



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Estructuración de edificaciones esenciales y su comparación  
en comportamiento y vulnerabilidad estructural, mediante  
modelación dinámica de diferentes tipologías constructivas.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE ONSTRUCCIONES**

**Autores:**

**ERICK PAÚL CABRERA BERMEO**

**MATEO XAVIER TORRES RODAS**

**Director:**

**JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO**

**CUENCA – ECUADOR  
2016**

## DEDICATORIA

A mis padres Patricio y Gladys, por su apoyo incondicional, su confianza y por guiarme a ser la persona que soy.

A mis abuelos, por aconsejarme en todo momento y por velar siempre por mi bienestar y a mi hermana Eduarda para que este importante logro le sirva de ejemplo para cumplir cualquier objetivo.

**-Erick Paúl Cabrera Bermeo**

Dedico este trabajo a mis padres, Efrén y Lucía, quienes han sido y serán siempre mi apoyo incondicional que con su ejemplo de superación y entrega me han guiado a lo largo de toda mi vida, gracias a ustedes hoy puedo alcanzar esta meta; a mis hermanos Pablo, Julio y María Paz que han estado conmigo en todo momento, dándome ánimos siempre para continuar; a mi novia Jhuliza que con su apoyo y entusiasmo me han acompañado durante todo este proceso.

**-Mateo Xavier Torres Rodas.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos la fuerza y responsabilidad necesaria para culminar este ciclo de nuestra vida.

A nuestros padres y hermanos, quienes nos han enseñado que la perseverancia y responsabilidad se las debe vivir día a día, gracias a ellos hemos alcanzado una de las metas más importantes.

A nuestros amigos y familiares, que nos han acompañado y apoyado en este largo camino.

A los ingenieros José Vázquez Calero director de tesis quien nos guío durante toda esta etapa y Pablo Torres Rodas quien fue un apoyo fundamental durante la elaboración de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1
 <b>CAPÍTULO I: DEFINICIONES ESTRUCTURALES .....</b>	 <b>3</b>
1.1    Introducción.....	3
1.2    Compilación de información de tipologías estructurales según la norma ecuatoriana de construcción (NEC).....	4
1.3    Definiciones estructurales .....	6
1.3.1    Sistemas estructurales .....	6
1.3.2    Ductilidad.....	10
1.3.3    Piso débil.....	16
1.3.4    Piso blando.....	17
1.3.5    Rótula plástica.....	19
1.4    Compilación de información sobre tipos de suelos en la ciudad de Cuenca	19
1.5    Redundancia estructural .....	22
1.6    Sistema de un grado de libertad .....	24
1.7    Excitación arbitraria .....	26

1.8	Excitación en la base .....	27
1.9	Conclusiones .....	28

## **CAPÍTULO II: GEOMETRÍA ESTRUCTURAL, MODELACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS..... 29**

2.1	Introducción.....	29
2.2	Tipos de edificaciones regulares e irregulares modelados .....	29
2.3	Agrupación de cargas y pre dimensionamiento estructural.....	33
2.3.1	Agrupación de cargas.....	33
2.3.2	Pre dimensionamiento de elementos estructurales.....	38
2.4	Elaboración de modelos idealizados de estructuras varando las características de cada edificación .....	41
2.5	Obtención de derivas .....	82
2.5.1	Derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura .....	82
2.6	Obtención de cortante basal dinámico.....	85
2.6.1	Cortante basal dinámico según su regularidad e irregularidad en planta y altura	85
2.7	Obtención de periodo de diseño .....	87
2.7.1	Periodo de diseño según su regularidad e irregularidad en planta y altura	87
2.7.2	Periodo de diseño según el número de pisos de las edificaciones .....	89
2.8	Obtención de aceleración .....	90
2.8.1	Aceleración según su regularidad e irregularidad en planta y altura ....	90
2.8.2	Aceleración según el número de pisos de las edificaciones.....	92
2.9	Obtención de cuantía de obra .....	93
2.9.1	Cuantía de obra según su regularidad e irregularidad en planta y altura	93
2.9.2	Cuantía de obra según el número de pisos de las edificaciones.....	95
2.10	Obtención de excentricidad centro de masa – centro de rigidez .....	96
2.10.1	Excentricidad centro de masa – centro de rigidez según su regularidad e irregularidad en planta y altura.....	96

2.11 Conclusiones .....	97
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS NO LINEAL DE LAS EDIFICACIONES .....</b>	<b>99</b>
3.1 Introducción.....	99
3.2 Análisis estático no lineal .....	100
3.3 Análisis dinámico no lineal .....	103
3.4 Modelación de la no Linealidad de los Materiales .....	104
3.4.1 Modelo de plasticidad concentrada .....	104
3.4.2 Modelo de plasticidad por fibras .....	107
3.4.3 Comportamiento de las rotulas plásticas.....	111
3.5 Elaboración de modelos mediante análisis no lineal (push over) .....	112
3.6 Obtención de desplazamientos: .....	135
3.6.1 Desplazamientos para luces menores a 6m: .....	135
3.6.2 Desplazamientos para luces mayores a 6m: .....	136
3.7.1 Cortante basal para luces menores a 6m: .....	137
3.7.2 Cortante basal para luces mayores a 6m: .....	138
3.8 Conclusiones .....	139
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>140</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>143</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>145</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Definición de resistencia o capacidad estructural.....	11
Figura 1.2: CANTÓN CUENCA: Clasificación Geológica. - Formación Volcánica	20
Figura 1.3: Carretera afectada por la licuefacción .....	22
Figura 1.4: Dinámica estructural aplicada al diseño sismo resistente 1.....	24
Figura 1.5: Dinámica estructural aplicada al diseño sismo resistente 2.....	26
Figura 1.6: Dinámica estructural aplicada al diseño sismo resistente 3.....	27
Figura 2.1: Espectro elástico de aceleraciones.....	37
Figura 2.2: Sección de viga luz menor a 6 m.....	39
Figura 2.3: Sección de viga luz mayor a 6 m.....	39
Figura 2.4: Ejemplo de sección de columna en los niveles de la estructura .....	40
Figura 2.5: Sección de losa casetonada bidireccional.....	41
Figura 2.6: Modelo 1: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	41
Figura 2.7: Modelo 2: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro .....	41
Figura 2.8: Modelo 3: 3 plantas, 3 ejes luces menores a 6 m, irregular en altura, sin muro .....	42
Figura 2.9: Modelo 4: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	42
Figura 2.10: Modelo 5: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro .....	42
Figura 2.11: Modelo 6: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro .....	43
Figura 2.12: Modelo 7: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	43
Figura 2.13: Modelo 8: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	43
Figura 2.14: Modelo 9: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	44
Figura 2.15: Modelo 10: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	44
Figura 2.16: Modelo 11: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	44
Figura 2.17: Modelo 12: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	45
Figura 2.18: Modelo 13: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	45
Figura 2.19: Modelo 14: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	45
Figura 2.20: Modelo 15: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	46

Figura 2.21: Modelo 16: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	46
Figura 2.22: Modelo 17: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	46
Figura 2.23: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	47
Figura 2.24: Modelo 19: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro .....	47
Figura 2.25: Modelo 20: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	47
Figura 2.26: Modelo 21: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	48
Figura 2.27: Modelo 22: 4 plantas, 4 ejes luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	48
Figura 2.28: Modelo 22: 4 plantas, 4 ejes luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	48
Figura 2.29: Modelo 23: 44 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	49
Figura 2.30: Modelo 24: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	49
Figura 2.31: Modelo 25: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	49
Figura 2.32: Modelo 26: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	50
Figura 2.33: Modelo 27: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	50
Figura 2.34: Modelo 28: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro .....	50
Figura 2.35: Modelo 29: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	51
Figura 2.36: Modelo 30: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	51
Figura 2.37: Modelo 31: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	51
Figura 2.38: Modelo 32: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	52
Figura 2.39: Modelo 33: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	52
Figura 2.40: Modelo 34: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	52
Figura 2.41: Modelo 35: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	53
Figura 2.42: Modelo 36: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	53
Figura 2.43: Modelo 37: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	53

Figura 2.44: Modelo 38: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	54
Figura 2.45: Modelo 39: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	54
Figura 2.46: Modelo 40: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	54
Figura 2.47: Modelo 41: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	55
Figura 2.48: Modelo 42: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	55
Figura 2.49: Modelo 43: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	55
Figura 2.50: Modelo 44: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	56
Figura 2.51: Modelo 45: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	56
Figura 2.52: Modelo 46: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	56
Figura 2.53: Modelo 47: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	57
Figura 2.54: Modelo 48: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	57
Figura 2.55: Modelo 49: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	57
Figura 2.56: Modelo 50: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	58
Figura 2.57: Modelo 51: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	58
Figura 2.58: Modelo 52: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	58
Figura 2.59: Modelo 53: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	59
Figura 2.60: Modelo 54: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	59
Figura 2.61: Modelo 55: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro .....	59
Figura 2.62: Modelo 56: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	60
Figura 2.63: Modelo 57: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	60
Figura 2.64: Modelo 58: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	60
Figura 2.65: Modelo 59: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	61
Figura 2.66: Modelo 60: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	61

Figura 2.67: Modelo 61: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	61
Figura 2.68: Modelo 62: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	62
Figura 2.69: Modelo 63: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	62
Figura 2.70: Modelo 64: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro .....	62
Figura 2.71: Modelo 65: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	63
Figura 2.72: Modelo 66: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	63
Figura 2.73: Modelo 67: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	63
Figura 2.74: Modelo 68: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	64
Figura 2.75: Modelo 69: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	64
Figura 2.76: Modelo 70: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	64
Figura 2.77: Modelo 71: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	65
Figura 2.78: Modelo 72: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	65
Figura 2.79: Modelo 73: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	65
Figura 2.80: Modelo 74: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	66
Figura 2.81: Modelo 75: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	66
Figura 2.82: Modelo 76: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	66
Figura 2.83: Modelo 77: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	67
Figura 2.84: Modelo 78: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	67
Figura 2.85: Modelo 79: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	67
Figura 2.86: Modelo 80: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	68
Figura 2.87: Modelo 81: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	68
Figura 2.88: Modelo 82: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	68
Figura 2.89: Modelo 83: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	69

Figura 2.90: Modelo 84: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	69
Figura 2.91: Modelo 85: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	69
Figura 2.92: Modelo 86: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	70
Figura 2.93: Modelo 87: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	70
Figura 2.94: Modelo 88: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	70
Figura 2.95: Modelo 89: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	71
Figura 2.96: Modelo 90: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	71
Figura 2.97: Modelo 91: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro .....	71
Figura 2.98: Modelo 92: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	72
Figura 2.99: Modelo 93: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	72
Figura 2.100: Modelo 94: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	72
Figura 2.101: Modelo 95: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	73
Figura 2.102: Modelo 96: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo .....	73
Figura 2.103: Modelo 97: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	73
Figura 2.104: Modelo 98: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	74
Figura 2.105: Modelo 99: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	74
Figura 2.106: Modelo 100: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	74
Figura 2.107: Modelo 101: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	75
Figura 2.108: Modelo 102: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo.....	75
Figura 2.109: Modelo 103: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	75
Figura 2.110: Modelo 104: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	76
Figura 2.111: Modelo 105: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo.....	76
Figura 2.112: Modelo 106: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	76

Figura 2.113: Modelo 107: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	77
Figura 2.114: Modelo 108: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	77
Figura 2.115: Modelo 109: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	77
Figura 2.116: Modelo 110: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	78
Figura 2.117: Modelo 111: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo .....	78
Figura 2.118: Modelo 112: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro.....	78
Figura 2.119: Modelo 113: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno .....	79
Figura 2.120: Modelo 114: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular con muro externo .....	79
Figura 2.121: Modelo 115: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro.....	79
Figura 2.122: Modelo 116: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno .....	80
Figura 2.123: Modelo 117: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	80
Figura 2.124: Modelo 118: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro.....	80
Figura 2.125: Modelo 119: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno .....	81
Figura 2.126: Modelo 120: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo .....	81
Figura 2.127: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m .....	82
Figura 2.128: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m .....	83
Figura 2.129: Comparación de deriva según el número de pisos .....	84
Figura 2.130: Cortante basal dinámico para luces mayores de 6m.....	85
Figura 2.131: Cortante basal dinámico para luces mayores de 6m.....	86
Figura 2.132: Cortante basal dinámico .....	87
Figura 2.133: Periodo de diseño para luces mayores de 6m .....	88
Figura 2.134: Periodo de diseño para luces menores de 6m.....	89
Figura 2.135: Periodo de diseño.....	90
Figura 2.136: Aceleración para luces mayores a 6m .....	91
Figura 2.137: Aceleración para luces menores a 6m .....	91
Figura 2.138: Aceleración.....	92
Figura 2.139: Cuantía de obra para luces mayores de 6m .....	93
Figura 2.140: Cuantía de obra para luces menores de 6m .....	94
Figura 2.141: Cuantía de obra.....	95
Figura 2.142: Excentricidad centro de masa–centro de rigidez para luces mayores a 6m.....	96

Figura 2.143: Excentricidad centro de masa–centro de rigidez para luces menores a 6m.....	97
Figura 3.1: Curva de Capacidad.....	101
Figura 3.2: Esquema del procedimiento para determinar la curva de capacidad.....	101
Figura 3.3: Diagrama momento - curvatura.....	105
Figura 3.4: Modelo de plasticidad concentrada. ....	106
Figura 3.5: Modelo de análisis por fibras de secciones de concreto reforzado.....	108
Figura 3.6: Modelo de miembro estructural con secciones de Gauss.....	109
Figura 3.7: Modelo de sistema local en puntos de control.....	109
Figura 3.8: Aplicación del modelado por fibras.....	111
Figura 3.9: Fuerza contra desplazamiento en articulaciones .....	112
Figura 3.10: Modelo 1: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, regular, sin muro ..	112
Figura 3.11: Deformada del modelo 1 por análisis no lineal (push over).....	112
Figura 3.12: Modelo 2: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular, con muro interno .....	113
Figura 3.13: Deformada del modelo 2 por análisis no lineal (push over).....	113
Figura 3.14: Modelo 3: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular, sin muro ..	113
Figura 3.15: Deformada del modelo 3 por análisis no lineal (push over).....	114
Figura 3.16: Modelo 4: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular, con muro interno .....	114
Figura 3.17: Deformada del modelo 4 por análisis no lineal (push over).....	114
Figura 3.18: Modelo 5: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular, con muro externo.....	115
Figura 3.19: Deformada del modelo 5 por análisis no lineal (push over).....	115
Figura 3.20: Modelo 6: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, regular, sin muro ..	115
Figura 3.21: Deformada del modelo 6 por análisis no lineal (push over).....	116
Figura 3.22: Modelo 7: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular, sin muro .....	116
Figura 3.23: Deformada del modelo 7 por análisis no lineal (push over).....	116
Figura 3.24: Modelo 8: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular, sin muro ..	117
Figura 3.25: Deformada del modelo 8 por análisis no lineal (push over).....	117
Figura 3.26: Modelo 9: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular, con muro interno .....	117
Figura 3.27: Deformada del modelo 9 por análisis no lineal (push over).....	118
Figura 3.28: Modelo 10: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular, con muro interno .....	118
Figura 3.29: Deformada del modelo 11 por análisis no lineal (push over).....	118
Figura 3.30: Modelo 11: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular, con muro externo.....	119
Figura 3.31: Deformada del modelo 11 por análisis no lineal (push over).....	119
Figura 3.32: Modelo 12: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular, en planta sin muro.....	119
Figura 3.33: Deformada del modelo 12 por análisis no lineal (push over).....	120
Figura 3.34: Modelo 13: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta, con muro interno .....	120
Figura 3.35: Deformada del modelo 13 por análisis no lineal (push over).....	120

Figura 3.36: Modelo 14: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta, sin muro.....	121
Figura 3.37: Deformada del modelo 14 por análisis no lineal (push over).....	121
Figura 3.38: Modelo 15: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta, con muro interno .....	121
Figura 3.39: Deformada del modelo 15 por análisis no lineal (push over).....	122
Figura 3.40: Modelo 16: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	122
Figura 3.41: Deformada del modelo 16 por análisis no lineal (push over).....	122
Figura 3.42: Modelo 17: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo.....	123
Figura 3.43: Deformada del modelo 17 por análisis no lineal (push over).....	123
Figura 3.44: Modelo 18: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, sin muro.....	123
Figura 3.45: Deformada del modelo 18 por análisis no lineal (push over).....	124
Figura 3.46: Modelo 19: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, sin muro .....	124
Figura 3.47: Deformada del modelo 19 por análisis no lineal (push over).....	124
Figura 3.48: Modelo 20: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, sin muro.....	125
Figura 3.49: Deformada del modelo 20 por análisis no lineal (push over).....	125
Figura 3.50: Modelo 21: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro interno .....	125
Figura 3.51: Deformada del modelo 21 por análisis no lineal (push over).....	126
Figura 3.52: Modelo 22: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro externo.....	126
Figura 3.53: Deformada del modelo 22 por análisis no lineal (push over).....	126
Figura 3.54: Modelo 23: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro interno .....	127
Figura 3.55: Deformada del modelo 23 por análisis no lineal (push over).....	127
Figura 3.56: Modelo 24: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro externo.....	127
Figura 3.57: Deformada del modelo 24 por análisis no lineal (push over).....	128
Figura 3.58: Modelo 25: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro externo.....	128
Figura 3.59: Deformada del modelo 25 por análisis no lineal (push over).....	128
Figura 3.60: Modelo 26: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro interno .....	129
Figura 3.61: Deformada del modelo 26 por análisis no lineal (push over).....	129
Figura 3.62: Modelo 27: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, sin muro.....	129
Figura 3.63: Deformada del modelo 27 por análisis no lineal (push over).....	130
Figura 3.64: Modelo 28: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, con muro interno .....	130
Figura 3.65: Deformada del modelo 28 por análisis no lineal (push over).....	130
Figura 3.66: Modelo 29: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, con muro interno .....	131

Figura 3.67: Deformada del modelo 29 por análisis no lineal (push over).....	131
Figura 3.68: Modelo 30: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, muro externo .....	131
Figura 3.69: Deformada del modelo 30 por análisis no lineal (push over).....	132
Figura 3.70: Modelo 31: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro externo.....	132
Figura 3.71: Deformada del modelo 31 por análisis no lineal (push over).....	132
Figura 3.72: Modelo 32: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro externo .....	133
Figura 3.73: Deformada del modelo 32 por análisis no lineal (push over).....	133
Figura 3.74: Modelo 33: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro interno .....	133
Figura 3.75: Deformada del modelo 33 por análisis no lineal (push over).....	134
Figura 3.76: Modelo 34: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro externo .....	134
Figura 3.77: Deformada del modelo 34 por análisis no lineal (push over).....	134
Figura 3.78: Desplazamientos para luces menores a 6m .....	135
Figura 3.79: Desplazamientos para luces mayores a 6m .....	136
Figura 3.80: Cortante basal para luces menores a 6m.....	137
Figura 3.81: Cortante basal para luces mayores a 6m.....	138

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Categoría de edificio y factor de importancia.....	2
Tabla 1.2: Clasificación de los Sistemas Estructurales Dúctiles (NEC-14).....	5
Tabla 1.3: Clasificación de los Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada.....	6
Tabla 2.1: Tipos de edificaciones regulares e irregulares modelados.....	29
Tabla 2.2: Símbolo y notación de cargas .....	33
Tabla 2.3: Combinaciones de cargas.....	34
Tabla 2.4: Pesos unitarios de materiales de construcción .....	34
Tabla 2.5: Cálculo de la carga permanente .....	34
Tabla 2.6: Carga viva dependiendo su uso.....	35
Tabla 2.7: Pre dimensionamiento de vigas con luz menor a 6 m.....	38
Tabla 2.8: Pre dimensionamiento de vigas con luz mayor a 6 m.....	39
Tabla 2.9: Pre dimensionamiento de losa nervada bidireccional .....	40
Tabla 2.10: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m .....	82
Tabla 2.11: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m .....	83
Tabla 2.12: Comparación de deriva según el número de pisos.....	84
Tabla 2.13: Comparación de cortante basal dinámico según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m.....	85
Tabla 2.14: Comparación de cortante basal dinámico según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m.....	86
Tabla 2.15: Comparación de cortante basal dinámico según el número de pisos.....	86
Tabla 2.16: Comparación del periodo de diseño según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m.....	87
Tabla 2.17: Comparación del periodo de diseño según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m.....	88
Tabla 2.18: Comparación de periodo de diseño según el número de pisos .....	89
Tabla 2.19: Comparación de la aceleración sísmica según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m.....	90
Tabla 2.20: Comparación de la aceleración sísmica según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m.....	91
Tabla 2.21: Comparación de aceleración sísmica según el número de pisos.....	92
Tabla 2.22: Comparación de la cuantía de obra según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m.....	93
Tabla 2.23: Comparación de la cuantía de obra según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m.....	94
Tabla 2.24: Comparación de cuantía de obra según el número de pisos .....	95
Tabla 2.25: Comparación de la excentricidad centro de masa – centro de rigidez según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m...	96
Tabla 2.26: Comparación de la excentricidad centro de masa – centro de rigidez según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m...	97

Tabla 3.1: Desplazamientos para luces menores a 6m.....	135
Tabla 3.2: Desplazamientos para luces mayores a 6m.....	136
Tabla 3.3: Cortante basal para luces menores a 6m.....	137
Tabla 3.4: Cortante basal para luces mayores a 6m.....	138

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE MODELOS .....	145
ANEXO 2. DERIVAS OBTENIDAS .....	166
ANEXO 3. CORTANTE BASAL DINÁMICO .....	176
ANEXO 4. PERIODO DE DISEÑO .....	189
ANEXO 5. ACELERACIÓN DE DISEÑO .....	198
ANEXO 6. CUANTÍA DE OBRA .....	206
ANEXO 7. EXCENTRICIDAD CENTRO MASA – CENTRO RIGIDEZ .....	210
ANEXO 8. RESISTENCIA DE MUROS Y COLUMNAS .....	218
ANEXO 9. DERIVA DE COLUMNAS .....	234
ANEXO 10. CORTANTE BASAL .....	240
ANEXO 11. PERIODO DE DISEÑO .....	246
ANEXO 12. ACELERACIÓN DE DISEÑO .....	252
ANEXO 13. CUANTIA DE OBRA .....	258
ANEXO 14. EXCENTRICIDAD CENTRO MASA – CENTRO RIGIDEZ .....	261
ANEXO 15. CORTANTE RESISTIDO POR COLUMNAS .....	268
ANEXO 16. CORTANTE RESISTIDO POR MUROS .....	274
ANEXO 17. CORTANTE RESISTIDO POR COLUMNAS .....	280
ANEXO 18. CORTANTE RESISTIDO POR MUROS .....	286

**ESTRUCTURACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES Y SU  
COMPARACIÓN EN COMPORTAMIENTO Y VULNERABILIDAD  
ESTRUCTURAL, MEDIANTE MODELACIÓN DINÁMICA DE  
DIFERENTES TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS**

**RESUMEN**

La actual investigación presenta el comportamiento estructural de diferentes edificaciones, variando su altura, número de ejes resistentes, luces, regularidad tanto en planta como en altura y muros de corte externos e internos. Primero se realizó un análisis lineal de todos los modelos planteados con la ayuda del software estructural CYPECAD, en el que se encontró y se comparó los principales criterios para un diseño sismo resistente; posteriormente se clasificó las edificaciones de acuerdo a su comportamiento estructural. Finalmente se realizó un análisis no lineal de los modelos previamente clasificados con la ayuda del software estructural SAP 2000.

**Palabras Clave:** Modelos, estructura, vulnerabilidad, sismo, pushover, análisis lineal, análisis no lineal.



\_\_\_\_\_  
José Fernando Vázquez Calero  
Director del Trabajo de Titulación



\_\_\_\_\_  
Paúl Cornelio Cordero Díaz  
Director de Escuela



\_\_\_\_\_  
Erick Paúl Cabrera Bermeo



\_\_\_\_\_  
Mateo Xavier Torres Rodas

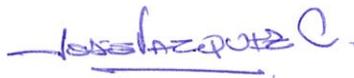
**Autores**

**STRUCTURING OF ESSENTIAL BUILDINGS AND ITS COMPARISON IN  
STRUCTURAL BEHAVIOR AND VULNERABILITY, THROUGH DYNAMICS  
MODELING OF DIFFERENT TYPES OF CONSTRUCTION**

**ABSTRACT**

Current research presents the structural behavior of different buildings, varying in height, number of resistant axles, lights, regularity in both plant and height, and external and internal walls. First a linear analysis of all the proposed models was performed with the help of CYPECAD structural software, which allowed finding and comparing the main criteria for earthquake resistant design. Then, the buildings were classified according to their structural behavior. Finally, a nonlinear analysis of the previously classified models was carried out by using the SAP 2000 structural software.

**Keywords:** Models, Structure, Vulnerability, Earthquake, Pushover, Linear Analysis, Nonlinear Analysis.



José Fernando Vázquez Calero  
**Thesis Director**



Paúl Cornelio Cordero Díaz  
**School Director**



Erick Paúl Cabrera Bermeo

Mateo Torres Rodas.  
Mateo Xavier Torres Rodas

**Authors**



  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Cabrera Bermeo Erick Paúl

Torres Rodas Mateo Xavier

Trabajo de graduación

Ing. José Vázquez Calero. M.Sc

Junio, 2016

**ESTRUCTURACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES Y SU  
COMPARACIÓN EN COMPORTAMIENTO Y VULNERABILIDAD  
ESTRUCTURAL, MEDIANTE MODELACIÓN DINÁMICA DE  
DIFERENTES TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS.**

**INTRODUCCIÓN**

Cuenca se caracteriza por estar en una zona de peligro sísmico alta, por lo que es de gran importancia que todas las construcciones y, sobre todo las edificaciones importantes se diseñen y construyan de una manera adecuada.

Durante estos últimos años la investigación sobre estructuras sismo resistentes ha prosperado de manera importante, por lo que las normas vigentes de nuestro país (NEC) nos recomiendan diferentes tipologías estructurales (grupos estructurales); esto con el fin de generar edificaciones sismo resistentes, de esta manera previendo que ante un sismo de magnitud considerable estas edificaciones no colapsen, o no se produzcan daños graves.

Además de la caracterización de los sistemas estructurales, debemos tomar en cuenta varios aspectos como el tipo de suelo, el periodo de vibración y factores de ductilidad sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de la estructura en condiciones limite (NEC). Pero sobre todo hay que analizar la forma de las edificaciones. “Las formas y proporciones de los edificios, desempeñan una función fundamental en la magnitud y distribución de las fuerzas horizontales a través del edificio” (Llanes Burón, 2015). Por lo que, para un mejor desempeño de la edificación, debemos no sobrepasar los límites permitidos en cuanto a irregularidades en planta y elevación.

Edificaciones tales como: hospitales, clínicas, centros de salud, instalaciones militares, policía, bomberos, etc. son edificaciones esenciales para la población; por lo que la norma las cataloga como edificaciones con un “factor de importancia de 1.5” (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014); un factor de importancia alto ya que son las edificaciones que ante un sismo deben permanecer funcionales.

Cabe recalcar que se utilizará los siguientes códigos base para el diseño; AISC 360-10 para los sistemas con acero estructural, AISI 100-2007 para los sistemas con acero conformado, ACI 318-11 para sistemas con hormigón armado y NEC-14 para condiciones de cargas y diseño sismo resistente.

Tabla 1.1: Categoría de edificio y factor de importancia

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

Fuente: (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014)

## CAPÍTULO I

### DEFINICIONES ESTRUCTURALES

#### 1.1 Introducción

El diseño estructural abarca las diversas actividades que desarrolla el proyectista para determinar la forma, dimensiones y características detalladas de una estructura, o sea de aquella parte de una construcción que tiene como función, absorber las solicitudes que se presentan durante las distintas etapas de su existencia.

El diseño estructural se encuentra incluido en el proceso más general del proyecto de una obra civil, en el cual se definen las características que debe tener en la construcción, para cumplir de manera adecuada las funciones que está destinada a desempeñar. Un requisito esencial para que la construcción cumpla sus funciones es que no sufra fallas o mal comportamiento, debido a su incapacidad para soportar las cargas que sobre ella se imponen. Junto con éste, deben cuidarse otros aspectos, como los relativos al funcionamiento y a la habitabilidad, que en general son responsabilidad de otros especialistas. Evidentemente, dada la multitud de aspectos que deben considerarse, el proceso mediante el cual se crea una construcción moderna puede ser de gran complejidad.

Una construcción u obra puede concebirse como un sistema, entendiéndose por un sistema un conjunto de subsistemas y elementos que se combinan en forma ordenada para cumplir con determinada función. Un edificio, por ejemplo, está integrado por varios subsistemas: el de los elementos arquitectónicos para encerrar espacios, el estructural, las instalaciones eléctricas, las sanitarias, las de acondicionamiento de aire y los elevadores. Todos estos subsistemas interactúan de modo que en su diseño debe tenerse en cuenta la relación que existe entre ellos. Así, no puede confiarse que lograr la solución óptima para cada uno de ellos, por separado, conduzca a la solución óptima para el edificio en su totalidad.

Con demasiada frecuencia esta interacción entre los subsistemas de una construcción se considera sólo en forma rudimentaria. En la práctica tradicional el diseño de un edificio, suele realizarse por la superposición sucesiva de los proyectos de los diversos subsistemas que lo integran. El arquitecto propone un proyecto arquitectónico a veces con escasa atención a los problemas estructurales implícitos en su diseño. El ingeniero estructural procura adaptarse lo mejor posible a los requisitos arquitectónicos planteados, con frecuencia con conocimiento limitado de los requisitos de las diversas instalaciones. Por último, los proyectistas de éstas, formulan sus diseños con base en los proyectos arquitectónicos y estructurales.

El proyecto general definitivo se logra después de que los diversos especialistas, han hecho las correcciones y ajustes indispensables en sus proyectos respectivos. En esta forma de proceder, cada especialista encargado de una parte del proyecto tiende a dar importancia sólo a los aspectos del proyecto que le atañen, sin tener en cuenta si la solución que está proponiendo es inadmisibile o inconveniente para el cumplimiento de otras funciones. En particular el ingeniero estructural no debe olvidar que las obras no se construyen para que resistan. Se construyen para alguna otra finalidad o función que lleva, como consecuencia esencial, el que la construcción mantenga su forma y condiciones a lo largo del tiempo. Su resistencia es una condición fundamental, pero no es la finalidad única, ni siquiera la finalidad primaria. Debe tener siempre presente que el proyecto no constituye un fin por sí mismo, sino que representa sólo una parte del proceso que conduce a la construcción de una obra terminada.

## **1.2 Compilación de información de tipologías estructurales según la norma ecuatoriana de construcción (NEC)**

Para que una edificación no sufra daños considerables ante la presencia de un evento sísmico; se tiene que utilizar tipos de sistemas estructurales, que puede ser tanto en acero como en hormigón armado.

La norma ecuatoriana de la construcción clasifica a las estructuras de acuerdo al factor R que es el que “permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño” (NEC-14), este factor depende del “tipo de estructura, tipo de suelo, periodo de

vibración considerado, factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite” (NEC-14).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción clasifica en dos grandes grupos estructurales los cuales son Sistemas Estructurales Dúctiles y Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada.

Tabla 1.2: Clasificación de los Sistemas Estructurales Dúctiles (NEC-14)

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales Dúctiles	R
<b>Sistemas Duales</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras, sean de hormigón o acero laminado en caliente.	7
Pórticos de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	7
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	7
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	6
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Fuente: (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014)

Tabla 1.3: Clasificación de los Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada.

<b>Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada</b>		<b>R</b>
<b>Pórticos resistentes a momento</b>		
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.		3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> con armadura electrosoldada de alta resistencia		2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.		2.5
<b>Muros estructurales portantes</b>		
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.		1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.		3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.		3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.		3

Fuente: (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014)

### 1.3 Definiciones estructurales

#### 1.3.1 Sistemas estructurales

Un sistema estructural deriva su carácter único de cierto número de consideraciones; consideradas por separados, son las siguientes: (NEC, CARGAS NO SÍSMICAS, 2014):

- Funciones estructurales específicas, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión; para cubrir claros horizontales, verticalmente; en voladizo u horizontal.
- La forma geométrica u orientación.
- El o los materiales de los elementos.
- La forma y unión de los elementos.
- La forma de apoyo de la estructura.
- Las condiciones específicas de carga.
- Las consideraciones de usos impuestas.
- Las propiedades de los materiales, procesos de producción y la necesidad de funciones especiales como desarmar o mover.

Existen características para calificar los sistemas disponibles que satisfagan una función específica. Los siguientes puntos son algunas de estas características:

- Economía
- Necesidades estructurales especiales
- Problemas de diseño
- Problemas de construcción
- Material y limitación de escala

### 1.3.1.1 Clasificación de los sistemas estructurales

- **Estructuras macizas:** Son aquellas en las que la resistencia y la estabilidad se logran mediante la masa, aun cuando la estructura no se completamente sólida.
- **Estructuras reticulares:** Consiste en una red de elementos ensamblados
- **Estructuras superficiales:** Pueden tener alto rendimiento debido a su función doble como estructura y envolvente, pueden ser muy estables y fuertes.
- **Tipos de estructuras:** Muros estructurales; cuando este sistema se utiliza tiene dos elementos distintivos en la estructura general del edificio:
  - Muros: Utilizados para dar estabilidad lateral, así como apoyo a los elementos que cubren el claro. Generalmente son elementos a compresión. Pueden ser monolíticos o entramados ensamblados de muchas piezas. Aunque no se utilizan para transmisión de carga vertical, se utilizan a menudo para dar estabilidad lateral.
  - Elementos para cubrir claros: Funcionan como pisos y techos. Dentro de estos se encuentran una gran variedad de ensambles, desde simples tableros de madera y viguetas hasta unidades de concreto premezclado o armaduras de acero.

### 1.3.1.2 Sistema de columnas y vigas

El uso de troncos y árboles en las culturas primitivas como elementos de construcción fue el origen de este sistema básico, la cual es técnica constructiva importantes del repertorio estructural.

Los dos elementos básicos son:

- Columna: es un elemento que trabaja a compresión lineal y está sujeto a aplastamiento o pandeo, dependiendo de su esbeltez relativa.
- Viga: básicamente es un elemento lineal sujeto a una carga transversal; debe generar resistencia interna a los esfuerzos cortantes y de flexión, y resistir deflexión excesiva. La estructura de vigas y postes requiere el uso de un sistema estructural secundario de relleno, para producir las superficies de los muros, pisos y techos.

Algunas variaciones de este sistema son:

- Extensión de los extremos de las vigas
- Sujeción rígida de vigas y postes
- Sujeción rígida con extensión de los extremos de las vigas
- Ensanchamiento de los extremos del poste
- Viga continua

### **1.3.1.3 Marcos rígidos**

Cuando los elementos de un marco lineal están sujetos rígidamente, es decir, cuando las juntas son capaces de transferir flexión entre los miembros, el sistema asume un carácter particular. Si todas las juntas son rígidas, es imposible cargar algunos de los miembros transversalmente sin provocar la flexión de los demás.

### **1.3.1.4 Sistemas para cubrir claros planos**

Consiste en producir el sistema en dos sentidos del claro, en vez de uno solo. El máximo beneficio se deriva de una claro en dos direcciones, si los claros son iguales. Otro factor importante para incrementar el rendimiento, es mejorar la característica de la flexión de los elementos que cubren el claro.

### **1.3.1.5 Sistema de armaduras**

Una estructura de elementos lineales conectados mediante juntas o nudos se puede estabilizar de manera independiente por medio de tirantes o paneles con relleno rígido. Para ser estables internamente o por si misma debe cumplir con las

siguientes condiciones (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014):

- Uso de juntas rígidas
- Estabilizar una estructura lineal: Por medio de arreglos de los miembros en patrones rectangulares coplanares o tetraedros espaciales, a este se le llama celosía.
- Cuando le elemento estructural producido es una unidad para claro plano o voladizo en un plano, se llama armadura. Un elemento completo tiene otra clasificación: arco o torre de celosía.

#### **1.3.1.6 Sistema de arco, bóveda y cúpula**

El concepto básico del arco es tener una estructura para cubrir claros, mediante el uso de compresión interna solamente. El perfil del arco puede ser derivado geoméricamente de las condiciones de carga y soporte. Para un arco de un solo claro que no está fijo en la forma d resistencia a momento, con apoyos en el mismo nivel y con una carga uniformemente distribuida sobre todo el claro, la forma resultante es la de una curva de segundo grado o parábola. La forma básica es la curva convexa hacia abajo, si la carga es gravitacional (Marin, 2010).

#### **1.3.1.7 Estructuras a tensión**

La estructura de suspensión a tensión fue utilizada ampliamente por algunas sociedades primitivas, mediante el uso de líneas cuerdas tejidas de fibras o bambú deshebrado. Desde el punto de vista estructural, el cable suspendido es el inverso del arco, tanto en forma como en fuerza interna. La parábola del arco a compresión se jala para producir el cable a tensión. El acero es el principal material para este sistema y el cable es la forma lógica. (Marin, 2010)

#### **1.3.1.8 Estructuras de superficies**

Son aquellas que consisten en superficies extensas, delgadas y que funcionan para resolver solo fuerzas internas dentro de ellas. El muro que resiste la compresión, que estabiliza el edificio al resistir el cortante dentro de un plano, y al cubrir claros como una viga, actúa como una estructura de superficie. La bóveda y la cúpula son ejemplos de este tipo.

Las estructuras de superficie más puras son las que están sometidas a tensión. Las superficies a compresión deben de ser más rígidas que las que soportan tensión debido a la posibilidad de pandeo.

#### **1.3.1.9 Sistemas especiales**

Están recogidos en la norma ecuatoriana (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014):

- **ESTRUCTURAS INFLADAS:** Se utiliza inyección o presión de aire como recurso estructural en una variedad de formas.
- **ESTRUCTURAS LAMINARES:** es un sistema para moldear superficies de arco o bóveda, utilizando una red de nervaduras perpendiculares que aparecen como diagonales en planta.
- **CÚPULAS GEODÉSICAS:** ideada para formar superficies hemisféricas, se basa en triangulación esférica.
- **ESTRUCTURAS DE MÁSTIL:** existen estructuras similares a los árboles, que tienen piernas únicas para apoyo vertical y que soportan una serie de ramas. Requiere bases muy estables, bien ancladas contra el efecto del volteo provocado por fuerzas horizontales.

#### **1.3.2 Ductilidad**

Es la habilidad de un elemento o sistema estructural a deformarse más allá del límite elástico con aceptable reducción de la rigidez y resistencia. En la figura siguiente, se establece una comparación entre la respuesta estructural de una estructura dúctil y frágil. En la figura, “las curvas A (estructura frágil) y curva B (estructura dúctil), muestran la relación cortante-desplazamiento para sistemas estructurales con la misma rigidez y resistencia, pero con distinto post-pico comportamiento inelástico”. (Elnashai, A. S. & Di Sarno, 2008). Estructuras frágiles fallan a pocas deformaciones inelásticas después de alcanzar su resistencia máxima. El colapso de estas estructuras es repentino y no avisan. Opuestamente, las estructuras dúctiles, son capaces de mantener mayor cantidad de deformación inelástica luego de haber alcanzado el pico más alto de resistencia a cortante, manteniendo la rigidez y resistencia en rangos aceptables.

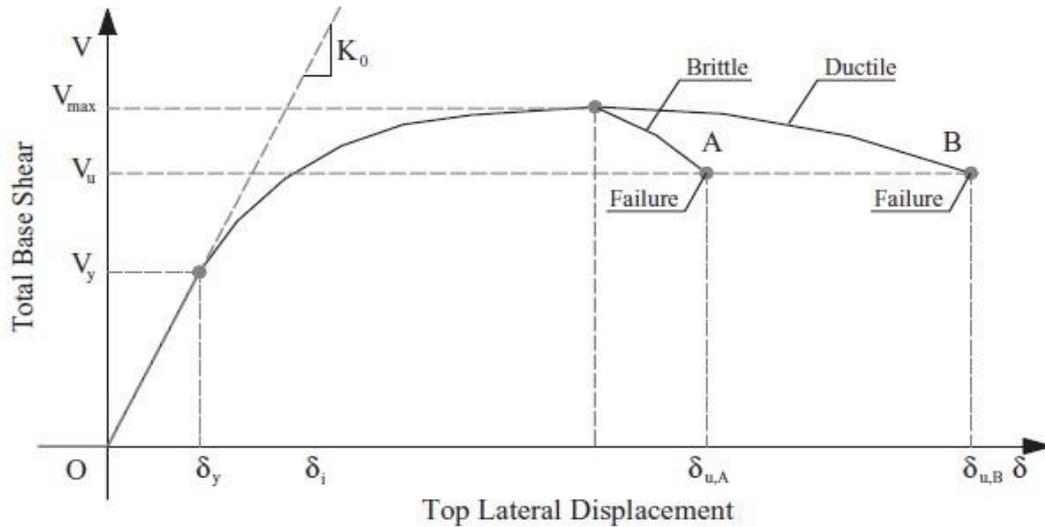


Figura 1.1: Definición de resistencia o capacidad estructural

Fuente: (Elnashai, A. S. & Di Sarno, 2008)

La mayoría de las estructuras son diseñadas por razones económicas, para comportarse inelásticamente bajo fuertes terremotos. Las amplitudes de respuesta de terremoto inducidas por vibraciones, dependen del nivel de energía de disipación de las estructuras, el cual es una función de su habilidad para absorber y disipar energía a través de deformaciones dúctiles. “Ha sido estudiado que para aceleraciones de 0.5g a 1.0g y para energía de disipación baja, las estructuras pueden desarrollar tensiones que corresponden a grandes cargas laterales” (Brattain, 1956). Consecuentemente, tales estructuras deben ser diseñadas, para resistir fuerzas laterales de la misma proporción a sus pesos para permanecer en el rango elástico. Esto es antieconómico en todas las aplicaciones prácticas, con excepción de las plantas nucleares, plataformas de alta mar, etc.

La definición general y analítica de ductilidad de desplazamiento viene dada como:

$$\mu_{\delta} = \frac{\Delta_U}{\Delta_Y}$$

Donde  $\Delta_u$  y  $\Delta_y$  son los desplazamientos últimos y de plastificación, respectivamente. Los desplazamientos  $\Delta$  pueden ser reemplazados por curvaturas, rotaciones u otra cantidad de deformación. El radio  $\mu$  se conoce como factor de ductilidad. Las siguientes ductilidades son usadas para medir la respuesta estructural:

- Ductilidad del material ( $\mu_{\epsilon}$ ), caracteriza la deformación plástica de los materiales

- Ductilidad de curvatura de sección ( $\mu_X$ ), relaciona las curvaturas plásticas de las secciones transversales
- Ductilidad de rotación de elemento ( $\mu_\theta$ ), cuantifica las rotaciones plásticas que pueden tomar lugar en los elementos estructurales; tales como vigas y columnas. Este tipo de ductilidad es empleada también para uniones entre miembros.
- Ductilidad estructural de desplazamiento ( $\mu_\delta$ ), es una medida global del desempeño inelástico de la estructura sujeta a cargas horizontales.

El desempeño inelástico de estructuras puede variar significativamente con el desplazamiento histórico (Akiyama, 1985). Por consiguiente, bajo cargas reversibles la definición de ductilidad provista en la ecuación anterior, puede que no refleje la máxima deformación experimentada por la estructura, debido a la respuesta cíclica bajo las cargas sísmicas, deformaciones plásticas residuales, rigidez cíclica y degradación de la resistencia. Alternativamente, se puede emplear los siguientes factores de ductilidad ( $\mu$ ):

- Definición de ductilidad basado en la respuesta cíclica: el factor está relacionado a las deformaciones cíclicas como se muestra a continuación:

$$\mu = \frac{|\Delta_{max}^+| + |\Delta_{max}^-|}{|\Delta_y^+| + |\Delta_y^-|}$$

Donde  $\Delta_{max}^+$  y  $\Delta_{max}^-$  son las deformaciones máximas positivas y negativas, respectivamente; y  $\Delta_y^+$  y  $\Delta_y^-$  son las deformaciones positivas y negativas para el punto de plastificación.

- Definición de ductilidad basado en la energía histerética: toda la respuesta histórica de la estructura es evaluada por la energía total disipada  $E_{t,H}$  y el factor de ductilidad puede ser expresado como:

$$\mu = \frac{E_{t,H}}{E_E}$$

Donde  $E_E$  es la energía elástica, también denominada como energía de deformación y se expresa como:

$$E_E = \frac{1}{2} F_y \delta_y$$

Donde  $F_y$  y  $\delta_y$  son la acción y deformación en la primera plastificación. La energía total disipada  $E_{t,H}$  antes de colapso puede ser calculada como:

$$E_{t,H} = \sum_{i=1}^N E_{i,H}$$

Donde la suma es de todos los ciclos  $N$  hasta la falla y  $E_{t,H}$  es la energía disipada en el  $i$ -ésimo ciclo.

### **Factores que influyen a la ductilidad**

A) Propiedades del material:

La ductilidad de los sistemas estructurales depende de la respuesta del material. Deformaciones inelásticas a nivel global requiere que los materiales posean alta ductilidad. El hormigón y la mampostería son materiales frágiles. Ellos presentan reducciones abruptas de resistencia y rigidez, después de alcanzar la máxima resistencia a compresión. Para mayor resistencia del hormigón, menor es la capacidad de deformación inelástica. Refuerzo puede ser utilizado en el hormigón y mampostería para aumentar la ductilidad. El hormigón confinado exhibe deformaciones inelásticas 5 a 15 veces que el hormigón no confinado. La deformación que presenta el hormigón para una resistencia máxima a compresión es de 0.3 a 0.4%, para todos los hormigones. El hormigón no confinado exhibe poca ductilidad ( $\mu_e$ ) a compresión. El confinamiento limita la reducción de resistencia post-pico, por consiguiente, incrementa la resistencia residual. Estudios han demostrado que los confinamientos circulares confinan mucho mejor al hormigón que los rectangulares o cuadrados (R. Park & T. Paulay, 1975). Confinamiento circular de barras, provee una presión de confinamiento circular debido a su forma. El hormigón confinado está sujeto a estados de tensiones multi-axiales, lo cual es beneficioso tanto para resistencia como ductilidad.

La ductilidad está relacionada directamente a energía de disipación; alta ductilidad es necesaria para disipar grandes cantidades de energía sísmica. Para materiales de construcción convencional, alta energía de absorción está asociada con altos niveles de daño. Ya que energía solo puede ser absorbida y disipada con deformaciones irreversibles. Para materiales nuevos e inteligentes como fluidos viscosos, grandes

cantidades de energía sísmica puede ser disipada con daño estructural limitado (Di Sarno & Elnashai, 2003 ).

#### B) Propiedades de la sección (Miramontes, 2012)

La respuesta dúctil de secciones de elementos estructurales diseñados para resistir momento flector, es generalmente medida a partir de la ductilidad de curvatura, la cual se expresa como:

$$\mu_{\chi} = \frac{\chi_U}{\chi_Y}$$

Donde  $\chi_U$  y  $\chi_Y$  son las curvaturas últimas y de plastificación respectivamente.

En hormigón armado, la ductilidad de curvatura significativamente depende de la deformación última del hormigón ( $\epsilon_{cu}$ ), la resistencia a compresión del hormigón, del límite elástico ( $f_y$ ), la relación de tensión  $f_u/f_y$  del acero, de la relación de compresión y tensión del acero  $A'_s/A_s$  y el nivel de carga axial  $v=N/(A_c.f_c)$ . Incrementando la deformación última del concreto a través del confinamiento, la ductilidad de curvatura es aumentada; por consiguiente, el concreto confinado se comporta de manera dúctil. El uso de acero de alta resistencia aumenta la curvatura  $\chi_Y$ , mientras el valor de  $\chi_U$  no cambia. Este tipo de acero reduce la ductilidad de curvatura.

Agregando barras de aceros a compresión favorece a la respuesta dúctil de las secciones transversales de hormigón armado. La presencia de axil de compresión aumenta la profundidad del eje neutro, tanto en plastificación como a nivel de estado límite último. La curvatura de plastificación  $\chi_Y$  se incrementa, mientras que la curvatura  $\chi_U$  decrece. Consecuentemente, la ductilidad  $\mu_X$  es reducida.

Para lograr altas ductilidades de curvatura, es esencial limitar la profundidad del eje neutro en las secciones de las rótulas plásticas. Para elementos de hormigón armado, numerosos análisis y ensayos han mostrado que la posición del eje neutro expresada en forma adimensional con respecto al canto útil de la pieza, no debería sobrepasar 0.25.

## C) Propiedades de los elementos estructurales (ARQHYS, 2014)

Una adecuada medida del comportamiento dúctil de un miembro estructural es la ductilidad de rotación  $\mu_\theta$  la cual se expresa como:

$$\mu_\theta = \frac{\theta_u}{\theta_Y}$$

Donde  $\theta_u$  y  $\theta_y$  son las rotaciones últimas y plásticas, respectivamente. Estas rotaciones son calculadas directamente de las curvaturas: última  $X_u$  y de plastificación  $X_y$ .

La no linealidad es concentrada en las rótulas plásticas al final de las vigas y columnas. Se asume usualmente que las curvaturas en las rótulas plásticas son constantes, permitiendo por consiguiente que las rotaciones plásticas  $\theta_p$  sean expresadas como:

$$\theta_p = \chi_p L_p$$

Donde  $X_p$  es la curvatura plástica y  $L_p$  la longitud de la rótula plástica que según (Eurocode\_8, 2004) se estima como:

$$L_p = 0.10L + 0.015f_{yk}d_{bL}$$

Donde  $L$  es la distancia de la sección de la rótula plástica hasta la sección de momento cero, bajo la carga sísmica (se puede asumir la mitad de la longitud del elemento),  $f_{yk}$  es el límite elástico característico del acero y  $d_{bL}$  el diámetro de la barra de menor tamaño.

Las rótulas plásticas deberían estar localizadas en las vigas más que en las columnas porque estas son las responsables para la resistencia a las cargas gravitatorias, y de la estabilidad para evitar el colapso. La capacidad a cortante debe ser mayor que la resistencia a flexión tanto en vigas como en pilares para evitar falla por cortante frágil.

## D) Propiedades de los sistemas estructurales

El parámetro más conveniente para medir la ductilidad global de una estructura bajo cargas sísmicas, es empleando el factor de ductilidad de desplazamiento, el cual es definido en la primera ecuación mostrada en el presente subcapítulo. Esta ductilidad

debería ser expresada como ductilidad de desplazamiento de entrepiso más que de techo. La ductilidad traslacional de entrepiso es una media de la distribución de ductilidad, a lo largo de la altura de edificios de múltiples niveles y vanos, y puede ser utilizada para detectar demandas inelásticas en estructuras irregulares. Por ejemplo, dos pórticos pueden poseer el mismo valor de ductilidad traslacional de techo, aunque la distribución de ductilidad de entrepiso sea diferente a lo largo de la altura.

La ductilidad global de una estructura, depende significativamente de la ductilidad local. Grandes deformaciones inelásticas y grandes cantidades de energía de disipación requieren altos valores de ductilidad local (Elnashai, 1994). Un adecuado comportamiento inelástico por parte de las estructuras bajo un severo sismo, solo puede ser logrado con factores de ductilidad de curvatura  $\mu_x$ , muchos más altos que los factores de ductilidad desplazamiento  $\mu_\delta$ . Es de gran importancia diseñar estructuras de hormigón armado, metálicas y compuestas con adecuados detalles sísmicos, los cuales aseguren que los valores  $\mu_x$  sean tres o cuatro veces más altos que  $\mu_\delta$  (Di Sarno & Elnashai, 2003).

### 1.3.3 Piso débil

Se le denomina así al piso en que la resistencia de los elementos verticales como muros y columnas, encargados de transmitir las solicitaciones laterales en un determinado nivel o piso, difieren del adyacente superior o inferior en un 20% o más (Este piso tiene 80% o menos de la Resistencia del Nivel inmediato superior o inferior). Nos estamos refiriendo a resistencia lateral (a cargas o desplazamientos laterales) (Cabrera, 2013).

Esta característica junto a otras pertenece a las llamadas “Irregularidades Verticales” en edificaciones diseñadas en Zonas Sísmicas. Muchos edificios en donde la Norma de Diseño ha sido aplicada correctamente adolecen de esta problemática.

No vale el correcto detallado, ni las correctas prácticas normativas, ni la impoluta eficiencia constructiva: Los edificios con estas irregularidades, tendrán un pobre desempeño sísmico comparado con los estructurados de manera regular.

El problema se presenta en el flujo de cargas. Le llamamos Resistencia Total del piso a la sumatoria de todas las resistencias de los elementos, que van a resistir las cargas laterales en la dirección del análisis. Es la capacidad a cortante de las columnas y muros de corte del piso o la componente horizontal de la capacidad de las riostras diagonales. Si las columnas han sido diseñadas correctamente a flexión, la resistencia a cortante se refiere a la concerniente a la resistencia a flexión.

Encontraremos Pisos Débiles en los pisos en que haya discontinuidad, o en los que se presenta una disminución considerable del refuerzo o sección. Ambas cosas permitidas por las Normas de Diseño.

Esto es muy común en los edificios donde a veces se va reduciendo el acero de las columnas. También cuando tenemos muros que cambian de forma (aberturas). Por ejemplo, veamos un edificio que en el primer nivel tiene muros perimetrales ciegos, en el segundo tiene muchas aberturas para las ventanas y, en el tercero tiene otra vez muros cerrados. Obviamente el segundo piso es débil en un % que no estimaremos ahora, porque nos queremos concentrar más en el concepto que en el procedimiento.

#### **1.3.4 Piso blando**

Los pisos blandos o suaves son aquellos, que muestran una reducción significativa en la rigidez lateral respecto a los demás pisos de la estructura. Uno de los errores típicos en las estructuras de hoy en día son los pisos blandos y débiles, el cual son considerados por los ingenieros estructurales, como muy perjudiciales en lo que respecta al comportamiento global de la estructura (Ferrales, 2011).

Un piso blando o suave, es aquel cuya rigidez lateral es menor del 70% de la rigidez del piso superior, o menor del 80% de la rigidez promedio de los 3 pisos superiores al piso blando, en tal caso se considera irregular.

El problema de “Piso Suave o Blando” surge en aquellos edificios a porticados (compuestos predominantemente en su estructura por vigas y columnas), donde el piso en mención presenta alta flexibilidad por la escasa densidad de muros, que impide controlar los desplazamientos laterales impuestos por los terremotos, en tanto

que los pisos adyacentes son relativamente más rígidos por contener una mayor cantidad de muros.

Dentro de las causas principales que generan los pisos blandos en las estructuras podemos citar:

1. Una estructura más alta en el primer piso respecto a los superiores, provocando menos rigidez y más deflexión en el primer piso.
2. Un cambio abrupto de la rigidez en un piso con respecto a otro.
3. El uso de muro de corte con una discontinuidad, en la cual las fuerzas cortantes son resistidas por muros que no llegan hasta la fundación.
4. Discontinuidad en la trayectoria de las cargas, creada por un cambio vertical u horizontal en la estructura.

Efectos Sísmicos: La condición de piso blando o débil puede ocurrir en cualquier piso, pero es más crítico cuando ocurre en el primer piso porque las fuerzas sísmicas son generalmente más grandes en este nivel.

La característica esencial de un piso blando o débil consiste en una discontinuidad de la rigidez o resistencia, la cual ocurre en las conexiones del segundo piso.

#### **1.3.4.1 Comportamiento del “piso suave o blando” ante los sismos**

Durante los sismos severos, o incluso a veces en los sismos moderados, en el “Piso Blando” se produce un gran desplazamiento lateral, que se traduce en una excentricidad de la carga vertical “P”, proveniente de los pisos superiores rigidizados por los tabiques. Esto da lugar a un momento ( $P \times \Delta$ ), que debe ser equilibrado por los momentos flectores generados en los extremos de las columnas del “Piso Blando” ( $m(\Delta)$ ) (Arguro, 1998).

Muchas veces los ingenieros estructurales, diseñan las columnas del “Piso Blando” como para soportar los momentos flectores generados por la fuerza sísmica  $m(F)$  obviando a los producidos por el desplazamiento lateral  $m(\Delta)$ . Con lo cual, durante el sismo, el momento flector actuante ( $M = m(F) + m(\Delta)$ ) supera a la capacidad resistente ( $m(F)$ ), dando lugar a la formación de rótulas en los extremos de las

columnas del “Piso Blando o suave”, lo que conduce a una mayor flexibilización del piso en mención (incremento de  $\Delta$ ), sobreviniendo finalmente el colapso de la edificación (Arguro, 1998).

### **1.3.5 Rótula plástica**

Una rótula plástica es un dispositivo de amortiguación de energía, que permite la rotación de la deformación plástica de la conexión de una columna, de manera rígida. En la teoría estructural, la viga de ingeniería o rótula plástica se usa, para describir la deformación de una sección en una viga donde se produce la flexión de plástico. Comportamiento plástico: En el análisis de los miembros sometidos a flexión, se supone que una transición abrupta de elástico, con el comportamiento ideal de plástico se produce a un cierto valor del momento, conocido como “el momento plástico” ( $M_p$ ) (Arguro, 1998).

El comportamiento entre los miembros del PAI y  $M_p$  se considera elástico; cuando se alcanza el  $M_p$ , una rótula plástica se forma en el miembro, en contraste con una fricción de la bisagra que permite la rotación libre y ocurre en el momento plástico  $M_p$  de forma constante. Las bisagras de plástico se extienden en los tramos cortos de las vigas, pero los análisis detallados han demostrado que es necesario considerar que las vigas rígidas, cuentan con unas bisagras con plasticidad limitada en los puntos. Mediante la inserción de una rótula plástica en un límite de carga y una viga estáticamente determinada, un mecanismo cinemático permite un desplazamiento sin límites que se pueden formar en el sistema, esto es conocido como el “mecanismo de colapso”. Para cada grado de indeterminación estática de la viga, se debe agregar un plástico a la bisagra adicional para formar un mecanismo de colapso.

## **1.4 Compilación de información sobre tipos de suelos en la ciudad de Cuenca**

El suelo en CUENCA en su mayoría es por su clasificación de textura es fina, en 97% de todo el terreno de la capital de AZUAY. El tipo de suelo por ser de textura fina está clasificado por riesgo medio, para soportar las construcciones y a su vez para los sismos. Geología, las formaciones predominantes en el área son: La Formación Tarqui, 46% del área del cantón, seguido de la Formación Macuchi con un 15%.

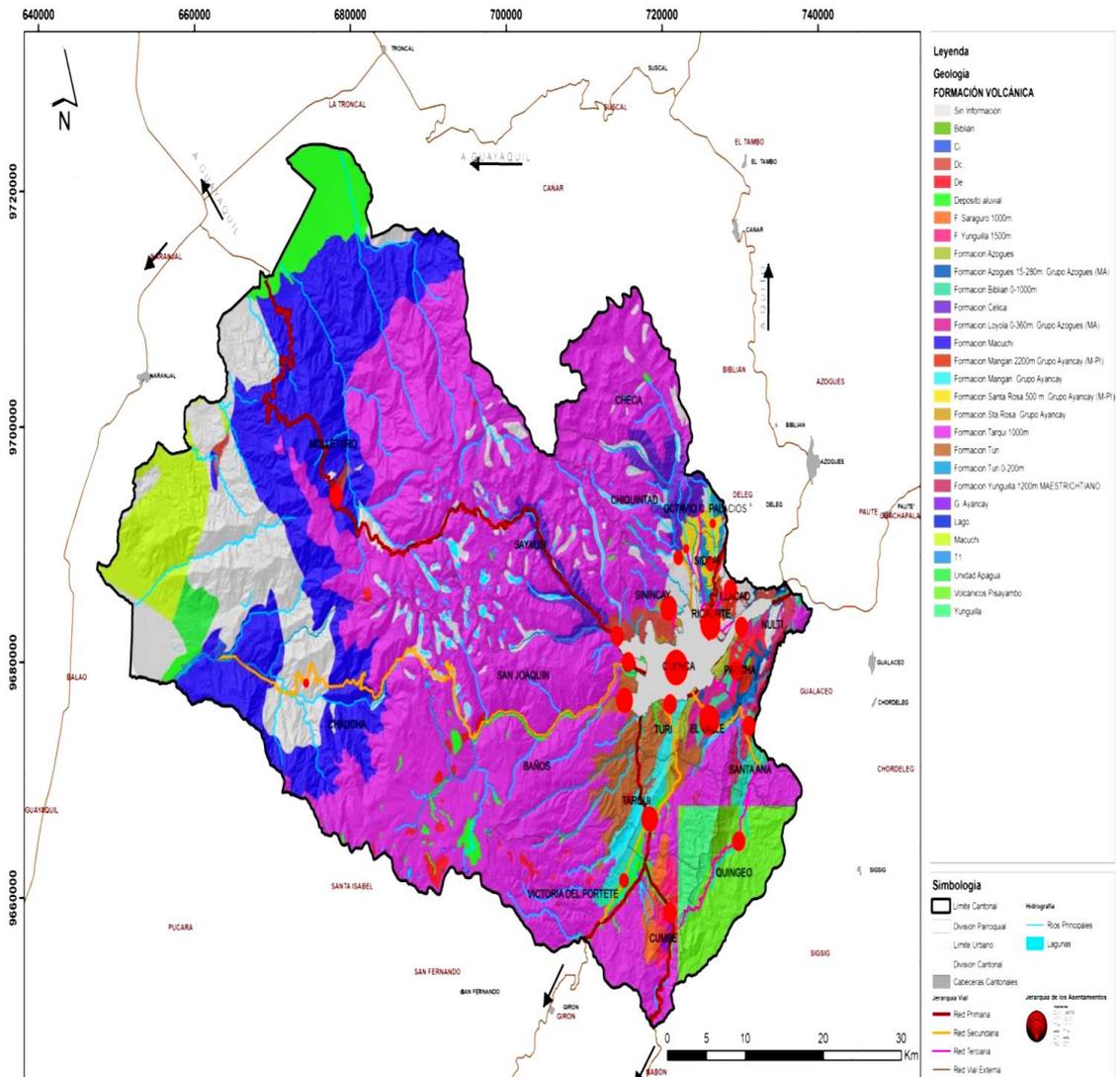


Figura 1.2: CANTÓN CUENCA: Clasificación Geológica. - Formación Volcánica

Fuente: (CALDERÓN, 2015)

**Cuaternario: Formación Tarqui (PT).**

Pleistoceno: Está formada por rocas piroclásticas ácidas, pero se observa de vez en cuando lavas. También se puede observar flujos oscuros de granos finos de composición andesítica, sobre este nace una secuencia de tobas de composición dacítica y riolítica.

**Formación Macuchi. (Cretáceo).**

Constituida por rocas volcanoclásticas, particularmente tobas con clastos de varios tamaños que se conoce como brecha, flujos de rocas ígneas del tipo de las andesitas

coladas de diabasas enfriadas en profundidad, dando una textura porfirítica, mantos de espilitas y ceniza volcánica silicificada hasta formar lutitas duras.

Microscópicamente, las rocas han sido definidas como andesitas, que en estado fresco tienen color verde y presentan una compactación apreciable. Las rocas de esta formación no afloran en la parte superficial del área del proyecto. Por estudios realizados y publicados en varios artículos científicos, se encuentra en profundidad formando la base de todos los materiales que forman las formaciones antes descritas.

#### Tipos de suelos en CUENCA

Existen tres tipos de suelo que son: los Vertisoles, Inceptisoles y Alfisoles; siendo los dos primeros los que ocupan áreas de mayor extensión. A continuación, se describe las características de cada uno de ellos.

- Vertisoles. Son suelos de las zonas tropicales semihúmedas, se caracterizan por ser suelos duros y se forman pastosos en la humedad, se trizan cuando hay sequías, además, tienen gran cantidad de materia orgánica, son suelos fértiles por estar en zonas sedimentarias.
- Inceptisoles. ocupan más o menos el 90% del Ecuador, tanto en las zonas altas como pajonales, paramos, en los bosques nublado, todo el territorio oriental posee esta clase de suelos, se caracterizan por ser suelos de origen volcánico, ricos en minerales, cenizas, arcilla, arenisca y depósitos fluviales.
- Alfisoles. Se encuentran al sur de la Sierra, están mezclados con vertisoles, se caracterizan por tener gran cantidad de material volcánico.

#### **Fenómeno de licuefacción de suelos**

La licuación o licuefacción de suelos, ocurre cuando un material no consolidado generalmente arenas, pierde su resistencia al esfuerzo cortante a causa de una vibración intensa y rápida (sismos), que rompe su estructura granular al reducir su presión inter-granular. Al iniciarse la vibración, por efecto de un sismo, el material se expande y las partículas sólidas adoptan un estado muy suelto por pérdida del soporte mutuo entre los granos, cuando el movimiento cesa, el material tiende a compactarse bruscamente, produciendo las presiones intersticiales que causan la licuación.

Estas manifestaciones, notoriamente visibles en la superficie del terreno, pueden constituir indicadores de áreas susceptibles a la licuefacción. Los materiales más vulnerables a la licuefacción son: Las arenas limpias, no consolidadas y saturadas, y los ambientes sedimentarios más favorables para la génesis de licuefacciones son: playas, barras arenosas y sistemas fluviales, ambientes lacustres y fluviolacustres. Según (Rodríguez Pascua, 1997).

El suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefactado durante la sacudida sísmica. El incremento de la presión de poro provocado por la licuación, puede generar chorros de agua y aire mezclados con sedimentos finos, que cuando son expulsados sobre la superficie del terreno, forman volcanes de arena y agua.



Figura 1.3: Carretera afectada por la licuefacción  
Fuente: (Guerrero, 2011)

### 1.5 Redundancia estructural

La redundancia se refiere a la existencia de una gran cantidad de líneas de defensa continuas y resistentes a la carga, que causa un alto grado de hiperestaticidad. Una de las características más importantes que se debería buscar en una estructura desde el punto de vista de diseño sísmico es la redundancia, ya que cuando se cuenta con un número reducido de elementos, como es el caso de estructuras poco redundantes, la falla de alguno de éstos puede causar el colapso de la estructura. Por esto, un buen diseño sismo resistente, debe tratar de distribuir las cargas laterales producidas por terremotos de gran intensidad entre el mayor número de elementos posibles, para

permitirle a la estructura desarrollar su máxima resistencia, y aprovechar la disipación de energía producida por histéresis (Arguro, 1998).

El olvido del concepto de redundancia, ha causado el uso de estructuraciones vulnerables en edificios urbanos, donde en muchas ocasiones se estructura en una dirección corta marcos con una sola crujía, lo que favorece además dos condiciones de irregular estructural: plantas alargadas y/o esbeltez.

La definición de redundancia ante cualquier patrón de carga se describe en función del número de regiones críticas, llamadas articulaciones plásticas, necesarias para causar la inestabilidad o colapso de la estructura. Los beneficios de la redundancia estructural se pueden ilustrar con estructuras muy sencillas, como las vigas con diferentes grados de indeterminación estática. Para cada viga se realizó un análisis plástico paso a paso, considerando las propiedades de un material elasto-plástico. El análisis se hizo bajo la suposición de condiciones ideales, es decir, se calculó la carga que causa la formación de una articulación plástica y también la deflexión asociada a esta carga (Bruneau, 1998). Los resultados del análisis demuestran que, al incrementar el grado de redundancia, la rigidez del sistema aumenta, así como la capacidad de carga y su ductilidad.

Los resultados del análisis plástico paso a paso de las vigas, se pueden extrapolar a estructuras más complejas para entender la redistribución de daño entre sus elementos. Al formarse una articulación plástica en una estructura isostática, inmediatamente después sucede el colapso.

Ahora, si consideramos estructuras con algún grado de redundancia al formarse la primera articulación plástica la estructura tiene la capacidad de recuperarse, puesto que conforme crece el grado de redundancia, se necesita un mayor número de articulaciones plásticas para causar la inestabilidad de la estructura.

La definición de redundancia ante cargas laterales, como las producidas por los sismos se describe en función del número de articulaciones plásticas necesarias, para causar la inestabilidad o colapso de la estructura, bajo la acción de cargas laterales y gravitacionales. En este caso, el grado de redundancia ante la carga lateral no sólo

depende de las propiedades geométricas estructurales, refuerzo y detallado, sino también del comportamiento dinámico de la estructura, y del patrón de cargas laterales (Bertero, 1999).

## 1.6 Sistema de un grado de libertad

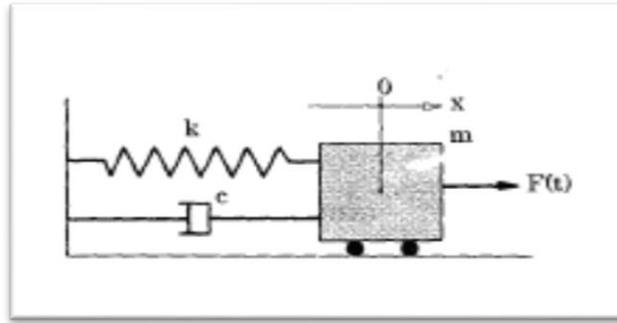


Figura 1.4: Dinámica estructural aplicada al diseño sismo resistente 1  
Fuente: (García, 2009)

El modelo matemático representado en la figura anterior tiene los siguientes elementos:

1. Un elemento de masa “ $m$ ”, que representa la masa o propiedad de inercia de la estructura.
2. Un elemento resorte “ $k$ ”, que representa las fuerzas internas del sistema y la capacidad de la estructura de almacenar energía potencial.
3. Un elemento de amortiguación “ $c$ ”, que representa las características friccionales y las pérdidas de energía de la estructura.
4. La fuerza de excitación  $F(t)$ , que a su vez representa las fuerzas exteriores que actúan sobre el elemento estructural.

Al adoptar el modelo matemático anterior, se asume que cada elemento del sistema representa una sola propiedad, es decir, la masa “ $m$ ” representa sólo la propiedad de inercia y no la de la elasticidad o de disipación de energía, mientras que el resorte “ $k$ ” representa sólo a la elasticidad y no a la inercia o a la disipación de la energía, y el elemento de amortiguación “ $c$ ” solamente disipa energía, por lo que los modelos matemáticos son solamente idealizaciones conceptuales de estructuras reales.

Los modelos matemáticos pueden proporcionar un conocimiento exacto y completo del comportamiento del modelo mismo, pero sólo puede dar una información limitada o aproximada del comportamiento del sistema físico real, sin embargo, desde el punto de vista práctico, la información que se adquiere en el análisis del modelo matemático puede ser suficiente para comprender el comportamiento dinámico del sistema físico.

Las estructuras reales, disipan energía cuando experimentan movimientos vibratorios, el método más común para considerar esta disipación de energía, es suponer que se debe a fuerzas viscosas de amortiguación, estas fuerzas se suponen proporcionales a la magnitud de la velocidad pero actuando en dirección opuesta al movimiento, el factor de proporcionalidad es el coeficiente de amortiguamiento viscoso, es conveniente expresar este coeficiente como una fracción de la amortiguación crítica del sistema

$$(\xi = c/c_c)$$

La amortiguación crítica puede definirse como el valor mínimo del coeficiente de amortiguamiento para que el sistema no oscile cuando es excitado inicialmente, sino que retorne a su posición de equilibrio (Arguro, 1998).

De acuerdo al Principio de D' Alembert un sistema puede ser puesto en estado equilibrio dinámico, agregando a las fuerzas externas una fuerza ficticia denominada fuerza de inercia. Con todo lo dicho anteriormente, se plantea la ecuación diferencial de un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso:

$$mx'' + cx' + Kx = 0$$

La expresión analítica de la solución de esta ecuación depende de la magnitud de la razón de amortiguamiento, tres casos son posibles:

1. Un sistema subamortiguado, con  $\xi < 1$
2. Un sistema con amortiguación crítica,  $\xi = 1$
3. Un sistema sobreamortiguado, con  $\xi > 1$

Un método común para determinar la amortiguación presente en un sistema es calcular el decremento logarítmico, el cual se define como el logaritmo natural de la razón de dos amplitudes consecutivas máximas en vibración libre, esto es:

$$\delta = \ln \frac{y_1}{y_2}$$

Se acepta comúnmente que los sistemas estructurales tienen un amortiguamiento aproximado del 5% del crítico, en tales sistemas, la frecuencia en vibración libre con amortiguación es aproximadamente igual a la frecuencia sin amortiguación (Arguro, 1998).

### 1.7 Excitación arbitraria

Cuando un sistema se somete a una excitación arbitraria expresada en términos de fuerza, como el indicado, es posible dividirla en una serie de impulsos que se aplican en el tiempo  $\tau$  y que tienen una duración  $d\tau$ .

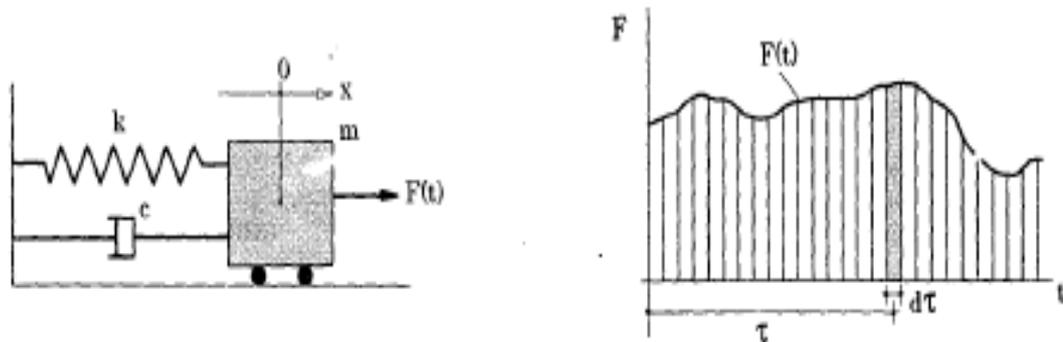


Figura 1.5: Dinámica estructural aplicada al diseño sismo resistente 2  
Fuente: (García, 2009)

Al integrar el efecto de cada uno de estos impulsos diferenciales variando  $\tau$ , se obtiene para el caso sin amortiguamiento:

$$x(t) = \int_0^t d\dot{x} = \frac{1}{m * \omega} * \int_0^t F(\tau) \sin\{\omega(t - \tau)\} d\tau$$

Y para el caso con amortiguamiento:

$$x(t) = \frac{1}{m * \omega * \sqrt{1 - \xi^2}} * \int_0^t F(\tau) * e^{-\xi\omega(t-\tau)} * \sin\{\sqrt{1 - \xi^2} * \omega(t - \tau)\} * d\tau$$

Estas integrales se conocen como integrales convolución o de Duhamel (Duhamel, 2002) y corresponden a la solución particular del sistema, si hay condiciones iniciales hay necesidad de adicionarles a la solución homogénea respectivamente.

### 1.8 Excitación en la base

La ordenada  $X_0$  describe el movimiento de la base de la estructura; mientras que la ordenada  $X$  corresponde a la posición de la masa, tal como se aprecia en la figura:

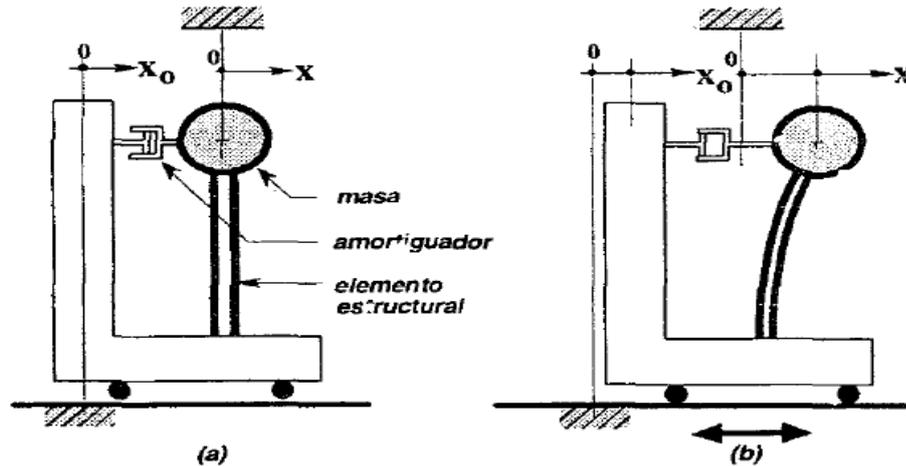


Figura 1.6: Dinámica estructural aplicada al diseño sismo resistente 3  
Fuente: (García, 2009)

La fuerza inercial está dada por:  $F_i = -m * \ddot{x}$

La fuerza en el resorte o elemento estructural, está descrita por el módulo de deformación multiplicada por el desplazamiento relativo entre los extremos:

$$F_r = k * (x - x_0)$$

Igualmente, la fuerza ejercida por el amortiguador se determina por medio de la constante del amortiguador multiplicada por la velocidad relativa entre sus extremos:

$$F_a = c * (\dot{x} - \dot{x}_0)$$

Al aplicar el principio de D'Alembert se obtiene:

$$F_r + F_a - F_i = 0$$

Lo cual conduce a la ecuación diferencial de equilibrio:

$$m * \ddot{x} + c * (\dot{x} - \dot{x}_0) + k * (x - x_0) = 0$$

Si se define la variable “ $u$ ” para describir el desplazamiento relativo entre la masa y la base de apoyo del sistema entonces:

$$u = x - x_0$$

Al derivar contra el tiempo obtenemos:

$$\dot{u} = \dot{x} - \dot{x}_0$$

Y al derivar nuevamente tenemos:

$$\ddot{u} = \ddot{x} - \ddot{x}_0$$

Y al despejar tenemos:

$$\ddot{x} = \ddot{u} + \ddot{x}_0$$

Al reemplazar en la ecuación inicial se obtiene:

$$m * \ddot{u} + c * \dot{u} + k * u = -m * \ddot{x}_0$$

## 1.9 Conclusiones

En este capítulo se han presentado las generalidades sobre la evaluación de los sistemas de estructuras, así como las diferentes clasificaciones de las estructuras que serán analizadas en la presente investigación. Se hace mención y uso a la norma Ecuatoriana de Construcción, específicamente a la tipología estructural de los objetos de obra del que está conformado una edificación tipo esencial como: hospitales, estaciones de bomberos, escuelas, estaciones militares, estaciones policíacas, etc. También se mencionan los tipos de suelos característicos en Cuenca.

El desarrollo de este capítulo, constituye el respaldo para el desarrollo de los siguientes temas, que permitan alcanzar los objetivos propuestos.

## CAPÍTULO II

### GEOMETRÍA ESTRUCTURAL, MODELACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

#### 2.1 Introducción

Las cargas permanentes (cargas muertas mínimas), cargas variables (cargas vivas) y cargas accidentales (cargas sísmicas), son las que influyen en los cálculos para una edificación que resista a las mismas, pero no obstante las cargas no es lo más importante en una edificación, cada edificio o construcción está diseñada para un fin en específico, no obstante, estas cargas son fundamentales y cada una afecta a la construcción de acuerdo a su uso y explotación.

#### 2.2 Tipos de edificaciones regulares e irregulares modelados

Tabla 2.1: Tipos de edificaciones regulares e irregulares modelados

Tipos de Edificaciones	Núm. modelo
3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	1
3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	2
3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, sin muro	3
3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	4
3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	5
3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	6
3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, regular sin muro	7
3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	8
3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	9
3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular sin muro	10
3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	11
3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	12
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	13
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	14
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	15
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	16
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno	17
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo	18
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	19

<b>Tipos de Edificaciones</b>	<b>Núm. modelo</b>
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno	20
4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo	21
4 plantas, 4 ejes luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	22
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	23
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	24
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	25
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno	26
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo	27
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	28
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno	29
4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo	30
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	31
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	32
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	33
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	34
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno	35
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo	36
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	37
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno	38
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo	39
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	40
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	41
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	42
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	43
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno	44
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo	45
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	46
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno	47
4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo	48
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	49
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro	50

Tipos de Edificaciones	Núm. modelo
interno	
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	51
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	52
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno	53
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo	54
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	55
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno	56
5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo	57
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	58
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	59
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	60
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	61
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno	62
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo	63
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	64
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno	65
5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo	66
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	67
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	68
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	69
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	70
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno	71
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo	72
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	73
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno	74
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo	75
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	76
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	77
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	78
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	79
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno	80
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo	81

<b>Tipos de Edificaciones</b>	<b>Núm. modelo</b>
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	82
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno	83
5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo	84
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	85
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	86
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	87
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	88
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno	89
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo	90
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	91
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno	92
6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo	93
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	94
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	95
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	96
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	97
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno	98
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo	99
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	100
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno	101
6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo	102
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	103
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	104
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo	105
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro	106
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno	107
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo	108
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro	109
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno	110
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo	111
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro	112
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno	113

<b>Tipos de Edificaciones</b>	<b>Núm. modelo</b>
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular con muro externo	114
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro	115
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno	116
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo	117
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro	118
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno	119
6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo	120

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.3 Agrupación de cargas y pre dimensionamiento estructural

### 2.3.1 Agrupación de cargas

Para un correcto análisis de las estructuras modeladas, se ha utilizado las normativas internacionales y nacionales actuales las cuales se mencionan a continuación:

- Hormigón Armado: ACI 318M-11
- Acero conformado: AISI 100-2007 (LRFD) (USA)
- Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD) (USA)
- Cargas y sobrecargas de uso: NEC-14

#### 2.3.1.1 Combinaciones y tipos de cargas

Las cargas y combinaciones utilizadas para la modelación son las que recomienda la NEC-14 en el capítulo 1; teniendo así cargas permanentes (cargas muertas mínimas) cargas variables (cargas vivas) y cargas accidentales (cargas sísmicas).

Las combinaciones de cargas de igual manera son tomadas del capítulo 1 de la NEC-14 y estas son diseñadas para resistir las cargas mencionadas anteriormente.

Tabla 2.2: Símbolo y notación de cargas

<b>Símbolo</b>	<b>Notación</b>
D	Carga permanente
E	Carga de sismo
L	Sobrecarga (carga viva)

Lv	Sobrecarga de cubierta (carga viva)
S	Carga de granizo
W	Carga de viento

Fuente: (NEC, CARGAS NO SÍSMICAS, 2014)

Tabla 2.3: Combinaciones de cargas

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

Fuente: (NEC, CARGAS NO SÍSMICAS, 2014)

### 2.3.1.2 Cargas permanentes

Se considera carga permanente o carga muerta al peso propio de la estructura, a las cargas arquitectónicas y al peso de las instalaciones que quedan de forma permanente

Tabla 2.4: Pesos unitarios de materiales de construcción

Material	Carga (kN/m <sup>3</sup> )
Hormigón Armado	24
Acero	78.5
Ladrillo cerámico perforado (20 a 30% huecos)	14
Mortero cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5	20

Fuente: (NEC, CARGAS NO SÍSMICAS, 2014)

Tabla 2.5: Cálculo de la carga permanente

Material	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
Contrapisos y recubrimientos: Baldosa de cerámica, con mortero de cemento, por cada cm de espesor, e=2.0 cm	0.4

Cielorraso de yeso sobre listones de madera, incluidos los listones	0.2
Instalaciones ligeras	0.2
Mampostería de ladrillo para edificios	1.2
<b>TOTAL CARGA PERMANENTE</b>	<b>2.0</b>

Fuente: (NEC, CARGAS NO SÍSMICAS, 2014)

El peso propio de los elementos estructurales como vigas, columnas, losas y muros es calculado automáticamente por el programa de cálculo estructural utilizado.

### 2.3.1.3 Carga viva (sobrecarga de uso)

Para determinar la carga viva se optó por las especificaciones de la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-14), como se menciona en el capítulo 1; la sobrecarga que se utilicen en el cálculo depende de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición y otras

Tabla 2.6: Carga viva dependiendo su uso

Ocupación o Uso	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
Hospitales: sala de quirófanos, laboratorios	2.90
Hospitales: sala de pacientes	2.00
Hospitales: corredores en pisos superiores a la planta baja	4.00

Fuente: (NEC, CARGAS NO SÍSMICAS, 2014)

La carga utilizada en los modelos es de 4.00 kN/m<sup>2</sup>, se tomó esta carga ya que es la más desfavorable.

### 2.3.1.4 Cargas accidentales (sismo)

Los sismos originan aceleraciones transmitidas por el terreno que al actuar sobre la masa se traducen en fuerzas: a mayor masa, mayor fuerza. La acción del sismo puede tener cualquier dirección y provoca empujes (cargas), verticales y horizontales.

El Ecuador es un país propenso a sismos, por esta razón se debe diseñar todas las edificaciones de una manera sísmo resistente y, más aún las edificaciones de alta importancia ya que por ningún motivo estas se deberán ver afectadas estructuralmente.

**Norma utilizada:** NEC-SE-DS 2014

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN  
Peligro sísmico. Diseño sísmo resistente.

**Método de cálculo:** Análisis modal espectral (NEC-SE-DS 2014, 6.2.2e)

### Datos generales de sismo

#### Caracterización del emplazamiento:

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): II

Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): Sierra, Azuay, Cuenca

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

#### Sistema estructural

**R<sub>x</sub>:** Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) **R<sub>x</sub>: 8.00**

**R<sub>y</sub>:** Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) **R<sub>y</sub>: 8.00**

**Φ<sub>P</sub>:** Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3<sup>a</sup>) **Φ<sub>P</sub>: 0.90**

**Φ<sub>E</sub>:** Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b) **Φ<sub>E</sub>: 0.90**

**Estimación del periodo fundamental de la estructura:** según norma

Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3<sup>a</sup>): II

Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3<sup>a</sup>): II

**Importancias de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1):** Edificaciones esenciales y/o peligrosas

#### Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso: 0.00

Factor multiplicador del espectro: 1.00

**Verificación de la condición de cortante basal:** Según norma

Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Según NEC-SE-DS 2014

**Factores reductores de la inercia (NEC-SE-DS 2014, 6.1.6b)**

Vigas: 0.5

Losas: 0.5

Columnas: 0.8

Tabiques: 0.6

Muros: 0.6

Muros de mampostería: 0.5

**Direcciones de análisis**

Acción sísmica según X

Acción sísmica según Y

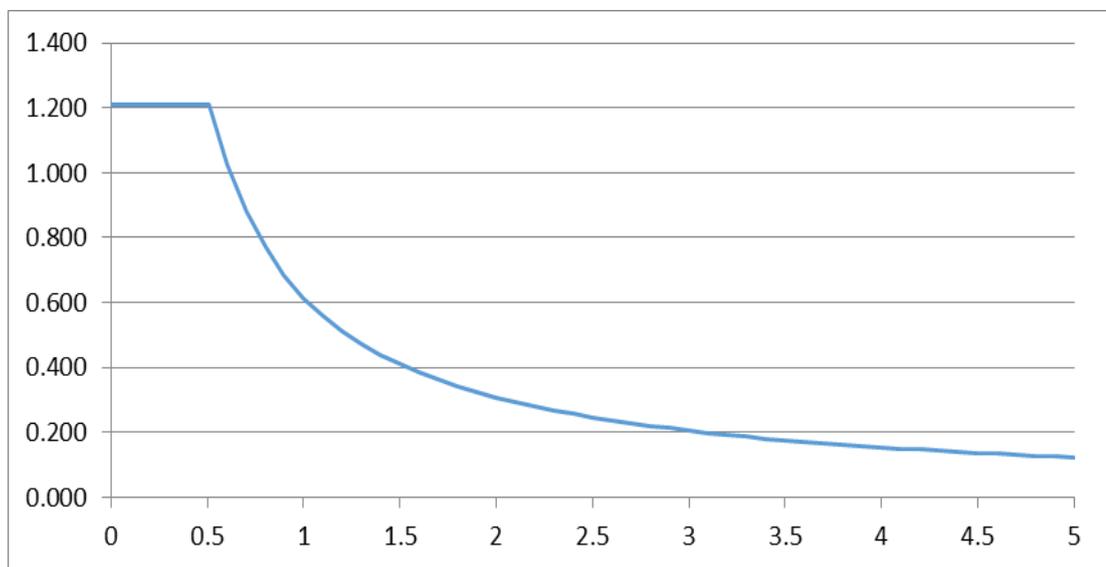
**Espectro de cálculo**

Figura 2.1: Espectro elástico de aceleraciones

Fuente: (NEC, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC, 2014)

**Coefficiente de amplificación:**

$$S_a = \eta Z F_a I \text{ para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = \eta Z F_a I \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \text{ para } T > T_c$$

El valor máximo de las ordenadas espectrales es 1.209 g

**Z:** Factor de zona (NEC-SE DS 2014, Tabla 1)**Z:** 0.25 **$\eta$ :** Relación de amplificación espectral (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1) **$\eta$ :** 2.48**F<sub>a</sub>:** Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 3)**F<sub>a</sub>:** 1.30**F<sub>a</sub>:** Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 4)**F<sub>a</sub>:** 1.28**F<sub>s</sub>:** Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 5)**F<sub>s</sub>:** 0.94

I: Factor de importancia (NEC-SE-DS 2014, Tabla 6)

I: 1.50

r: Exponente que define la rama descendente del espectro (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1)

r: 1.00

T<sub>c</sub>: Periodo límite superior de la rama de aceleración constante del espectro (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1)

$$T_c = 0.55 F_s F_d / F_a$$

T<sub>c</sub>: 0.51 s

### 2.3.2 Pre dimensionamiento de elementos estructurales

Al realizarse modelos netamente de hormigón se pre dimensionó columnas cuadradas, vigas rectangulares y losa nervada bidireccional

#### 2.3.2.1 Pre dimensionamiento de vigas

Para este pre dimensionamiento se asume vigas rectangulares en base a las relaciones que se muestra a continuación:

Tabla 2.7: Pre dimensionamiento de vigas con luz menor a 6 m

PRE DIMENSIONAMIENTO INICIAL DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO			
Luz (L):	4.5		m
Rango Inicial de Peralte (L/15 - L/12):	30	37.5	cm
<b>Peralte escogido (h):</b>	<b>40</b>		<b>cm</b>
Rango de ancho (h/2 - 2h/3):	20	26.67	cm
<b>Ancho escogido (b):</b>	<b>30</b>		<b>cm</b>

Fuente: (Vazquez, 2012)

Para los modelos de luz menor a 6 m se emplea vigas de peralte (h) de 40 cm y un ancho (b) de 30 cm

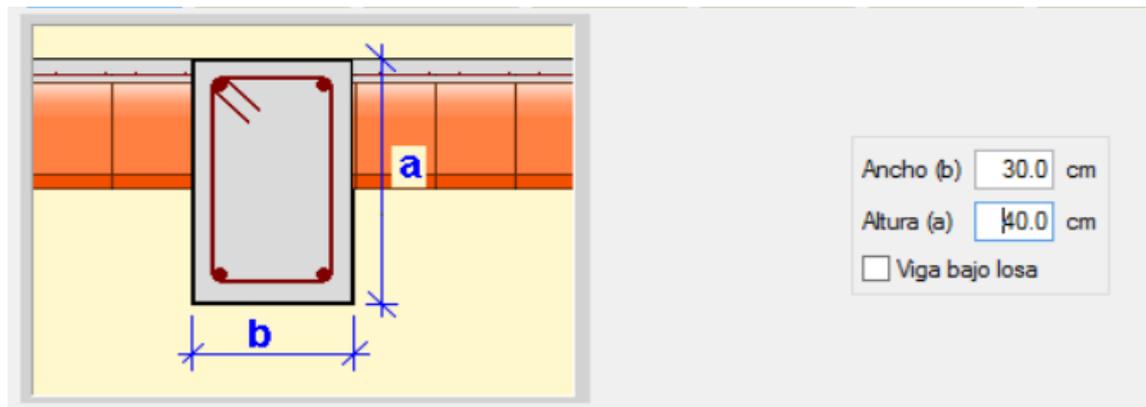


Figura 2.2: Sección de viga luz menor a 6 m  
Fuente: (CYPECAD, 2016)

Tabla 2.8: Pre dimensionamiento de vigas con luz mayor a 6 m

<b>PREDISEÑO DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO</b>			
Luz (L):	6.5		m
Rango Inicial de Peralte (L/15 - L/12):	43.33	54.17	cm
<b>Peralte escogido (h):</b>	<b>60</b>		<b>cm</b>
Rango de ancho (h/2 - 2h/3):	30	40	cm
<b>Ancho escogido (b):</b>	<b>50</b>		<b>cm</b>

Fuente: (Vazquez, 2012)

Para los modelos de luz menor a 6 m se emplea vigas de peralte (h) de 60 cm y un ancho (b) de 50 cm, hay que recalcar que para edificaciones de mayor altura fue necesario cambiar las medidas de la viga a peralte (h) de 70 cm y ancho (b) de 60 cm.

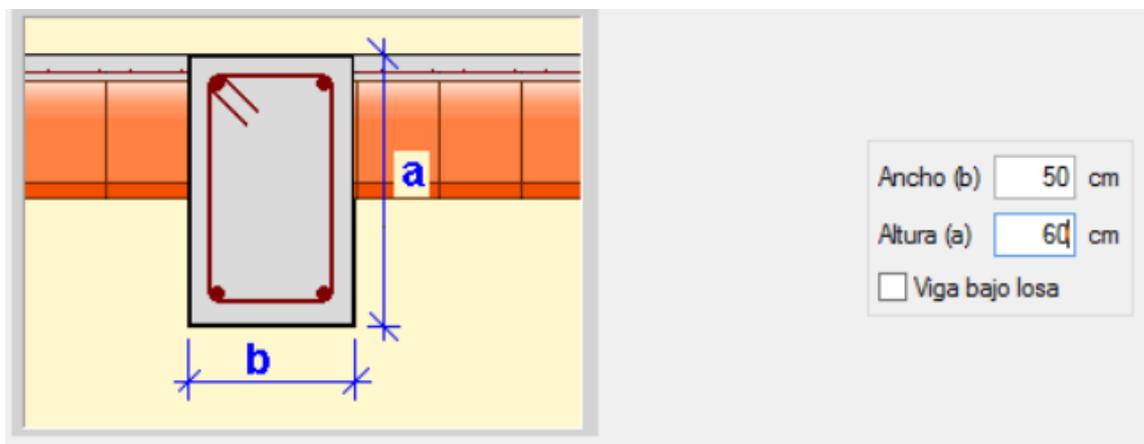


Figura 2.3: Sección de viga luz mayor a 6 m  
Fuente: (CYPECAD, 2016)

### 2.3.2.2 Pre dimensionamiento de columnas

Para el pre dimensionamiento de este elemento estructural se tomó como referencia las siguientes relaciones:

$$f_e \leq \frac{Hl}{l_{\text{menor}}} \leq 10 - 12$$

Hl = Altura libre entre pisos

L menor = Lado menor columna

$$l_{\text{menor}} = 60$$

$$f_e \leq \frac{300}{60} \leq 10 - 12$$

$$5 \leq 10 - 12$$

(CEAC, 1993) Columna mínima 60 x 60 cm

Al ser edificaciones esenciales las columnas deben llevar un rango demasiado conservador, y a los edificios con mayor número de pisos de igual manera se les incrementó paulatinamente el área de la columna, de acuerdo al número de niveles hasta llegar a tener edificaciones con columnas de 80 x 80 cm.

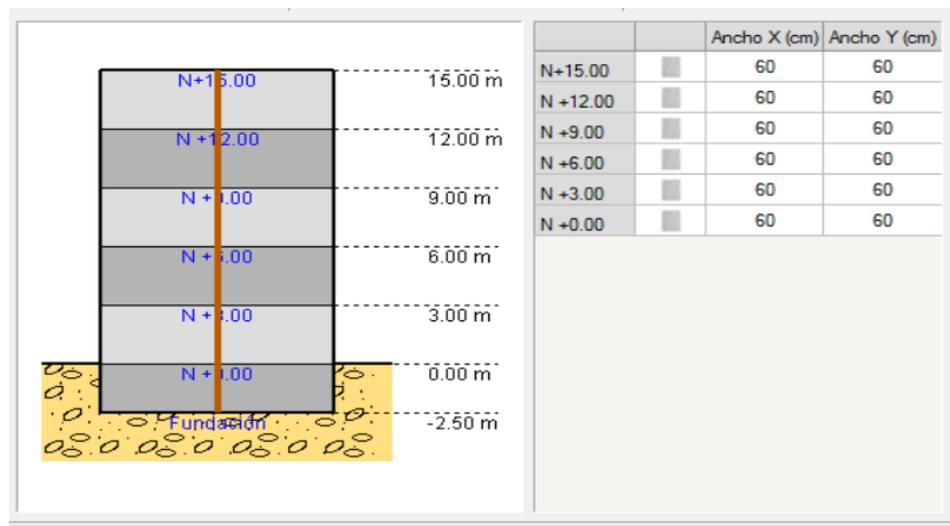


Figura 2.4: Ejemplo de sección de columna en los niveles de la estructura  
Fuente: (CYPECAD, 2016)

### 2.3.2.3 Pre dimensionamiento de losa

Para el pre dimensionamiento de este elemento se toman las siguientes relaciones:

Tabla 2.9: Pre dimensionamiento de losa nervada bidireccional

<b>PREDISEÑO DE LOSA CASETONADA BIDIRECCIONAL</b>		
Luz (L):	4.5 y 6.5	m
Pre diseño de altura de nervadura (L/30):	21.67	cm
Altura nervadura escogida (hn):	25	cm
Altura chapa compresión (hcc):	5	cm

Fuente: (Vazquez, 2012)

Utilizamos una losa armada en X e Y con 25 cm de nervadura y 5 cm de chapa de compresión, como se muestra en la siguiente figura:

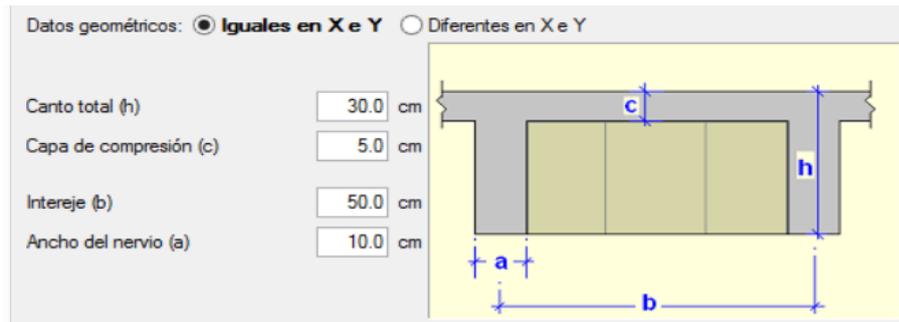


Figura 2.5: Sección de losa casetonada bidireccional  
Fuente: (CYPECAD, 2016)

## 2.4 Elaboración de modelos idealizados de estructuras varando las características de cada edificación

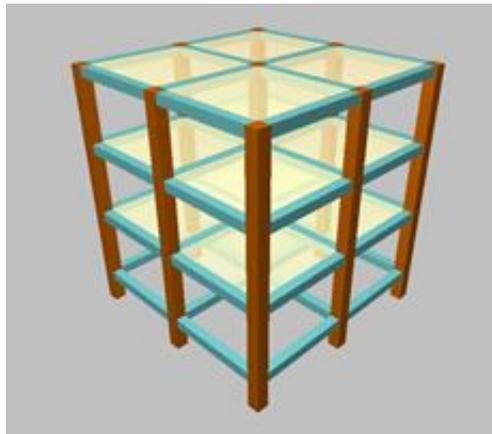


Figura 2.6: Modelo 1: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

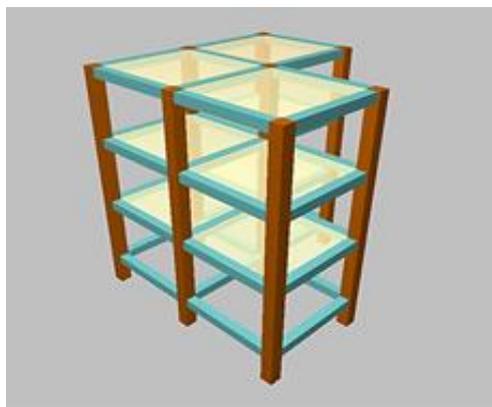


Figura 2.7: Modelo 2: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

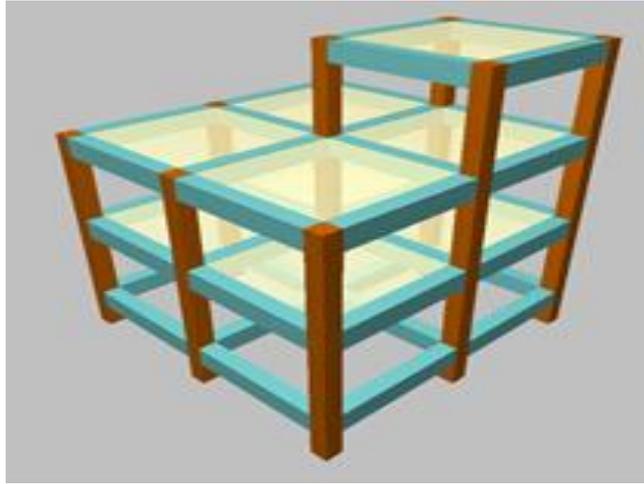


Figura 2.8: Modelo 3: 3 plantas, 3 ejes luces menores a 6 m, irregular en altura, sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

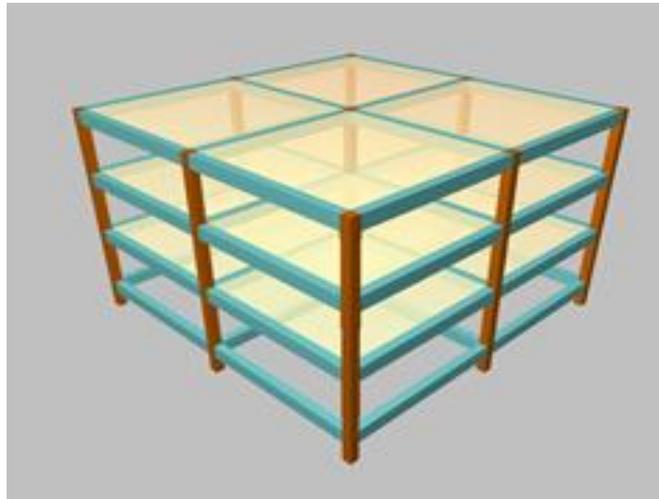


Figura 2.9: Modelo 4: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

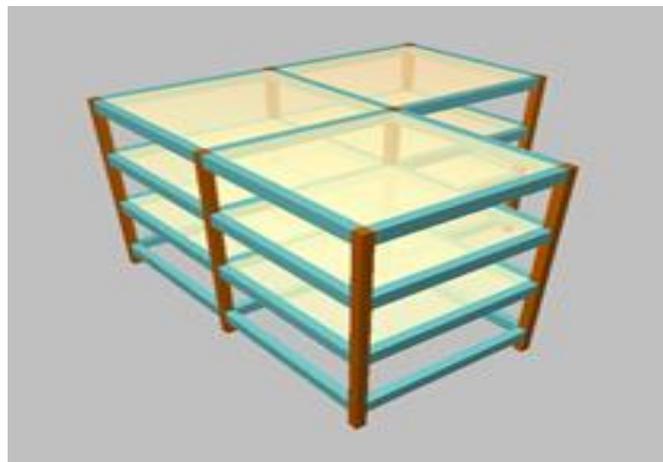


Figura 2.10: Modelo 5: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

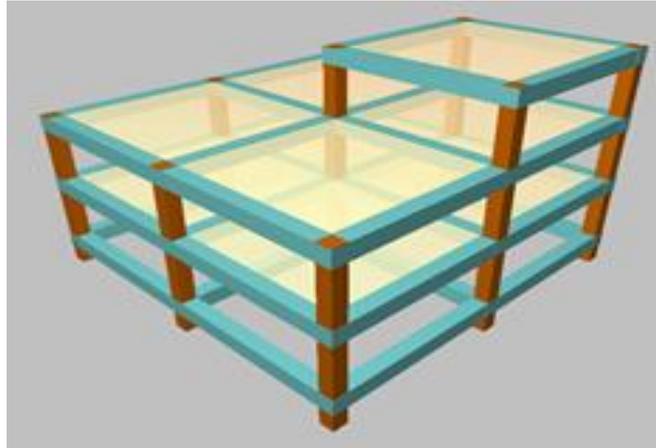


Figura 2.11: Modelo 6: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

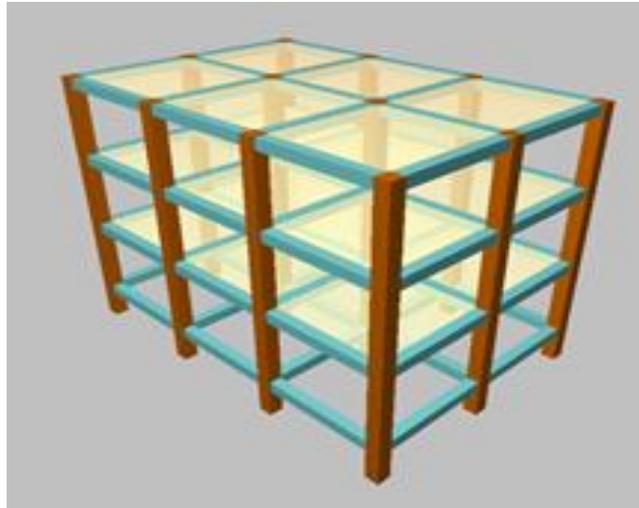


Figura 2.12: Modelo 7: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

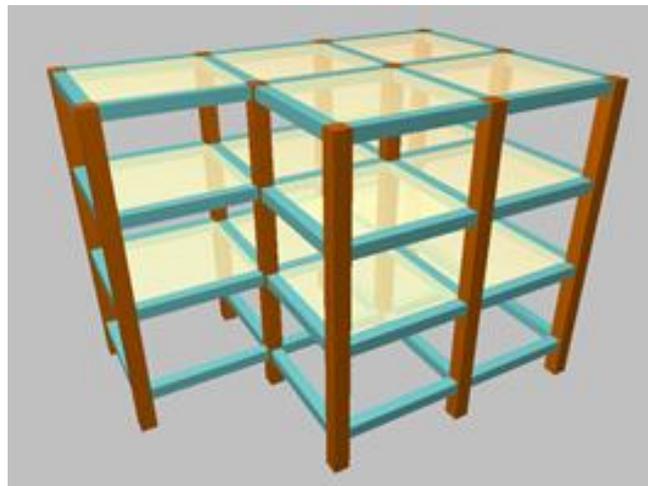


Figura 2.13: Modelo 8: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

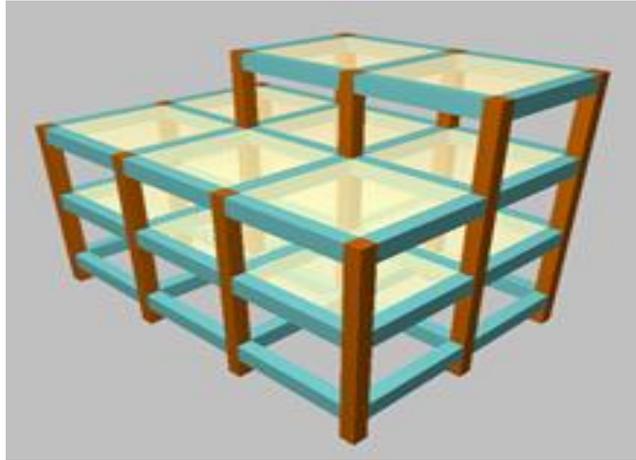


Figura 2.14: Modelo 9: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

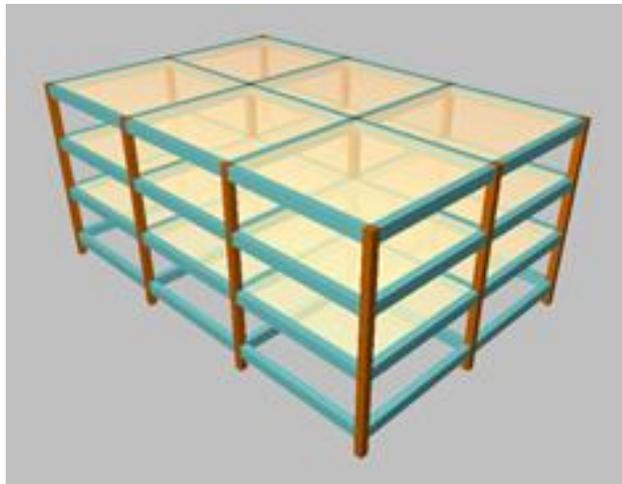


Figura 2.15: Modelo 10: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

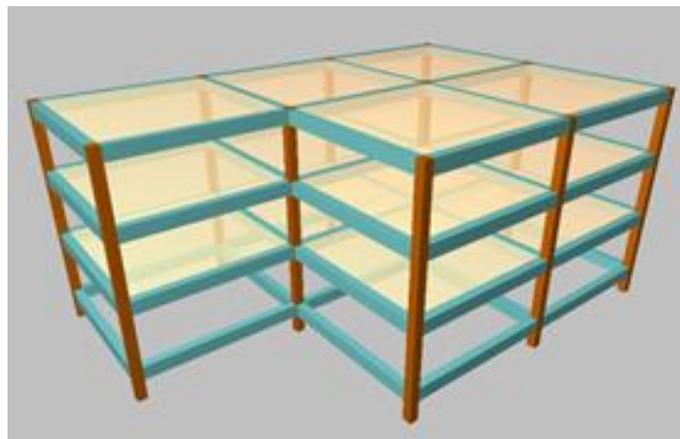


Figura 2.16: Modelo 11: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

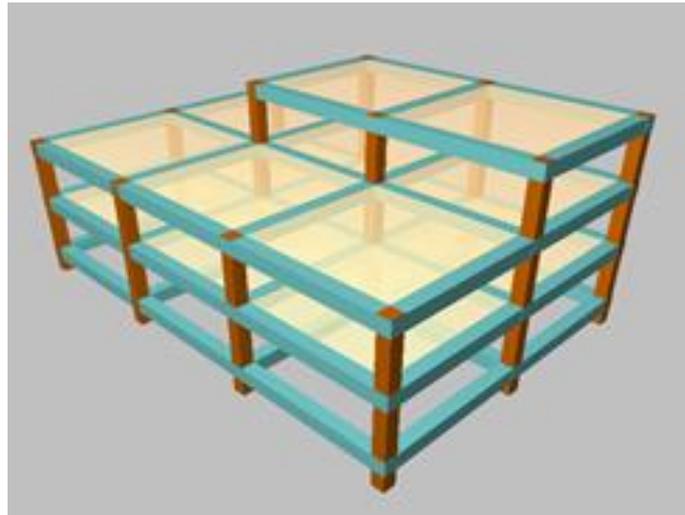


Figura 2.17: Modelo 12: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

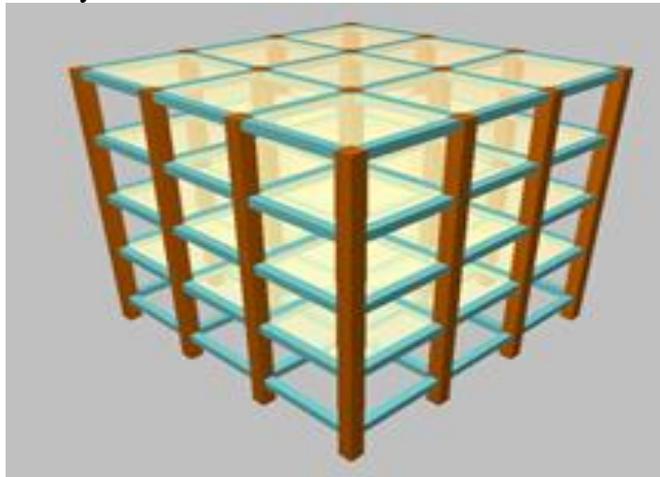


Figura 2.18: Modelo 13: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

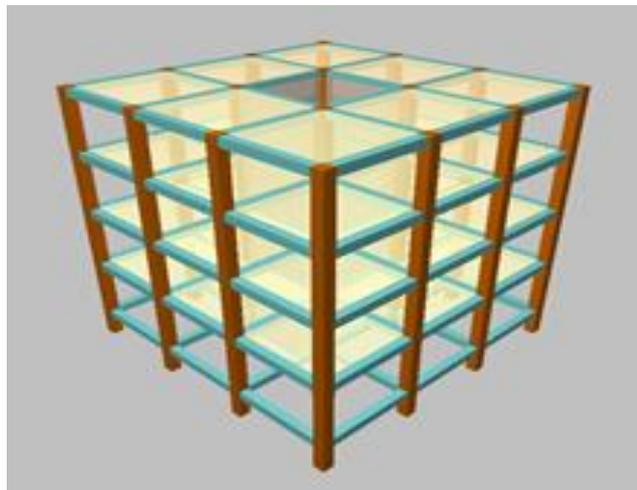


Figura 2.19: Modelo 14: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

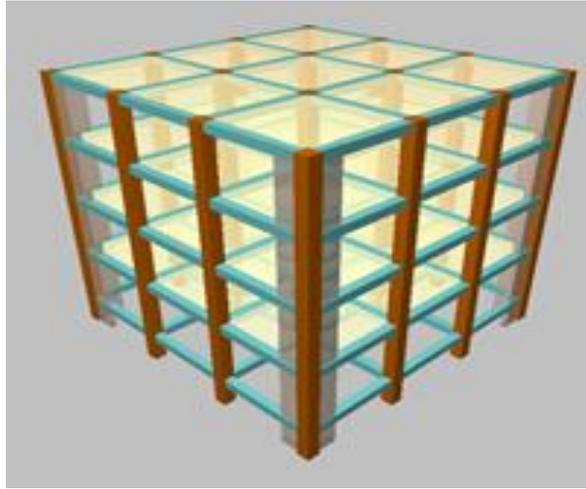


Figura 2.20: Modelo 15: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

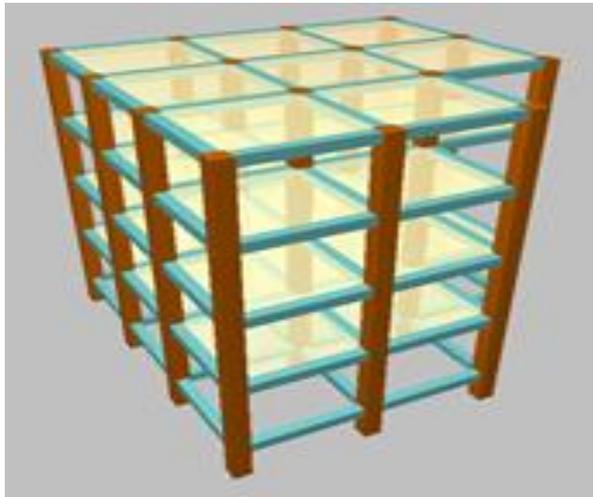


Figura 2.21: Modelo 16: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

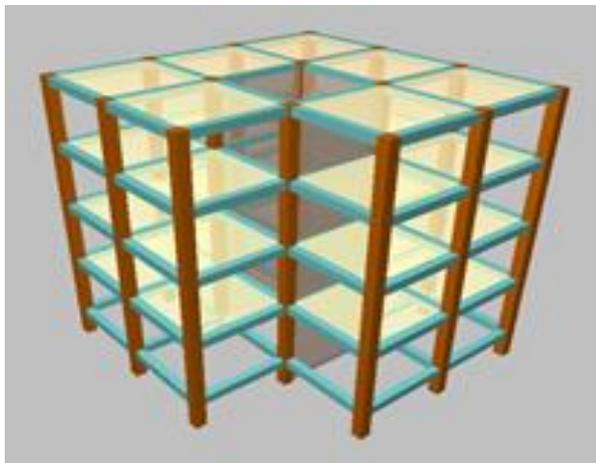


Figura 2.22: Modelo 17: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

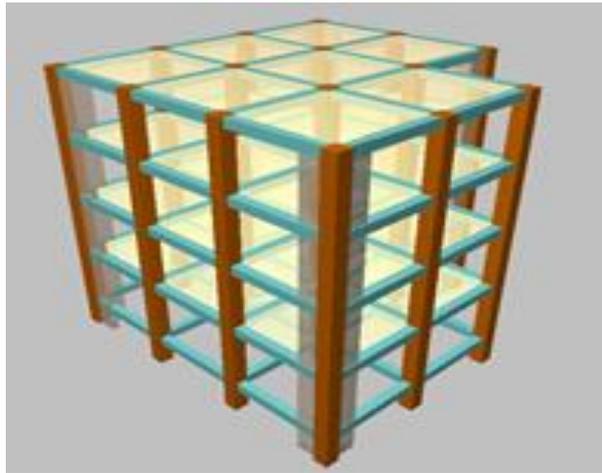


Figura 2.23: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

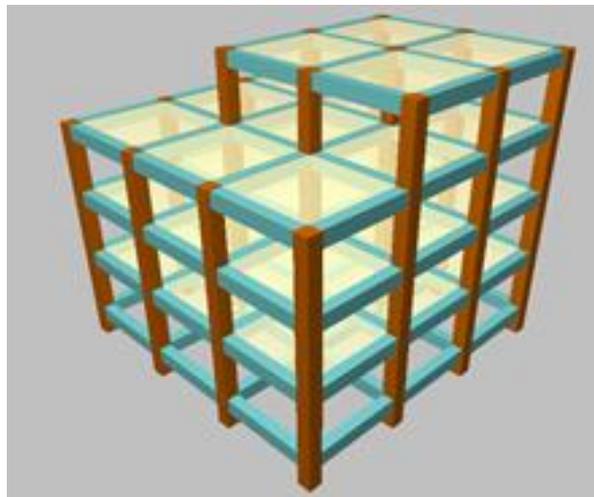


Figura 2.24: Modelo 19: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

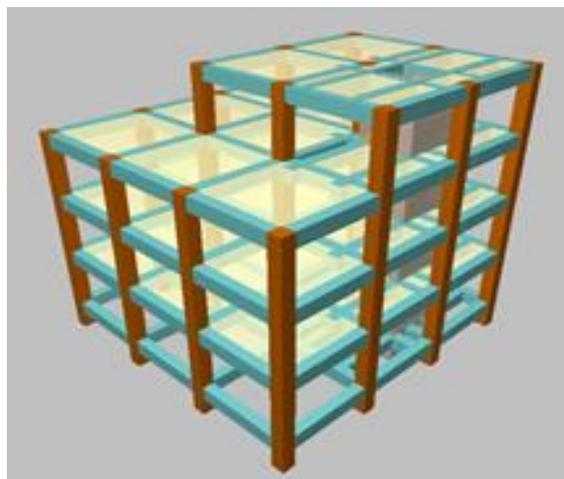


Figura 2.25: Modelo 20: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

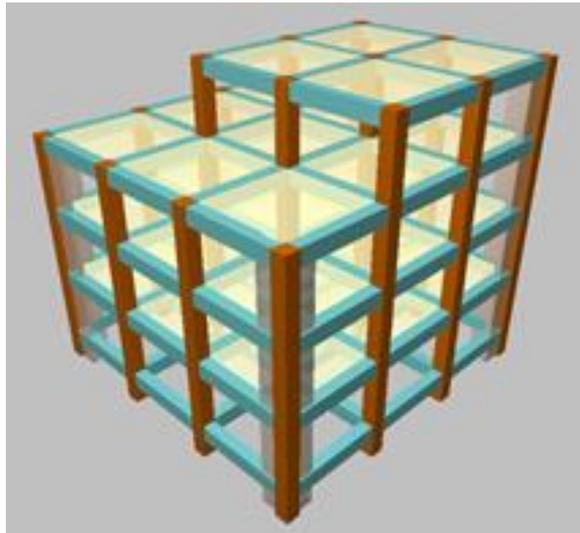


Figura 2.26: Modelo 21: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

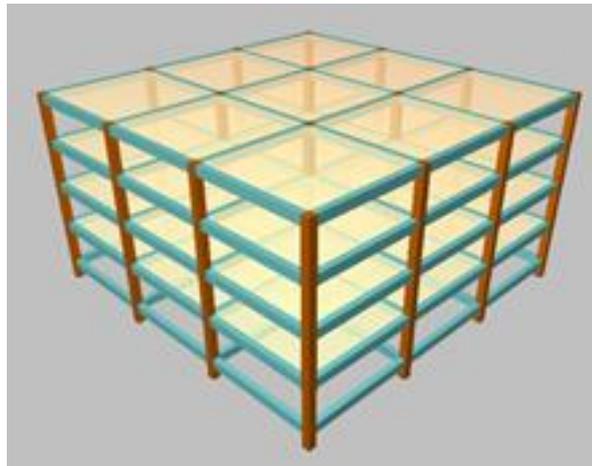


Figura 2.27: Modelo 22: 4 plantas, 4 ejes luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

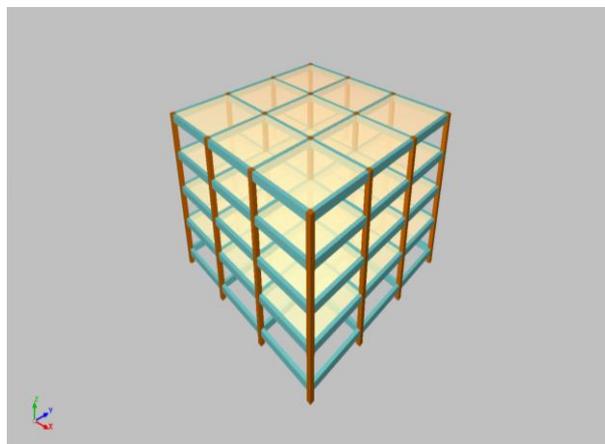


Figura 2.28: Modelo 22: 4 plantas, 4 ejes luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

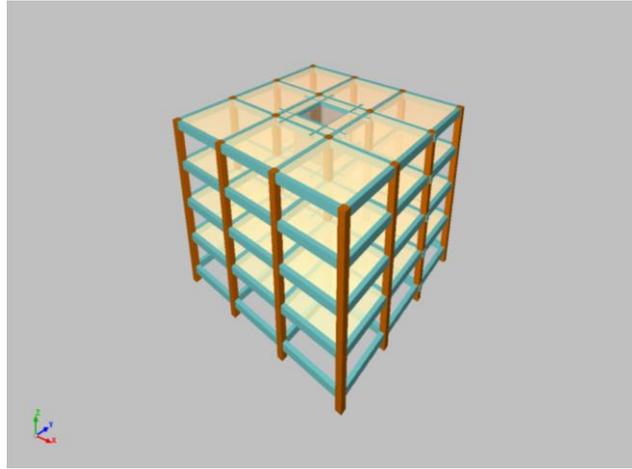


Figura 2.29: Modelo 23: 44 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

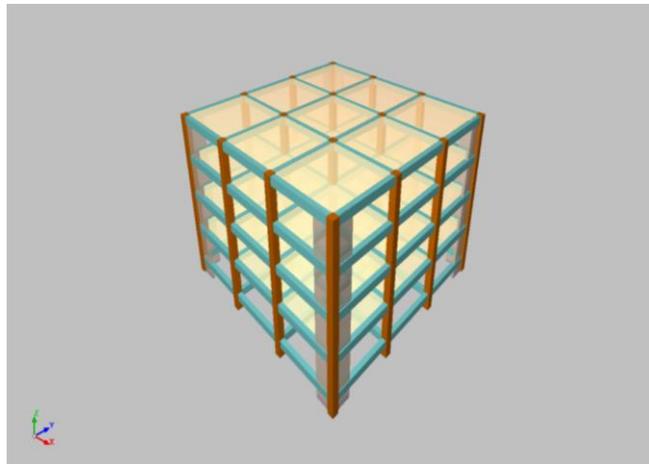


Figura 2.30: Modelo 24: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

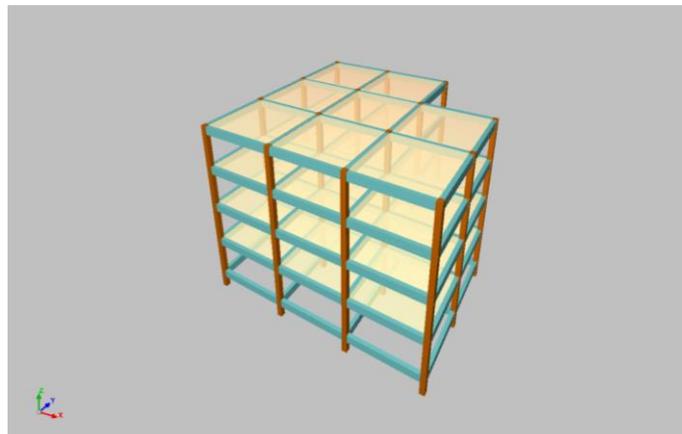


Figura 2.31: Modelo 25: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.32: Modelo 26: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

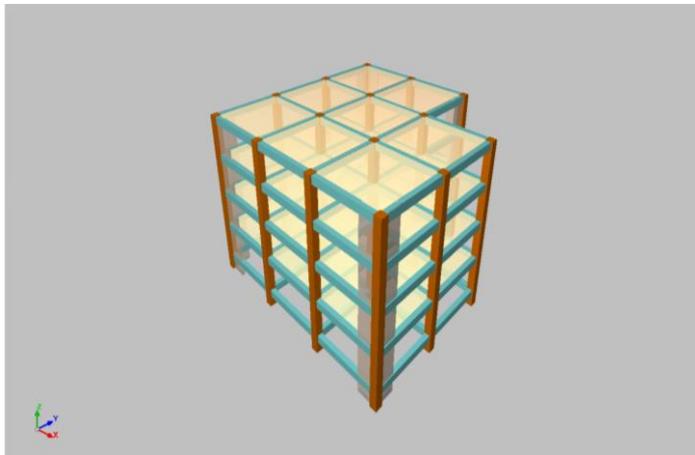


Figura 2.33: Modelo 27: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

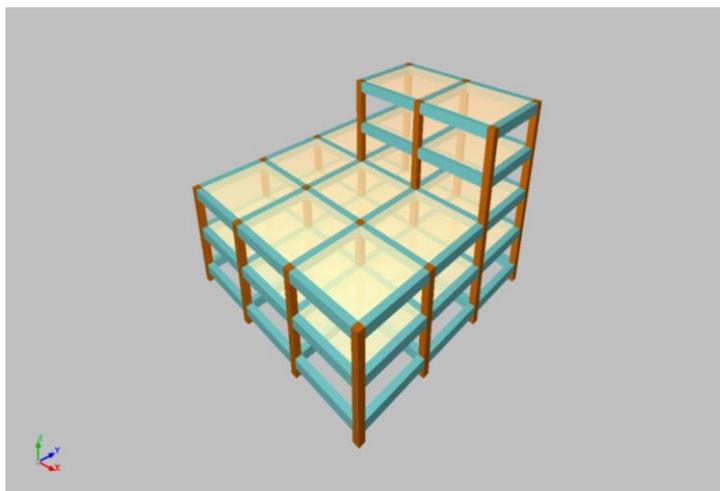


Figura 2.34: Modelo 28: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.35: Modelo 29: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

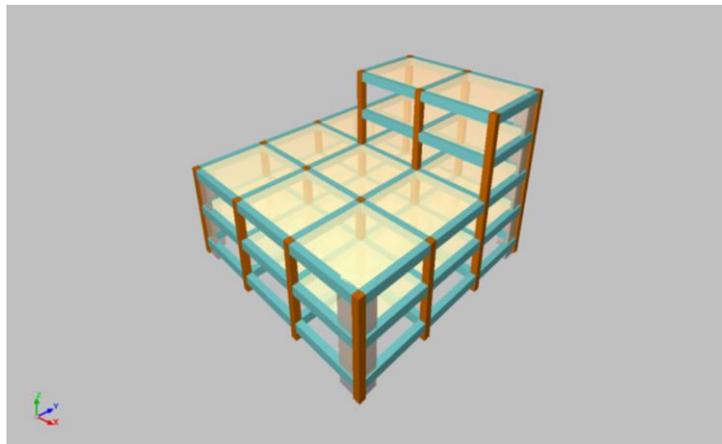


Figura 2.36: Modelo 30: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

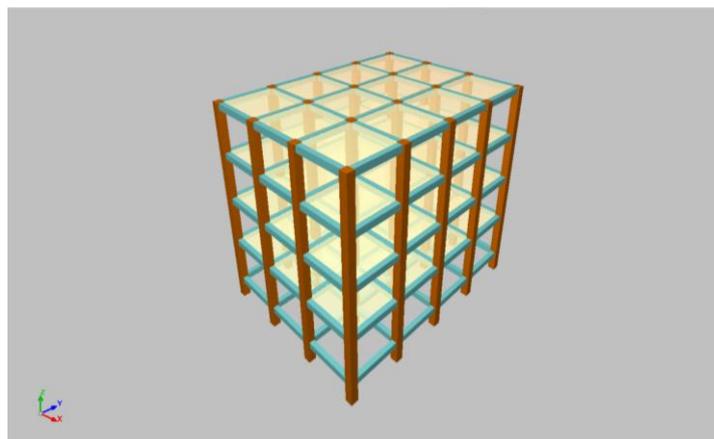


Figura 2.37: Modelo 31: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

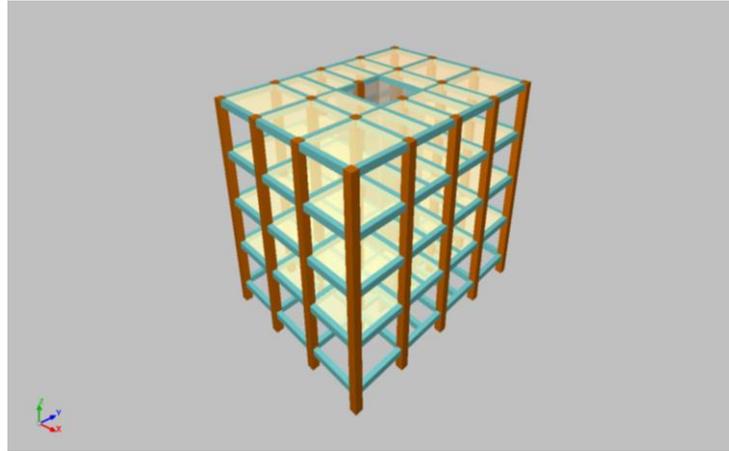


Figura 2.38: Modelo 32: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

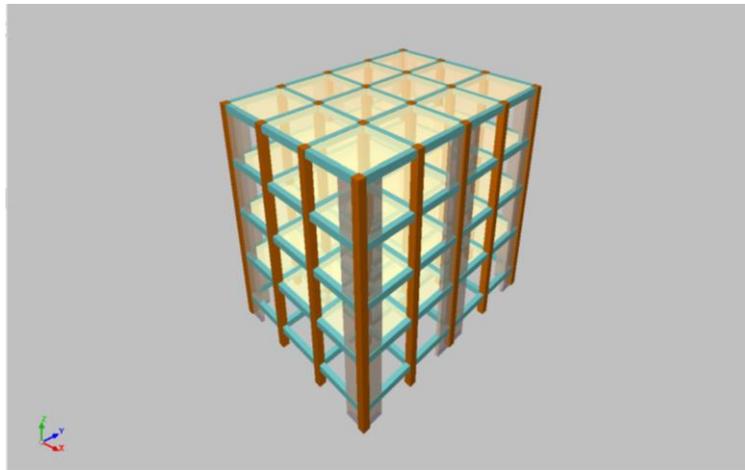


Figura 2.39: Modelo 33: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

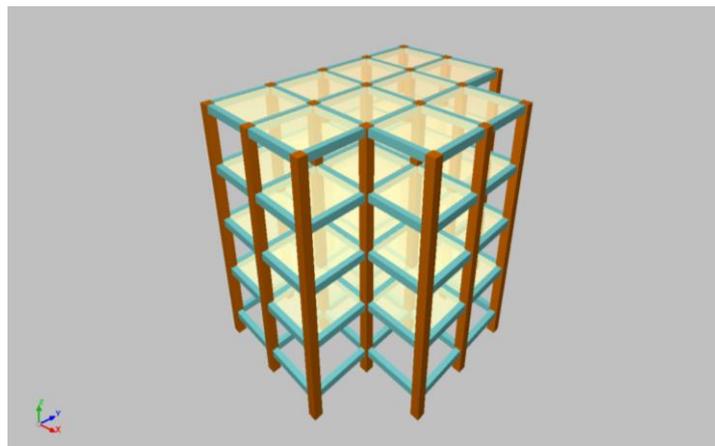


Figura 2.40: Modelo 34: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

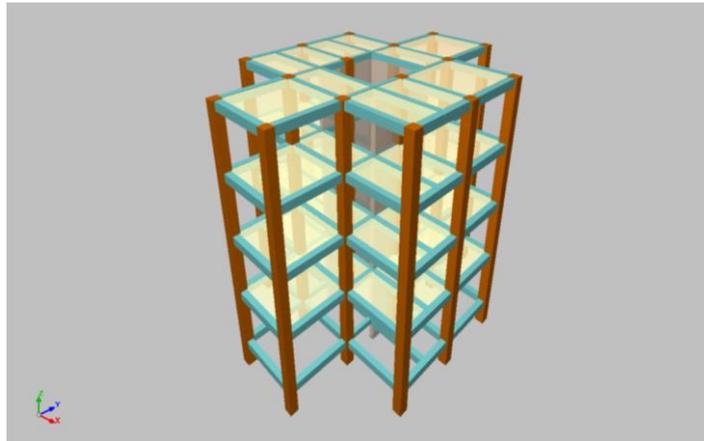


Figura 2.41: Modelo 35: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

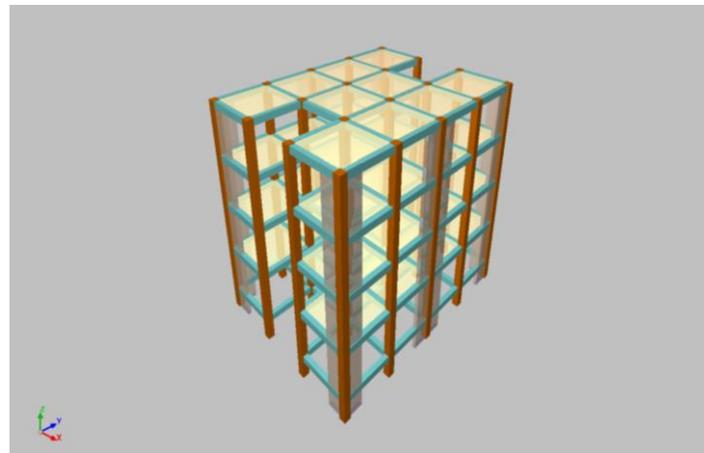


Figura 2.42: Modelo 36: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

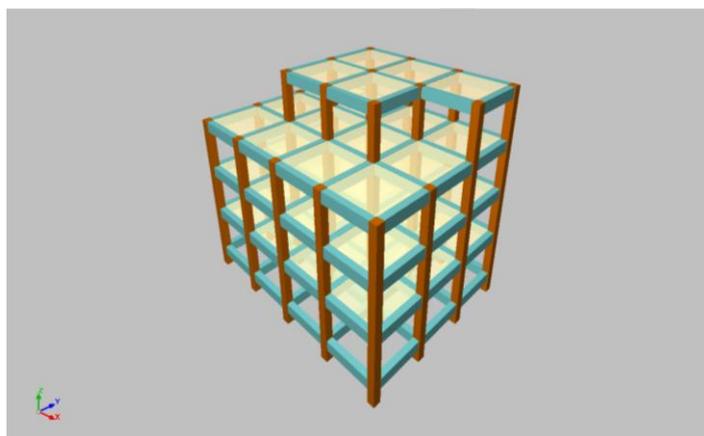


Figura 2.43: Modelo 37: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

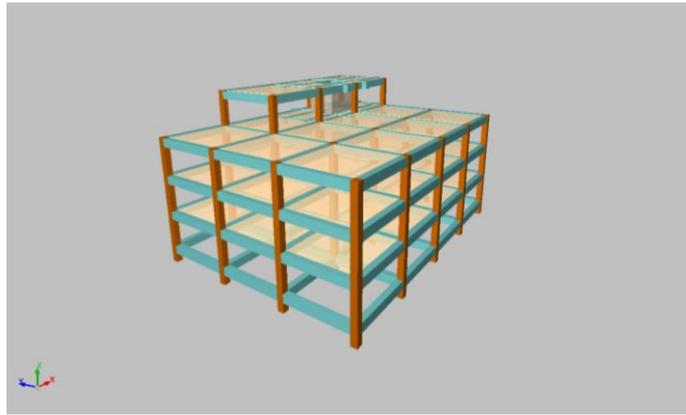


Figura 2.44: Modelo 38: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

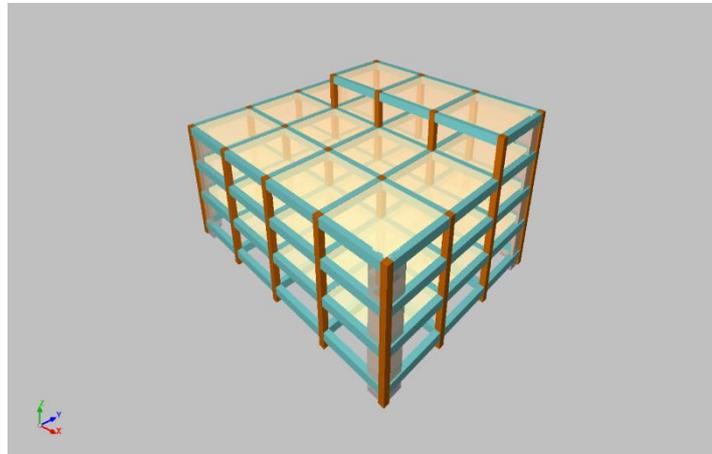


Figura 2.45: Modelo 39: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

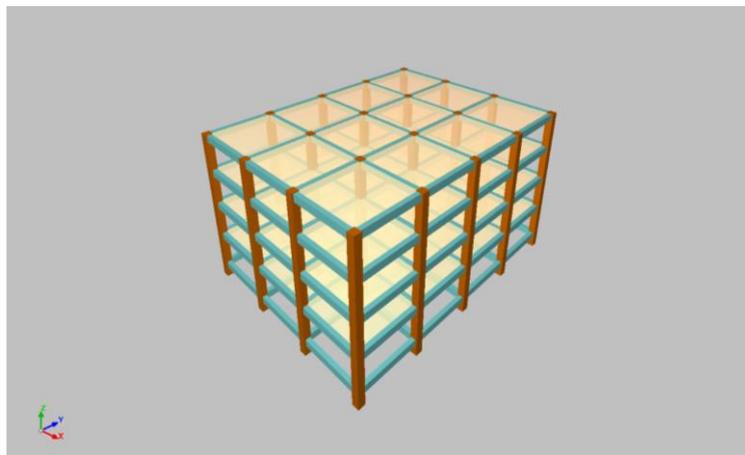


Figura 2.46: Modelo 40: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

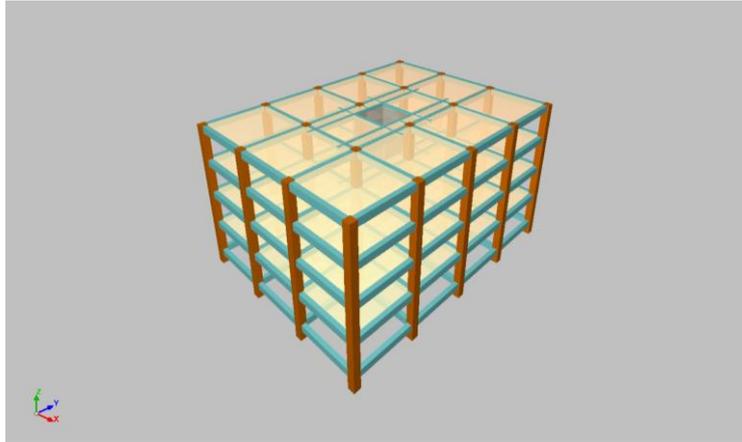


Figura 2.47: Modelo 41: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

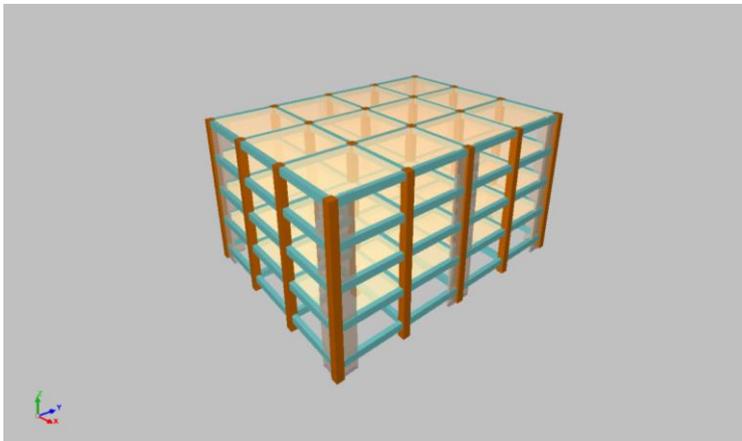


Figura 2.48: Modelo 42: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

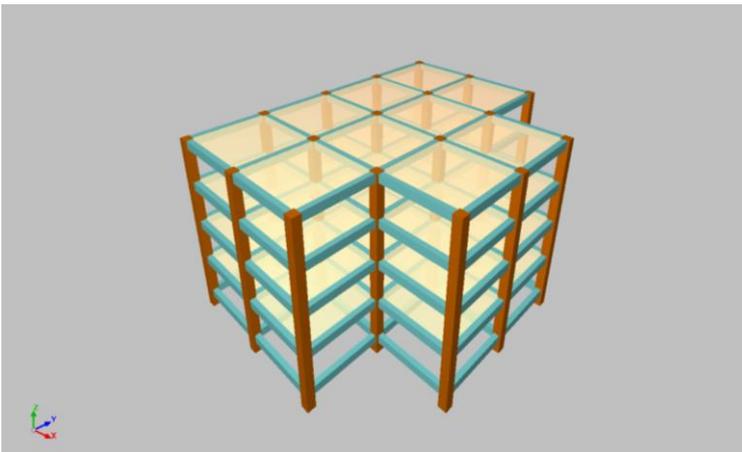


Figura 2.49: Modelo 43: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

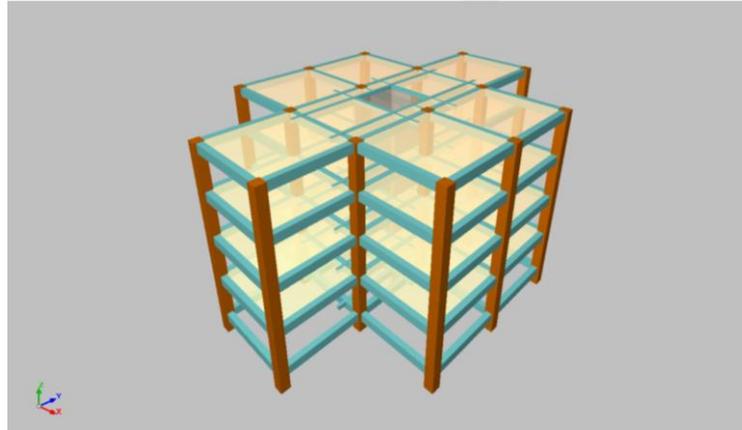


Figura 2.50: Modelo 44: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

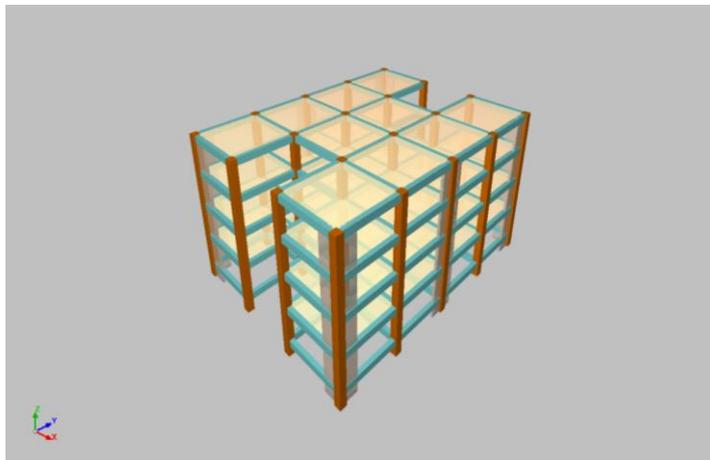


Figura 2.51: Modelo 45: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

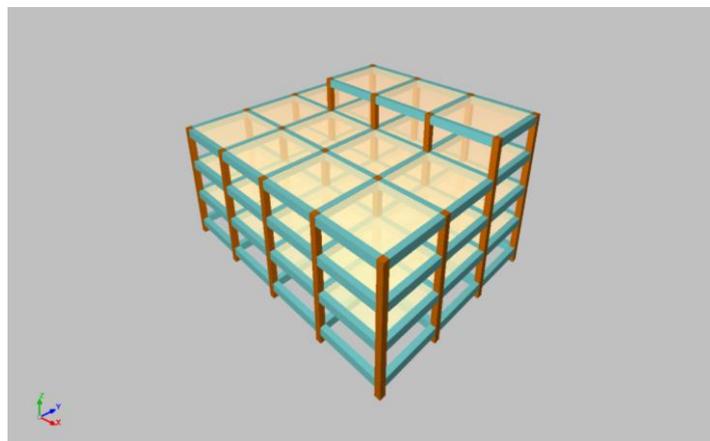


Figura 2.52: Modelo 46: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.53: Modelo 47: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

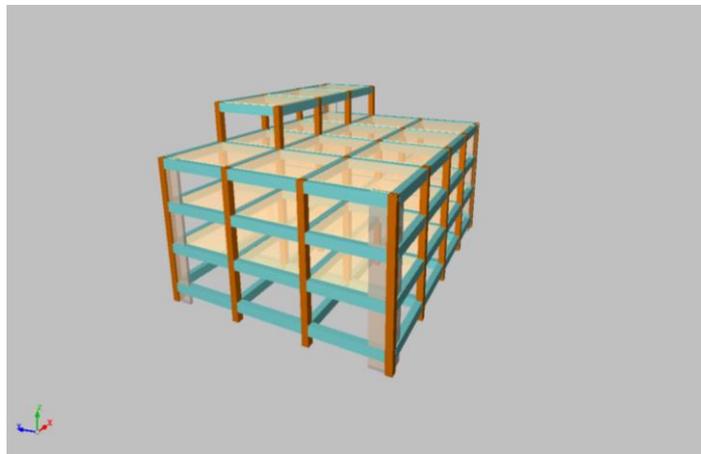


Figura 2.54: Modelo 48: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

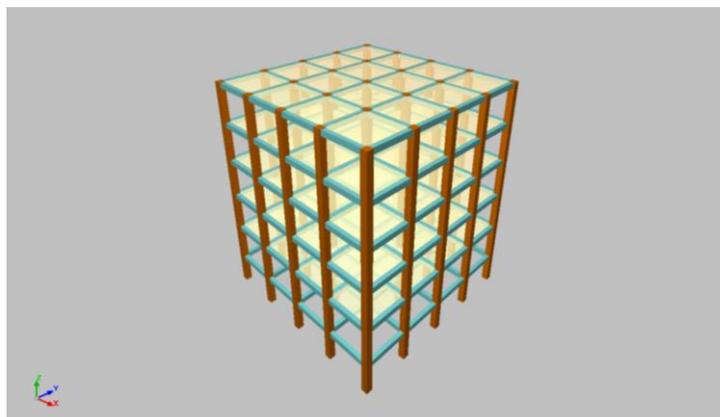


Figura 2.55: Modelo 49: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

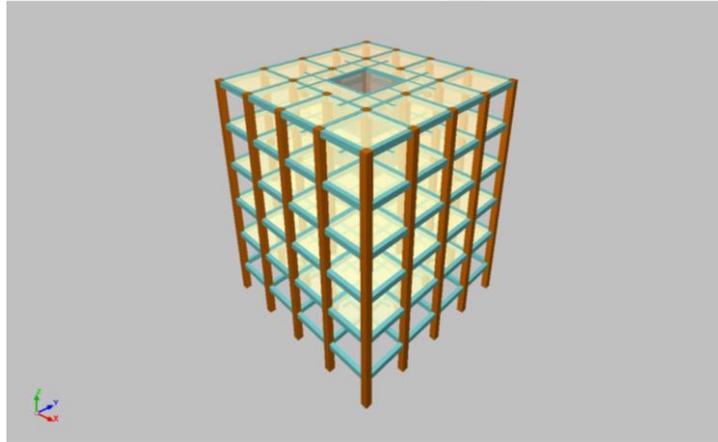


Figura 2.56: Modelo 50: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

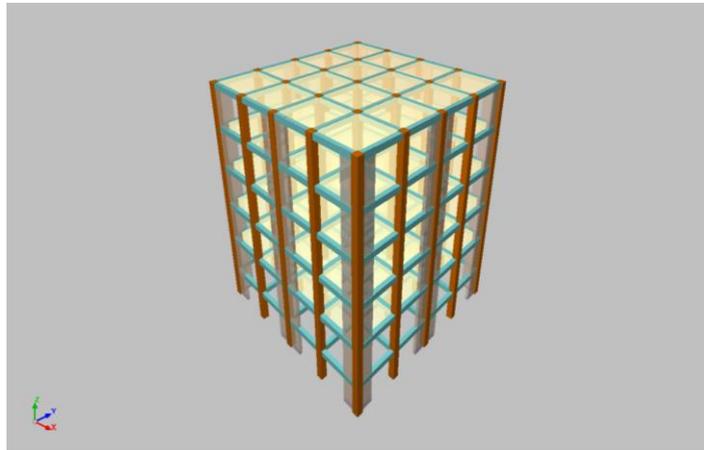


Figura 2.57: Modelo 51: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

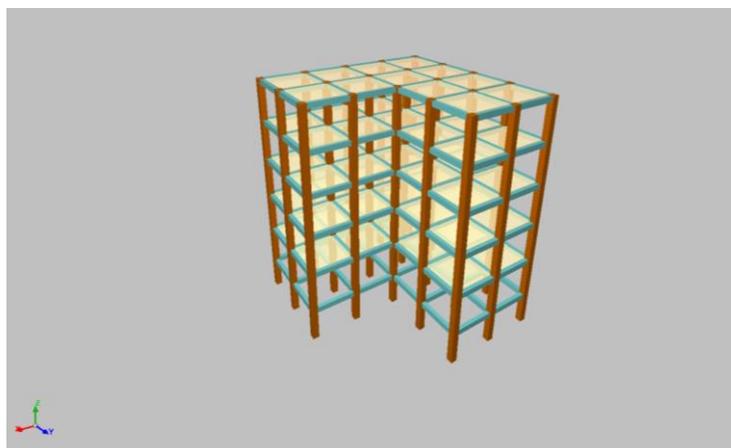


Figura 2.58: Modelo 52: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

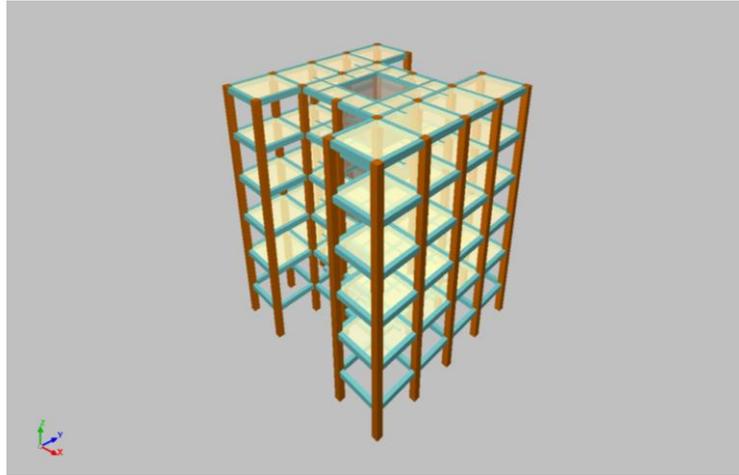


Figura 2.59: Modelo 53: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

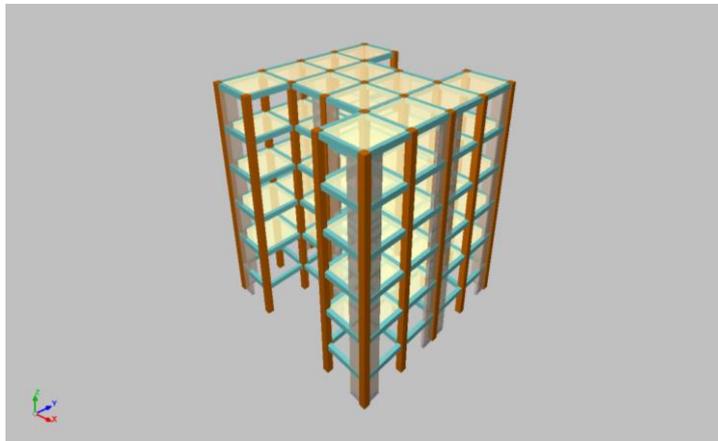


Figura 2.60: Modelo 54: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.61: Modelo 55: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.62: Modelo 56: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.63: Modelo 57: 5 plantas, 5 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

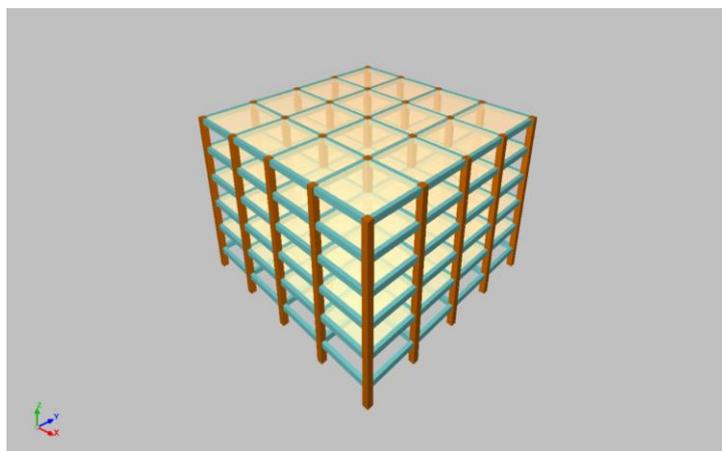


Figura 2.64: Modelo 58: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

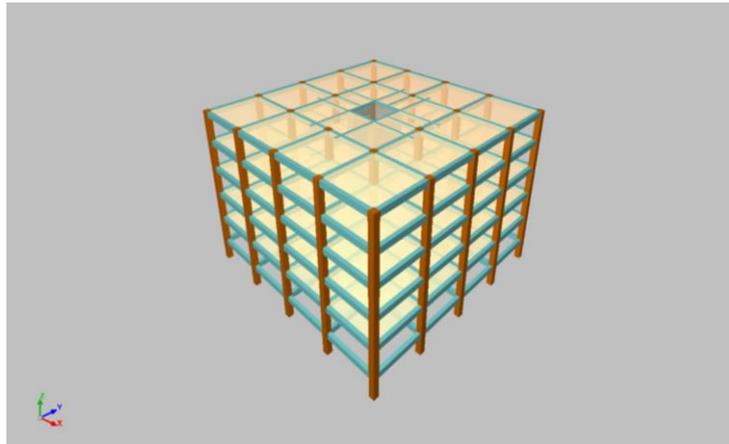


Figura 2.65: Modelo 59: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

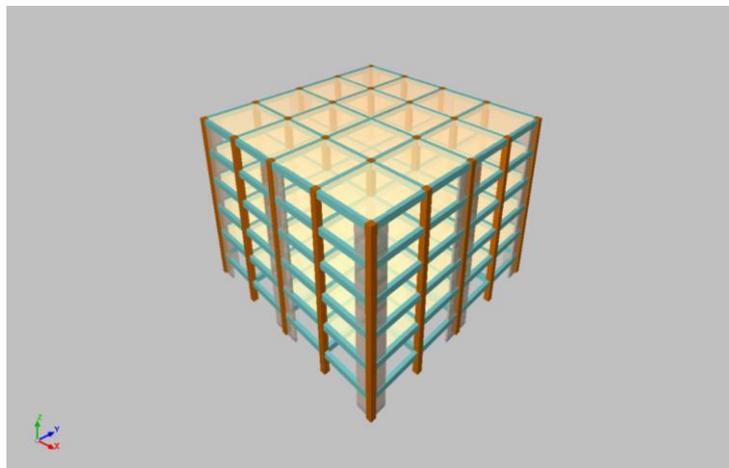


Figura 2.66: Modelo 60: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

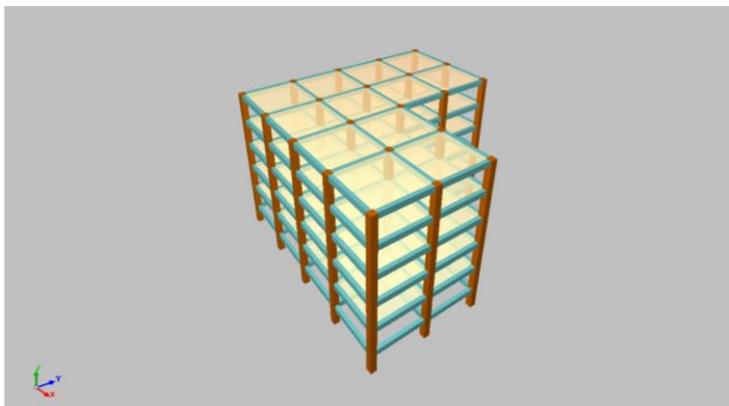


Figura 2.67: Modelo 61: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

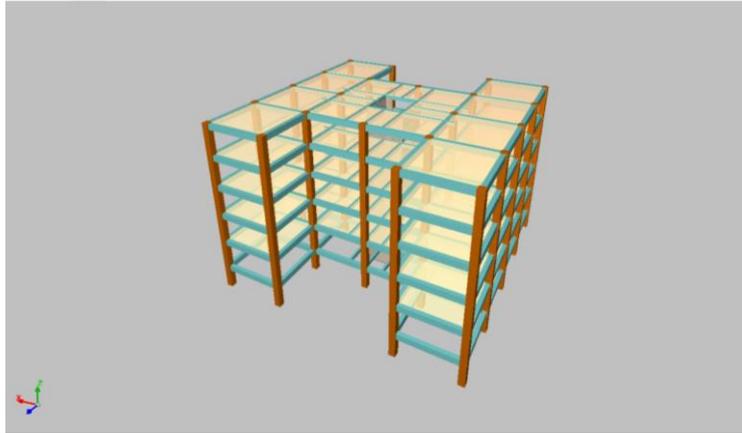


Figura 2.68: Modelo 62: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

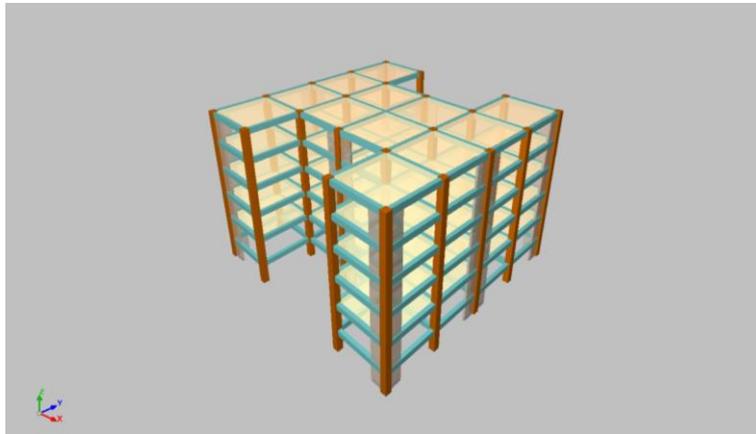


Figura 2.69: Modelo 63: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

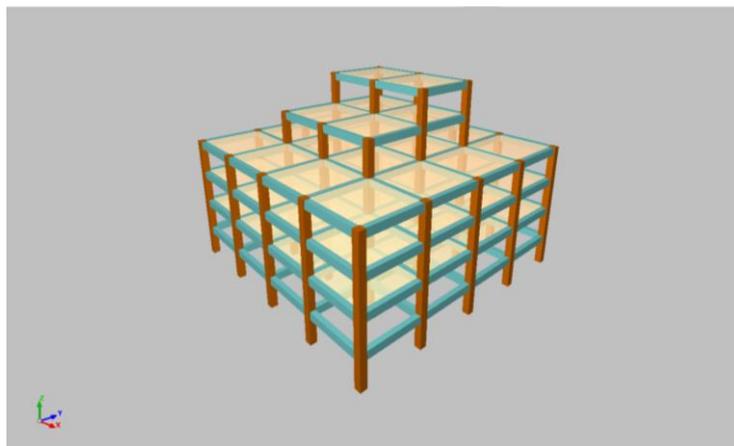


Figura 2.70: Modelo 64: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

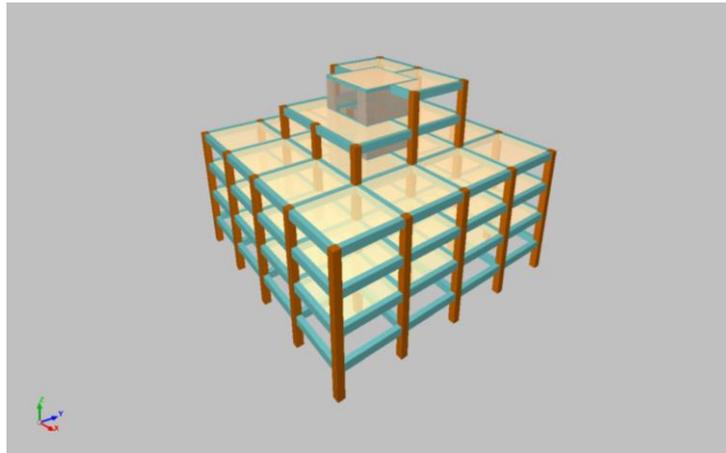


Figura 2.71: Modelo 65: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

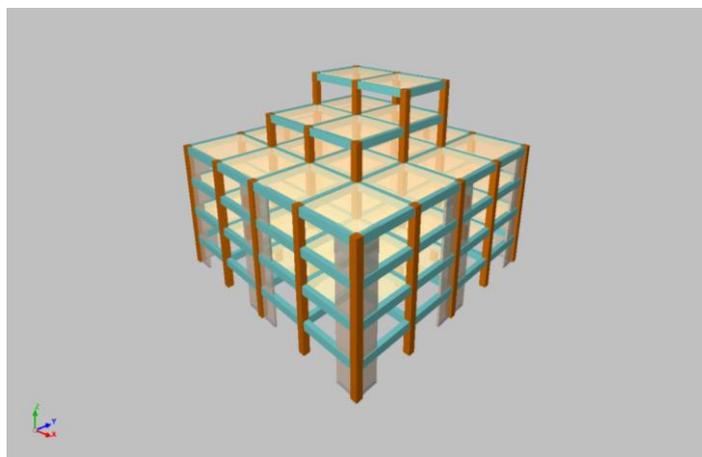


Figura 2.72: Modelo 66: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

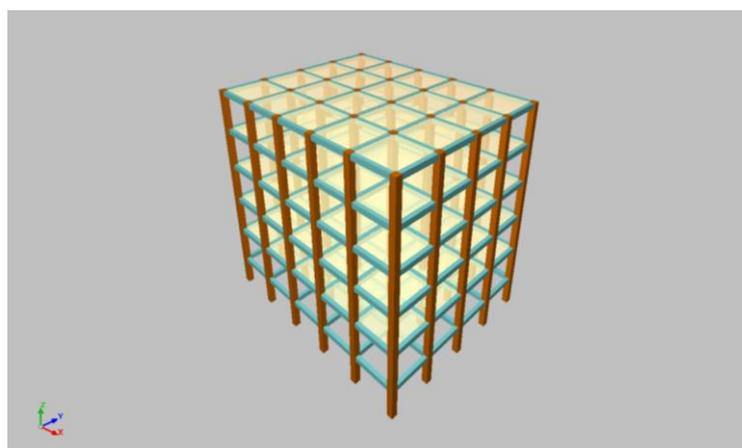


Figura 2.73: Modelo 67: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

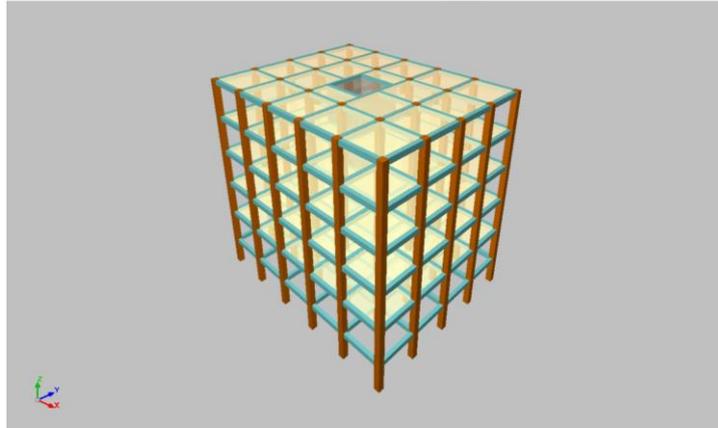


Figura 2.74: Modelo 68: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

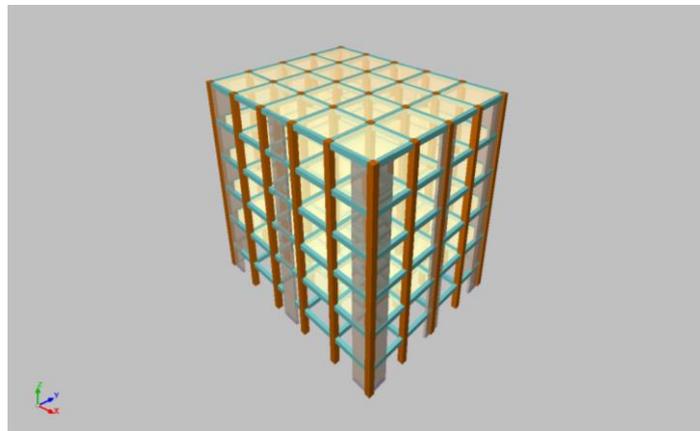


Figura 2.75: Modelo 69: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

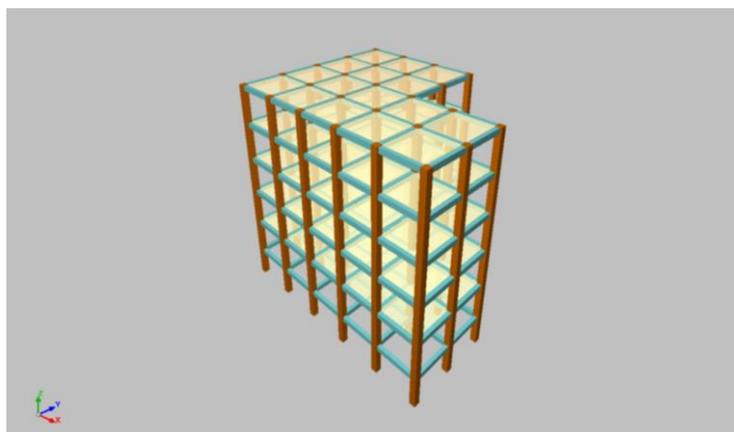


Figura 2.76: Modelo 70: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

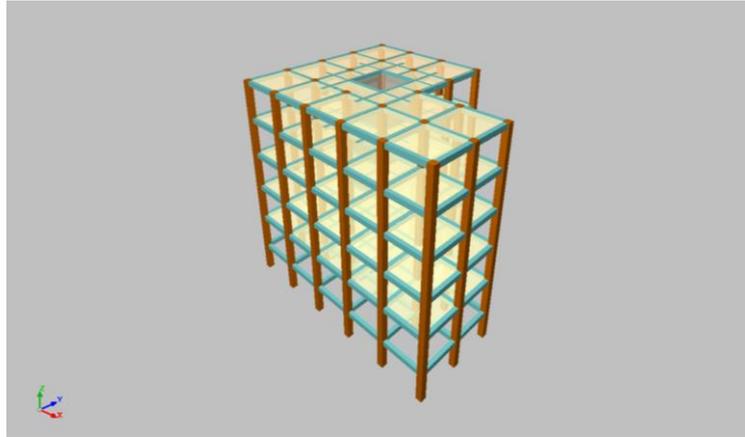


Figura 2.77: Modelo 71: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

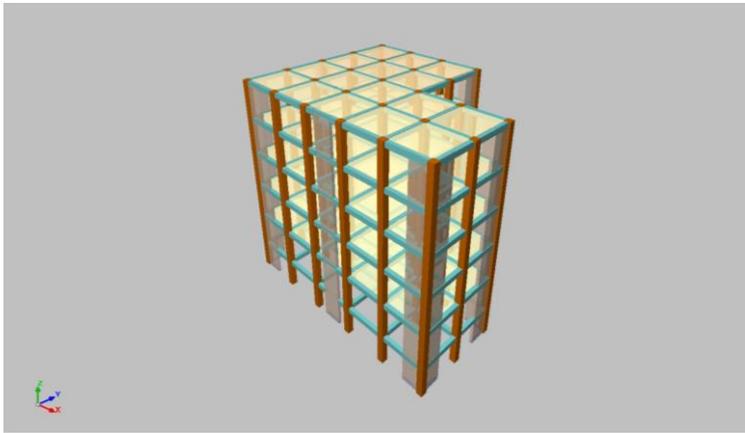


Figura 2.78: Modelo 72: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

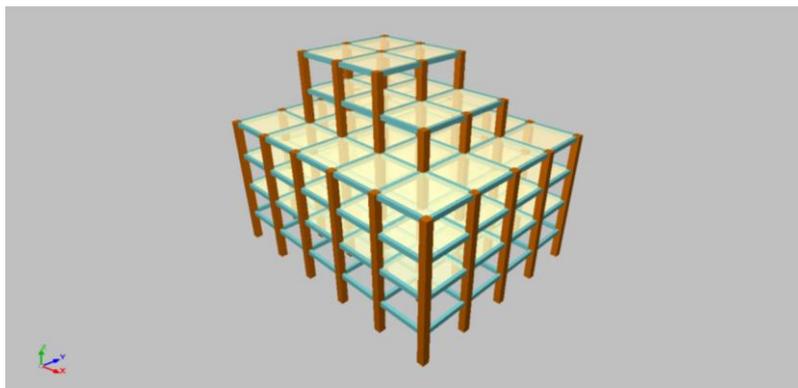


Figura 2.79: Modelo 73: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

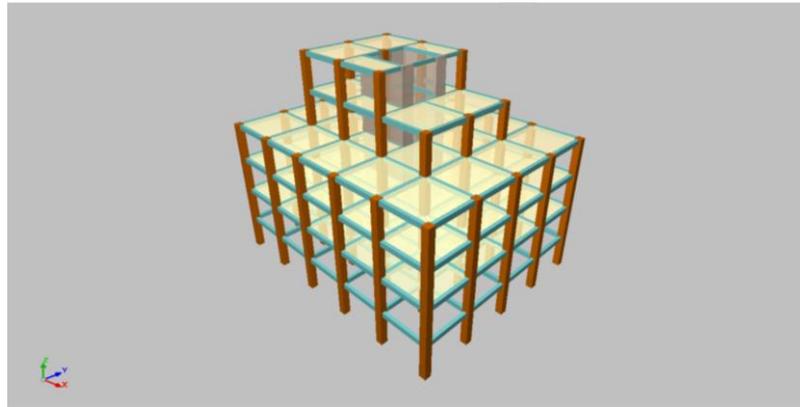


Figura 2.80: Modelo 74: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

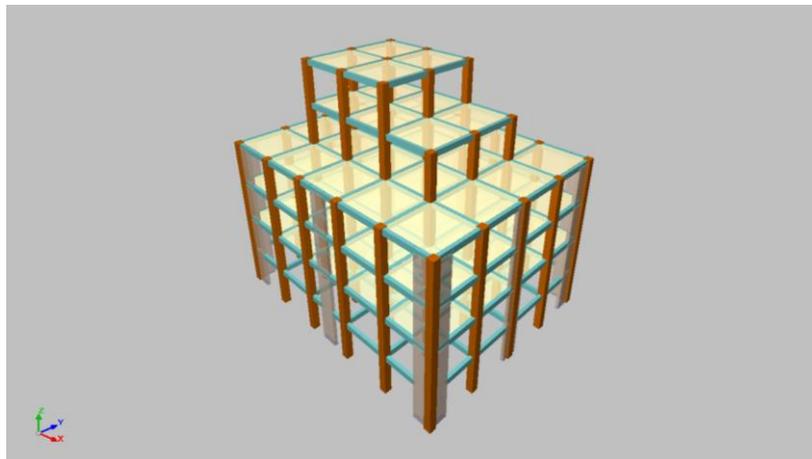


Figura 2.81: Modelo 75: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

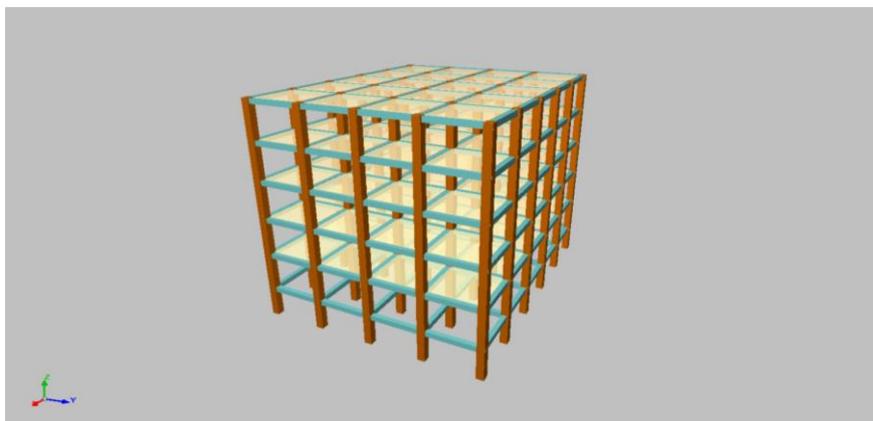


Figura 2.82: Modelo 76: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

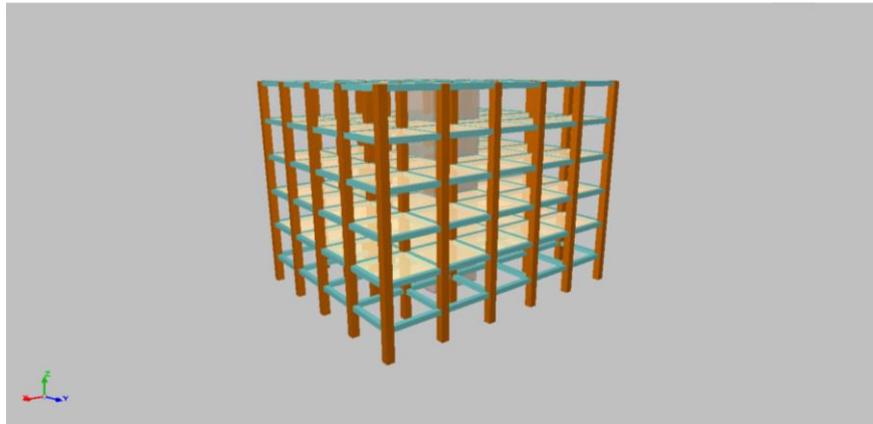


Figura 2.83: Modelo 77: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

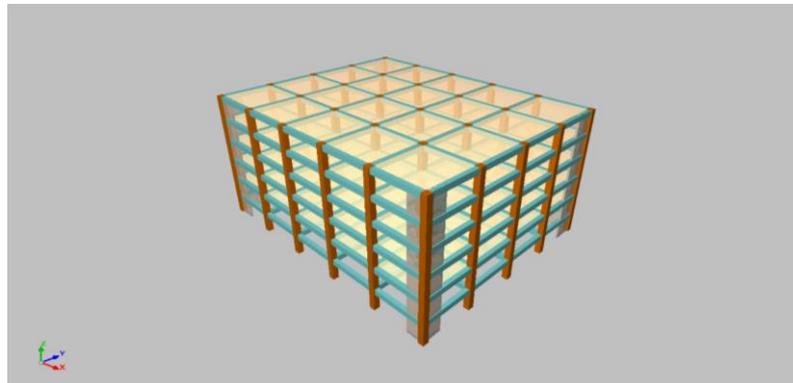


Figura 2.84: Modelo 78: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

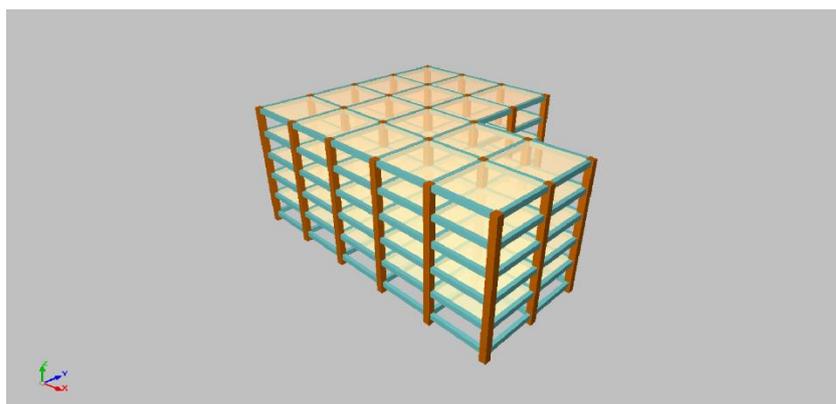


Figura 2.85: Modelo 79: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

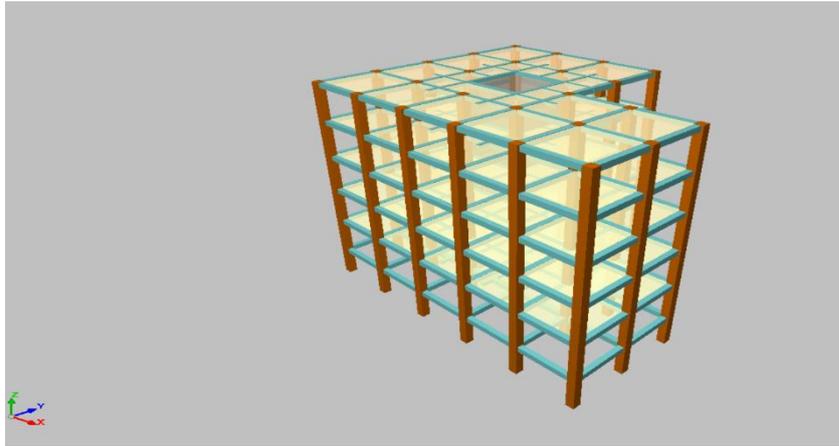


Figura 2.86: Modelo 80: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

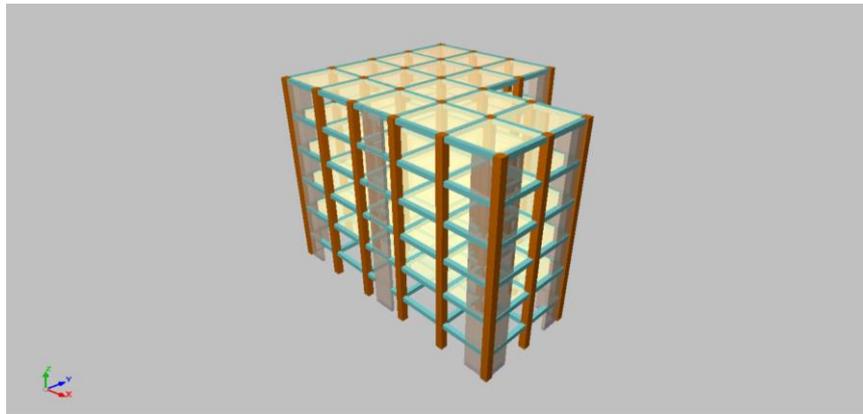


Figura 2.87: Modelo 81: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

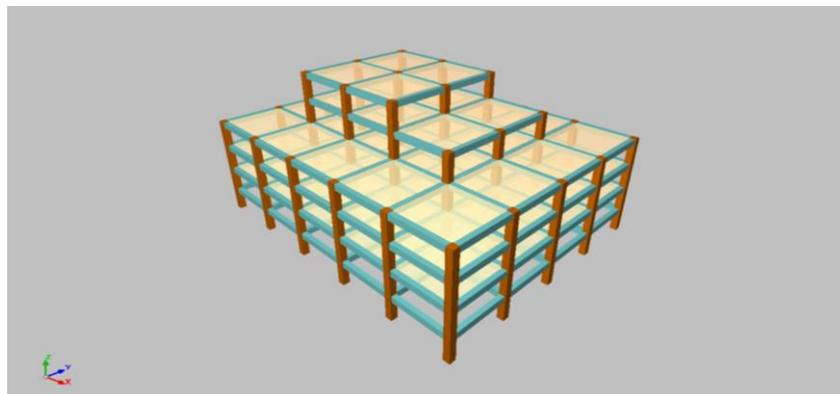


Figura 2.88: Modelo 82: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

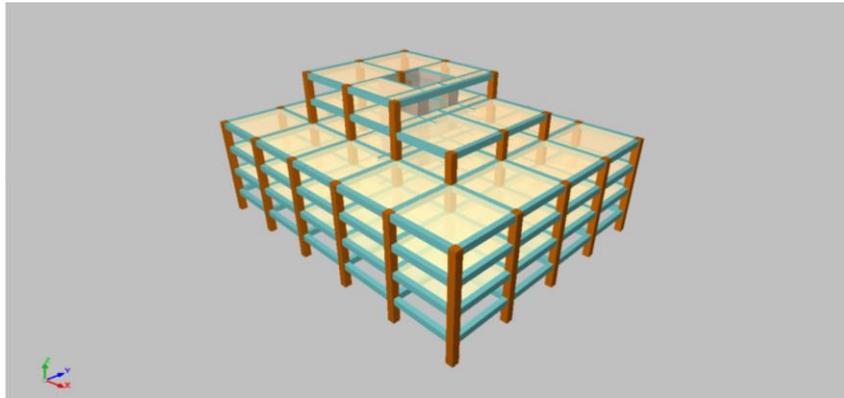


Figura 2.89: Modelo 83: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

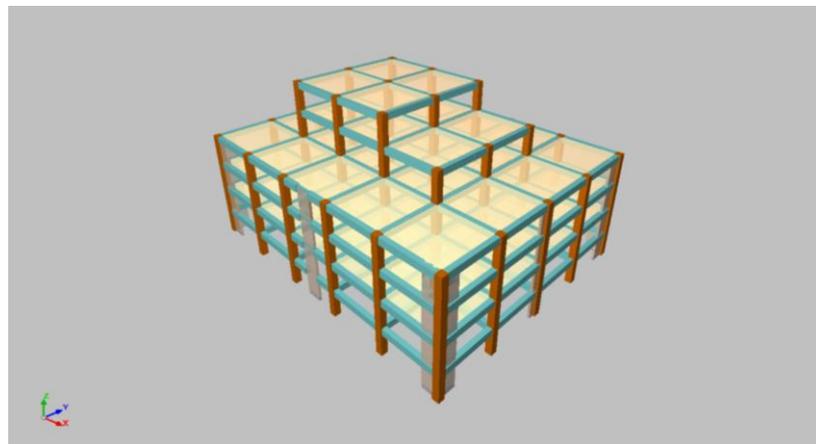


Figura 2.90: Modelo 84: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

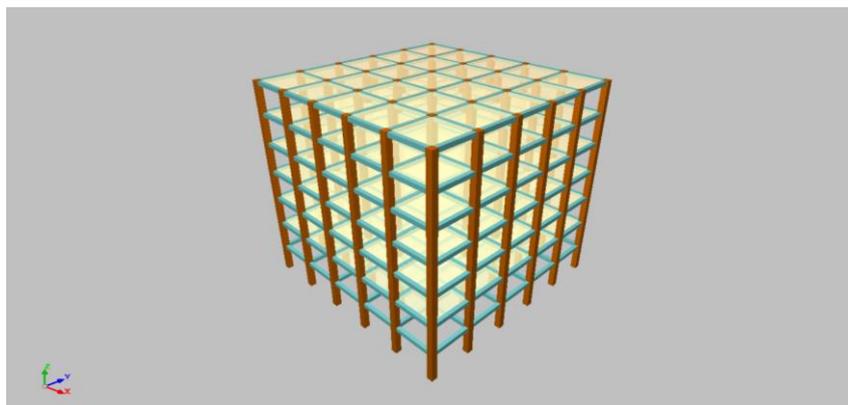


Figura 2.91: Modelo 85: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

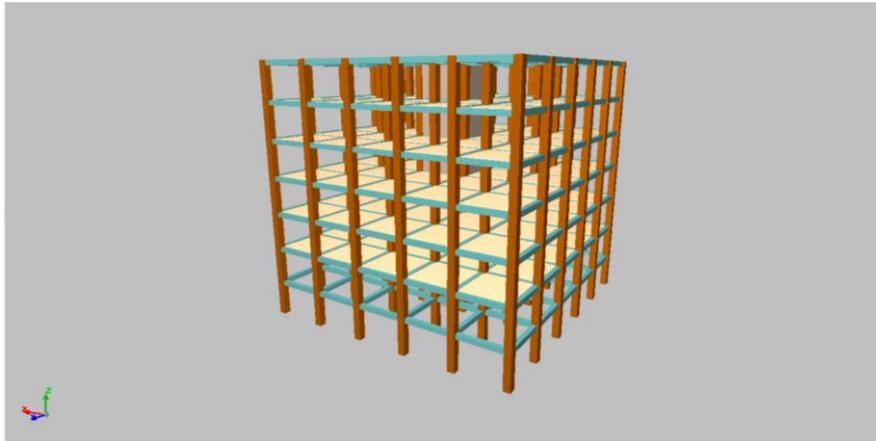


Figura 2.92: Modelo 86: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

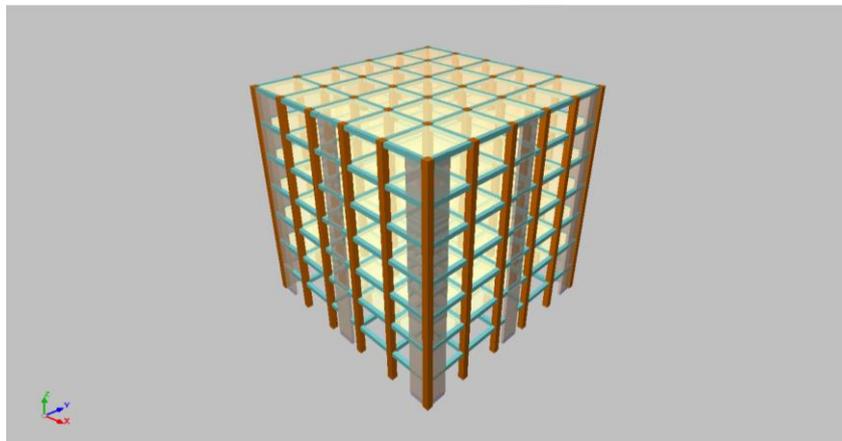


Figura 2.93: Modelo 87: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

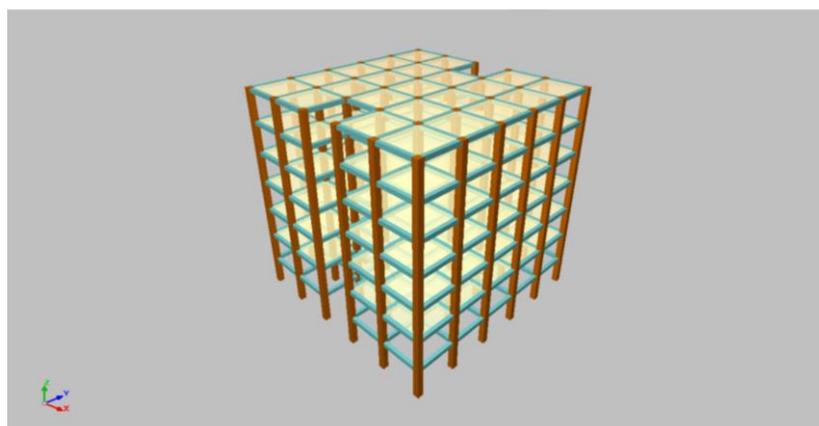


Figura 2.94: Modelo 88: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

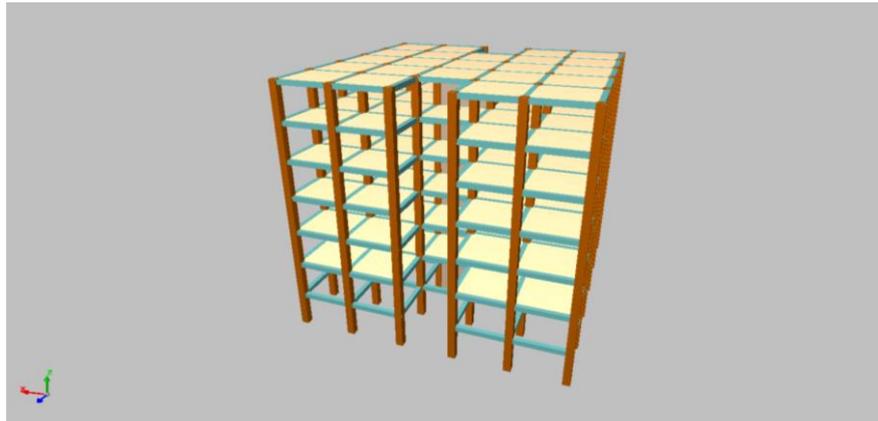


Figura 2.95: Modelo 89: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

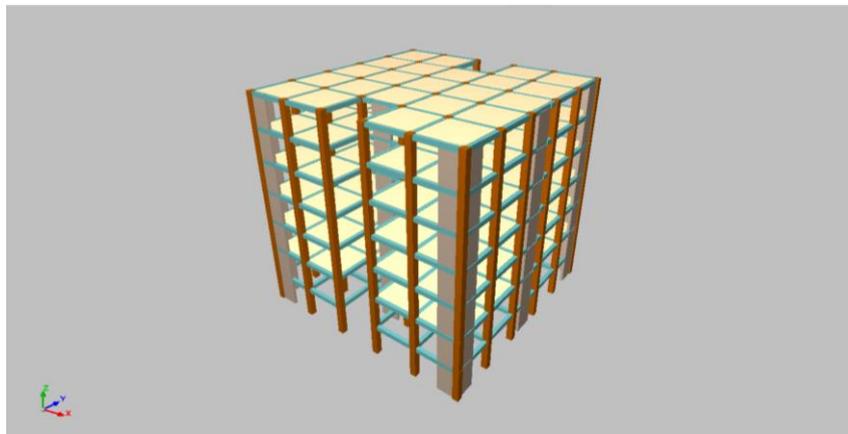


Figura 2.96: Modelo 90: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

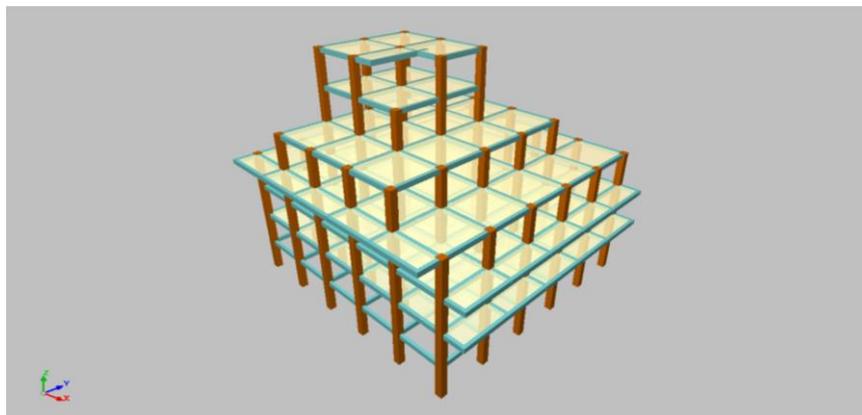


Figura 2.97: Modelo 91: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

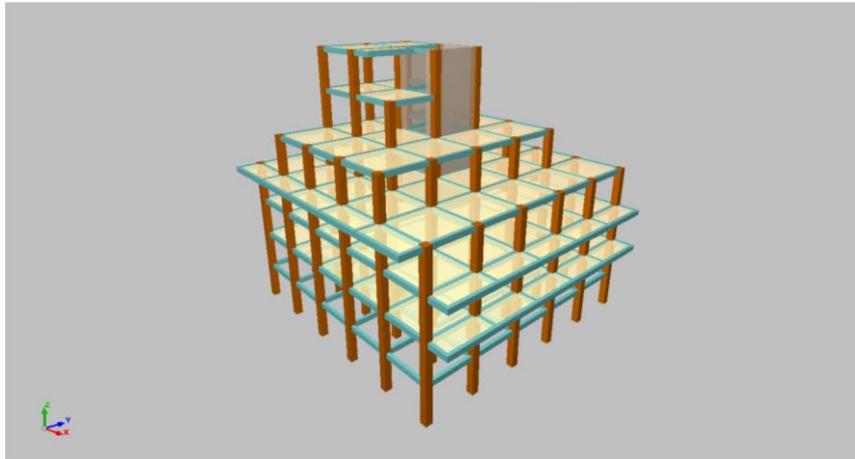


Figura 2.98: Modelo 92: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

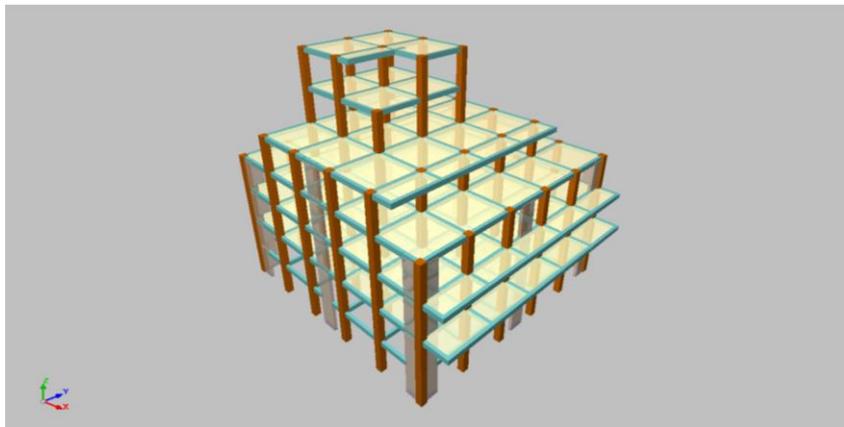


Figura 2.99: Modelo 93: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

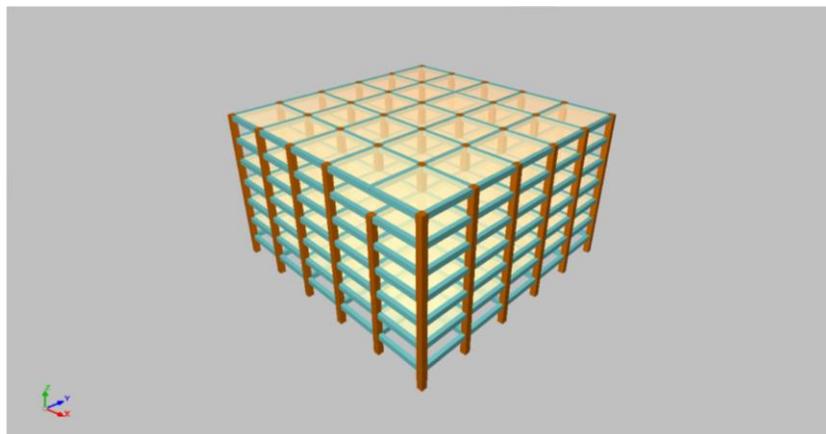


Figura 2.100: Modelo 94: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

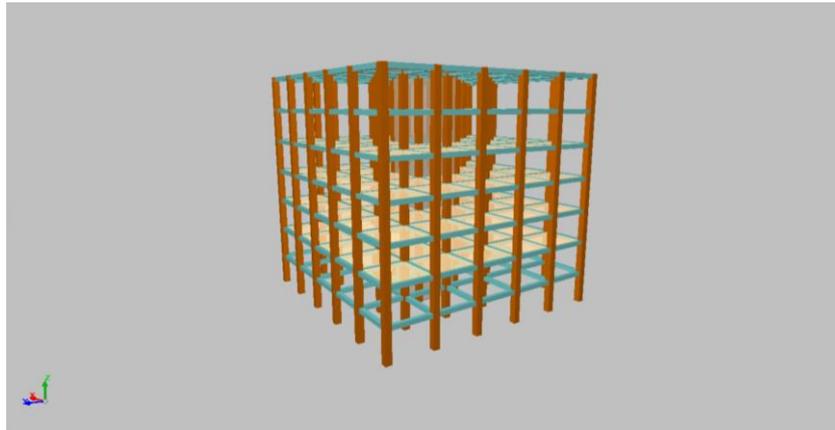


Figura 2.101: Modelo 95: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

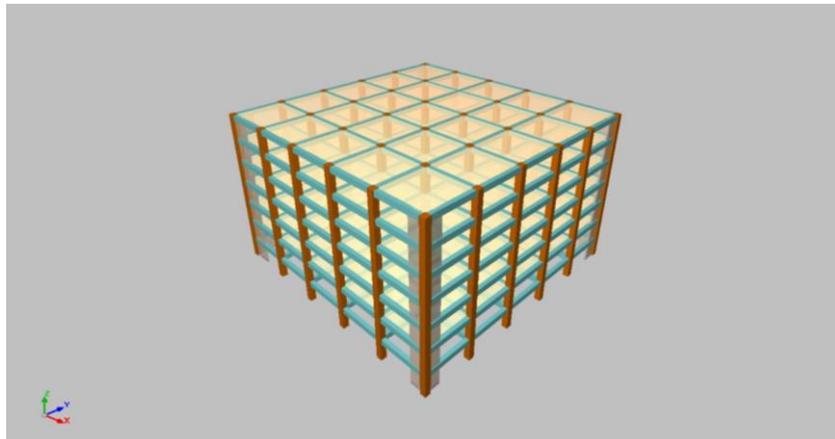


Figura 2.102: Modelo 96: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

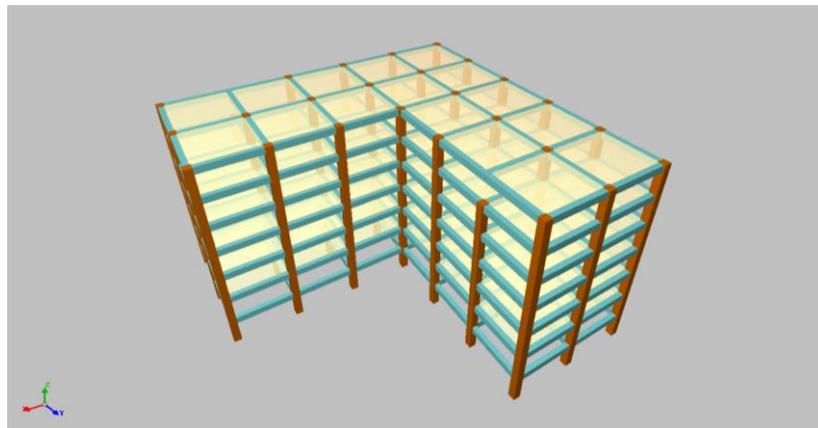


Figura 2.103: Modelo 97: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

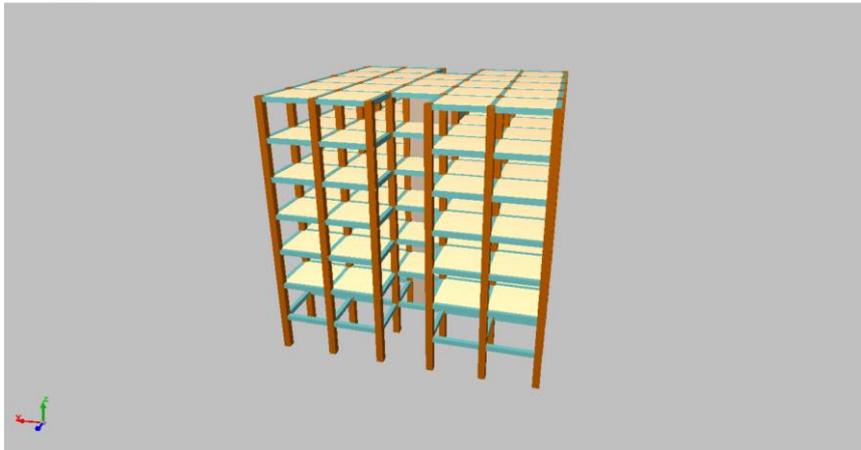


Figura 2.104: Modelo 98: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

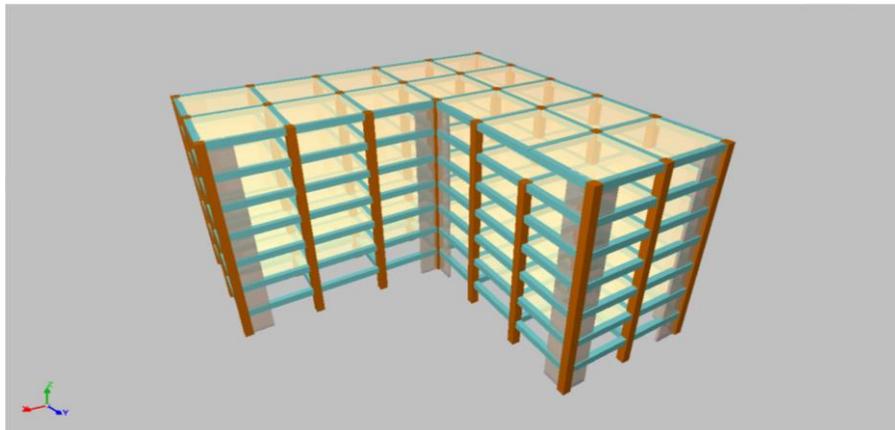


Figura 2.105: Modelo 99: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

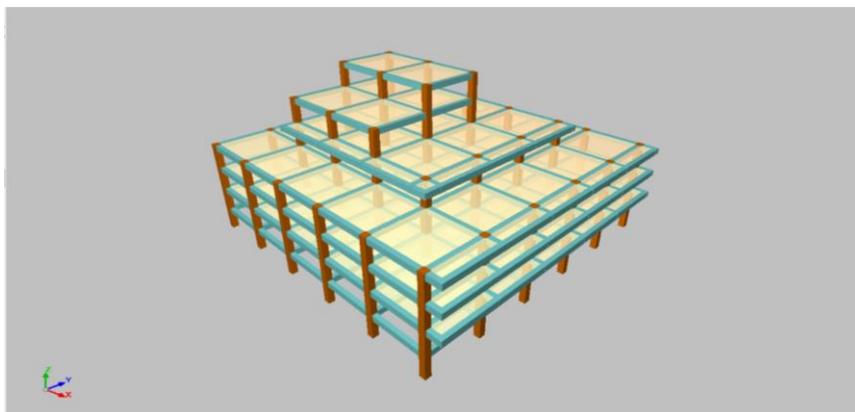


Figura 2.106: Modelo 100: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

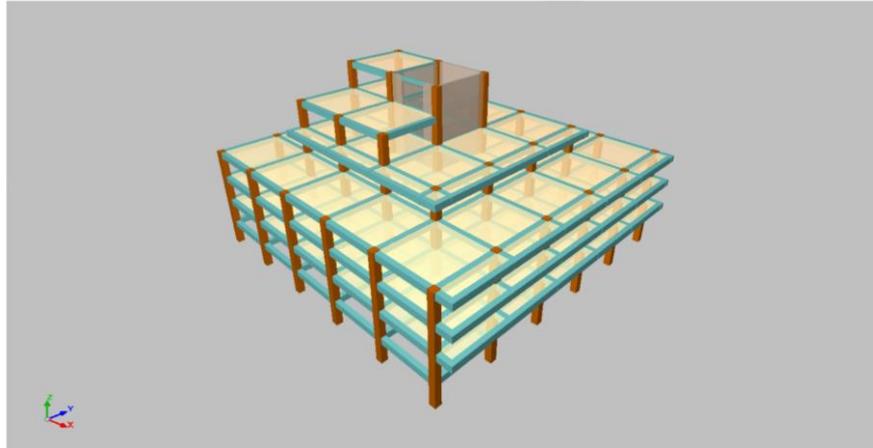


Figura 2.107: Modelo 101: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

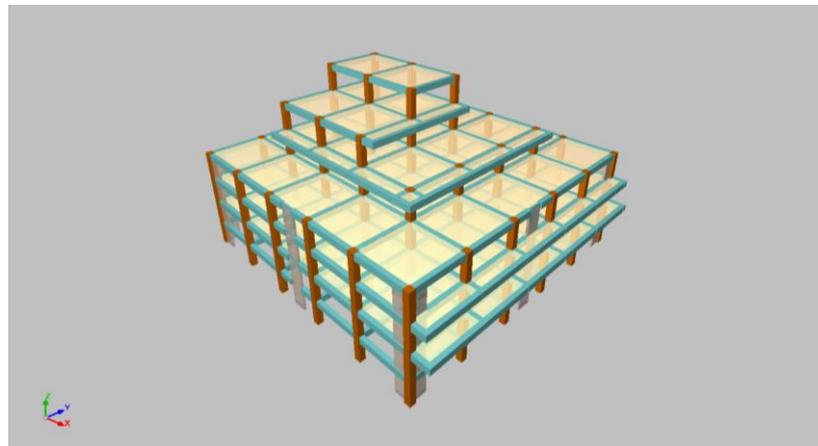


Figura 2.108: Modelo 102: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

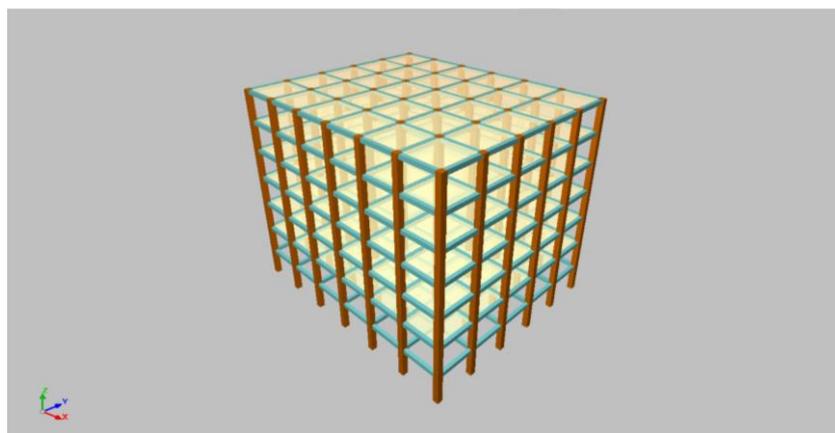


Figura 2.109: Modelo 103: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

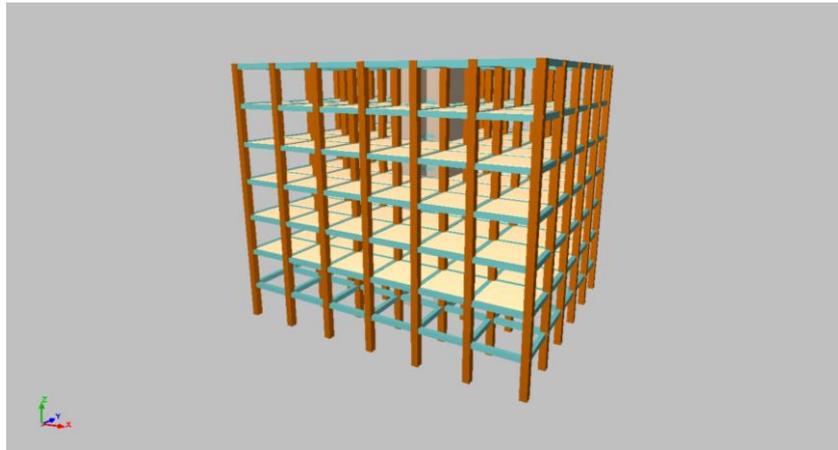


Figura 2.110: Modelo 104: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

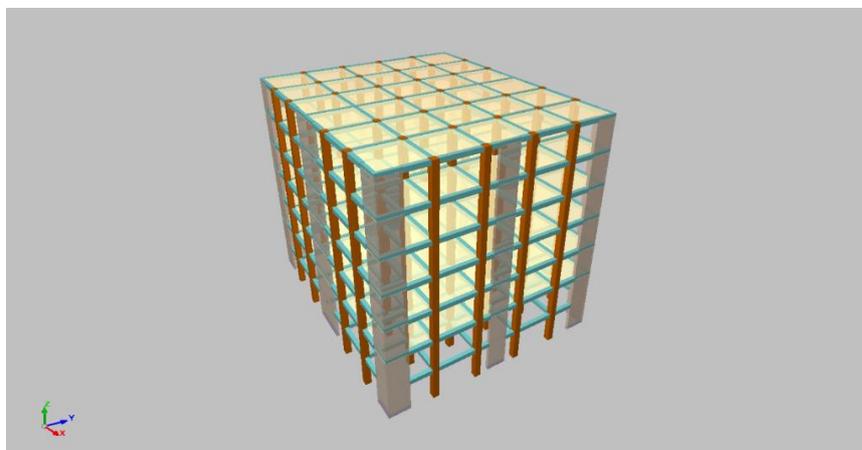


Figura 2.111: Modelo 105: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular en planta y altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

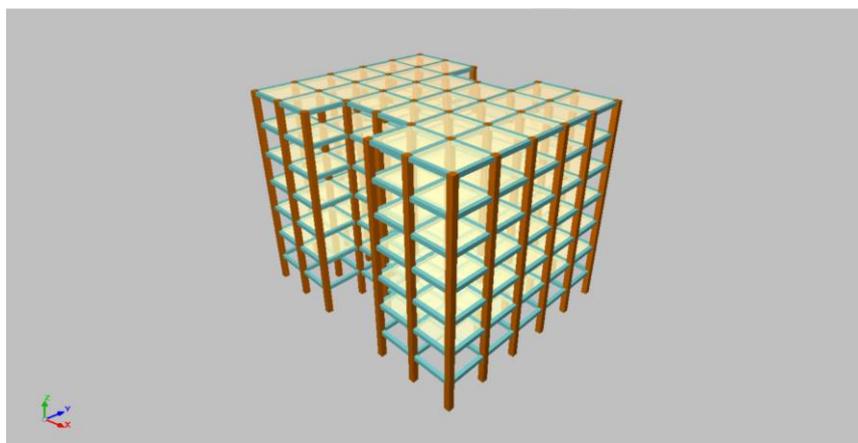


Figura 2.112: Modelo 106: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

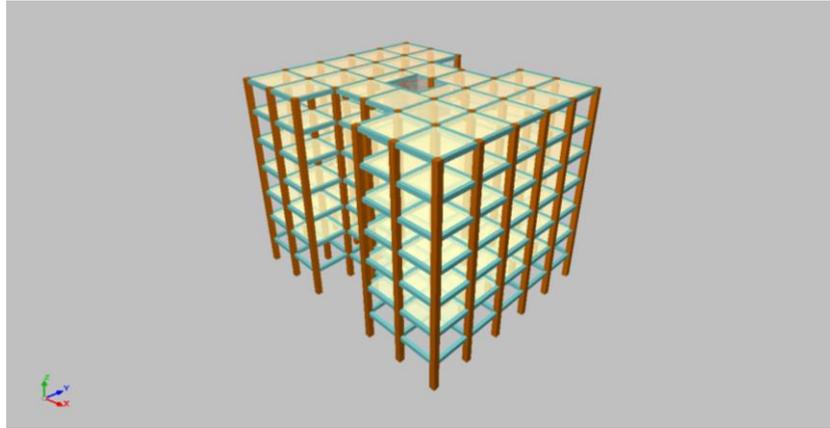


Figura 2.113: Modelo 107: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

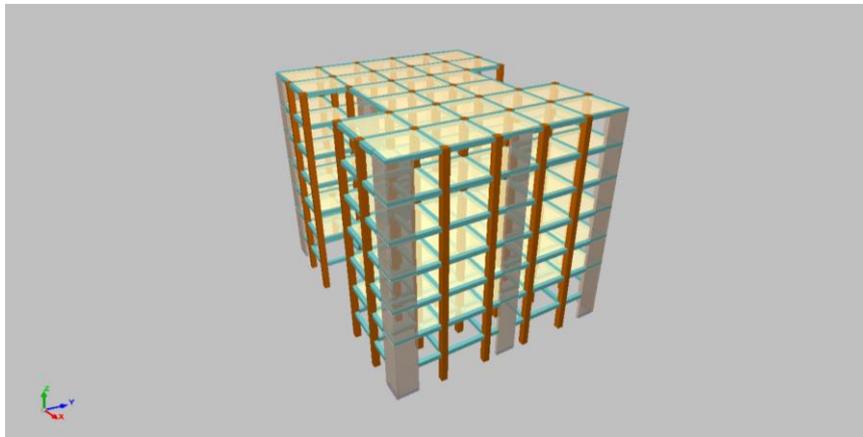


Figura 2.114: Modelo 108: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

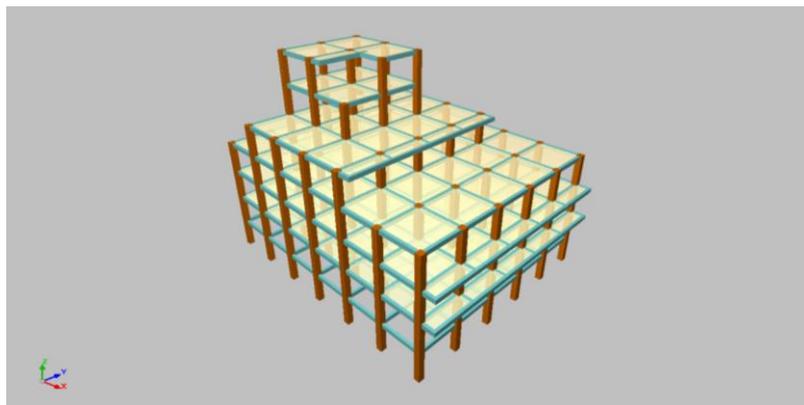


Figura 2.115: Modelo 109: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

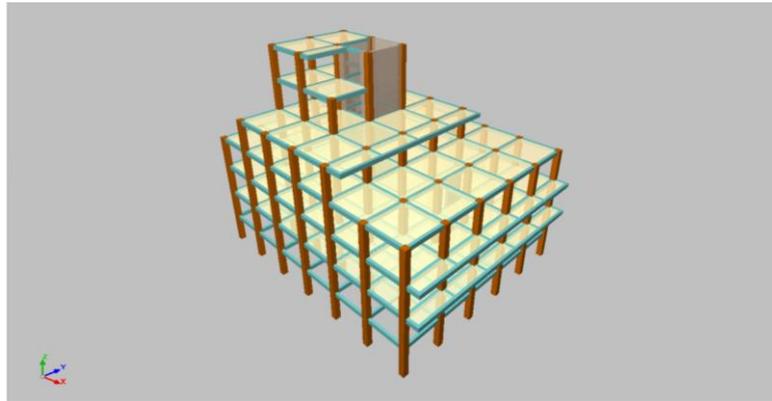


Figura 2.116: Modelo 110: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

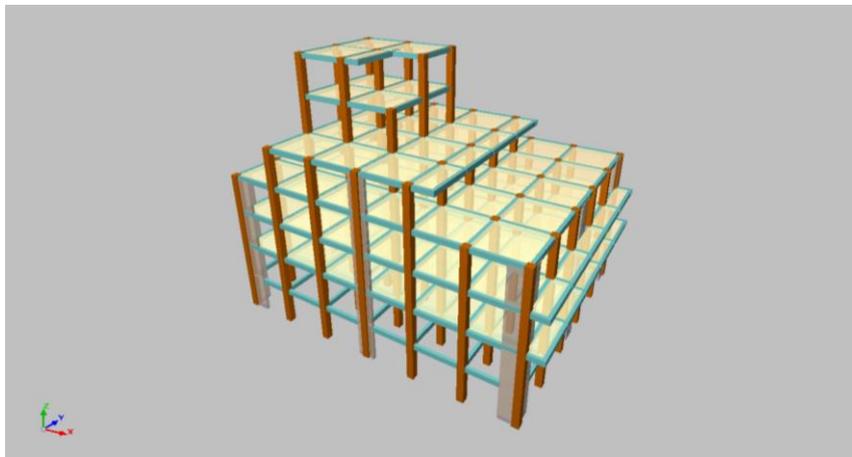


Figura 2.117: Modelo 111: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

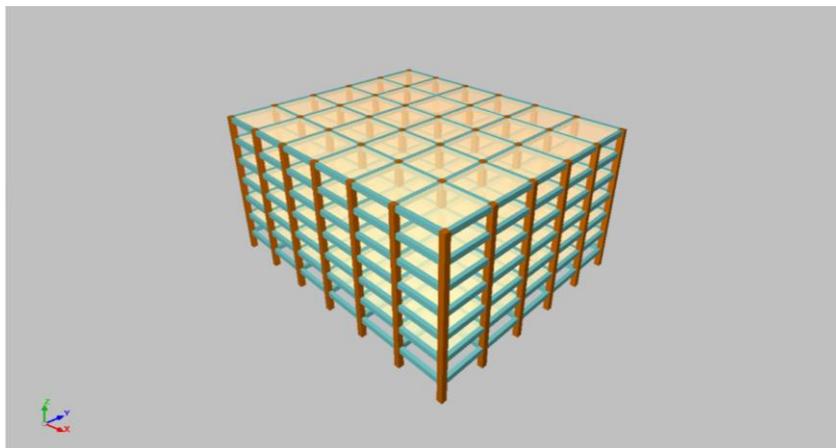


Figura 2.118: Modelo 112: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

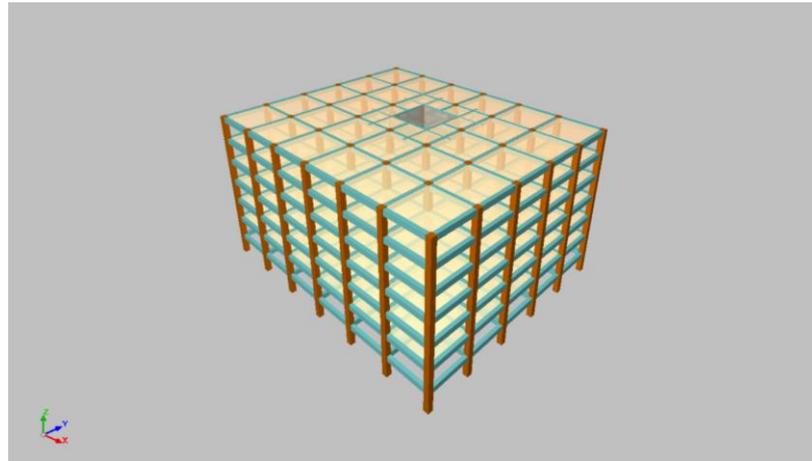


Figura 2.119: Modelo 113: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular en planta y altura con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

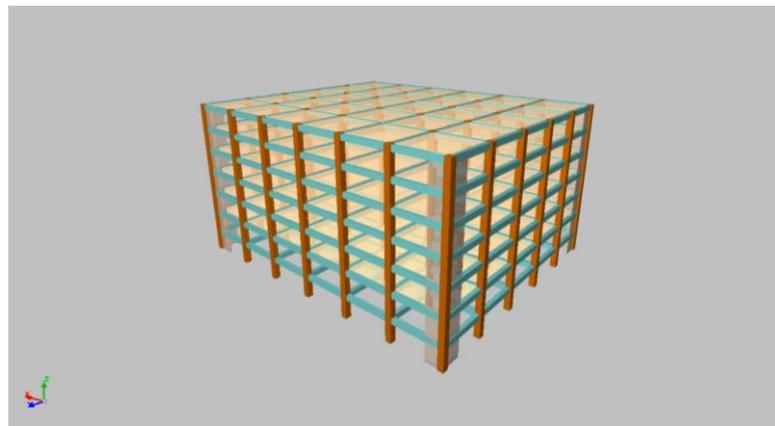


Figura 2.120: Modelo 114: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

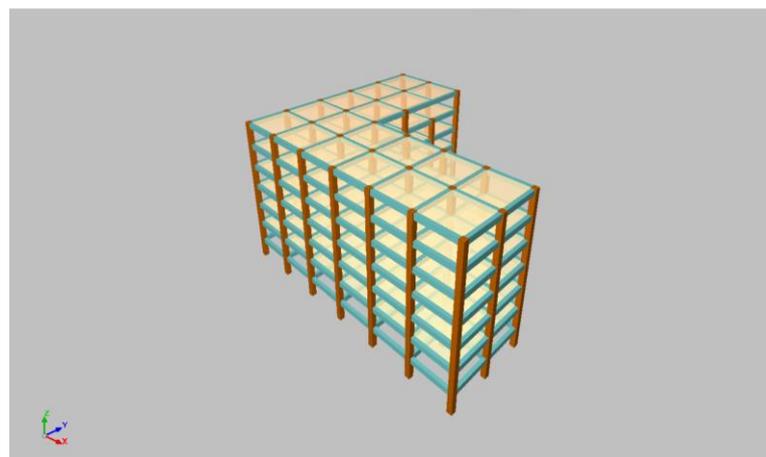


Figura 2.121: Modelo 115: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres



Figura 2.122: Modelo 116: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

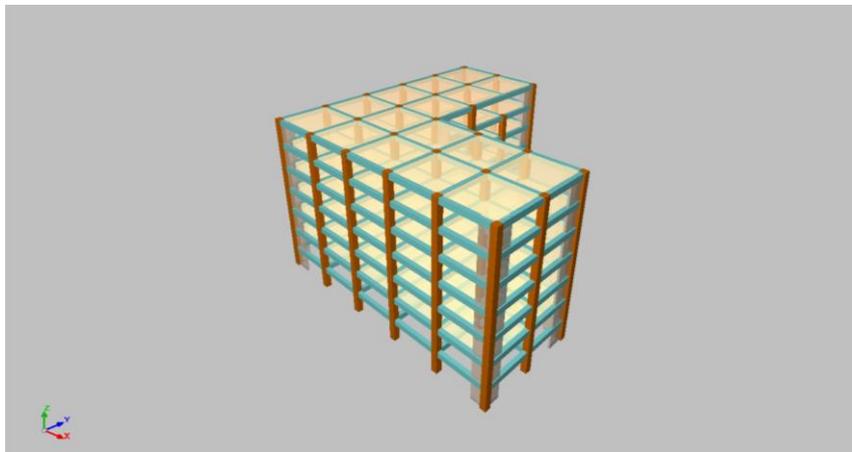


Figura 2.123: Modelo 117: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

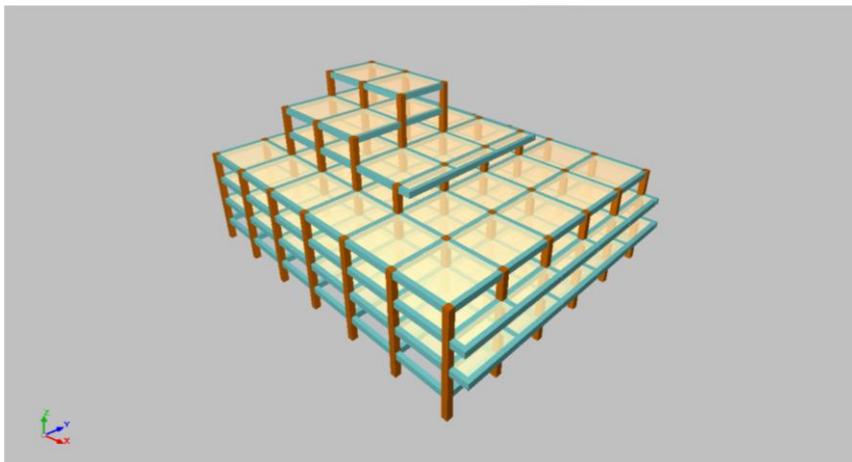


Figura 2.124: Modelo 118: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

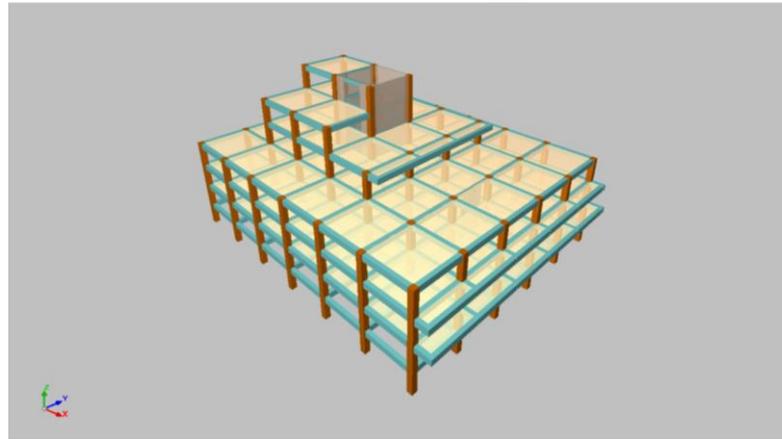


Figura 2.125: Modelo 119: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

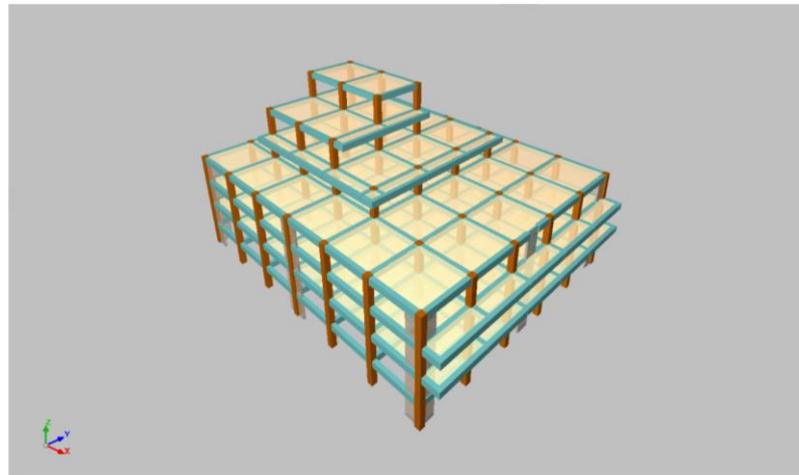


Figura 2.126: Modelo 120: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.5 Obtención de derivas

### 2.5.1 Derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura

#### 2.5.1.1 Derivas para luces mayores a 6 m

Tabla 2.10: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

Deriva				
			Valor en X	Valor en Y
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	0.26%	0.35%
	Peor Modelo :	3 plantas 3 y 4 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	1.33%	1.41%
Irregular en planta	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	0.45%	0.44%
	Peor Modelo :	3 plantas 3 y 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	0.58%	0.62%
Irregular en altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	0.17%	0.20%
	Peor Modelo :	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura sin muro	0.71%	0.72%

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

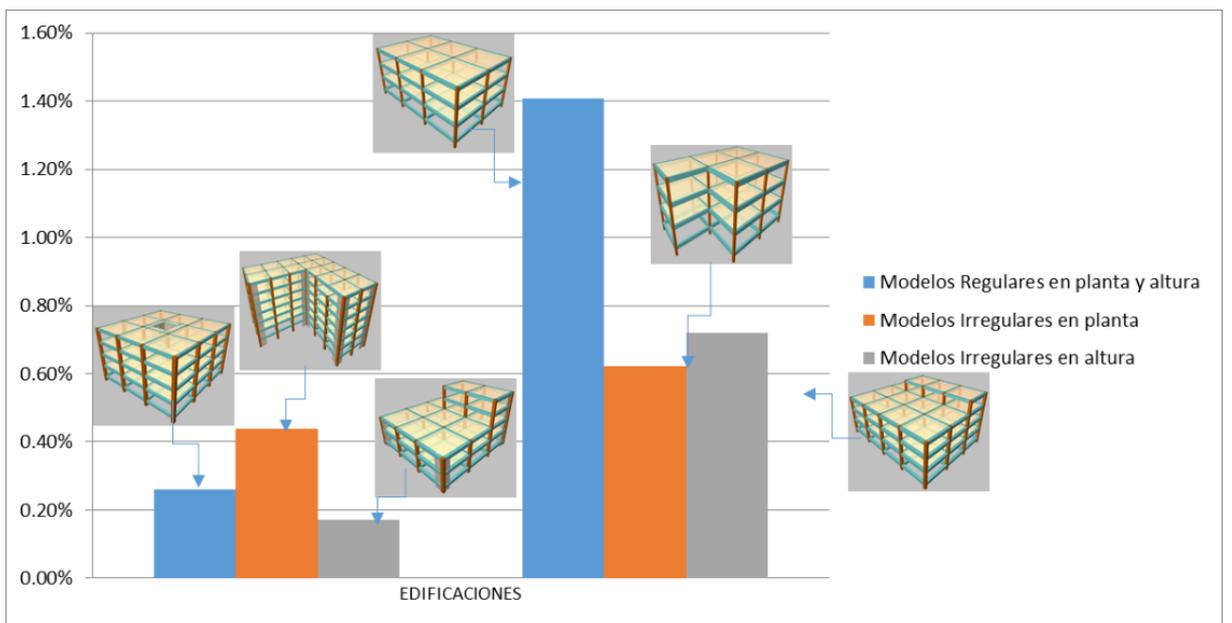


Figura 2.127: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.5.1.2 Derivas para luces menores a 6 m

Tabla 2.11: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

			Valor en X	Valor en Y
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular con muro interno	0.36%	0.29%
	Peor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	0.71%	0.70%
Irregular en planta	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.36%	0.28%
	Peor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	0.71%	0.68%
Irregular en altura	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	0.45%	0.34%
	Peor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	0.85%	0.78%

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

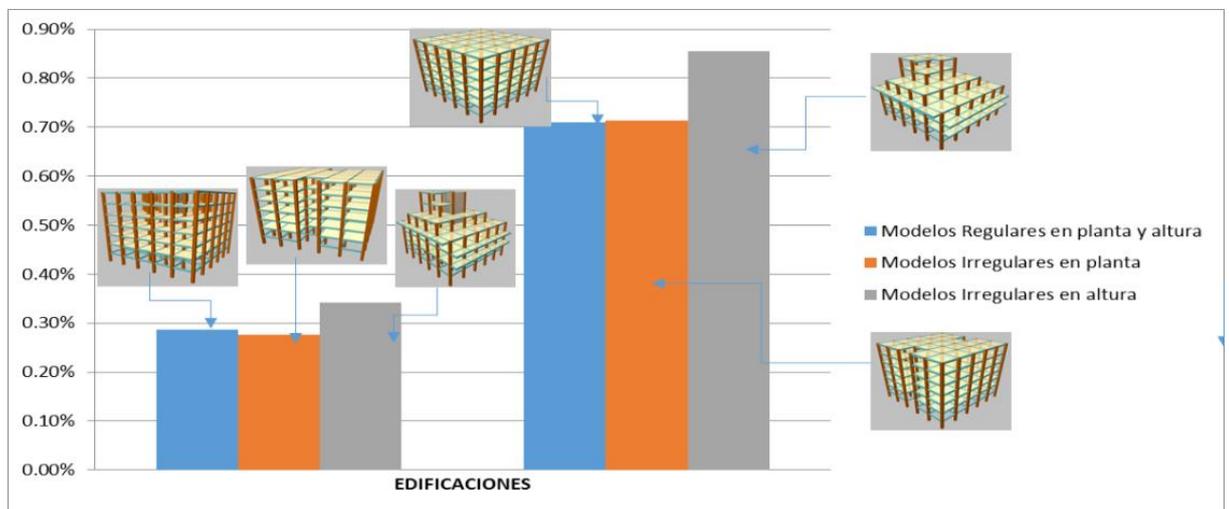


Figura 2.128: Comparación de derivas según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.5.2 Derivas según el número de pisos de las edificaciones

Tabla 2.12: Comparación de deriva según el número de pisos

DERIVA		
<b>Edificio de 3 Plantas</b>		<b>%</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, sin muro, 3 ejes por sentido	0.260
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 3 y 4 ejes	1.408
<b>Edificio de 4 Plantas</b>		<b>%</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en altura, muro externo, 4 ejes por sentido	0.173
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 4 ejes por sentido	1.299
<b>Edificio de 5 Plantas</b>		<b>%</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, muro interno, 5 ejes por sentido	0.195
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en planta, sin muro, 5 ejes por sentido	0.885
<b>Edificio de 6 Plantas</b>		<b>%</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en altura, muro interno, 6 ejes por sentido	0.240
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en altura, sin muro, 6 y 7 ejes por sentido	0.862

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

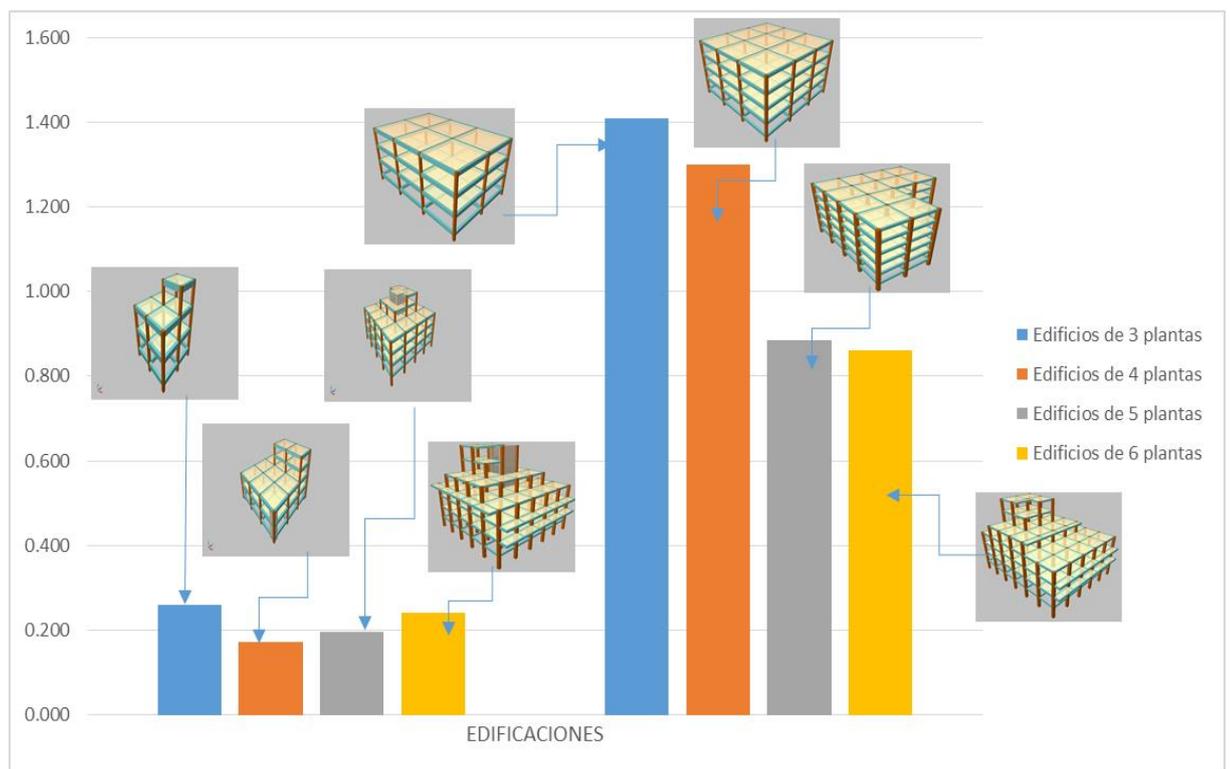


Figura 2.129: Comparación de deriva según el número de pisos

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres es

**2.6 Obtención de cortante basal dinámico**

**2.6.1 Cortante basal dinámico según su regularidad e irregularidad en planta y altura**

**2.6.2.1 Cortante basal dinámico para luces mayores a 6 m**

Tabla 2.13: Comparación de cortante basal dinámico según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

Cortante Basal				
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	Valor en X	Valor en Y
	Peor Modelo:	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m regular con muro externo	2050.81	1888.16
Irregular en planta	Mejor Modelo:	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	93.58	93.80
	Peor Modelo:	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	1292.33	1339.61
Irregular en altura	Mejor Modelo:	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura sin muro	150.43	150.46
	Peor Modelo:	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	1592.67	1580.12

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

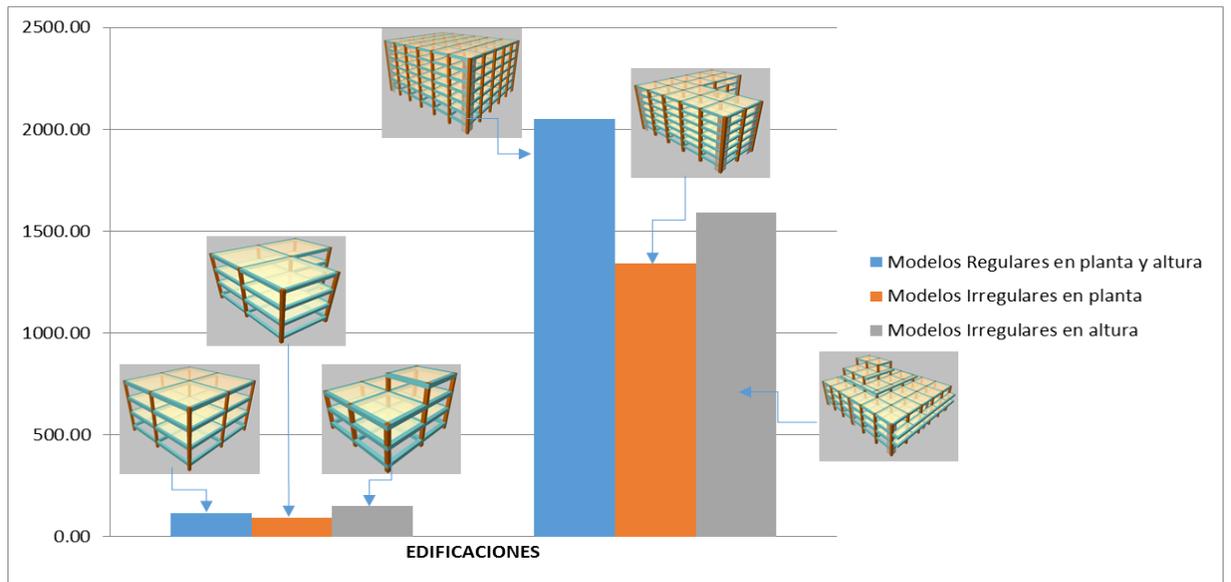


Figura 2.130: Cortante basal dinámico para luces mayores de 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

**2.6.2.2 Cortante basal dinámico para luces menores a 6 m**

Tabla 2.14: Comparación de cortante basal dinámico según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

<b>Cortante Basal</b>				
			<b>Valor en X</b>	<b>Valor en Y</b>
<b>Regular en planta y altura</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	66.63	66.69
	<b>Peor Modelo:</b>	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m regular con muro externo	828.74	782.61
<b>Irregular en planta</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	53.02	53.06
	<b>Peor Modelo:</b>	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro externo	778.11	744.19
<b>Irregular en altura</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	60.82	60.81
	<b>Peor Modelo:</b>	4 plantas 4 y 5 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro externo	578.4	581.16

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

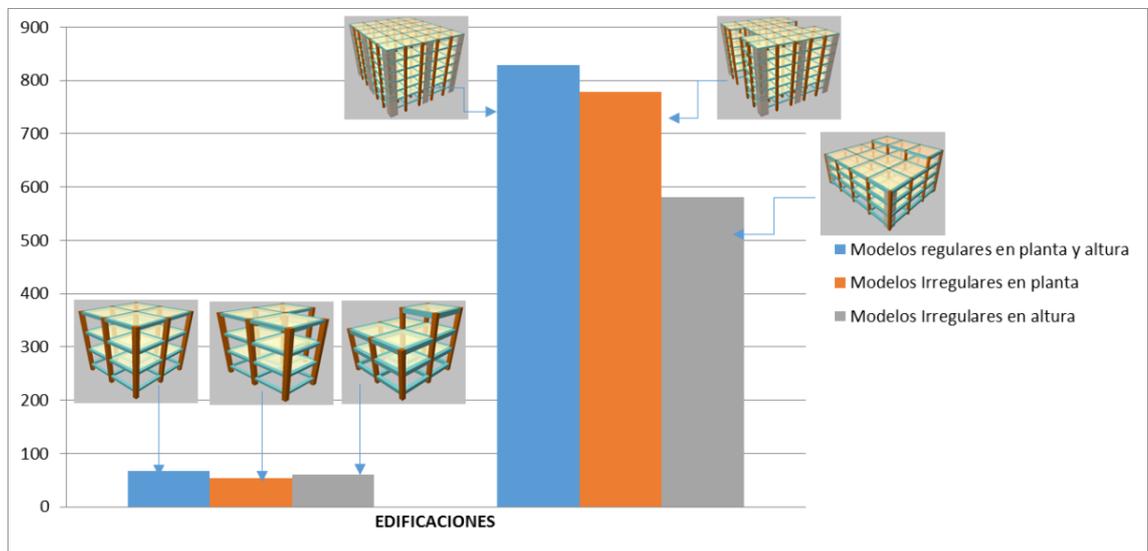


Figura 2.131: Cortante basal dinámico para luces mayores de 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

**2.6.2.3 Cortante basal dinámico según el número de pisos de las edificaciones**

Tabla 2.15: Comparación de cortante basal dinámico según el número de pisos

<b>CORTANTE BASAL DINÁMICO</b>		
<b>Edificio de 3 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, sin muro, 3 ejes por sentido	<b>Kg</b> 53.02
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en altura, sin muro, 3 y 4 ejes	224.86
<b>Edificio de 4 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, con muro interno, 4 ejes por sentido	<b>Kg</b> 123.55
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 4 y 5 ejes	669.29
<b>Edificio de 5 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, sin muro, 5 ejes por sentido	<b>Kg</b> 236.23
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, muro externo, 5 y 6 ejes por sentido	1472.04
<b>Edificio de 6 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, muro interno, 6 ejes por sentido	<b>Kg</b> 354.77
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, muro externo, 6 y 7 ejes por sentido	2050.81

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

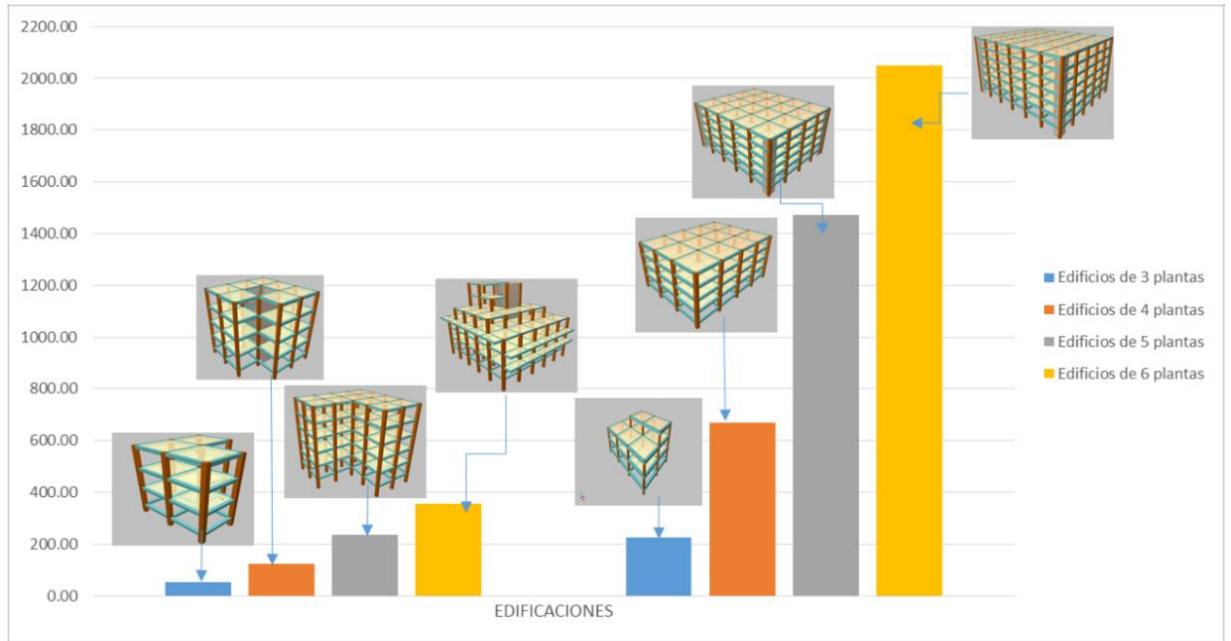


Figura 2.132: Cortante basal dinámico  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.7 Obtención de periodo de diseño

### 2.7.1 Periodo de diseño según su regularidad e irregularidad en planta y altura

#### 2.7.1.1 Periodo de diseño para luces mayores a 6 m

Tabla 2.16: Comparación del periodo de diseño según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

Periodo de diseño				
			Valor en X	Valor en Y
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	0.286	0.274
	Peor Modelo :	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	0.820	0.818
Irregular en planta	Mejor Modelo:	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.258	0.284
	Peor Modelo :	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	0.812	0.810
Irregular en altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro interno	0.168	0.201
	Peor Modelo :	6 plantas 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura sin muro	0.600	0.596

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

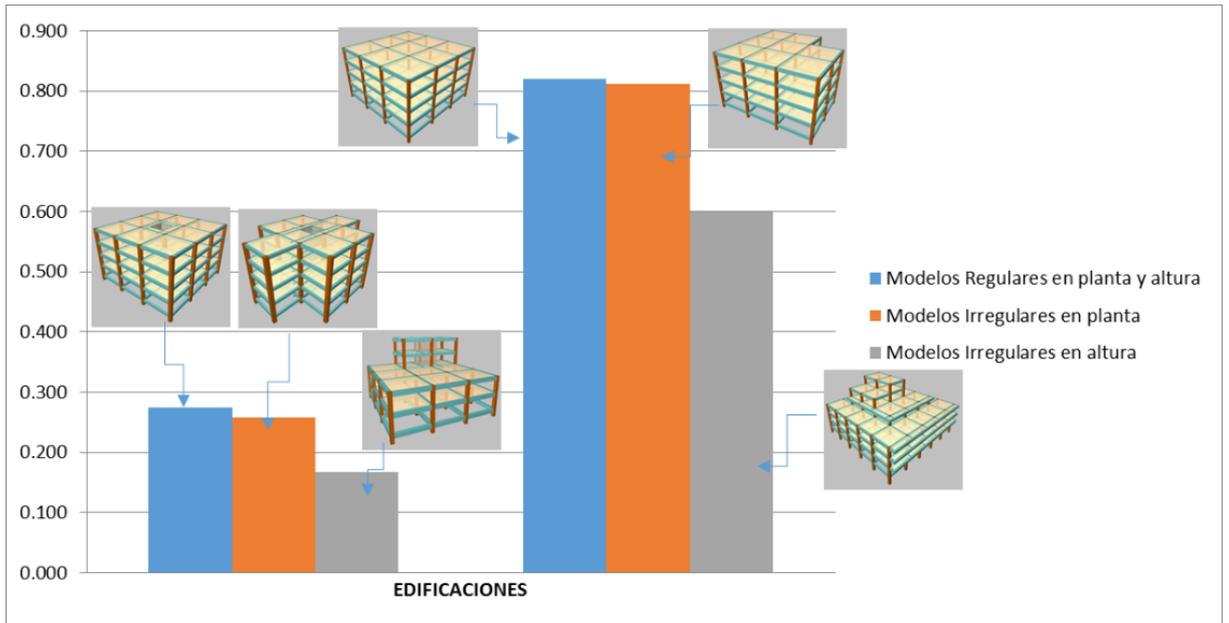


Figura 2.133: Periodo de diseño para luces mayores de 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.7.1.2 Periodo de diseño para luces menores a 6 m

Tabla 2.17: Comparación del periodo de diseño según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

Periodo de diseño				
			Valor en X	Valor en Y
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces menores a 6 m regular con muro interno	0.157	0.148
	Peor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	0.895	0.887
Irregular en planta	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.418	0.407
	Peor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	0.812	0.812
Irregular en altura	Mejor Modelo:	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	0.248	0.247
	Peor Modelo:	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	0.55	0.559

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

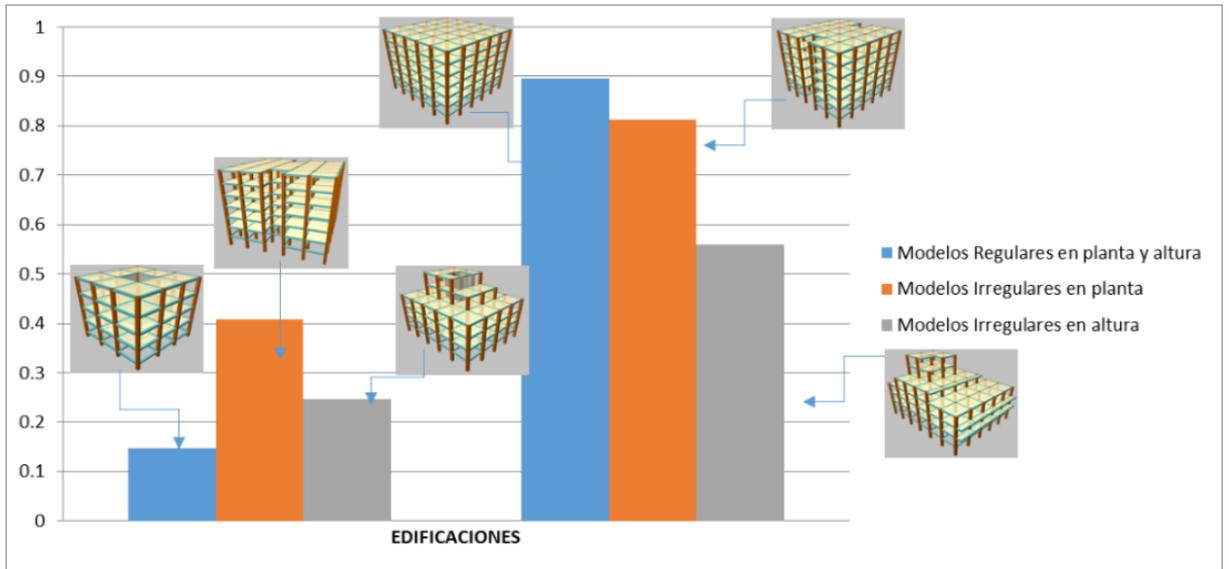


Figura 2.134: Periodo de diseño para luces menores de 6m  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.7.2 Periodo de diseño según el número de pisos de las edificaciones

Tabla 2.18: Comparación de periodo de diseño según el número de pisos

PERIODO DE DISEÑO		
<b>Edificio de 3 Plantas</b>		
		<b>seg</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, sin muro, 3 ejes por sentido	0.270
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro 3 y 4 ejes	0.753
<b>Edificio de 4 Plantas</b>		
		<b>seg</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, con muro interno, 4 ejes por sentido	0.144
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 4 ejes por sentido	0.820
<b>Edificio de 5 Plantas</b>		
		<b>seg</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, muro interno, 5 ejes por sentido	0.246
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 5 ejes por sentido	0.813
<b>Edificio de 6 Plantas</b>		
		<b>seg</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en altura, muro interno, 6 y 7 ejes por sentido	0.2420
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, sin muro, 6 ejes por sentido	0.8970

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

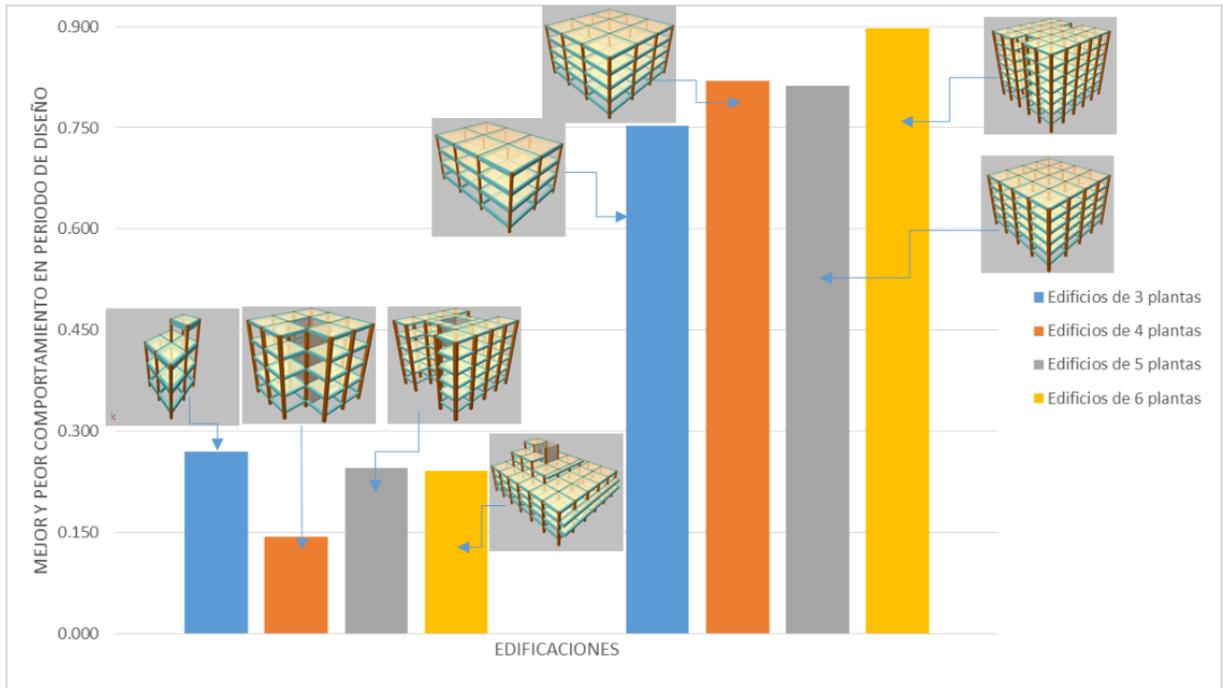


Figura 2.135: Periodo de diseño  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.8 Obtención de aceleración

### 2.8.1 Aceleración según su regularidad e irregularidad en planta y altura

#### 2.8.1.1 Aceleración para luces mayores a 6 m

Tabla 2.19: Comparación de la aceleración sísmica según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

<b>Aceleración</b>					
				Valor en X	Valor en Y
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro		0.184	0.184
	Peor Modelo :	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno		0.299	0.299
Irregular en planta	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro		0.187	0.188
	Peor Modelo :	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno		0.565	0.269
Irregular en altura	Mejor Modelo:	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura sin muro		0.266	0.263
	Peor Modelo :	Varios		-	-

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

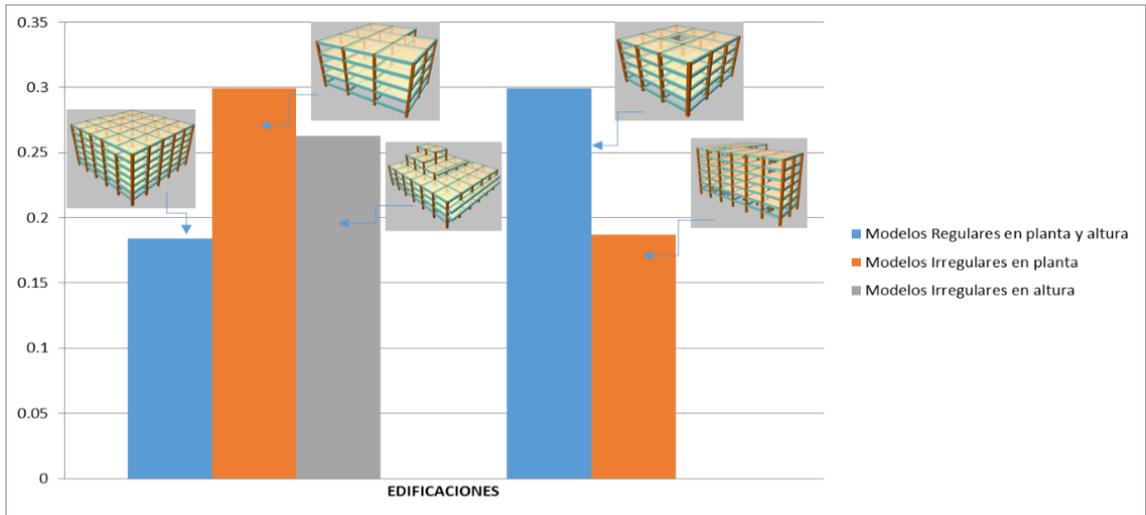


Figura 2.136: Aceleración para luces mayores a 6m  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.8.1.2 Aceleración para luces menores a 6 m

Tabla 2.20: Comparación de la aceleración sísmica según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

Aceleracion				
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	Valor en X	Valor en Y
	Peor Modelo:	Varios	-	-
Irregular en planta	Mejor Modelo:	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	0.17	0.174
	Peor Modelo:	Varios	-	-
Irregular en altura	Mejor Modelo:	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	0.223	0.227
	Peor Modelo:	Varios	-	-

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

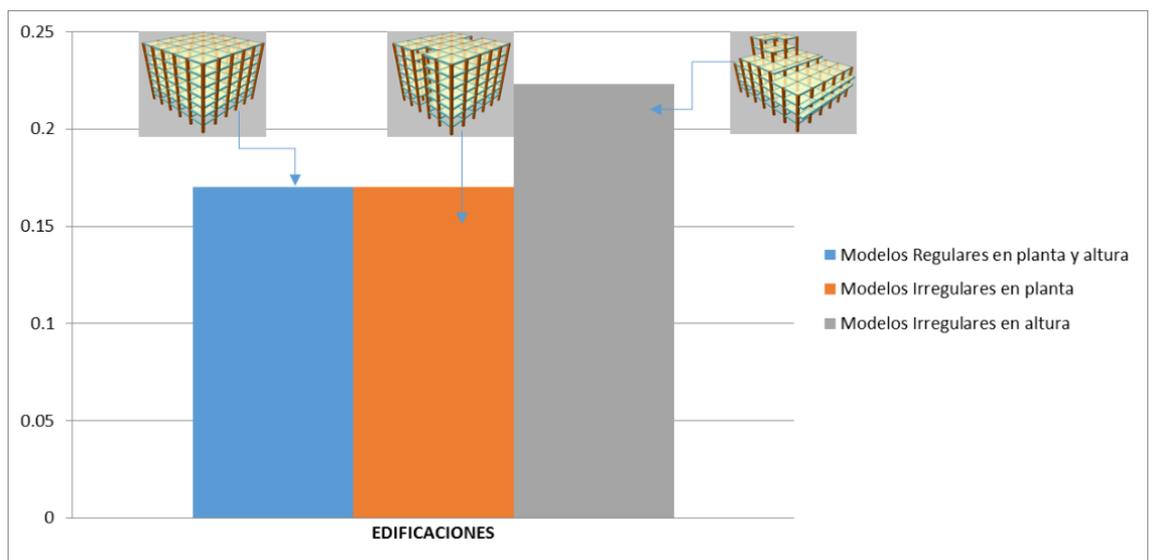


Figura 2.137: Aceleración para luces menores a 6m  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.8.2 Aceleración según el número de pisos de las edificaciones

Tabla 2.21: Comparación de aceleración sísmica según el número de pisos

ACELERACIÓN		
<b>Edificio de 3 Plantas</b>		<b>g</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 3 y 4 ejes por sentido	0.202
<b>Peor comportamiento:</b>	Varios modelos	0.299
<b>Edificio de 4 Plantas</b>		<b>g</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 4 ejes por sentido	0.185
<b>Peor comportamiento:</b>	Varios modelos	0.299
<b>Edificio de 5 Plantas</b>		<b>g</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 5 ejes por sentido	0.187
<b>Peor comportamiento:</b>	Varios modelos	0.299
<b>Edificio de 6 Plantas</b>		<b>g</b>
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 6 y 7 ejes por sentido	0.170
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en planta, muro interno, 6 ejes por sentido	0.595

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

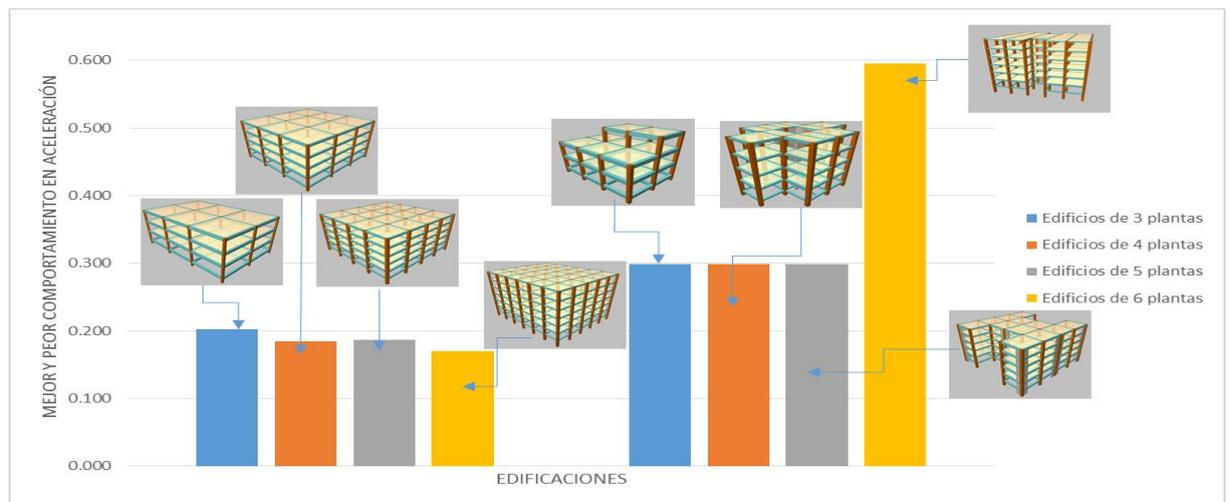


Figura 2.138: Aceleración sísmica

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.9 Obtención de cuantía de obra

### 2.9.1 Cuantía de obra según su regularidad e irregularidad en planta y altura

#### 2.9.1.1 Cuantía de obra para luces mayores a 6 m

Tabla 2.22: Comparación de la cuantía de obra según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

Cuantía de obra			Valor
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	36.85
	Peor Modelo :	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m regular con muro externo	68.7
Irregular en planta	Mejor Modelo:	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	39.1
	Peor Modelo :	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	75.98
Irregular en altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura sin muro	46.46
	Peor Modelo :	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	73.89

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

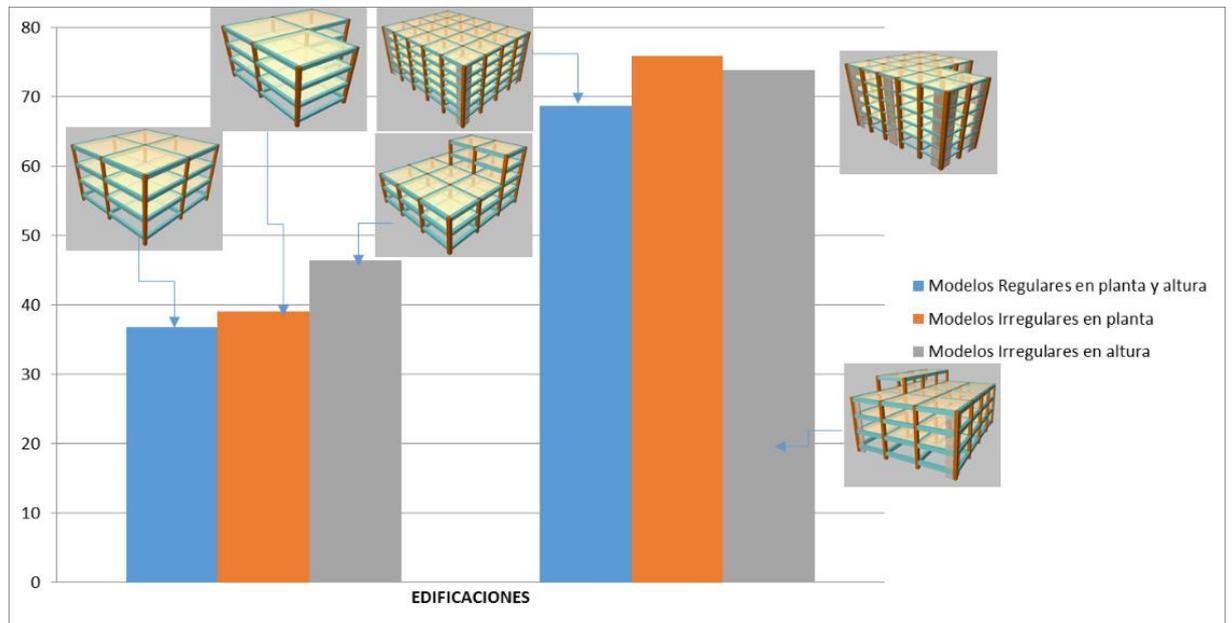


Figura 2.139: Cuantía de obra para luces mayores de 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.9.1.2 Cuantía de obra para luces mayores a 6 m

Tabla 2.23: Comparación de la cuantía de obra según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

Cuantía de obra			Valor
<b>Regular en planta y altura</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	53.34
	<b>Peor Modelo:</b>	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m regular con muro externo	65.01
<b>Irregular en planta</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	4 plantas 4 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	60.33
	<b>Peor Modelo:</b>	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro externo	66.53
<b>Irregular en altura</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	49.91
	<b>Peor Modelo:</b>	5 plantas 5 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	62.03

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

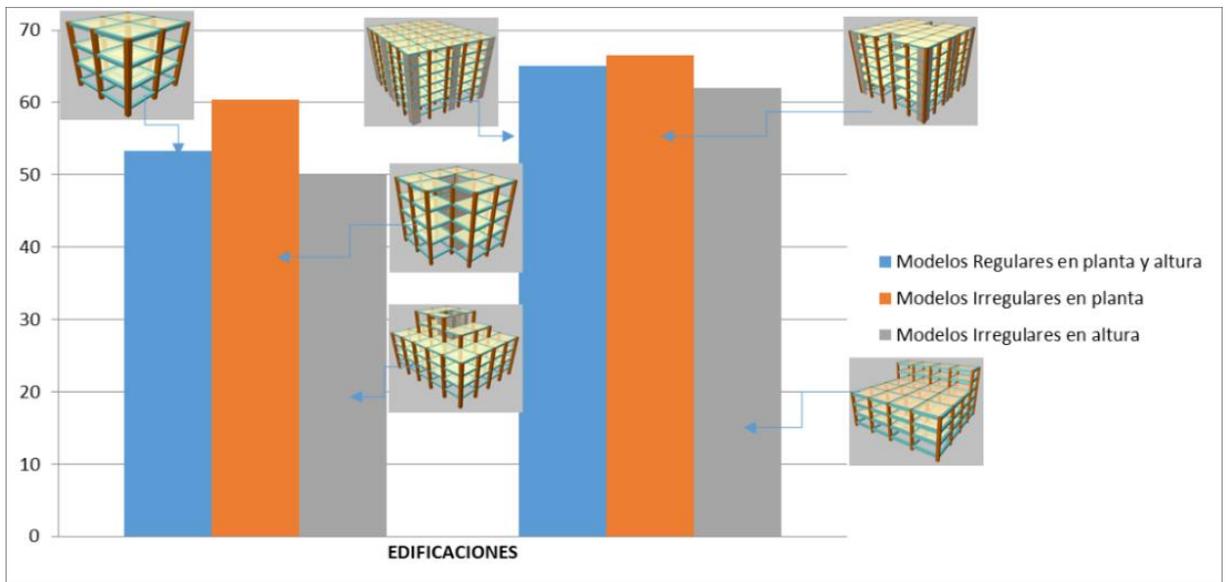


Figura 2.140: Cuantía de obra para luces menores de 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.9.2 Cuantía de obra según el número de pisos de las edificaciones

Tabla 2.24: Comparación de cuantía de obra según el número de pisos

CUANTÍA DE OBRA		
<b>Edificio de 3 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 3 y 4 ejes por sentido	<b>Kg/m<sup>2</sup></b> 34.340
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, regular en planta y altura, sin muro, 3 y 4 ejes por sentido	60.910
<b>Edificio de 4 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, muro externo, 4 y 5 ejes por sentido	42.270
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, muro externo, 4 ejes por sentido	87.300
<b>Edificio de 5 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, muro interno, 5 y 6 ejes por sentido	49.910
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en altura, sin muro, 5 ejes por sentido	97.050
<b>Edificio de 6 Plantas</b>		
<b>Mejor comportamiento:</b>	Luz mayor a 6 m, irregular en altura, muro interno, 6 y 7 ejes por sentido	50.980
<b>Peor comportamiento:</b>	Luz menor a 6 m, irregular en planta, muro externo, 6 ejes por sentido	76.490

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

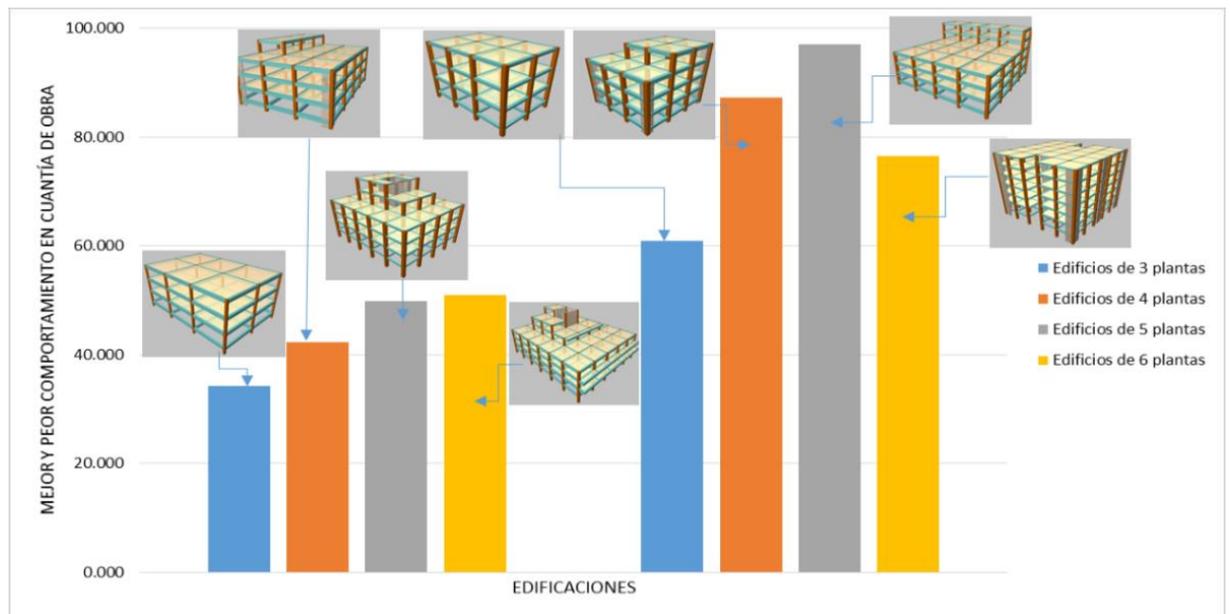


Figura 2.141: Cuantía de obra

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.10 Obtención de excentricidad centro de masa – centro de rigidez

### 2.10.1 Excentricidad centro de masa – centro de rigidez según su regularidad e irregularidad en planta y altura

#### 2.10.1.1 Excentricidad centro de masa–centro de rigidez para luces mayores a 6m

Tabla 2.25: Comparación de la excentricidad centro de masa – centro de rigidez según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces mayores a 6 m

Excentricidad				
			Valor en X	Valor en Y
Regular en planta y altura	Mejor Modelo:	Varios	-	-
	Peor Modelo :	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	3.72	1.09
Irregular en planta	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	-0.16	-0.16
	Peor Modelo :	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	-1.78	-0.16
Irregular en altura	Mejor Modelo:	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura sin muro	-0.97	-1.94
	Peor Modelo :	5 plantas 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro interno	-2.19	-6.56

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

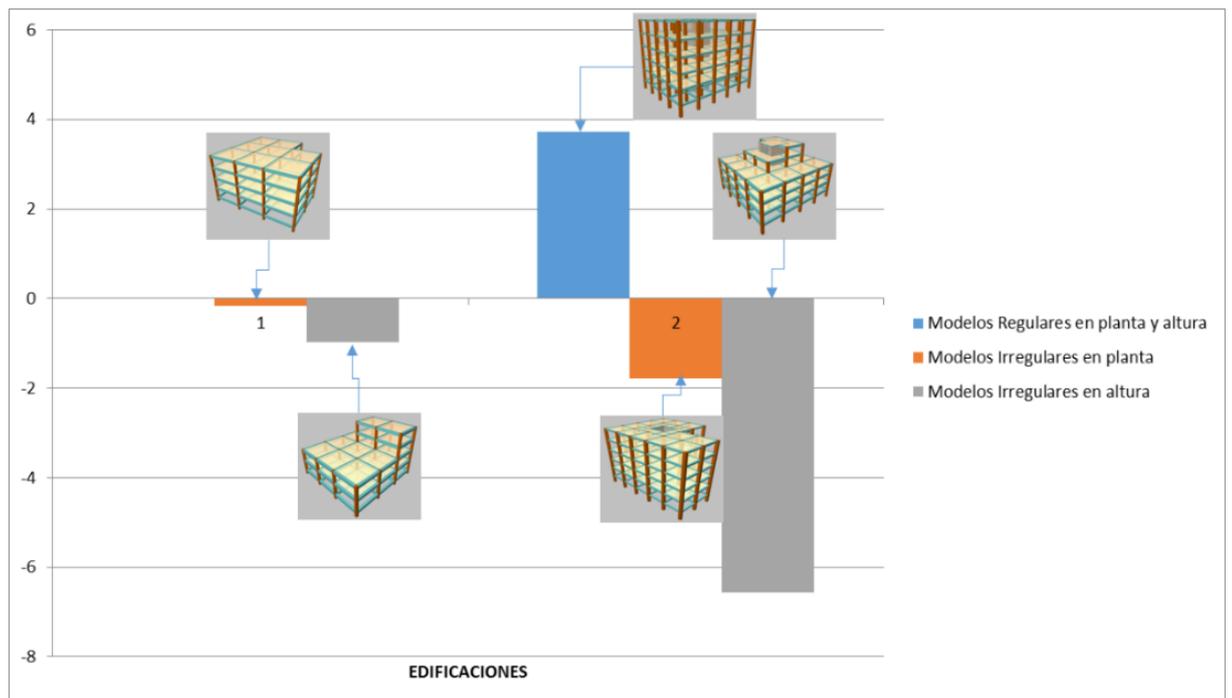


Figura 2.142: Excentricidad centro de masa–centro de rigidez para luces mayores a 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 2.10.1.2 Excentricidad centro de masa–centro de rigidez para luces menores a 6m

Tabla 2.26: Comparación de la excentricidad centro de masa – centro de rigidez según su regularidad e irregularidad en planta y altura, para luces menores a 6 m

		<b>Excentricidad</b>		
			<b>Valor en X</b>	<b>Valor en Y</b>
<b>Regular en planta y altura</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	varios	-	-
	<b>Peor Modelo:</b>	varios	-	-
<b>Irregular en planta</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	varios	-	-
	<b>Peor Modelo:</b>	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.33	-1.6
<b>Irregular en altura</b>	<b>Mejor Modelo:</b>	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	1.29	0
	<b>Peor Modelo:</b>	5 plantas 5 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	-3.79	-1.17

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

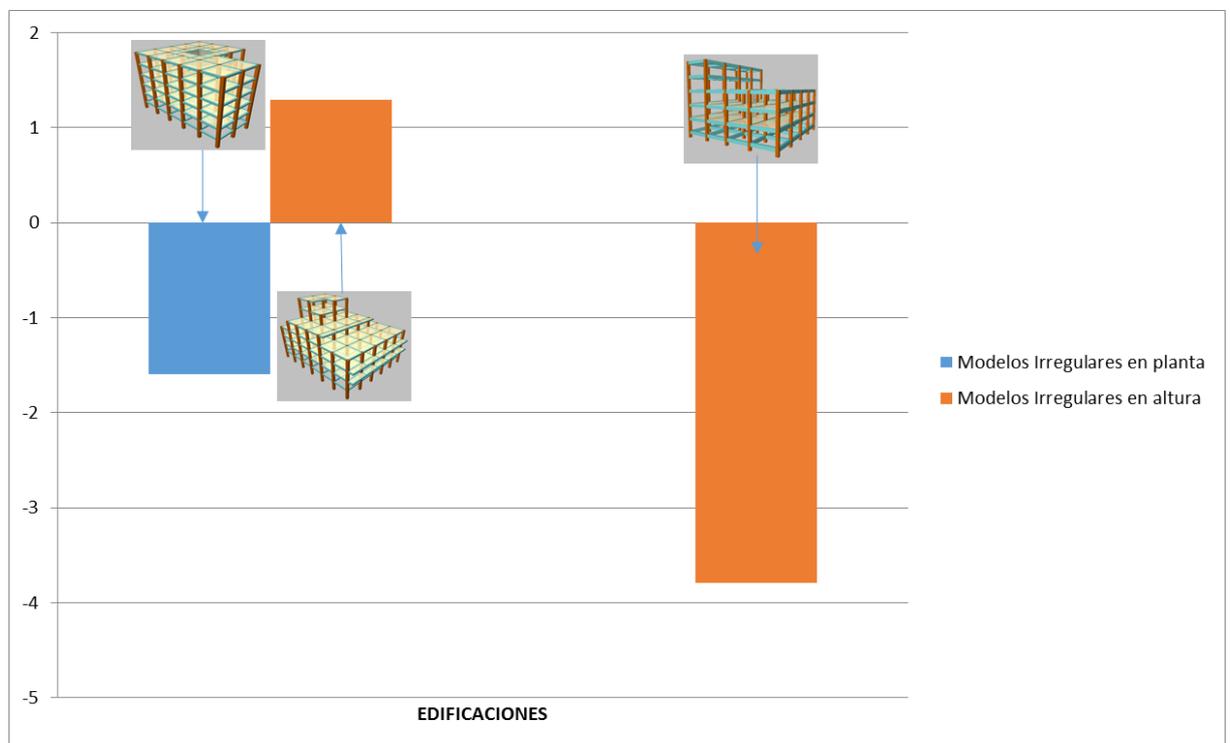


Figura 2.143: Excentricidad centro de masa–centro de rigidez para luces menores a 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

## 2.11 Conclusiones

El análisis del comportamiento de una estructura se lleva a cabo sobre modelos de ésta. Un modelo es una representación idealizada o simplificada de la estructura real.

El objetivo de la modelación es la predicción de esfuerzos, tensiones, movimientos y deformaciones que se producen en los elementos estructurales bajo diferentes tipos de solicitaciones.

Se puede decir que la modelación estructural abarca aspectos como:

- A la identificación de la estructura resistente que compone la edificación.
- A la geometría.
- Las cargas.
- Al material de los mismos.
- A la representación de las conexiones entre elementos y de las condiciones de apoyo.
- A la evaluación de las cargas (magnitud, situación, frecuencia y naturaleza)

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS NO LINEAL DE LAS EDIFICACIONES

#### 3.1 Introducción

Conocer el comportamiento de una estructura ante demandas sísmicas es de mucha importancia, sobre todo en aquellas que se encuentran construidas o que se piensan construir en zonas de fuerte actividad sísmica. La cedencia de los elementos y fallas que se producen, cuando la demanda sísmica es mayor que la capacidad estructural pone de manifiesto la necesidad de evaluar las estructuras utilizando, métodos modernos en los cuales se toma en cuenta el desempeño por sismo de las edificaciones, considerando un posterior comportamiento no lineal de los materiales.

Las características no lineales de los materiales se incorporan directamente en un análisis pushover, que inicialmente se realizó para modelos bidimensionales, pero que con el paso del tiempo fue evolucionando, trascendiendo en su aplicación a los modelos espaciales. Las limitaciones y desventajas que inicialmente tenía la aplicación del método, se fueron reduciendo con los cambios que sufrió la técnica de pushover, como por ejemplo el uso del análisis de pushover controlados y no controlados, el uso del patrón de cargas laterales y el patrón de desplazamientos en lugar de fuerzas, han logrado que el método adquiera ventajas en su aplicación.

Definición del análisis estático no lineal “Pushover”: El análisis estático no lineal es una alternativa muy práctica para encontrar la respuesta sísmica de una estructura, en lugar de un análisis no lineal dinámico que sería lo más adecuado, pero que a la vez es bastante complejo. El análisis no lineal estático, es un gran avance en comparación con la forma de análisis actual que utiliza la teoría lineal.

### 3.2 Análisis estático no lineal

Cuando un edificio se somete a movimientos del terreno debido a las demandas sísmicas, éste experimenta desplazamientos laterales y deformaciones en sus elementos. Para respuestas de pequeña amplitud, las deformaciones en los elementos permanecen en el rango elástico y prácticamente no ocurren daños, mientras que, para respuestas de mayor amplitud, las deformaciones de los elementos exceden su capacidad elástica y la edificación experimenta daños considerables. Entonces la mejor estimación de la respuesta global de la estructura ante movimientos sísmicos y de la demanda en sus componentes individuales, se obtiene recurriendo a sofisticados procedimientos de análisis no lineal, cuyos resultados tienden a ser altamente sensibles a pequeños cambios del comportamiento de sus componentes y a las características del movimiento utilizado.

Existen diversos métodos de análisis estático no lineal para evaluar edificios existentes, que permiten comparar la capacidad de la edificación con la demanda sísmica a la cual será expuesta. Entre los principales métodos simplificados de análisis estático no lineal destacan:

- A. Análisis de colapso (Pushover); es una técnica simple y eficiente para obtener la capacidad, resistencia-deformación de una estructura bajo una distribución de fuerzas inerciales esperadas. En este análisis la estructura se somete a un patrón de cargas laterales, que se incrementan de manera monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima. Utilizando este procedimiento es posible identificar la secuencia del agrietamiento, cadencia y fallo de cada uno de los componentes, los estados límites de servicio y el historial de deformaciones y cortantes en la estructura, que corresponde a la curva de capacidad.

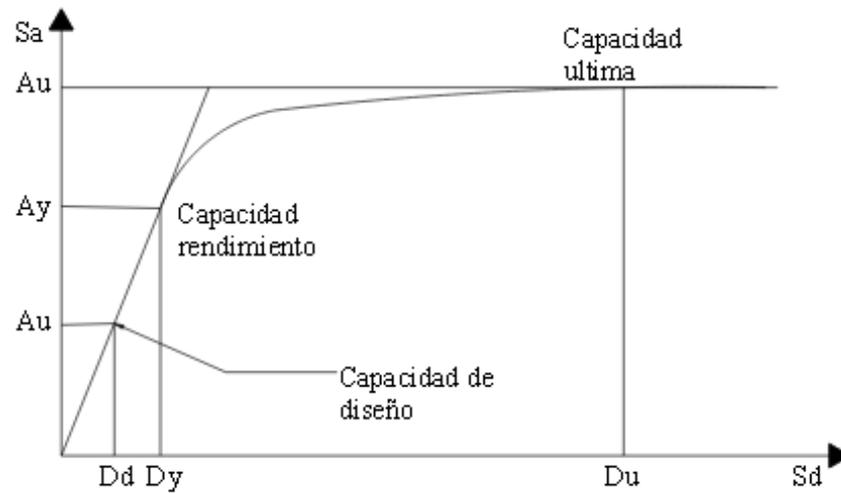


Figura 3.1: Curva de Capacidad

Fuente: (Doralba Valencia Restrepo y Gabriel Valencia Clement, 2008)

La forma en la que están distribuidas las fuerzas laterales, ya sean fuerzas constantes, lineales, parabólicas, etc., aplicadas a la estructura, tiene gran influencia en la determinación de la curva de capacidad

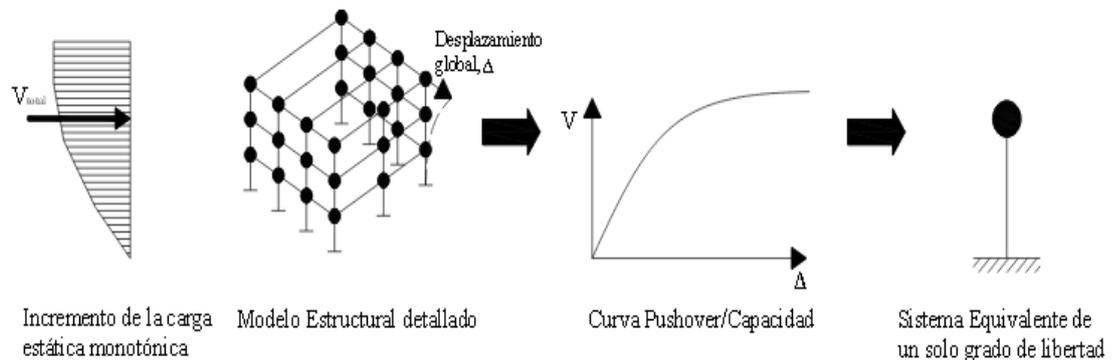


Figura 3.2: Esquema del procedimiento para determinar la curva de capacidad

Fuente: (ATECA, 2015)

En este tipo de análisis; un modelo matemático incorpora directamente las características no lineales fuerza-deformación de los componentes del edificio. Es importante tener en cuenta que, aunque este método se basa en los desplazamientos, tiene algunas limitaciones fundamentales que deben ser consideradas en la determinación e interpretación de los resultados obtenidos. A continuación, se comentan algunas de estas limitaciones:

- Se sabe de manera general, que el daño estructural es función tanto de la deformación como de la energía sísmica. El procedimiento utilizado en el

análisis pushover asume implícitamente, que el daño estructural depende solo de la deformación lateral de la estructura, despreciando los efectos de duración y disipación de la energía acumulada en la estructura. Entonces, la aplicabilidad de esta medida de daño es algo simplista, particularmente para estructuras no dúctiles, cuyos cíclicos histeréticos inelásticos presentan un fuerte estrechamiento y una forma errática (Díaz, 2003).

- El análisis pushover se enfoca solo en la energía de deformación de una estructura, por lo que, este procedimiento puede conducir a despreciar la energía relacionada con las componentes dinámicas de las fuerzas, es decir, la energía cinética y la energía de amortiguamiento viscoso.
- Los cambios progresivos en las propiedades modales que ocurren en la estructura, cuando experimenta cedencia no lineal cíclica durante un sismo, no son considerados en este tipo de análisis. Por lo que recientemente han propuesto mejorar el método, tales como el análisis de colapso adaptable (Adaptive pushover) usando fuerzas o desplazamientos (Pinho & Antonio , 2004a, 2004b).

B. El método del espectro capacidad-demanda; permite estimar gráficamente el desempeño sísmico de un edificio, a través de la intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda. El método se fundamenta en una representación aproximada de las características globales no lineales de la estructura, obtenida mediante el reemplazo del sistema no lineal por un sistema lineal equivalente, usando como base procedimientos del análisis modal. Es necesario mencionar que estos procedimientos solo son válidos para estructuras de comportamiento lineal, pero su uso en estructuras de comportamiento no lineal, puede dar una buena aproximación que permita la representación del sistema a través de sus propiedades lineales efectivas (Melone, 2003).

De manera que este método se diferencia de los métodos convencionales de análisis lineal, en que estos últimos utilizan directamente las propiedades elásticas de la estructura, mientras que los anteriores, usan las propiedades efectivas o secantes de la misma, para calcular los desplazamientos. El uso de este método involucra varias aproximaciones, de manera que su implementación

requiere además del conocimiento del comportamiento y la dinámica de estructuras, la aplicación de un correcto criterio ingenieril.

En términos generales, el método consiste en comparar el espectro de capacidad de la estructura, con el espectro de la demanda sísmica para identificar el desplazamiento máximo o punto de desempeño, donde la capacidad y la demanda se igualan, permitiendo estimar la respuesta máxima del edificio, que servirá de base para compararla con el nivel de desempeño esperado.

### **3.3 Análisis dinámico no lineal**

El mejor método para evaluar la capacidad estructural y el desempeño sísmico de una edificación; es el análisis dinámico no lineal, ya que es la representación más cercana al comportamiento real de las estructuras; sin embargo, la implementación de este método, requiere la disponibilidad de una definición clara de ciertos parámetros como, por ejemplo: Características de frecuencias, ruptura, etc. (Krawinkler & Seneviratna, 1998).

En este tipo de análisis la estructura se modela de forma similar a la utilizada para el análisis estático no lineal. La diferencia principal es que la acción sísmica se modela con historias temporales de movimiento (acelerogramas reales o simulados). Este es un procedimiento más sofisticado para predecir las fuerzas y, los desplazamientos internos de una estructura cuando se ve sometida a una acción sísmica. Sin embargo, la respuesta calculada de la estructura puede ser muy sensible a las características propias de la acción, por lo que se recomienda utilizar varios registros de historias temporales de aceleración (Melone, 2003).

En este método el modelo incorpora directamente las características no lineales de cada elemento, luego la estructura se somete a movimiento sísmico que se representa por análisis temporal.

### **3.4 Modelación de la no Linealidad de los Materiales**

El mayor efecto significativo del comportamiento no lineal de los materiales se representa por medio de rótulas plásticas, las cuales se generan en zonas específicas a lo largo de la longitud de un elemento.

Una rótula plástica se define como; aquel punto en que la sección no es capaz de absorber mayor momento a flexión y empieza únicamente a rotar. Este punto se genera a una longitud que varía de acuerdo al tipo de conexión entre elementos, así como de las características propias de la sección. En la realidad no existe la rótula plástica, pero es una definición que se utiliza en el campo de la Ingeniería Estructural para encontrar fórmulas que simplifican algún problema (Falconí, 2000).

Muchos investigadores han propuesto fórmulas para definir la longitud donde se genera la rótula plástica, que generalmente se encuentra en las zonas rígidas de un elemento, es decir en sus extremos.

Las rótulas plásticas pueden ser modeladas de diferentes formas, dependiendo de la calidad de los resultados que se necesitan para la evaluación. Se debe definir el modelo de plasticidad a utilizar, ya que los resultados del cálculo de la capacidad sísmica resistente dependen del modelo de plasticidad que se use. Se puede utilizar un modelo de plasticidad concentrada, en el cual, el daño se concentra solo en un punto no considera longitud de daño; y si se requieren resultados más precisos donde se considere la longitud de daño, se puede utilizar una modelación de rótulas plásticas por análisis de fibras.

#### **3.4.1 Modelo de plasticidad concentrada.**

En este método el daño se concentra en un solo punto; es decir, no se considera una longitud de daño para el elemento. Es un modelo muy sencillo, pero se obtienen buenos resultados.

### Diagrama momento curvatura.

La formación de rótulas plásticas se da por la constante degradación de la rigidez de los elementos. Para verificar el cambio en la rigidez se establece el diagrama momento curvatura, para la sección de un elemento determinado.

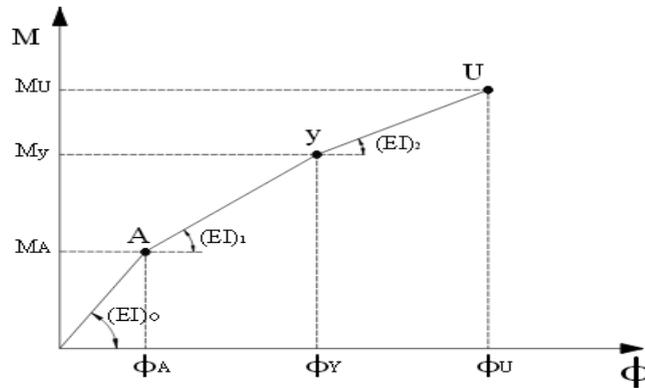


Figura 3.3: Diagrama momento - curvatura  
Fuente: (Caiza, 2014)

El comportamiento elástico de la viga se define hasta el punto A, el punto Y es cuando fluye el acero a tensión que se convierte en una zona potencial de rótula plástica, ya que la sección ha comenzado a fluir. Y el punto U se refiere a la capacidad última a compresión del concreto.

Si el momento actuante es menor que  $M_A$  se tendrá la rigidez  $(EI)_0$ , si el momento actuante supera  $M_A$  pero es menor que  $M_y$ , se trabajará con la rigidez  $(EI)_1$  finalmente si el momento actuante en una sección del elemento es mayor que  $M_y$  se deberá trabajar con  $(EI)_2$ .

Conocer el diagrama momento curvatura de un elemento es muy importante, ya que podemos conocer cuál es la capacidad de ductilidad por curvatura del elemento. Si un elemento posee poca capacidad de ductilidad por curvatura, este presentará una falla frágil cuando la estructura ingrese al rango no lineal, que no es deseable. Lo ideal sería que el elemento posea una capacidad de ductilidad por curvatura alto para que la estructura disipe la mayor cantidad de energía, y que se realice una distribución de momentos para que todos los elementos trabajen de una forma adecuada.

Los modelos de plasticidad se utilizan para simular el daño que sufrirán los elementos de una estructura, ante una demanda sísmica cuando el momento actuante supere a MA.

Para representar de forma matemática este modelo, se considera que el elemento está compuesto por una parte rígida (Extremos de unión viga-columna), y una parte elástica (En el centro del claro, entre las partes rígidas).

La formulación del modelo de plasticidad concentrada, se basa en los principios básicos del Análisis Matricial de Estructuras, se considera que el miembro está compuesto por tres elementos, uno de plasticidad con rigidez  $(EI)_a$  (Rigidez a flexión en el nudo inicial), otro que tiene longitud  $L$  de rigidez  $(EI)_o$  (Rigidez a flexión el centro de la luz), y por último el otro extremo de plasticidad  $(EI)_b$  (Rigidez a flexión en el nudo final). Estos datos se obtienen del respectivo diagrama momento curvatura.

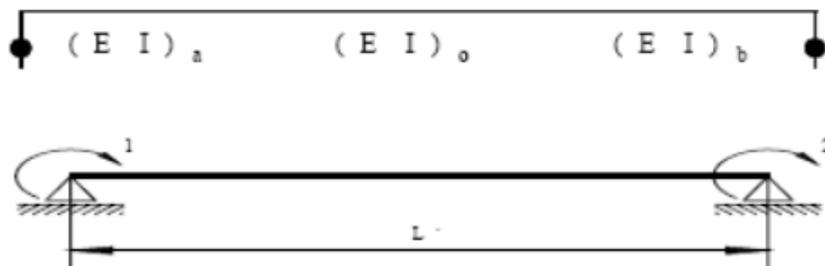


Figura 3.4: Modelo de plasticidad concentrada.  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

La degradación de la rigidez calculada es la que genera la formación de rótulas plásticas en los elementos estructurales, sean vigas, columnas, paredes de corte específicamente en las partes rígidas, cerca de las uniones vigas-columnas o en los empotramientos, como se muestra en la figura anterior.

En esta modelación de plasticidad concentrada, la rótula plástica únicamente se puede formar en la longitud de los extremos rígidos, debido a que las acciones de mayor magnitud se estiman se darán en esa región. En este modelo no puede existir una rótula en el centro del claro, es decir, en la parte flexible que posee la ductilidad

necesaria para disipar la energía inducida por una demanda sísmica en la estructura. La longitud rígida para la formación de rótulas, dependerá del elemento estructural que se analice y de las condiciones de apoyo. No será la misma para una pared estructural que para una viga o una columna, ya que la rotación del extremo rígido será diferente para cada uno de ellos.

De manera general, en este modelo se establece que la rótula plástica se formará en la unión de la parte rígida con la flexible, en el instante que el acero a tensión en un elemento alcance la fluencia, se considera que en ese punto la sección del elemento no será capaz de soportar las acciones impuestas.

### **3.4.2 Modelo de plasticidad por fibras**

Los elementos estructurales son considerados, generalmente, en el análisis de daño o modelación de estos en forma de “línea”, el método de modelado por fibras pretende establecer un acercamiento de la armazón de los elementos de “la línea”; esto permite la estimación exacta de distribución de daño estructural y la prolongación de la inelasticidad del material a lo largo de la longitud del miembro como en el área de la sección, esto se puede representar explícitamente a través del empleo de una aproximación de modelado por fibras.

El estado de esfuerzo-tensión particular de los elementos de la estructura, se obtiene a través de la integración uniaxial de la respuesta no lineal del esfuerzo-tensión de las fibras individuales, en las que la sección se ha subdividido, esto se realiza haciendo uso de la discretización de la sección de concreto reforzada en un conjunto de fibras unidimensionales típicamente axiales, con una longitud definida y con su respectiva relación esfuerzo – deformación ( $\sigma-\epsilon$ ), esta discretización de la estructura permite su resolución planteando un sistema de ecuaciones lineales, y se aplica fácilmente a cualquier estructura por complicadas que sean sus características geométricas, y condiciones de carga.

Un ejemplo de esto se establece en la figura siguiente, en donde se puede observar el análisis que se realiza primero, dividiendo la sección completa en elementos con forma sencilla elegida, para el caso elementos cuadrados, estableciéndose para cada

uno de ellos las condiciones de contorno y equilibrio a través de los nodos, luego separando la sección en tres partes, concreto confinado, concreto no confinado y acero longitudinal. Esto se realiza en el modelo para incluir el efecto del confinamiento del concreto en la resistencia del elemento debido al refuerzo transversal.

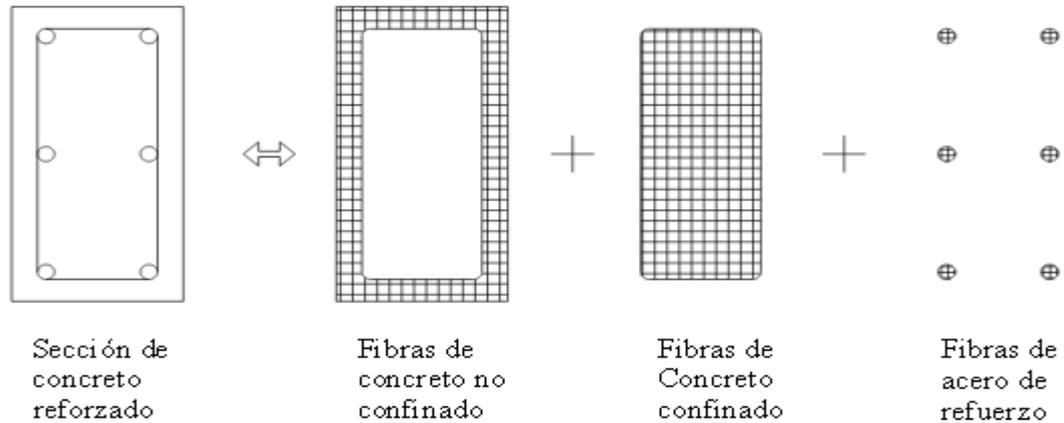


Figura 3.5: Modelo de análisis por fibras de secciones de concreto reforzado  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

La distribución de la inelasticidad a lo largo de la longitud del miembro se establece entonces, como un producto de formulación cúbica inelástica en los elementos de la viga o columna, es decir en su longitud y sección transversal, en donde el modelado se lleva cabo a través del empleo de dos integraciones de tensiones de fibras, en los puntos de control de Gauss en cada sección del elemento estructural, para la integración numérica de las ecuaciones gobernantes de la formulación cúbica, en el gráfico 146 se establecen en el miembro estructural, dos puntos de control de Gauss dividiendo el miembro en tres elementos, y en cada uno de los extremos de ellos sus respectivas secciones de integración.

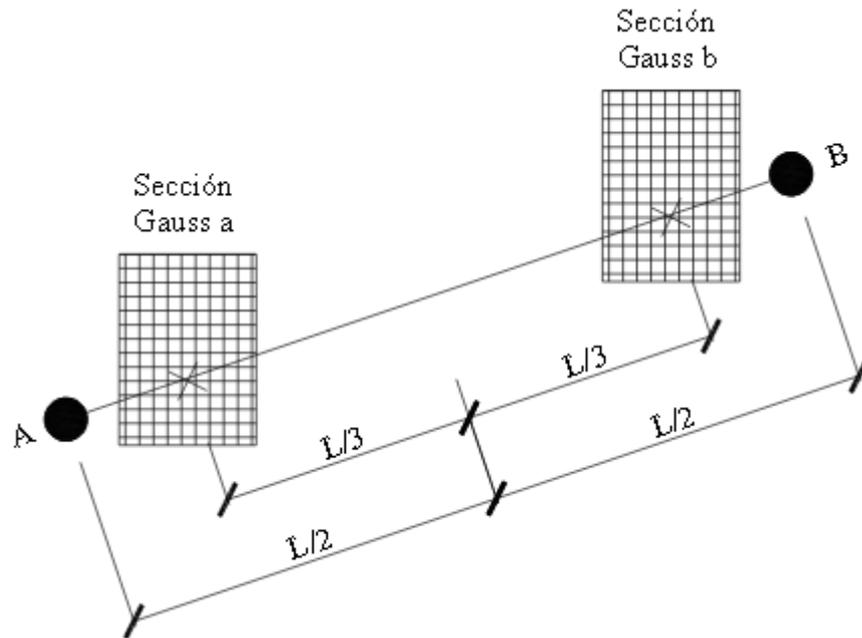


Figura 3.6: Modelo de miembro estructural con secciones de Gauss  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

En este sistema local, son empleados seis grados de libertad básicos, como es mostrado en el gráfico 147, en donde se definen los desplazamientos del elemento locales y fuerzas interiores, en los puntos de control de las secciones se colocan ejes locales, en este caso definidos como 1, 2 y 3, se obtienen los desplazamientos axiales y las rotaciones en todos los ejes, del mismo modo se establecen las tensiones axiales interiores y los momentos torsores en cada eje.

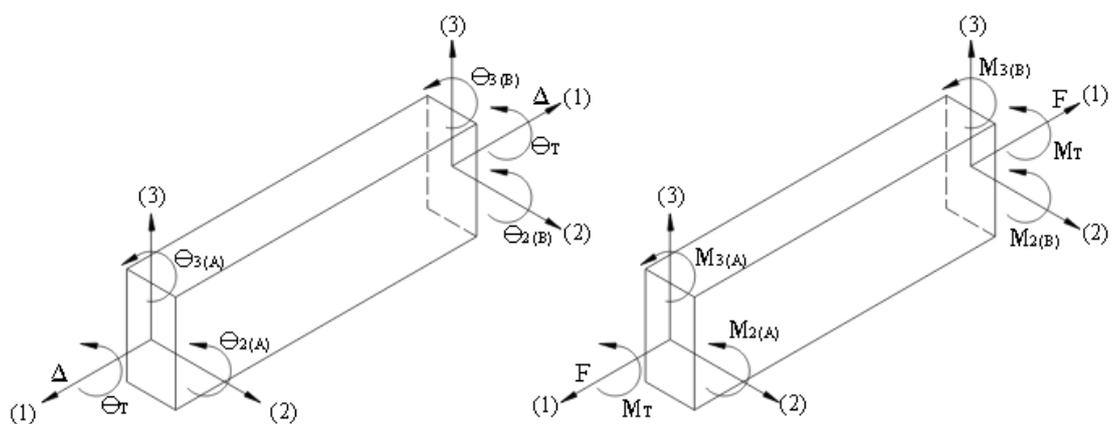


Figura 3.7: Modelo de sistema local en puntos de control  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

La interacción entre la fuerza axial y la deformación transversal del elemento (efecto de viga-columna), está implícitamente incorporada en el elemento. La formulación cúbica sugerida por Izzuddin en 1991, en donde los estados de tensión dentro del elemento, son completamente definidos por la tensión axial generalizada y curvatura a lo largo del eje de referencia del elemento ( $x$ ). Es supuesta una constante generalizada ( $\Delta x = \Delta$ ), para la función de forma de tensión axial en la formulación cúbica adoptada, los resultados en su aplicación es solamente válida modelar la respuesta no lineal de miembros relativamente cortos (Izzuddin, 1991 ), y se requiere de varios elementos (3-4 por miembro estructural) para el modelado exacto de miembros de marcos estructurales.

Esto, sin embargo, normalmente no constituye una limitación para el método ya que la subdivisión del miembro, es un requisito previo de la filosofía de modelado de fibra solicitado para la representación adecuada de las no linealidades del material.

Las tensiones del cortante en la sección del elemento no son modelados, así el estado de tensión de una sección es solamente representado por la curvatura centroidal y las tensiones axiales (Izzuddin, 1991 ). Además, las tensiones de alabeo y efectos torsionales (distorsión de la sección) tampoco son considerados en la formulación actual.

Si un número suficiente de elementos se usa (5-6 por el miembro estructural), la longitud de rótula plástica en miembros estructurales sujeta a niveles altos de inelasticidad de material, puede estimarse con precisión. Si se emplea un número suficiente de fibras, la distribución de la no linealidad del material por el área de la sección se modela con precisión, incluso en un rango muy inelástico.

A diferencia del modelo de rótula con comportamiento de plasticidad concentrada las rótulas tipo fibra permiten: Una transición gradual entre el rango elástico y plástico de la sección, considerar la interacción entre los distintos tipos de esfuerzos, y evaluar en forma sencilla los esfuerzos en el elemento a partir de una integración sobre la sección.

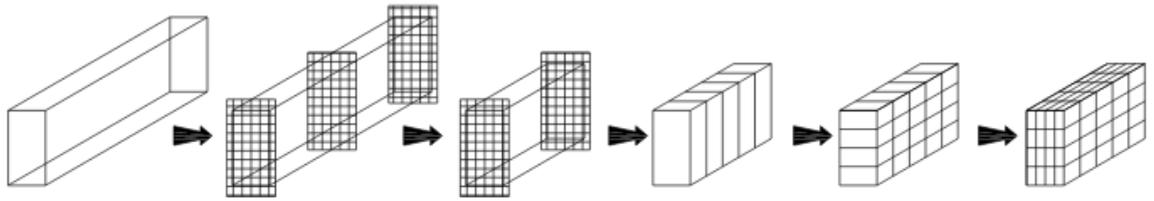


Figura 3.8: Aplicación del modelado por fibras  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

En la figura anterior se puede apreciar la forma en que se realizan los cortes transversales y longitudinales en un elemento. Primero se establecen puntos de control, y de forma sucesiva se toda la sección se va discretizando, hasta obtener pequeños elementos de comportamiento uniaxial.

### 3.4.3 Comportamiento de las rotulas plásticas

Las rotulas plásticas tienen varios parámetros para ser analizadas comenzando cuando el elemento estructural entra en fluencia, es decir, entra en el estado no lineal, se representa con la letra B. Cuando la estructura sufre daños pero no considerable, es decir, la estructura ante un sismo sigue en capacidad de ser habitada se representa con las letras IO, cuando el desplazamiento es más grande la estructura sufre mayores daños pero aún se puede restaurar la misma, se representa con las letras LS, sí el desplazamiento aumenta la estructura comienza a entrar en un colapso progresivo representado con la letra CP, seguido a esto empieza con el colapso total representado con la letra C e inmediatamente entra en el estado plástico que se representa con las letras D y E.

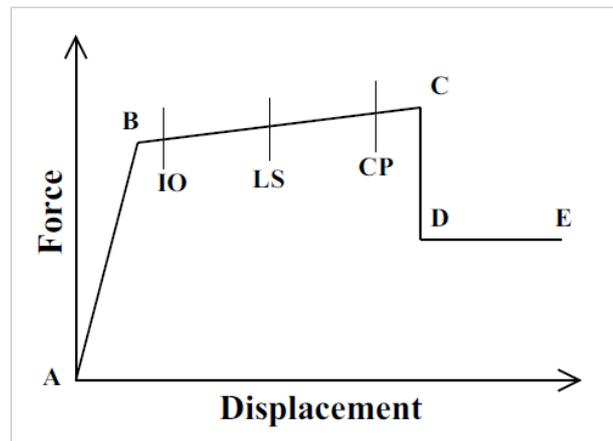


Figura 3.9: Fuerza contra desplazamiento en articulaciones  
Fuente: (SAP2000, 2014)

### 3.5 Elaboración de modelos mediante análisis no lineal (pushover)

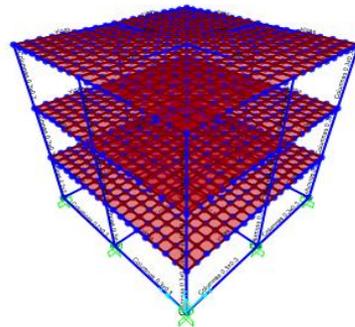


Figura 3.10: Modelo 1: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, regular, sin muro  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

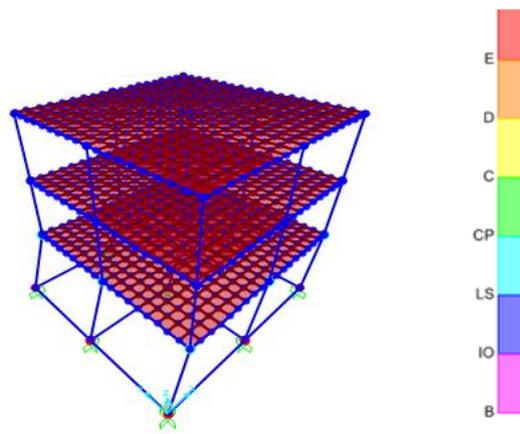


Figura 3.11: Deformada del modelo 1 por análisis no lineal (push over)  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

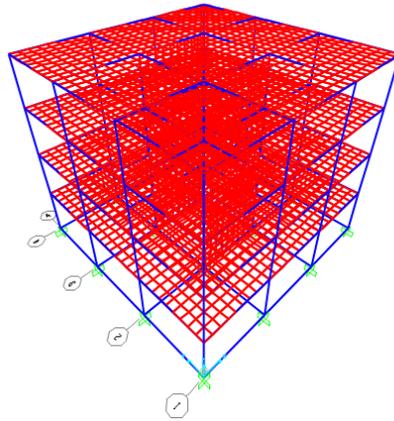


Figura 3.12: Modelo 2: 4 plantas, 4 ejes, luces menores a 6 m, regular, con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

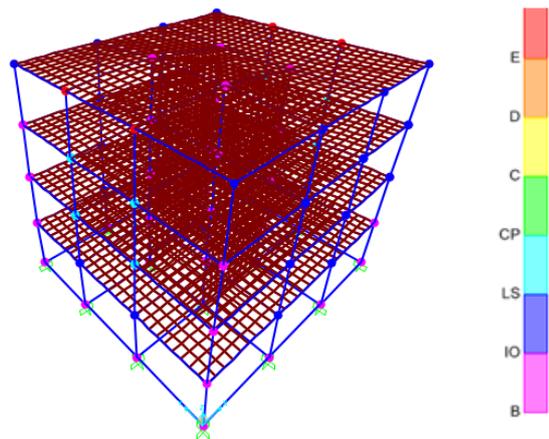


Figura 3.13: Deformada del modelo 2 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

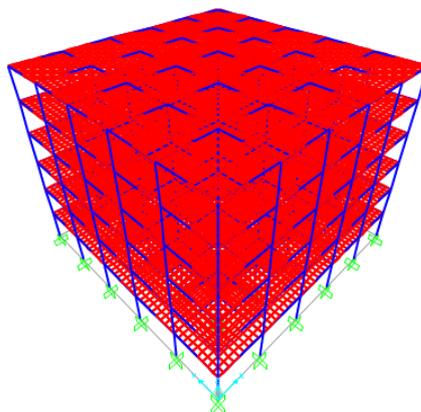


Figura 3.14: Modelo 3: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular, sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

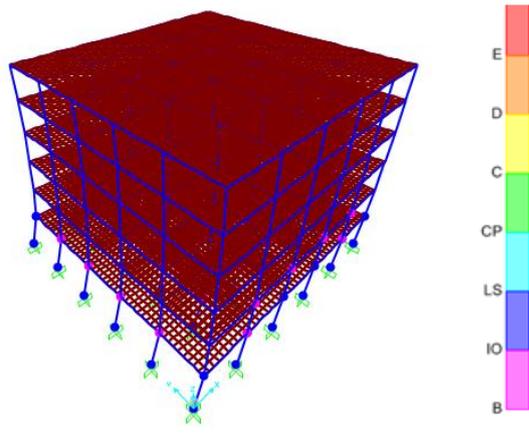


Figura 3.15: Deformada del modelo 3 por análisis no lineal (push over)  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

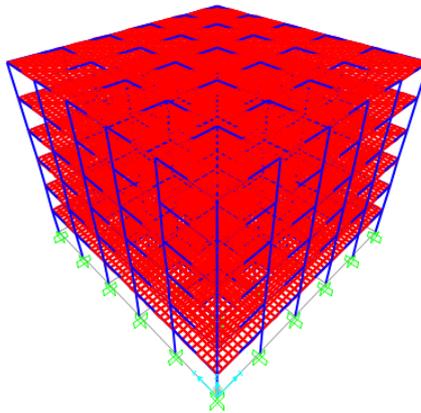


Figura 3.16: Modelo 4: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, regular, con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

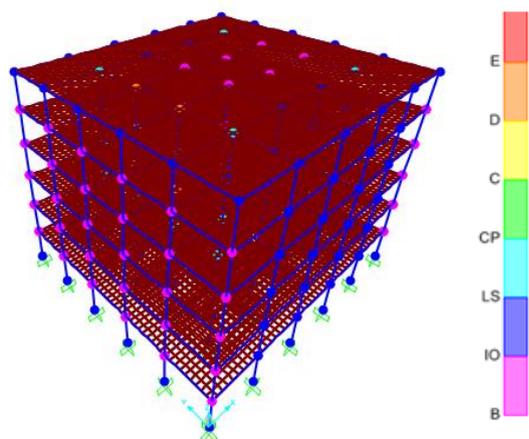


Figura 3.17: Deformada del modelo 4 por análisis no lineal (push over)  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

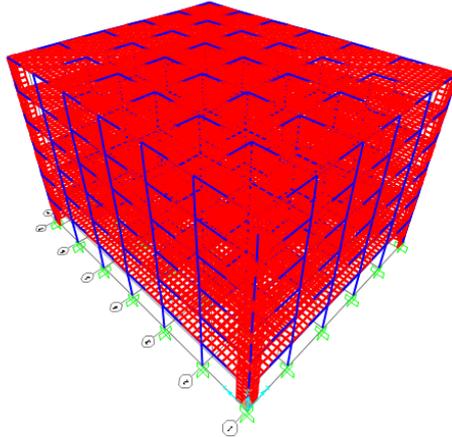


Figura 3.18: Modelo 5: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, regular, con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

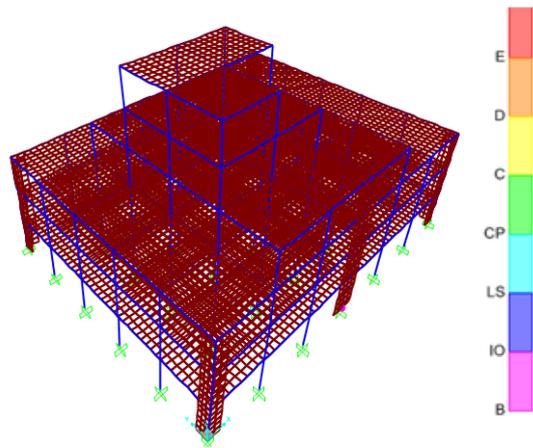


Figura 3.19: Deformada del modelo 5 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

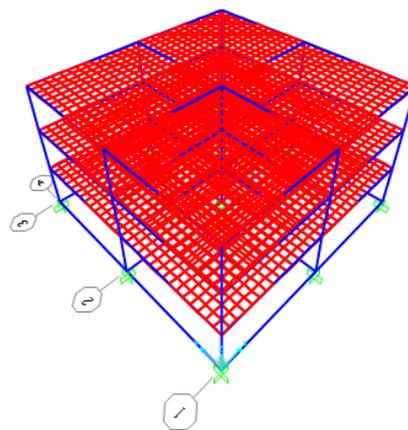


Figura 3.20: Modelo 6: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, regular, sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

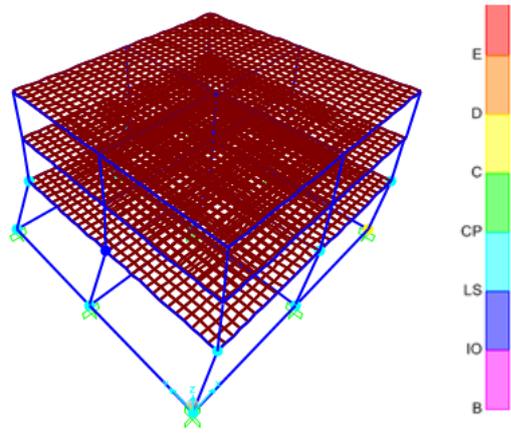


Figura 3.21: Deformada del modelo 6 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

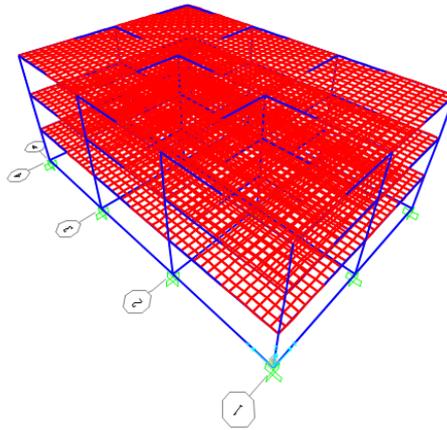


Figura 3.22: Modelo 7: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular, sin muro  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

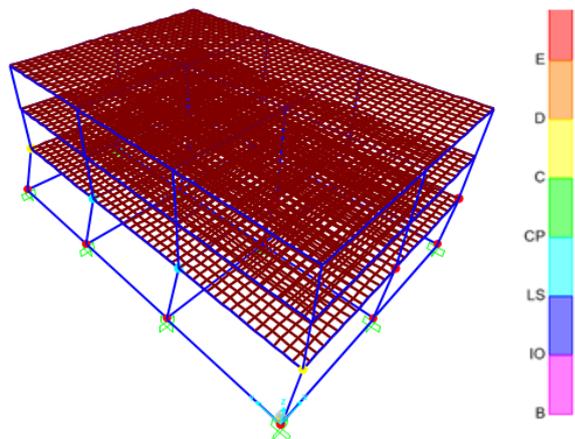


Figura 3.23: Deformada del modelo 7 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

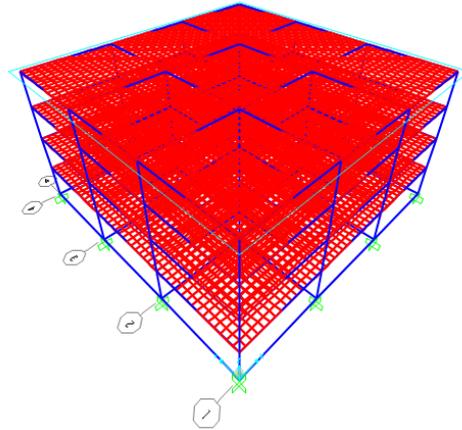


Figura 3.24: Modelo 8: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular, sin muro Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

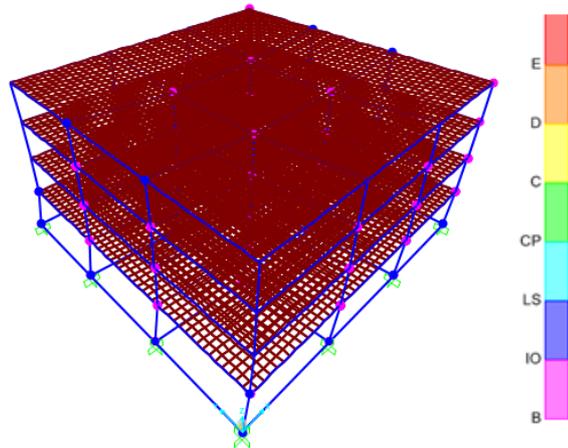


Figura 3.25: Deformada del modelo 8 por análisis no lineal (push over) Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

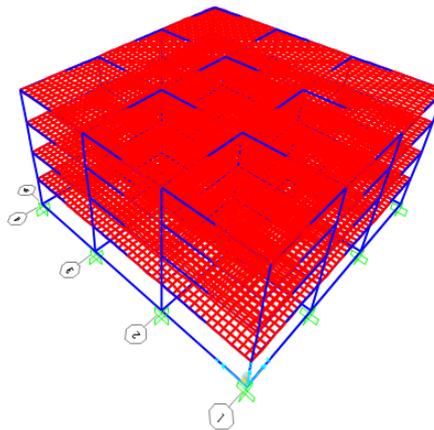


Figura 3.26: Modelo 9: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, regular, con muro interno Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

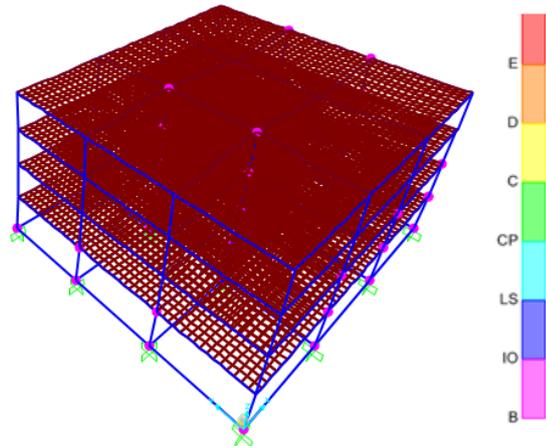


Figura 3.27: Deformada del modelo 9 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

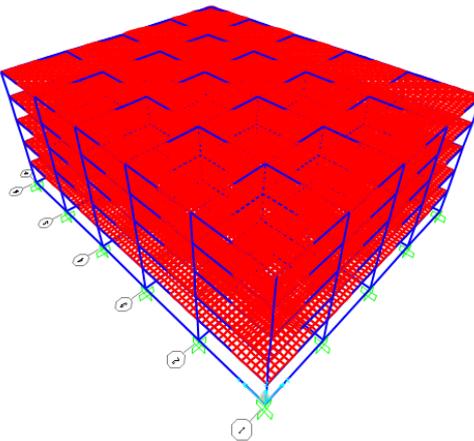


Figura 3.28: Modelo 10: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, regular, con muro interno  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

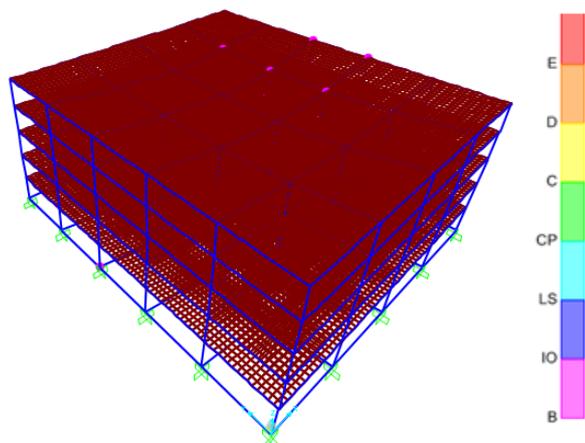


Figura 3.29: Deformada del modelo 11 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

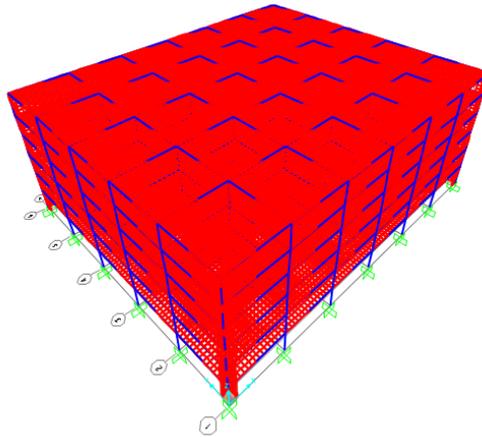


Figura 3.30: Modelo 11: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, regular, con muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

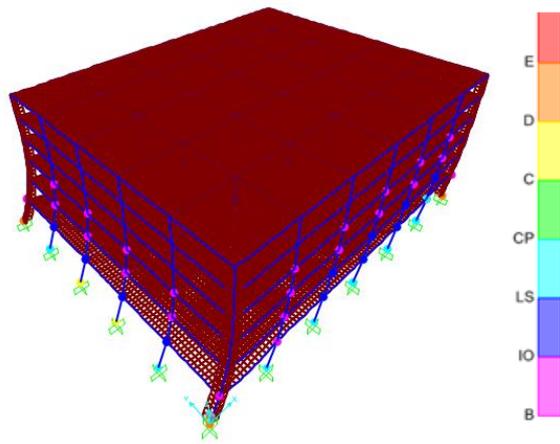


Figura 3.31: Deformada del modelo 11 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

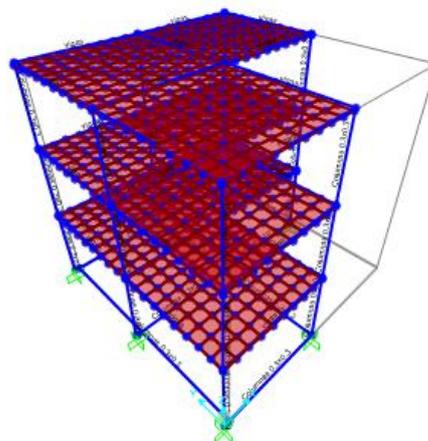


Figura 3.32: Modelo 12: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular, en planta sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

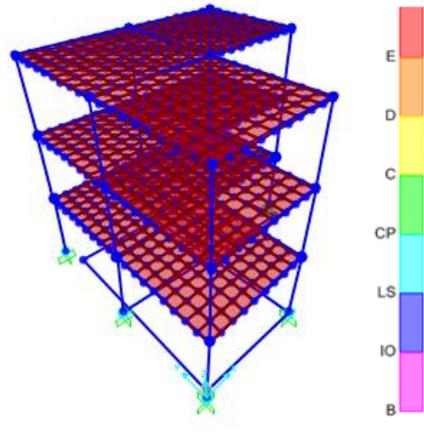


Figura 3.33: Deformada del modelo 12 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

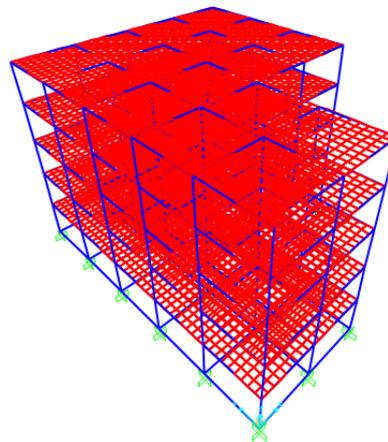


Figura 3.34: Modelo 13: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta, con muro interno  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

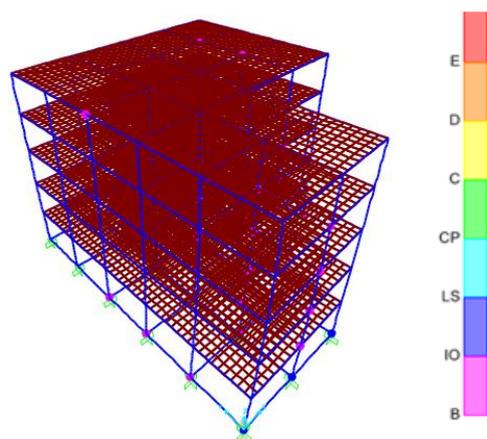


Figura 3.35: Deformada del modelo 13 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

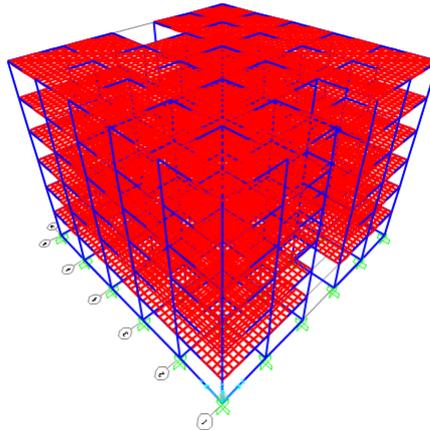


Figura 3.36: Modelo 14: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta, sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

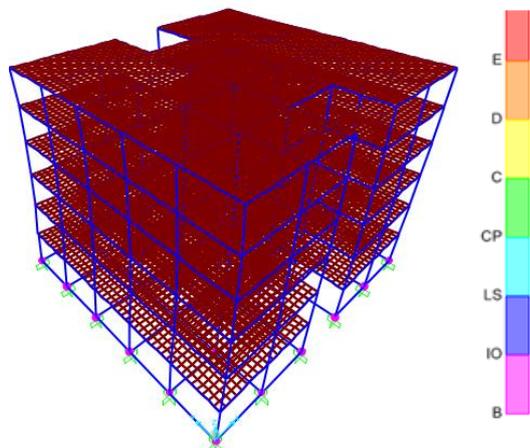


Figura 3.37: Deformada del modelo 14 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

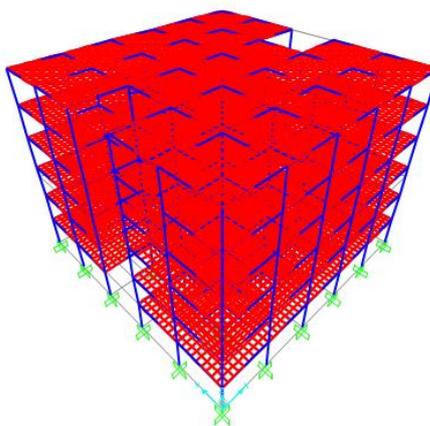


Figura 3.38: Modelo 15: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta, con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

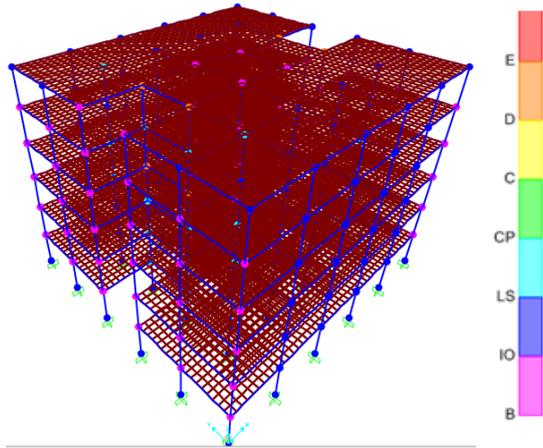


Figura 3.39: Deformada del modelo 15 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

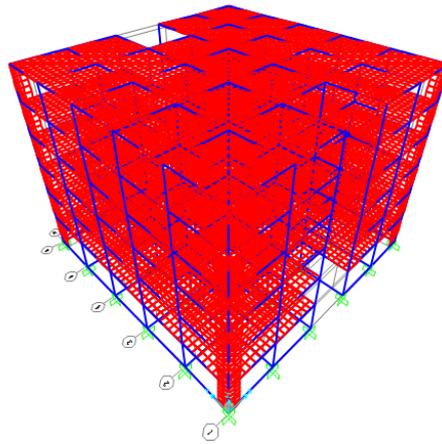


Figura 3.40: Modelo 16: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

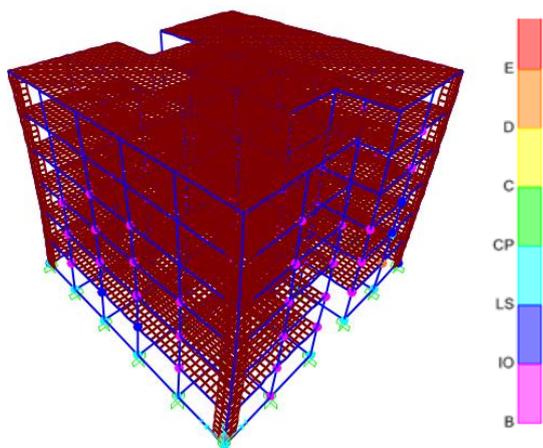


Figura 3.41: Deformada del modelo 16 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

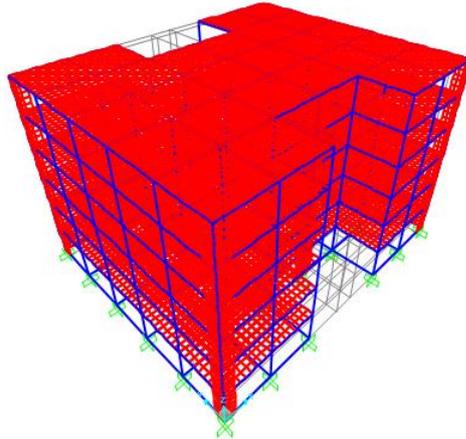


Figura 3.42: Modelo 17: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en planta con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

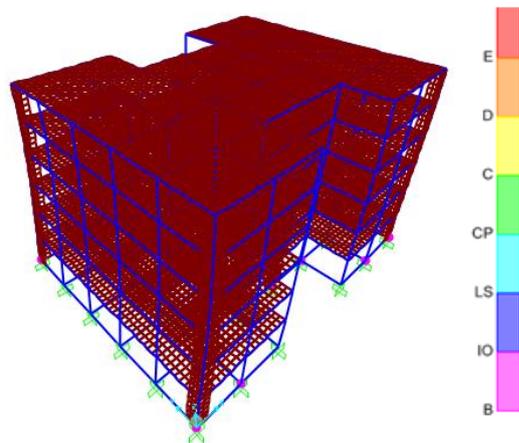


Figura 3.43: Deformada del modelo 17 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

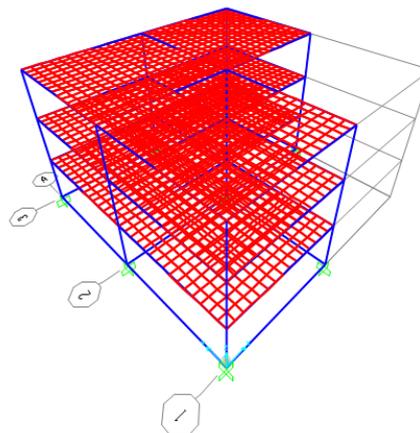


Figura 3.44: Modelo 18: 3 plantas, 3 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, sin muro  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

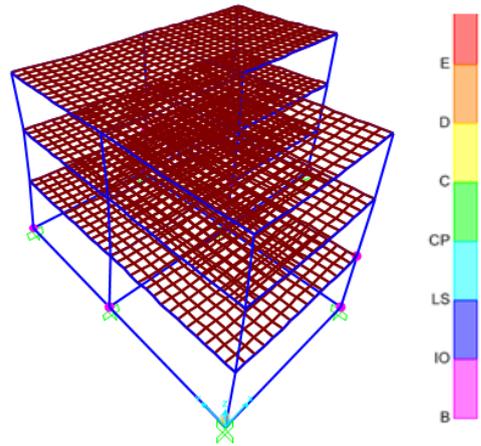
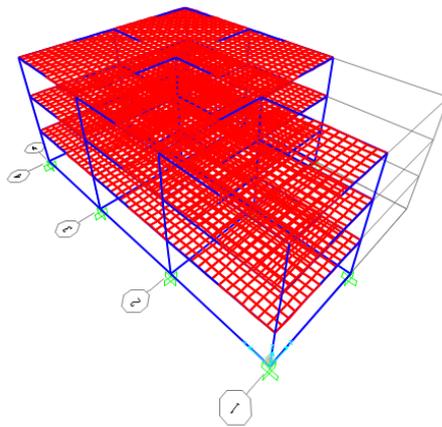


Figura 3.45: Deformada del modelo 18 por análisis no lineal (push over)



Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

Figura 3.46: Modelo 19: 3 plantas, 3 y 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

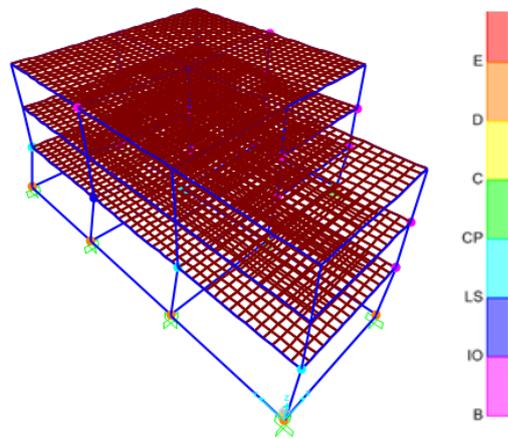


Figura 3.47: Deformada del modelo 19 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

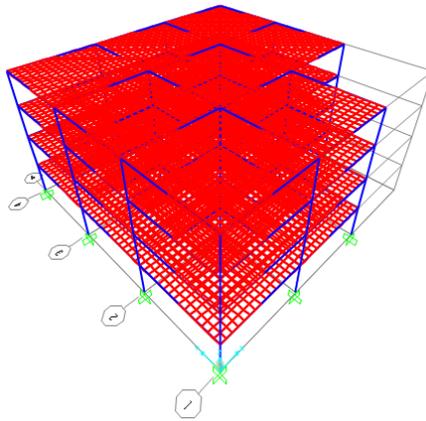


Figura 3.48: Modelo 20: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, sin muro

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

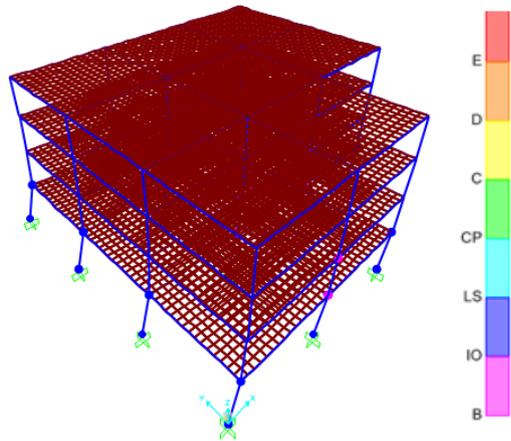


Figura 3.49: Deformada del modelo 20 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

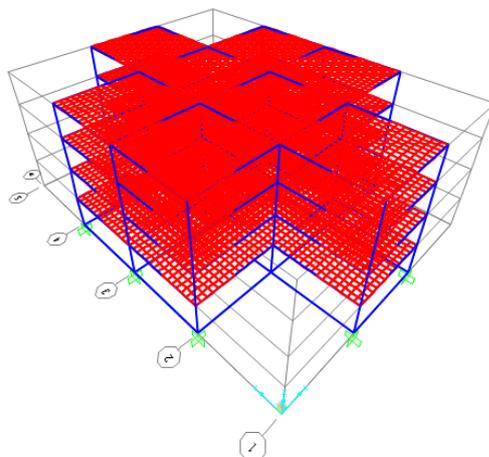


Figura 3.50: Modelo 21: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

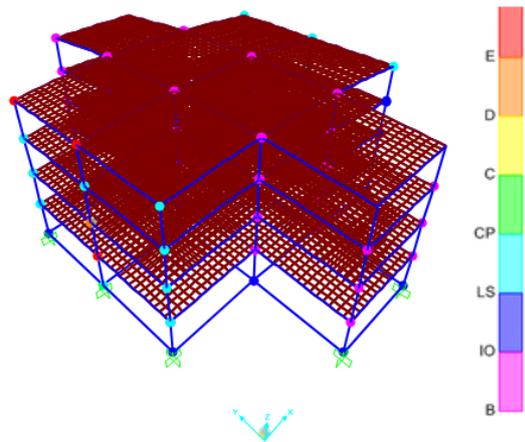


Figura 3.51: Deformada del modelo 21 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

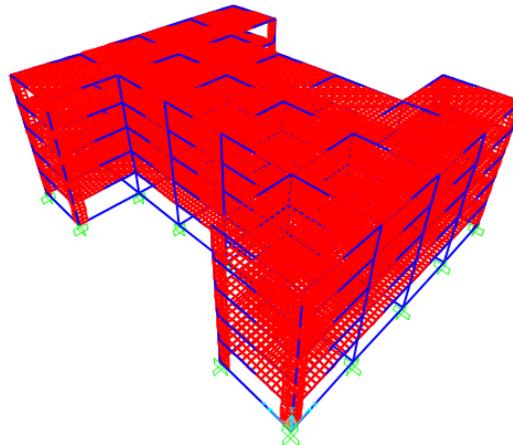


Figura 3.52: Modelo 22: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

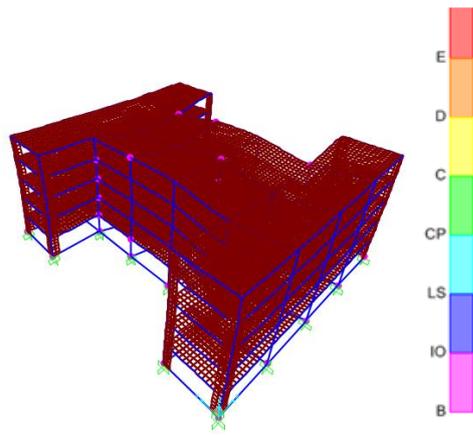


Figura 3.53: Deformada del modelo 22 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

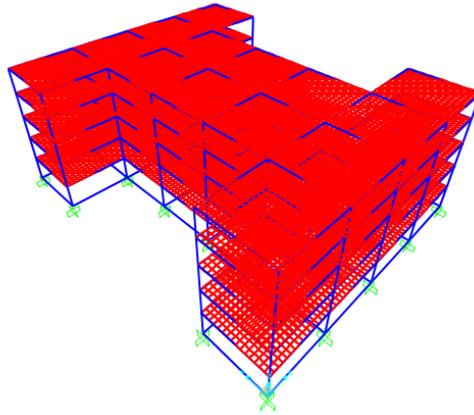


Figura 3.54: Modelo 23: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro interno  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

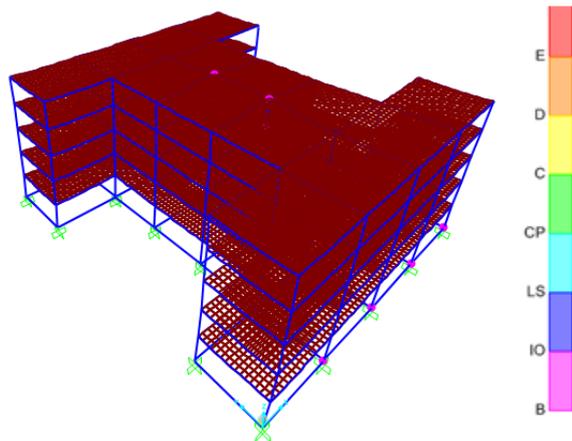


Figura 3.55: Deformada del modelo 23 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

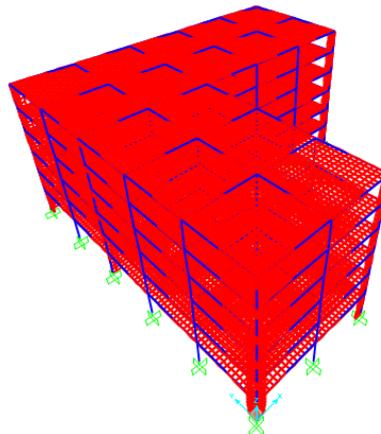


Figura 3.56: Modelo 24: 6 plantas, 6 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

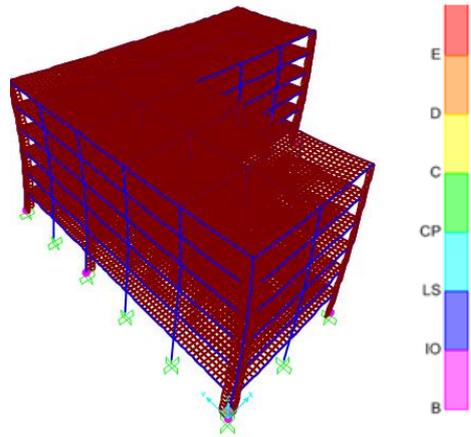


Figura 3.57: Deformada del modelo 24 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

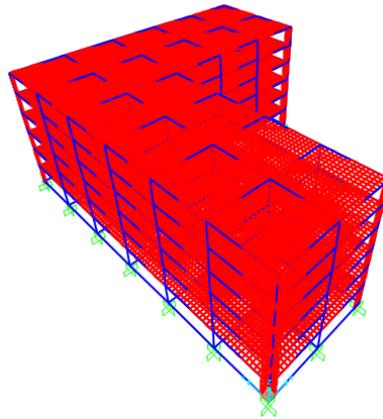


Figura 3.58: Modelo 25: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

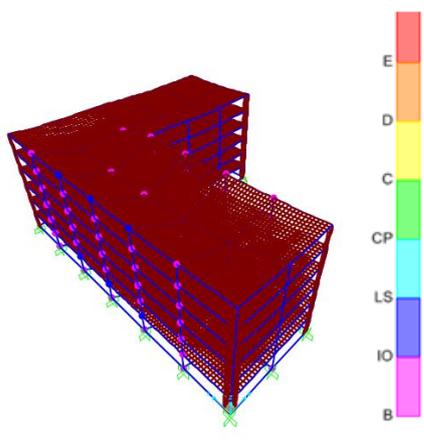


Figura 3.59: Deformada del modelo 25 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

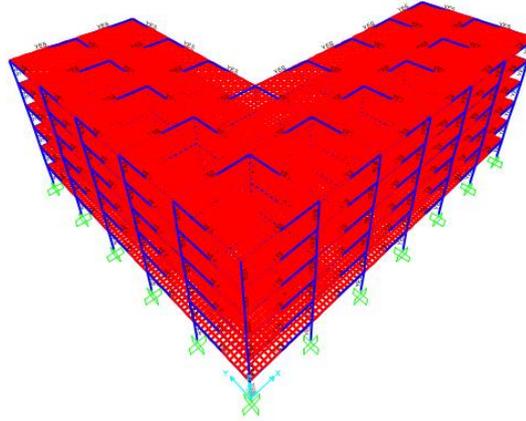


Figura 3.60: Modelo 26: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en planta, con muro interno  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

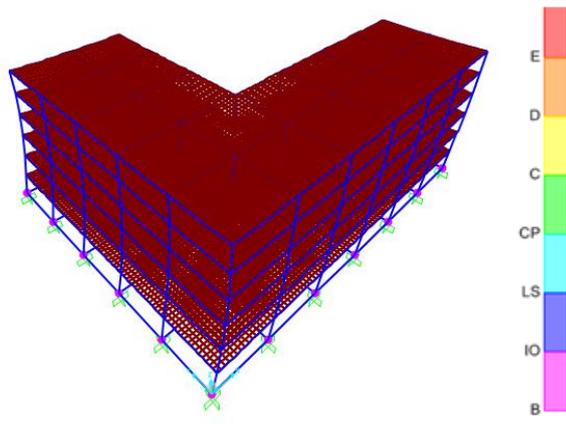


Figura 3.61: Deformada del modelo 26 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

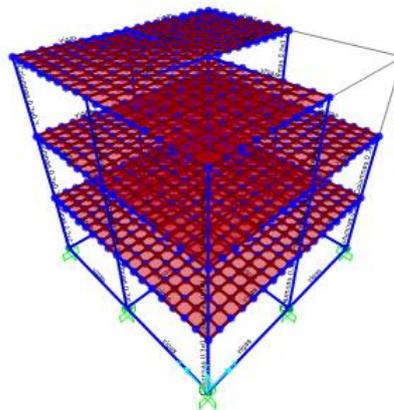


Figura 3.62: Modelo 27: 3 plantas, 3 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, sin muro  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

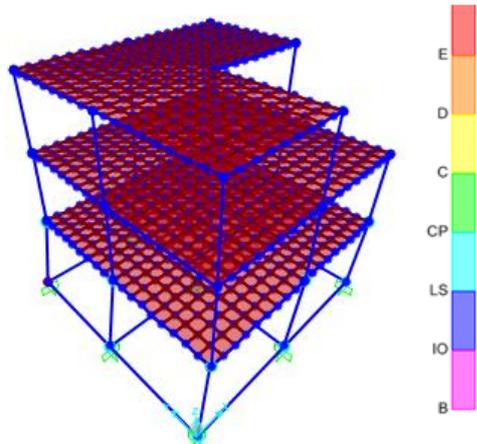


Figura 3.63: Deformada del modelo 27 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

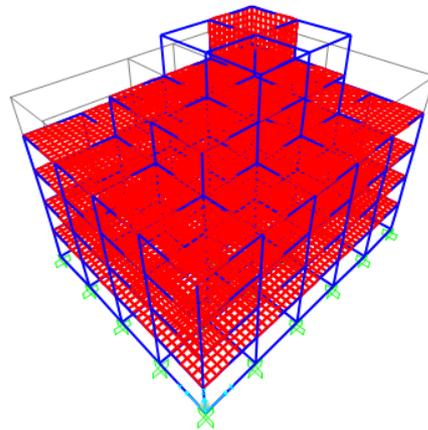


Figura 3.64: Modelo 28: 5 plantas, 5 y 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, con muro interno  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

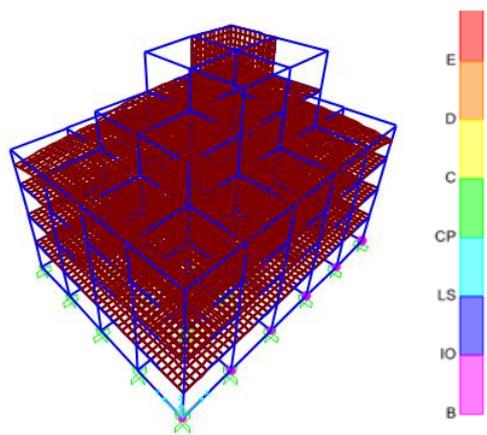


Figura 3.65: Deformada del modelo 28 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

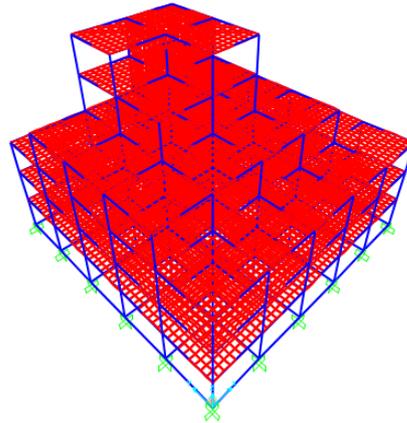


Figura 3.66: Modelo 29: 6 plantas, 6 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, con muro interno

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

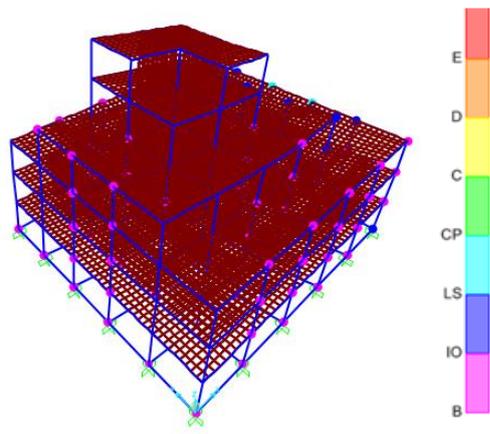


Figura 3.67: Deformada del modelo 29 por análisis no lineal (push over)

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

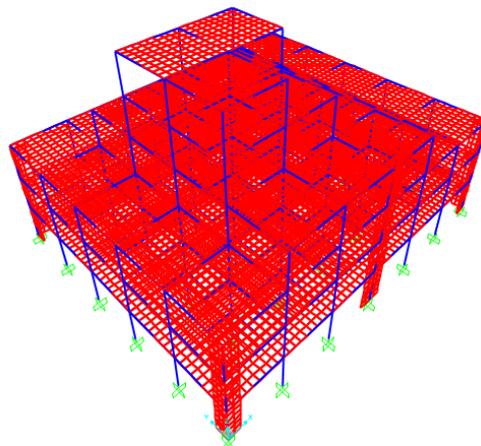


Figura 3.68: Modelo 30: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces menores a 6 m, irregular en altura, muro externo

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

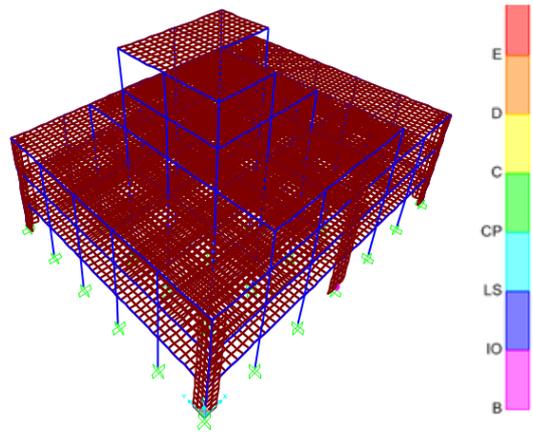


Figura 3.69: Deformada del modelo 30 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

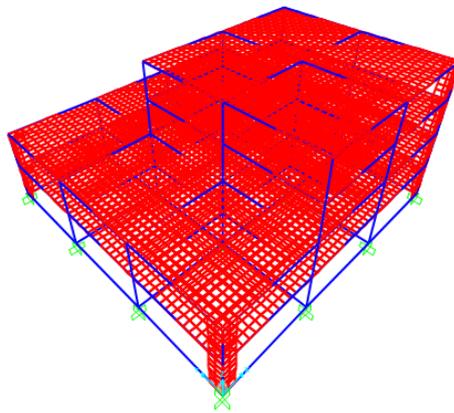


Figura 3.70: Modelo 31: 4 plantas, 4 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

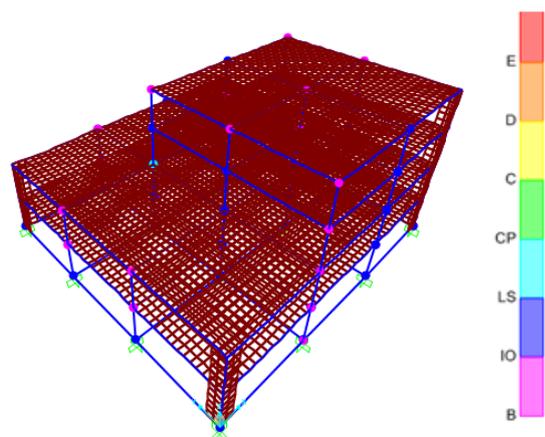


Figura 3.71: Deformada del modelo 31 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

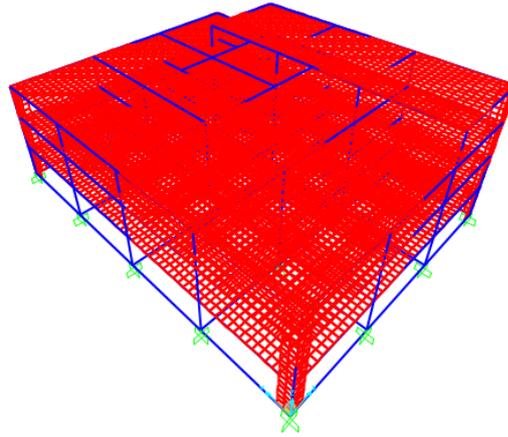


Figura 3.72: Modelo 32: 4 plantas, 4 y 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro externo  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

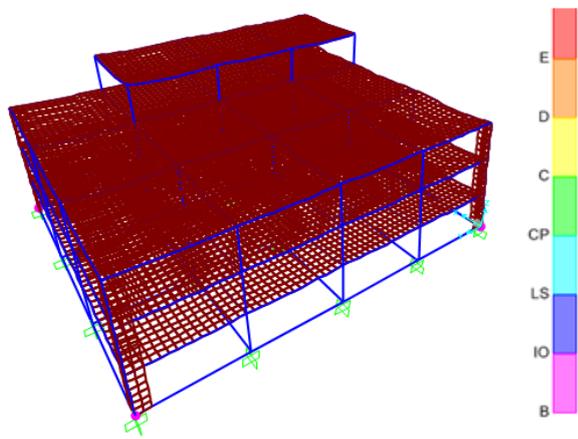


Figura 3.73: Deformada del modelo 32 por análisis no lineal (push over)  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

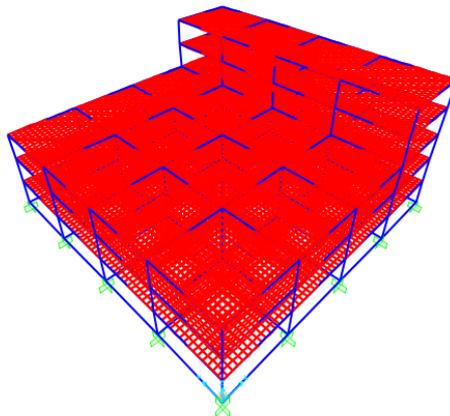


Figura 3.74: Modelo 33: 5 plantas, 5 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro interno  
Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

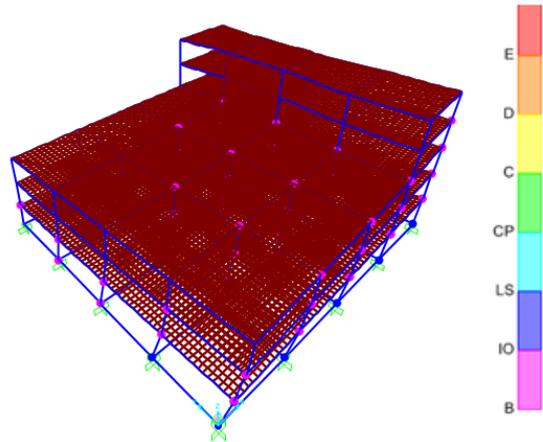


Figura 3.75: Deformada del modelo 33 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

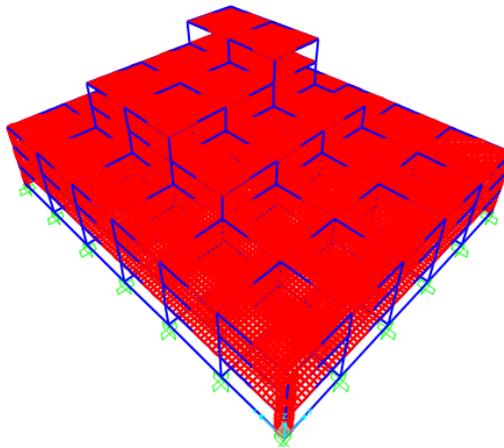


Figura 3.76: Modelo 34: 6 plantas, 6 y 7 ejes, luces mayores a 6 m, irregular en altura, con muro externo  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

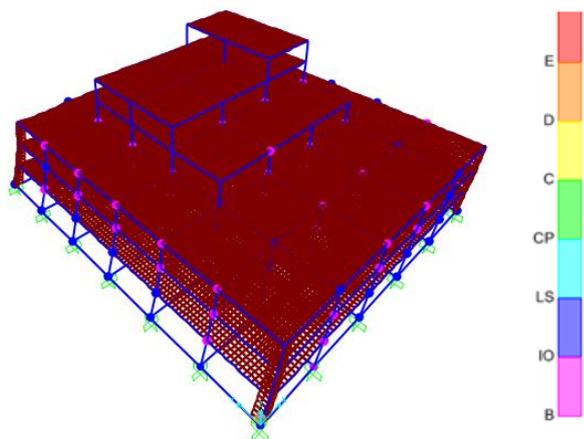


Figura 3.77: Deformada del modelo 34 por análisis no lineal (push over)  
 Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 3.6 Obtención de desplazamientos:

#### 3.6.1 Desplazamientos para luces menores a 6m:

Tabla 3.1: Desplazamientos para luces menores a 6m

Familia	Modelo	Desplazamiento
<b>Regulares en planta y altura</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	0.124707
	4 plantas 4 ejes luces menores a 6 m regular con muro interno	0.205265
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	0.110011
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular con muro interno	0.319132
	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m regular con muro externo	0.206084
<b>Irregulares en planta</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	0.179983
	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.170513
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	0.060129
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.315363
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro externo	0.226438
	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro externo	0.139526
<b>Irregulares en altura</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	0.122363
	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	0.300031
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	0.156071
	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en altura muro externo	0.21807

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

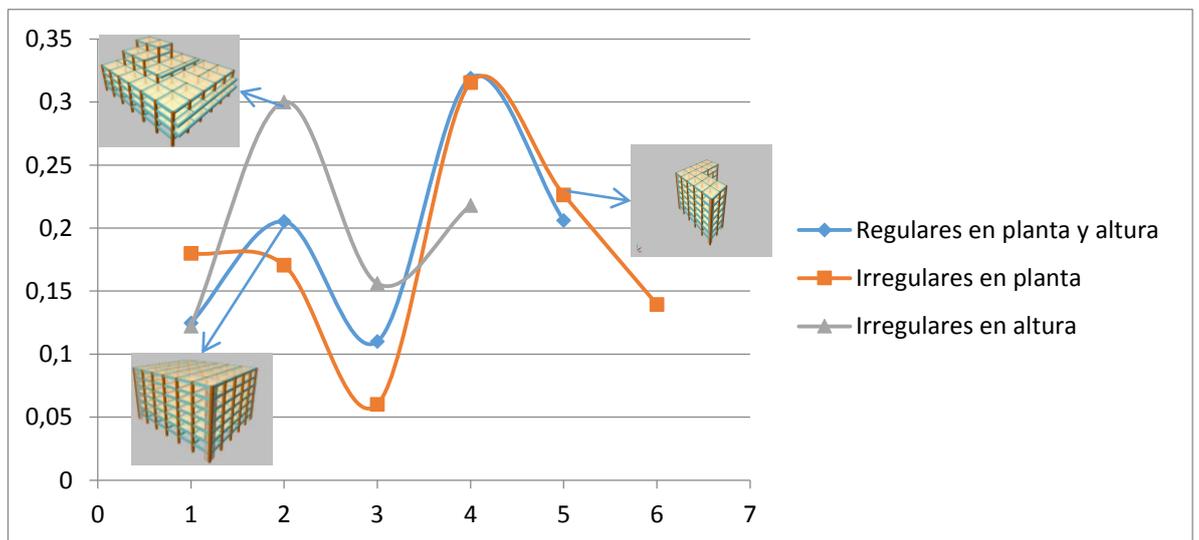


Figura 3.78: Desplazamientos para luces menores a 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 3.6.2 Desplazamientos para luces mayores a 6m:

Tabla 3.2: Desplazamientos para luces mayores a 6m

Familia	Modelo	Desplazamiento
<b>Regulares en planta y altura</b>	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	0.095227
	3 plantas 3 y 4 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	0.104463
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	0.093974
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	0.19153
	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	0.060627
	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m regular con muro externo	0.163821
<b>Irregulares en planta</b>	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	0.117549
	3 plantas 3 y 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	0.087546
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	0.080106
	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.04177
	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	0.121569
	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.110512
	6 plantas 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	0.18167
	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	0.12163
<b>Irregulares en altura</b>	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	0.099961
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	0.19856
	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	0.186496
	5 plantas 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro interno	0.097213
	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	0.070313

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

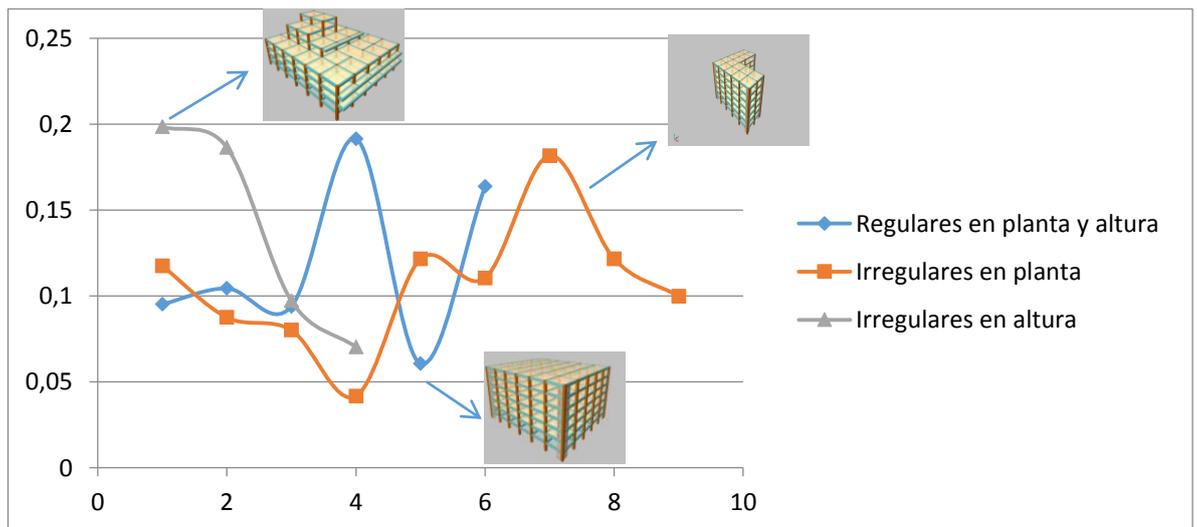


Figura 3.79: Desplazamientos para luces mayores a 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### 3.7 Obtención del Cortante basal:

#### 3.7.1 Cortante basal para luces menores a 6m:

Tabla 3.3: Cortante basal para luces menores a 6m

Familia	Modelo	Cortante Basal
<b>Regulares en planta y altura</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	6986.31
	4 plantas 4 ejes luces menores a 6 m regular con muro interno	8170175.76
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular sin muro	758427.74
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m regular con muro interno	10682695.25
	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m regular con muro externo	1512258.43
<b>Irregulares en planta</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	129418.19
	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	8550174.98
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta sin muro	759218.89
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro interno	10565080.52
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro externo	1676652.58
	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en planta con muro externo	955668.18
<b>Irregulares en altura</b>	3 plantas 3 ejes luces menores a 6 m irregular en altura sin muro	42954.54
	5 plantas 5 y 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	11882681.26
	6 plantas 6 ejes luces menores a 6 m irregular en altura con muro interno	1065348.25
	6 plantas 6 y 7 ejes luces menores a 6 m irregular en altura muro externo	1903456.21

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

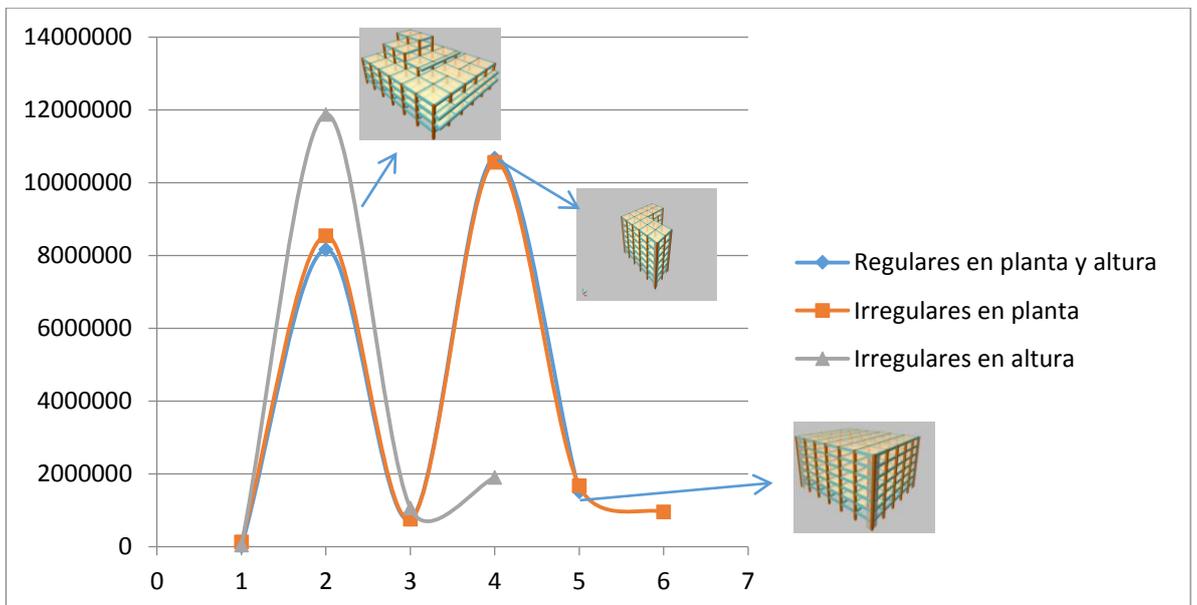


Figura 3.80: Cortante basal para luces menores a 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

**3.7.2 Cortante basal para luces mayores a 6m:**

Tabla 3.4: Cortante basal para luces mayores a 6m

Familia	Modelo	Cortante Basal
<b>Regulares en planta y altura</b>	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	12133.82
	3 plantas 3 y 4 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	121644.82
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular sin muro	358464.8
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	30333876.88
	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m regular con muro interno	458021.49
	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m regular con muro externo	2054425.76
<b>Irregulares en planta</b>	3 plantas 3 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	109265.53
	3 plantas 3 y 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	182800.07
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta sin muro	317387.89
	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	551776.45
	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	1639402.53
	5 plantas 5 y 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	15487626
	6 plantas 6 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	1968311.92
	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro externo	1247634.84
<b>Irregulares en altura</b>	6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en planta con muro interno	925172.97
	4 plantas 4 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	1007867.01
	4 plantas 4 y 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	1282115.89
	5 plantas 5 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro interno	19757908.01
6 plantas 6 y 7 ejes luces mayores a 6 m irregular en altura con muro externo	1762828.31	

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

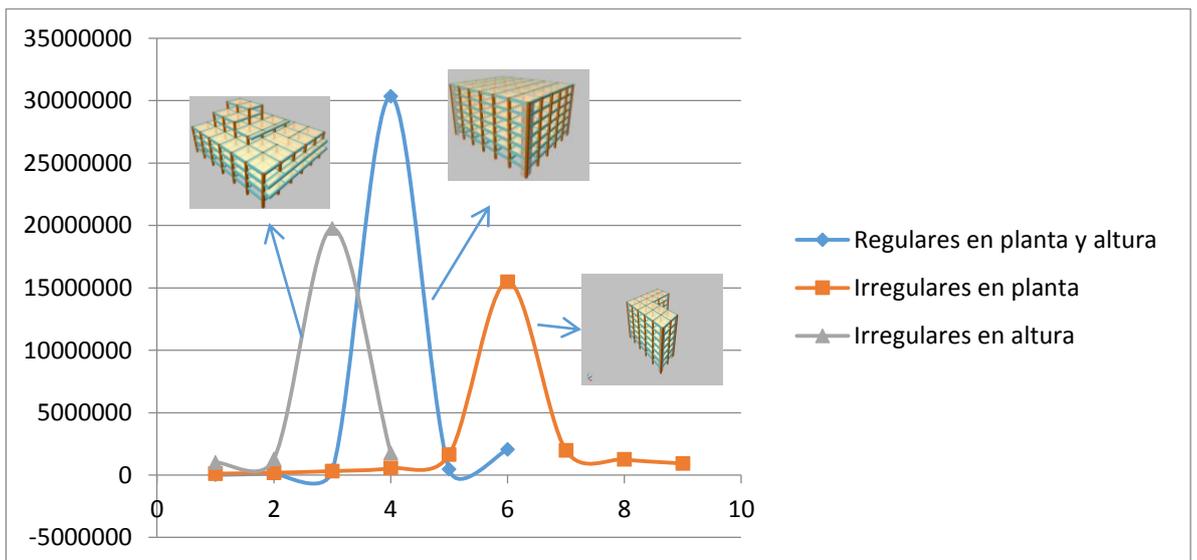


Figura 3.81: Cortante basal para luces mayores a 6m

Fuente: Erick Cabrera y Mateo Torres

### **3.8 Conclusiones**

El análisis estático no lineal, no posee un fundamento teórico profundo. En él se asume que los múltiples grados de libertad de la estructura están directamente relacionados a la respuesta sísmica de un sistema equivalente de un grado de libertad con características de histéresis apropiadas. El modelo que se genera para realizar el análisis, incorpora directamente la no linealidad de los materiales, de manera que es empujado hasta un desplazamiento esperado, y las deformaciones y fuerzas internas resultantes pueden ser determinadas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

En este trabajo, en el cual se modelaron 120 estructuras aporticadas variando su regularidad e irregularidad, tanto en planta como en altura con reducción de área por planta, la luz de las vigas, y la altura de la estructura; luego de comparar los resultados obtenidos en las características como deriva, cortante basal, periodo y aceleración de diseño, cuantía de obra, excentricidad centro de masa – centro de rigidez, porcentaje que absorbe los muros de corte ante un cortante basal y al modelarlas en un análisis no lineal (pushover); se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las edificaciones que mejor comportamiento presentaron fueron aquellas que poseen más de cinco ejes resistentes, son irregulares en altura con reducción de área por planta y que estas tengan una altura entre 4 y 6 plantas.
- La resistencia ante un cortante basal, es absorbida por los muros de corte en más del 50% en comparación a lo que resiste las columnas.
- Para estructuras irregulares en altura con reducción de área por planta, las edificaciones que mejor comportamiento presentaron fueron las que poseen muros de corte internos.
- Para estructuras regulares en planta y altura, las edificaciones que mejor comportamiento presentaron fueron las que poseen muros de corte externo.
- El análisis no lineal dinámico (pushover) demostró y confirmó las conclusiones anteriores.
- Las estructuras que tengan irregularidad en planta independientemente con o sin muro de corte en cualquier posición, son las más críticas en todos los criterios analizados.

- En el análisis no lineal dinámico (pushover), las edificaciones que no poseen muros de corte internos o externos, independientemente que estas sean regulares o irregulares, ya sea en planta o altura con reducción de área por planta; son las más críticas en todos los criterios analizados.
- Las estructuras que poseen muro de corte interno, son las que mejor comportamiento tienen en cuanto al periodo de diseño.
- Las estructuras independientemente de la luz que estas posean, y de su regularidad e irregularidad, si son de 3 plantas y 3 ejes resistentes por sentido a pesar de no poseer ningún tipo de muro de corte, se comportan de una manera aceptable.
- Una estructura deberá ser diseñada con muros de corte, cuando su altura sea mayor a 4 plantas independientemente de las luces que posea.
- Las edificaciones deberán ser diseñadas con irregularidad en altura, pero con reducción por planta para alivianar el peso y quitar masa a la estructura.
- Cuando las edificaciones tienen muros de corte la cuantía de obra se incrementa, por lo que esto genera que los costos de la estructura se eleven, a pesar de que esto suceda no debe ser un factor a considerar durante el diseño de una edificación, más aun tomando en cuenta que la estructura representa alrededor del 30% del costo total de la obra, y con muros de corte correctamente ubicados se estima que se incrementa únicamente en un rango del 3% al 5%, lo cual comparando con la seguridad que obtendría la edificación es imperceptible.

**Recomendaciones:**

- En todo tipo de estructura, por más pequeña que sea se tiene que cumplir con una serie de normas y requerimientos para poder realizar su construcción. En nuestro medio no existe un grado de conocimiento por parte de los proyectistas, sobre la importancia de la estructuración de una edificación. Esto nos da como resultado que exista conflictos que se acarrean hasta la etapa de la construcción, y posteriormente ante eventos sísmicos futuros; el comportamiento y desempeño de la edificación puede ser inadecuado e incluso catastrófico.
- A pesar de que el municipio exige un diseño estructural para las nuevas edificaciones, creemos que no es suficiente el hecho de que el municipio y su control de construcción no se involucre en la parte constructiva, es decir al estar en una zona de sismicidad alta, y con el antecedente del último sismo de 7.8 grados en la escala de Richter que devastó Manabí y Esmeraldas, recomendamos que la municipalidad actúe no solo en su revisión y aprobación de planos estructurales, si no verifique que las edificaciones, al menos en la parte estructural se construyan igual a los diseños previamente aprobados, con Ingenieros Civiles a cargo de la parte estructural, con mano de obra calificada y con una correcta calidad de materiales
- Durante el análisis dinámico no lineal (push over), se debe localizar cuales son las rotulas plásticas más desfavorables que se presenta en la estructura, para proceder a realizar un reforzamiento en cada una de esas zonas.
- No se debe generar altos valores de excentricidad entre el centro de masa y centro de rigidez de una estructura, esto se debe analizar por cada planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akiyama, K. (1985). *Elastic Waves in Anisotropic Laminates* . Tokyo.
- Alvear, S. (2013). *criterios-para-diseño-estructural*. Recuperado el 2016, de <http://es.slideshare.net/azuca92/criterios-para-diseño-estructural>
- ATECA, E. M. (2015). *CRITERIOS mediante los que se establecen las características específicas de la infraestructura requerida para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga*. Recuperado el 2016, de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5394833&fecha=02/06/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5394833&fecha=02/06/2015)
- Bertero, B. y. (1999). *La redundancia estructural y su impacto*. Barcelona.
- Brattain, W. H. (1956). *Limit design of structures to resist earthquakes* ). California.
- Bruneau. (1998). *The Sub-Structural Pseudo-Dynamic Tests of a Full-Scale*. Inglaterra.
- Caiza, P. I. (2014). *Sismo del 2014 y vulnerabilidad estructural*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/brujitacalderon1/sismo-del-12-de-agosto-de-2014-comportamiento-estructurales>
- CALDERÓN, A. N. (2015). MAESTRÍA EN ORDENACIÓN TERRITORIAL. En *EL SISTEMA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL CANTÓN CUENCA* (pág. pp 79). Cuenca: Universidad de Cuenca.
- CEAC. (1993). *cubicaciones y resistencia de materiales grupo editorial* .
- CYPECAD. (2016). *CYPE iNGENIEROS*. Recuperado el 2016, de <http://cypecad.cype.es/>
- Di Sarno & Elnashai. (2003 ). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Genova.
- Díaz, B. (2003). *vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios*. Barcelona.
- Doralba Valencia Restrepo y Gabriel Valencia Clement. (2008). *Evaluación del coeficiente de disipación de energía, R, para algunos tipos de estructuras de acero* . Recuperado el 2016, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092008000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092008000100005)

- Duhamel. (2002). *Vibraciones aleatorias en sistemas con un grado de libertad*. Alemania.
- Elnashai, A. (1994). *Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas*. Inglaterra.
- Elnashai, A. S. & Di Sarno. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Falconí, D. I. (2000). *análisis sísmico de edificios*. Argentina.
- García, L. (2009). *Dinámica estructural aplicada al diseño sismoresistente*, . Mexico.
- Krawinkler & Seneviratna. (1998). *Implications of Recent Earthquakes on Seismic Risk*. Alemania.
- Llanes Burón, C. (2015). Evaluación de la Seguridad Estructural. *Hospitales Seguros frente a los desastres*, (págs. 1-123). Cuenca.
- Melone, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. El Salvador.
- NEC. (2014). *CARGAS NO SÍSMICAS*. -CAP.1 .
- NEC. (2014). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC*. En NEC-SE-DS. Quito.
- Piedra, J. (Lunes 15 de Marzo de 2010). Estudio revela vulnerabilidad de Cuenca ante un terremoto. *EL UNIVERSO*.
- Pinho & Antonio . (2004a, 2004b). *Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction*. Inglaterra.
- R. Park & T. Paulay. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. Estados Unidos de America.
- Vazquez, M. I. (2012). *Anotaciones materia Estructuras II*.