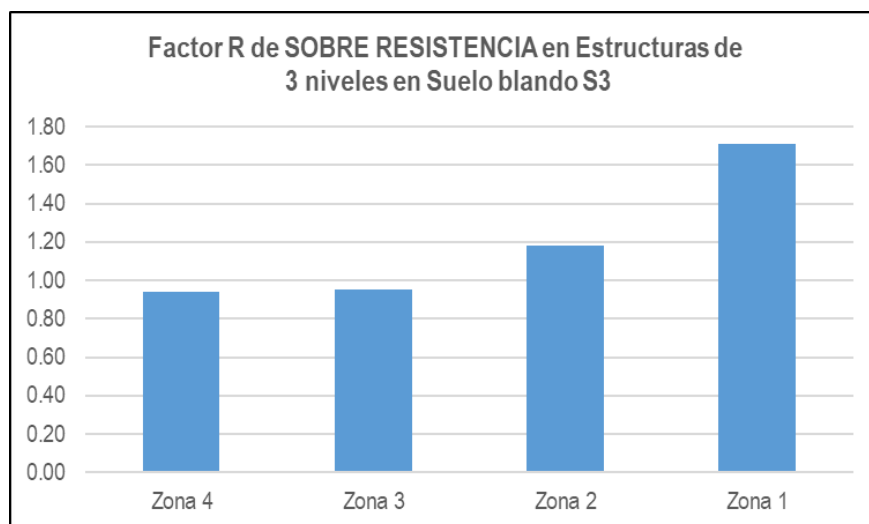
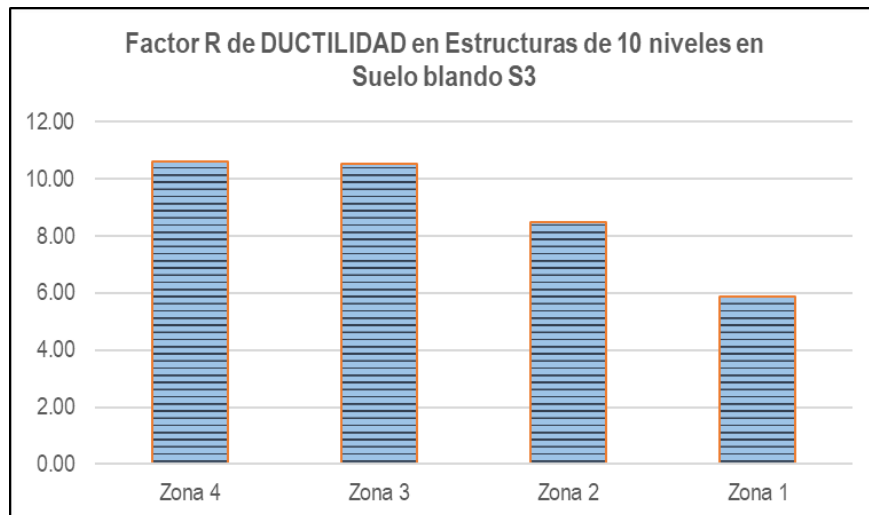


De los gráficos mostrados, de las Estructuras de 3 niveles, se observa que a medida que el nivel de peligro sísmico disminuye (De la zona 4 hacia la zona 1) el factor R de ductilidad disminuye y el factor R de sobre resistencia aumenta.

Los valores del factor de reducción sísmica  $R$ , en las estructuras de 3 niveles calculados son mayores a 8, que es el valor que indica la norma E.030 para sistemas aporricadas de concreto armado.

**Figura 124:** Resumen de factores  $R_{\mu}$  y  $R_{\Omega}$  y factor de reducción  $R$ , en Estructuras de 10 niveles





De los gráficos mostrados, de las Estructuras de 10 niveles, se observa que a medida que el nivel de peligro sísmico disminuye (De la zona 4 hacia la zona 1) el factor R de ductilidad disminuye y el factor R de sobre resistencia aumenta.

De los gráficos, se puede apreciar también que, en las Estructuras de 10 niveles apoyados en suelo blando S3, los valores del factor de reducción sísmica R calculados en las diferentes zonas sísmicas dan valores mayores a 8, que es el valor que establece la norma E.030 para sistemas aporticadas de concreto armado.

Por otro lado, se puede apreciar también que, en las Estructuras de 10 niveles apoyados en suelo muy rígido, los valores del factor de reducción sísmica R calculados en las zonas sísmicas 4 y 3 dan valores mayores o similares a 8, que es el valor que establece la norma E.030 para sistemas aporticadas de concreto armado, sin embargo, en las zonas sísmicas 2 y 1 los valores obtenidos del factor de reducción sísmica R son menores a 8.

De los valores del factor de reducción sísmica R obtenidos podemos concluir que, estructuras con periodos altos, superiores al periodo predominante del suelo a medida que el nivel de peligro sísmico disminuye (De zona 4 a zona 1) los valores del factor de reducción sísmica obtenidas tienden a disminuir.

En el caso de las estructuras de 10 niveles apoyadas en suelos muy rígidos S1, el cual como se aprecia en el análisis sísmico, presentan periodos de las estructuras en un intervalo de 1.15 seg. a 1.65 seg. (En las diferentes zonas sísmicas) los cuales son mayores al periodo de 0.40 seg. del suelo S1. Y en los cuales se puede apreciar como el factor de reducción sísmica R calculados, se obtuvieron valores de 9.18 a 6.89.

En el caso de las estructuras de 10 niveles apoyadas en suelos blandos S3, presentan periodos de las estructuras en un intervalo de 0.68 seg. a 1.18 seg, los cuales son similares o menores al periodo de 1 seg. del suelo S3. Y en los cuales el factor de reducción sísmica R calculados, se obtuvieron valores de 9.96 a 10.02.

## **CAPITULO V.**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se presentan las discusiones de los resultados obtenidos, comparándolos con las conclusiones de las investigaciones mencionados en los antecedentes nacionales e internacionales de la presente investigación:

Las conclusiones realizadas por Huapaya (2016), difieren de los resultados obtenidos en la presente tesis. La ductilidad y sobre resistencia no solo depende del periodo fundamental de la estructura, depende directamente del nivel de peligro sísmico donde se ubica la edificación, como se aprecia en las tablas: *Resumen del cálculo del factor de reducción sísmica R en Estructuras de 3 y 10 niveles*, a medida que el nivel de peligro sísmico baja (desde la zona 4 hasta la zona 1) la ductilidad baja y la sobre resistencia aumenta. Observándose que, las estructuras ubicadas en la zona de mayor sismicidad (zona 4) presentan mayor nivel de ductilidad, pero menor nivel de sobre resistencia. Y las estructuras de baja sismicidad (zona 1) presentan menor nivel de ductilidad, pero mayor nivel de sobre resistencia.

Las conclusiones dadas por Asmat (2016), guardan relación con los resultados obtenidos en la presente tesis, puesto que se observa que las estructuras con configuraciones sencillas, simétricas y regulares muestran un comportamiento estructural predecible, donde el primer y segundo modo de vibración es traslacional y el tercer modo de vibración es rotacional alrededor del eje z, tal como se muestra en el análisis sísmico dinámico modal espectral de las 16 estructuras.

También se aprecia que las estructuras diseñadas con las normas peruanas para el diseño en concreto armado, se encuentran en un nivel

desempeño de seguridad de vida, el cual asegura que la estructura será capaz de soportar sismos severos sin llegar al colapso de las mismas.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estático no lineal de las estructuras evaluadas se puede corroborar lo que Pérez (2013), concluyo: El análisis estático no lineal (Pushover) es una alternativa muy práctica para encontrar la respuesta de una estructura ante acción sísmica en comparación con la forma de análisis actual de las diferentes normas en donde se considera que se espera daño en las estructuras ante solo un evento de sismo raro.

Las conclusiones dadas por Villanueva (2009), guardan relación con los resultados obtenidos en la presente tesis, puesto que tal como se esperaba la estructura se mantiene en el rango elástico en la zona 1 y suelo 1 (baja sismicidad) durante la ocurrencia del sismo severo, e incursiona en el rango inelástico durante la ocurrencia de un sismo severo en las demás zonas.

Así también aplicando el método modal espectral (E.030) y diseñando los elementos estructurales usando el código de diseño de concreto armado (E.060), la estructura tiene un nivel de desempeño de Seguridad de Vida luego de un sismo severo.

## CONCLUSIONES

1. El nivel de peligro sísmico influye en la obtención del factor de reducción sísmica. De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se pudo apreciar que el factor de reducción sísmica varía de acuerdo al peligro sísmico y al periodo de la estructura. De las edificaciones evaluadas, la tabla 96 “Resumen del cálculo del factor R en Estructuras de 10 niveles” se pudo apreciar que las estructuras con periodo alto (10 niveles) apoyadas en suelo muy rígido S1 presentaron diferentes valores del factor de reducción sísmica en las diferentes zonas sísmicas a lo establecido en la norma E.030-2018.
2. Para un nivel de peligro sísmico de sismo severo en un tipo de suelo muy rígido S1, las estructuras de 10 niveles ubicadas en zona 2 y zona 1 presentaron valores del factor de reducción sísmica de 7.80 y de 6.89, siendo estos un 2% y 14% menores de 8, el cual es el valor que indica la norma E-030 para estructuras aporricadas de concreto armado. Las demás estructuras en las diferentes zonas presentaron valores mayores a 8, presentando una amplificación entre un 14% y 16%.
3. Para un nivel de peligro sísmico de sismo severo en un tipo de suelo blando S3, las estructuras de 3 y 10 niveles en las diferentes zonas sísmicas presentaron valores del factor de reducción sísmica mayores a 8, presentando una amplificación entre un 15% y 25%. Adicionalmente se puede observar que mientras la demanda sísmica disminuye (desde la zona 4 hasta la zona 1) el factor de ductilidad disminuye y el factor de sobre resistencia aumenta (componentes del factor de reducción sísmica).
4. Las estructuras de 3 y 10 diseñadas considerando un factor de reducción sísmica R igual a 8, de acuerdo a lo que indica la norma E.030, presentaron un nivel de desempeño de seguridad de vida. Excepto Las estructuras de 10 niveles en zona 1 y 2 y la estructura de 3 niveles en zona 1 apoyadas en suelo S1, estas presentaron un nivel de desempeño de ocupación inmediata.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar la evaluación del factor de reducción sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado considerando las irregularidades tanto en planta como en altura, que indica la norma de diseño sismorresistente E-030
2. Evaluar el factor de reducción sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado tomando en cuenta los diferentes niveles de peligro sísmico (frecuente, ocasional y muy raro) en un tipo de suelo muy rígido considerando la variación de las alturas de las edificaciones y considerando un análisis no lineal tiempo historia considerando registros sísmicos peruanos.
3. Evaluar el factor de reducción sísmica tomando en cuenta los niveles de peligro sísmico en un tipo de suelo intermedio y blando considerando la variación de las alturas de las edificaciones y considerando un análisis no lineal tiempo historia considerando registros sísmicos peruanos.
4. Evaluar los niveles de desempeño de todos los sistemas estructurales de concreto armado (dual, muros estructurales y muros de ductilidad limitada) diseñadas con las normas peruanas E.030 y E.060 mediante un análisis no lineal tiempo historia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Bibliográficas**

- [1] Aguiar, R. Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte. Barcelona: Monografías de Ingeniería sísmica, 2007.
- [2] Aguiar, R. Análisis sísmico por desempeño. Ecuador: Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, 2003.
- [3] Bazán, Enrique y MELI, Roberto. Diseño sísmico de edificios. México D.F.: Limusa, 2002.
- [4] NAEIM, Farzad. The seismic design handbook. 2. ed. New York: Springer, 2001.
- [5] Sencico (2018). Reglamento Nacional de edificaciones E.020, E.030 y E.060.
- [6] Applied Technology Council. Structural response modification factors, ATC-19, California: ATC, 1995.
- [7] ASCE/SEI 41-13. Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2018.
- [8] FEMA 440. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2005.
- [9] Arias, F. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6° ed. Caracas: Editorial Episteme, 2012.
- [5] Barbat, A, Oller, S y Vielma, J. Monografía Arcer n° 5: Confinamiento y ductilidad de los edificios de hormigón armado. Madrid: Instituto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC), 2007.
- [7] Bozzo, Luis y BARBAT, Alex. Diseño sismorresistente de edificios. Barcelona: Editorial Reverté, 2004, 400 pp.
- [8] Fanella, David. Seismic detailing of concrete buildings. 3. ed. EE.UU.: Portland Cement Association (PCA), 2007, 69 pp.
- [9] Valderrama, Santiago. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta. 2 ed. Lima: San Marcos, 2013.
- [10] URBÁN, Pascual. Construcción de estructuras de hormigón armado. Adaptado a las instrucciones EHE, EFHE, NCSE-02 y CTE. 4. ed. España: Club Universitario, 2007, 526 pp.

**ANEXOS**

## ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO PARA LA OBTENCIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN SÍSMICA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO.					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES		METODOLOGÍA
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	Variable independiente: <b>Nivel de peligro sísmico</b>		<b>Método de investigación</b> Método científico.  <b>Tipo de investigación</b> Aplicada.  <b>Nivel de investigación</b> Descriptivo-explicativo.  <b>Diseño de investigación</b> Diseño cuasi experimental.  <b>Población</b> Edificaciones con sistema estructural de pórticos de concreto armado con una importancia de uso común en el Perú.
¿De qué manera el <b>nivel de peligro sísmico</b> influye en la obtención del <b>factor de reducción sísmica</b> de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado?	Determinar la influencia del <b>nivel de peligro sísmico</b> en la obtención del <b>factor de reducción sísmica</b> de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado.	El <b>nivel de peligro sísmico</b> influye significativamente en la obtención del <b>factor de reducción sísmica</b> de la norma peruana E.030-2018 en estructuras aporticadas de concreto armado.	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	
			Sismo severo en tipo de suelo muy rígido	- Periodo del suelo - Suelo tipo S1	
			Sismo severo en tipo de suelo blando	- Periodo del suelo - Suelo tipo S3	
			Nivel de desempeño	- Operacional - Ocupación inmediata - Seguridad de vida - Prevención al colapso	
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicos</b>	Variable dependiente: <b>Factor de reducción sísmica</b>		<b>Muestra</b> Por muestra no probabilístico dirigido. Estructuras aporticadas regulares de concreto armado de 3 y 10 niveles con un uso de oficinas. Ubicadas en las zonas sísmicas 1, 2, 3 y 4 y apoyadas en suelos del tipo muy rígido S1 y suelos del tipo blando S3 de acuerdo a la norma peruana E.030-2018
¿Cuál es el valor para un <b>sismo severo en tipo de suelo muy rígido</b> del <b>factor de reducción sísmica</b> para estructuras aporticadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú mediante un análisis estático no lineal?	Determinar el valor para un <b>sismo severo en tipo de suelo muy rígido</b> del <b>factor de reducción sísmica</b> para estructuras aporticadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú análisis estático no lineal.	Para un <b>sismo severo en tipo de suelo muy rígido</b> el <b>factor de reducción sísmica</b> obtenido mediante un análisis no lineal es menor a lo indicado en la norma peruana E.030-2018 para estructuras aporticadas de concreto armado.	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	
			Análisis sísmico	- Modos de vibración - Desplazamientos - Distorsiones	
¿Cuál es el valor para un <b>sismo severo en tipo de suelo blando</b> del <b>factor de reducción sísmica</b> en estructuras aporticadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú mediante un análisis estático no lineal?	Determinar el valor para un <b>sismo severo en tipo de suelo blando</b> del <b>factor de reducción sísmica</b> en estructuras aporticadas de concreto armado en las zonas sísmicas del Perú mediante un análisis estático no lineal.	Para un <b>sismo severo en tipo de suelo blando</b> el <b>factor de reducción sísmica</b> obtenido mediante un análisis no lineal es similar a lo indicado en la norma peruana E.030-2018 para estructuras aporticadas de concreto armado.	Diseño estructural	- Dimensiones de vigas y columnas - Acero de refuerzo en vigas y columnas.	
			Análisis no lineal	- Ductilidad - sobre resistencia - redundancia	
¿Qué <b>nivel de desempeño</b> se obtiene al aplicar el <b>factor de reducción sísmica</b> de acuerdo a lo indicado en la norma E.030-2018?	Identificar qué <b>nivel de desempeño</b> se obtiene al aplicar el <b>factor de reducción sísmica</b> de acuerdo a lo indicado en la norma E.030-2018.	Se obtiene un <b>nivel de desempeño</b> de seguridad de vida al aplicar el <b>factor de reducción sísmica</b> de acuerdo a lo indicado en la norma E.030-2018.			