

ESTUDIO DEL DESEMPEÑO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO DISEÑADAS POR LA NSR-10

ING. JUAN FELIPE GAVIRIA MOSQUERA

Nota de Aceptación

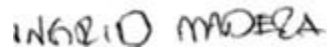
Certificamos que el presente Trabajo de Grado  
Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos  
Que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.



ING. JOSÉ JAVIER MARTÍNEZ ECHEVERRY  
Director



ORLANDO CUNDUMI SÁNCHEZ Ph. D.  
Jurado

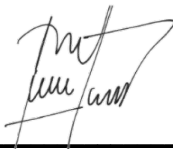


INGRID E. MADERA SIERRA Ph. D.  
Jurado

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la  
Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de  
Magister en Ingeniería Civil.



HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.  
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias



JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS  
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali, diciembre 4 de 2020.

**Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado**

**Santiago de Cali, diciembre 4 del 2020**

**Autor: Ing. Juan Felipe Gaviria Mosquera**

**Título del Trabajo de Grado: “Estudio del Desempeño Sísmico de Estructuras de Concreto Reforzado Diseñadas por La NSR-10”**

**Director:**

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.



---

**Ing. José Javier Martínez Echeverry  
Director del Trabajo de Grado**

---

---

**ESTUDIO DEL DESEMPEÑO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO  
REFORZADO DISEÑADAS POR LA NSR-10**

**Trabajo de grado en la modalidad de trabajo de grado para optar por el título de magister  
en ingeniería civil con énfasis en Ingeniería sísmica y rehabilitación de estructuras:**

**Juan Felipe Gaviria Mosquera**

**COD:8943844**



**Director:**

Msc. José Javier Martínez Echeverry

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL

CALI- VALLE DEL CAUCA

2020

---

---

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo grado a Dios, a mis padres y familia que han sido mi apoyo y motor durante toda mi formación personal y académica.

Agradecimientos a la Pontificia Universidad Javeriana Cali por recibirme en su recinto para poder capacitarme y a su personal que acompañó el transcurso de la maestría. Especial reconocimiento a mi director de tesis Msc. José Javier Martínez Echeverry por su acompañamiento y orientación. Agradecimiento total a todos mis profesores durante toda mi formación académica tanto de pregrado como posgrado.

---

---

## RESUMEN

En este trabajo, se realizará un análisis de desempeño sísmico para estructuras de concreto reforzado diseñados bajo el Reglamento NSR-10, usando el método del espectro de capacidad para obtener las curvas de capacidad de las edificaciones y obtener los espectros de demanda sísmica lo que permitirá encontrar el punto de desempeño, verificando su comportamiento y el nivel de desempeño que alcanza frente a diferentes demandas de sismo. Las estructuras tendrán una misma planta típica y tendrán tres, cinco y ocho pisos respectivamente, estas estarán clasificadas en el grupo de importancia IV de uso indispensable, como hospitales según, el Reglamento NSR-10 y estarán ubicadas en la ciudad de Cali-Colombia, por lo que se dará uso a los espectros del mapa de microzonificación sísmica de la ciudad. Al terminar los análisis anteriores se rediseñarán las estructuras por desempeño para que tengan un comportamiento satisfactorio frente al evento sísmico. Con esto se logrará realizar comparativas en cuanto a seguridad de los distintos niveles de desempeño, de secciones, cuantías y de las capacidades de los diseños obtenidos para generar conclusiones con los datos adquiridos. El presente trabajo no pretende ni podrá cuestionar el reglamento de diseño sísmico NSR-10

**Palabras clave:** *Nivel de desempeño sísmico, Desempeño de estructuras, método del espectro de capacidad, edificaciones de concreto reforzado.*

---

---

## ABSTRAC

In this research work, an análisis of the seismic performance for reinforced concrete structures designed under the standard NSR-10 will be carried out, using the capacity spectrum to obtain the capacity curves of the buildings and obtain seismic demand espectrums which will allow to find the performance point, verifying its behavior and the performnaces level that it reaches against different eartquakes demands. The structures will have the same typical story and will have three, five and eight floors respectively , these will be classified in the group IV of indispensable use as hospitals according to the standard NSR-10 , and will be located in the city of Cali-Colombia , so the espectra of the seismic microzoning map of the city will be used. After complete the previous análisis, the estructures will be redesigned by performace design so they have a satisfactory behavior against the sismic event. With this, it will be posible to make comparisons of the saefty in the the differents levels of performance, in sections, reinforcements and capacities of the obtained disigns to generate conclusions with the data acquired. This work does not intend or will be able to question the regulation of sismic design NSR-10.

**Key words:** *Seismic performance level, performace of structures , capacity spectrum method , reinforced concrete buildings.*

---

---

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivo General.....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....</b>	<b>17</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>19</b>
4.1 Antecedentes.....	19
<b>5. MARCO TEORICO .....</b>	<b>22</b>
5.1 Análisis Sísmico por Métodos No-Lineales .....	22
5.1.1 Ductilidad .....	22
5.1.2 Momento-Curvatura .....	23
5.2 Niveles de Desempeño Sísmico.....	26
5.2.1 Nivel de Desempeño Estructural .....	27
5.2.2 Nivel de Desempeño No Estructural .....	27
5.2.3 Nivel de Desempeño de la Edificación.....	28
5.2.4 Nivel de Amenaza Sísmica.....	29
5.2.5 Nivel de Desempeño Esperado .....	31
5.3 Método del Espectro de Capacidad .....	34
5.3.1 Curva de Capacidad de la Estructura.....	34
5.3.2 Conversión de la Curva de Capacidad al Espectro de Capacidad .....	35
5.3.3 Espectro de Demanda Sísmica.....	36
5.3.4 Punto de Desempeño Sísmico .....	38
5.4 Documento FEMA 440.....	38
5.4.1 Procedimiento A (Iteración Directa) .....	40
5.4.2 Procedimiento B (Intersección con Demanda MADRS).....	40
5.4.3 Procedimiento C (búsqueda de posibles puntos de desempeño) .....	41
5.5 Factor de Respuesta Sísmica R.....	42
5.5.1 Componentes de R.....	43

---

---

---

---

5.5.2	Factor de Modificación por Ductilidad $R_{\mu}$ .....	43
5.5.3	Factor de Modificación por la Sobre Resistencia $R_{\Omega}$ .....	44
5.5.4	Factor de Modificación por la Redundancia $R_w$ .....	45
<b>6.</b>	<b>PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO.....</b>	<b>46</b>
6.1	Planta General Tipo Escogida .....	46
6.2	Zona Sísmica .....	47
6.3	Parámetros Sísmicos .....	48
6.4	Espectro Sísmico .....	48
6.5	Cargas .....	50
6.6	Características de los Materiales .....	51
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LAS ESTRUCTURAS.....</b>	<b>51</b>
7.1	Estructura de Tres Niveles .....	52
7.1.1	Estructura de Tres Niveles (NSR-10)- (Estructura 1).....	52
7.1.1.1	Configuración Estructural .....	53
7.1.1.2	Resumen Análisis Dinámico .....	55
7.1.1.3	Derivas .....	55
7.1.1.4	Análisis no Lineal.....	56
7.1.1.5	Evaluación de Desempeño .....	58
7.1.2	Estructura de Tres Niveles (Desempeño)- (Estructura 2).....	67
7.1.2.1	Configuración Estructural .....	67
7.1.2.2	Resumen Análisis Dinámico .....	69
7.1.2.3	Derivas .....	69
7.1.2.4	Análisis no Lineal.....	70
7.1.2.5	Evaluación de Desempeño .....	72
7.1.3	Comparaciones E1 vs E2 .....	81
7.2	Estructuras de Cinco Niveles .....	83
7.2.1	Estructura de Cinco Niveles (NSR-10)- (Estructura 3).....	83
7.2.1.1	Configuración Estructural .....	84
7.2.1.2	Resumen análisis dinámico .....	86

---

---

---

---

7.2.1.3	Derivas .....	86
7.2.1.4	Análisis no lineal.....	87
7.2.1.5	Evaluación desempeño.....	88
7.2.2	Estructura de Cinco Niveles (Desempeño)- (Estructura 4) .....	97
7.2.2.1	Configuración Estructural .....	98
7.2.2.2	Resumen Análisis Dinámico .....	100
7.2.2.3	Derivas .....	100
7.2.2.4	Análisis no Lineal.....	101
7.2.2.5	Evaluación de Desempeño .....	102
7.2.3	Comparaciones E3 vs E4.....	112
7.3	Estructuras de Ocho Niveles.....	114
7.3.1	Estructura de Ocho Niveles (NSR-10)- (Estructura 5).....	114
7.3.1.1	Configuración Estructural .....	115
7.3.1.2	Resumen Análisis Dinámico .....	117
7.3.1.3	Derivas .....	117
7.3.1.4	Análisis no Lineal.....	118
7.3.1.5	Evaluación de Desempeño .....	119
7.3.2	Estructura de Ocho Niveles (Desempeño)- (Estructura 6) .....	129
7.3.2.1	Configuración Estructural .....	129
7.3.2.2	Resumen Análisis Dinámico .....	131
7.3.2.3	Derivas .....	132
7.3.2.4	Análisis no Lineal.....	132
7.3.2.5	Evaluación de Desempeño .....	134
7.3.3	Comparaciones E5 vs E6.....	144
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>147</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>149</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>151</b>

---

---

---

---

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de ductilidad. ....	23
<b>Figura 2.</b> Diagrama típico de momento-curvatura. ....	24
<b>Figura 3.</b> Relación Fuerza-deformación para modelación y criterios de aceptación. ....	26
<b>Figura 4.</b> Sectorización curva de capacidad comité VISION 2000 (SEAOC,1995). ....	34
<b>Figura 5.</b> Curva de capacidad de la estructura. ....	35
<b>Figura 6.</b> Conversión espectro de capacidad. ....	36
<b>Figura 7.</b> Conversión espectro de demanda en formato estándar y ADRS.....	37
<b>Figura 8.</b> Punto de desempeño sísmico encontrado por el método de espectro de capacidad. ....	38
<b>Figura 9.</b> Representación gráfica del método del espectro capacidad del ATC-40.....	39
<b>Figura 10.</b> Determinación del máximo desplazamiento usando la iteración directa. ....	40
<b>Figura 11.</b> Determinación del máximo desplazamiento usando la intersección con MADRS....	41
<b>Figura 12.</b> Determinación de posibles puntos de desempeño usando MADRS. ....	41
<b>Figura 13.</b> Respuesta global del sistema con indicación del factor R.....	42
<b>Figura 14.</b> Planta general tipo.....	46
<b>Figura 15.</b> Mapa microzonificación sísmica de Cali.....	47
<b>Figura 16.</b> Curva de diseño para amortiguamiento del 5%.....	49
<b>Figura 17.</b> Espectro elástico Zona 4C para Tc Y TL.....	49
<b>Figura 18.</b> Envoltentes espectro elástico Zona 4C.....	50
<b>Figura 19.</b> Planta estructural (Estructura 1).....	53
<b>Figura 20.</b> Visualización 3D Estructura 1.....	54
<b>Figura 21.</b> Rótulas plásticas asignadas a la estructura 1.....	56
<b>Figura 22.</b> Curva de capacidad X- estructura 1.....	57
<b>Figura 23.</b> Curva de capacidad Y- estructura 1.....	57
<b>Figura 24.</b> Desempeños estructura 1 (X).....	59
<b>Figura 25.</b> Desempeños estructura 1 (Y).....	59
<b>Figura 26.</b> Rótulas S.F estructura 1 (X).....	60
<b>Figura 27.</b> Rótulas S.F estructura 1 (Y).....	60
<b>Figura 28.</b> Rótulas S.O estructura 1 (X).....	61
<b>Figura 29.</b> Rótulas S.O estructura 1 (Y).....	61
<b>Figura 30.</b> Rótulas S.R estructura 1 (X).....	62
<b>Figura 31.</b> Rótulas S.R estructura 1 (Y).....	62
<b>Figura 32.</b> Rótulas S.MR estructura 1 (X).....	63
<b>Figura 33.</b> Rótulas S.MR estructura 1 (Y).....	63
<b>Figura 34.</b> Desempeño S.E estructura 1 (X).....	64
<b>Figura 35.</b> desempeño S.E estructura 1 (Y).....	64
<b>Figura 36.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 1 (x).....	65

---

---

---

---

<b>Figura 37.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 1 (y) .....	65
<b>Figura 38.</b> Planta estructural (Estructura 2) .....	67
<b>Figura 39.</b> Visualización 3D estructura 2 .....	68
<b>Figura 40.</b> Rótulas plásticas asignadas a la estructura 2 .....	70
<b>Figura 41.</b> Curva de capacidad X- estructura 2 .....	71
<b>Figura 42.</b> Curva de capacidad Y -estructura 2 .....	71
<b>Figura 43.</b> Desempeños estructura 2 (X) .....	73
<b>Figura 44.</b> Desempeños estructura 2 (Y) .....	73
<b>Figura 45.</b> Rótulas S.F estructura 2 (X) .....	74
<b>Figura 46.</b> Rótulas S.F estructura 2 (Y) .....	74
<b>Figura 47.</b> Rótulas S.O estructura 2 (X) .....	75
<b>Figura 48.</b> Rótulas S.O estructura 2 (Y) .....	75
<b>Figura 49.</b> Rótulas S.R estructura 2 (X).....	76
<b>Figura 50.</b> Rótulas S.R estructura 2 (Y).....	76
<b>Figura 51.</b> Rótulas S.MR estructura 2 (X) .....	77
<b>Figura 52.</b> Rótulas S.MR estructura 2 (Y) .....	77
<b>Figura 53.</b> Rótulas S.E estructura 2 (X).....	78
<b>Figura 54.</b> Rótulas S.E estructura 2 (Y).....	78
<b>Figura 55.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño-estructura 2 (x).....	79
<b>Figura 56.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño-estructura 2 (y).....	79
<b>Figura 57.</b> Curva capacidad X-E1 vs E2.....	81
<b>Figura 58.</b> Curva capacidad Y-E1 vs E2.....	81
<b>Figura 59.</b> Comparación de secciones E1 vs E2 .....	82
<b>Figura 60.</b> comparación de cantidades de elementos verticales E1 vs E2 .....	83
<b>Figura 61.</b> Planta estructural (Estructura 3) .....	84
<b>Figura 62.</b> Visualización 3D Estructura 3.....	85
<b>Figura 63.</b> Rótulas plásticas asignadas a la estructura 3 .....	87
<b>Figura 64.</b> Curva de capacidad X-estructura 3 .....	88
<b>Figura 65.</b> Curva de capacidad Y-estructura 3 .....	88
<b>Figura 66.</b> Desempeños estructura 3 (X) .....	90
<b>Figura 67.</b> Desempeños estructura 3 (Y) .....	90
<b>Figura 68.</b> Rótulas S.F estructura 3 (X) .....	91
<b>Figura 69.</b> Rótulas S.F estructura 3 (Y) .....	91
<b>Figura 70.</b> Rótulas S.O estructura 3 (X) .....	92
<b>Figura 71.</b> Rótulas S.O estructura 3 (Y) .....	92
<b>Figura 72.</b> Rótulas S.R estructura 3 (X).....	93
<b>Figura 73.</b> Rótulas S.R estructura 3 (Y).....	93

---

---

---

---

<b>Figura 74.</b> Rótulas S.MR estructura 3 (X).....	94
<b>Figura 75.</b> Rótulas S.MR estructura 3 (Y).....	94
<b>Figura 76.</b> Desempeño S.E estructura 3 (X).....	95
<b>Figura 77.</b> Rótulas S.E estructura 3 (Y).....	95
<b>Figura 78.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño- estructura 3 (x).....	96
<b>Figura 79.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño- estructura 3 (y).....	96
<b>Figura 80.</b> Planta estructural (Estructura 4).....	98
<b>Figura 81.</b> Visualización 3D Estructura 4.....	99
<b>Figura 82.</b> Rótulas plásticas asignadas a la estructura 4.....	101
<b>Figura 83.</b> Curva de capacidad X -estructura 4.....	102
<b>Figura 84.</b> Curva de capacidad Y- estructura 4.....	102
<b>Figura 85.</b> Desempeños estructura 4 (X).....	104
<b>Figura 86.</b> Desempeños estructura 4 (Y).....	104
<b>Figura 87.</b> Rótulas S.F estructura 4 (X).....	105
<b>Figura 88.</b> Rótulas S.F estructura 4 (Y).....	105
<b>Figura 89.</b> Rótulas S.O estructura 4 (X).....	106
<b>Figura 90.</b> Rótulas S.O estructura 4 (Y).....	106
<b>Figura 91.</b> Rótulas S.R estructura 4 (X).....	107
<b>Figura 92.</b> Rótulas S.R estructura 4 (Y).....	107
<b>Figura 93.</b> Rótulas S.MR estructura 4 (X).....	108
<b>Figura 94.</b> Rótulas S.MR estructura 4 (Y).....	108
<b>Figura 95.</b> Rótulas S.E estructura 4 (X).....	109
<b>Figura 96.</b> Rótulas S.E estructura 4 (Y).....	109
<b>Figura 97.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño -estructura 4 (x).....	110
<b>Figura 98.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño- estructura 4 (y).....	110
<b>Figura 99.</b> Figura 72. Curva capacidad X-E3 vs E4.....	112
<b>Figura 100.</b> Curva capacidad Y-E3 VS E4.....	112
<b>Figura 101.</b> Comparación de secciones E3 vs E4.....	113
<b>Figura 102.</b> Comparación de cantidades de elementos verticales E3 vs E4.....	114
<b>Figura 103.</b> Planta estructural (Estructura 5).....	115
<b>Figura 104.</b> Visualización 3D Estructura 5.....	116
<b>Figura 105.</b> Rótulas plásticas asignadas a la estructura 5.....	118
<b>Figura 106.</b> Curva de capacidad X -estructura 5.....	119
<b>Figura 107.</b> Curva de capacidad Y estructura 5.....	119
<b>Figura 108.</b> Desempeños estructura 5 (X).....	121
<b>Figura 109.</b> Desempeños estructura 5 (Y).....	121
<b>Figura 110.</b> Rótulas S.F estructura 5 (X).....	122

---

---

---

---

<b>Figura 111.</b> Rótulas S.F estructura 5 (Y).....	122
<b>Figura 112.</b> Rótulas S.O estructura 5 (X) .....	123
<b>Figura 113.</b> Rótulas S.O estructura 5 (Y) .....	123
<b>Figura 114.</b> Rótulas S.R estructura 5 (X).....	124
<b>Figura 115.</b> Rótulas S.R estructura 5 (Y).....	124
<b>Figura 116.</b> Rótulas S.MR estructura 5 (X).....	125
<b>Figura 117.</b> Rótulas S.MR estructura 5 (Y).....	125
<b>Figura 118.</b> Desempeño S.E estructura 5 (X) .....	126
<b>Figura 119.</b> Desempeño S.E estructura 5 (Y) .....	126
<b>Figura 120.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 5 (x) .....	127
<b>Figura 121.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 5 (y) .....	127
<b>Figura 122.</b> Planta estructural (Estructura 6).....	129
<b>Figura 123.</b> Visualización 3D Estructura 6.....	131
<b>Figura 124.</b> Rótulas plásticas asignadas a la estructura 6.....	133
<b>Figura 125.</b> Curva de capacidad X -estructura 6 .....	134
<b>Figura 126.</b> Curva de capacidad Y- estructura 6 .....	134
<b>Figura 127.</b> Desempeños estructura 6 (X) .....	136
<b>Figura 128.</b> Desempeños estructura 6 (Y) .....	136
<b>Figura 129.</b> Rótulas S.F estructura 6 (X).....	137
<b>Figura 130.</b> Rótulas S.F estructura 6 (Y).....	137
<b>Figura 131.</b> Rótulas S.O estructura 6 (X) .....	138
<b>Figura 132.</b> Rótulas S.O estructura 6 (Y) .....	138
<b>Figura 133.</b> Rótulas S.R estructura 6 (X).....	139
<b>Figura 134.</b> Rótulas S.R estructura 6 (Y).....	139
<b>Figura 135.</b> Rótulas S.MR estructura 6 (X).....	140
<b>Figura 136.</b> Rótulas S.MR estructura 6 (Y).....	140
<b>Figura 137.</b> Rótulas S.E estructura 6 (X).....	141
<b>Figura 138.</b> Rótulas S.E estructura 6 (Y).....	141
<b>Figura 139.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 6 (x) .....	142
<b>Figura 140.</b> Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 6 (y) .....	142
<b>Figura 141.</b> Curva capacidad X-E5 vs E6.....	144
<b>Figura 142.</b> Curva capacidad Y-E5 vs E6.....	144
<b>Figura 143.</b> Comparación de secciones E5 vs E6.....	145
<b>Figura 144.</b> Comparación de cantidades de elementos verticales E5 vs E6.....	146

---

---

---

---

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros y criterios de aceptación para vigas de concreto reforzado .....	25
<b>Tabla 2.</b> Parámetros y criterios de aceptación para columnas de concreto reforzado .....	25
<b>Tabla 3.</b> Niveles de desempeño ATC-40. ....	28
<b>Tabla 4.</b> Niveles de amenaza sísmica VISION 2000.....	30
<b>Tabla 5.</b> Niveles de desempeño esperados ATC-40. ....	31
<b>Tabla 6.</b> Niveles de desempeño comité VISION 2000 (SEAOC,1995). ....	32
<b>Tabla 7.</b> Niveles de daño y desempeño comité VISION 2000 (SEAOC,1995).....	33
<b>Tabla 8.</b> Rango de desplazamientos de desempeño, comité VISION 2000 (SEAOC,1995).....	33
<b>Tabla 9.</b> Valores de factor de redundancia RW .....	45
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes Sísmicos de diseño Cali .....	48
<b>Tabla 11.</b> Cargas de entrepiso y techo .....	50
<b>Tabla 12.</b> Combinaciones de cargas.....	50
<b>Tabla 13.</b> Niveles de amenaza sísmica y sus factores.....	51
<b>Tabla 14.</b> Nivel de desempeño esperado para las estructuras .....	52
<b>Tabla 15.</b> Acero columna 50x50 .....	54
<b>Tabla 16.</b> Modos fundamentales estructura 1 .....	55
<b>Tabla 17.</b> Derivas X-Y .....	55
<b>Tabla 18.</b> Patrón de cargas triangular X-Y .....	56
<b>Tabla 19.</b> Rótulas estructura 1 (X-Y).....	58
<b>Tabla 20.</b> Límites curva sectorizada estructura 1 X-Y.....	58
<b>Tabla 21.</b> Cálculo de factor R estructura 1.....	66
<b>Tabla 22.</b> Acero columna 65x65 .....	68
<b>Tabla 23.</b> Modos fundamentales estructura 2 .....	69
<b>Tabla 24.</b> Derivas X-Y .....	69
<b>Tabla 25.</b> Patrón de cargas triangular X-Y .....	70
<b>Tabla 26.</b> Rótulas estructura 2 X-Y .....	72
<b>Tabla 27.</b> Límites curva sectorizada estructura 2 X-Y.....	72
<b>Tabla 28.</b> Cálculo de factor R estructura 2.....	80
<b>Tabla 29.</b> Niveles de desempeño E1 vs E2 .....	82
<b>Tabla 30.</b> Acero columna 60x60 .....	84
<b>Tabla 31.</b> Muros estructura 3 .....	85
<b>Tabla 32.</b> Modos fundamentales estructura 3 .....	86
<b>Tabla 33.</b> Derivas X-Y .....	86
<b>Tabla 34.</b> Patrón de cargas triangular X-Y .....	87
<b>Tabla 35.</b> Rótulas estructura 3 X-Y .....	89
<b>Tabla 36.</b> Límites curva sectorizada estructura 3 X-Y.....	89

---

---

---

---

<b>Tabla 37.</b> Cálculo de factor R estructura 3.....	97
<b>Tabla 38.</b> Acero columna 70x70 .....	98
<b>Tabla 39.</b> Muros estructura 4 .....	99
<b>Tabla 40.</b> Modos fundamentales estructura 4 .....	100
<b>Tabla 41.</b> Derivas X-Y .....	100
<b>Tabla 42.</b> Patrón de cargas triangular X-Y .....	101
<b>Tabla 43.</b> Rótulas estructura 4 X-Y .....	103
<b>Tabla 44.</b> Límites curva sectorizada estructura 4 X-Y.....	103
<b>Tabla 45.</b> Cálculo de factor R estructura 4.....	111
<b>Tabla 46.</b> Niveles de desempeño E3 vs E4 .....	113
<b>Tabla 47.</b> Acero columna 60x80 .....	115
<b>Tabla 48.</b> Muros estructura 5 .....	116
<b>Tabla 49.</b> Modos fundamentales estructura 5 .....	117
<b>Tabla 50.</b> Derivas X-Y .....	117
<b>Tabla 51.</b> Patrón de cargas triangular X-Y .....	118
<b>Tabla 52.</b> Rótulas estructura 5 X-Y .....	120
<b>Tabla 53.</b> Límites curva sectorizada estructura 5 X-Y.....	120
<b>Tabla 54.</b> Cálculo de factor R estructura 5.....	128
<b>Tabla 55.</b> Acero columna 80x60 .....	130
<b>Tabla 56.</b> Acero columna 70x70 .....	130
<b>Tabla 57.</b> Muros estructura 6 .....	130
<b>Tabla 58.</b> Modos fundamentales estructura 6 .....	132
<b>Tabla 59.</b> Derivas X-Y .....	132
<b>Tabla 60.</b> Patrón de cargas triangular X-Y .....	133
<b>Tabla 61.</b> Rótulas estructura 6 X-Y .....	135
<b>Tabla 62.</b> Límites curva sectorizada estructura 6 X-Y.....	135
<b>Tabla 63.</b> Cálculo de factor R estructura 6.....	143
<b>Tabla 64.</b> Niveles de desempeño E5 vs E6 .....	145

---

---

---

---

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Tipos de vigas estructura 1.....	151
<b>Anexo 2a.</b> Tipos de vigas estructura 2.....	152
<b>Anexo 3a.</b> Tipos de vigas estructura 3.....	153
<b>Anexo 4a.</b> Tipos de vigas estructura 4.....	154
<b>Anexo 5a.</b> Tipos de vigas estructura 5.....	155
<b>Anexo 6a.</b> Tipos de vigas estructura 6.....	157
<b>Anexo 7.</b> D/C columnas estructura 1 .....	159
<b>Anexo 8.</b> D/C columnas estructura 2 .....	160
<b>Anexo 9.</b> D/C columnas y muros estructura 3 .....	161
<b>Anexo 10.</b> D/C columnas y muros estructura 4 .....	162
<b>Anexo 11.</b> D/C columnas y muros estructura 5 .....	163
<b>Anexo 12.</b> D/C columnas y muros estructura 6 .....	164
<b>Anexo 13.</b> Mapa clínicas y hospitales Zona 4c-Cali .....	165

---

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño por desempeño sísmico de las estructuras se basa en que su comportamiento puede predecirse y evaluarse, con un grado de confiabilidad suficiente para el diseñador del proyecto, con el objetivo de tomar decisiones más acertadas frente al diseño de la estructura, considerando aspectos como el ciclo de vida de la estructura en lugar de solo costos de construcción. La mayoría de normas actuales apuntan a la seguridad de vida y control de daños en sismos pequeños y moderados, y prevención de colapso en sismos severos, pero la seguridad real de alcanzar estos objetivos a partir de los coeficientes de disipación  $R$  es incierta. Además de no tener control del avance y evolución del daño presentado, ya que solo usan un análisis lineal suponiendo un comportamiento adecuado de la estructura en todo momento, inclusive cuando esta incursiona en su fase inelástica.

En este trabajo de grado se estudiará edificaciones clasificadas como de uso indispensable (grupo IV), diseñadas por los métodos establecidos en el Reglamento NSR-10, y luego se implementará un análisis de desempeño sísmico para comparar el estado de daños, seguridad, cuantía y ubicación del refuerzo en las estructuras. El proceso para obtener el desempeño adecuado será diseñar las estructuras seleccionadas con su solución estructural bajo el reglamento NSR-10 por medio del uso de software ETABS (Integrated Building Design Software, Computers and structures Inc. 1984-2017), para posteriormente realizar un análisis de desempeño sísmico donde se generarán y obtendrán datos, además de reforzar las estructuras para comparar, analizar y concluir.

---

---

## 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 2.1 Objetivo General

- Estudiar y comparar el comportamiento de las secciones, cuantías y riesgos de daño de estructuras con diferentes alturas, del grupo de importancia IV, diseñadas con el reglamento NSR-10, implementando un análisis de desempeño con distintos niveles de amenaza sísmica,

### 2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el diseño de las estructuras utilizando el reglamento NSR-10 para varios niveles de demanda sísmica y verificar reforzamiento usando el diseño por desempeño.
- Comparar y determinar la mejor alternativa en cantidades de material de acuerdo al número de pisos para edificios de alta importancia en la zona 4c de microzonificación sísmica de la ciudad de Cali, Colombia
- Determinar la importancia del uso del diseño por desempeño frente al diseño por resistencia última para las estructuras de grupo de importancia IV.

---

---

### 3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

Los eventos sísmicos de las últimas dos décadas han generado grandes daños y pérdidas económicas a nivel internacional, lo que hizo que se formularan metodologías de diseño basadas en el control explícito de la respuesta dinámica de las estructuras en el rango no lineal, como lo es el diseño por desempeño. Esta metodología considera aspectos estructurales y no estructurales de la edificación, un enfoque dual que tiene en cuenta los estados de seguridad y servicio, además del efecto del deterioro de la estructura y los efectos de la ductilidad al incursionar en los rangos inelásticos.

Colombia está clasificada como un país de amenaza sísmica alta, por lo que debe garantizar la seguridad de las edificaciones las cuales deben tener un buen comportamiento durante estos eventos de sismo. En los años 2004 y 2012 en la ciudad de Cali se presentaron sismos que generaron daños a las estructuras, y aunque estos daños no fueron de gran magnitud sí afectaron el correcto funcionamiento de las estructuras después de este evento. Este estudio pretende evaluar la demanda y la capacidad real de la estructura por medio de un análisis de desempeño sísmico para lograr una mejor concepción de las estructuras revelando fallas locales y globales, además de observar el alcance de daños al que se puede llegar posterior al sismo. Lo anterior se puede omitir en los análisis lineales, ya que con los métodos actuales no se tiene la certeza de la intensidad del daño posterior a este evento y si este está en los rangos permisibles, esto tiene mayor consideración para las estructuras consideradas de uso indispensable.

En la zona de estudio se encuentran varias clínicas y hospitales, las cuales deben garantizar un comportamiento adecuado al momento posterior de los eventos sísmicos, se procura comparara estructuras con diferentes alturas para la zona, y como varia el comportamiento y la adecuación para las diferentes demandas, además de verificar el estado que se encuentran frente al NSR-10 como con normas internacionales.

Para las estructuras analizadas se busca tener un control de daños de toda la estructura, donde todos los elementos deben estar en un rango aceptable para el funcionamiento inmediato de las estructuras posterior al sismo. Esto mitigará costos de reparación y funcionamiento, e

---

---

---

---

incrementará el ciclo de vida de la edificación, además de mejorar la seguridad de los ocupantes. En este trabajo se planteará una metodología para adecuar estructuras, y por medio de los efectos que se observen ver que tan necesario sería la implementación de un análisis de desempeño sísmico.

Las estructuras a evaluar en este trabajo están catalogadas en la NSR-10 como de uso indispensable o grupo IV en una zona sísmica 4c (Microzonificación Sísmica de Cali) o para similares. Los sistemas estructurales serán solo de concreto reforzado y además se evaluará el nivel de demanda de sismo extremo, que para los casos reales puede ser o no ser requerido en el diseño de la estructura, un estudio previo determinará esto.

---

---

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 Antecedentes

-Sameh A. El-Betar (2015) (Seismic Performance of Existing R.C Framed Buildings), realiza un estudio de desempeño sísmico con métodos no-lineales en edificaciones existentes de pórticos en concreto reforzado de tres, seis y diez pisos los cuales fueron diseñados con la normativa EC-94 de Egipto y compara con una la norma ECP-201,2012 de Egipto, concluyendo las grandes falencias que tenía la norma del 94 y verificando el desempeño sísmico con la norma actual, el cual es muy superior a la anterior.

-Bilgin H.(2013) (Fragility-Based Assessment of Public Buildings in Turkey). Presenta un estudio en donde evalúa la vulnerabilidad sísmica de unas edificaciones diseñadas con la norma turca de 1975. Se realiza un análisis estático no-lineal por medio de simulaciones de SAP-2000 para estructuras de distintos grupos de importancia de acuerdo a la norma turca y se concluye que la probabilidad de daño en el muestreo analizado aumenta de acuerdo con las nuevas exigencias de las normas actualizadas.

-Afanador,N.(2008) (Evaluación del Nivel de Desempeño de los Hospitales Diseñados Bajo la NSR-98-MIC-2008-I-1), realizó una investigación empleando el análisis pushover para hospitales en pórticos de concreto reforzado de alturas entre dos y diez pisos, ubicados en zonas de riesgo sísmico bajo, intermedio y alto y las regiones andinas y pacífica de Colombia. Se evaluaron 57 estructuras donde se encontró que, para riesgo bajo, intermedio y algunas de riesgo alto, el nivel de desempeño esperado es de daño controlado, se estimó cantidades de obra para alcanzar el desempeño de ocupación inmediata que es lo esperado para edificaciones indispensables.

-Lozano et al. (2006)( Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica en Edificaciones Apoticadas de Hormigón Reforzado), realizó una evaluación de la vulnerabilidad sísmica en estructuras de concreto reforzado de tres a ocho pisos, ubicados en la zona 2 de Bucaramanga Colombia, se utiliza un análisis pushover para determinar el punto de desempeño y obtuvo como resultado final, la falta de diseños exhaustivos, con secciones mínimas y bajo refuerzo de columnas y vigas diseñados

---

---

bajo el código C.C.C.S.R-84 además de presentar niveles de desempeño bajo y apenas aceptables en algunos casos.

-Sanchez Badillo A.(2005)( Diseño por Desempeño de Marcos de Concreto Reforzado, de Mediana y Gran Altura Ubicados en la Zona del Lago del Distrito Federal), presentó un estudio donde propone una metodología para una edificación de 12 pisos estructurado en marcos dúctiles de concreto reforzado por medio del diseño por desempeño, donde el nivel de desempeño refleja el adecuado planteamiento hecho, logrando controlar los desplazamientos y los diferentes criterios de aceptación, obteniendo un diseño sísmico satisfactorio.

-Lopez et al(2001)( Verificación de Curvas de Capacidad de HAZUS Para Puerto Rico. Revista internacional de desastres naturales accidentes e infraestructura civil), presentó una metodología empleando el programa HAZUS para determinar curvas de capacidad, permitiendo medir el nivel de daño de las edificaciones bajo cualquier sollicitación dinámica.

-Delgadillo Alanya J.(2005)(Análisis No Lineal Estático de Estructuras y la Norma E-030), realizó un estudio para observar la utilidad del análisis no lineal estático pushover utilizando la demanda sísmica proveída por la norma peruana de diseño sísmico E-030, para obtener y evaluar el nivel de daño producido en los elementos mediante el monitoreo de las deformaciones.

-Cardenas Et al. (2016)(Comparación Técnica de Estructuras Metálicas, Analizadas Mediante el Método Lineal de Segundo Orden y Análisis Estático No Lineal (Pushover)), presentaron un estudio de 3 edificios metálicos de ocupación especial, de baja ,media y gran altura previamente diseñados bajo la norma ecuatoriana NEC-SE-DS, utilizando análisis lineal de primer y segundo orden y el análisis estático no lineal por medio del pushover, comparando resultados y observando el comportamiento frente a grandes eventos sísmicos.

-Calcina Peña R.(2017)(Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de Once Pisos Utilizando Análisis Estático y Dinámico No-Lineal), realiza un estudio evaluando el desempeño sísmico de un edificio de 11 pisos utilizando un análisis estático y un análisis dinámico no-lineal, donde encuentra rótulas o zonas en los elementos estructurales que podrían producir daños y fallas

---

ante la ocurrencia de un sismo, y al final obteniendo el punto de desempeño permitiendo comprender el mecanismo de falla que gobierna la ductilidad.

-Huapaya Huertas R.(2017)(Evaluación de los Indicadores de Comportamiento Sísmico de Edificios con Sistema Aporticado a Través del Método Estático No Lineal), presenta un trabajo donde evalúa los indicadores de comportamiento sísmico de sobre resistencia y ductilidad para edificios aporticados en concreto reforzado por medio del método estático no lineal para edificios de 3,6,9,12,15 y 18 pisos, mostrando que si aumenta el periodo fundamental de la estructura, la sobre resistencia aumenta y la ductilidad disminuye.

-Taghineszhad Et al.(2018)(Evaluation of Drift Under Pushover Análisis in Reinforced Concrete Momento Frames), realizan una investigación de la validez para predecir derivas de piso bajo cargas laterales usando el análisis pushover y el análisis no lineal time -history en varios edificios de pórticos en concreto reforzado obteniendo resultados y comparando el nivel de error encontrado.

Todos los estudios mencionados anteriormente, son analizados siguiendo la norma del país donde se realiza el estudio, mantienen relación con los procedimientos empleados para obtener los resultados en el presente trabajo para los diferentes tipos de estructuras que se evalúan. Los que son realizados en Colombia están de acuerdo con las normas anteriores al año 2010, y solo buscan un objetivo único frente a una sola demanda de diseño, a diferencia del presente trabajo donde se comparan las estructuras diseñadas bajo el Reglamento NSR-10 frente a normas internacionales de desempeño como es VISION 2000, ATC-40 y FEMA 440, con distintos niveles de amenaza sísmica, ya sea niveles superiores o inferiores a la demanda de diseño por medio de la capacidad de desplazamiento inelástico de la estructura.

---

---

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1 Análisis Sísmico por Métodos No-Lineales

Para este trabajo de grado se usará la metodología del pushover aplicando una carga en incrementos a la estructura. Al darse cada incremento se obtiene un desplazamiento hasta que se alcance el límite de la estructura y colapse, con lo cual se obtendrá la curva y el espectro de capacidad que se interceptará con el espectro de demanda generando el punto de desempeño.

Con los estudios realizados en Ingeniería Sísmica en las últimas décadas se ha podido verificar y observar el daño severo que sufren las estructuras durante un evento sísmico de moderada o alta intensidad. Al suponer un comportamiento elástico en los rangos no lineales en las estructuras simplifica la idealización de la edificación, pero no se obtiene información completa del comportamiento real de esta. Por esta razón, el uso de análisis lineales tradicionales tiene la posibilidad de dar resultados inciertos o inclusive errados.

Al aplicarse las características no-lineales del comportamiento de una estructura en un análisis sísmico, se debe tener claridad y una buena aplicación de los conceptos de ductilidad de los elementos estructurales y de la estructura completa.

#### 5.1.1 Ductilidad

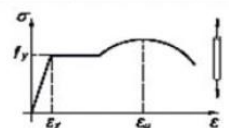
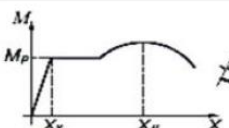
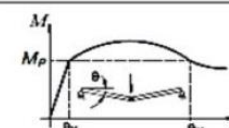
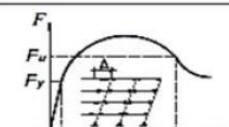
La ductilidad define la capacidad que tiene la estructura de tomar deformaciones sin sufrir una reducción significativa en su resistencia última.

Victor Gioncu menciona los tipos de ductilidad usados en la literatura de la siguiente manera. ( Victor Gioncu, 2000)

- Ductilidad del material, el cual caracteriza las deformaciones plásticas del material
- Ductilidad a la curvatura, la cual hace referencia a las deformaciones de la sección donde se considera el aporte conjunto de los materiales que conforman la sección.

- Ductilidad de rotación, la que hace referencia a las propiedades de los miembros que conforman la estructura.
- Ductilidad de la estructura, referida al comportamiento global de la estructura.

La figura 1 muestra los tipos de ductilidad y como se definen matemáticamente.

TIPO DE DUCTILIDAD	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA	DEFINICIÓN
DUCTILIDAD DEL MATERIAL (AXIAL)		$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$
DUCTILIDAD DE LA SECCIÓN (CURVATURA)		$\mu_x = \frac{x_u}{x_y}$
DUCTILIDAD DEL MIEMBRO (ROTACIÓN)		$\mu_{\theta} = \frac{\theta_u}{\theta_y}$
DUCTILIDAD DE LA ESTRUCTURA (DESPLAZAMIENTO)		$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$

**Figura 1.** Tipos de ductilidad.

Fuente: adoptado de journal of constructional Steel Reserch

### 5.1.2 Momento-Curvatura

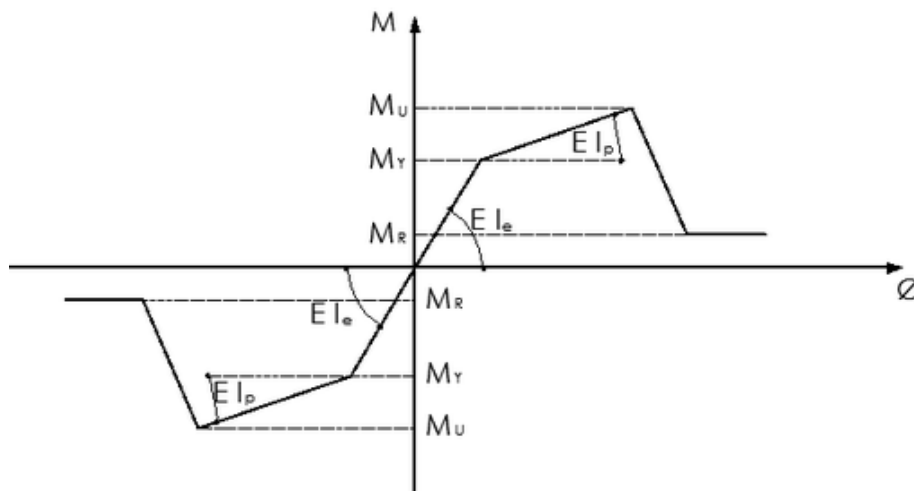
Otra característica en consideración al usar métodos no lineales es la relación momento-curvatura. En una sección de concreto reforzado se determina a partir de los modelos del refuerzo y del concreto dependiendo de la geometría del elemento, y de los refuerzos longitudinales y transversales, relacionando el momento flexionante resistente con la curvatura que es el ángulo que forma con la vertical, y se define como la rotación unitaria del elemento. El diagrama momento curvatura es muy importante para los análisis ante cargas estáticas y dinámicas, ya que de forma rápida permite observar que tan dúctil y resistente es un elemento. Además, permite visualizar la energía interna que será representada por el área bajo la curva, la parte bajo la región elástica es la

---

energía de deformación acumulada y el área bajo la región post-fluencia corresponde a la energía disipada en las deformaciones plásticas.

El desarrollo para determinar la gráfica momento-curvatura simplificada del elemento consiste en obtener tres puntos que caracterizan el comportamiento de la sección,  $M_y$  que será el momento de fluencia,  $M_u$  el momento ultimo y  $M_R$  el momento residual.

La figura 2 muestra el diagrama obtenido con estos 3 puntos. En este grafico se puede observar las tres zonas características, en la primera corresponde al comportamiento elástico donde el  $M \leq M_y$ , donde  $M_y$  es el momento de fluencia de la sección compuesta, en la segunda zona será el comportamiento post-fluencia hasta alcanzar  $M_u$ , siendo  $M_u$  el momento ultimo donde falla la sección, y por último se tendrá la zona donde se llega al momento residual  $M_R$  de la sección fallada. (Aguiar 2015)



**Figura 2.** Diagrama típico de momento-curvatura.

Fuente: Aguiar 2015

El ASCE 41-13 da recomendaciones para generar las rótulas plásticas con la información del momento-curvatura. Estas rótulas dependen de parámetros de resistencia, cuantías de refuerzo y geometría de la sección, dando así características de rigidez del elemento. La tabla 1 y 2 presentan estas recomendaciones y parámetros para vigas y columnas, respectivamente.

**Tabla 1.** Parámetros y criterios de aceptación para vigas de concreto reforzado

Fuente: ASC 41-13

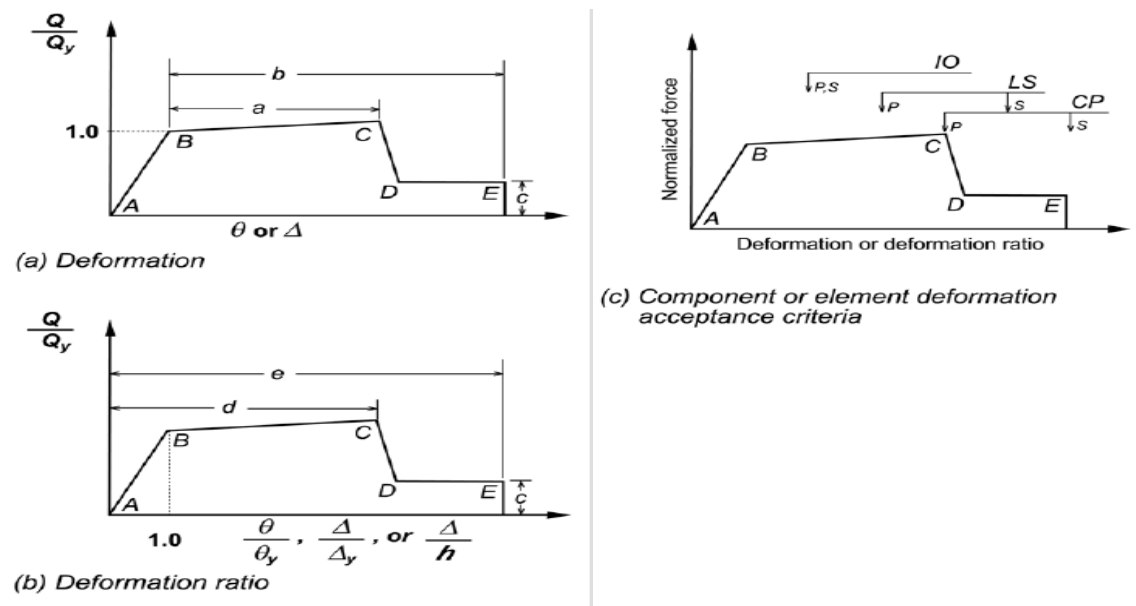
Conditions			Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
			a	b		IO	LS	CP
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>								
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement 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

**Tabla 2.** Parámetros y criterios de aceptación para columnas de concreto reforzado

Fuente: ASC 41-13

Conditions			Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
			a	b		IO	LS	CP
Condition i. <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
$\leq 0.1$	$= 0.002$		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
$\geq 0.6$	$= 0.002$		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii. <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ <sup>d</sup>						
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	$\leq 3$ (0.25)	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	$\geq 6$ (0.5)	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	$\leq 3$ (0.25)	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	$\geq 6$ (0.5)	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\leq 3$ (0.25)	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\geq 6$ (0.5)	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	$\leq 3$ (0.25)	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	$\geq 6$ (0.5)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii. <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Estos parámetros son usados para establecer los límites de desempeño en término de las deformaciones, la respuesta de un elemento se mide en función del criterio de aceptación establecido. Un elemento cuya respuesta este entre B y IO estara en ocupacion inmediata, entre IO y LS será el criterio de seguridad para la vida , CP sera una prevencion de colapso donde se necesitarán tomar medidas para reabilitar el elemento. La figura 3 ilustrara estos criterios y límites. (FEMA 356, 2000)



**Figura 3.** Relación Fuerza-deformación para modelación y criterios de aceptación.  
 Fuente: FEMA 356

El procedimiento del análisis no lineal consiste en aplicar a la estructura una fuerza lateral controlada mediante incrementos de carga de forma monotónica, obteniendo así la curva de carga vs deformación (curva-pushover). con esto procedimiento se debe verificar y analizar la rigidez global de la estructura antes y después de la fluencia, además de ver la evolución del nivel de daño hasta el colapso.

## 5.2 Niveles de Desempeño Sísmico

Para la definición de los niveles de desempeño de las estructuras el ATC-40 (Applied Technology Council, 1996) establece el nivel de desempeño estructural y el nivel de desempeño

---

---

de los elementos no estructurales, y la combinación de estos dos anteriores será el nivel de desempeño esperado de la edificación.

### 5.2.1 Nivel de Desempeño Estructural

Describe el nivel de daño de los elementos estructurales de la edificación dando cinco niveles de daño: ocupación inmediata, daño controlado, seguridad de vida, seguridad limitada y estabilidad estructural.

- *Ocupación inmediata (SP-1)*: Para este nivel se espera daños limitados y que la capacidad estructural se mantenga casi igual antes del sismo, sin riesgo de pérdida de vidas humanas.
- *Daño controlado (SP-2)*: Este nivel representa un estado de daño intermedio, donde no se ve afectado la capacidad de la estructura, sin riesgo de pérdida de vidas humanas.
- *Seguridad de vida (SP-3)*: En este nivel se espera que la estructura sufra algunos daños considerables, pero sin riesgo de pérdidas humanas, aunque pueden haber afectados por los daños generados.
- *Seguridad de vida (SP-4)*: Este nivel representa un estado de daño intermedio entre los niveles de seguridad de vida y estabilidad estructural, en este nivel existe riesgo de pérdidas humanas.
- *Estabilidad estructural (SP-5)*: Este nivel representa un estado de daño crítico con colapso parcial o total del sistema estructural. El riesgo de pérdidas de la vida de los ocupantes es alto.
- *No considerado (SP-6)*: Este nivel no corresponde a un nivel de desempeño, solo tiene en cuenta una evaluación sísmica de los componentes no estructurales.

### 5.2.2 Nivel de Desempeño No Estructural

Para los componentes no estructurales se definen cuatro niveles de desempeño: operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida y riesgo reducido.

- *Operacional (NP-A)*: En este nivel se espera que los elementos no estructurales no presenten daños y tengan funcionalidad completa luego del sismo.

- *Ocupación inmediata (NP-B)*: Para este nivel se tiene un estado de daño mínimo luego del sismo donde los elementos siguen funcionando.
- *Seguridad de vida (NP-C)*: Este nivel se espera que la estructura sufra daños considerables, pero sin colapso o caída de los elementos no estructurales, el riesgo de pérdidas humanas es bajo.
- *Riesgo Reducido (NP-D)*: Este nivel representa un nivel de daño considerable pero no debe existir colapso o caída de elementos pesados como muros divisorios, existe riesgo de pérdidas humanas alto.

### 5.2.3 Nivel de Desempeño de la Edificación

El ATC-40 (Applied Technology Council, 1996), define este nivel como la combinación de los desempeños estructural y no estructural. En la tabla 3 muestran las combinaciones para establecer el nivel de desempeño de la edificación.

**Tabla 3.** Niveles de desempeño ATC-40.

Fuente: ATC-40

	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Daño controlado	SP-3 Seguridad a la Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No considerado
NP-A Operacional	I-1 Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad a la Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D Riesgo Reducido	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

NR: No recomendado

---

#### 5.2.4 Nivel de Amenaza Sísmica

Para todas las estructuras se expresa para un nivel específico de sismo asociado con una probabilidad de ocurrencia del fenómeno, siendo sismo frecuente, raro o muy raro, otra forma de evaluarlos es en términos del movimiento máximo esperado para un sismo de una magnitud específica, como es la aceleración pico y velocidad pico efectiva máxima, espectros de respuesta o acelerogramas.

El ATC-40 (Applied Technology Council, 1996) determina los niveles de amenaza sísmica debido a los movimientos sísmicos del suelo y lo muestra como los siguientes:

- *Terremoto de servicio (SE)*: Corresponde a un sismo de baja intensidad a moderada, con una ocurrencia frecuente y asociado con un 50% de ser excedido en un periodo de 50 años, con un periodo de retorno de aproximadamente de 75 años, por lo cual puede presentarse varias veces durante la vida útil de la edificación.
- *Terremoto de diseño (DE)*: Corresponde a un sismo de moderada a severa intensidad, con una ocurrencia poco frecuente y asociado con un 10% de ser excedido en un periodo de 50 años y un periodo de retorno de aproximadamente de 500 años, y se espera que pueda ocurrir al menos una vez durante la vida útil de la estructura, este nivel se especifica en la mayoría de los códigos de diseño.
- *Terremoto máximo (ME)*: Corresponde a un sismo de severa a muy severa intensidad de muy rara ocurrencia, es asociado a un 5% de ser excedido en un periodo de 50 años y un periodo de retorno de aproximadamente de 1000 años, este nivel se les atribuye a las edificaciones de uso indispensable como edificios gubernamentales, hospitales, clínicas y centros de salud, colegios, estadios. Este nivel corresponde de 1.25 a 1.50 veces el sismo de diseño para las edificaciones de este tipo, de esto sale el factor de importancia I de los códigos de diseño.
- *Terremoto máximo probable (MCE)*: Es determinado como el máximo nivel de sismo que podría experimentar una edificación, asociado a un 2% de ser excedido en un periodo de 50 años y un periodo de retorno aproximado de 2500 años.

El comité VISION 2000 presenta una propuesta para los niveles de amenaza sísmica con sus consideraciones de intervalos de ocurrencia y las probabilidades de excedencia para los cuatro eventos sísmicos de diseño mostrados en la tabla 4.

**Tabla 4.** Niveles de amenaza sísmica VISION 2000.

Fuente: VISION 2000

Movimiento Sísmico de diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	950 años	10 % en 100 años

Estos movimientos sísmicos de diseño son expresados en términos de una probabilidad de excedencia, la cual es una expresión del periodo promedio de tiempo expresado en años. El periodo de retorno puede relacionarse directamente con una probabilidad de excedencia, para un numero específico de años mediante la ecuación 1:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - p)^{\frac{1}{n}}} \quad (Ec. 1)$$

Donde:

p: probabilidad de ocurrencia

n: periodo en años

T: Periodo de retorno

Por otra parte, ya conociendo el periodo de retorno y aceleración de un sismo, se puede definir otro periodo de retorno y con ello calcular la aceleración esperada del otro sismo. Esto permite pasar de un nivel de amenaza sísmica a uno diferente, usando la ecuación 2:

$$\frac{a1}{a2} = \left(\frac{T2}{T1}\right)^K \quad (Ec. 2)$$

Donde:

- a: aceleraciones
- k: coeficiente (0,3-0,4)
- T: Periodo de retorno

Los diferentes niveles de amenaza sísmica se relacionan con el desempeño esperado de la estructura, en el que puede considerarse satisfactorio para una edificación sometida a sismos de diferentes magnitudes.

### 5.2.5 Nivel de Desempeño Esperado

El ATC-40(Applied Technology Council, 1996) presenta la tabla 5 del nivel de desempeño esperado asociado con el movimiento del terreno y el nivel de desempeño de la edificación. Conservadoramente para edificaciones convencionales se espera un nivel de desempeño de seguridad a la vida.

**Tabla 5.** Niveles de desempeño esperados ATC-40.

Fuente: ATC-40

Nivel del movimiento del terreno	Nivel de desempeño de la edificación			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad a la Vida	Estabilidad estructural
Terremoto de servicio (SE)	✓	✓		
Terremoto de diseño (DE)	✓	✓	✓	
Terremoto máximo (ME)	✓	✓	✓	✓

El comité VISION 2000 define los niveles de desempeño en términos cualitativos de interés público en términos de impacto de los ocupantes y los usuarios de la edificación. Se establecen cuatro niveles de desempeño:

- *Totalmente operacional:* Nivel de desempeño donde no se presentan daños.
- *Operacional:* Nivel de desempeño donde ocurren daños moderados en los elementos no estructurales, el daño es limitado y no afecta la estabilidad general de la estructura.
- *Seguridad de vida:* Nivel de desempeño en el que ocurren daños moderados en los elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación, hay degradación de rigidez lateral de la estructura y la capacidad resistente del sistema.
- *Pre-colapso:* Nivel de desempeño donde la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad global de la estructura, estando muy cerca del colapso.
- *Colapso:* Nivel de desempeño donde hay pérdida parcial o total de soporte en los elementos y podría no ser posible la reparación de estos.

El comité VISION 2000 presenta la tabla 6 con los criterios de aceptación.

**Tabla 6.** Niveles de desempeño comité VISION 2000 (SEAOC,1995).

Fuente: comité VISION

Sismo de análisis	Operacional	Inmediatamente ocupacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
Frecuente	♦			
Ocasional	•	♦		
Raro	❖	•	♦	
Muy Raro		❖	•	♦

♦ Edificaciones básicas, como residencias y oficinas.  
 • Edificaciones esenciales como hospitales, destacamentos militares, bomberos, etc.

También se relaciona el nivel de daño con el nivel de desempeño sísmico de la estructura, contemplando daño de elementos estructurales y no estructurales según la clase. Los niveles presentados en la tabla 7 por el comité VISION 2000 van desde un nivel de no daño hasta el colapso. (VISION 2000 (SEAOC,1995)).

**Tabla 7.** Niveles de daño y desempeño comité VISION 2000 (SEAOC,1995).

Fuente: comité VISION 2000

Nivel de daño	Nivel de Desempeño	Características principales
No Daño	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad a la Vida	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Extenso	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Colapso	Colapso	Colapso estructural

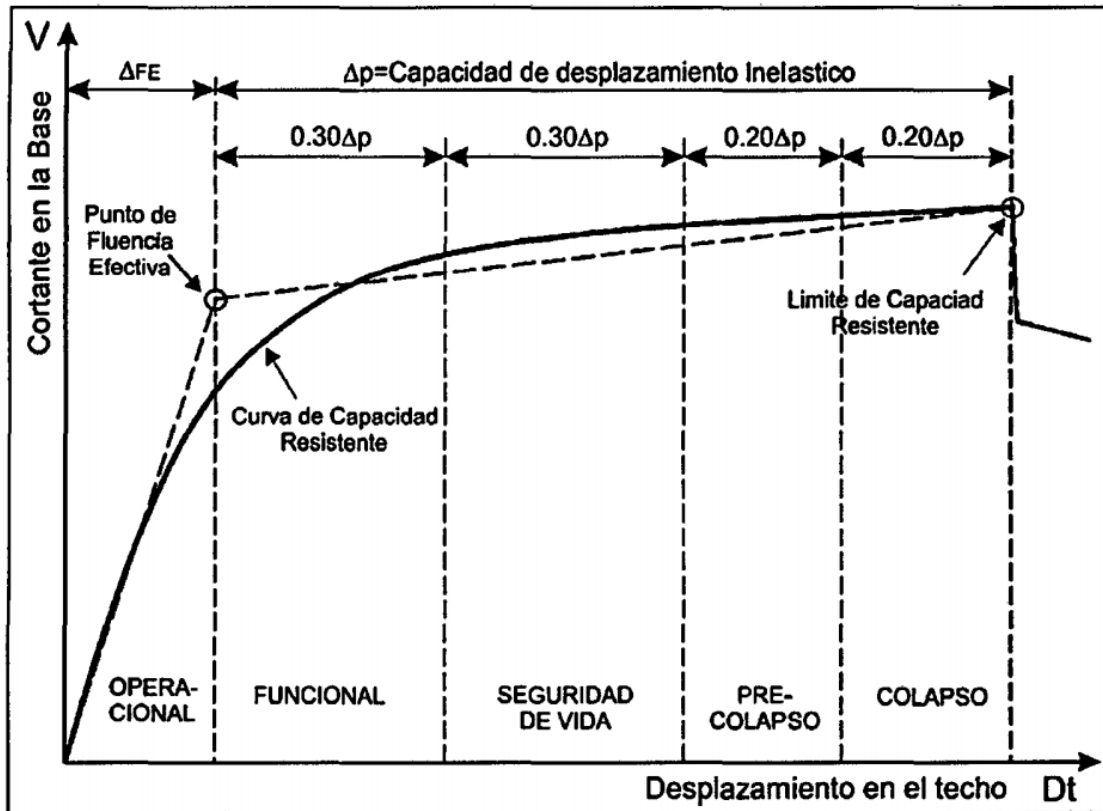
Además, asocian los niveles de desempeño con un rango de desplazamiento en el techo de la estructura. y se presenta en la tabla 8.

**Tabla 8.** Rango de desplazamientos de desempeño, comité VISION 2000 (SEAOC,1995).

Fuente: comité VISION 2000

Nivel de Desempeño	Rango de Desplazamiento
Operacional	$0 - (\Delta FE)$
Funcional	$(\Delta FE) - (\Delta FE + 0.30\Delta p)$
Seguridad de Vida	$(\Delta FE + 0.30\Delta p) - (\Delta FE + 0.60\Delta p)$
Cerca al Colapso	$(\Delta FE + 0.60\Delta p) - (\Delta FE + 0.80\Delta p)$
Colapso	$(\Delta FE + 0.80\Delta p) - (\Delta FE + \Delta p)$
<p><math>\Delta FE</math>: Desplazamiento correspondiente al Punto de Fluencia Efectiva.                      Es el desplazamiento en el rango elástico de la estructura.</p> <p><math>\Delta p</math>: Rango Plástico.</p>	

La sectorización de la curva de capacidad, basado en la capacidad de desplazamiento inelástico de la estructura, se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Sectorización curva de capacidad comité VISION 2000 (SEAOC,1995).

Fuente: comité VISION 2000

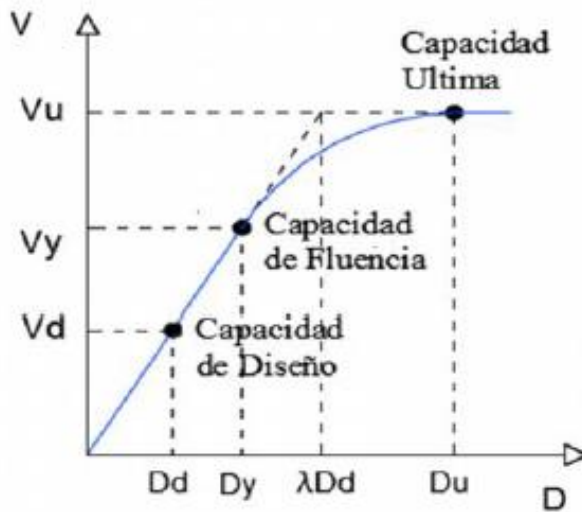
### 5.3 Método del Espectro de Capacidad

Este método consiste en obtener las curvas de capacidad y demanda sísmica a la cual está sometida la estructura, logrando con esto observar en un solo gráfico el comportamiento de la edificación ante un evento sísmico, inclusive cuando esta incurriere en su rango inelástico.

#### 5.3.1 Curva de Capacidad de la Estructura

Esta curva describe el comportamiento sísmico de la estructura en función del desplazamiento máximo en el nivel de cubierta y la fuerza cortante máxima en la base (figura 5). La curva de capacidad de la edificación se obtiene por medio de un análisis no lineal (pushover), en el cual se aplica una carga y esta se va incrementando monótonicamente. Al darse cada

incremento se obtiene un desplazamiento hasta que se alcance el límite, es decir hasta que parte de la estructura colapse. En la gráfica se podrá observar el comportamiento de la estructura identificando el valor de fuerza en función del desplazamiento, durante las etapas antes y después de fluencia hasta el estado limite. (Applied Technology Council, 1996)



**Figura 5.** Curva de capacidad de la estructura.  
 Fuente: adoptado ATC-40

La curva de capacidad de la estructura sirve para edificios nuevos como para existentes para revisar su capacidad y si requieren, ser rehabilitados.

### 5.3.2 Conversión de la Curva de Capacidad al Espectro de Capacidad

Para obtener el espectro de capacidad se necesita hacer la conversión de los datos de fuerza  $V_i$  de la curva de capacidad a su correspondiente espectro  $S_a$  vs  $S_d$  del primer modo espectral (figura 6). Esta conversión es necesaria para poder interponer los espectros de capacidad y demanda, y así obtener el punto de desempeño de la estructura.

Se hará una conversión punto por punto para el primer modo espectral para tener el formato ADRS, por lo que se tiene que cada  $S_{ai}$  y  $S_{di}$  se calculan con las ecuaciones 3 y 4:

$$S_{ai} = \frac{(V_i/W)}{\alpha_i} \quad (Ec. 3)$$

---

---

$$S_{di} = \frac{\Delta_{roof}}{(PF1 \times \phi_{1,roof})} \quad (Ec. 4)$$

Donde:

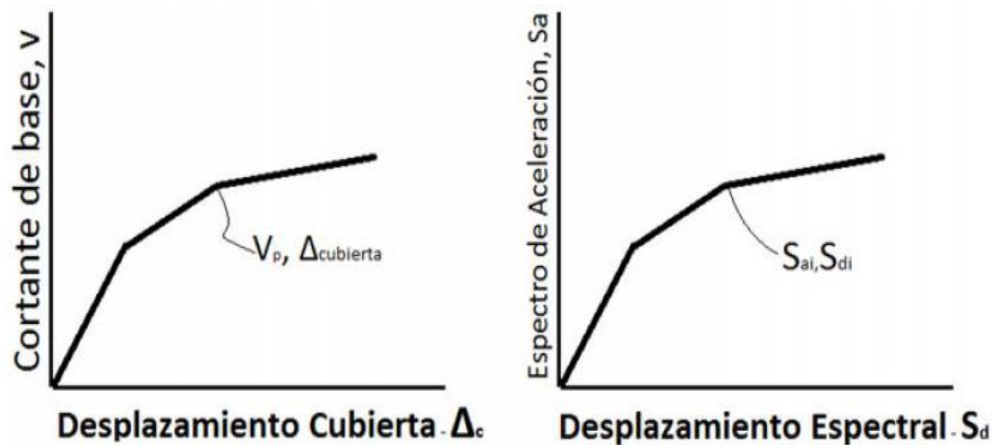
$\alpha_i$ : Coeficiente de masa modal

PF1: Factor de participación para el primer modo de la estructura

$\phi_{1,roof}$ : Amplitud del primer modo en cubierta

$S_a$ : aceleración espectral

$S_d$ : desplazamiento espectral



**Figura 6.** Conversión espectro de capacidad.

Fuente: adoptado ATC-40

### 5.3.3 Espectro de Demanda Sísmica

Es la máxima respuesta aplicada a sistemas de un grado de libertad como una función de frecuencias. Para obtener el espectro de demanda sísmica dependiendo de parámetros del sitio o zona del proyecto, se determina la gráfica del espectro elástico de demanda, la cual no tiene necesariamente una reducción para un amortiguamiento del 5%; si se tiene un amortiguamiento diferente se debe construir un nuevo espectro que considere el cociente de amortiguamiento, y luego se hace la conversión del espectro de demanda al formato ADRS (figura 7). (Applied Technology Council, 1996)

Para hacer la conversión del espectro  $S_a$  vs  $T$  al formato ADRS es necesario obtener los valores  $S_{di}$  por cada punto en la curva  $S_{ai}$ ,  $T_i$ . Esto se realiza mediante la ecuación 5:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (Ec. 5)$$

Donde:

$g$ : Aceleración de la gravedad

$T_i$ : Periodo

$S_a$ : Aceleración espectral

El espectro de demanda estándar contiene un rango de aceleración constante. El desplazamiento, la aceleración espectral y el periodo están dados por las ecuaciones 6 y 7:

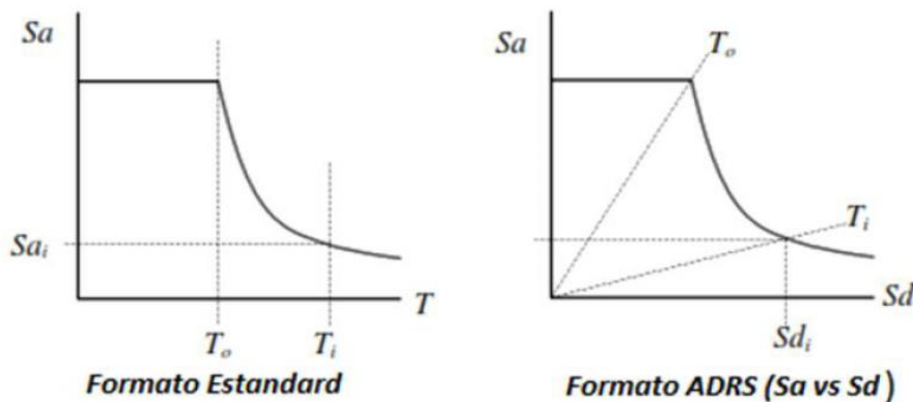
$$S_{ai} g = \frac{2\pi}{T_i} S_v \quad (Ec. 6)$$

$$S_d = \frac{T_i}{2\pi} S_v \quad (Ec. 7)$$

Donde:

$T_i$ : Periodo

$S_v$ : Velocidad espectral



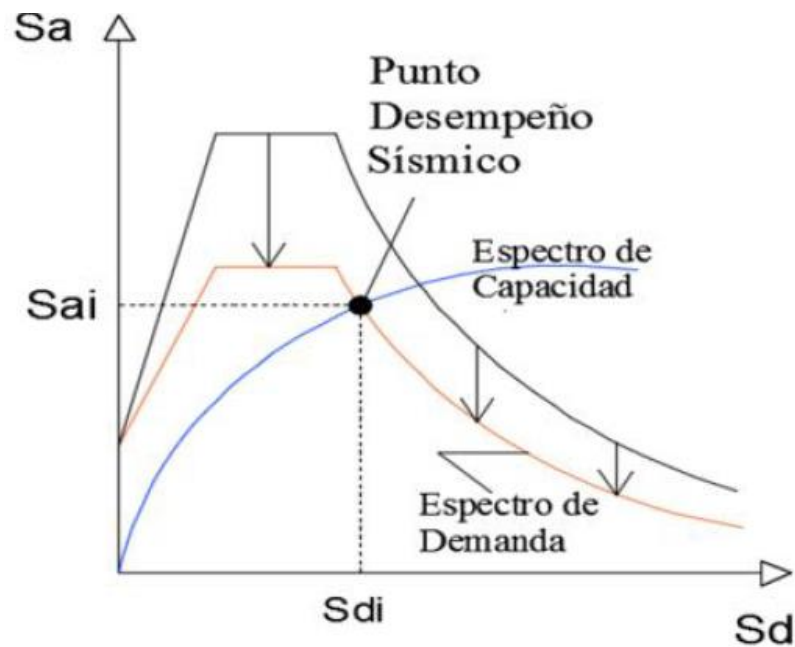
**Figura 7.** Conversión espectro de demanda en formato estándar y ADRS.

Fuente: adoptado ATC-40

---

### 5.3.4 Punto de Desempeño Sísmico

Se define el punto de desempeño sísmico de la estructura cuando la condición de su capacidad es igual a la condición de la demanda sísmica impuesta, gráficamente se la intersección entre las curvas de capacidad y la curva de demanda sísmica en su formato ADRS (figura 8).



**Figura 8.** Punto de desempeño sísmico encontrado por el método de espectro de capacidad.

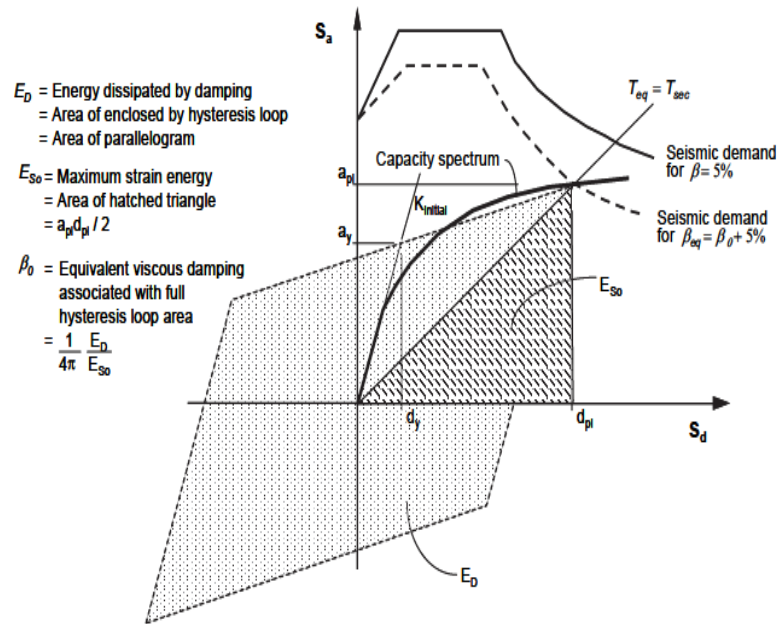
Fuente: adoptado ATC-40

### 5.4 Documento FEMA 440

El objetivo principal de este proyecto fue hacer una evaluación y mejora a los procedimientos estáticos no lineales contemplados en FEMA 356 y en ATC-40, los cuales se exponen en este documento.

En el método del espectro de capacidad del ATC-40, consiste en una generación de una relación fuerza-desplazamiento de la estructura, la cual asume que el amortiguamiento equivalente del sistema es proporcional al área debajo de la curva de capacidad, el periodo equivalente

corresponde al periodo secante en el cual la demanda sísmica reducida por el amortiguamiento equivalente interseca la curva de capacidad, como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Representación gráfica del método del espectro capacidad del ATC-40

Fuente: FEMA 440

Se presenta en el FEMA 440 un procedimiento llamado linealización equivalente mejorada (improved procedures for equivalent linearization), como modificación al método del espectro de capacidad del ATC-40, el objetivo de este procedimiento mejorado es determinar la respuesta máxima de desplazamiento del sistema no lineal con un sistema equivalente lineal, utilizando un periodo efectivo y un amortiguamiento efectivo, que son función de las características de la curva de capacidad, el amortiguamiento, el periodo inicial del sistema y la demanda de ductilidad  $\mu$ .

Este método mejorado propuesto se mantiene similar y da un procedimiento para modificar el espectro de demanda resultante para que coincida con el método en el ATC-40, en el que se realiza la intersección con la curva de capacidad, generando un punto de desempeño para el modelo estructural. La solución se encuentra mediante un proceso iterativo o gráfico, para obtener la ductilidad (relación entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento cedente) que es el objetivo del análisis y los parámetros efectivos son función de esta. El FEMA 440 presenta 3

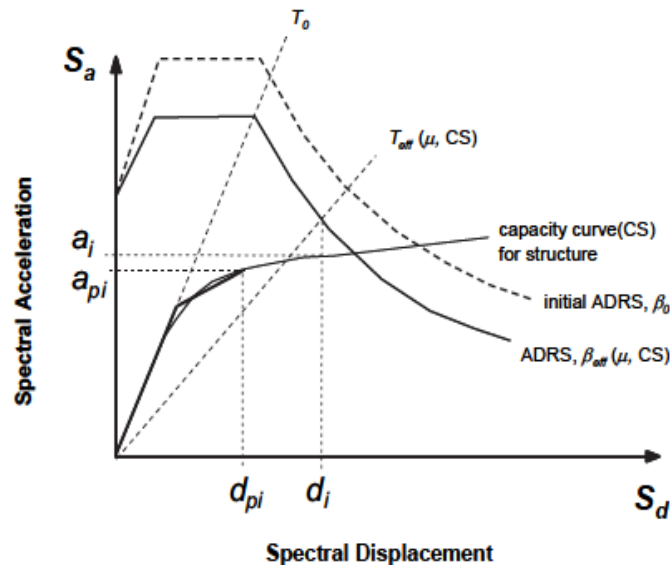
---

procedimientos para poder obtener los resultados mencionados anteriormente. (Improvement of Nonlinear static seismic análisis procedures, 2005)

- Procedimiento A (iteración directa)
- Procedimiento B (intersección con demanda MADRS)
- Procedimiento C (búsqueda de posibles puntos de desempeño)

#### 5.4.1 Procedimiento A (Iteración Directa)

En este procedimiento se realiza una iteración que converge directamente en un punto de desempeño (figura 10). Los espectros de demanda en formato ADRS generados para diversos valores de amortiguación efectiva no se modifican para intersectar el espectro de capacidad. (Improvement of Nonlinear static seismic análisis procedures, 2005)

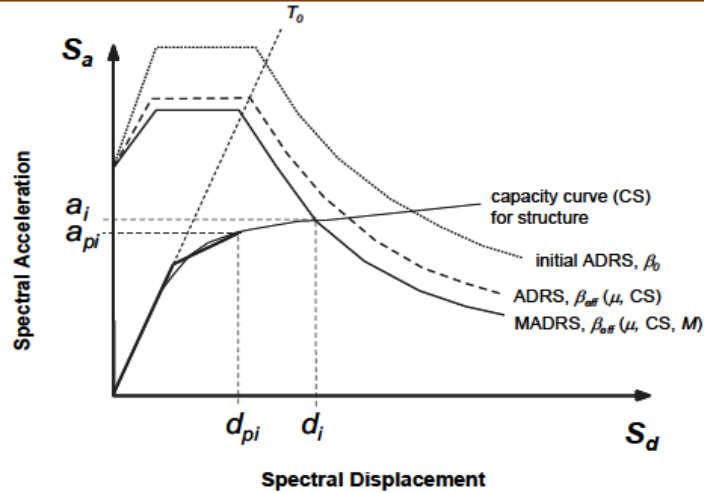


**Figura 10.** Determinación del máximo desplazamiento usando la iteración directa.  
Fuente: FEMA 440

#### 5.4.2 Procedimiento B (Intersección con Demanda MADRS)

Para el procedimiento B el punto de desempeño se define como la intersección del espectro de capacidad con el ADRS modificado (MADRS). El espectro de demanda de MADRS se genera modificando los ADRS para los diversos valores de amortiguación efectiva (figura 11).

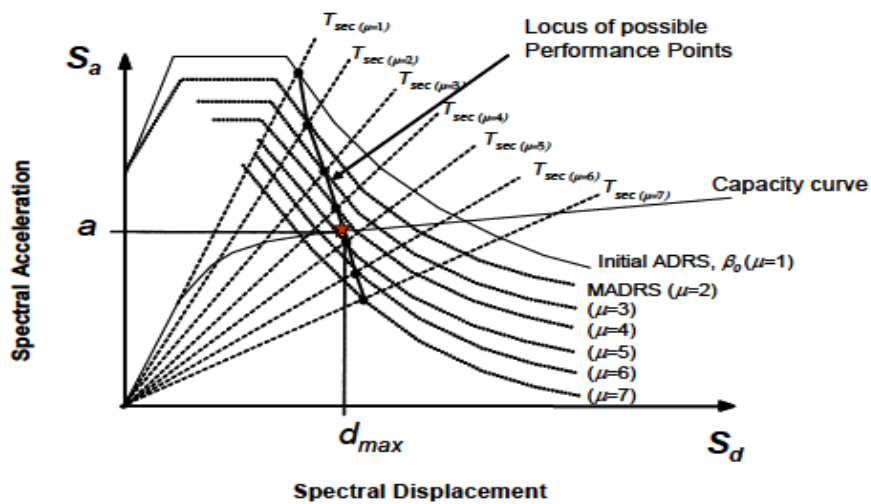
---



**Figura 11.** Determinación del máximo desplazamiento usando la intersección con MADRS.  
 Fuente: FEMA 440

### 5.4.3 Procedimiento C (búsqueda de posibles puntos de desempeño)

Este enfoque usa el espectro modificado de aceleración-respuesta para múltiples soluciones supuestas ( $a_{pi}$ ,  $D_{pi}$ ) y las ductilidades correspondientes para generar un lugar de posibles puntos de desempeño. El punto de desempeño real se encuentra en la intersección de este plano y el espectro de capacidad (figura 12). Este procedimiento puede automatizarse al escoger una solución inicial para una ductilidad de  $\mu=1$ , y las siguientes suposiciones se establecen al incrementar dichas ductilidades.

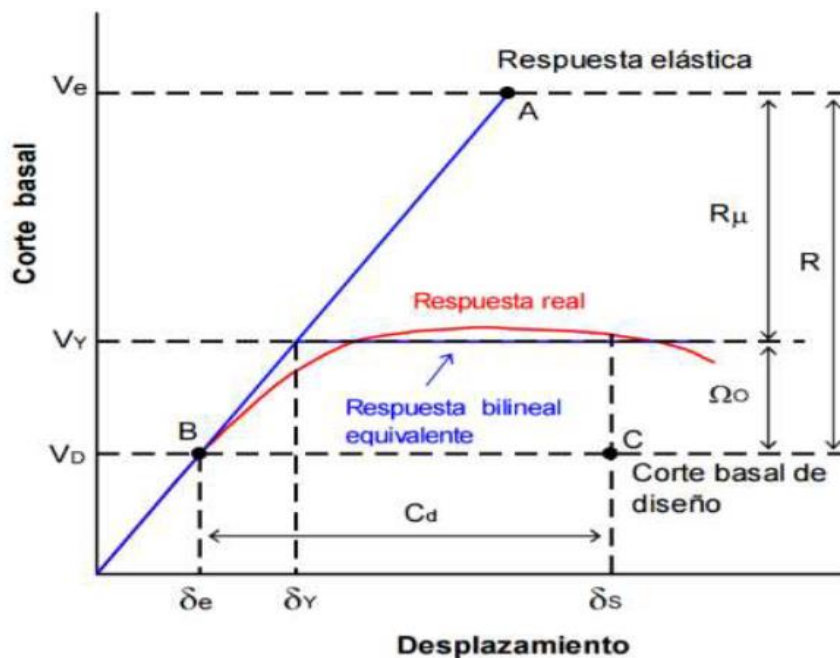


**Figura 12.** Determinación de posibles puntos de desempeño usando MADRS.  
 Fuente: FEMA 440

## 5.5 Factor de Respuesta Sísmica R

El factor nace del concepto de que las estructuras tienen cierta capacidad para mantenerse en el rango inelástico sin fallar, disipando energía y teniendo sobre resistencia frente a la acción sísmica. Estos valores fueron basados en la experiencia de los investigadores y establecidos para cada sistema estructural, sin embargo, la experiencia y la observación del comportamiento de las estructuras después de un sismo, han demostrado que estas pueden ser diseñadas de una manera más idónea, conociendo el comportamiento inelástico esperado.

Se suele considerar una reducción de la fuerza sísmica la cual estará afectada por el uso del factor de modificación de respuesta sísmica R, obteniendo una cortante de diseño, la cual está a un nivel correspondiente al estado límite último o de resistencia, no a un nivel de servicio. Para entender los conceptos de este factor R es necesario analizar la respuesta de la estructura frente a un sismo, mediante un diagrama de cortante basal vs desplazamiento mostrado en la figura 13. (Criasafulli F.J, 2014)



**Figura 13.** Respuesta global del sistema con indicación del factor R

Fuente: Crisafulli, (2014)

---

La figura 13 muestra que los espectros de diseño generan un comportamiento lineal y elástico (punto A), el cual es reducido por el factor R con la hipótesis que la estructura tiene la capacidad de disipar energía y tiene sobre resistencia, con la acción sísmica reducida se realiza un análisis estructural estático o dinámico lineal (Punto B), y finalmente los desplazamientos se obtienen mediante la ampliación de los resultados de análisis multiplicando por un factor Cd (Punto C). (Criasafulli F.J, 2014)

### 5.5.1 Componentes de R

Muchos investigadores hacen mención que este factor esta función de varios valores como el periodo, la ductilidad, el amortiguamiento, condición del suelo, la relación de carga-deformación y la sobre resistencia. el ATC (applied technology council, 1995) propuso descomponer este factor R en parámetros, Ductilidad, sobre resistencia y redundancia y relacionarlos mediante la siguiente ecuación 8. (Daza-Duarte 2003)

$$R = R\mu \times R\Omega \times R_w \quad (Ec. 8)$$

Donde:

$R\mu$ : Factor de ductilidad

$R\Omega$ : Factor de sobre resistencia

$R_w$ : Factor de redundancia

### 5.5.2 Factor de Modificación por Ductilidad $R\mu$

Se define como la relación entre la carga máxima elástica que puede resistir una estructura y la carga máxima inelástica que pueda resistir esa misma estructura si tuviese comportamiento inelástico, y se define por la ecuación 9:

$$R\mu = \frac{P_{ue}}{P_y} \quad (Ec. 9)$$

---

Aunque una de las investigaciones de mayor trascendencia respecto al factor  $R\mu$ , proviene de Newmark y Hall (1982) en el cual establecen ese parámetro según lo calculado para respuestas a aceleraciones de suelos medidas en terremotos es sensitivo al periodo natural de la estructura, y lo definen de la siguiente manera con las ecuaciones 10,11 y 12.

-Para estructuras con periodos  $\leq 0.03$  segundos:

$$R\mu = 1.0 \quad (\text{Ec. 10})$$

-Para estructuras con periodos entre 0.12 seg hasta 0.5 segundos:

$$R\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (\text{Ec. 11})$$

-Para estructuras con periodos mayores de 1 segundo:

$$R\mu = \mu \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

$\mu$ : ductilidad traslacional ( $\mu = du/dy$ )

### 5.5.3 Factor de Modificación por la Sobre Resistencia $R\Omega$

Este factor se calcula como el coeficiente entre el cortante basal máximo alcanzado por el edificio antes de alcanzar un estado limite y el cortante basal de diseño. Se define por a la ecuación 13.

$$R\Omega = \frac{Vu}{Vd} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

$Vu$ : Cortante basal máximo alcanzado por el edificio

$Vd$ : Cortante basal de diseño

---

Es importante garantizar que la resistencia lateral máxima alcanzada por el edificio sea mayor a la resistencia lateral de diseño. Por los métodos de diseño que proveen los códigos y los requisitos para control de desplazamiento entre otros, se tiene certeza de lograr este cometido, además de producir elementos estructurales de mayor tamaño y refuerzo que los que resultan de un análisis debido estrictamente a cargas laterales y gravitatorias. La sobre resistencia es mayor en regiones de riesgo sísmico moderado y alto donde por obvias razones la relación de las cargas sísmicas vs las gravitatorias difiere de forma significativa a las zonas de bajo riesgo sísmico. (Daza-Duarte 2003)

#### 5.5.4 Factor de Modificación por la Redundancia $R_w$

Este factor de modificación tiene relación con la cantidad de líneas verticales de resistencia sísmica (ejes de columnas) y principalmente con la cantidad de rótulas plásticas requeridas para formar un mecanismo de colapso de la estructura, esto también tiene relación con la distribución de las cargas de los elementos de mayor sollicitación a los elementos de menor sollicitación. El ATC-19 propone valores tentativos para el factor de redundancia en la siguiente tabla 9. (Daza-Duarte 2003)

**Tabla 9.** Valores de factor de redundancia  $R_w$   
Fuente: Adoptado ATC-19

# DE EJES DE COLUMNAS	FACTOR $R_w$
2	0,71
3	0,86
4	1

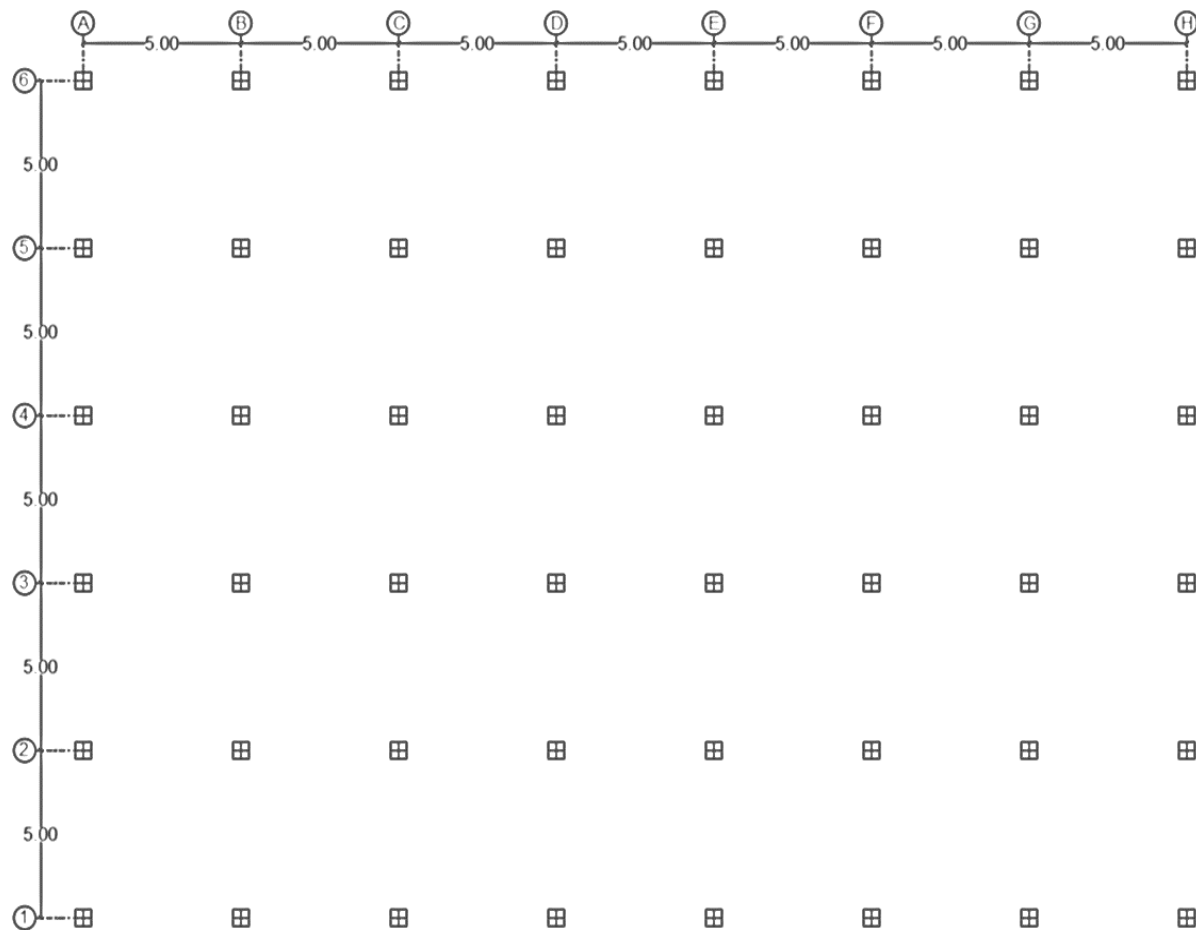
---

## 6. PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO

En total se evaluarán 6 estructuras, dos de estas serán de tres pisos en un sistema de solo pórticos de concreto, 2 estructuras de cinco pisos y 2 estructuras de ocho pisos que estarán configuradas en un sistema combinado de pórticos y muros de concreto.

### 6.1 Planta General Tipo Escogida

La planta general para los edificios de tres, cinco y ocho niveles esta ilustrada en la figura 14, la altura de entrepiso de las edificaciones será de 3.00m.

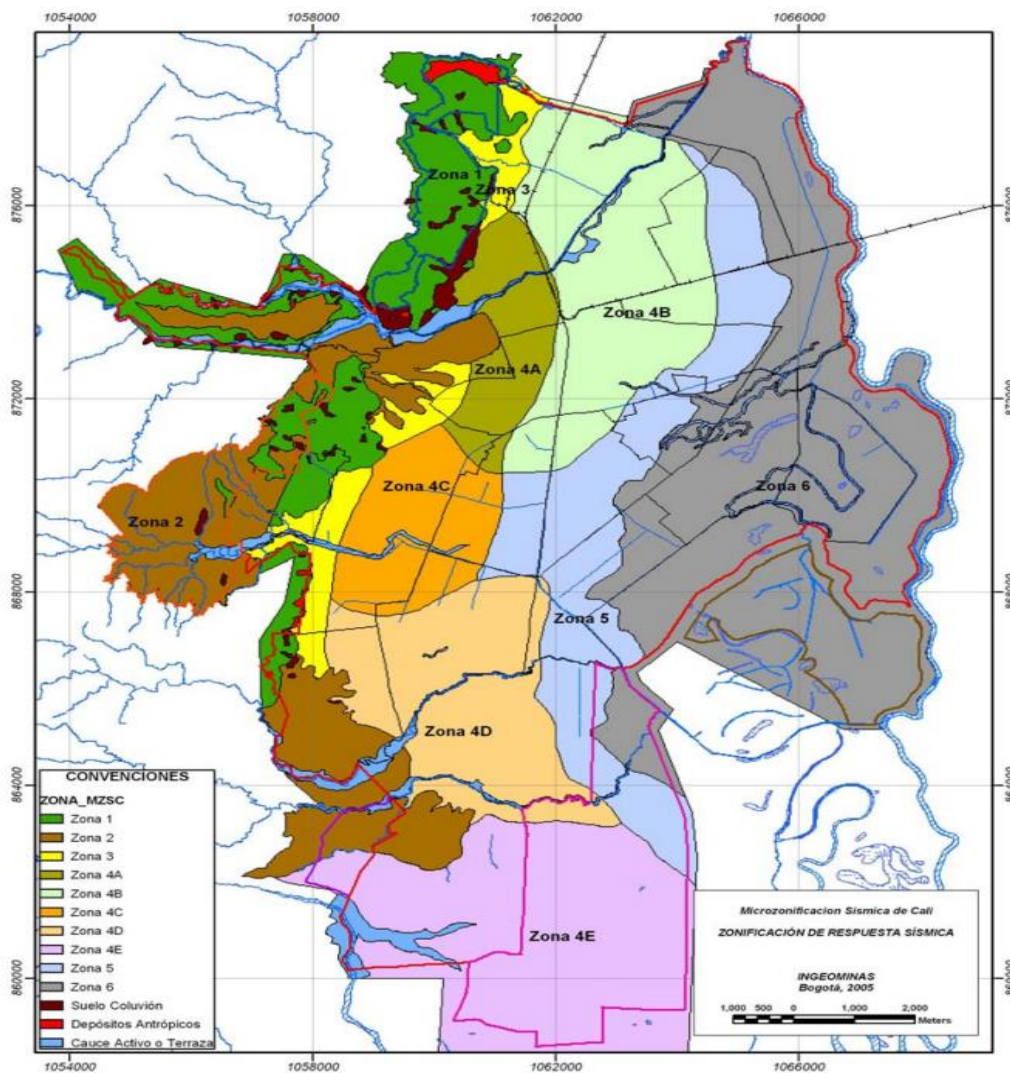


**Figura 14.** Planta general tipo

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Zona Sísmica

La zona sísmica es de la ciudad de Cali -Colombia la cual cuenta con un estudio de Microzonificación, el cual se usó para este estudio. Se escogió la zona 4C-Abanico de Cañaveralejo del Mapa (figura 15) la cual es una zona de riesgo sísmico alto donde hay una cantidad considerable de clínicas y hospitales como los centros médicos Imbanaco, Urgencias Sanitas, centro médico San José, urgencias EPS, clínica DESA, clínica Comfandi y otras varias, en el anexo 13 se presenta un mapa indicando algunas.



**Figura 15.** Mapa microzonificación sísmica de Cali

Fuente: Ingeominas y Dagma, 2005

### 6.3 Parámetros Sísmicos

Los parámetros sísmicos del estudio de Microzonificación de la ciudad de Cali se presentan en la tabla 10. Los Parámetros de la zona 4C para TC y para los de TL se presentan marcados en la tabla 10.

**Tabla 10.** Coeficientes Sísmicos de diseño Cali

Fuente: Decreto No 411.0.20.0158 del 2014 (definición parámetros Microzonificación Cali)

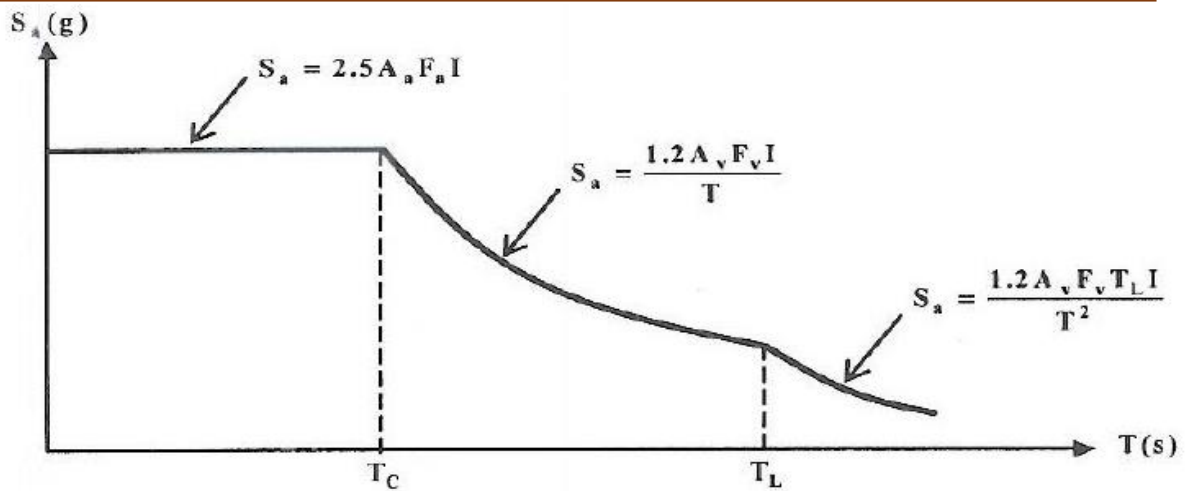
Microzona	$A_a = 0.25$		$A_v = 0.25$	
	$T_C$	$F_a$	$T_L$	$F_v$
1	0.55	0.86	3.00	0.99
2	0.45	1.20	3.00	1.13
3	1.05	1.36	2.00	2.98
4a	0.75	1.20	2.00	1.88
4b $T_C$	0.70	1.04	2.50	1.52
$T_L$	1.60	0.80	2.50	2.67
4c $T_C$	0.45	1.60	2.00	1.50
$T_L$	1.50	1.04	2.10	3.25
4d	1.20	0.99	2.00	2.48
4e	0.95	0.91	3.00	1.81
5 $T_C$	0.60	1.12	2.50	1.40
$T_L$	1.35	0.83	2.50	2.34
6	1.15	1.09	2.50	2.61

El coeficiente de importancia I definido para estructuras del grupo de servicio IV es 1,5.

Factor de disipación sísmica R se escogió de acuerdo con el NSR-10; para pórticos en concreto R= 7, y para sistema estructural combinado de pórticos en concreto con muros en concreto R=7, ya que las estructuras se consideran regulares por su configuración en planta y altura.

### 6.4 Espectro Sísmico

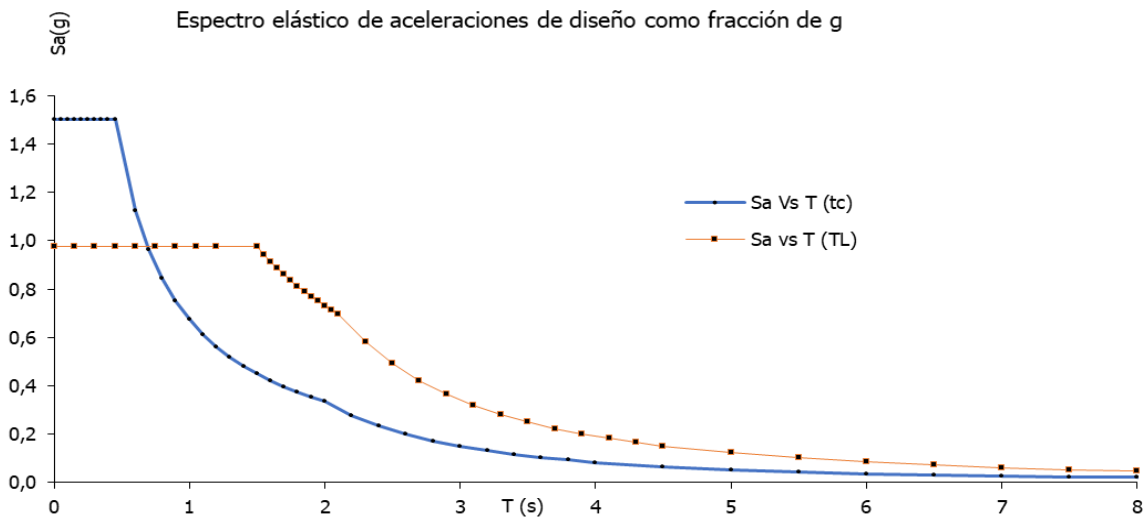
Para la elaboración del espectro sísmico se define como se muestra en la figura 16.



**Figura 16.** Curva de diseño para amortiguamiento del 5%

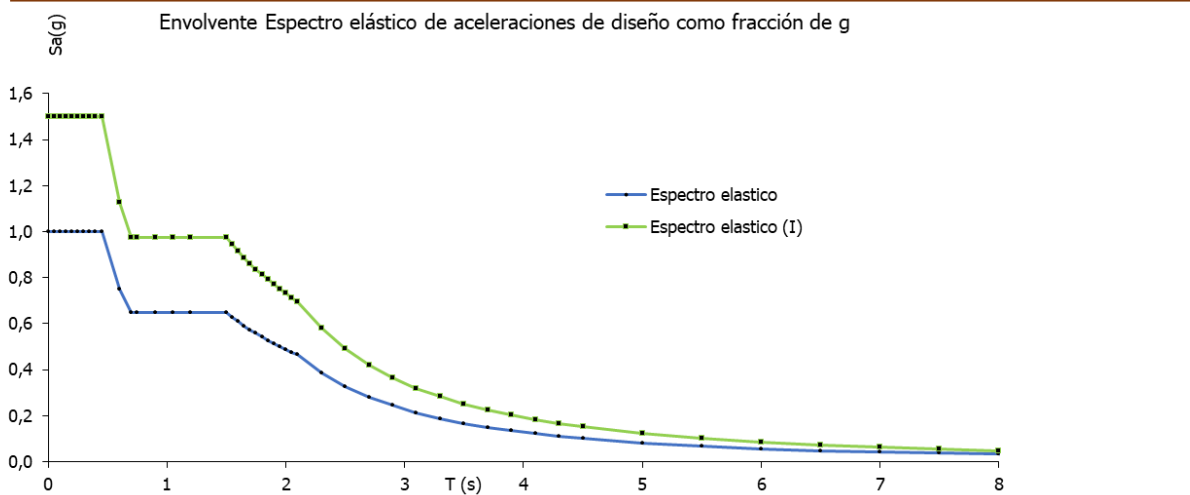
Fuente: Decreto No 411.0.20.0158 del 2014 (definición parámetros Microzonificación Cali)

El espectro elástico para  $T_c$  y  $T_L$  se muestran en la figura 17. Debido a que hay 2 espectros se realiza una envolvente para facilitar la comprobación de ambos el cual se presenta en la figura 18 junto a la envolvente sin la afectación del Factor de importancia  $I$ .



**Figura 17.** Espectro elástico Zona 4C para  $T_c$  Y  $T_L$

Fuente: Elaboración propia



**Figura 18.** Envoltentes espectro elástico Zona 4C

Fuente: Elaboración propia

### 6.5 Cargas

Las cargas se tomaron de acuerdo con el título B del NSR-10 y se presentan en la tabla 11.

**Tabla 11.** Cargas de entrepiso y techo

Fuente: Elaboración propia

Entrepiso		Techo	
Tipo de Carga (KN/m <sup>2</sup> )		Tipo de Carga (KN/m <sup>2</sup> )	
SCM	3,6	SCM	2
CV	4 - 5	CV	2

La tabla 12 presenta las combinaciones de cargas usadas en los modelos y para los cálculos realizados a los elementos estructurales.

**Tabla 12.** Combinaciones de cargas

Fuente: Elaboración propia

Combinaciones de cargas	
1.4M	1.2M+1L+SY-0.3SX
1.2M+1.6L	1.2M+1L-SY-0.3SX
1.2M+1L+SX+0.3SY	0.9M+SX-0.3SY
1.2M+1L+SY+0.3SX	0.9M-SX-0.3SY
0.9M+SY+0.3SX	0.9M-SX+0.3SY
0.9M+SX+0.3SY	0.9M+SY-0.3SX
1.2M+1L+SX-0.3SY	0.9M-SY-0.3SX
1.2M+1L-SX-0.3SY	0.9M-SY+0.3SX
1.2M+1L-SX+0.3SY	

## 6.6 Características de los Materiales

Los materiales usados en las estructuras presentan las siguientes características de resistencia.

- Concreto  $F'c = 28 \text{ Mpa}$
- Acero de refuerzo  $F'y = 420 \text{ Mpa}$

## 7. ANALISIS Y DESARROLLO DE LAS ESTRUCTURAS

Se evaluarán cinco niveles de amenaza sísmica en las estructuras, usando las ecuaciones 1 y 2 para obtener los factores de amplificación de los sismos, partiendo del espectro elástico sin afectación del I de la figura 18, que es considerado el sismo raro, estos niveles de amenaza se presentan en la tabla 13.

**Tabla 13.** Niveles de amenaza sísmica y sus factores

Fuente: Elaboración propia

Movimiento Sísmico de diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia	Factores
Frecuente	43 años	50% en 30 años	0,385
Ocasional	72 años	50% en 50 años	0,472
Raro	475 años	10% en 50 años	1
Muy raro	950 años	10 % en 100 años	1,32
Extremo	2475 años	2 % en 50 años	1,93558

S.F: Sismo frecuente

S.O: Sismo ocasional

S.R: Sismo raro

S.MR: Sismo muy raro

S.E: Sismo extremo

Por medio del método de la sectorización de la curva de capacidad del VISION 2000 (figura 4), se evaluará el desempeño global de la estructura de acuerdo con los criterios de esta misma. El nivel sísmico extremo no está contemplado en los criterios de evaluación del VISION 2000, pero ya que está nombrado en las otras normativas se buscará que las estructuras sean capaces de

resistirlo. Para la evaluación local de las rótulas se usarán los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.

El nivel de desempeño esperado para las estructuras estará mostrado en la tabla 14.

**Tabla 14.** Nivel de desempeño esperado para las estructuras

Fuente: Elaboración propia

Movimiento sismico	Nivel de comportamiento de diseño				
	IO	O	LS	CP	C
Frecuente	X				
Ocasional	X				
Raro		X			
Muy raro			X		
Extremo				X	X

donde:

IO: Immediately occupancy (Ocupación inmediata)

O: Operational (Operacional)

LS: Life Safety (Seguridad de vida)

CP: Collapse prevention (Prevención de colapso)

C: Collapse (Colapso)

## 7.1 Estructura de Tres Niveles

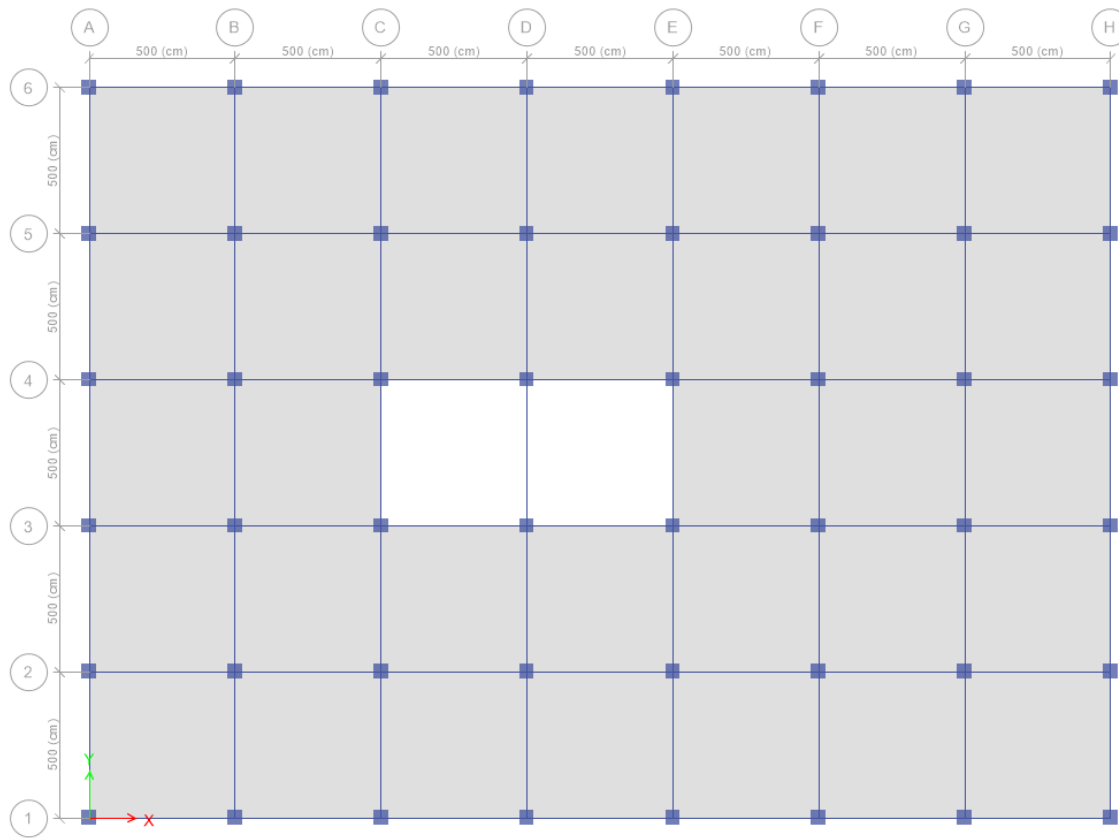
### 7.1.1 Estructura de Tres Niveles (NSR-10)- (Estructura 1)

Se comienza modelando la estructura, se asignan las propiedades de los materiales además de las cargas y acciones a las que está sometida la estructura. Se procede a diseñar bajo lo

establecido en el NSR-10, se buscó dar cumplimiento a la edificación tratando de mantener las mínimas secciones y cuantías de acero, que permiten dar cumplimiento al NSR-10.

### 7.1.1.1 Configuración Estructural

La estructura se configuro en pórticos de concreto usando columnas de sección 50x50 y vigas de sección 40x50. La planta y distribución típica se muestra en la figura 19.



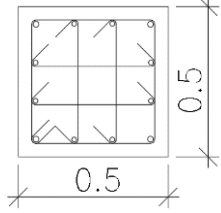
**Figura 19.** Planta estructural (Estructura 1)

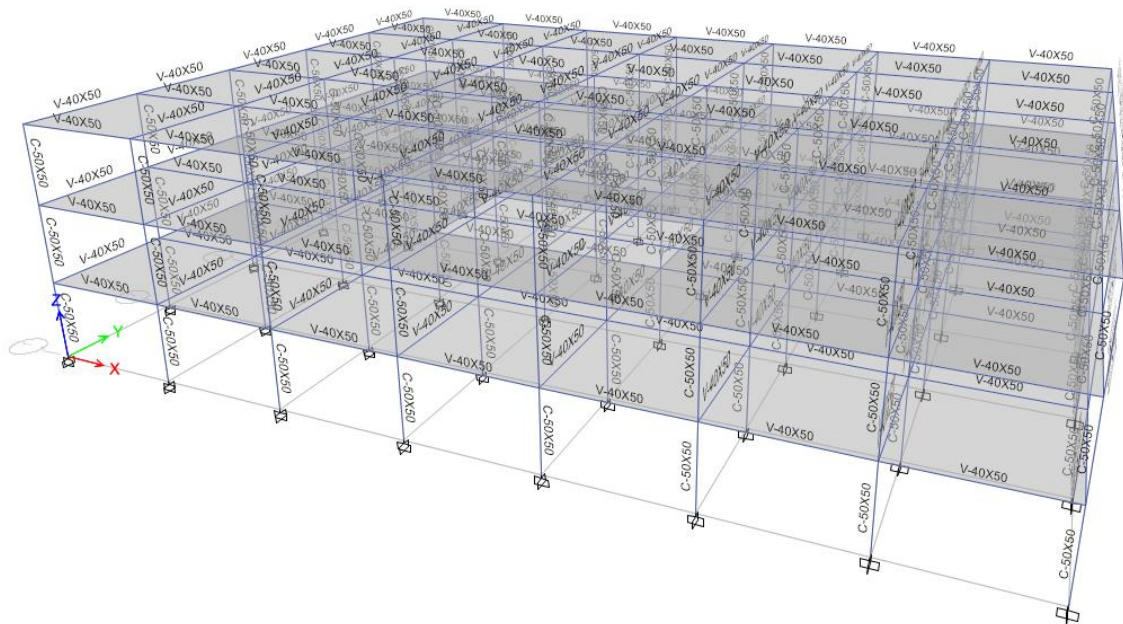
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La configuración de acero de la columna se presenta en la tabla 15, la configuración de acero en vigas se presenta en el anexo 1.

**Tabla 15.** Acero columna 50x50

Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	3/4	11,4
Caras	8	5/8	15,84
	Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )		27,24
	Porcentaje seleccionado		1,09%
	As confinamiento c/10 cm		
	Direc-X	4-#3	
Direc-Y	4-#3		



**Figura 20.** Visualización 3D Estructura 1

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La demanda/capacidad de los elementos tipo columna principales está entre 70 al 90%, el listado completo de las columnas se presenta en el anexo 7.

### 7.1.1.2 Resumen Análisis Dinámico

Peso propio estructura considerado:

-Carga muerta (CM) = 16686.2246 KN

-Sobrecarga muerta (SCM)= 7690 KN

-Carga viva (CV) =8750 KN (se considera un 25% para el peso total)

-Peso total = 26563.7246 KN

Los modos fundamentales con su periodo y porcentaje de participación de masa se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16.** Modos fundamentales estructura 1

Fuente: Elaboración propia

MODO	T(s)	% Participacion de masa			Direc	Aceleraciones espectrales	
		Ux	Uy	Rz		Adg(elast)	adg(elast red)
1	0,401		0,8538	0	y	1,5	0,214285714
2	0,395	0,856	0	0	x	1,5	0,214285714
3	0,364	0	0	0,8558	tor		

El cortante basal de diseño será:

$V_{bx} = 4846.0126 \text{ KN}$

$V_{by} = 4835.3928 \text{ KN}$

### 7.1.1.3 Derivas

Las derivas obtenidas del análisis se presentan en la tabla 17, el límite según el NSR-10 es del 1%. Las derivas del nivel N+6m en ambas direcciones se considera en un estado aceptable del aproximado al 1%, esto para estar al límite de la norma.

**Tabla 17.** Derivas X-Y

Fuente: Elaboración propia

Nivel	X		Y	
	X-deriva	Estado	Y-deriva	Estado
N+9.00m	0,00646809	OK	0,00680732	OK
N+6.00m	0,01004171	Ok	0,01008696	Ok
N+3.00m	0,00819163	OK	0,00845449	OK

### 7.1.1.4 Análisis no Lineal

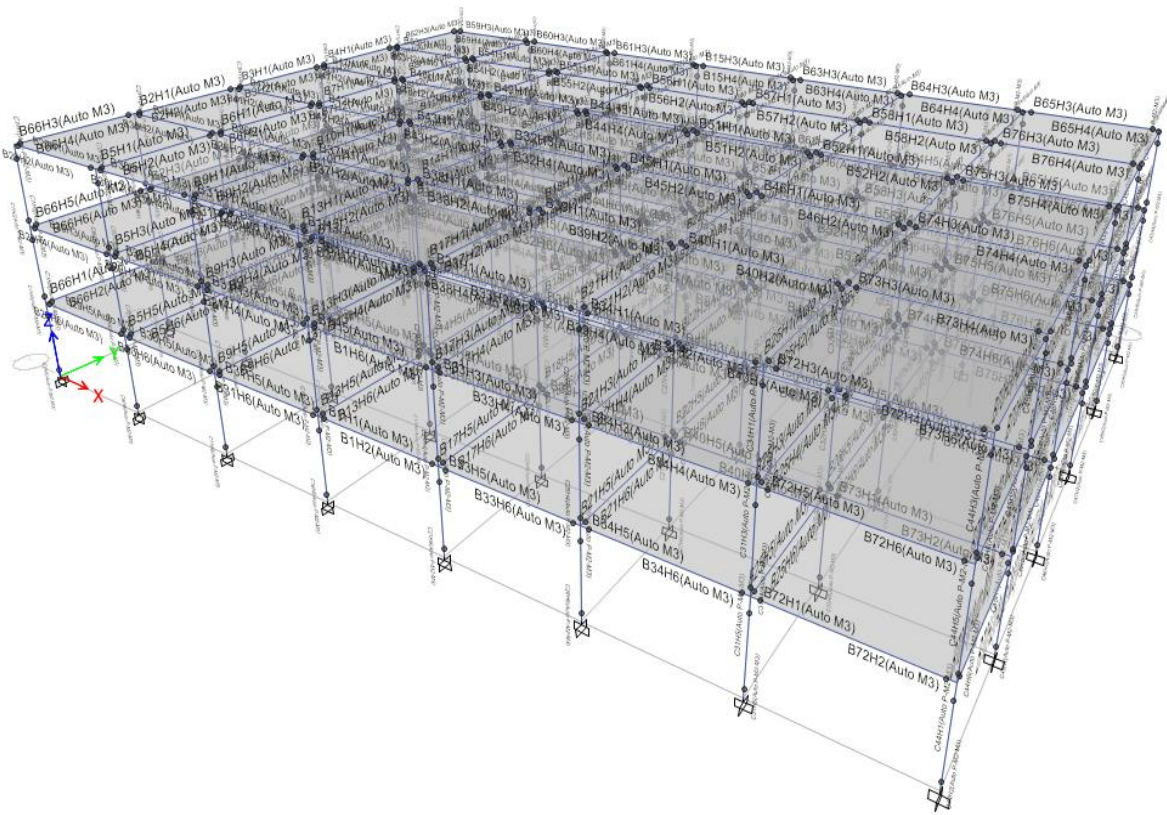
Se estableció un patrón de carga triangular para realizar el pushover, el cual está normalizado en las proporciones del cortante de diseño de piso de la estructura, y se muestra en la tabla 18, estas fuerzas se aplicarán en el centro de masa de la estructura.

**Tabla 18.** Patrón de cargas triangular X-Y

Fuente: Elaboración propia

Patron de cargas triangular X					Patron de cargas triangular Y				
Nivel	VX(Ton)	FX(Ton)	Factor	FpushX(kg)	Nivel	VY(Ton)	FY(Ton)	Factor	FpushY(kg)
N+9.00m	217,6100	217,6100	2,4207	2420,6504	N+9.00m	217,8971	217,8971	2,4430	2443,0476
N+6.00m	404,2584	186,6484	2,0762	2076,2398	N+6.00m	403,8821	185,9850	2,0853	2085,2506
N+3.00m	494,1557	89,8973	1	1000	N+3.00m	493,0728	89,1907	1	1000

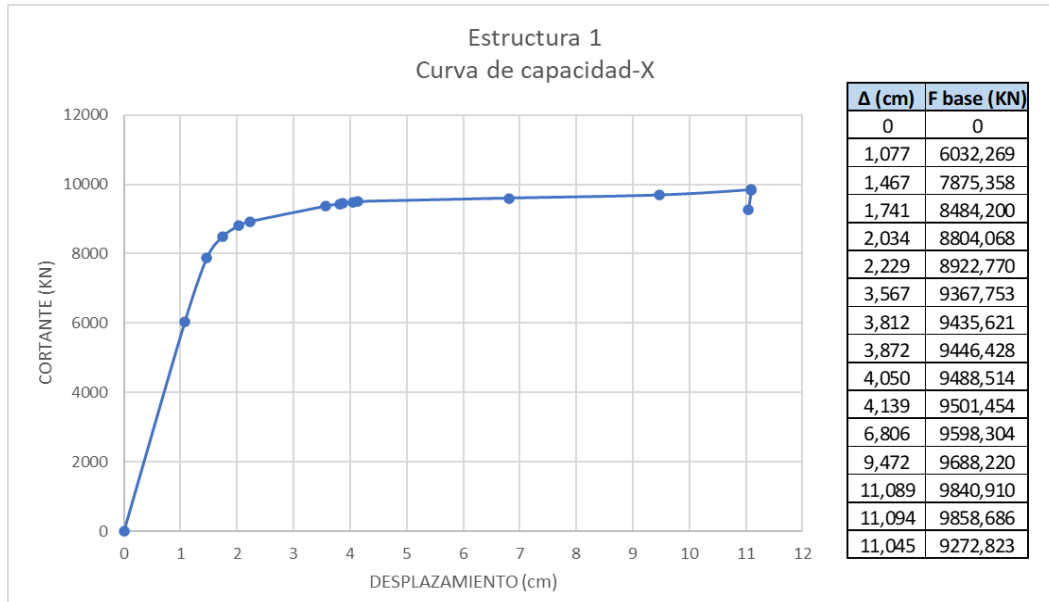
Se asignan las rótulas plásticas a los elementos como muestra la figura 22 de acuerdo con los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.



**Figura 21.** Rótulas plásticas asignadas a la estructura 1

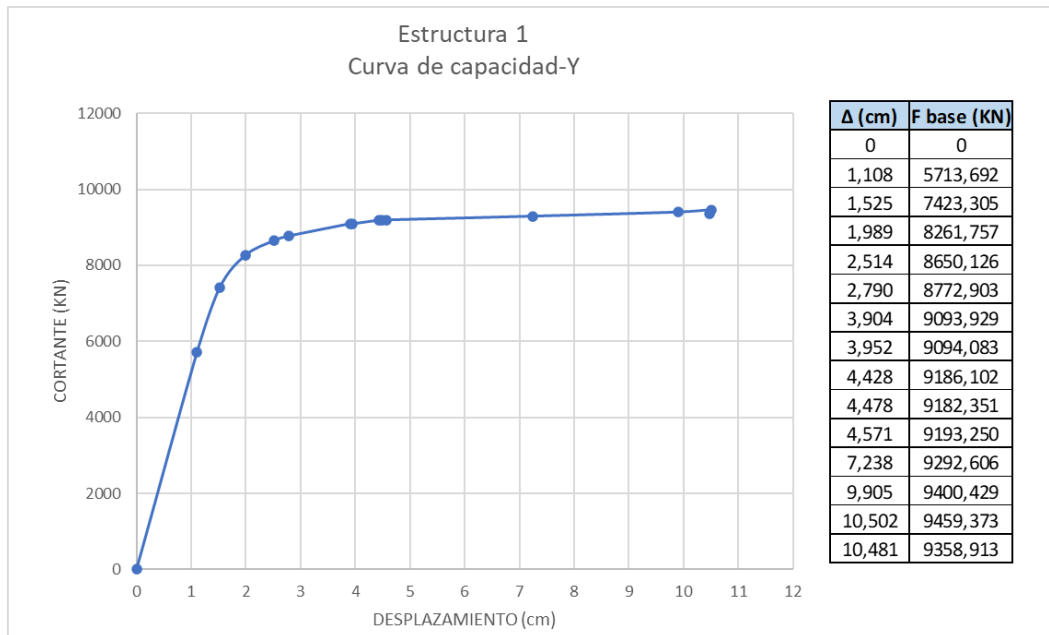
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Después de realizar los cálculos se obtiene la curva de capacidad de la estructura para el sentido X y el sentido Y. La figura 22 presenta la curva de capacidad en X, para el sentido Y se presenta en la figura 23.



**Figura 22.** Curva de capacidad X- estructura 1

Fuente: Elaboración propia



**Figura 23.** Curva de capacidad Y- estructura 1

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.1.5 Evaluación de Desempeño

Del análisis pushover se obtienen el resultado de las rótulas en la estructura a medida que la fuerza y el desplazamiento van incrementando. En la tabla 19 se observa el número de rótulas de la estructura y en qué nivel de aceptabilidad se encuentran para cada intervalo de desplazamiento vs fuerza, basado en los criterios del ASCE 41-13 (Tablas 1 y 2) para los sentidos X y Y.

**Tabla 19.** Rótulas estructura 1 (X-Y)

Fuente: Elaboración propia

Rotulas - X								Rotulas - Y							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total	Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	780	0	0	0	780	0	0	0	780	0	0	0	780
1	1,077	6032,269	780	0	0	0	780	1	1,108	5713,692	780	0	0	0	780
2	1,467	7875,358	780	0	0	0	780	2	1,525	7423,305	780	0	0	0	780
3	1,741	8484,2	780	0	0	0	780	3	1,989	8261,757	780	0	0	0	780
4	2,034	8804,068	780	0	0	0	780	4	2,514	8650,126	780	0	0	0	780
5	2,229	8922,77	779	0	0	1	780	5	2,790	8772,903	780	0	0	0	780
6	3,567	9367,753	779	0	0	1	780	6	3,904	9093,929	780	0	0	0	780
7	3,812	9435,621	779	0	0	1	780	7	3,952	9094,083	780	0	0	0	780
8	3,872	9446,428	779	0	0	1	780	8	4,428	9186,102	780	0	0	0	780
9	4,050	9488,514	778	0	0	2	780	9	4,478	9182,351	780	0	0	0	780
10	4,139	9501,454	778	0	0	2	780	10	4,571	9193,25	780	0	0	0	780
11	6,806	9598,304	730	48	0	2	780	11	7,238	9292,606	719	61	0	0	780
12	9,472	9688,22	564	198	16	2	780	12	9,905	9400,429	572	188	20	0	780
13	11,089	9840,91	516	216	38	10	780	13	10,502	9459,373	547	207	23	3	780
14	11,094	9858,686	516	216	38	10	780	14	10,481	9358,913	547	207	23	3	780
15	11,045	9272,823	515	217	38	10	780								

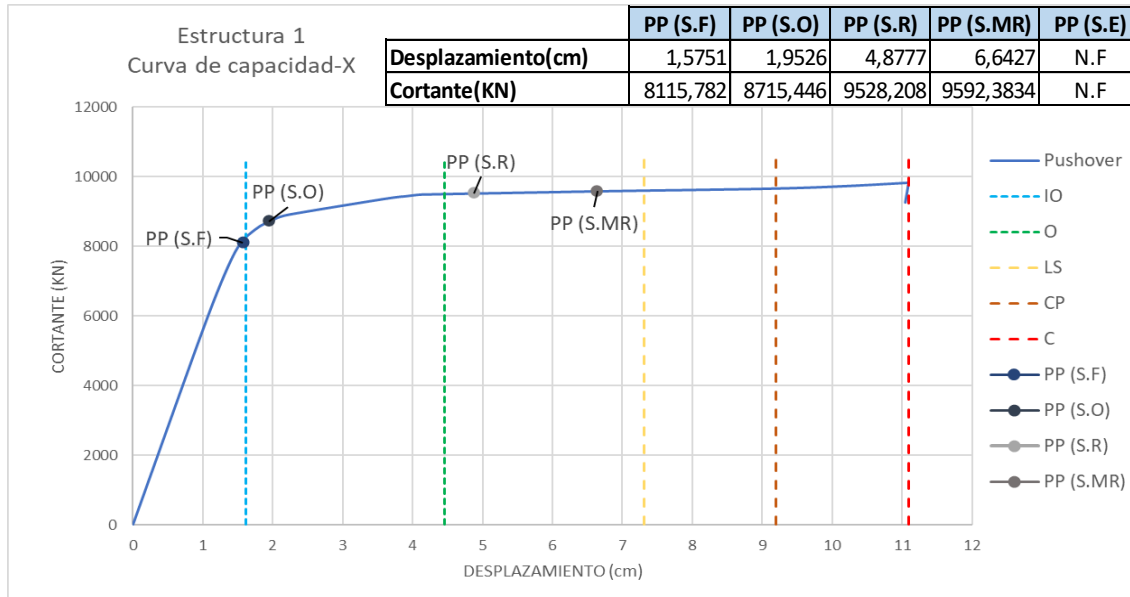
Utilizando la sectorización de la curva de capacidad del VISION 2000 (figura 4) se obtiene los siguientes límites mostrados en la tabla 20 para el sentido X y Y, con estos límites se delimita la curva de capacidad de la estructura.

**Tabla 20.** Límites curva sectorizada estructura 1 X-Y

Fuente: Elaboración propia

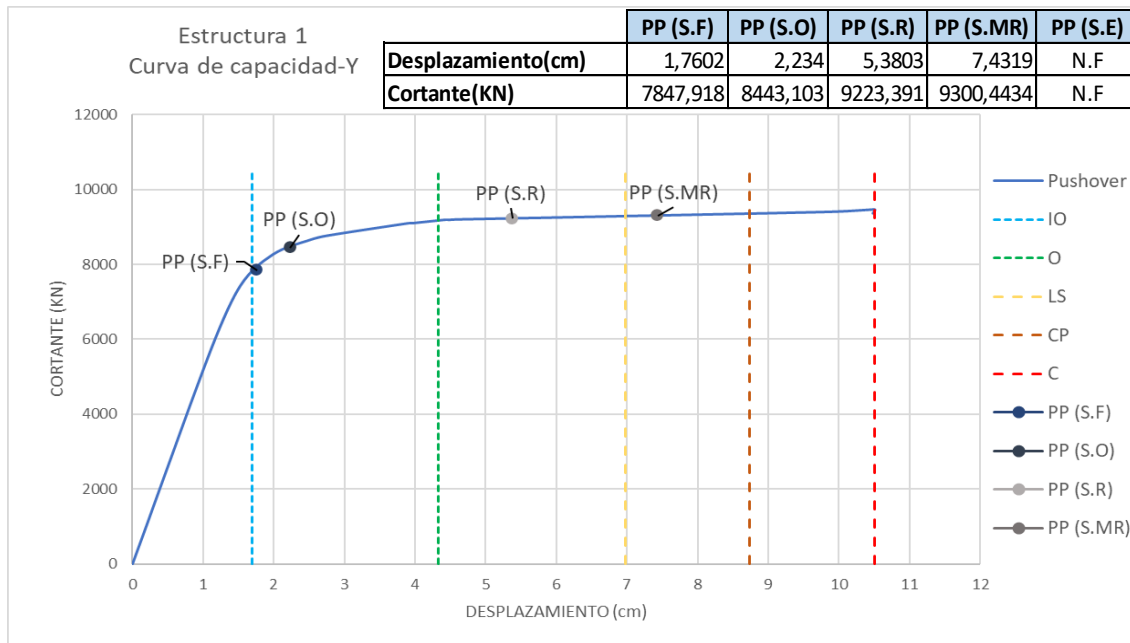
	Límites X	Límites Y
Punto fluencia efectiva (cm)	1,621	1,692
Desplazamiento máximo (cm)	11,094	10,502
$\Delta p$ (cap. Desp. Inelástico) (cm)	9,473	8,810
Niv operacional (cm)	4,463	4,335
Seguridad de vida (cm)	7,305	6,978
Precolapso (cm)	9,200	8,740
Colapso (cm)	11,094	10,502

La figura 24 y 25 presenta las curvas de capacidad delimitadas por los límites de desempeño de la tabla 20, además de mostrar los puntos de desempeño (PP: Performance Point) de los distintos niveles de demandas sísmicas obtenidos. Las figuras 26 a 35 presentan el estado de rotulas y la deformación de la estructura para cada nivel de demanda sísmica.



**Figura 24.** Desempeños estructura 1 (X)

Fuente: Elaboración propia

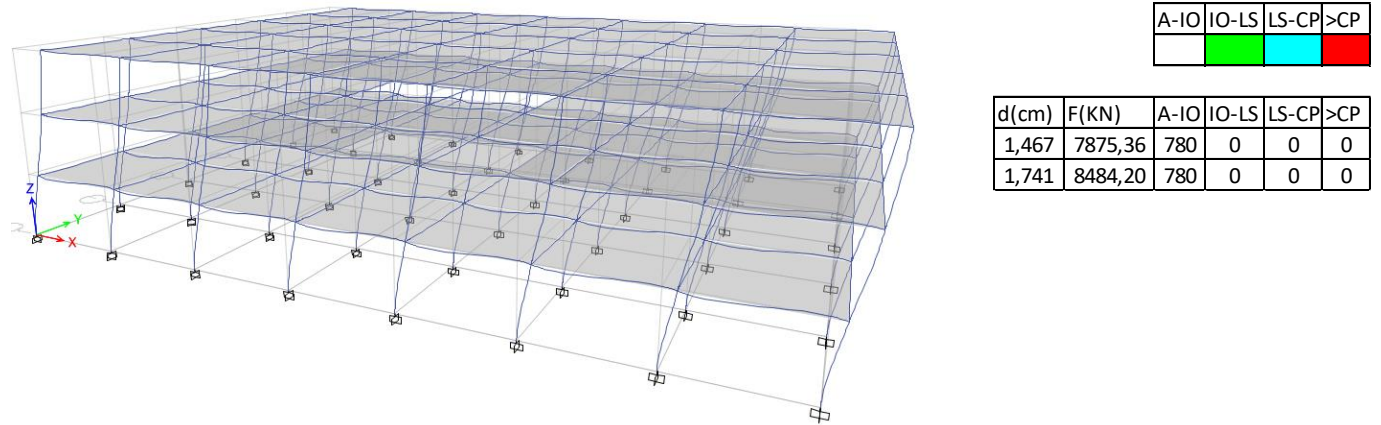


**Figura 25.** Desempeños estructura 1 (Y)

Fuente: Elaboración propia

• **Desempeño Sismo Frecuente**

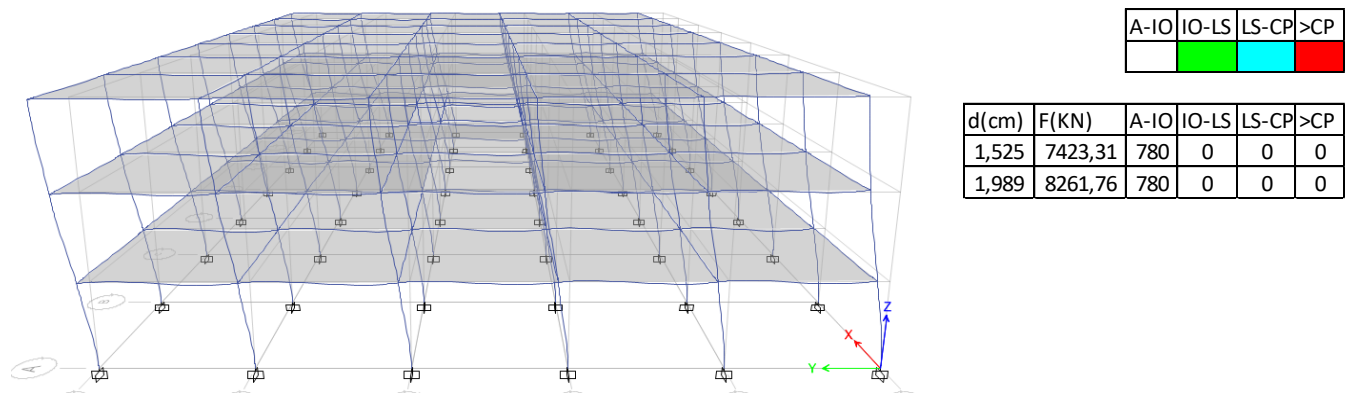
La estructura en sentido X se muestra en un rango elástico para la demanda del sismo frecuente, logrando estar en un nivel de desempeño IO (figura 24). Las rótulas de la estructura se encuentran de igual manera en un rango A-IO (figura 26), cumpliendo con los estándares del VISION 2000.



**Figura 26.** Rótulas S.F estructura 1 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

En sentido Y se observa en la figura 25, que se encuentra sobrepasando por muy poco el límite elástico, colocándose en un nivel de desempeño O, las rótulas se encuentran en un nivel A-IO (figura 27). La estructura, aunque está muy cerca del límite, podría cumplir con los estándares, pero debería permanecer en su estado elástico.

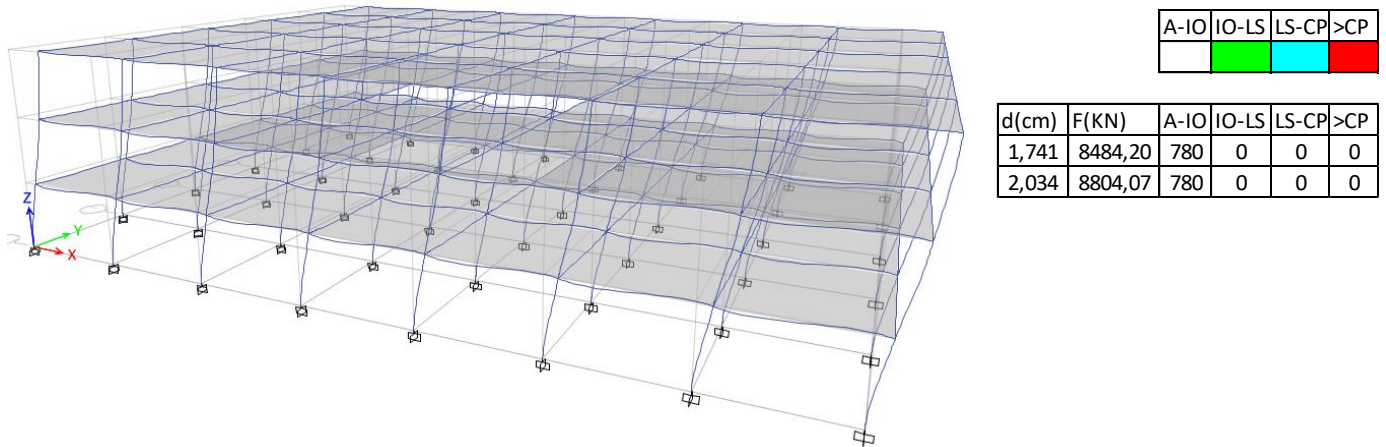


**Figura 27.** Rótulas S.F estructura 1 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Ocasional**

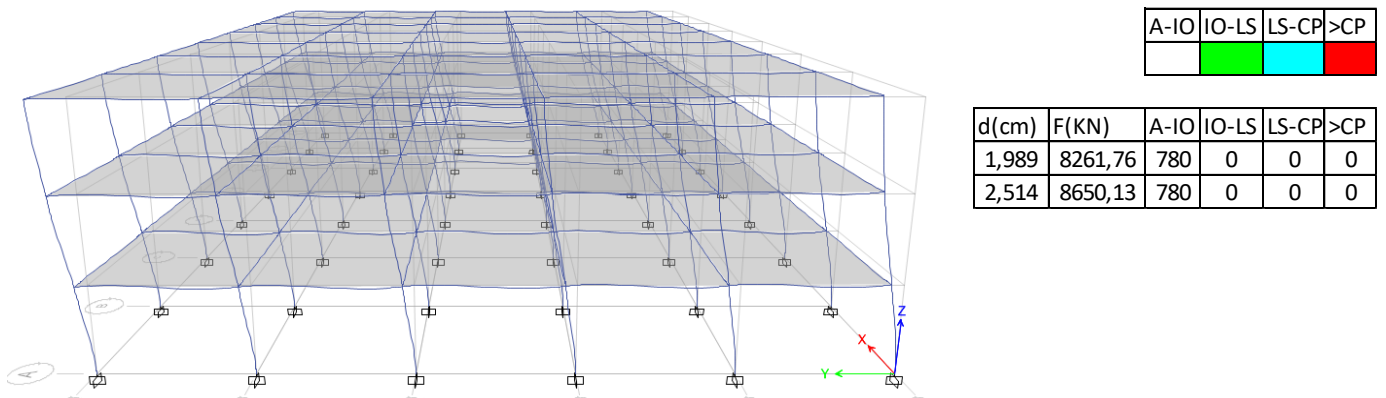
El nivel de desempeño alcanzado de la estructura para el sentido X es O (figura 24), las rótulas se mantienen en un nivel A-IO (figura 28). La estructura tiene un buen comportamiento frente a la demanda, pero debería permanecer en su rango elástico.



**Figura 28.** Rótulas S.O estructura 1 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para el sentido Y se tiene un nivel de desempeño O (figura 25), las rótulas están en un nivel A-IO (figura 29). La estructura cumple con los criterios de aceptación, pero debería estar en su rango elástico para esta demanda.

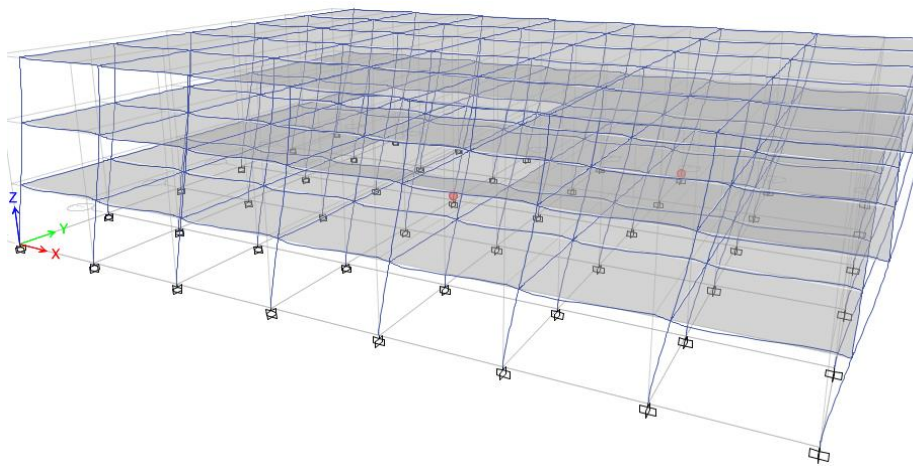


**Figura 29.** Rótulas S.O estructura 1 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Raro**

La estructura frente a esta demanda se encuentra en un nivel de desempeño LS (figura 24), en las rótulas se observa de forma muy localizada un estado >CP (figura 30), por esto la estructura no cumple y debería estar a un nivel O, además debe corregirse este fallo local en las rótulas.



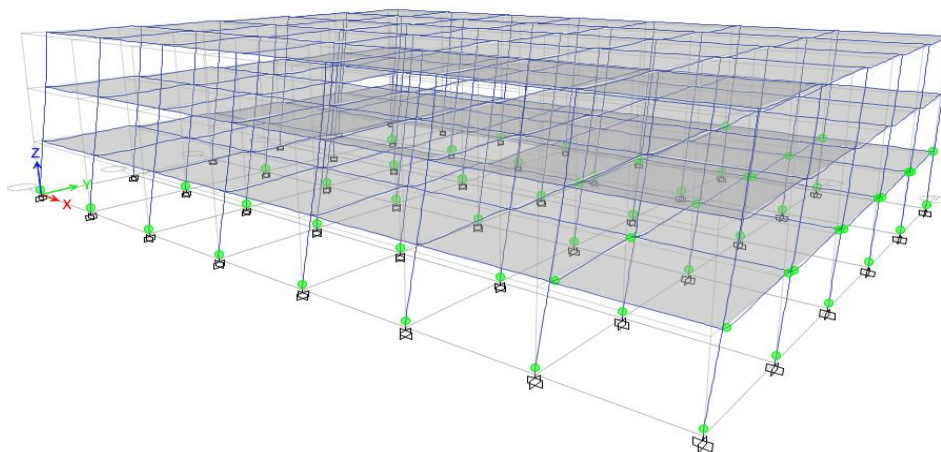
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,139	9501,45	778	0	0	2
6,806	9598,30	730	48	0	2

**Figura 30.** Rótulas S.R estructura 1 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

De igual manera para el sentido Y se encuentra en un nivel LS (figura 25), las rótulas se observan en un nivel IO-LS (figura 31), la estructura tiene que estar en un nivel O para reducir costos de reparación y que no afecte la funcionalidad en este nivel de demanda.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

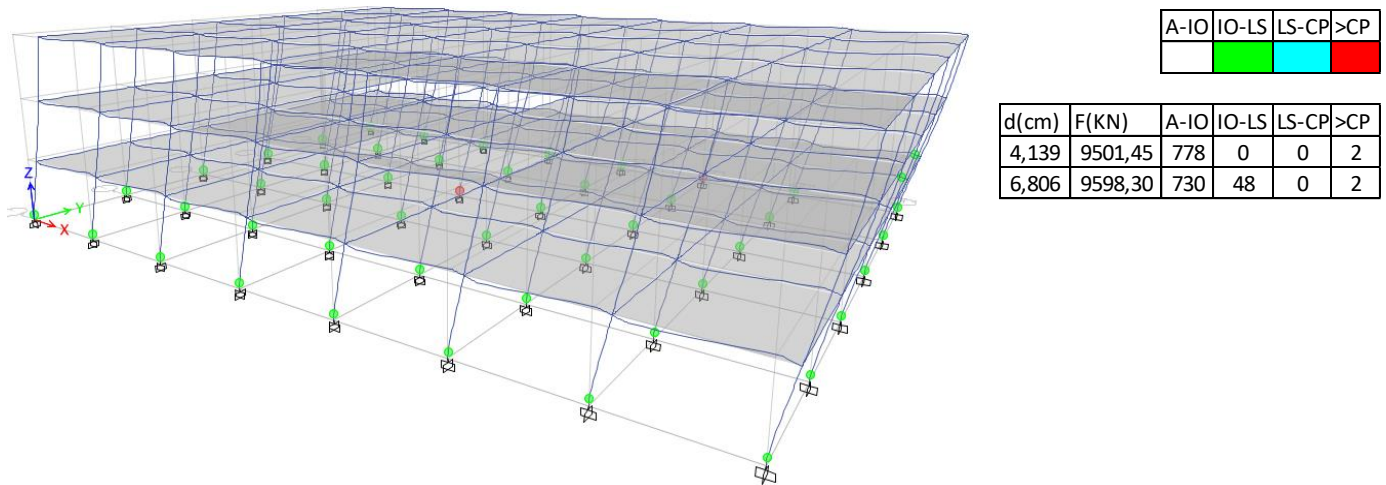
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,571	9193,25	780	0	0	0
7,238	9292,61	719	61	0	0

**Figura 31.** Rótulas S.R estructura 1 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

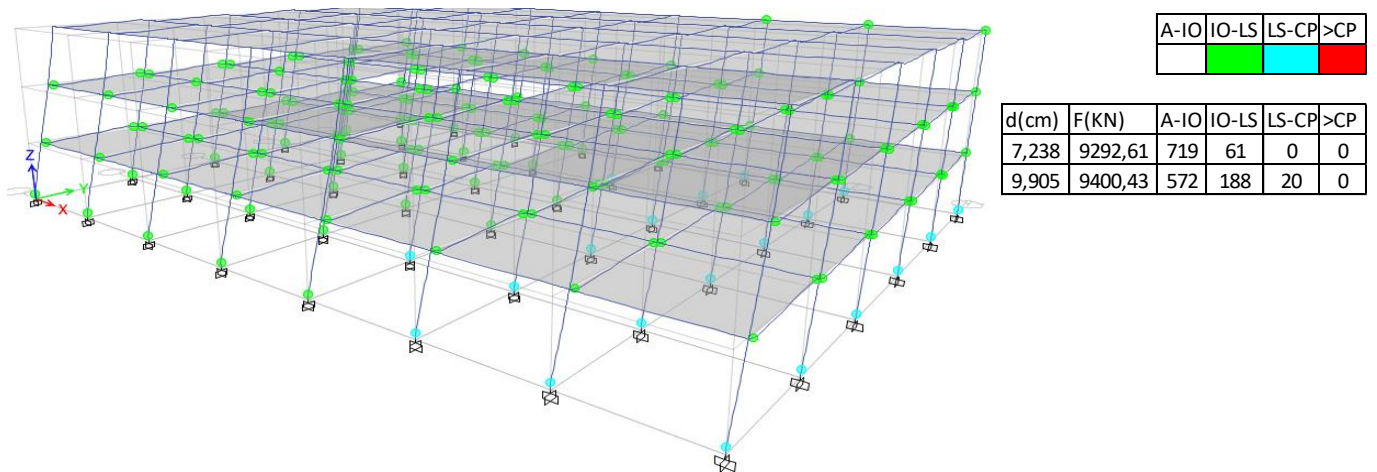
• **Desempeño Sismo Muy Raro**

Para esta demanda la estructura en sentido X se encuentra en un nivel LS (figura 25), la mayoría de rótulas se encuentran en un nivel IO-LS, pero algunas en >CP (figura 32), lo cual se debería corregir para cumplir completamente con el nivel de diseño esperado.



**Figura 32.** Rótulas S.MR estructura 1 (X)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

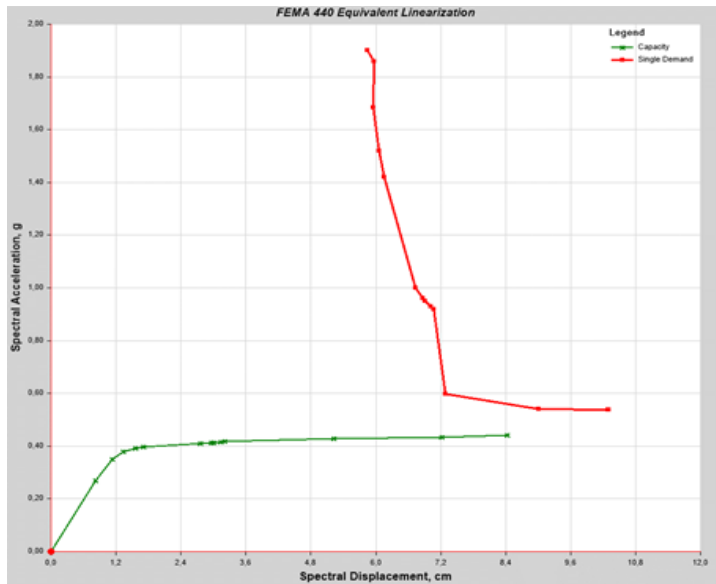
En el sentido Y la estructura ha incursionado bastante en su rango inelástico y se encuentra en un nivel CP (figura 25), las rótulas se encuentran en un nivel IO-LS y algunas en LS-CP (figura 33), la estructura no cumple con los criterios y debería estar en un nivel LS.



**Figura 33.** Rótulas S.MR estructura 1 (Y)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

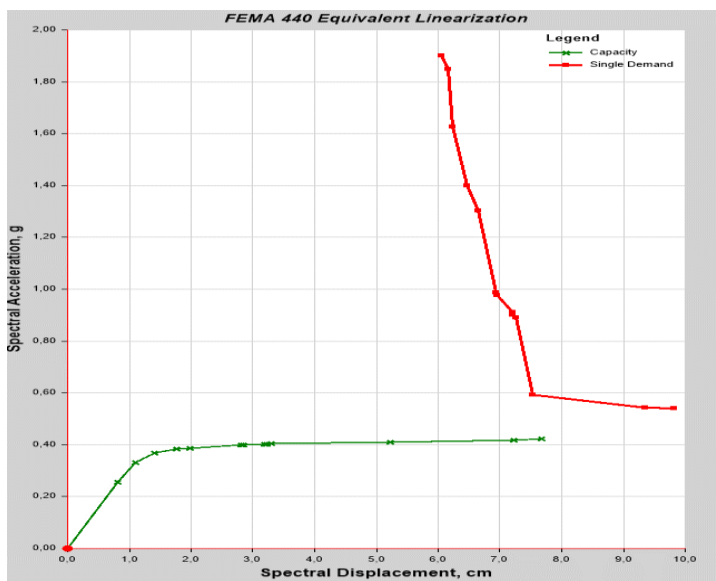
- **Desempeño Sismo Extremo**

La estructura no soporta la demanda exigida por el nivel de sismo extremo para ninguno de los sentidos X o Y, como muestra las figuras 34 Y 35 la curva de demanda no intersecta la curva de capacidad.



**Figura 34.** Desempeño S.E estructura 1 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

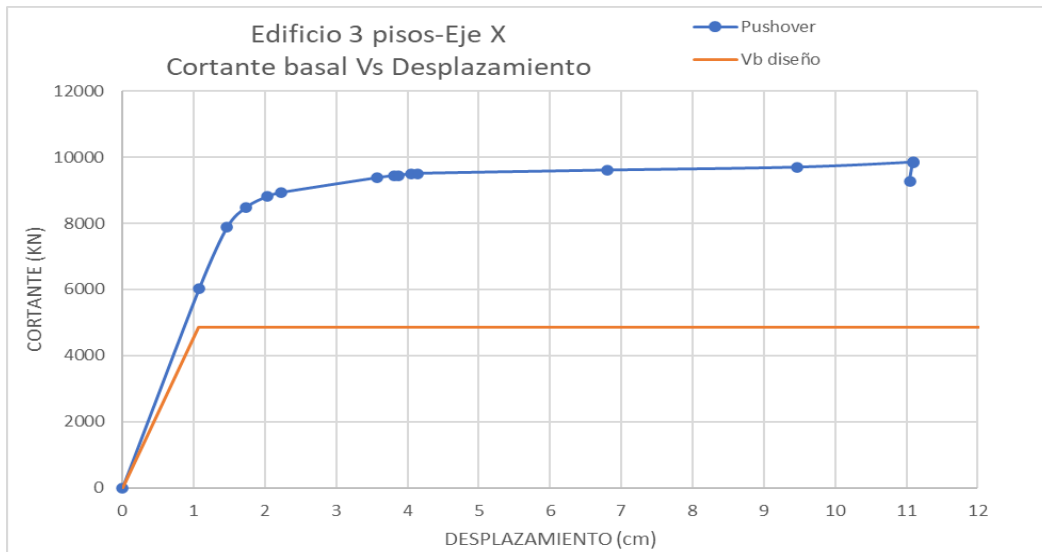


**Figura 35.** desempeño S.E estructura 1 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

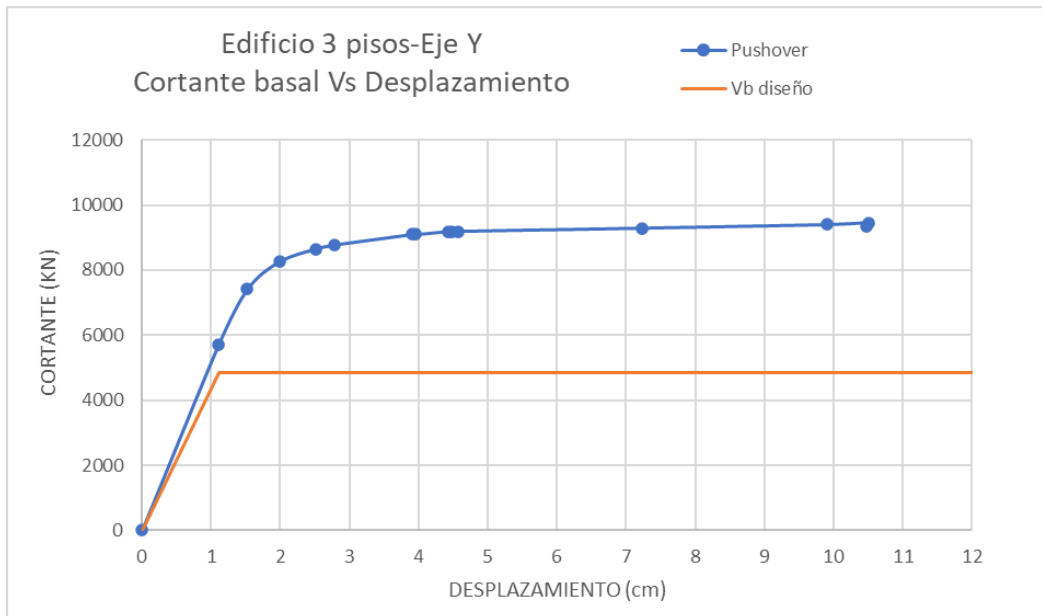
- **Curva de Capacidad vs Cortante de Diseño**

Se compara la curva de capacidad obtenida con el cortante basal de diseño del NSR-10 a la cual es sometida la estructura. Este cortante basal será el cortante dinámico obtenido y si es necesario corregido con el cortante sísmico mínimo de F.H.E exigido por el NSR-10.



**Figura 36.** Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 1 (x)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 37.** Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 1 (y)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 36 y 37 muestran que la estructura 1 tiene una capacidad superior al cortante del diseño del NSR-10, demostrando que es completamente capaz de resistirlo, pero no garantiza el control de daños para las diferentes demandas.

- **Coefficiente R Calculado**

Se calcula  $R_{\mu}$  con las ecuaciones 10,11 y 12 dependiendo del caso,  $R_w$  se obtiene en tabla 9,  $R_{\Omega}$  con la ecuación 13 y el R por la ecuación 8, este R es con base a la cortante de diseño obtenido.

**Tabla 21.** Cálculo de factor R estructura 1

Fuente: Elaboración propia

Factor de ductilidad $R_{\mu x}$	
Desplazamiento cedente (cm)	1,6314
Desplazamiento maximo (cm)	11,0944
$\mu$	6,8005
t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R_{\mu x}$	3,54980

Factor de ductilidad $R_{\mu y}$	
Desplazamiento cedente (cm)	1,6984
Desplazamiento maximo (cm)	10,501765
$\mu$	6,1833
t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R_{\mu y}$	3,37145

Factor de redundancia $R_w x$	
$R_w x$	1

Factor de redundancia $R_w y$	
$R_w y$	1

Factor de sobre resistencia $R_{\Omega x}$	
Vb max(KN)	9858,68616
Vb diseño(KN)	4846,0126
$R_{\Omega x}$	2,03439136

Factor de sobre resistencia $R_{\Omega y}$	
Vb max(KN)	9459,37298
Vb diseño(KN)	4835,3928
$R_{\Omega y}$	1,95627809

Coeficiente de modificacion de respuesta x	
$R_x$	7,2216821

Coeficiente de modificacion de respuesta y	
$R_y$	6,59548846

Los coeficientes R obtenidos fueron muy cercanos al escogido  $R=7$  (tabla 21). en el sentido Y un poco menor debido a que la estructura obtiene una relación de la demanda-capacidad de los elementos verticales alta y no se tiene una gran reserva estructural frente a la demanda, traduciendo en un diseño muy ajustado para el tipo de edificación.

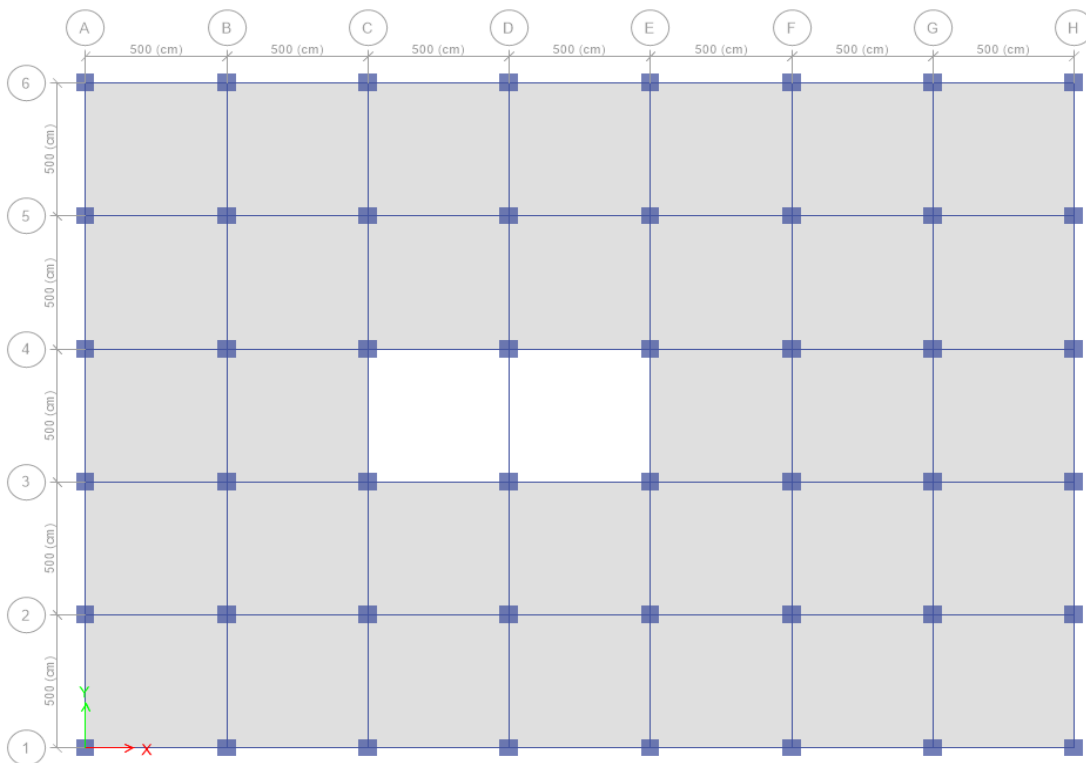
---

## 7.1.2 Estructura de Tres Niveles (Desempeño)- (Estructura 2)

Partiendo de lo obtenido en la estructura 1 se buscó corregir las fallas locales encontradas, reforzar las secciones y rigidizar la estructura donde se requería para mejorar el comportamiento frente a los diferentes niveles de sismo, además se verificó nuevamente que cumpliera con todo lo establecido en el NSR-10.

### 7.1.2.1 Configuración Estructural

Se mejoró la estructura 2 con columnas de sección 65x65, las vigas se mantuvieron de 40x50, se utilizó solo un tipo de columna para uniformizar y facilitar los cálculos, la distribución típica se muestra en la figura 45.



**Figura 38.** Planta estructural (Estructura 2)

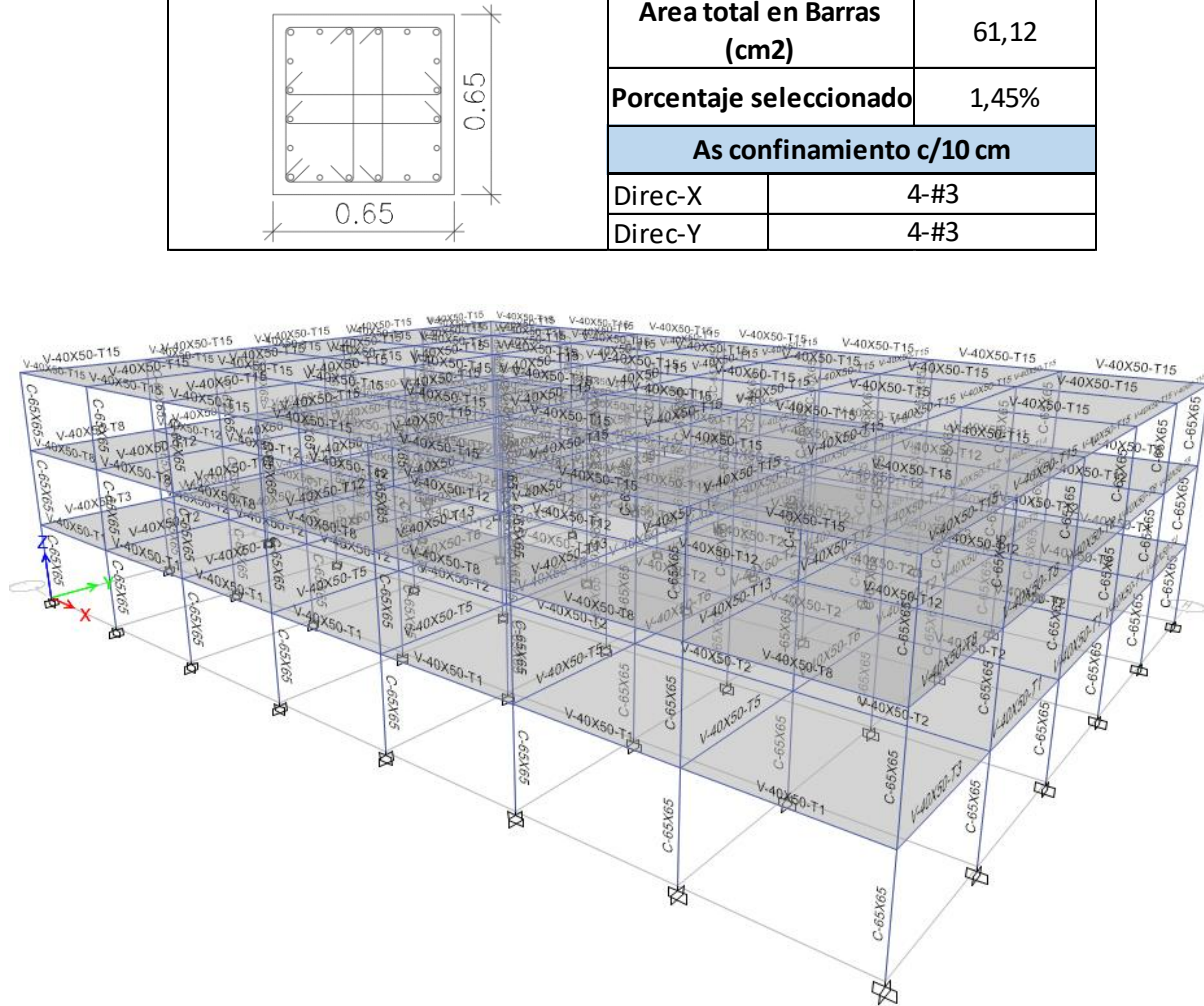
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La configuración de acero de la columna se presenta en la tabla 22, la configuración de acero en vigas se presenta en el anexo 2.

**Tabla 22.** Acero columna 65x65

Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	7/8	15,52
Caras	16	3/4	45,6
Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )			61,12
Porcentaje seleccionado			1,45%
As confinamiento c/10 cm			
Direc-X	4-#3		
Direc-Y	4-#3		



**Figura 39.** Visualización 3D estructura 2

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La demanda/capacidad de los elementos tipo columna principales esta entre 34 al 40%, el listado completo de las columnas se presenta en el anexo 8.

### 7.1.2.2 Resumen Análisis Dinámico

Peso propio estructura considerado:

- Carga muerta (CM) = 19021.8012 KN

-Sobrecarga muerta (SCM)= 7690 KN

-Carga viva (CV) =8750 KN (se considera un 25% para el peso total)

-Peso total = 28899.3012 KN

Los modos fundamentales con su periodo y % de participación de masa se presenta en la tabla 23.

**Tabla 23.** Modos fundamentales estructura 2

Fuente: Elaboración propia

MODO	T(s)	% Participacion de masa			Direc	Aceleraciones espectrales	
		Ux	Uy	Rz		Adg(elast)	adg(elast red)
1	0,291		0,8263	0	y	1,5	0,214285714
2	0,286	0,8286	0	0	x	1,5	0,214285714
3	0,264	0	0	0,8283	tor		

El cortante basal de diseño será:

$V_{bx} = 4954.16592$  KN

$V_{by} = 4954.16592$  KN

### 7.1.2.3 Derivas

Las derivas obtenidas del análisis se presentan en la tabla 24, el límite según el NSR-10 es del 1%.

Las derivas en ambas direcciones cumplen con el 1%.

**Tabla 24.** Derivas X-Y

Fuente: Elaboración propia

Nivel	X		Y	
	X-deriva	Estado	Y-deriva	Estado
N+9.00m	0,00529	OK	0,005571	OK
N+6.00m	0,007024	Ok	0,007314	Ok
N+3.00m	0,004538	OK	0,004681	OK

### 7.1.2.4 Análisis no Lineal

El patrón de carga triangular se presenta en la tabla 25, estas fuerzas están aplicadas en los centros de masas de la estructura.

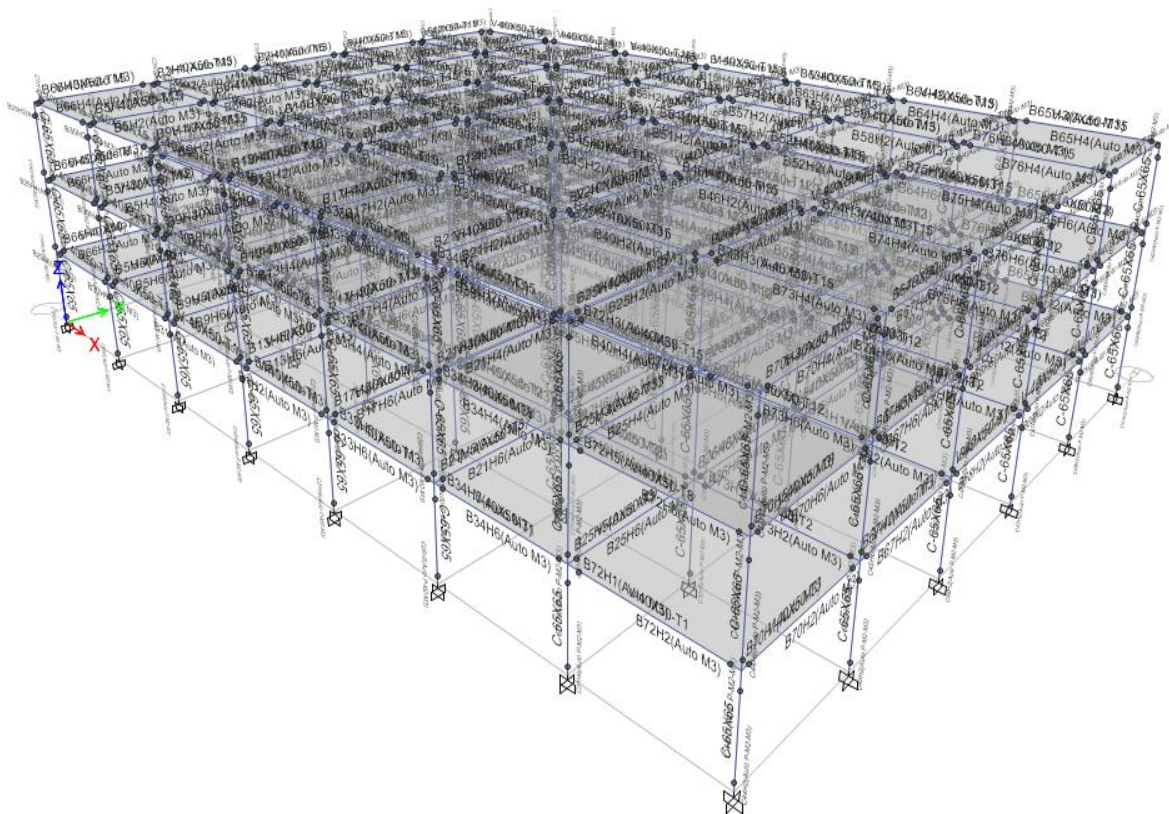
**Tabla 25.** Patrón de cargas triangular X-Y

Fuente: Elaboración propia

Patron de cargas triangular X				
Nivel	VX(Ton)	FX(Ton)	Factor	FpushX(kg)
N+9.00m	230,9439	230,9439	2,7693	2769,3340
N+6.00m	415,6274	184,6835	2,2146	2214,6084
N+3.00m	499,0207	83,3933	1	1000

Patron de cargas triangular Y				
Nivel	VY(Ton)	FY(Ton)	Factor	FpushY(kg)
N+9.00m	231,2247	231,2247	2,7929	2792,8657
N+6.00m	415,0576	183,8329	2,2204	2220,4401
N+3.00m	497,8488	82,7912	1	1000

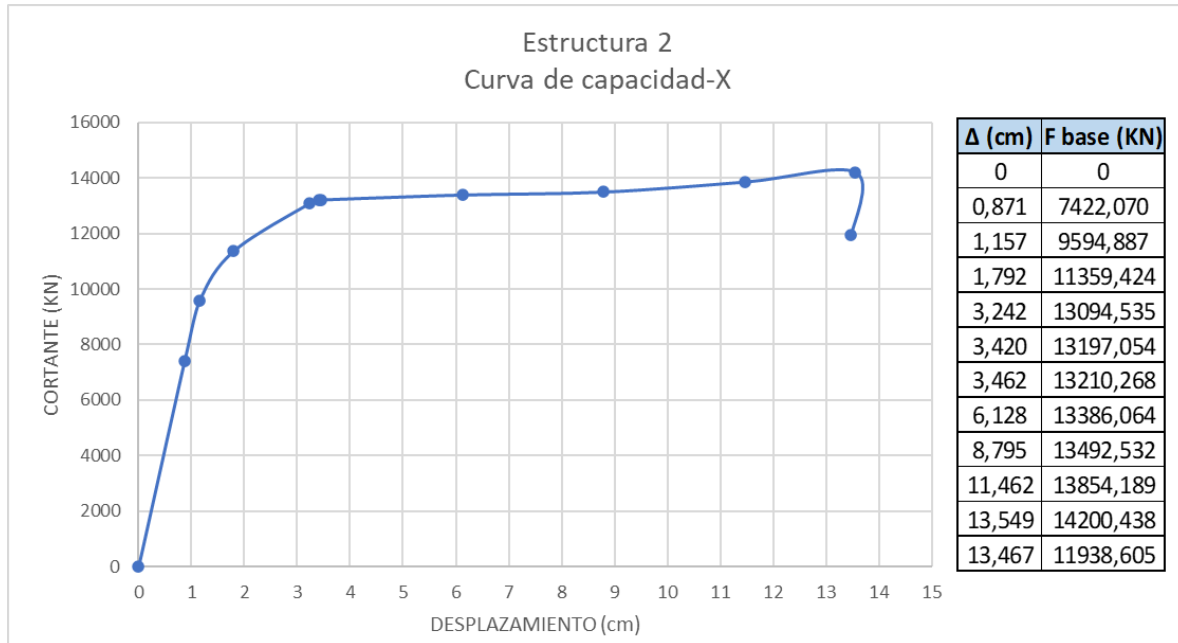
Se asignan las rótulas plásticas a los elementos como muestra la figura 40 de acuerdo con los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.



**Figura 40.** Rótulas plásticas asignadas a la estructura 2

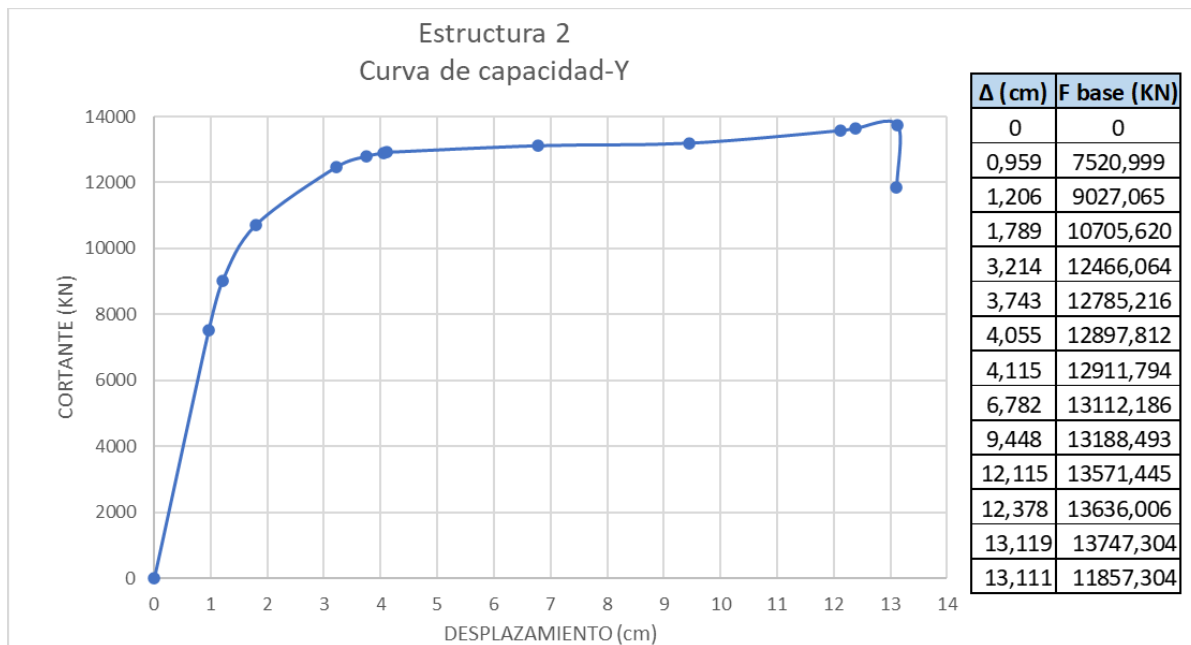
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Las curvas de capacidad obtenidas en el análisis pushover se presenta para el sentido X en la figura 41, para el sentido Y se presenta en la figura 42.



**Figura 41.** Curva de capacidad X- estructura 2

Fuente: Elaboración propia



**Figura 42.** Curva de capacidad Y -estructura 2

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2.5 Evaluación de Desempeño

Se presentan el resultado de las rótulas del análisis pushover en la tabla 26 para el sentido X y para el sentido Y. se observa el número de rótulas de la estructura y en qué nivel de aceptabilidad se encuentran para cada intervalo de desplazamiento vs fuerza, basado en los criterios del ASCE 41-13 (Tablas 1 y 2).

**Tabla 26.** Rótulas estructura 2 X-Y

Fuente: Elaboración propia

Rotulas - X								Rotulas - Y							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total	Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	780	0	0	0	780	0	0	0	780	0	0	0	780
1	0,8712	7422,07	780	0	0	0	780	1	0,9594	7520,999	780	0	0	0	780
2	1,157	9594,887	780	0	0	0	780	2	1,2058	9027,065	780	0	0	0	780
3	1,7922	11359,42	780	0	0	0	780	3	1,7889	10705,62	780	0	0	0	780
4	3,2421	13094,53	780	0	0	0	780	4	3,214	12466,06	780	0	0	0	780
5	3,4199	13197,05	780	0	0	0	780	5	3,7426	12785,22	780	0	0	0	780
6	3,4617	13210,27	780	0	0	0	780	6	4,0549	12897,81	780	0	0	0	780
7	6,1284	13386,06	780	0	0	0	780	7	4,1149	12911,79	780	0	0	0	780
8	8,7951	13492,53	480	297	0	3	780	8	6,7816	13112,19	764	15	0	1	780
9	11,4617	13854,19	480	297	0	3	780	9	9,4482	13188,49	506	273	0	1	780
10	13,5492	14200,44	480	252	42	6	780	10	12,1149	13571,44	492	271	16	1	780
11	13,4667	11938,61	480	252	31	17	780	11	12,3778	13636,01	492	269	18	1	780
								12	13,1189	13747,3	492	257	26	5	780
								13	13,1105	11857,3	492	256	22	10	780

Utilizando la sectorización de la curva de capacidad del VISION 2000 (figura 4), se obtienen los siguientes limites mostrados en la tabla 27 para el sentido X y para el sentido Y.

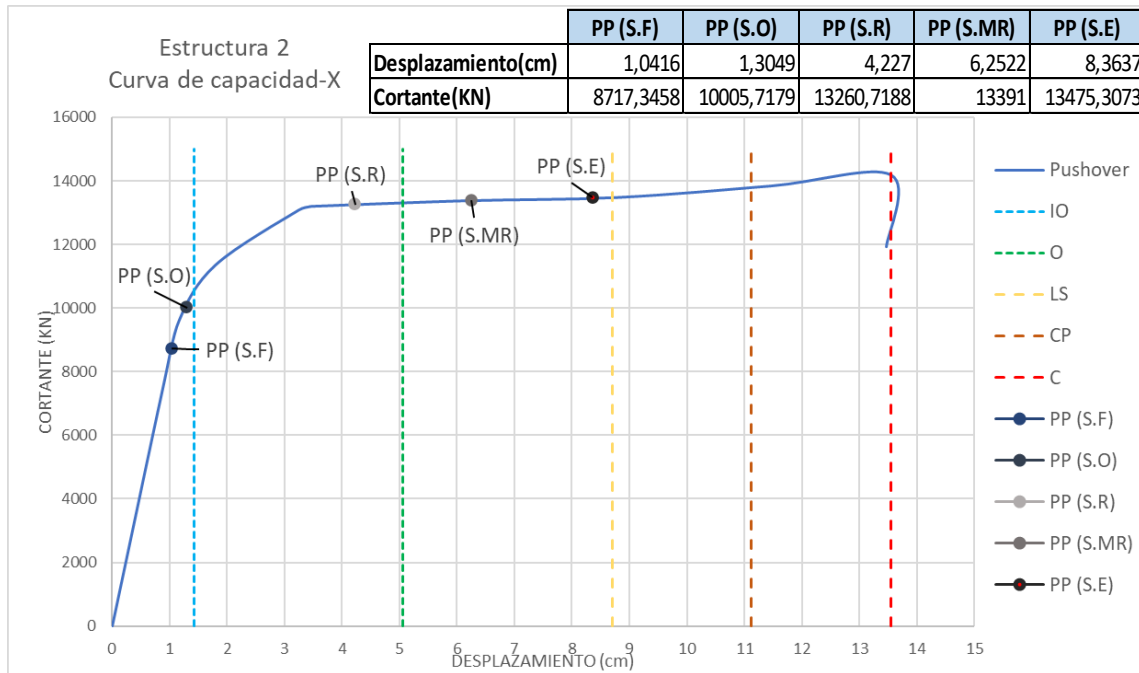
**Tabla 27.** Limites curva sectorizada estructura 2 X-Y

Fuente: Elaboración propia

	Limites X	Limites Y
Punto fluencia efectiva (cm)	1,426	1,496
Desplazamiento maximo (cm)	13,549	13,119
$\Delta p$ (cap. Desp. Inelastico) (cm)	12,123	11,623
Niv operacional (cm)	5,063	4,983
Seguridad de vida (cm)	8,700	8,470
Precolapso (cm)	11,125	10,794
Colapso (cm)	13,549	13,119

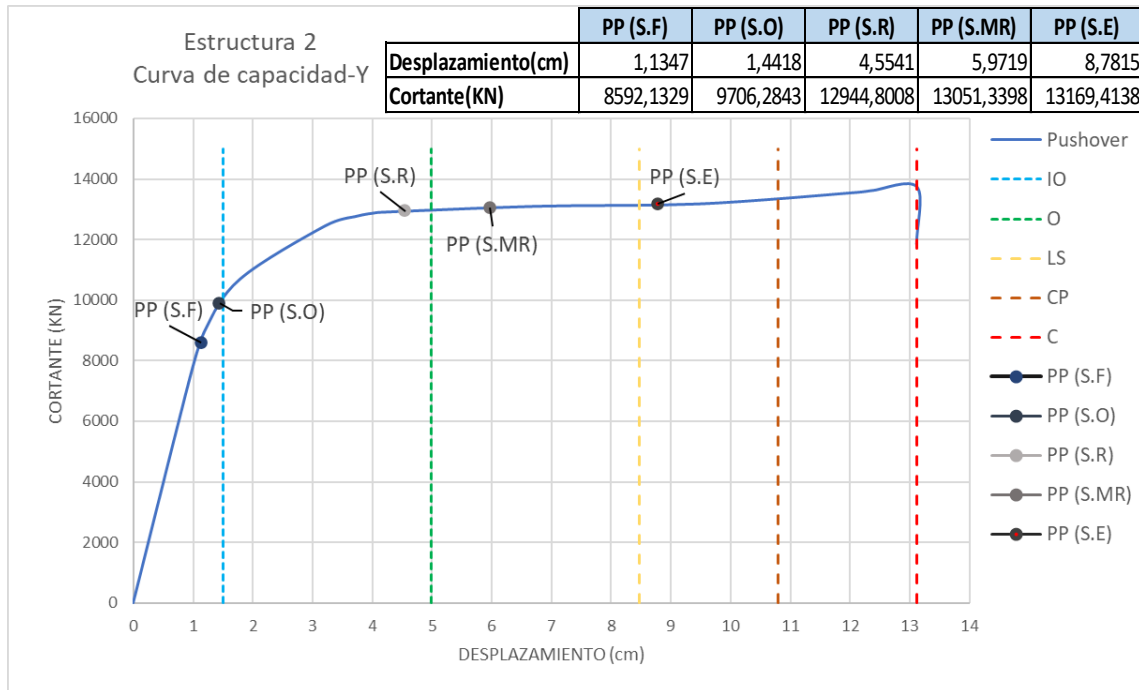
La figura 43 y 44 presenta las curvas de capacidad delimitadas por los límites de desempeño de la tabla 27, además de mostrar los puntos de desempeño (PP: Performance Point) de los distintos

niveles de demandas sísmicas obtenidos. Las figuras 45 a 54 presentan el estado de rotulas y la deformación de la estructura para cada nivel de demanda sísmica.



**Figura 43.** Desempeños estructura 2 (X)

Fuente: Elaboración propia

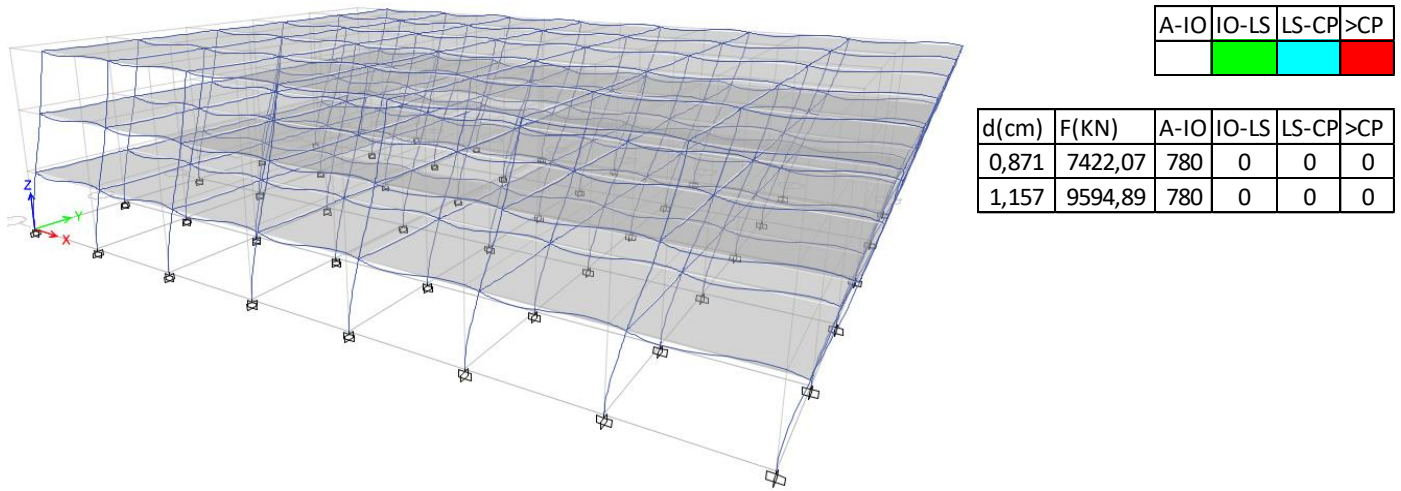


**Figura 44.** Desempeños estructura 2 (Y)

Fuente: Elaboración propia

• **Desempeño Sismo Frecuente**

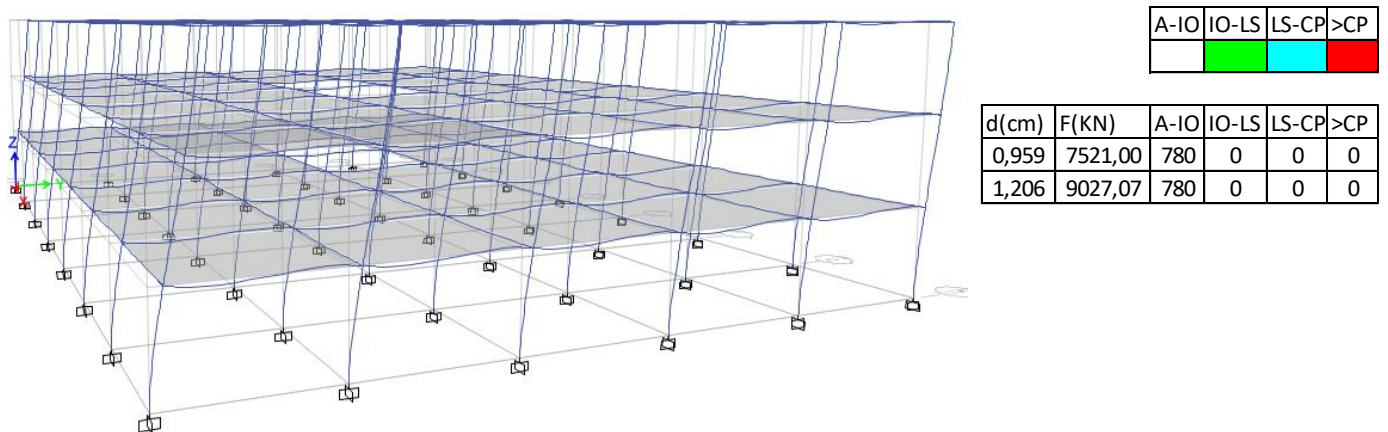
La figura 43 muestra que la estructura en sentido X está en su rango elástico, obteniendo un nivel de desempeño IO, las rótulas para esta demanda se encuentran en un rango A-IO (figura 45), cumpliendo completamente con los requerimientos.



**Figura 45.** Rótulas S.F estructura 2 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

El nivel de desempeño alcanzado en el sentido Y es IO (figura 44), la estructura se encuentra en su rango elástico, las rótulas mantienen un nivel A-IO (figura 46), por lo cual cumple lo que se requiere.

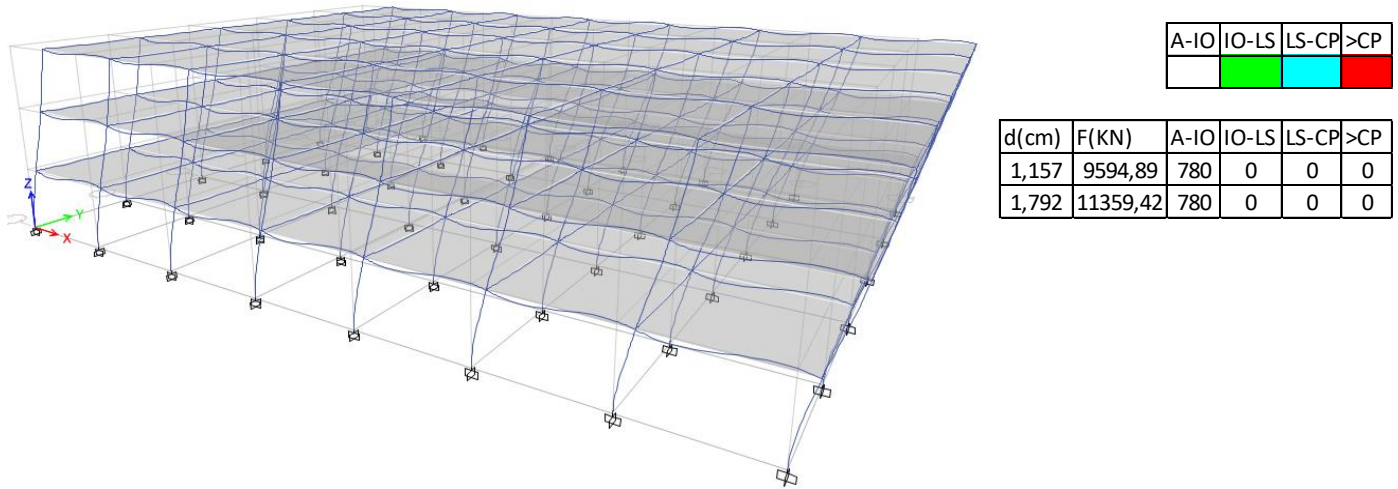


**Figura 46.** Rótulas S.F estructura 2 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Ocasional**

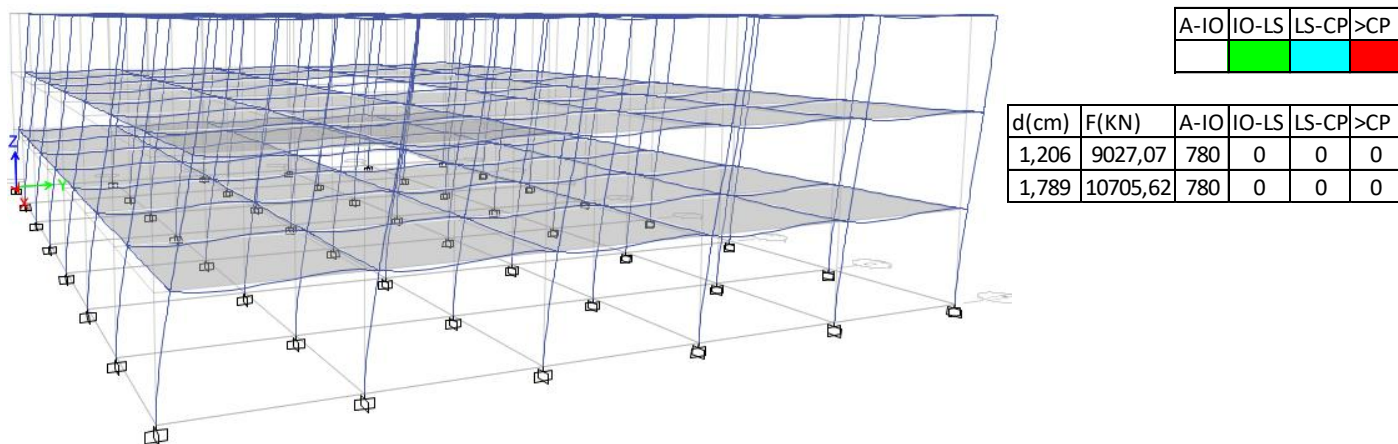
La estructura se mantiene en el rango elástico en esta demanda para el sentido X, su nivel de desempeño es IO (figura 43), las rótulas están en un rango A-IO (figura 47), cumpliendo con los criterios de aceptación.



**Figura 47.** Rótulas S.O estructura 2 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Al igual que en el sentido X, la estructura logra mantenerse en el rango lineal con un nivel de desempeño IO (figura 44), las rótulas están en un rango A-IO (figura 48). La estructura cumple con los criterios de aceptación.

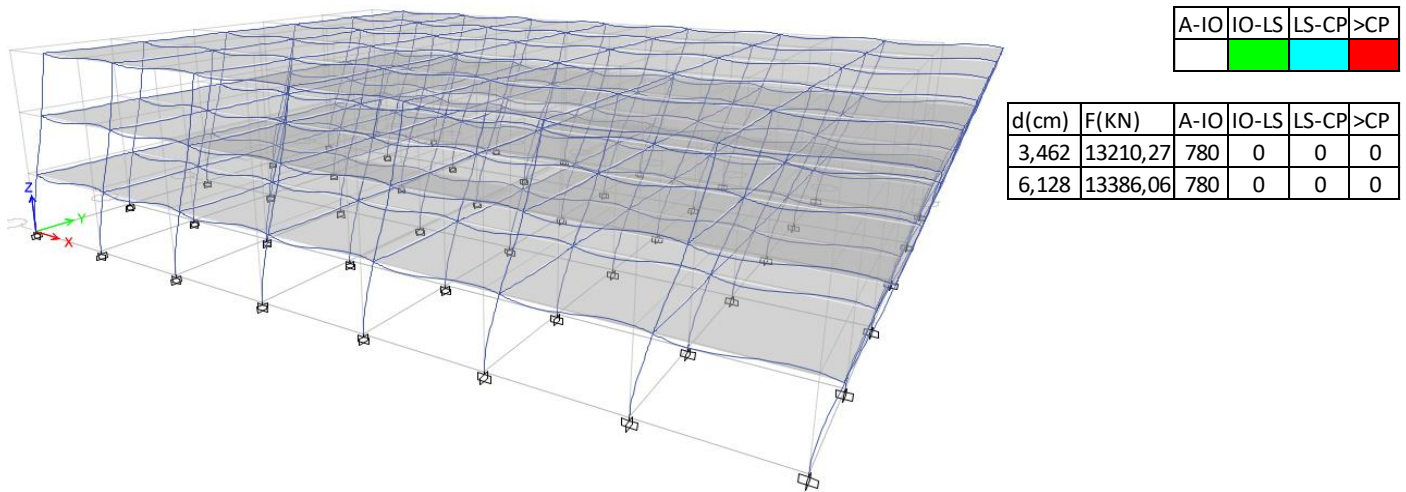


**Figura 48.** Rótulas S.O estructura 2 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Raro**

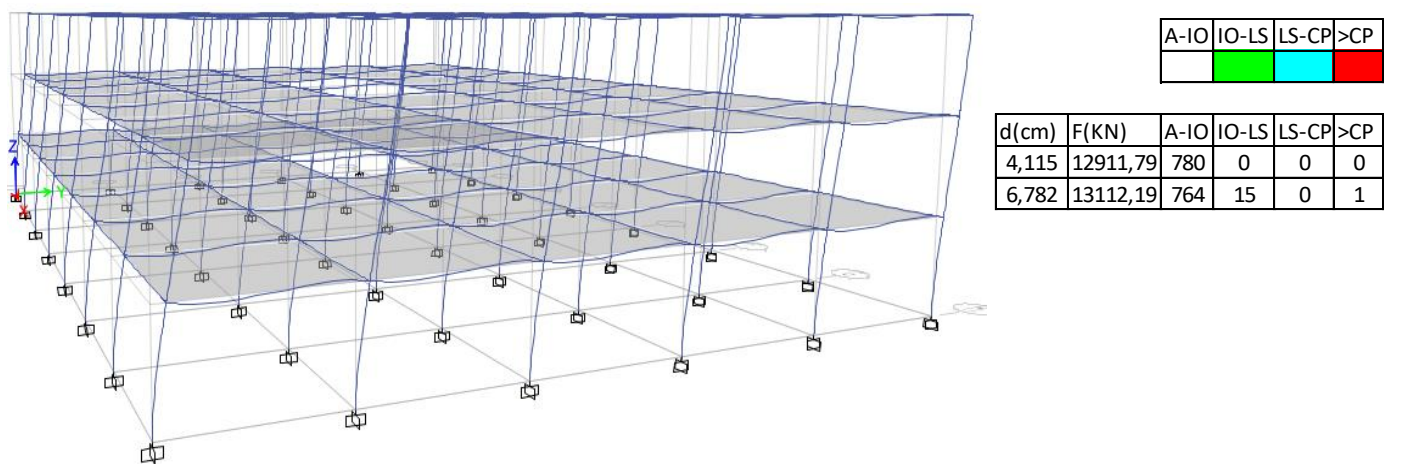
La estructura obtiene un nivel de desempeño O para el sentido X (Figura 43), las rótulas se observan aun en un nivel A-IO (figura 49), para este nivel de demanda sísmica cumple con los requerimientos.



**Figura 49.** Rótulas S.R estructura 2 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para el sentido Y se obtiene un nivel de desempeño O (figura 44), las rótulas están a un nivel A-IO (Figura 50). La estructura logra un gran comportamiento para este nivel de demanda, cumpliendo con los requerimientos.

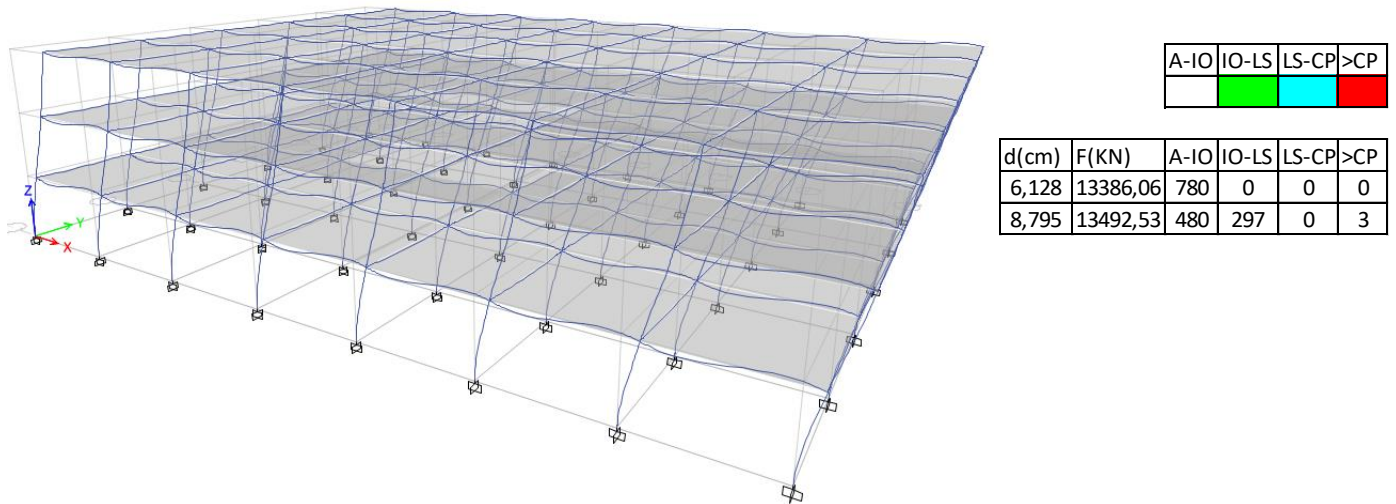


**Figura 50.** Rótulas S.R estructura 2 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Muy Raro**

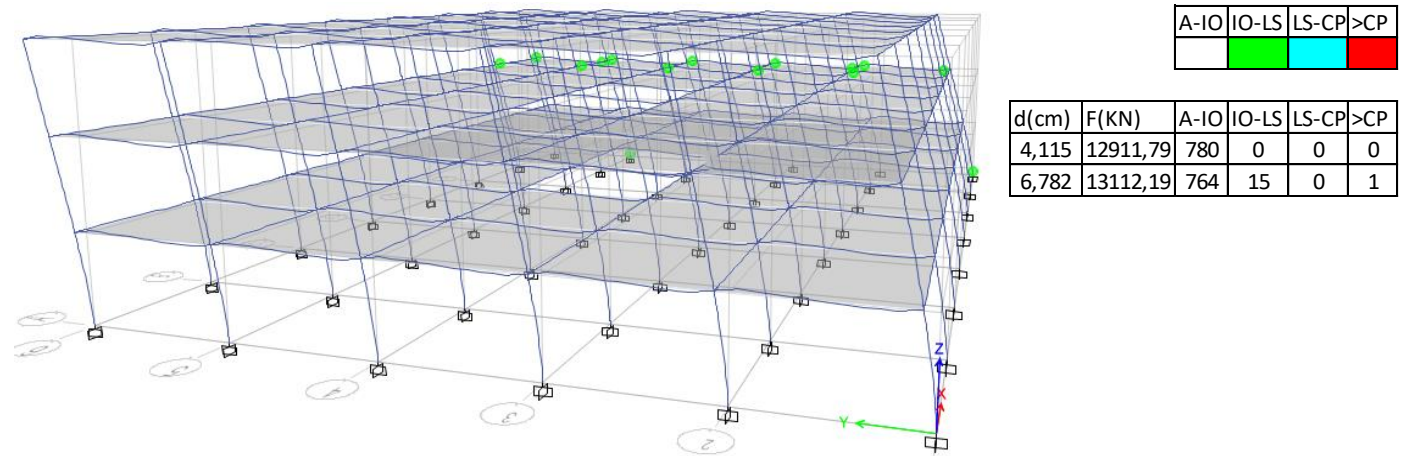
La estructura en sentido X se encuentra en un nivel de desempeño LS (Figura 43), las rótulas para esta demanda se mantienen a un rango A-IO (figura 51). Para esta demanda la estructura muestra un gran comportamiento cumpliendo con todos los requerimientos.



**Figura 51.** Rótulas S.MR estructura 2 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura obtiene un nivel de desempeño LS para el sentido Y (figura 44), las rótulas se observan la mayoría en un rango A-IO y algunas ya en rango IO-LS (figura 52). Se cumple con los criterios de aceptación y se obtiene un buen comportamiento frente a la demanda.

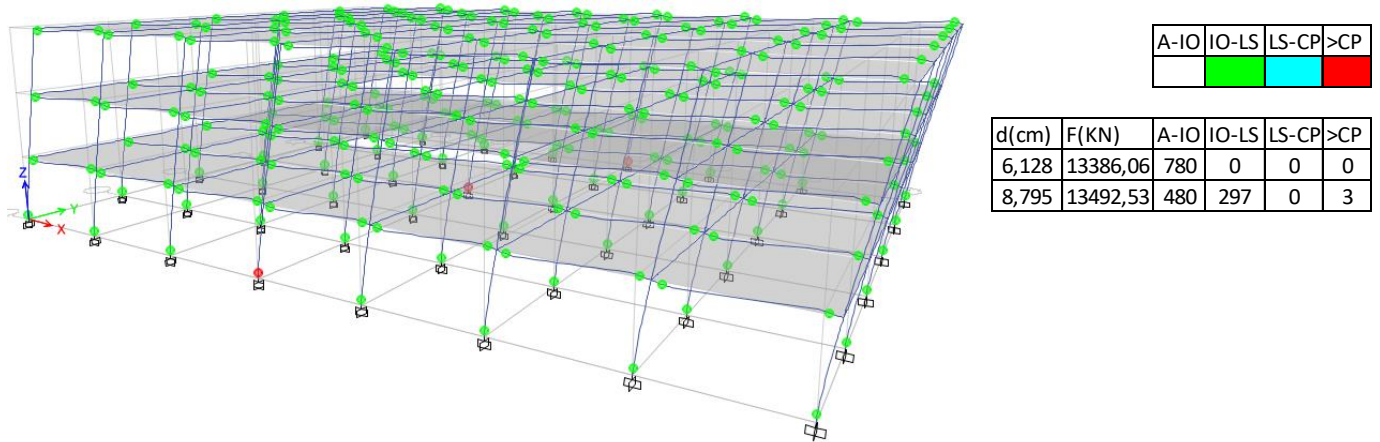


**Figura 52.** Rótulas S.MR estructura 2 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Extremo**

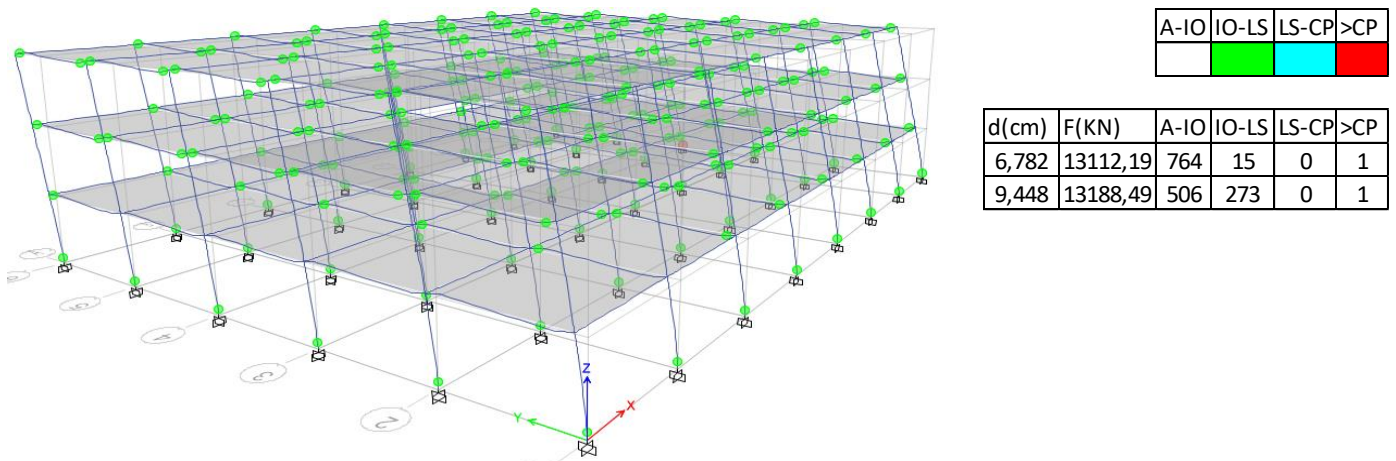
La estructura 2 logra resistir la demanda del sismo extremo manteniendo un nivel de desempeño LS, muy cerca del límite (figura 43), las rótulas en su gran mayoría están en un rango IO-LS con unas cuantas rótulas en rango >CP (figura 53), para lo cual es un comportamiento completamente aceptable cumpliendo con lo requerido.



**Figura 53.** Rótulas S.E estructura 2 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para la demanda del sismo extremo en sentido Y la estructura logra resistirla y llegando a un nivel de desempeño CP (figura 44), las rótulas se observan en rango IO-LS y una rotula llegando al rango >CP (figura 54). El comportamiento de la estructura cumple con los criterios establecidos.

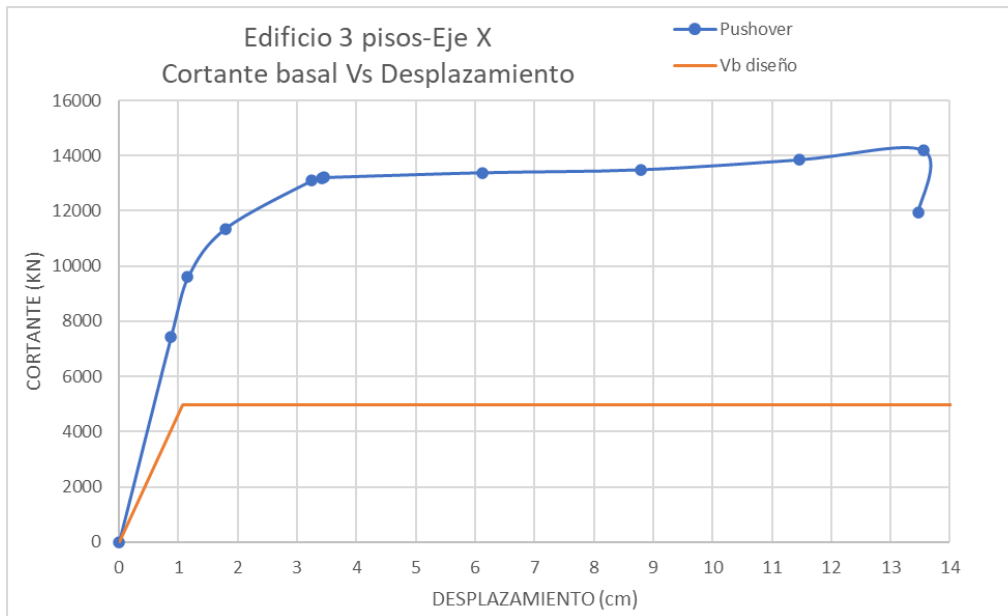


**Figura 54.** Rótulas S.E estructura 2 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

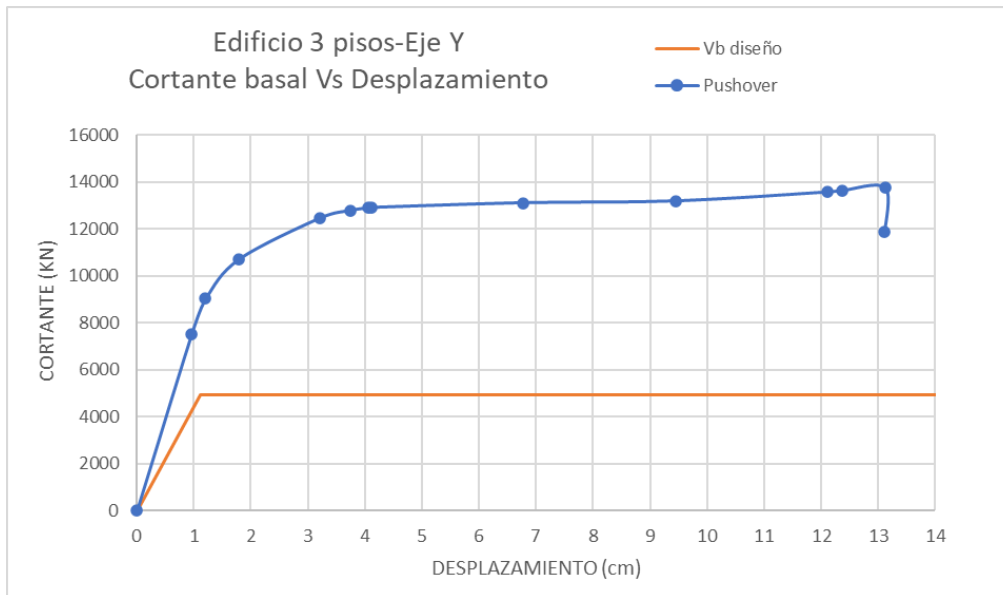
- **Curva de Capacidad vs Cortante de Diseño**

Se compara la curva de capacidad obtenida con el cortante basal de diseño del NSR-10 a la cual es sometida la estructura. Este cortante basal será el cortante dinámico obtenido y si es necesario corregido con el cortante sísmico mínimo de F.H.E exigido por el NSR-10.



**Figura 55.** Curva de capacidad vs Vb diseño-estructura 2 (x)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 56.** Curva de capacidad vs Vb diseño-estructura 2 (y)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 55 y 56 muestran que la estructura 2 tiene una capacidad muy superior al cortante del diseño del NSR-10, resistiendo sin problemas esta demanda.

- **Coefficiente R Calculado**

Se calcula  $R\mu$  con las ecuaciones 10,11 y 12 dependiendo del caso,  $R_w$  se obtiene en tabla 9,  $R\Omega$  con la ecuación 13 y el R por la ecuación 8, este R es en base a la cortante de diseño obtenido.

**Tabla 28.** Cálculo de factor R estructura 2

Fuente: Elaboración propia

Factor de ductilidad $R\mu x$		Factor de ductilidad $R\mu y$	
Desplazamiento cedente (cm)	1,426	Desplazamiento cedente (cm)	1,4963
Desplazamiento maximo (cm)	13,54917	Desplazamiento maximo (cm)	13,118896
$\mu$	9,5015	$\mu$	8,7676
t entre 0,12 a 0,5 seg		t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R\mu x$	4,24300	$R\mu y$	4,06634

Factor de redundancia $Rw x$		Factor de redundancia $Rw y$	
$Rw x$	1	$Rw y$	1

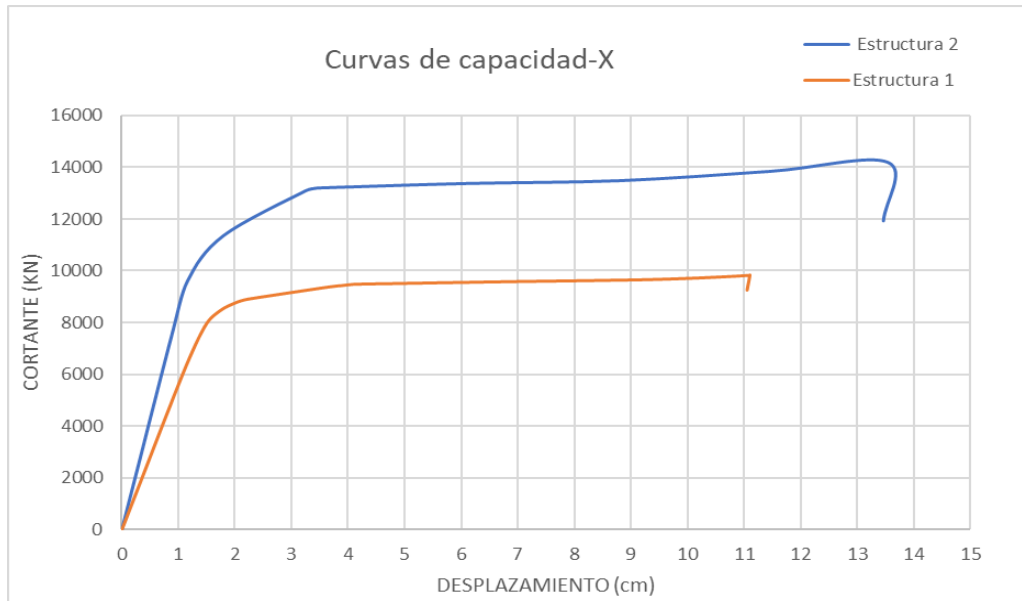
Factor de sobre resistencia $R\Omega x$		Factor de sobre resistencia $R\Omega y$	
Vb max(KN)	14200,4379	Vb max(KN)	13747,3037
Vb diseño(KN)	4954,16592	Vb diseño(KN)	4954,16592
$R\Omega x$	2,866363	$R\Omega y$	2,77489772

Coeficiente de modificacion de respuesta x		Coeficiente de modificacion de respuesta y	
$R_x$	12,1619764	$R_y$	11,2836754

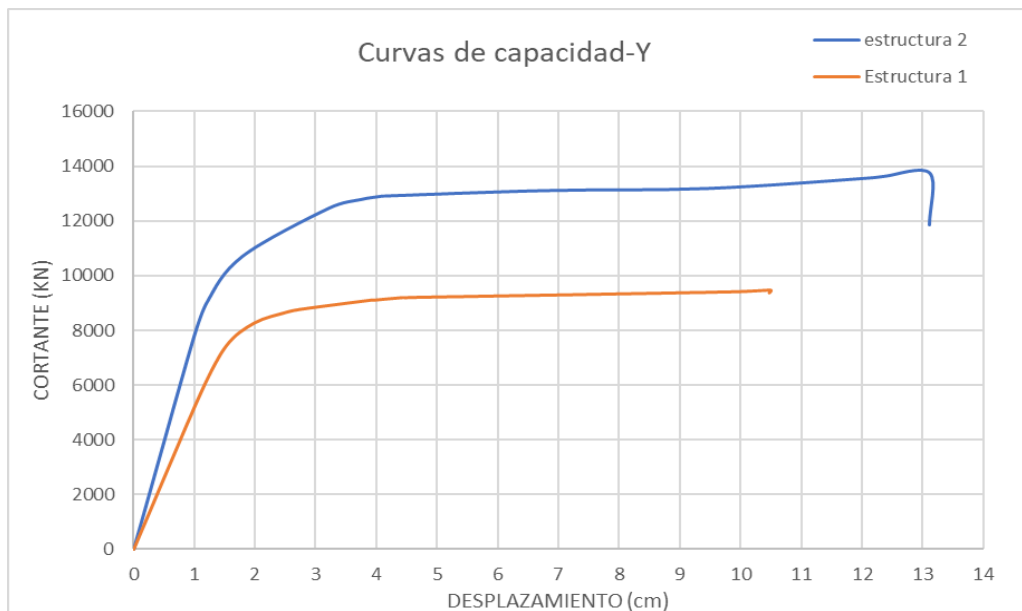
Los coeficientes R obtenidos fueron bastante altos y superiores al escogido  $R=7$  (tabla 28). Esto debido a la gran reserva estructural frente a la demanda, es decir una sobre resistencia alta obtenida, y se muestra con la baja relación demanda- capacidad de los elementos verticales, lo que nos indica junto con los niveles desempeño obtenidos un diseño algo sobrado para este tipo de estructura.

### 7.1.3 Comparaciones E1 vs E2



**Figura 57.** Curva capacidad X-E1vs E2

Fuente: Elaboración propia



**Figura 58.** Curva capacidad Y-E1vs E2

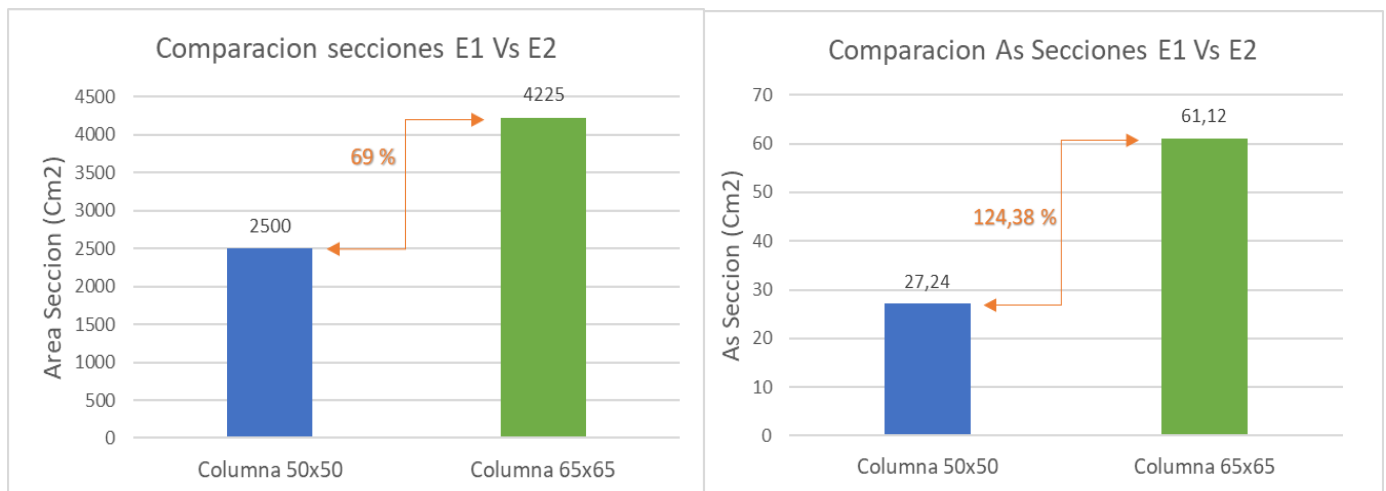
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29.** Niveles de desempeño E1 vs E2

Fuente: Elaboración propia

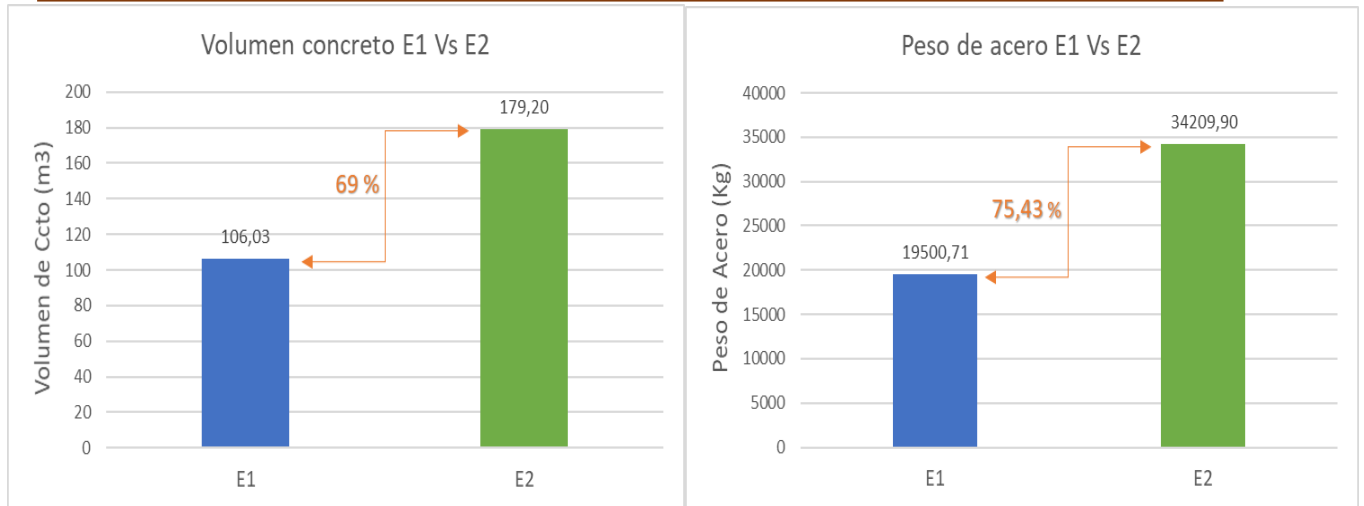
Movimiento sísmico	Estructura 1		Estructura 2	
	Nivel de desempeño-X	Nivel de desempeño-Y	Nivel de desempeño-X	Nivel de desempeño-Y
Frecuente	IO	O	IO	IO
Ocasional	O	O	IO	IO
Raro	LS	LS	O	O
Muy raro	LS	CP	LS	LS
Extremo	N.F	N.F	LS	CP

La estructura 2 tiene una capacidad sumamente superior como muestra las figuras 57 y 58, debido a que se buscó el desempeño esperado frente al sismo extremo y mantener el rango lineal en los sismos frecuente y ocasional, generando mayores secciones de los elementos columna, en área de concreto es un aumento del 69% y en área de acero del 124.38% como muestra la figura 59. La estructura 1 aunque no resiste la demanda del sismo extremo tiene un comportamiento bueno frente a la demanda del NSR-10, además de estar cerca de los desempeños esperados, que por criterio del calculista podrían ser completamente aceptables en ciertas demandas.



**Figura 59.** Comparación de secciones E1vs E2

Fuente: Elaboración propia



**Figura 60.** comparación de cantidades de elementos verticales E1 vs E2  
Fuente: Elaboración propia

El aumento de cantidades de material mostradas en la figura 60 y los resultados obtenidos frente a los diferentes niveles de desempeño, permite concluir que para obtener un estructura adecuada se debe permitir la incursión inelástica de la estructura para los sismos ocasionales y frecuentes, ya que restringirlo en la zona elástica fue difícil en la estructura 2, generando un enorme sobre uso de material en la estructura, además que la estructura 1 mostró un gran comportamiento frente a estos sin mostrar daños considerables, o se podría utilizar algunos muros para restringir ese desplazamiento y ahorrar en los elementos columna. Sin embargo, para los sismos superiores se requiere dar un mejor control de deriva, no dejar tan cerca del límite del 1%, y tener una mejor reserva estructural en los elementos verticales reduciendo la demanda / capacidad.

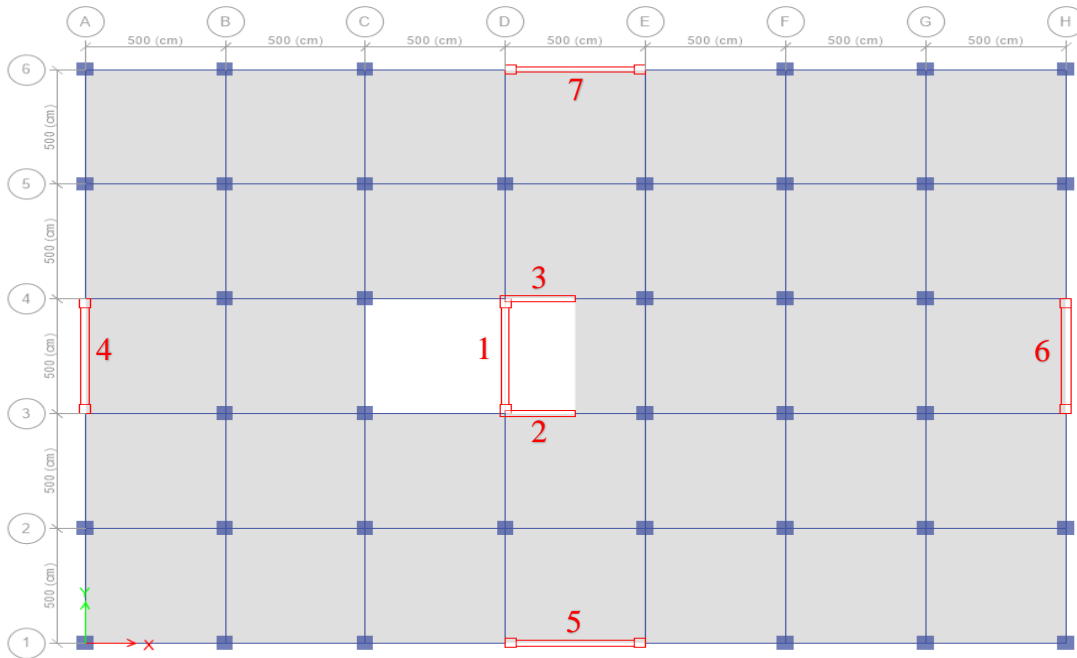
## 7.2 Estructuras de Cinco Niveles

### 7.2.1 Estructura de Cinco Niveles (NSR-10)- (Estructura 3)

Se comienza modelando la estructura, se asignan las propiedades de los materiales además de las cargas y acciones a las que está sometida la estructura. Se procede a diseñar bajo lo establecido en el NSR-10, se buscó dar cumplimiento a la edificación corrigiendo en lo mayor posible la torsión causada por el núcleo del ascensor, tratando de mantener las mínimas secciones y cuantías de acero que permiten dar cumplimiento al NSR-10.

### 7.2.1.1 Configuración Estructural

La estructura se configura como muestra la figura 61. Un sistema Combinado de pórticos de concreto con muros de concreto, la columna se unifico a sección de 60x60, las vigas de sección 40x50 y los muros como se muestra en la tabla 31.

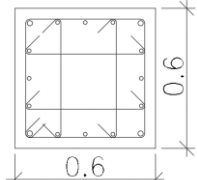


**Figura 61.** Planta estructural (Estructura 3)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La configuración de acero de la columna se presenta en la tabla 30, los muros y sus componentes y distribución de acero en la tabla 31, los tipos de vigas y su acero en el anexo 3.

**Tabla 30.** Acero columna 60x60  
 Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	7/8	15,52
Caras	12	5/8	23,76
Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )			39,28
Porcentaje seleccionado			1,09%
As confinamiento c/10 cm			
Direc-X	4-#3		
Direc-Y	4-#3		



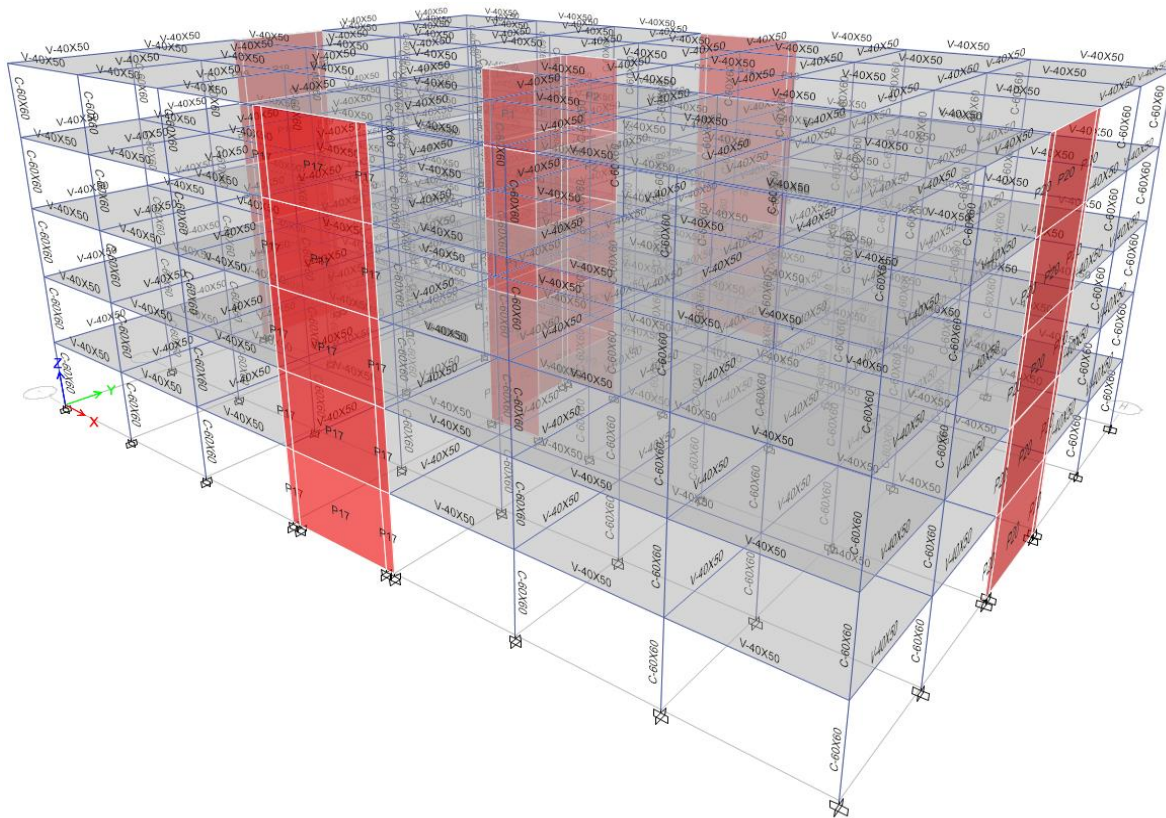
0.6

0.6

**Tabla 31.** Muros estructura 3

Fuente: Elaboración propia

Muro	Espesor (cm)	As long	As transv	Element. Bd	As element. Bd (cm2)
1	25	#5 @ 25	#6 @ 12,5	40x40	34,49
2	25	#7 @ 17,5	#5 @ 12,5	40x40	N.a
3	25	#7 @ 17,5	#5 @ 12,5	40x40	N.a
4	30	#5 @ 20	#5 @ 12,5	40x40	38,8
5	25	#6 @ 15	#5 @ 10	40x40	53,37
6	35	#6 @ 15	#6 @ 15	40x40	53,37
7	25	#6 @ 15	#5 @ 10	40x40	53,37



**Figura 62.** Visualización 3D Estructura 3

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La demanda/capacidad de los elementos tipo columna principales está entre 27 al 44%. Los elementos tipo muro muros entre 87 al 99%, el listado completo de las columnas y muros se presenta en el anexo 9.

### 7.2.1.2 Resumen análisis dinámico

Peso propio estructura considerado:

-Carga muerta (CM)= 30874.7583 KN

-Sobrecarga muerta (SCM)= 13810 KN

-Carga viva (CV) =16025 KN (se considera un 25% para el peso total)

-Peso total = 48691.0083 KN

Los modos fundamentales con su periodo y porcentaje de participación de masa se muestran en la tabla 32.

**Tabla 32.** Modos fundamentales estructura 3

Fuente: Elaboración propia

MODO	T(s)	% Participacion de masa			Direc	Aceleraciones espectrales	
		Ux	Uy	Rz		Adg(elast)	adg(elast red)
1	0,395	0,7414	0	0	x	1,5	0,214285714
2	0,343	0	0,7016		y	1,5	0,214285714
3	0,297	0		0,689	tor		

El cortante basal de diseño será:

$V_{bx} = 8347.0299$  KN

$V_{by} = 8347.0299$  KN

### 7.2.1.3 Derivas

Las derivas obtenidas del análisis se presentan en la tabla 33, el límite según el NSR-10 será del 1%. Las derivas en ambas direcciones cumplen con el 1%.

**Tabla 33.** Derivas X-Y

Fuente: Elaboración propia

Nivel	X		Y	
	X-deriva	Estado	Y-deriva	Estado
N+15.00m	0,00609	OK	0,00594	OK
N+12.00m	0,00687	Ok	0,00653	Ok
N+9.00m	0,00689	OK	0,00639	OK
N+6.00m	0,00588	OK	0,00535	OK
N+3.00m	0,00318	OK	0,00291	OK

### 7.2.1.4 Análisis no lineal

El patrón de carga triangular se muestra en la tabla 34, estas fuerzas están aplicadas en los centros de masas de la estructura 3.

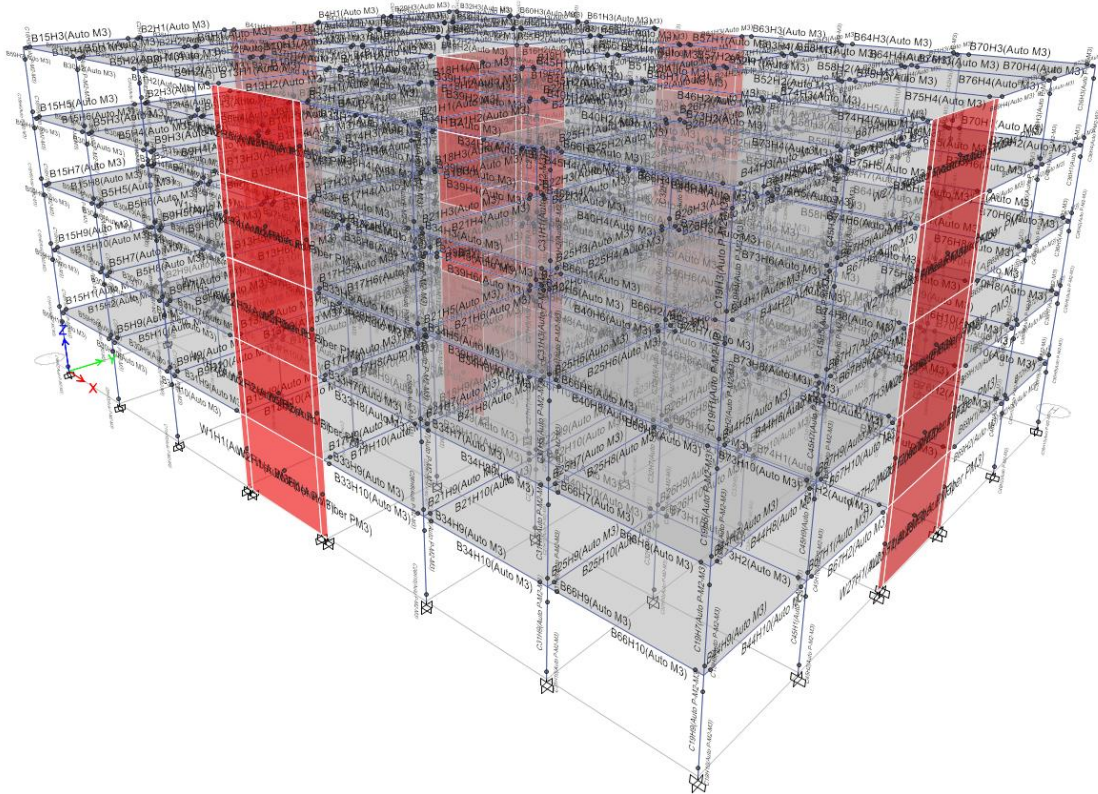
**Tabla 34.** Patrón de cargas triangular X-Y

Fuente: Elaboración propia

Patrón de cargas triangular X				
Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)
N+15.00m	264,8413	264,8413	4,9778	4977,8176
N+12.00m	512,3424	247,5011	4,6519	4651,9003
N+9.00m	684,8418	172,4994	3,2422	3242,2079
N+6.00m	797,0048	112,163	2,1082	2108,1567
N+3.00m	850,2091	53,2043	1	1000

Patrón de cargas triangular Y				
Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)
N+15.00m	265,4397	265,4397	4,7699	4769,8574
N+12.00m	512,0978	246,6581	4,4324	4432,3587
N+9.00m	682,1084	170,0106	3,0550	3055,0302
N+6.00m	794,4894	112,381	2,0194	2019,4468
N+3.00m	850,1388	55,6494	1	1000

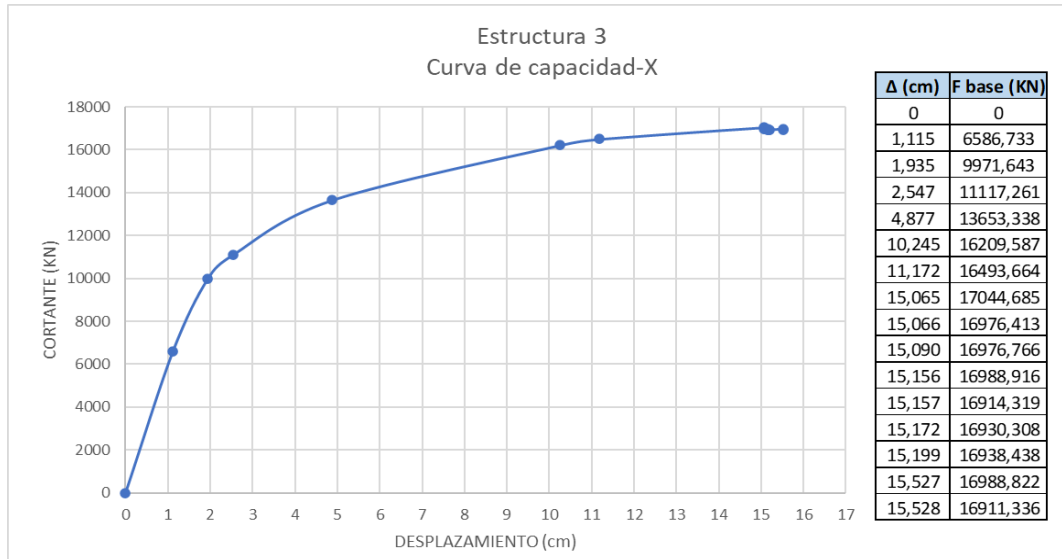
Se asignan las rótulas plásticas a los elementos como muestra la figura 63 de acuerdo con los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.



**Figura 63.** Rótulas plásticas asignadas a la estructura 3

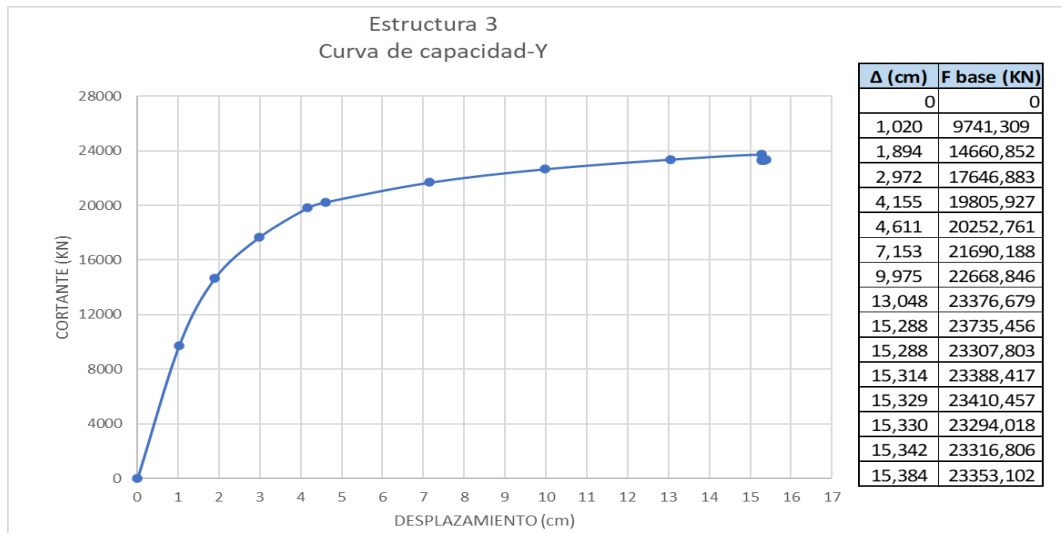
Fuente: ETABS (Modelo elaboración propia)

Del resultado del análisis pushover se obtiene las curvas de capacidad de la estructura 3, la figura 64 muestra la curva para el sentido X y la figura 78 muestra la curva para el sentido Y.



**Figura 64.** Curva de capacidad X-estructura 3

Fuente: Elaboración propia



**Figura 65.** Curva de capacidad Y-estructura 3

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.1.5 Evaluación desempeño

Las rótulas en la estructura obtenidas del análisis se presentan en la tabla 35 para el sentido X y para el sentido Y. Se observa el número de rótulas de la estructura y en qué nivel de

aceptabilidad se encuentran para cada intervalo de desplazamiento vs fuerza, basado en los criterios del ASCE 41-13 (Tablas 1 y 2).

**Tabla 35.** Rótulas estructura 3 X-Y

Fuente: Elaboración propia

Rotulas - X								Rotulas - Y							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total	Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1235	0	0	0	1235	0	0	0	1235	0	0	0	1235
1	1,1145	6586,733	1235	0	0	0	1235	1	1,0195	9741,309	1235	0	0	0	1235
2	1,9346	9971,643	1235	0	0	0	1235	2	1,8937	14660,85	1235	0	0	0	1235
3	2,5471	11117,26	1235	0	0	0	1235	3	2,9721	17646,88	1235	0	0	0	1235
4	4,8772	13653,34	1235	0	0	0	1235	4	4,1547	19805,93	1235	0	0	0	1235
5	10,2453	16209,59	1161	73	0	1	1235	5	4,6109	20252,76	1235	0	0	0	1235
6	11,1724	16493,66	1074	160	0	1	1235	6	7,1531	21690,19	1223	12	0	0	1235
7	15,0649	17044,68	901	333	0	1	1235	7	9,9747	22668,85	1187	47	0	1	1235
8	15,0655	16976,41	899	332	1	3	1235	8	13,0483	23376,68	979	254	0	2	1235
9	15,0896	16976,77	899	332	1	3	1235	9	15,2875	23735,46	907	326	0	2	1235
10	15,1564	16988,92	898	333	1	3	1235	10	15,2883	23307,8	906	321	5	3	1235
11	15,1572	16914,32	898	332	2	3	1235	11	15,3139	23388,42	906	321	5	3	1235
12	15,1724	16930,31	898	332	2	3	1235	12	15,3293	23410,46	906	321	5	3	1235
13	15,1992	16938,44	898	332	2	3	1235	13	15,3301	23294,02	906	320	6	3	1235
14	15,5273	16988,82	895	335	2	3	1235	14	15,3419	23316,81	906	320	6	3	1235
15	15,5281	16911,34	895	334	3	3	1235	15	15,3844	23353,1	906	320	6	3	1235
16	15,5365	16920,16	895	334	3	3	1235	16	15,3852	23263,16	905	319	7	4	1235
17	15,5555	16931,21	895	334	3	3	1235	17	15,4	23288,59	905	319	7	4	1235
18	15,5563	16863,17	895	333	4	3	1235	18	15,4275	23304,83	904	320	7	4	1235
19	15,5639	16868,84	895	333	4	3	1235	19	15,4283	23161,54	904	318	9	4	1235
20	15,5855	16877,34	895	333	4	3	1235	20	15,4389	23183,8	904	318	9	4	1235
21	15,639	16888,76	895	333	4	3	1235								
22	15,6398	16802,36	895	332	5	3	1235								
23	15,6478	16815,02	895	332	5	3	1235								
24	15,6953	16855,35	895	332	5	3	1235								
25	15,8404	16885,3	893	334	5	3	1235								
26	15,8412	16843,78	893	333	6	3	1235								
27	15,8588	16861,72	893	333	6	3	1235								
28	15,8901	16870,56	893	333	6	3	1235								
29	16,0522	16897,09	893	333	6	3	1235								
30	16,0586	16779,01	893	331	8	3	1235								

Los límites de la sectorización de la curva de capacidad se presentan en la tabla 36 para el sentido X y para el sentido Y.

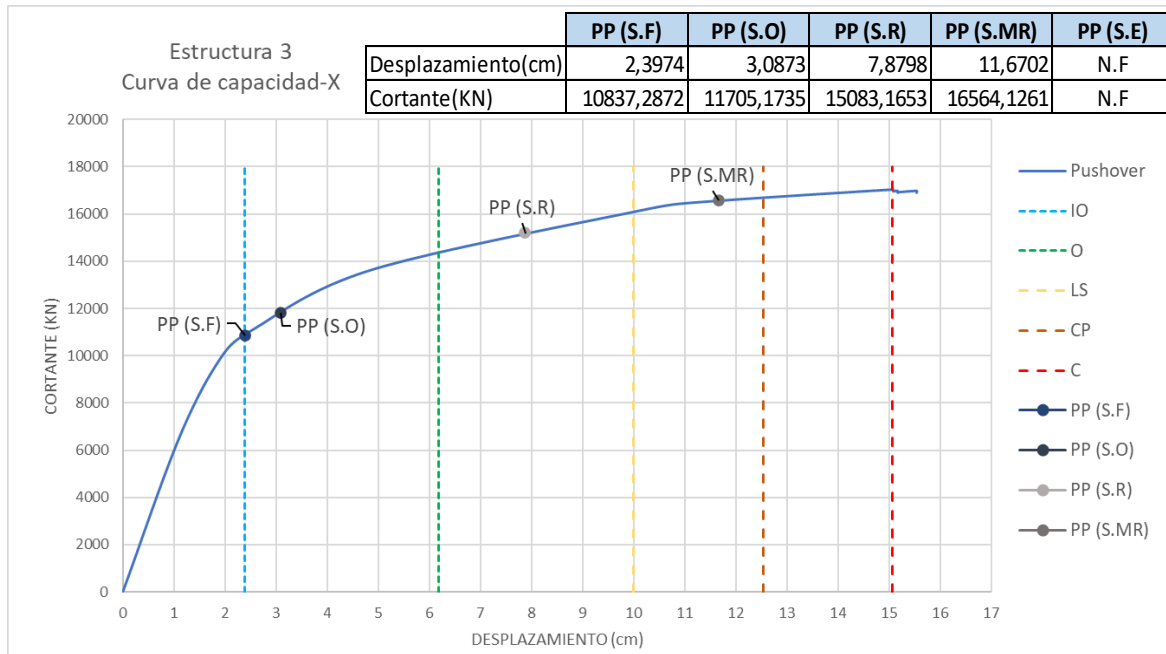
**Tabla 36.** Limites curva sectorizada estructura 3 X-Y

Fuente: Elaboración propia

	Limites X	Limites Y
Punto fluencia efectiva (cm)	2,374	1,986
Desplazamiento maximo (cm)	15,065	15,287
$\Delta p$ (cap. Desp. Inelastico) (cm)	12,691	13,302
Niv operacional (cm)	6,181	5,976
Seguridad de vida (cm)	9,989	9,967
Precolapso (cm)	12,527	12,627
Colapso (cm)	15,065	15,287

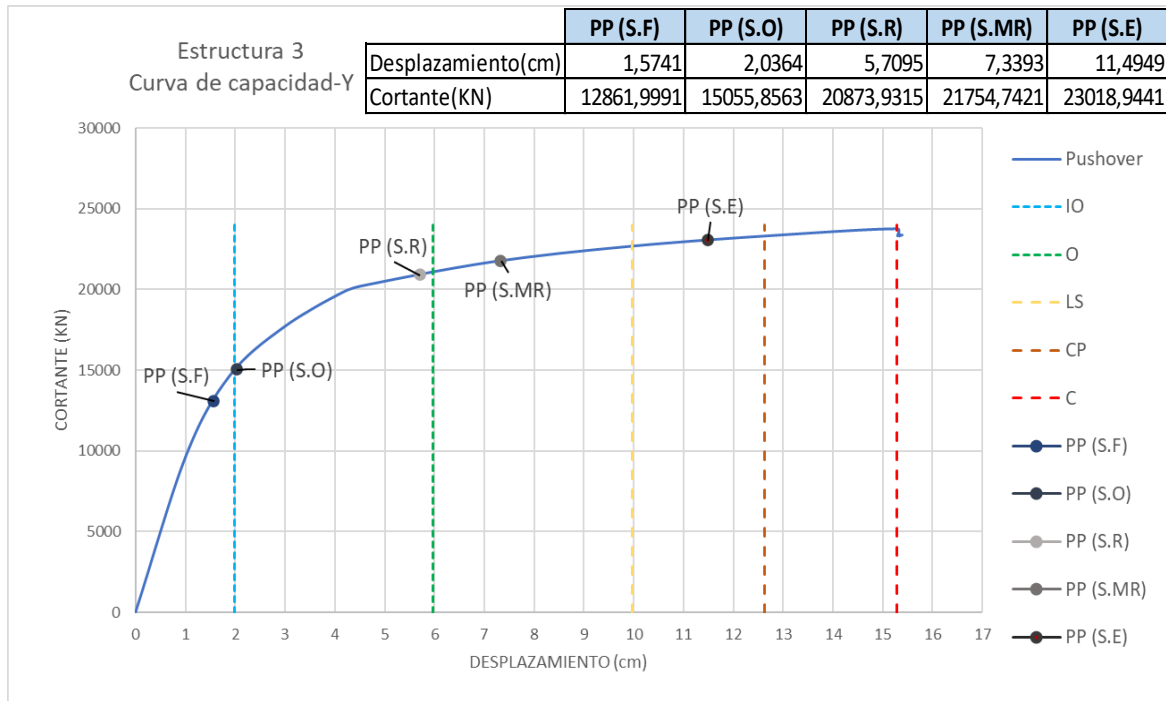
La figura 66 y 67 presenta las curvas de capacidad delimitadas por los límites de desempeño de la tabla 36, además de mostrar los puntos de desempeño (PP: Performance Point) de los distintos

niveles de demandas sísmicas obtenidos. Las figuras 68 a 77 presentan el estado de rotulas y la deformación de la estructura para cada nivel de demanda sísmica.



**Figura 66.** Desempeños estructura 3 (X)

Fuente: Elaboración propia

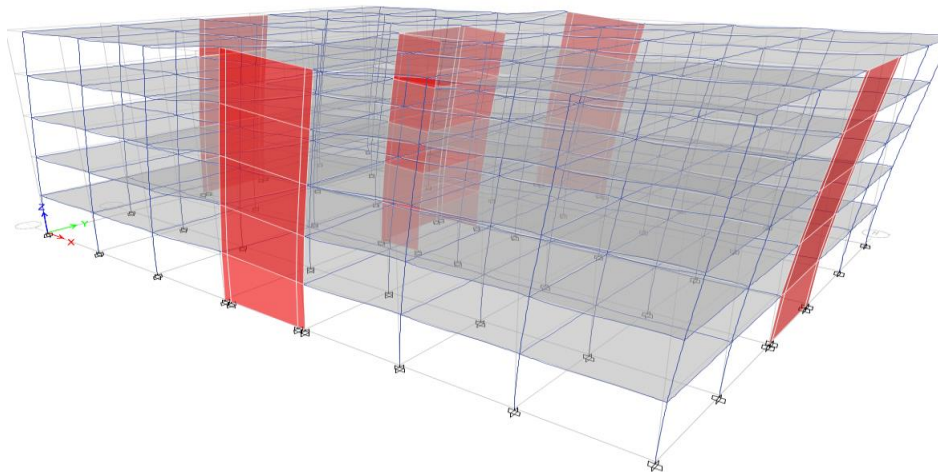


**Figura 67.** Desempeños estructura 3 (Y)

Fuente: Elaboración propia

• **Desempeño Sismo Frecuente**

La figura 66 muestra el desempeño de la estructura 3 la cual podría considerarse que está en el límite de su comportamiento elástico, apenas entrando a un nivel de desempeño O. Las rótulas se mantienen en un rango A-IO (figura 68), dando un buen comportamiento, aunque debería permanecer en su límite elástico.



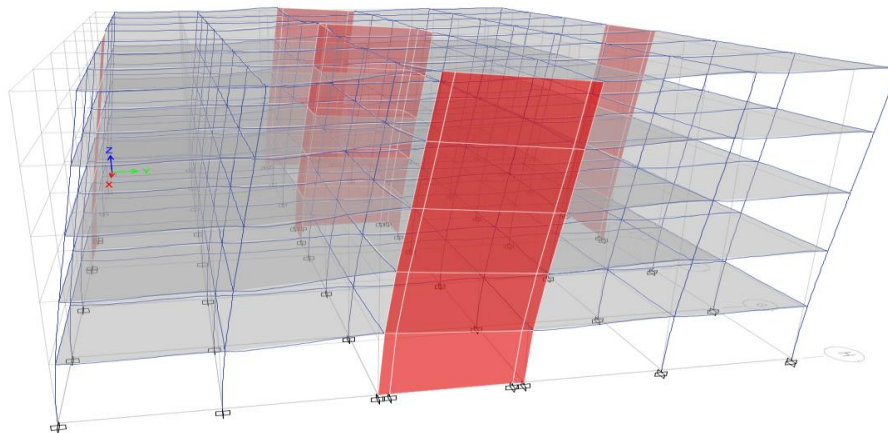
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
1,935	9971,64	1235	0	0	0
2,547	11117,26	1235	0	0	0

**Figura 68.** Rótulas S.F estructura 3 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura en su comportamiento en sentido Y, se encuentra en su rango elástico como muestra la figura 67 obteniendo un nivel de desempeño O. Las rótulas están en un rango A-IO (figura 69), la estructura logra cumplir los requerimientos para esta demanda.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

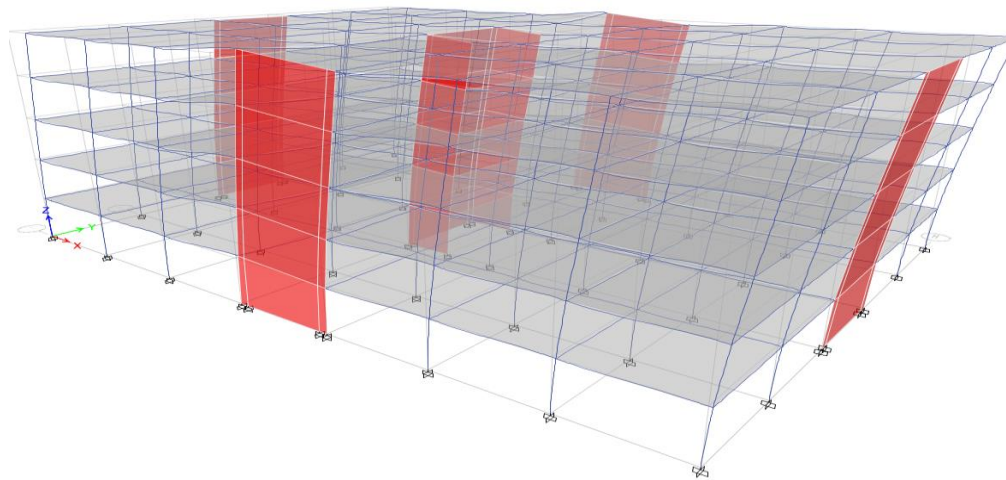
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
1,02	9741,31	1235	0	0	0
1,894	14660,85	1235	0	0	0

**Figura 69.** Rótulas S.F estructura 3 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Ocasional**

La estructura en sentido X alcanza un nivel de desempeño O (figura 66), las rótulas se mantienen en un rango A-IO (figura 70). La estructura para cumplir con los requerimientos de esta demanda debería mantenerse en su rango elástico.



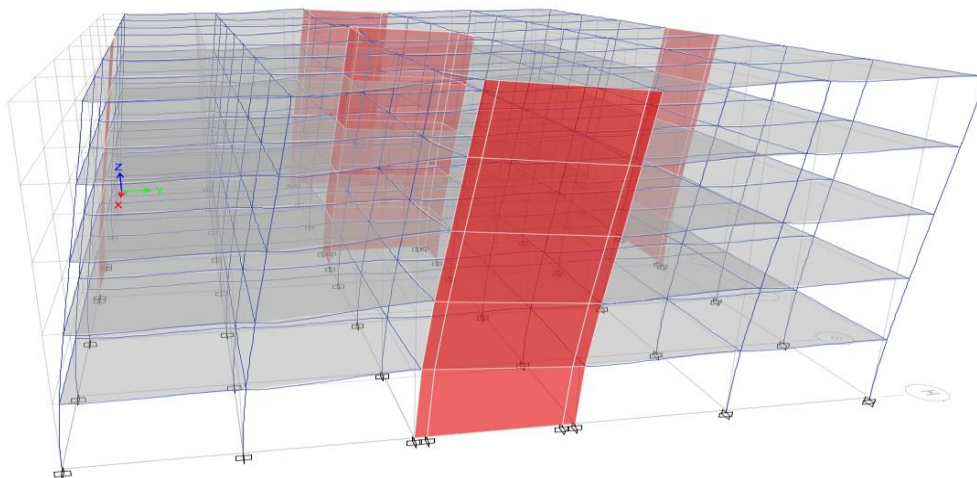
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
2,547	11117,26	1235	0	0	0
4,877	13653,34	1235	0	0	0

**Figura 70.** Rótulas S.O estructura 3 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para el sentido Y la estructura tiene un nivel de desempeño O (figura 67), las rótulas se encuentran en un rango A-IO (figura 71). La estructura muestra un buen comportamiento, aunque no se mantiene en su rango elástico está muy cerca del límite.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

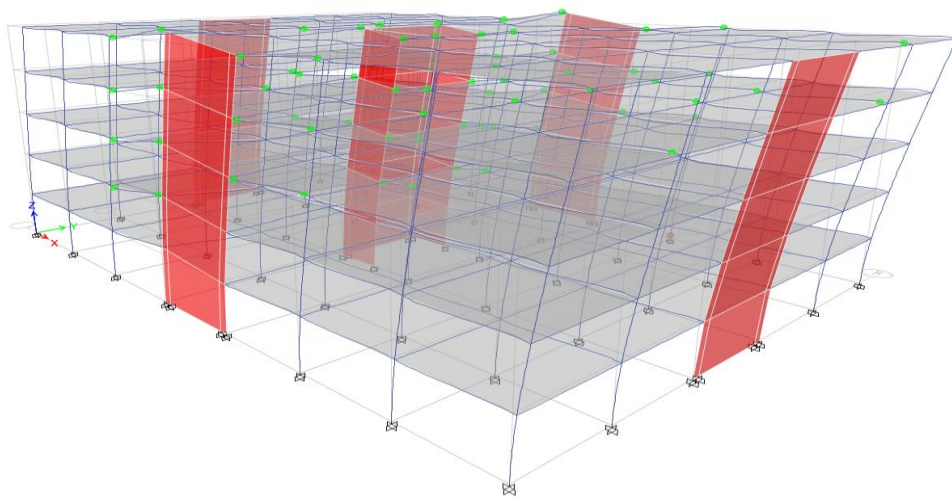
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
1,894	14660,85	1235	0	0	0
2,972	17646,88	1235	0	0	0

**Figura 71.** Rótulas S.O estructura 3 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Raro**

Para este nivel de demanda la estructura en sentido X se mantiene en un nivel de desempeño LS (figura 66), varias rótulas logran alcanzar un rango IO-LS (Figura 72). La estructura no cumple con lo requerido ya que debería mantenerse en un nivel O.



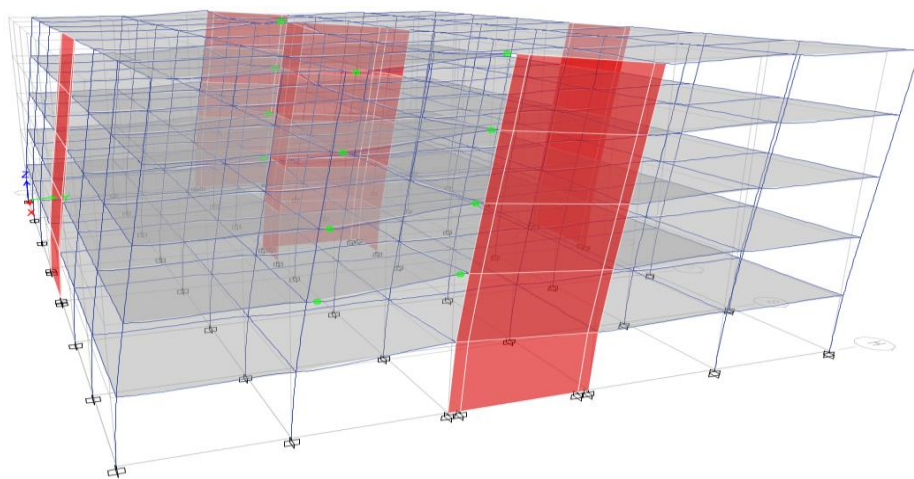
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,877	13653,34	1235	0	0	0
10,25	16209,59	1161	73	0	1

**Figura 72.** Rótulas S.R estructura 3 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura en sentido Y se mantienen en un nivel de desempeño O (figura 67), apenas unas cuantas rótulas entran en un rango IO-LS (figura 73). La estructura muestra un buen comportamiento frente a esta demanda y cumple los requerimientos.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

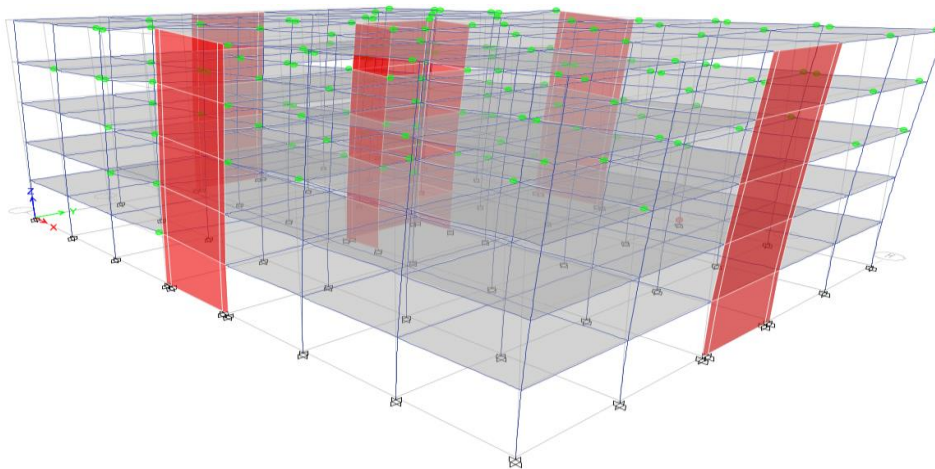
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,611	20252,76	1235	0	0	0
7,153	21690,19	1223	12	0	0

**Figura 73.** Rótulas S.R estructura 3 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Muy Raro**

La estructura para el sentido X alcanza un nivel de desempeño CP (figura 66), algunas rótulas se encuentran en IO-LS y se observa una localizada en rango >CP (figura 74). La estructura no cumple con lo esperado frente a esta demanda.



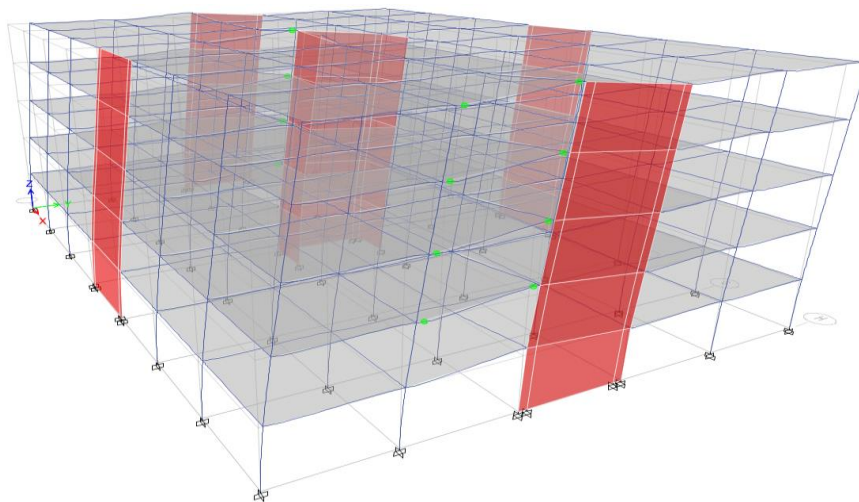
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
11,17	16493,66	1074	160	0	1
15,06	17044,68	901	333	0	1

**Figura 74.** Rótulas S.MR estructura 3 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La figura 67 muestra el comportamiento de la estructura en sentido Y para la demanda la cual logra mantenerse en un nivel de desempeño LS, las rótulas se mantienen en unas pocas en rango IO-LS (figura 75). La estructura tiene un buen comportamiento y cumple con lo establecido.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

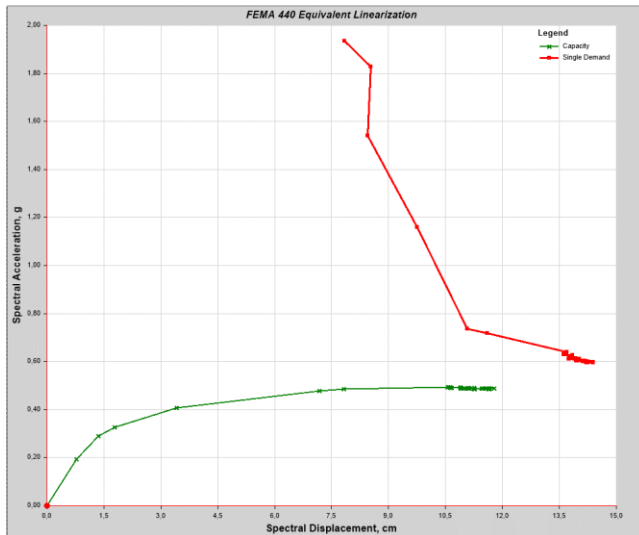
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
7,153	21690,19	1223	12	0	0
9,975	22668,85	1187	47	0	1

**Figura 75.** Rótulas S.MR estructura 3 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Extremo**

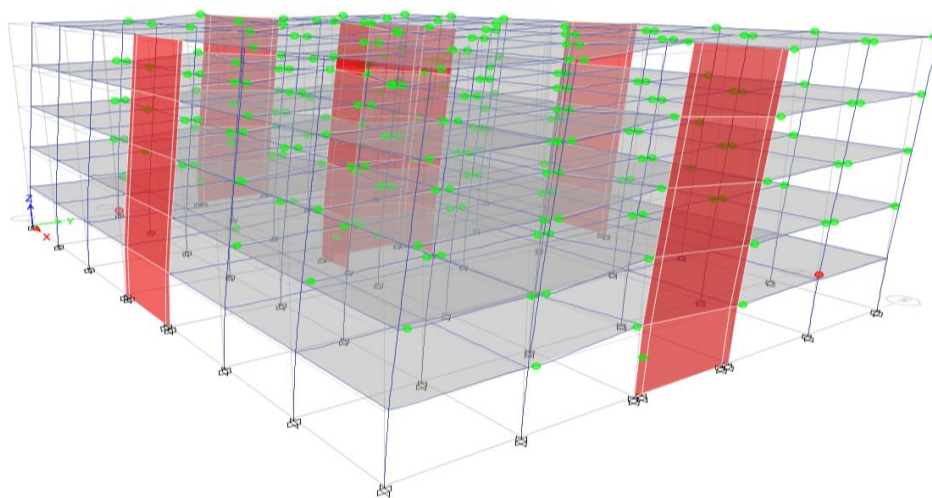
La estructura para el sentido X no logra soportar este nivel de demanda como muestra la figura 76.



**Figura 76.** Desempeño S.E estructura 3 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura en sentido Y logra soportar esta demanda y obtiene un nivel de desempeño CP (figura 67), las rótulas se mantienen es una su mayoría en un rango IO-LS y se observa una en un rango >CP (figura 77), con lo que es un comportamiento aceptable y cumple los requerimientos.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

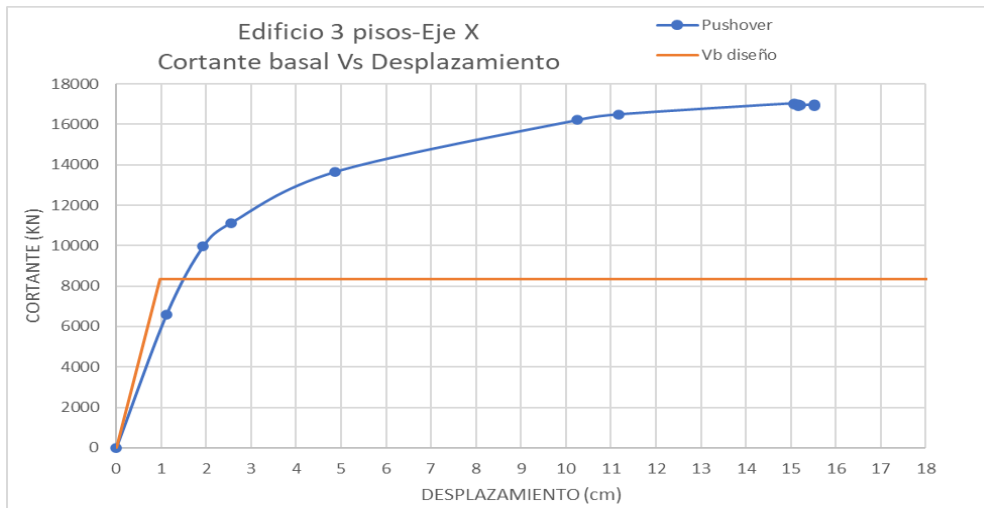
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
9,975	22668,85	1187	47	0	1
13,05	23376,68	979	254	0	2

**Figura 77.** Rótulas S.E estructura 3 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

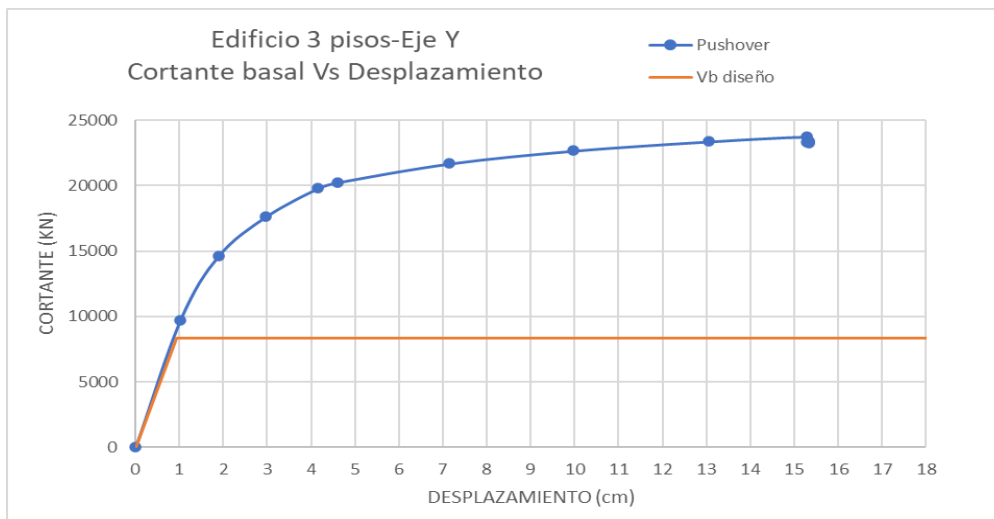
- **Curva de Capacidad vs Cortante de Diseño**

Se compara la curva de capacidad obtenida con el cortante basal de diseño del NSR-10 a la cual es sometida la estructura. Este cortante basal será el cortante dinámico obtenido y si es necesario corregido con el cortante sísmico mínimo de F.H.E exigido por el NSR-10.



**Figura 78.** Curva de capacidad vs Vb diseño- estructura 3 (x)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 79.** Curva de capacidad vs Vb diseño- estructura 3 (y)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 78 y 79 muestran que la estructura 3 tiene una capacidad superior al cortante del diseño del NSR-10, sin embargo, en el sentido X se observa un indicativo de falta de rigidez

inicial en la estructura y eso se evidencia en el análisis de los desempeños además de que la capacidad en este sentido es considerablemente inferior en comparación en el sentido Y.

- **Coefficiente R Calculado**

Se calcula  $R_{\mu}$  con las ecuaciones 10,11 y 12 dependiendo del caso,  $R_w$  se obtiene en tabla 9,  $R_{\Omega}$  con la ecuación 13 y el R por la ecuación 8, este R es con base a la cortante de diseño obtenido.

**Tabla 37.** Cálculo de factor R estructura 3

Fuente: Elaboración propia

Factor de ductilidad $R_{\mu x}$	
Desplazamiento cedente (cm)	2,3742
Desplazamiento maximo (cm)	15,06492
$\mu$	6,3453
t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R_{\mu x}$	3,41914

Factor de ductilidad $R_{\mu y}$	
Desplazamiento cedente (cm)	1,825
Desplazamiento maximo (cm)	15,2874
$\mu$	8,3767
t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R_{\mu y}$	3,96904

Factor de redundancia $R_w x$	
$R_w x$	1

Factor de redundancia $R_w y$	
$R_w y$	1

Factor de sobre resistencia $R_{\Omega x}$	
Vb max(KN)	17044,6849
Vb diseño(KN)	8347,02999
$R_{\Omega x}$	2,04200595

Factor de sobre resistencia $R_{\Omega y}$	
Vb max(KN)	23735,4564
Vb diseño(KN)	8347,02999
$R_{\Omega y}$	2,84358106

Coeficiente de modificacion de respuesta x	
$R_x$	6,98190564

Coeficiente de modificacion de respuesta y	
$R_y$	11,2863

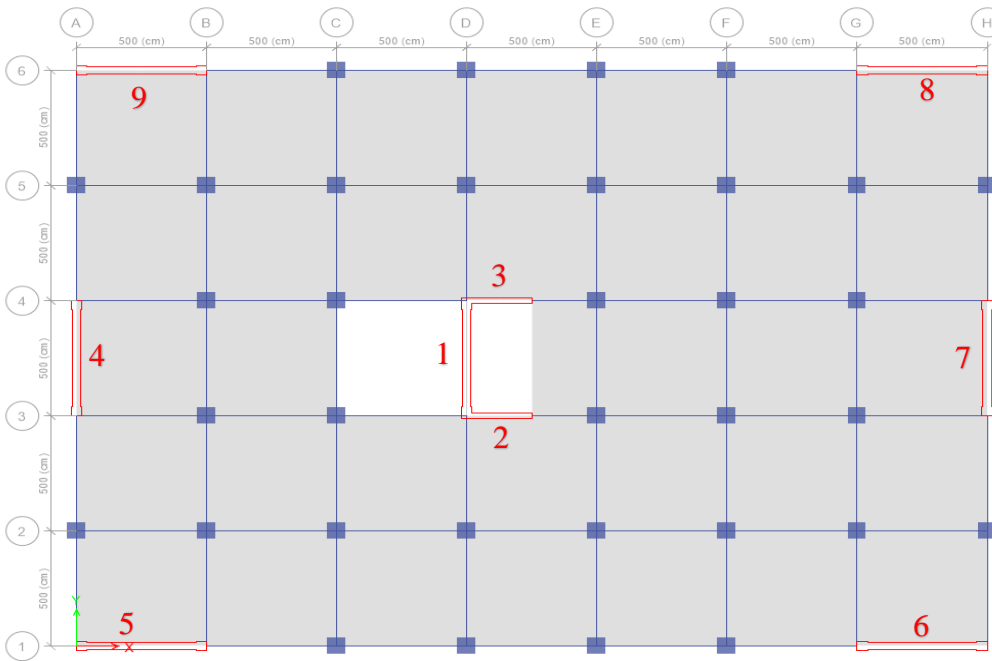
El coeficiente R obtenido en sentido X fue similar al escogido  $R=7$  y para el sentido Y bastante superior (tabla 37) debido a la sobre resistencia tan alta que se logró. Lo que nos indica que se debe reforzar el sentido X para lograr un mejor comportamiento para los sismos altos, aunque muestre un buen comportamiento en general para la demanda de la norma.

### 7.2.2 Estructura de Cinco Niveles (Desempeño)- (Estructura 4)

Partiendo de lo obtenido en la estructura 3 se buscó corregir las fallas locales encontradas, obtener una mejor configuración estructural, reforzar las secciones y rigidizar la estructura donde se requería para mejorar el comportamiento frente a los diferentes niveles de sismo, además verificando nuevamente que cumpliera con todo lo establecido en el NSR-10.

### 7.2.2.1 Configuración Estructural

La estructura se configuró en un sistema dual de columnas concreto y muros de concreto usando columnas de sección 70x70 y vigas de sección 40x50, los muros se muestran en la tabla 39, la planta típica se muestra en la figura 80.



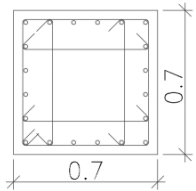
**Figura 80.** Planta estructural (Estructura 4)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La configuración de acero de la columna se presenta en la tabla 38, la distribución de acero de los muros en la tabla 39 y las vigas en el anexo 4.

**Tabla 38.** Acero columna 70x70

Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	3/4	11,4
Caras	16	3/4	45,6
	Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )		57
	Porcentaje seleccionado		1,16%
	As confinamiento c/10 cm		
	Direc-X	4-#3	
Direc-Y	4-#3		



### 7.2.2.2 Resumen Análisis Dinámico

Peso propio estructura considerado:

-Carga muerta (CM) = 33016.646 KN

-Sobrecarga muerta (SCM) = 13810 KN

-Carga viva (CV) = 16025 KN (se considera un 25% para el peso total)

-Peso total = 50832.896 KN

Los modos fundamentales con su periodo y porcentaje de participación de masa se presentan en la tabla 40.

**Tabla 40.** Modos fundamentales estructura 4

Fuente: Elaboración propia

MODO	T(s)	% Participacion de masa			Direc	Aceleraciones espectrales	
		Ux	Uy	Rz		Adg(elast)	adg(elast red)
2	0,336	0,7221	0	0	x	1,5	0,214285714
1	0,331	0	0,7129		y	1,5	0,214285714
3	0,272	0		0,6928	tor		

El cortante basal de diseño será:

$V_{bx} = 8714.2107 \text{ KN}$

$V_{by} = 8714.2107 \text{ KN}$

### 7.2.2.3 Derivas

Las derivas obtenidas del análisis se presentan en la tabla 41, el límite según el NSR-10 será del 1%. Las derivas en ambas direcciones cumplen con el 1%.

**Tabla 41.** Derivas X-Y

Fuente: Elaboración propia

Nivel	X		Y	
	X-deriva	Estado	Y-deriva	Estado
N+15.00m	0,00483	OK	0,00568	OK
N+12.00m	0,00516	Ok	0,00623	Ok
N+9.00m	0,00493	OK	0,00608	OK
N+6.00m	0,00401	OK	0,00507	OK
N+3.00m	0,00204	OK	0,00269	OK

### 7.2.2.4 Análisis no Lineal

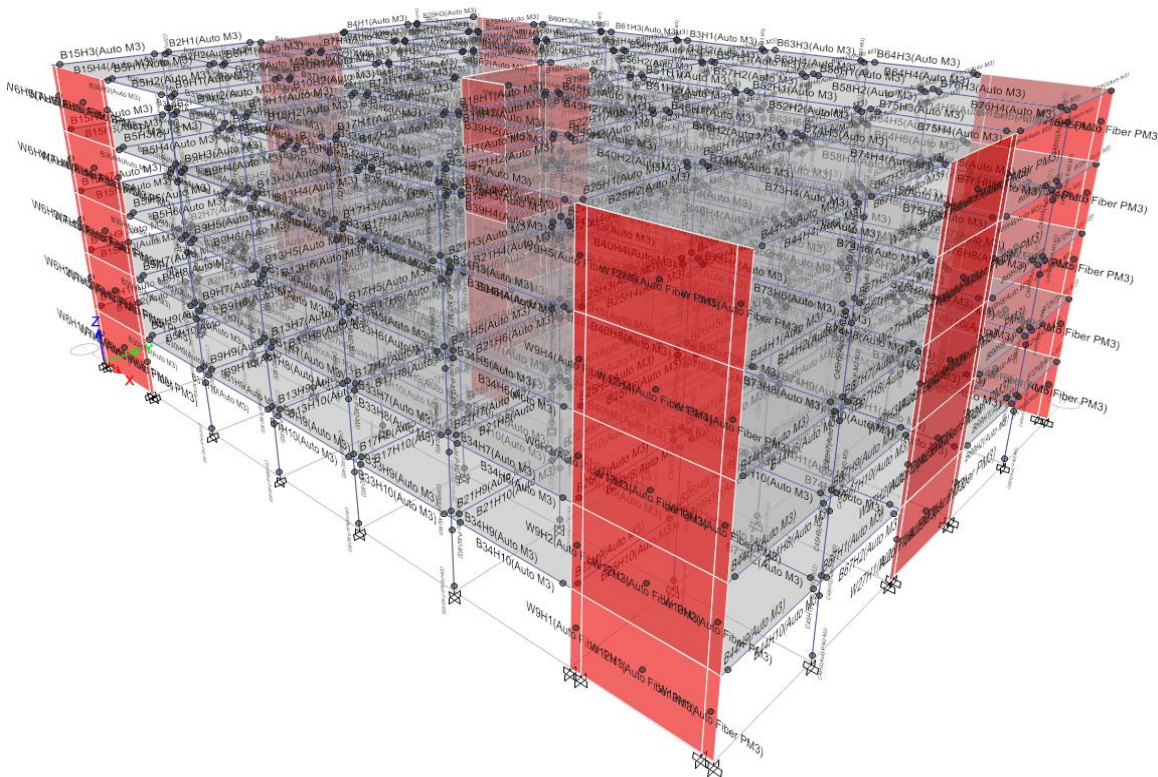
El patrón de carga triangular normalizado se muestra en la tabla 42, estas fuerzas están aplicadas en los centros de masas de la estructura 4.

**Tabla 42.** Patrón de cargas triangular X-Y

Fuente: Elaboración propia

Patron de cargas triangular X					Patron de cargas triangular Y				
Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)	Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)
N+15.00m	278,6604	278,6604	5,0061	5006,1422	N+15.00m	272,2695	272,2695	4,7420	4741,9584
N+12.00m	538,864	260,2036	4,6746	4674,5653	N+12.00m	532,8462	260,5767	4,5383	4538,3118
N+9.00m	716,222	177,358	3,1862	3186,2417	N+9.00m	712,008	179,1618	3,1204	3120,3561
N+6.00m	831,5029	115,2809	2,0710	2071,0247	N+6.00m	829,7862	117,7782	2,0513	2051,2739
N+3.00m	887,1666	55,6637	1	1000	N+3.00m	887,2033	57,4171	1	1000

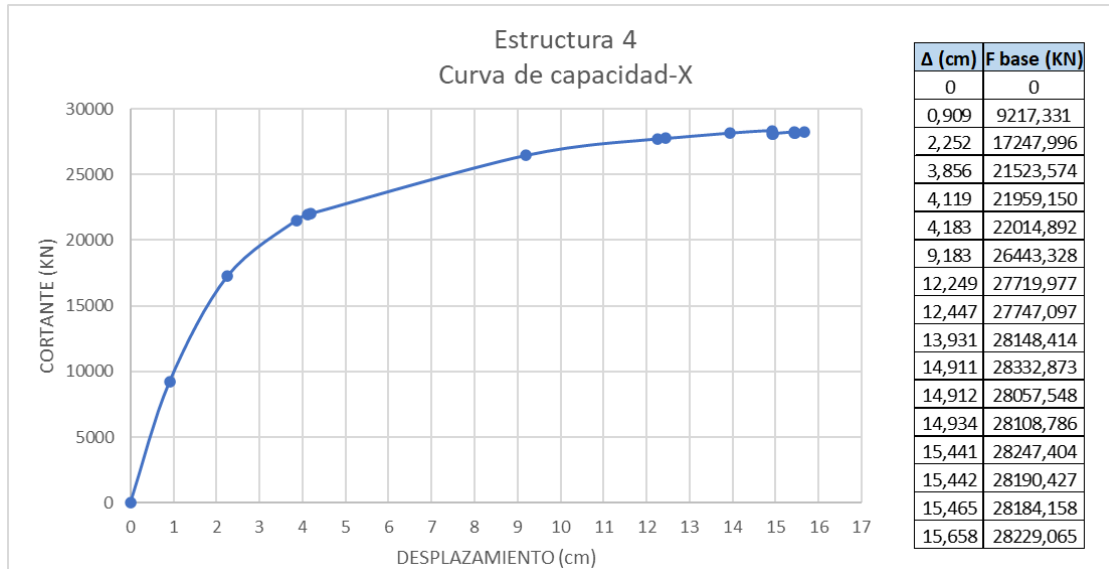
Se asignan las rótulas plásticas a los elementos como muestra la figura 82 de acuerdo con los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.



**Figura 82.** Rótulas plásticas asignadas a la estructura 4

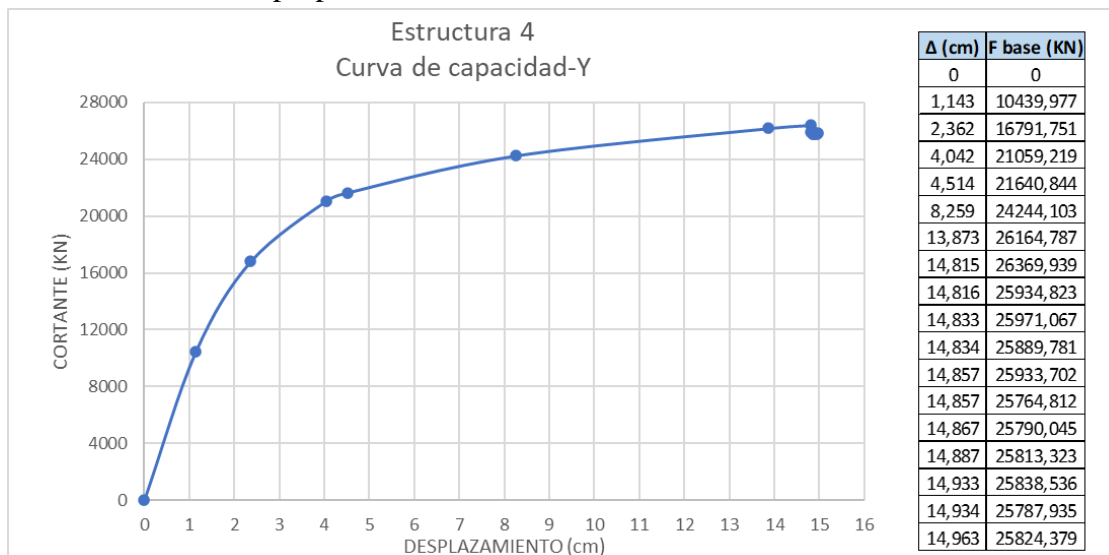
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Las curvas de capacidad obtenidas al realizar el análisis pushover se presentan para el sentido X en las figuras 83, para el sentido Y están en la figura 84.



**Figura 83.** Curva de capacidad X -estructura 4

Fuente: Elaboración propia



**Figura 84.** Curva de capacidad Y- estructura 4

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.2.5 Evaluación de Desempeño

Las rótulas en la estructura obtenidas del análisis se muestran en la tabla 43 para el sentido X y para el sentido Y. se observa el número de rótulas de la estructura y en qué nivel de

aceptabilidad se encuentran para cada intervalo de desplazamiento vs fuerza, basado en los criterios del ASCE 41-13 (Tablas 1 y 2).

**Tabla 43.** Rótulas estructura 4 X-Y

Fuente: Elaboración propia

Rotulas - X								Rotulas - Y							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total	Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1205	0	0	0	1205	0	0	0	1205	0	0	0	1205
1	0,9087	9217,331	1205	0	0	0	1205	1	1,1429	10439,98	1205	0	0	0	1205
2	2,2518	17248	1205	0	0	0	1205	2	2,3621	16791,75	1205	0	0	0	1205
3	3,8559	21523,57	1205	0	0	0	1205	3	4,0422	21059,22	1205	0	0	0	1205
4	4,1189	21959,15	1205	0	0	0	1205	4	4,5135	21640,84	1205	0	0	0	1205
5	4,183	22014,89	1205	0	0	0	1205	5	8,2588	24244,1	1173	32	0	0	1205
6	9,183	26443,33	1169	36	0	0	1205	6	13,8733	26164,79	914	291	0	0	1205
7	12,2488	27719,98	960	244	0	1	1205	7	14,8152	26369,94	895	310	0	0	1205
8	12,4473	27747,1	945	259	0	1	1205	8	14,816	25934,82	894	305	6	0	1205
9	13,9308	28148,41	895	307	0	3	1205	9	14,8327	25971,07	894	305	6	0	1205
10	14,911	28332,87	879	323	0	3	1205	10	14,8335	25889,78	894	304	7	0	1205
11	14,9118	28057,55	877	320	3	5	1205	11	14,8565	25933,7	894	304	7	0	1205
12	14,9335	28108,79	877	320	3	5	1205	12	14,8573	25764,81	894	302	9	0	1205
13	15,4414	28247,4	871	325	3	6	1205	13	14,867	25790,04	894	302	9	0	1205
14	15,4422	28190,43	871	324	4	6	1205	14	14,8871	25813,32	894	302	9	0	1205
15	15,4649	28184,16	871	324	4	6	1205	15	14,933	25838,54	894	302	9	0	1205
16	15,6577	28229,06	870	325	4	6	1205	16	14,9338	25787,94	894	301	10	0	1205
17	15,6585	27951,4	870	321	8	6	1205	17	14,963	25824,38	894	301	10	0	1205
18	15,6687	27985,03	870	321	8	6	1205	18	15,0718	25869,01	892	303	10	0	1205
19	15,701	28036,73	870	321	8	6	1205	19	15,1969	25888,8	890	305	10	0	1205
20	15,9424	28116,68	865	326	8	6	1205	20	15,1977	25839,13	889	304	11	1	1205

Los límites de la sectorización de la curva de capacidad se muestran en la tabla 44 para el sentido X y para el sentido Y.

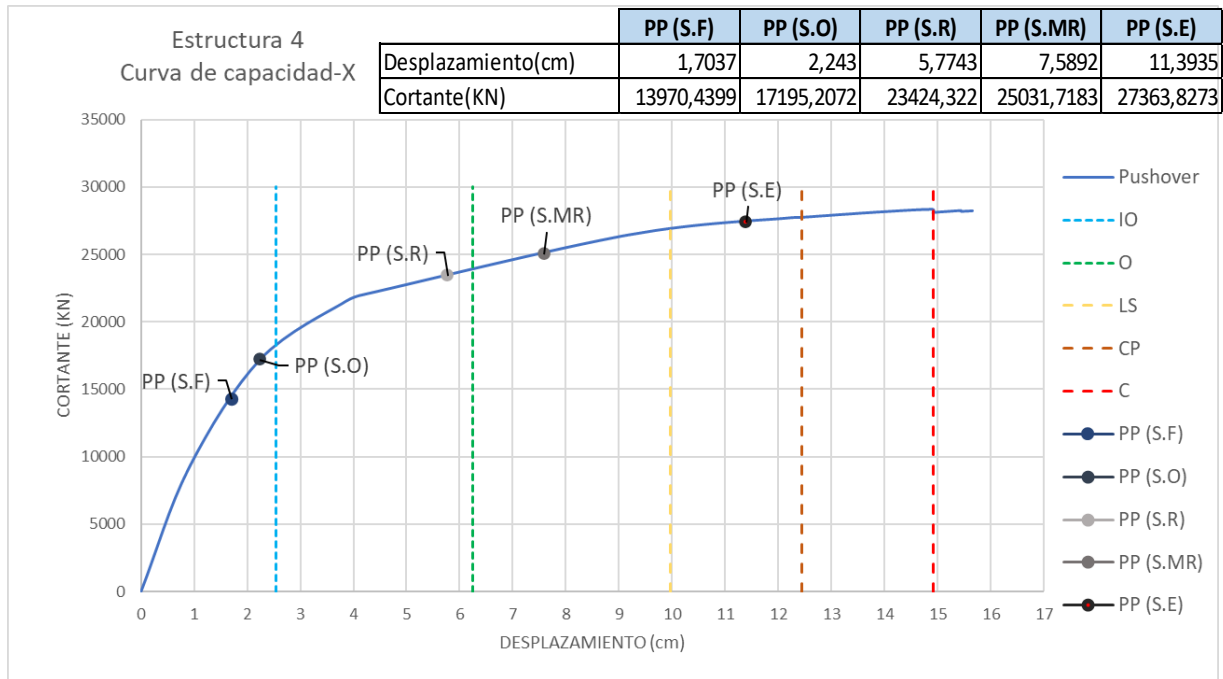
**Tabla 44.** Limites curva sectorizada estructura 4 X-Y

Fuente: Elaboración propia

	Limites X	Limites Y
Punto fluencia efectiva (cm)	2,538	2,542
Desplazamiento maximo (cm)	14,911	14,815
$\Delta p$ (cap. Desp. Inelastico) (cm)	12,373	12,273
Niv operacional (cm)	6,250	6,224
Seguridad de vida (cm)	9,962	9,906
Precolapso (cm)	12,436	12,360
Colapso (cm)	14,911	14,815

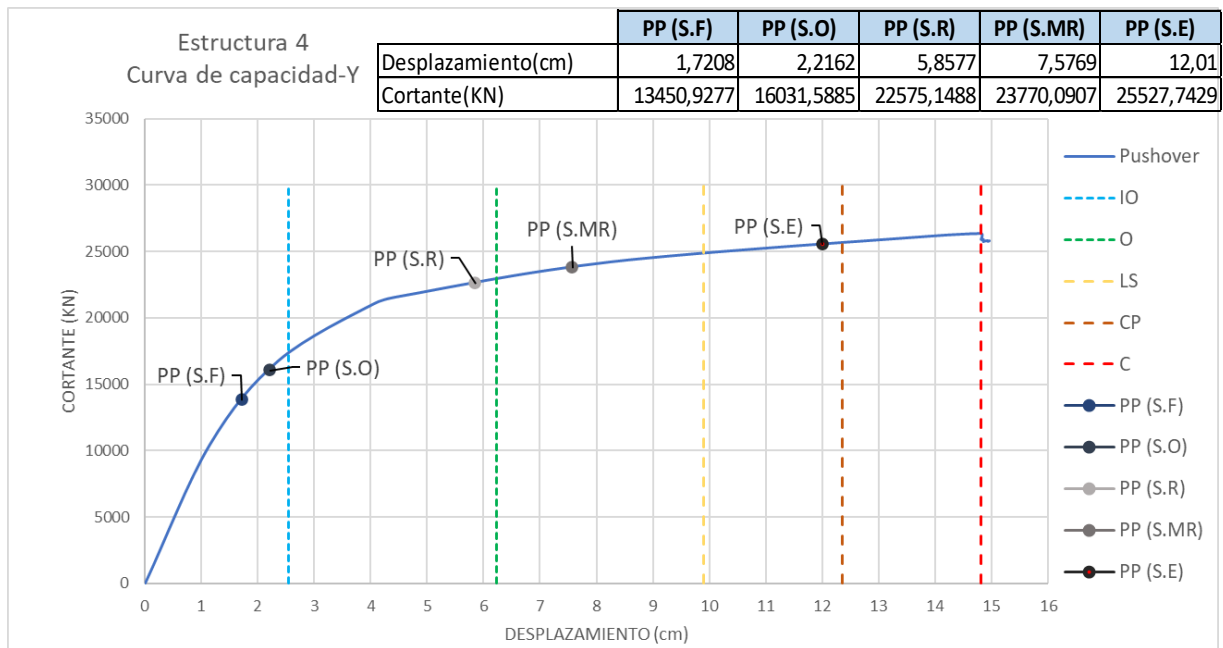
La figura 85 y 86 presenta las curvas de capacidad delimitadas por los límites de desempeño de la tabla 44, además de mostrar los puntos de desempeño (PP: Performance Point) de los distintos

niveles de demandas sísmicas obtenidos. Las figuras 87 a 96 presentan el estado de rotulas y la deformación de la estructura para cada nivel de demanda sísmica.



**Figura 85.** Desempeños estructura 4 (X)

Fuente: Elaboración propia

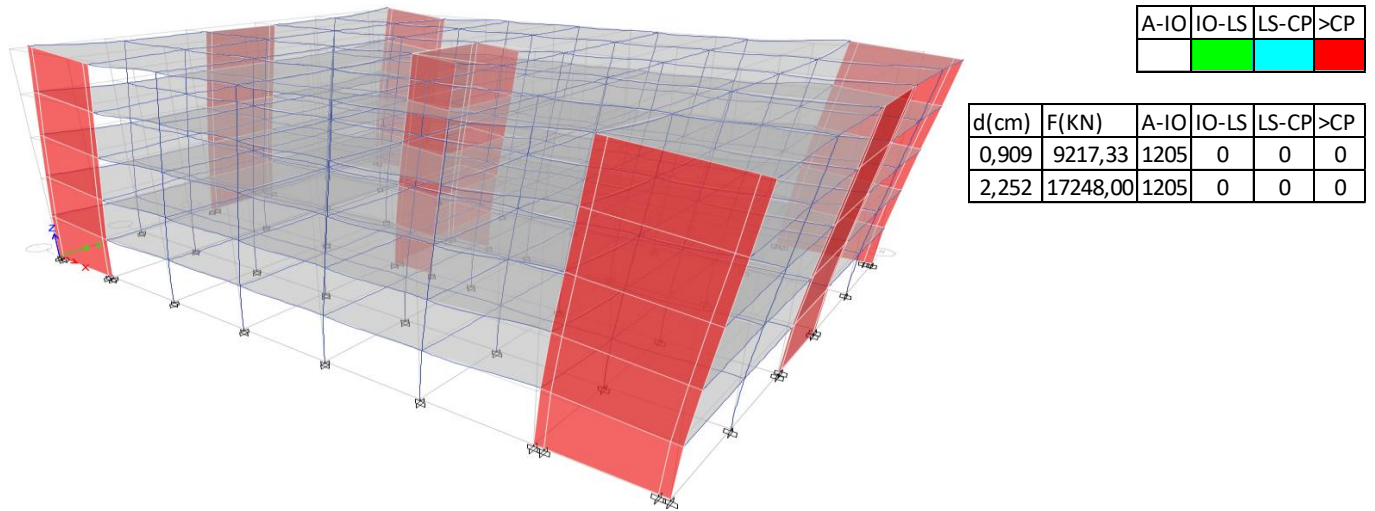


**Figura 86.** Desempeños estructura 4 (Y)

Fuente: Elaboración propia

• **Desempeño Sismo Frecuente**

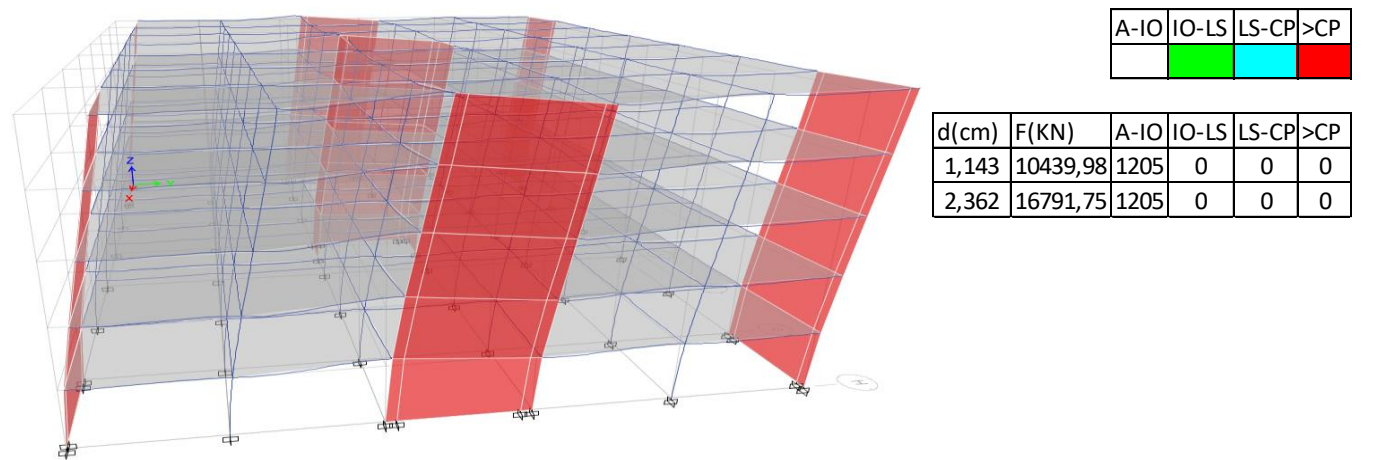
La estructura alcanza un nivel de desempeño IO (figura 85), las rótulas se encuentran en un rango A-IO (figura 87). La estructura está en su rango elástico y cumple los requerimientos para esta demanda.



**Figura 87.** Rótulas S.F estructura 4 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La figura 86 muestra el comportamiento en sentido Y frente a esta demanda la cual alcanza un nivel de desempeño IO, las rótulas se encuentran en un rango A-IO (figura 88). La estructura se mantiene en rango elástico cumpliendo con lo requerido.

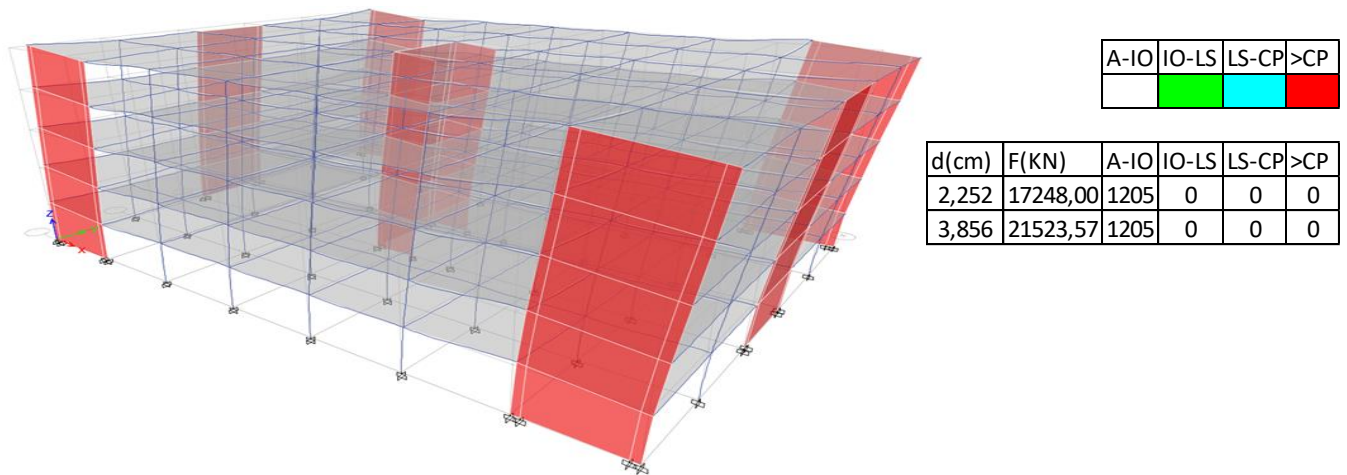


**Figura 88.** Rótulas S.F estructura 4 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Ocasional**

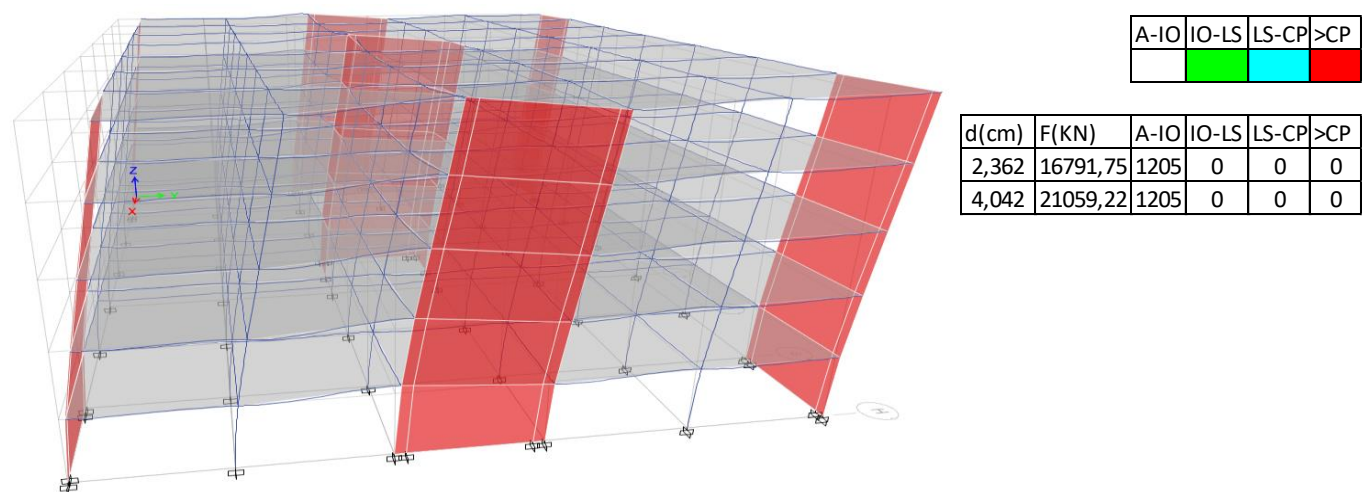
La estructura obtiene para el sentido X un nivel de desempeño IO (figura 85), las rótulas están en un rango A-IO (figura 89), por lo que la estructura tiene un buen comportamiento y mantiene su rango elástico para esta demanda cumpliendo con lo requerido.



**Figura 89.** Rótulas S.O estructura 4 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura mantiene su rango elástico para el sentido Y tiene un nivel de desempeño IO (figura 86), las rótulas se mantienen en un rango A-IO (figura 90), por lo que cumple el nivel esperado para esta demanda.

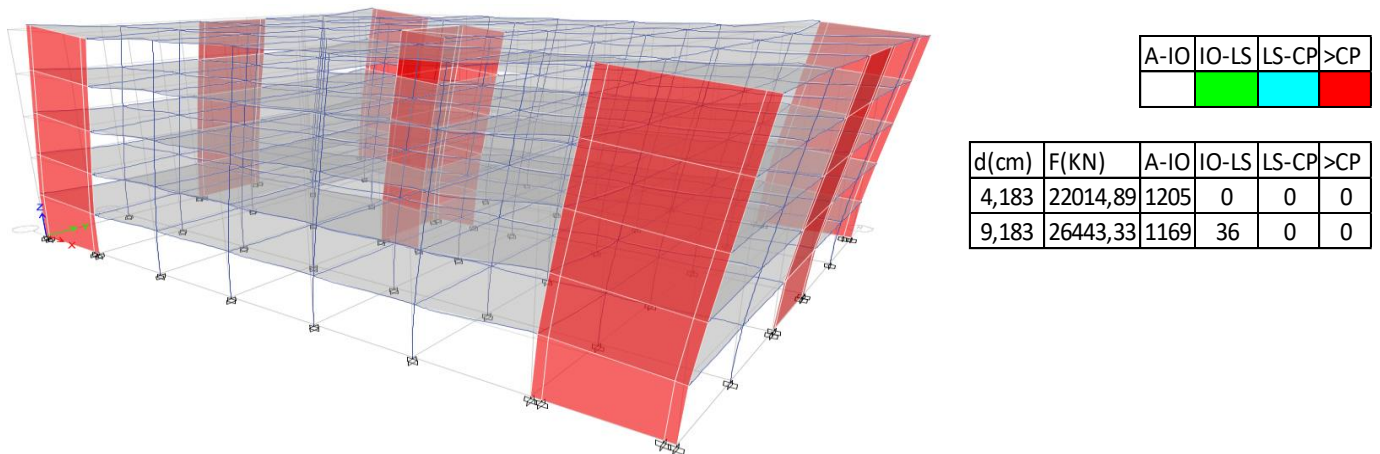


**Figura 90.** Rótulas S.O estructura 4 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Raro**

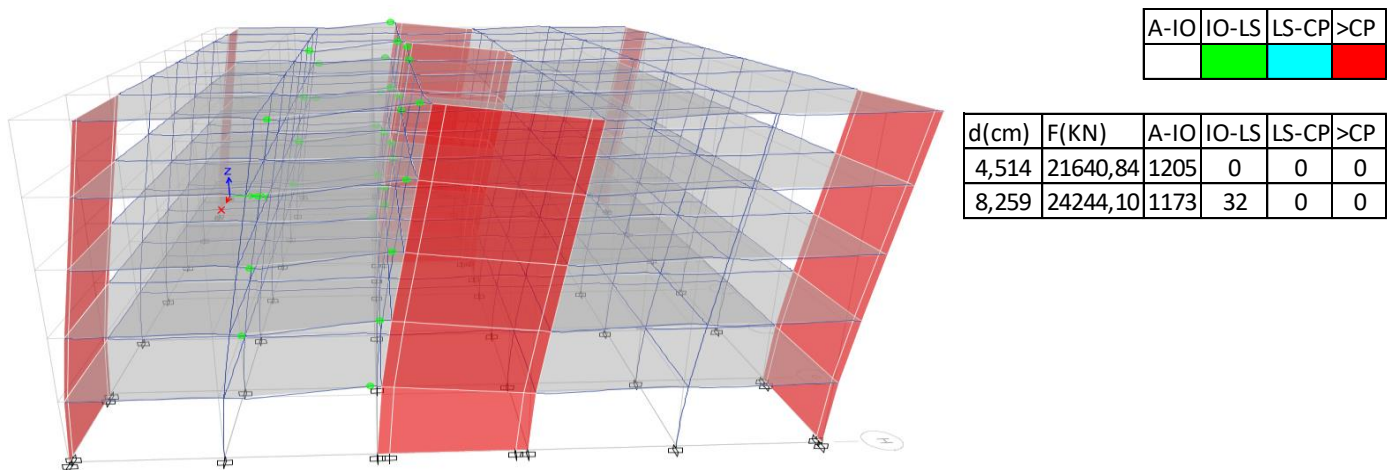
La estructura en sentido X alcanza un nivel de desempeño O (figura 85), las rótulas se mantienen en rango A-IO (figura 91). La estructura cumple todos los requerimientos para esta demanda.



**Figura 91.** Rótulas S.R estructura 4 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para esta demanda la estructura mantiene un nivel de desempeño IO para el sentido Y (figura 86), algunas rótulas entran en su rango A-IO (figura 92), por lo que se tiene un buen comportamiento y cumple con los requerimientos.

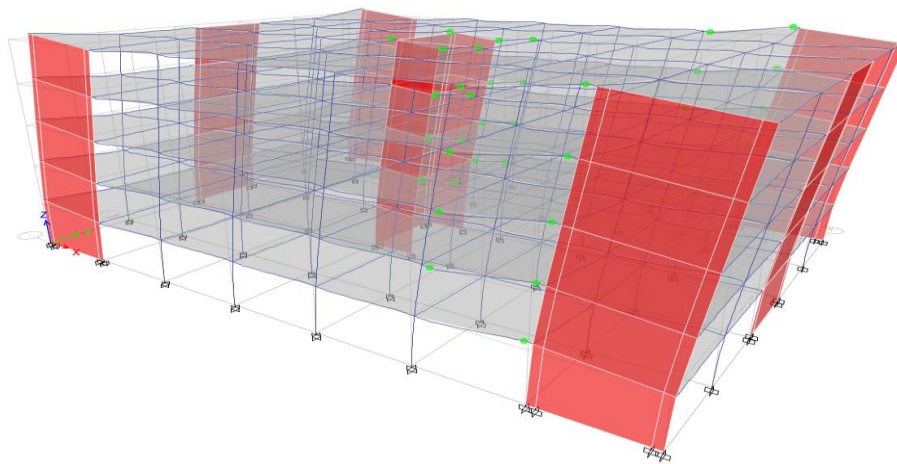


**Figura 92.** Rótulas S.R estructura 4 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Muy Raro**

Para esta demanda la estructura se encuentra en un nivel de desempeño LS para el sentido X (figura 85), las rótulas se encuentran en un nivel hasta IO-LS (figura 93). La estructura cumple con la demanda y tienen un comportamiento esperado.



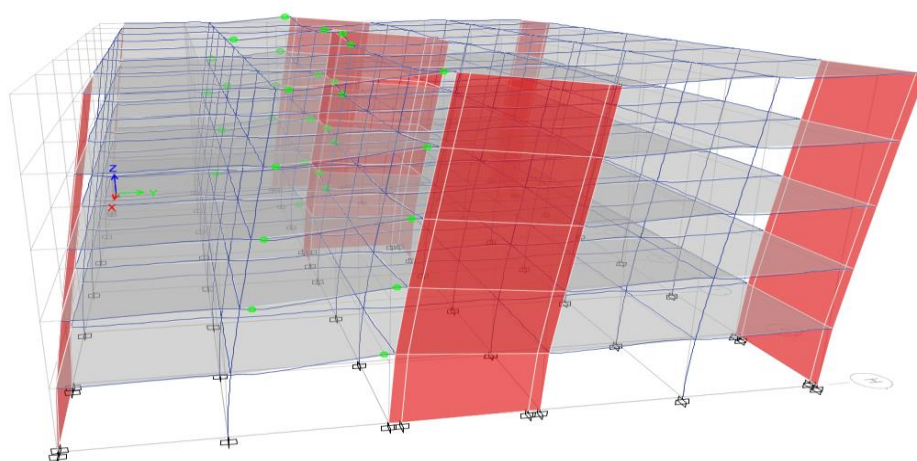
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,183	22014,89	1205	0	0	0
9,183	26443,33	1169	36	0	0

**Figura 93.** Rótulas S.MR estructura 4 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura en sentido Y mantienen un nivel de desempeño LS (figura 86), las rótulas se encuentran en un rango IO-LS (figura 94), mostrando un buen comportamiento y cumpliendo con los requerimientos.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

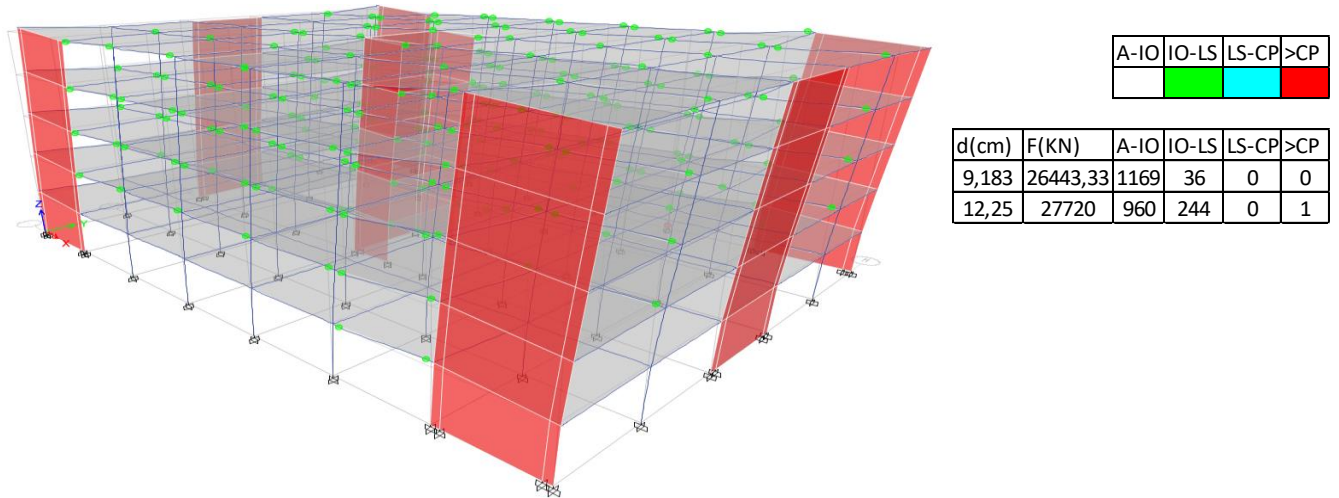
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,514	21640,84	1205	0	0	0
8,259	24244,10	1173	32	0	0

**Figura 94.** Rótulas S.MR estructura 4 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Extremo**

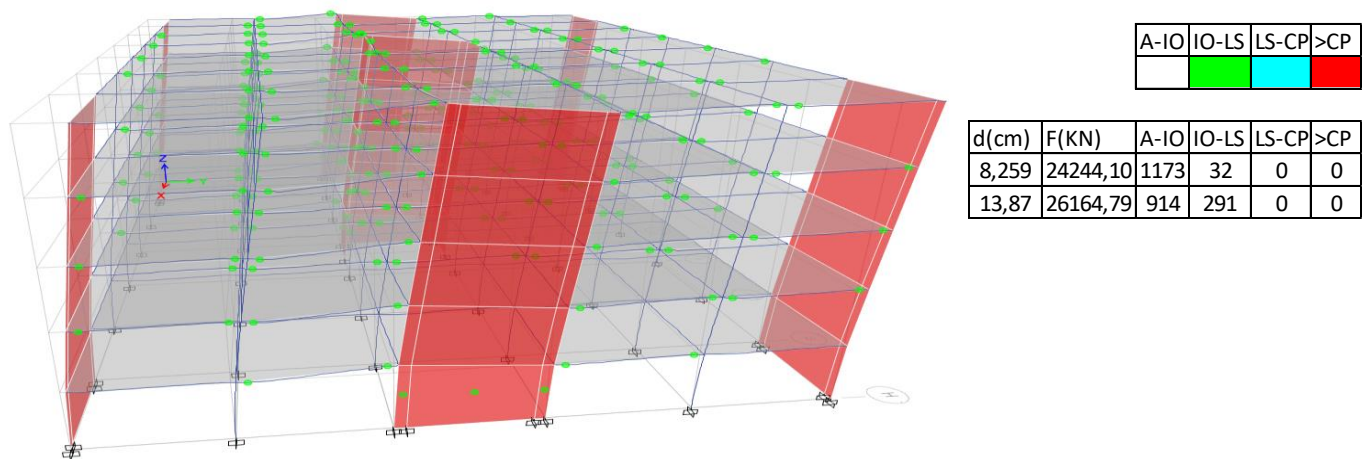
La estructura logra soportar la demanda de sismo extremo para el sentido X, manteniéndose en un nivel de desempeño CP (figura 86) y sus rótulas la mayoría en un rango IO-LS y una alcanzando el rango >CP (figura 95) cumpliendo con los requerimientos y la demanda.



**Figura 95.** Rótulas S.E estructura 4 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

De igual manera en sentido Y la estructura alcanza un nivel de desempeño CP (figura 86), las rótulas se mantienen hasta IO-LS (figura 96), obteniendo para la estructura un buen comportamiento alcanzado el objetivo esperado.

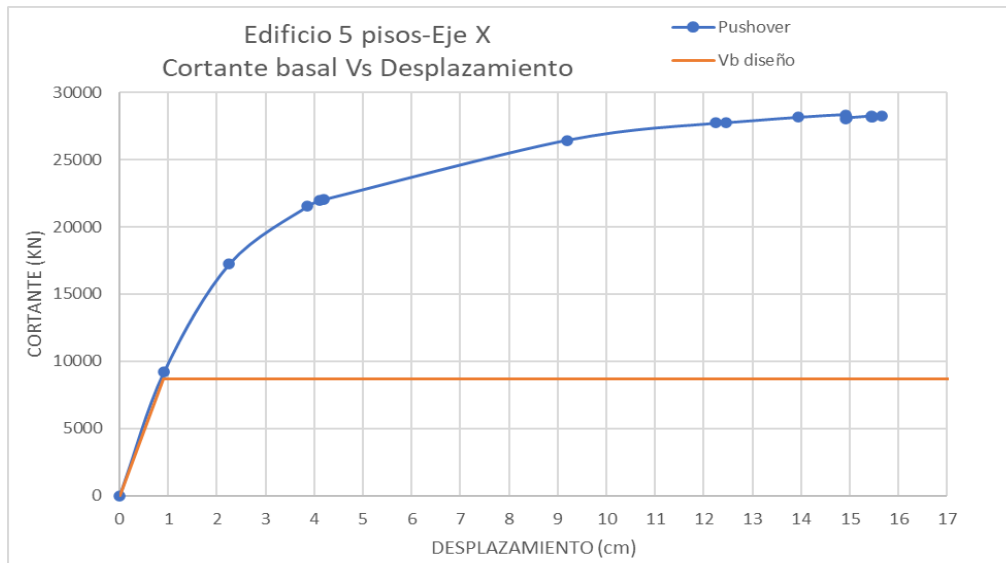


**Figura 96.** Rótulas S.E estructura 4 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

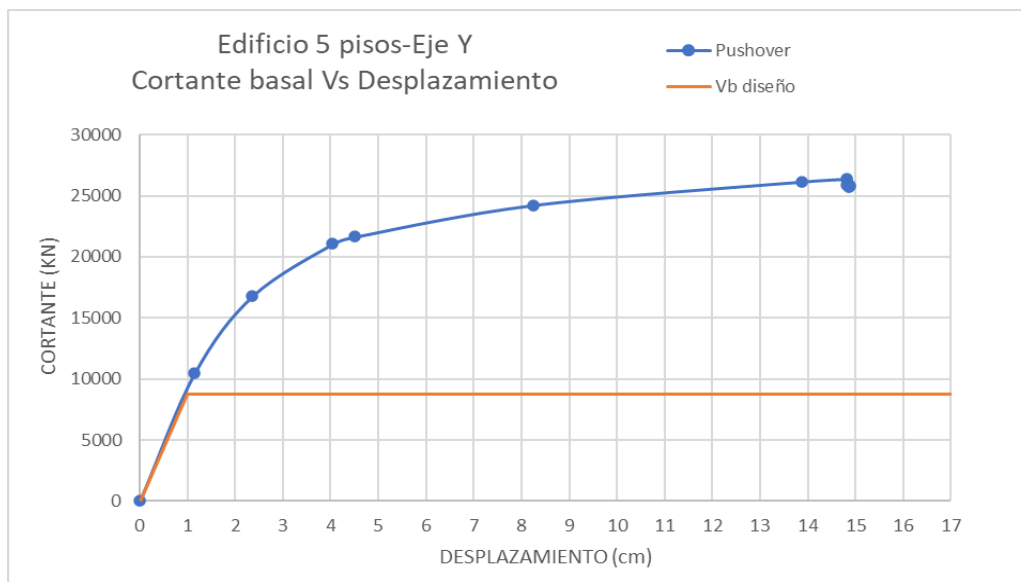
- **Curva de Capacidad vs Cortante de Diseño**

Se compara la curva de capacidad obtenida con el cortante basal de diseño del NSR-10 a la cual es sometida la estructura. Este cortante basal será el cortante dinámico obtenido y si es necesario corregido con el cortante sísmico mínimo F.H.E exigido por el NSR-10.



**Figura 97.** Curva de capacidad vs Vb diseño -estructura 4 (x)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 98.** Curva de capacidad vs Vb diseño- estructura 4 (y)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 97 y 98 muestran que la estructura 4 tiene una capacidad muy superior al cortante del diseño del NSR-10, resistiendo sin problemas esta demanda.

- **Coefficiente R Calculado**

Se calcula  $R\mu$  con las ecuaciones 10,11 y 12 dependiendo del caso,  $R_w$  se obtiene en tabla 9,  $R\Omega$  con la ecuación 13 y el R por la ecuación 8, este R es con base a la cortante de diseño obtenido.

**Tabla 45.** Cálculo de factor R estructura 4

Fuente: Elaboración propia

Factor de ductilidad $R\mu x$	
Desplazamiento cedente (cm)	2,1768
Desplazamiento maximo (cm)	14,9109
$\mu$	6,8499
t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R\mu x$	3,56368

Factor de ductilidad $R\mu y$	
Desplazamiento cedente (cm)	2,2631
Desplazamiento maximo (cm)	14,8151
$\mu$	6,5464
t entre 0,12 a 0,5 seg	
$R\mu y$	3,47746

Factor de redundancia $R_w x$	
$R_w x$	1

Factor de redundancia $R_w y$	
$R_w y$	1

Factor de sobre resistencia $R\Omega x$	
Vb max(KN)	28332,8726
Vb diseño(KN)	8714,21074
$R\Omega x$	3,25134122

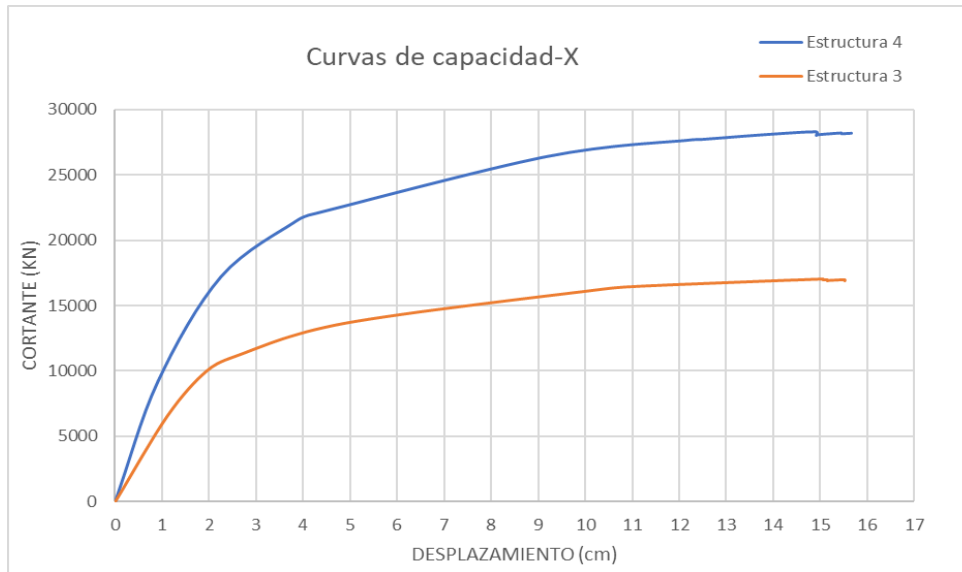
Factor de sobre resistencia $R\Omega y$	
Vb max(KN)	26369,9389
Vb diseño(KN)	8716,0205
$R\Omega y$	3,02545627

Coeficiente de modificacion de respuesta x	
$R_x$	11,5867486

Coeficiente de modificacion de respuesta y	
$R_y$	10,5209122

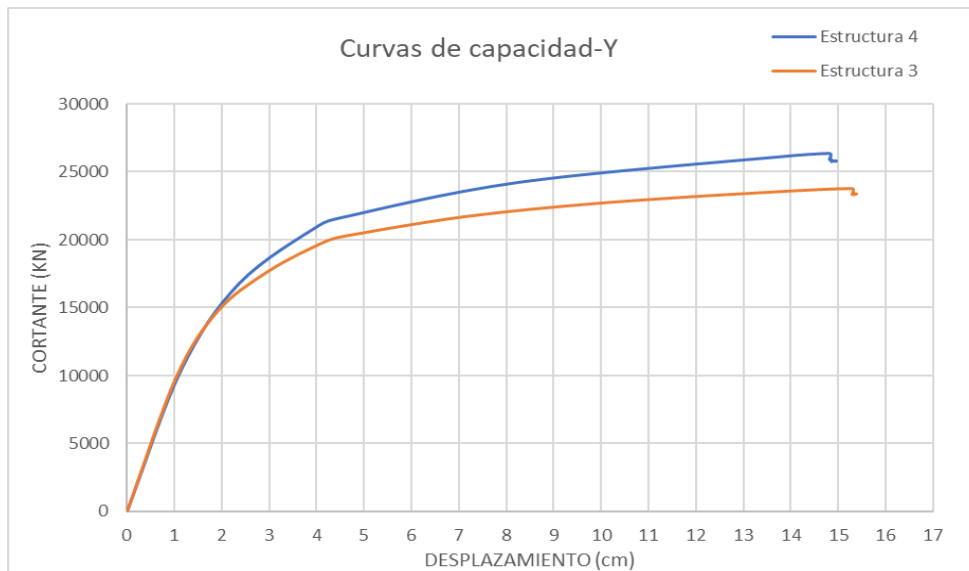
Los coeficientes R obtenidos fueron bastante altos y superiores al escogido  $R=7$  (tabla 45). Esto debido a la sobre resistencia alta obtenida para ambos sentidos y la baja relación demanda-capacidad de varios elementos verticales, lo que nos indica junto con los niveles desempeño obtenidos un diseño bastante competente frente a todas las demandas, aunque podría aun optimizarse más.

### 7.2.3 Comparaciones E3 vs E4



**Figura 99.** Figura 72. Curva capacidad X-E3 vs E4

Fuente: Elaboración propia



**Figura 100.** Curva capacidad Y-E3 VS E4

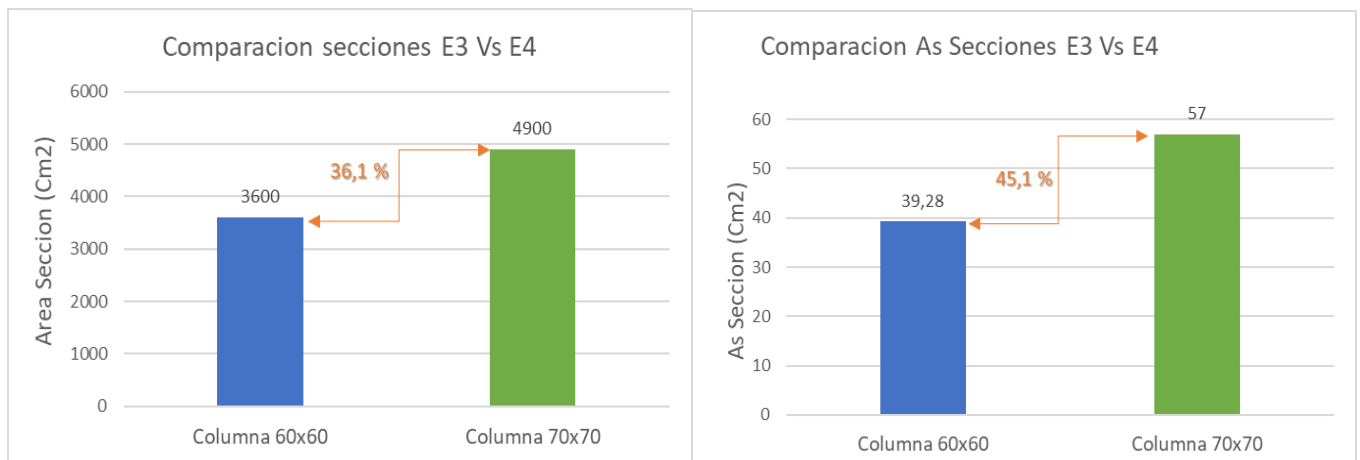
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46.** Niveles de desempeño E3 vs E4

Fuente: Elaboración propia

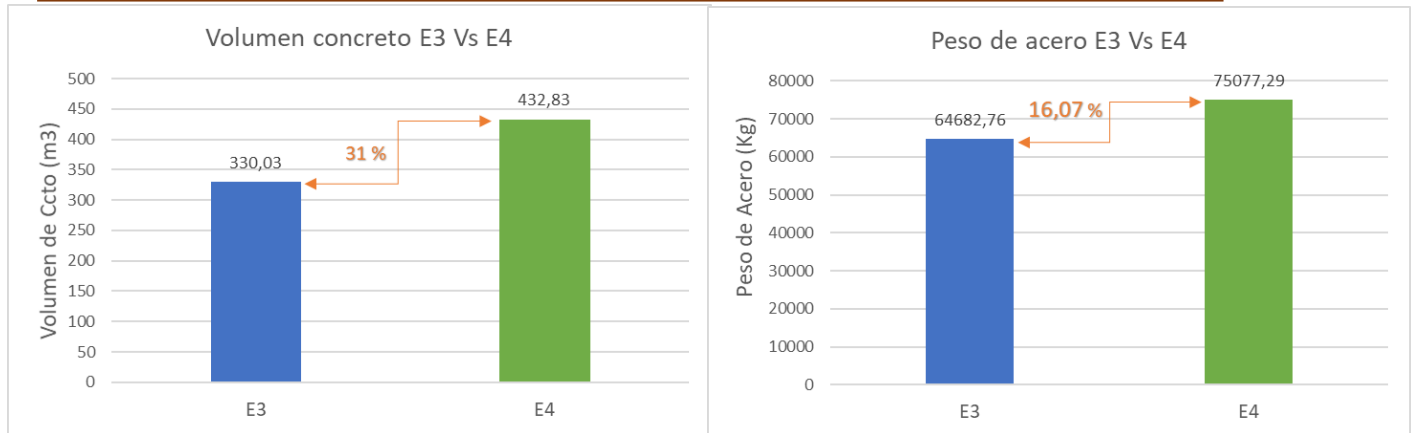
Movimiento sísmico	Estructura 3		Estructura 4	
	Nivel de desempeño-X	Nivel de desempeño-Y	Nivel de desempeño-X	Nivel de desempeño-Y
Frecuente	IO	IO	IO	IO
Ocasional	O	IO	IO	IO
Raro	LS	O	O	O
Muy raro	CP	LS	LS	LS
Extremo	N.F	CP	CP	CP

La estructura 3 tiene el adecuado desempeño para el sentido Y por lo que no varía mucho su capacidad con respecto a la estructura 4 como muestra la figura 100, para el sentido X la figura 99 presenta una diferencia significativa entre las estructuras por lo que se debió mejorar la capacidad en este sentido para cumplir la demanda del sismo extremo el aumento de secciones de los elementos columna en área de concreto es del 36.1% y en área de acero 45.1 % como muestra la figura 101. La estructura 3 tiene un comportamiento bueno frente a la demanda del NSR-10, en sentido Y cumplió los niveles de desempeños además de estar cerca de los desempeños esperados en sentido X, que por criterio del calculista podrían ser completamente aceptables en ciertas demandas.



**Figura 101.** Comparación de secciones E3 vs E4

Fuente: Elaboración propia



**Figura 102.** Comparación de cantidades de elementos verticales E3 vs E4  
 Fuente: Elaboración propia

El aumento de cantidades de material para los elementos verticales se muestran en la figura 102, los cambios de porcentaje de acero son pocos para lograr un aumento grande en la capacidad general de la estructura. Los resultados de los diferentes niveles de desempeño de ambas estructuras nos permiten concluir que se puede permitir la incursión inelástica de la estructura para los sismos ocasionales y frecuentes. Los muros en sentido X adicionados fueron bastante acertados para aumentar la capacidad de la estructura y mejorar su comportamiento frente a las demandas, lo que podría permitir dejar los elementos columna con la misma sección o con cambios poco significativos para ahorrar material, ya que la demanda/capacidad de estos es baja y la nueva configuración de muros aumenta la reserva estructural, además que los valores de deriva están alejados del límite del 1%.

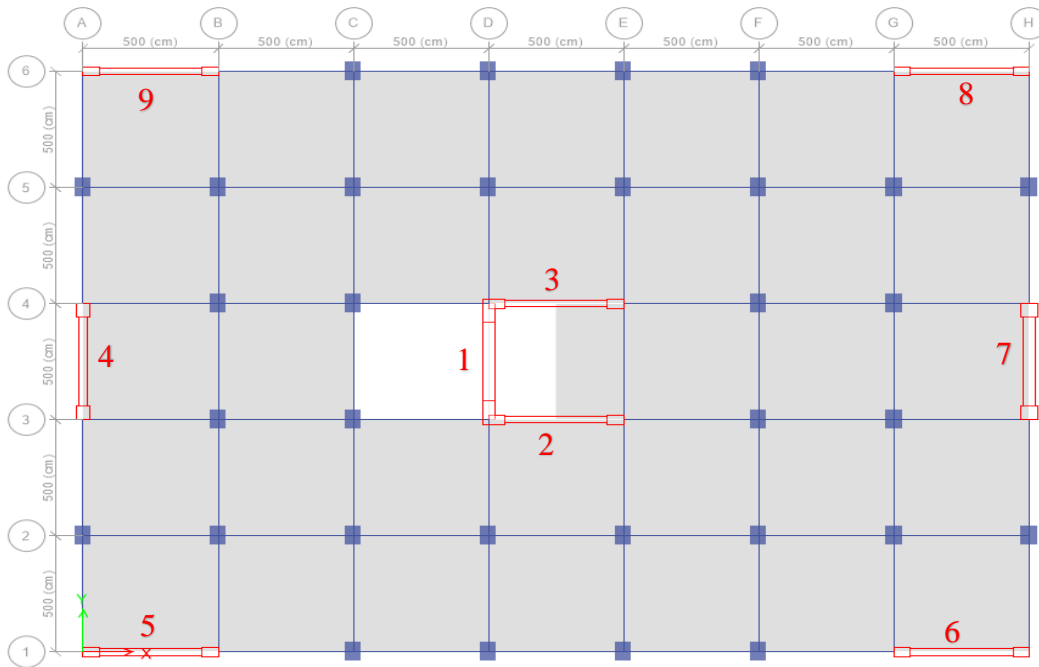
### 7.3 Estructuras de Ocho Niveles

#### 7.3.1 Estructura de Ocho Niveles (NSR-10)- (Estructura 5)

Se comienza modelando la estructura, se asignan las propiedades de los materiales además de las cargas y acciones a las que está sometida la estructura. Se procede a diseñar bajo lo establecido en el NSR-10, se buscó dar cumplimiento a la edificación corrigiendo en lo mayor posible la torsión causada por el núcleo del ascensor, tratando de mantener las mínimas secciones y cuantías de acero.

### 7.3.1.1 Configuración Estructural

Se configuró como un sistema combinado de pórticos de concreto con muros de concreto, las columnas son de 60x80 ubicando el lado mayor en la dirección Y, las vigas tienen una sección de 40x50 y los muros se muestran en la tabla 48.



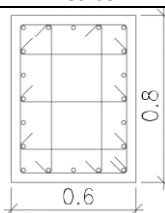
**Figura 103.** Planta estructural (Estructura 5)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La configuración de acero de la columna se presenta en la tabla 47, los muros y sus componentes y distribución de acero en la tabla 48, los tipos de vigas y su acero en el anexo 5.

**Tabla 47.** Acero columna 60x80

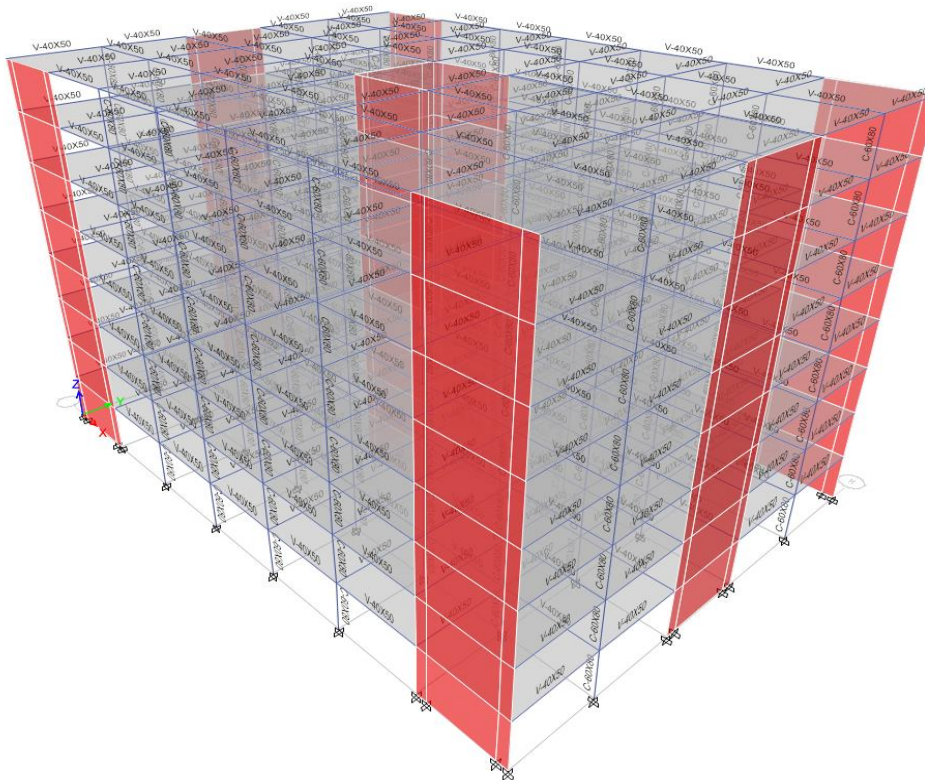
Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	3/4	11,4
Caras	16	3/4	45,6
	Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )		57
	Porcentaje seleccionado		1,19%
	As confinamiento c/10 cm		
	Direc-X	4-#3	
Direc-Y	4-#3		

**Tabla 48.** Muros estructura 5

Fuente: Elaboración propia

Muro	Espesor (cm)	As long	As transv	Element. Bd	As element. Bd (cm2)
1	45	#7 @ 15	#7 @ 20	80x45	68,9
2	25	#7 @ 15	#7 @ 12,5	60x40	101,4
3	25	#7 @ 15	#7 @ 12,5	60x40	101,4
4	30	#5 @ 15	#6 @ 15	60x50	58,2
5	30	#6 @ 20	#6 @ 15	60x40	66,51
6	30	#6 @ 20	#6 @ 15	60x40	66,51
7	45	#7 @ 15	#7 @ 12,5	60x65	101,4
8	30	#6 @ 20	#6 @ 15	60x40	66,51
9	30	#6 @ 20	#6 @ 15	60x40	66,51



**Figura 104.** Visualización 3D Estructura 5

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La demanda/capacidad de los elementos tipo columna principales está entre 34 al 52%. Los elementos tipo muro muros entre 83 al 99%, el listado completo de las columnas y muros se presenta en el anexo 11.

### 7.3.1.2 Resumen Análisis Dinámico

Peso propio estructura considerado:

-Carga muerta (CM) = 53374.7118 KN

-Sobrecarga muerta (SCM) = 22540 KN

-Carga viva (CV) = 26250 KN (se considera un 25% para el peso total)

-Peso total = 82477.2118 KN

Los modos fundamentales con su periodo y porcentaje de participación de masa se presentan en la tabla 49.

**Tabla 49.** Modos fundamentales estructura 5

Fuente: Elaboración propia

MODO	T(s)	% Participación de masa			Direc	Aceleraciones espectrales	
		Ux	Uy	Rz		Adg(elast)	adg(elast red)
2	0,564	0,697	0	0	x	1,196808511	0,170972644
1	0,58	0	0,6429		y	1,11637931	0,159482759
3	0,508	0		0,6312	tor		

El cortante basal de diseño será:

$V_{bx} = 11281.0776$  KN

$V_{by} = 10522.95461$  KN

### 7.3.1.3 Derivas

Las derivas obtenidas del análisis se presentan en la tabla 50, el límite según el NSR-10 será del 1%. Las derivas en ambas direcciones cumplen con el 1%.

**Tabla 50.** Derivas X-Y

Fuente: Elaboración propia

Nivel	X		Y	
	X-deriva	Estado	Y-deriva	Estado
N+24.00m	0,00703	OK	0,00840	OK
N+21.00m	0,00749	OK	0,00908	OK
N+18.00m	0,00771	OK	0,00945	OK
N+15.00m	0,00766	OK	0,00950	OK
N+12.00m	0,00721	OK	0,00903	OK
N+9.00m	0,00625	OK	0,00792	OK
N+6.00m	0,00470	OK	0,00602	OK
N+3.00m	0,00229	OK	0,00294	OK

### 7.3.1.4 Análisis no Lineal

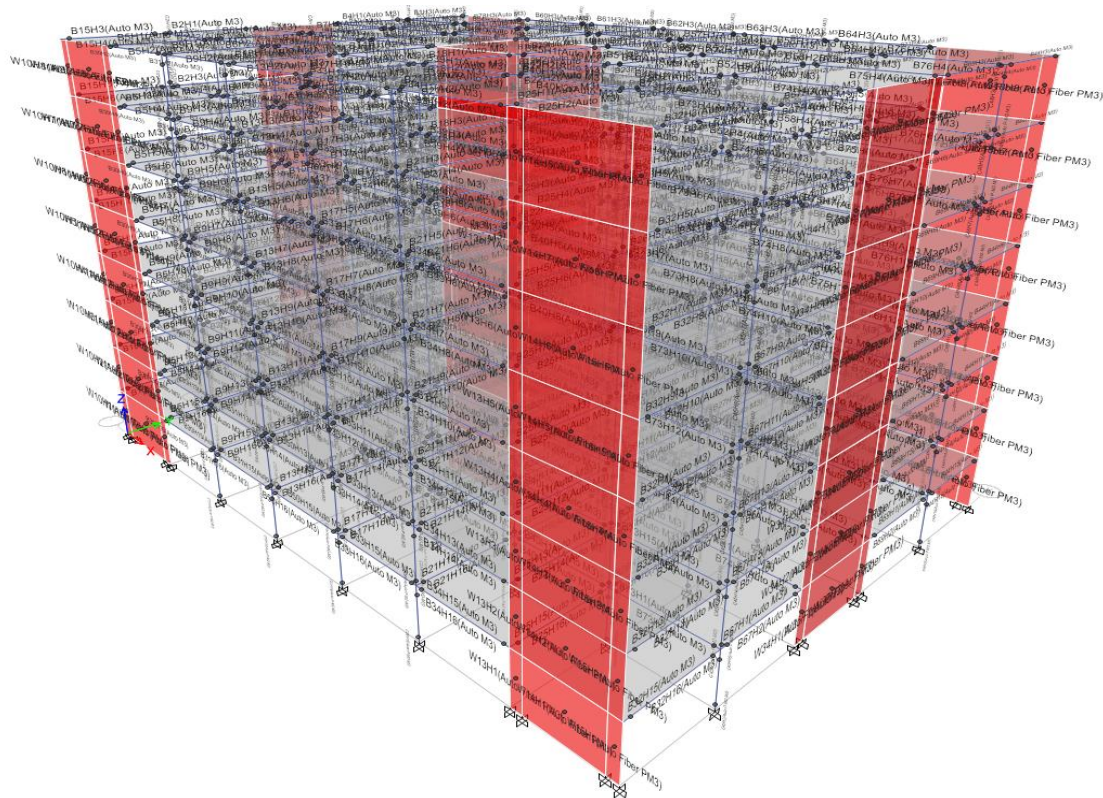
El patrón de carga triangular normalizado se muestra en la tabla 51, estas fuerzas están aplicadas en los centros de masas de la estructura 5.

**Tabla 51.** Patrón de cargas triangular X-Y

Fuente: Elaboración propia

Patron de cargas triangular X					Patron de cargas triangular Y				
Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)	Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)
N+24.00m	248,7050	248,7050	7,5692	7569,1543	N+24.00m	229,2842	229,2842	7,0241	7024,1005
N+21.00m	501,1197	252,4147	7,6821	7682,0563	N+21.00m	463,0329	233,7487	7,1609	7160,8700
N+18.00m	689,8231	188,7034	5,7430	5743,0496	N+18.00m	636,9998	173,9669	5,3295	5329,4601
N+15.00m	838,3142	148,4911	4,5192	4519,2177	N+15.00m	774,0925	137,0927	4,1998	4199,8223
N+12.00m	957,5369	119,2227	3,6285	3628,4554	N+12.00m	885,5911	111,4986	3,4157	3415,7494
N+9.00m	1051,0100	93,4731	2,8448	2844,7852	N+9.00m	975,0280	89,4369	2,7399	2739,8912
N+6.00m	1116,5510	65,5410	1,9947	1994,6923	N+6.00m	1039,4770	64,4490	1,9744	1974,3892
N+3.00m	1149,4087	32,8577	1	1000	N+3.00m	1072,1195	32,6425	1	1000

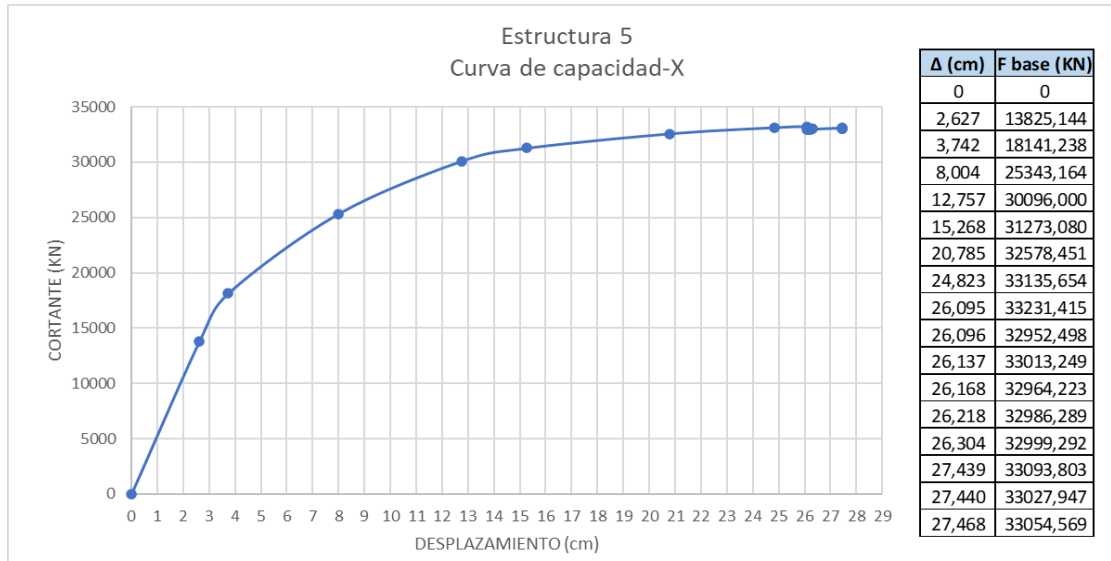
Se asignan las rótulas plásticas a los elementos como muestra la figura 105 de acuerdo con los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.



**Figura 105.** Rótulas plásticas asignadas a la estructura 5

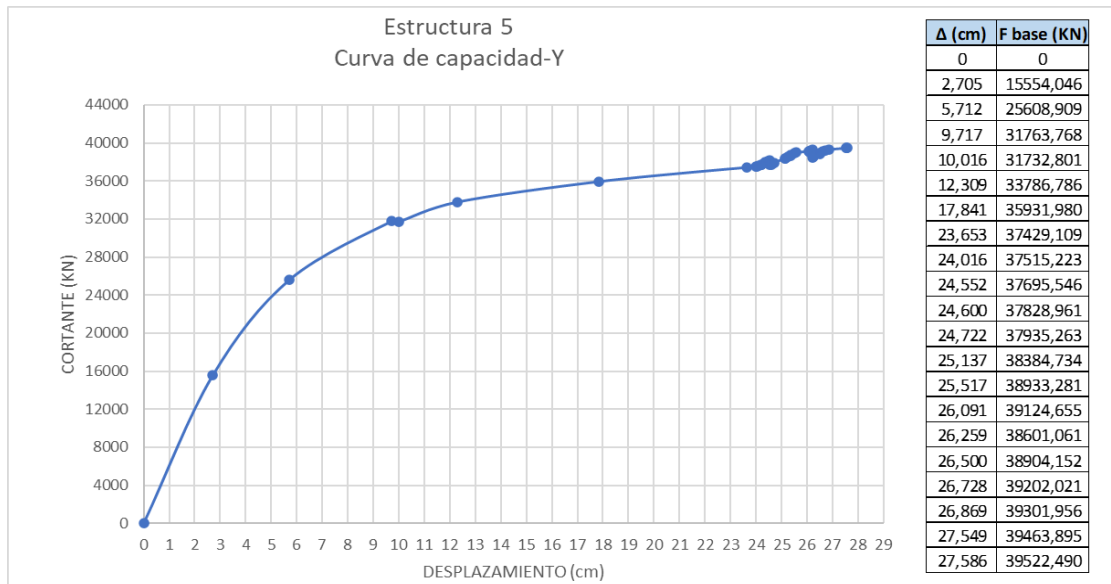
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Con el análisis pushover se obtiene las curvas de capacidad las cuales se presentan en la figura 106 para el sentido X y para el sentido Y se presenta en la figura 107.



**Figura 106.** Curva de capacidad X -estructura 5

Fuente: Elaboración propia



**Figura 107.** Curva de capacidad Y estructura 5

Fuente: Elaboración propia

### 7.3.1.5 Evaluación de Desempeño

Las rótulas en la estructura obtenidas del análisis se muestran en la tabla 52 para el sentido X y para el sentido Y. se observa el número de rótulas de la estructura y en qué nivel de

aceptabilidad se encuentran para cada intervalo de desplazamiento vs fuerza, basado en los criterios del ASCE 41-13 (Tablas 1 y 2).

**Tabla 52.** Rótulas estructura 5 X-Y

Fuente: Elaboración propia

Rotulas - X								Rotulas - Y							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total	Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1896	0	0	0	1896	0	0	0	1896	0	0	0	1896
1	2,6265	13825,14	1896	0	0	0	1896	1	2,7048	15554,05	1896	0	0	0	1896
2	3,742	18141,24	1896	0	0	0	1896	2	5,712	25608,91	1896	0	0	0	1896
3	8,0044	25343,16	1896	0	0	0	1896	3	9,7167	31763,77	1896	0	0	0	1896
4	12,7565	30096	1880	16	0	0	1896	4	10,0164	31732,8	1896	0	0	0	1896
5	15,2675	31273,08	1830	66	0	0	1896	5	12,3091	33786,79	1882	14	0	0	1896
6	20,785	32578,45	1562	334	0	0	1896	6	17,8408	35931,98	1818	78	0	0	1896
7	24,8229	33135,65	1382	513	1	0	1896	7	23,653	37429,11	1464	432	0	0	1896
8	26,0952	33231,42	1366	527	2	1	1896	8	24,0155	37515,22	1443	453	0	0	1896
9	26,096	32952,5	1362	527	6	1	1896	9	24,0163	37483,96	1442	453	1	0	1896
10	26,1371	33013,25	1362	527	6	1	1896	10	24,1188	37654,87	1440	455	1	0	1896
11	26,1676	32964,22	1362	526	7	1	1896	11	24,2123	37757,62	1439	456	1	0	1896
12	26,218	32986,29	1361	527	7	1	1896	12	24,2131	37705,08	1439	455	2	0	1896
13	26,3036	32999,29	1360	528	7	1	1896	13	24,3659	37954,71	1438	456	2	0	1896
14	27,4387	33093,8	1355	533	7	1	1896	14	24,3667	37900,53	1437	456	3	0	1896
15	27,4395	33027,95	1355	532	8	1	1896	15	24,4607	38081,88	1435	458	3	0	1896
16	27,4677	33054,57	1355	532	8	1	1896	16	24,5509	38184,84	1434	459	3	0	1896
17	27,7926	33082,1	1352	535	8	1	1896	17	24,5517	37695,55	1432	459	5	0	1896
18	27,7934	32690,13	1350	530	15	1	1896	18	24,6	37828,96	1432	459	5	0	1896
19	27,8427	32786,92	1348	532	15	1	1896	19	24,6008	37696,91	1431	459	6	0	1896
20	27,8972	32838,74	1348	532	15	1	1896	20	24,7219	37935,26	1430	460	6	0	1896
								21	25,1369	38384,73	1424	466	6	0	1896
								22	25,1377	38393,95	1424	465	7	0	1896
								23	25,2638	38600,63	1423	466	7	0	1896
								24	25,3675	38672,07	1422	467	7	0	1896
								25	25,3683	38705,54	1422	466	8	0	1896
								26	25,5168	38933,28	1418	470	8	0	1896
								27	25,5758	38989,13	1416	472	8	0	1896
								28	26,091	39124,65	1405	483	8	0	1896
								29	26,0918	39125,08	1405	482	9	0	1896
								30	26,0926	39068,95	1405	481	10	0	1896
								41	27,5483	39453,51	1383	499	14	0	1896
								42	27,5491	39463,9	1383	497	16	0	1896
								43	27,5861	39522,49	1383	497	16	0	1896
								44	27,5869	38195,19	1382	496	18	0	1896

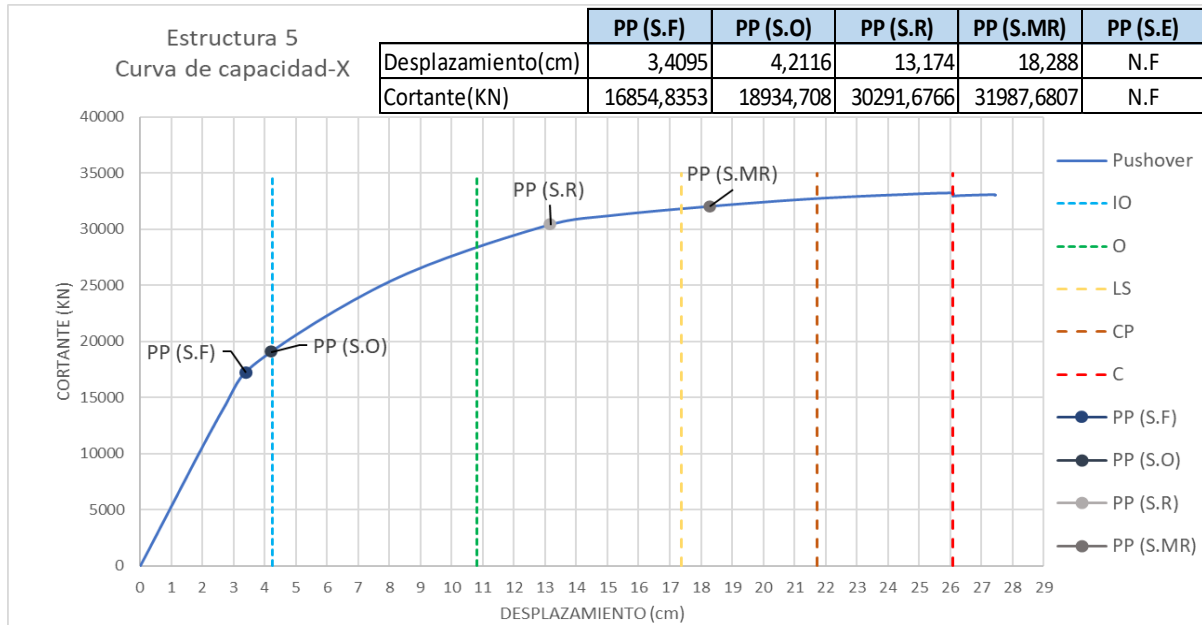
Los límites de la sectorización de la curva de capacidad se muestran en la tabla 53 para el sentido X y para el sentido Y.

**Tabla 53.** Límites curva sectorizada estructura 5 X-Y

Fuente: Elaboración propia

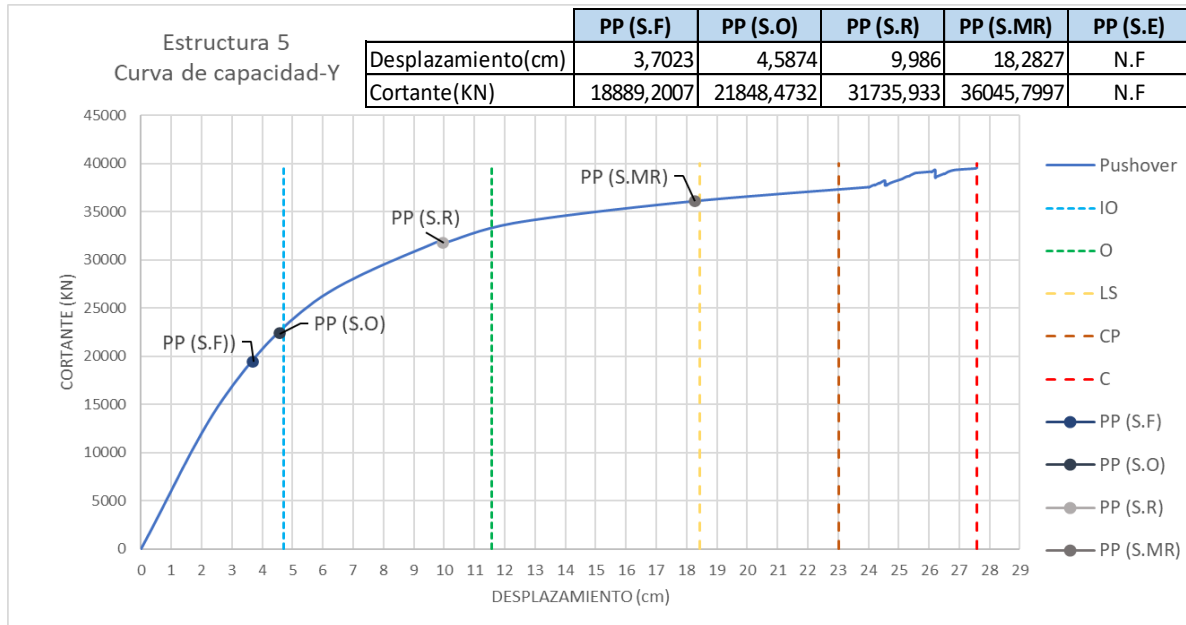
	Límites X	Límites Y
Punto fluencia efectiva (cm)	4,256	4,720
Desplazamiento máximo (cm)	26,095	27,586
$\Delta p$ (cap. Desp. Inelástico) (cm)	21,839	22,866
Niv operacional (cm)	10,808	11,580
Seguridad de vida (cm)	17,360	18,440
Precolapso (cm)	21,727	23,013
Colapso (cm)	26,095	27,586

La figura 108 y 109 presenta las curvas de capacidad delimitadas por los límites de desempeño de la tabla 53, además de mostrar los puntos de desempeño (PP: Performance Point) de los distintos niveles de demandas sísmicas obtenidos. Las figuras 110 a 119 presentan el estado de rotulas y la deformación de la estructura para cada nivel de demanda sísmica.



**Figura 108.** Desempeños estructura 5 (X)

Fuente: Elaboración propia

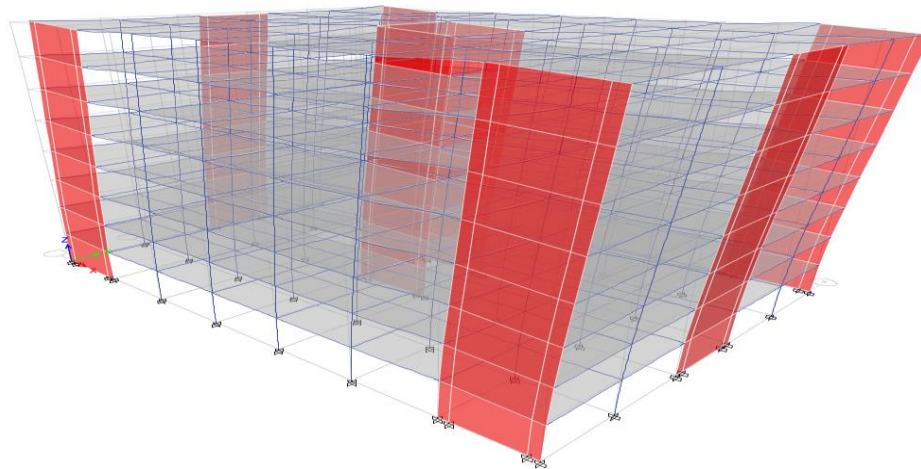


**Figura 109.** Desempeños estructura 5 (Y)

Fuente: Elaboración propia

• **Desempeño Sismo Frecuente**

La estructura en su sentido X se mantienen en su rango elástico obteniendo un nivel de desempeño O (figura 108), las rótulas están en un rango A-IO (figura 110), por lo que la estructura cumple con los requerimientos.



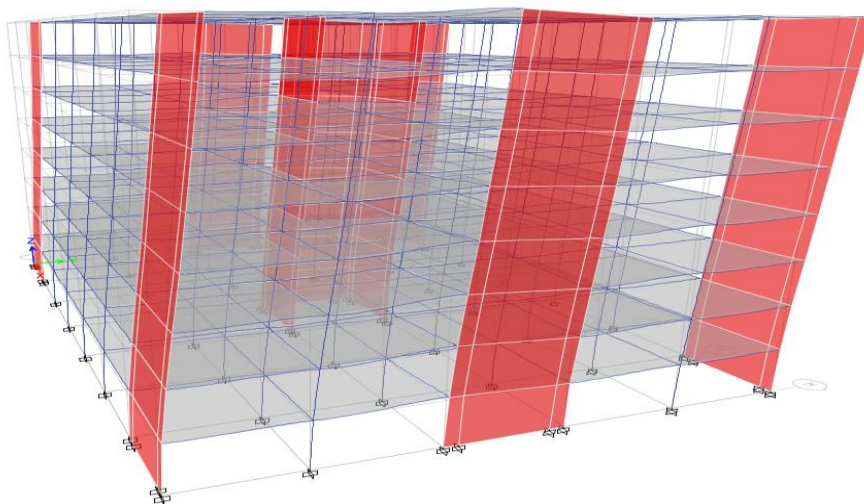
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
2,627	13825,14	1896	0	0	0
3,742	18141,24	1896	0	0	0

**Figura 110.** Rótulas S.F estructura 5 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para el sentido Y la estructura se encuentra en un nivel de desempeño IO (figura 109) manteniéndose en su rango elástico, las rótulas están en un rango A-IO (figura 111). La estructura logra cumplir con los requerimientos de la demanda.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

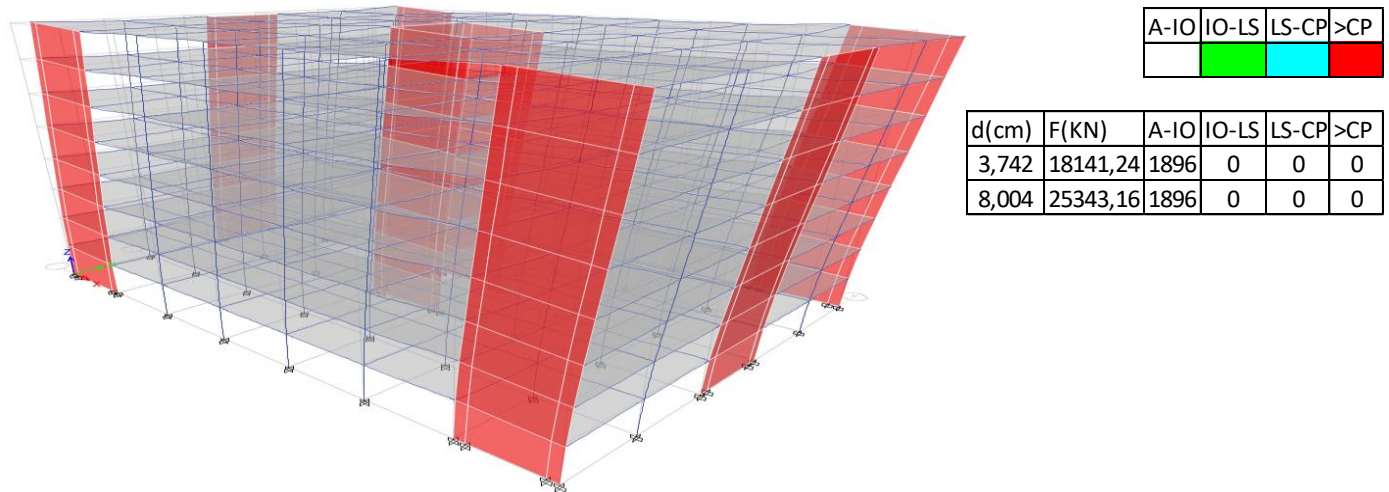
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
2,705	15554,05	1896	0	0	0
5,712	25608,91	1896	0	0	0

**Figura 111.** Rótulas S.F estructura 5 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Ocasional**

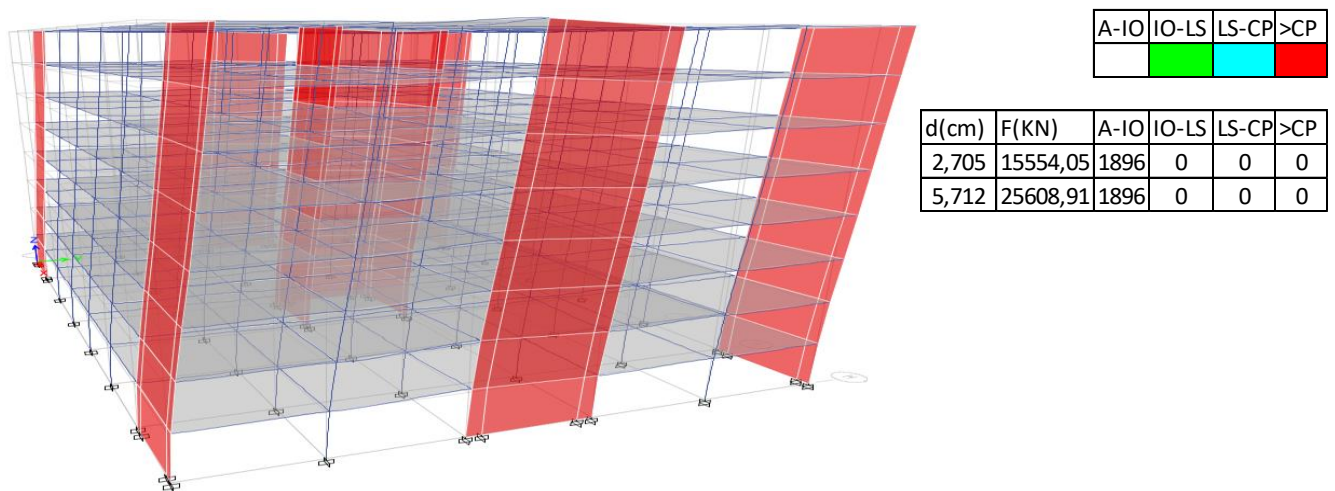
Con esta demanda la estructura logra alcanzar el nivel de desempeño IO para el sentido X (figura 108), las rótulas se mantienen en un rango A-IO (figura 112) por lo que la estructura logra mantenerse en su límite del rango elástico cumpliendo lo requerido.



**Figura 112.** Rótulas S.O estructura 5 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para el sentido Y la estructura tiene un nivel de desempeño IO (figura 109), las rótulas están en un rango A-IO (figura 113). La estructura logra mantenerse en el rango lineal cumpliendo con lo esperado.

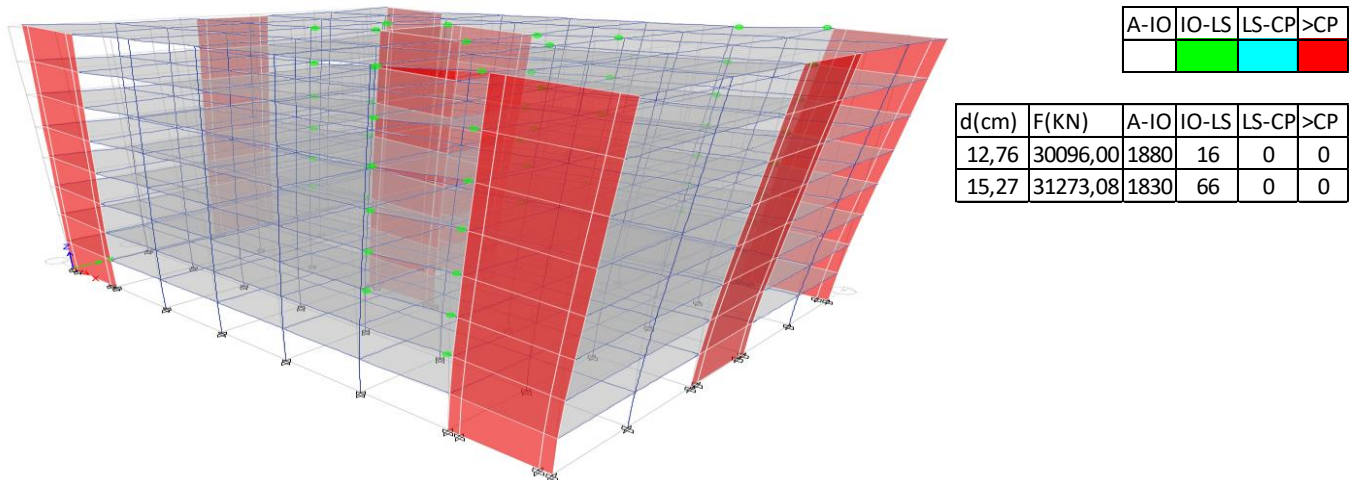


**Figura 113.** Rótulas S.O estructura 5 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Raro**

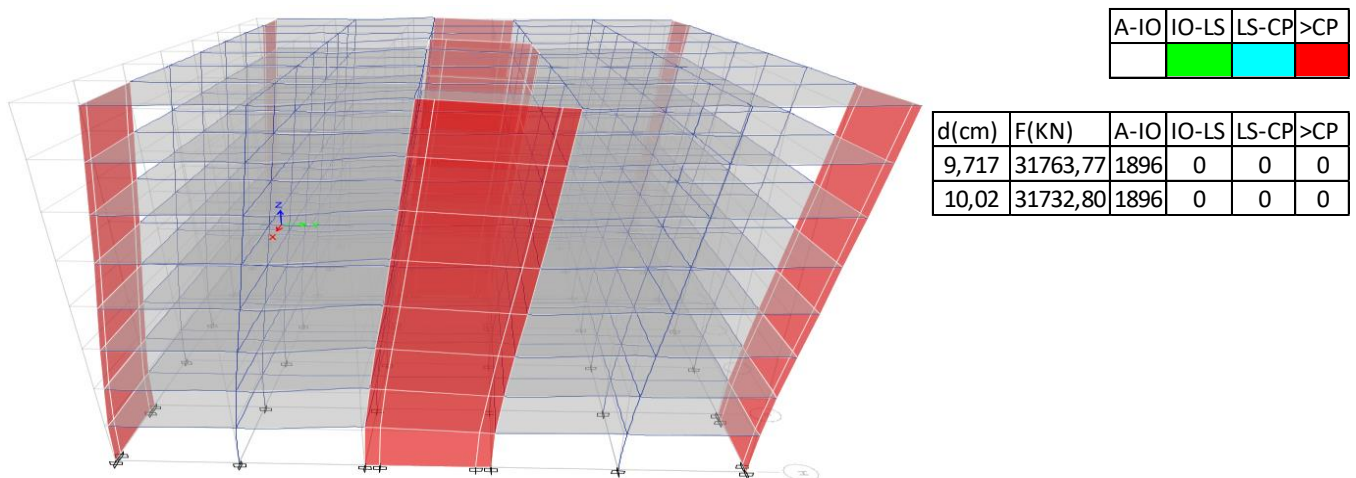
La estructura en el sentido X se encuentra en nivel de desempeño LS (figura 108), algunas rótulas llegan a un rango IO-LS (figura 114). La estructura no logra obtener un comportamiento adecuado frente a esta demanda, en la cual debería estar en un nivel de desempeño O.



**Figura 114.** Rótulas S.R estructura 5 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para esta demanda la estructura en sentido Y esta en nivel de desempeño O (figura 109), las rótulas se mantienen aún en un rango A-IO (figura 115). La estructura muestra un buen comportamiento frente a esta demanda cumpliendo con lo requerido.

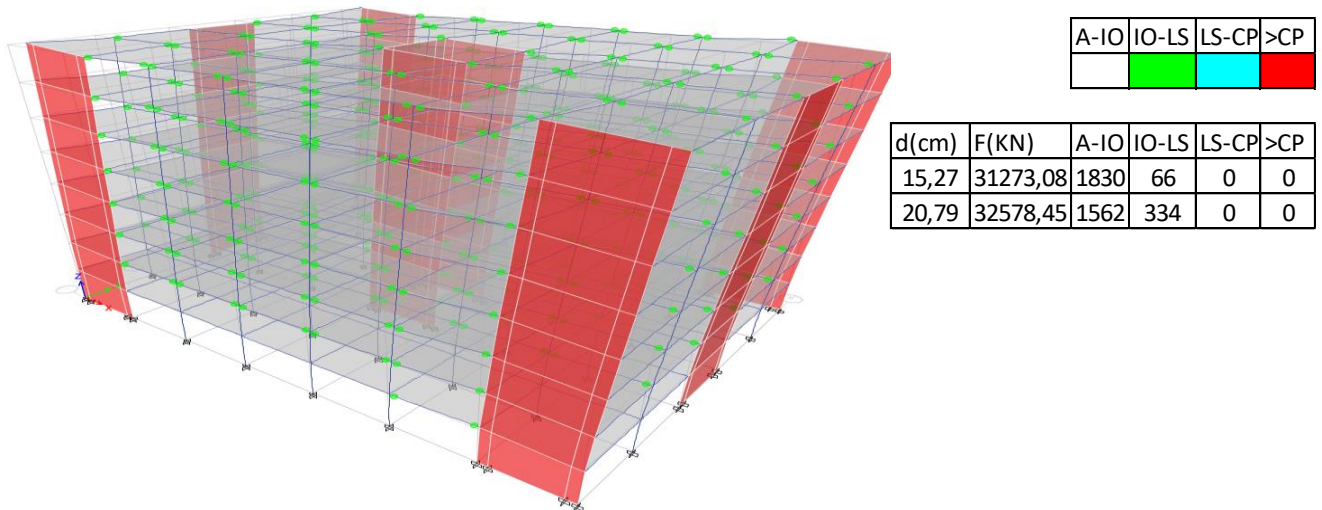


**Figura 115.** Rótulas S.R estructura 5 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

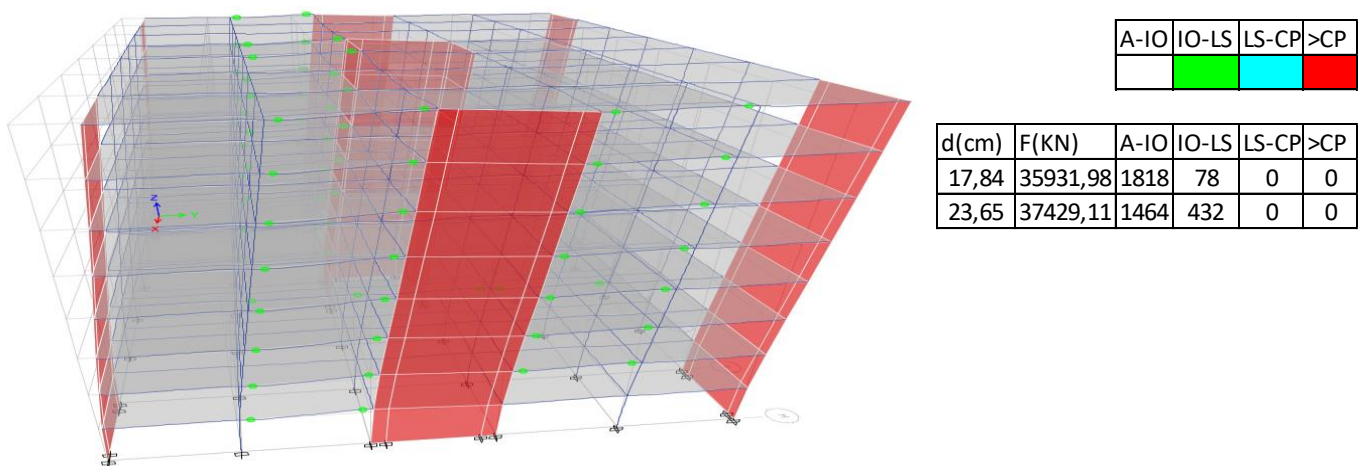
• **Desempeño Sismo Muy Raro**

La estructura para el sentido X alcanza un nivel de desempeño CP (figura 108), la mayoría de rótulas están en un rango IO-LS (figura 116). La estructura debería mantenerse en un nivel de desempeño LS para cumplir con lo esperado.



**Figura 116.** Rótulas S.MR estructura 5 (X)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

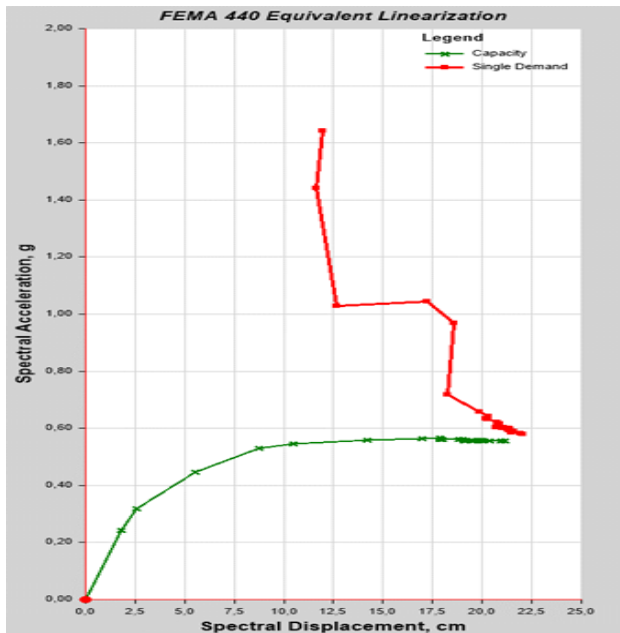
La estructura se mantiene en un nivel de desempeño LS para el sentido Y (figura 109), Las rótulas alcanzan un rango IO-LS (figura 117). Para esta demanda la estructura tiene un buen comportamiento y cumple con lo requerido.



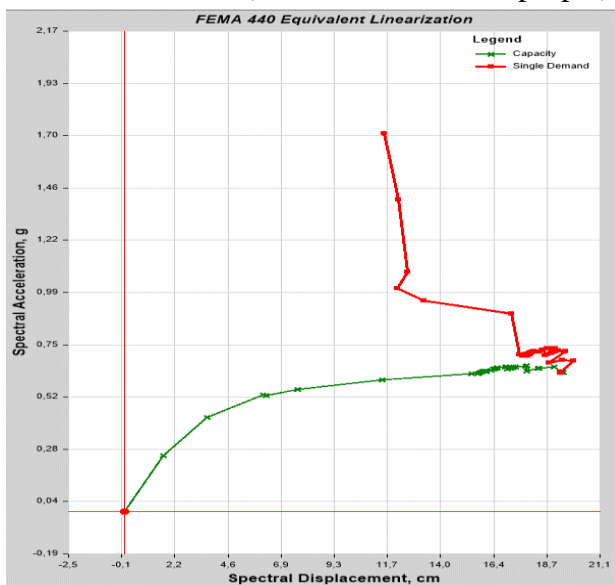
**Figura 117.** Rótulas S.MR estructura 5 (Y)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

- **Desempeño Sismo Extremo**

La estructura no soporta la demanda exigida por el nivel de sismo extremo, para ninguno de los sentidos X o Y, como muestra las figuras 118 y 119 la curva de demanda no interseca la curva de capacidad.



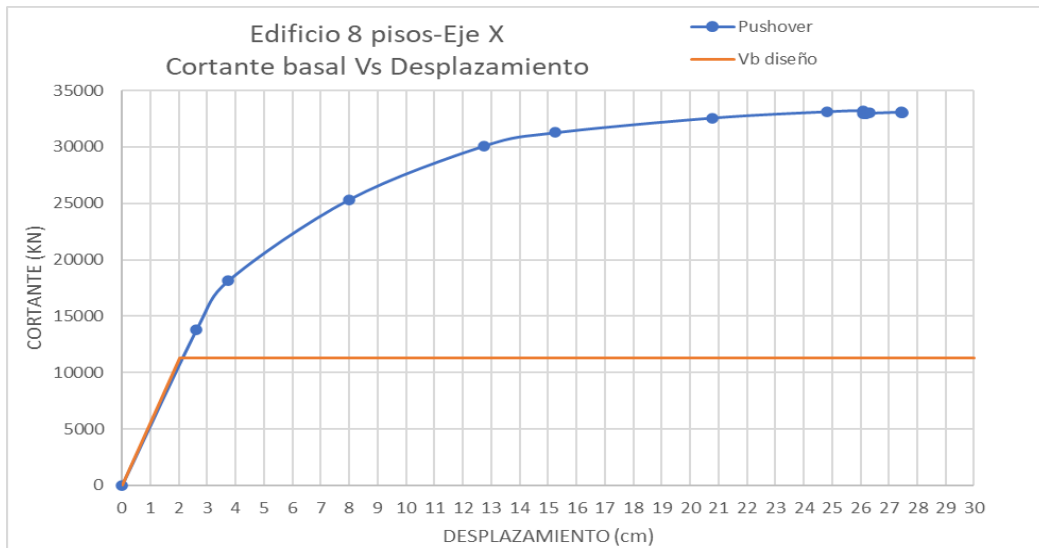
**Figura 118.** Desempeño S.E estructura 5 (X)  
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)



**Figura 119.** Desempeño S.E estructura 5 (Y)  
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

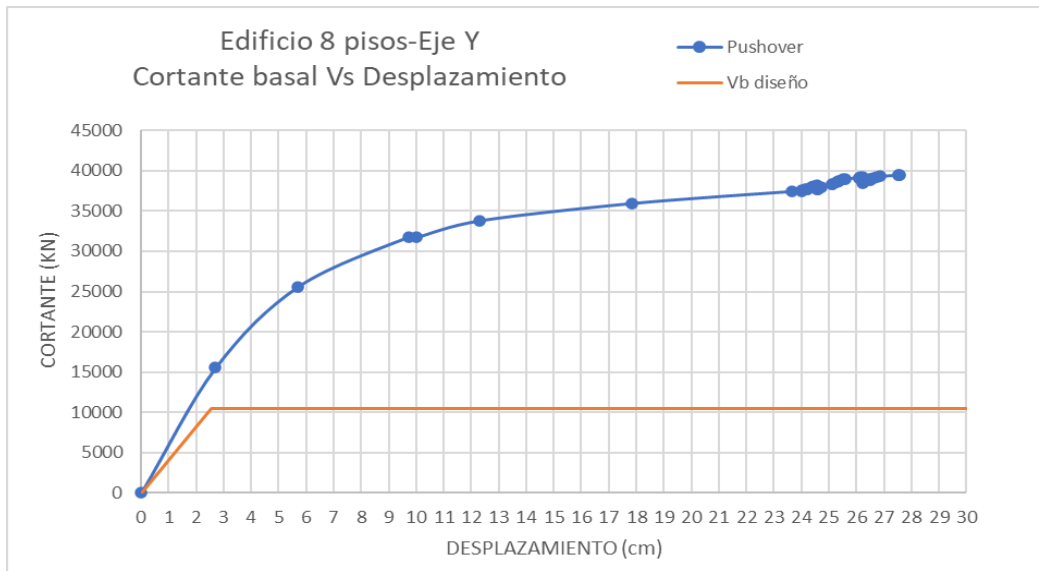
- **Curva de Capacidad vs Cortante de Diseño**

Se compara la curva de capacidad obtenida con el cortante basal de diseño del NSR-10 a la cual es sometida la estructura. Este cortante basal será el cortante dinámico obtenido y si es necesario corregido con el cortante sísmico mínimo F.H.E exigido por el NSR-10.



**Figura 120.** Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 5 (x)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 121.** Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 5 (y)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 120 y 121 muestran que la estructura 5 tiene una capacidad muy superior al cortante del diseño del NSR-10, resistiendo sin problemas esta demanda.

- **Coefficiente R Calculado**

Se calcula  $R_{\mu}$  con las ecuaciones 10,11 y 12 dependiendo del caso,  $R_w$  se obtiene en tabla 9,  $R_{\Omega}$  con la ecuación 13 y el R por la ecuación 8, este R es con base a la cortante de diseño obtenido.

**Tabla 54.** Cálculo de factor R estructura 5

Fuente: Elaboración propia

Factor de ductilidad $R_{\mu x}$		Factor de ductilidad $R_{\mu y}$	
Desplazamiento cedente (cm)	4,2564	Desplazamiento cedente (cm)	4,7204
Desplazamiento maximo (cm)	26,095154	Desplazamiento maximo (cm)	27,586118
$\mu$	6,1308	$\mu$	5,8440
t entre 0,5 a 1 seg		t entre 0,5 a 1 seg	
$R_{\mu x}$	3,71103	$R_{\mu y}$	3,68122

Factor de redundancia $R_w x$		Factor de redundancia $R_w y$	
$R_w x$	1	$R_w y$	1

Factor de sobre resistencia $R_{\Omega x}$		Factor de sobre resistencia $R_{\Omega y}$	
Vb max(KN)	33231,4154	Vb max(KN)	39522,49
Vb diseño(KN)	11281,0776	Vb diseño(KN)	10522,9546
$R_{\Omega x}$	2,94576605	$R_{\Omega y}$	3,75583583

Coeficiente de modificacion de respuesta x		Coeficiente de modificacion de respuesta y	
$R_x$	10,9318213	$R_y$	13,8260559

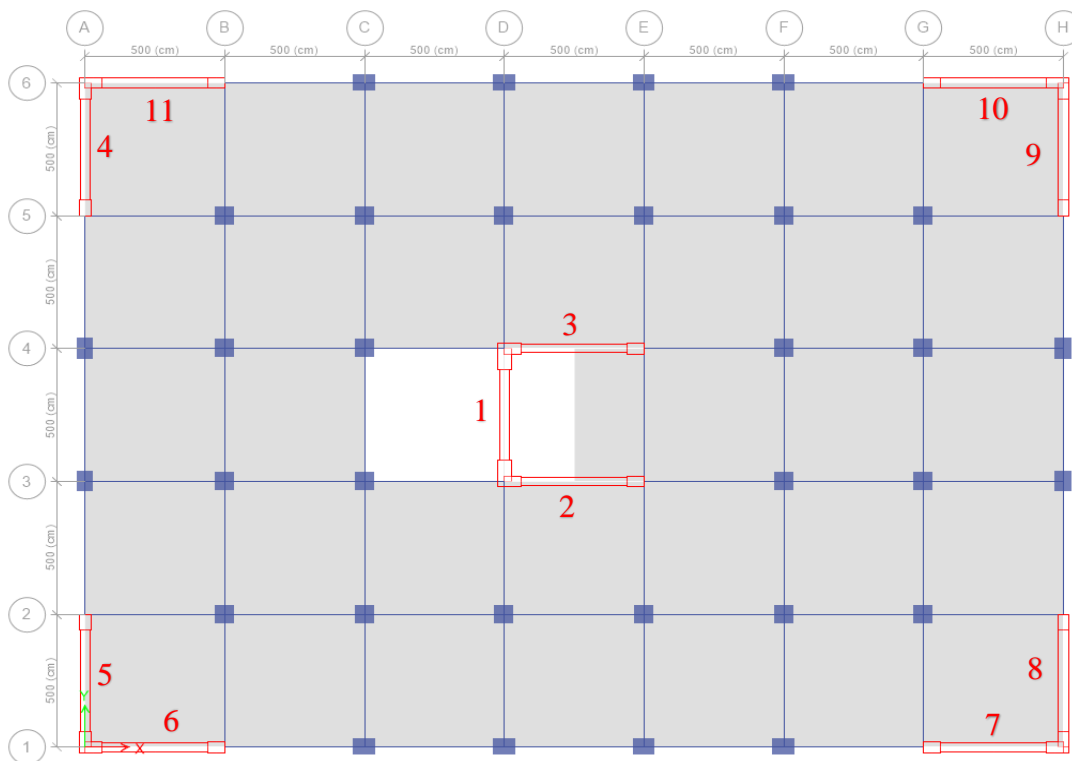
Los coeficientes R obtenidos fueron bastante altos y superiores al escogido  $R=7$  (tabla 54). Esto debido a la sobre resistencia alta obtenida para ambos sentidos y la baja relación demanda/capacidad de varios elementos verticales. El R es superior en el sentido Y debido a la orientación de todas las columnas en su lado mayor en este sentido con el fin de cumplir con la deriva. Los niveles desempeño obtenidos nos indica un diseño bastante competente frente a las demandas, aunque por poco no logra resistir la demanda de sismo extremo, se evidencia como se empieza dar mayores requerimientos a mayor altura para cumplir con esta demanda.

### 7.3.2 Estructura de Ocho Niveles (Desempeño)- (Estructura 6)

Partiendo de lo obtenido en la estructura 5 se buscó corregir las fallas locales encontradas, obtener una mejor configuración estructural y rigidizar la estructura donde se requería para mejorar el comportamiento frente a los diferentes niveles de sismo, además verificando nuevamente que cumpliera con todo lo establecido en el NSR-10.

#### 7.3.2.1 Configuración Estructural

La estructura se configuro en un sistema dual de columnas y muros de concreto usando columnas de sección 70x70 en las zonas centrales y columnas de 60x80 para las exteriores, vigas de sección 40x50, los muros se muestran en la tabla 57, la planta típica se muestra en la figura 122.



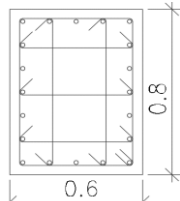
**Figura 122.** Planta estructural (Estructura 6)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La configuración de acero de las columnas se presenta en las tablas 55 y 56, la distribución de acero de los muros en la tabla 57 y las vigas en el anexo 6.

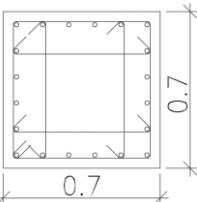
**Tabla 55.** Acero columna 80x60

Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	3/4	11,4
Caras	16	3/4	45,6
	Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )		57
	Porcentaje seleccionado		1,19%
	As confinamiento c/10 cm		
	Direc-X	4-#3	
	Direc-Y	4-#3	

**Tabla 56.** Acero columna 70x70

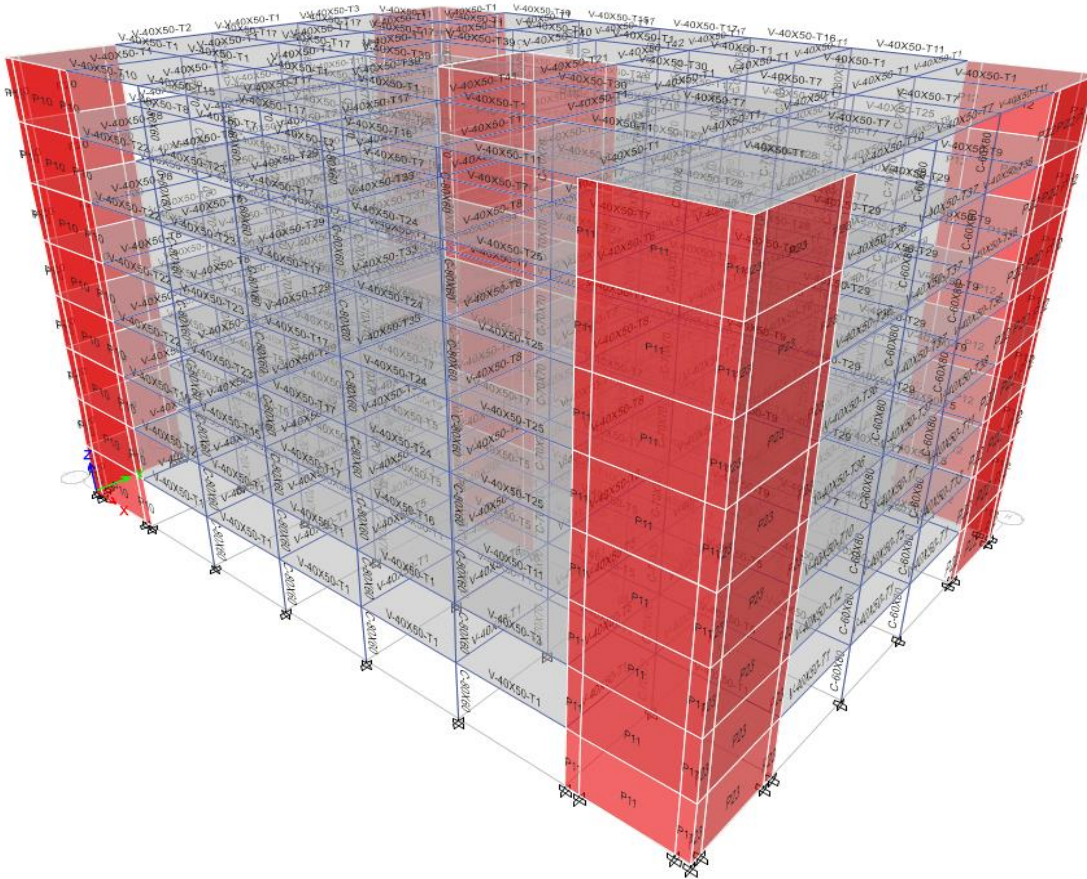
Fuente: Elaboración propia

Comprobación por arreglo			
Ubicación	#barras	Ø	Area (cm <sup>2</sup> )
Esquinas	4	3/4	11,4
Caras	16	3/4	45,6
	Area total en Barras (cm <sup>2</sup> )		57
	Porcentaje seleccionado		1,16%
	As confinamiento c/10 cm		
	Direc-X	4-#3	
	Direc-Y	4-#3	

**Tabla 57.** Muros estructura 6

Fuente: Elaboración propia

Muro	Espesor (cm)	As long	As transv	Element. Bd	As element. Bd (cm <sup>2</sup> )
1	35	#6 @ 15	#7 @ 12,5	80x50	68,9
2	30	#7 @ 15	#7 @ 15	60x40	86,9
3	30	#7 @ 15	#7 @ 15	60x40	86,9
4	35	#7 @ 15	#6 @ 12,5	60x40	76,05
5	35	#7 @ 15	#6 @ 12,5	60x40	76,05
6	35	#7 @ 15	#6 @ 12,5	60x40	86,91
7	35	#7 @ 12,5	#7 @ 15	60x40	86,91
8	35	#7 @ 12,5	#7 @ 15	60x40	101,4
9	35	#7 @ 12,5	#7 @ 15	60x40	101,4
10	35	#7 @ 12,5	#7 @ 15	60x40	86,91
11	35	#7 @ 15	#6 @ 12,5	60x40	86,91



**Figura 123.** Visualización 3D Estructura 6  
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La demanda/capacidad de los elementos tipo columna principales esta entre 32 al 52%. Los elementos tipo muro muros entre 89 al 95%, el listado completo de las columnas y muros se presenta en el anexo 12.

### 7.3.2.2 Resumen Análisis Dinámico

Peso propio estructura considerado:

-Carga muerta (CM) = 55280.4971 KN

-Sobrecarga muerta (SCM) = 22540 KN

-Carga viva (CV) = 26250 KN (se considera un 25% para el peso total)

-Peso total = 84382.9971 KN

Los modos fundamentales con su periodo y porcentaje de participación de masa se presentan en la tabla 58.

**Tabla 58.** Modos fundamentales estructura 6

Fuente: Elaboración propia

MODO	T(s)	% Participacion de masa			Direc	Aceleraciones espectrales	
		Ux	Uy	Rz		Adg(elast)	adg(elast red)
1	0,481	0,6963	0	0	x	1,403326403	0,2004752
2	0,475	0	0,6985		y	1,421052632	0,203007519
3	0,323	0		0,689	tor		

El cortante basal de diseño será:

$$V_{bx} = 13533.35861 \text{ KN}$$

$$V_{by} = 13704.3063 \text{ KN}$$

### 7.3.2.3 Derivas

Las derivas obtenidas del análisis se presentan en la tabla 59, el límite según el NSR-10 será del 1%. Las derivas en ambas direcciones cumplen con el 1%.

**Tabla 59.** Derivas X-Y

Fuente: Elaboración propia

Nivel	X		Y	
	X-deriva	Estado	Y-deriva	Estado
N+24.00m	0,00620	OK	0,00655	OK
N+21.00m	0,00657	OK	0,00699	OK
N+18.00m	0,00671	OK	0,00717	OK
N+15.00m	0,00661	OK	0,00710	OK
N+12.00m	0,00617	OK	0,00666	OK
N+9.00m	0,00533	OK	0,00580	OK
N+6.00m	0,00403	OK	0,00444	OK
N+3.00m	0,00203	OK	0,00231	OK

### 7.3.2.4 Análisis no Lineal

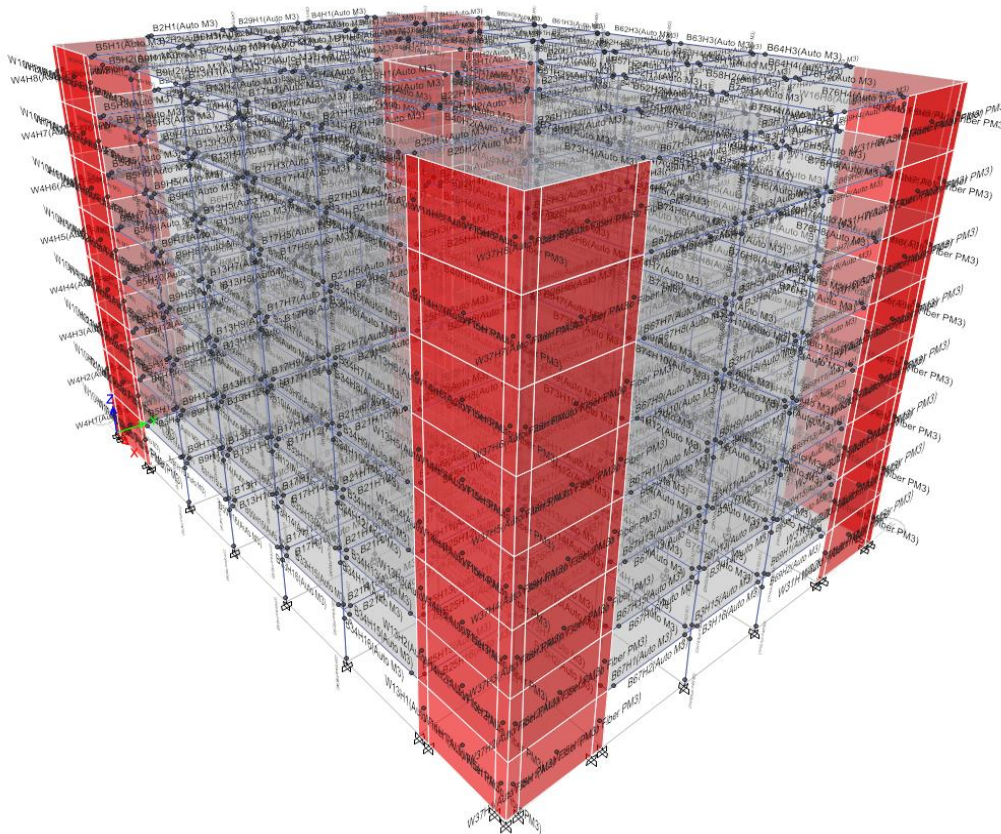
El patrón de carga triangular normalizada se presenta en la tabla 60, estas fuerzas están aplicadas en los centros de masas de la estructura 6.

**Tabla 60.** Patrón de cargas triangular X-Y

Fuente: Elaboración propia

Patrón de cargas triangular X					Patrón de cargas triangular Y				
Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)	Nivel	VX (Ton)	FX (Ton)	Factor	FpushX (Kg)
N+24.00m	284,5654	284,5654	7,8851	7885,1444	N+24.00m	284,4168	284,4168	7,6464	7646,4145
N+21.00m	593,6763	309,1109	8,5653	8565,2862	N+21.00m	596,2775	311,8607	8,3842	8384,2311
N+18.00m	829,7195	236,0432	6,5406	6540,6220	N+18.00m	836,2840	240,0065	6,4525	6452,4641
N+15.00m	1014,4349	184,7154	5,1184	5118,3581	N+15.00m	1024,1411	187,8571	5,0505	5050,4515
N+12.00m	1159,1181	144,6832	4,0091	4009,0887	N+12.00m	1171,5354	147,3943	3,9626	3962,6278
N+9.00m	1268,6397	109,5216	3,0348	3034,7809	N+9.00m	1283,2899	111,7545	3,0045	3004,4682
N+6.00m	1342,6785	74,0388	2,0516	2051,5728	N+6.00m	1358,9417	75,6518	2,0339	2033,8638
N+3.00m	1378,7673	36,0888	1	1000	N+3.00m	1396,1378	37,1961	1	1000

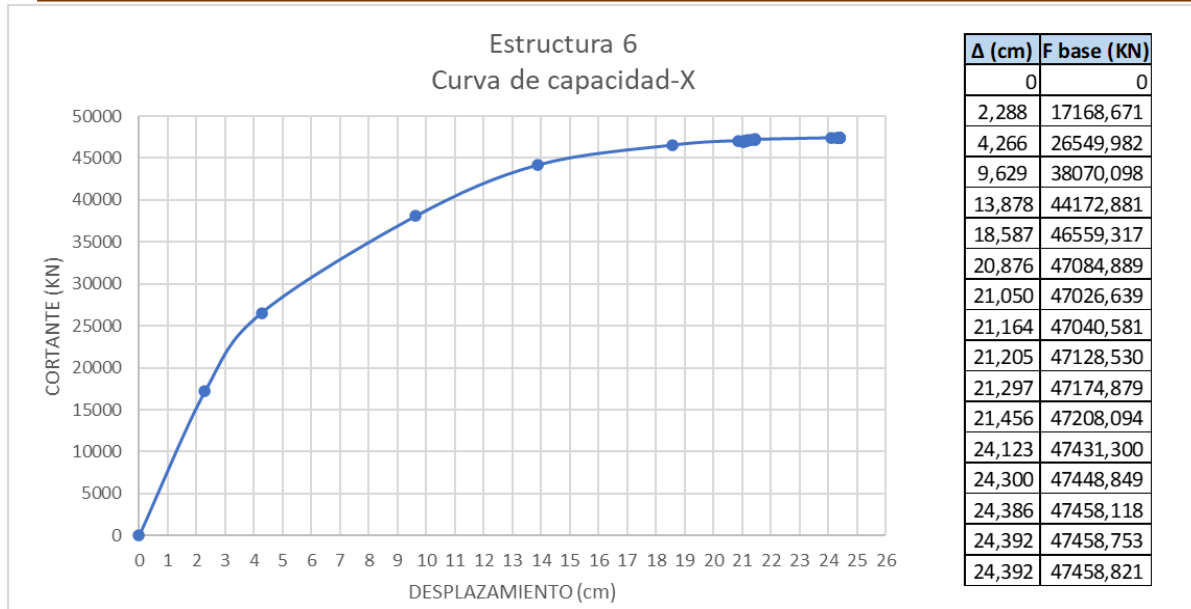
Se asignan las rótulas plásticas a los elementos como muestra la figura 124 de acuerdo con los criterios de aceptación del ASCE 41-13 de las tablas 1 y 2.



**Figura 124.** Rótulas plásticas asignadas a la estructura 6

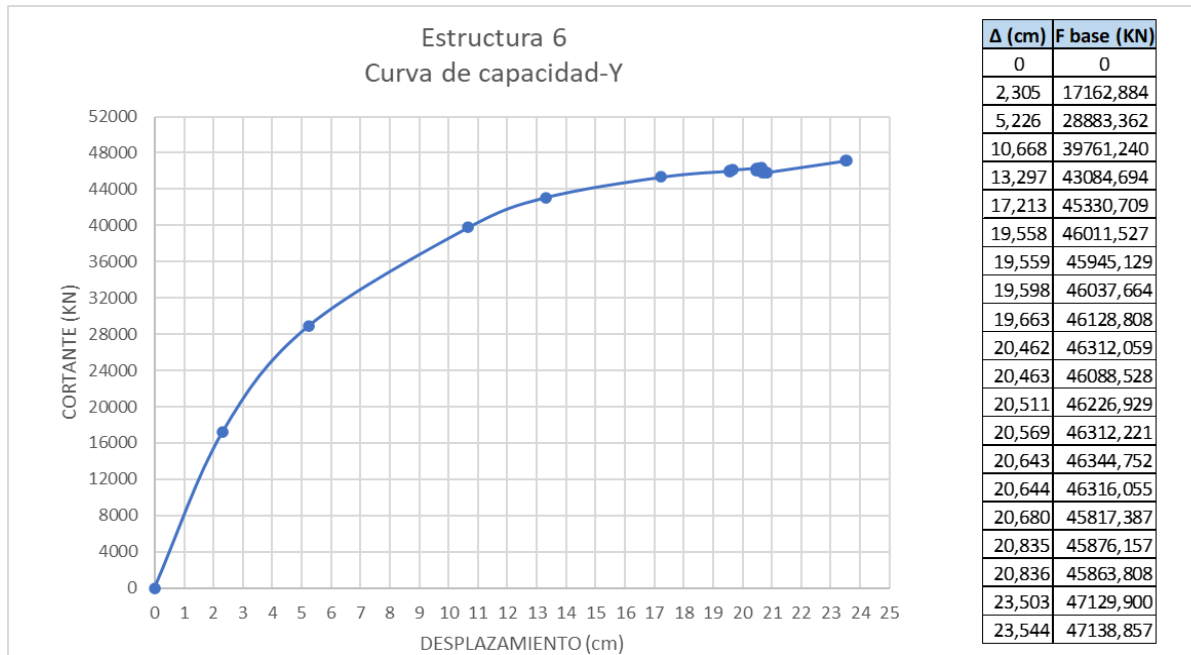
Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Del resultado del análisis pushover se obtiene las curvas de capacidad de la estructura 6, la figura 125 muestra la curva para el sentido X y la figura 126 para el sentido Y.



**Figura 125.** Curva de capacidad X -estructura 6

Fuente: Elaboración propia



**Figura 126.** Curva de capacidad Y- estructura 6

Fuente: Elaboración propia

### 7.3.2.5 Evaluación de Desempeño

Las rótulas en la estructura obtenidas del análisis se muestran en la tabla 61 para el sentido X y para el sentido Y. se observa el número de rótulas de la estructura y en qué nivel de

aceptabilidad se encuentran para cada intervalo de desplazamiento vs fuerza, basado en los criterios del ASCE 41-13 (Tablas 1 y 2).

**Tabla 61.** Rótulas estructura 6 X-Y

Fuente: Elaboración propia

Rotulas - X							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1896	0	0	0	1896
1	2,2882	17168,67	1896	0	0	0	1896
2	4,2659	26549,98	1896	0	0	0	1896
3	9,6285	38070,1	1892	4	0	0	1896
4	13,8784	44172,88	1823	73	0	0	1896
5	18,5872	46559,32	1679	217	0	0	1896
6	20,8761	47084,89	1517	377	1	1	1896
7	21,0496	47026,64	1511	382	2	1	1896
8	21,0504	46893,57	1511	380	4	1	1896
9	21,1029	47003,28	1508	383	4	1	1896
10	21,1638	47040,58	1503	388	4	1	1896
11	21,1646	47038,48	1502	388	5	1	1896
12	21,2051	47128,53	1501	389	5	1	1896
13	21,297	47174,88	1495	395	5	1	1896
14	21,4557	47208,09	1489	401	5	1	1896
15	21,4565	47241,04	1489	400	6	1	1896
16	24,1232	47431,3	1412	467	16	1	1896
17	24,3003	47448,85	1409	469	16	2	1896
18	24,3862	47458,12	1406	472	16	2	1896
19	24,3864	47458,15	1406	472	16	2	1896
20	24,3916	47458,75	1406	472	16	2	1896
21	24,3916	47458,76	1406	472	16	2	1896
22	24,3919	47458,79	1406	472	16	2	1896
23	24,3919	47458,8	1406	472	16	2	1896
24	24,3921	47458,81	1406	472	16	2	1896
25	24,3921	47458,81	1406	472	16	2	1896
26	24,3921	47458,82	1406	472	16	2	1896
27	24,3921	47458,82	1406	472	16	2	1896
28	24,3921	47458,82	1406	472	16	2	1896
29	24,3921	47458,82	1406	472	16	2	1896
30	24,3921	47458,82	1406	472	16	2	1896

Rotulas - Y							
Step	Monitored Displ (cm)	Base Force (KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1896	0	0	0	1896
1	2,3052	17162,88	1896	0	0	0	1896
2	5,2258	28883,36	1896	0	0	0	1896
3	10,6675	39761,24	1884	12	0	0	1896
4	13,2968	43084,69	1847	49	0	0	1896
5	17,2134	45330,71	1813	83	0	0	1896
6	19,5581	46011,53	1729	166	1	0	1896
7	19,5589	45945,13	1727	167	2	0	1896
8	19,5981	46037,66	1726	168	2	0	1896
9	19,6633	46128,81	1724	170	2	0	1896
10	20,462	46312,06	1695	199	2	0	1896
11	20,4628	46088,53	1695	196	5	0	1896
12	20,5106	46226,93	1693	198	5	0	1896
13	20,5692	46312,22	1691	200	5	0	1896
14	20,6434	46344,75	1688	203	5	0	1896
15	20,6442	46316,05	1687	203	6	0	1896
16	20,68	45817,39	1685	205	6	0	1896
17	20,8351	45876,16	1683	207	6	0	1896
18	20,8359	45863,81	1683	206	7	0	1896
19	23,5026	47129,9	1578	307	11	0	1896
20	23,5443	47138,86	1577	308	11	0	1896

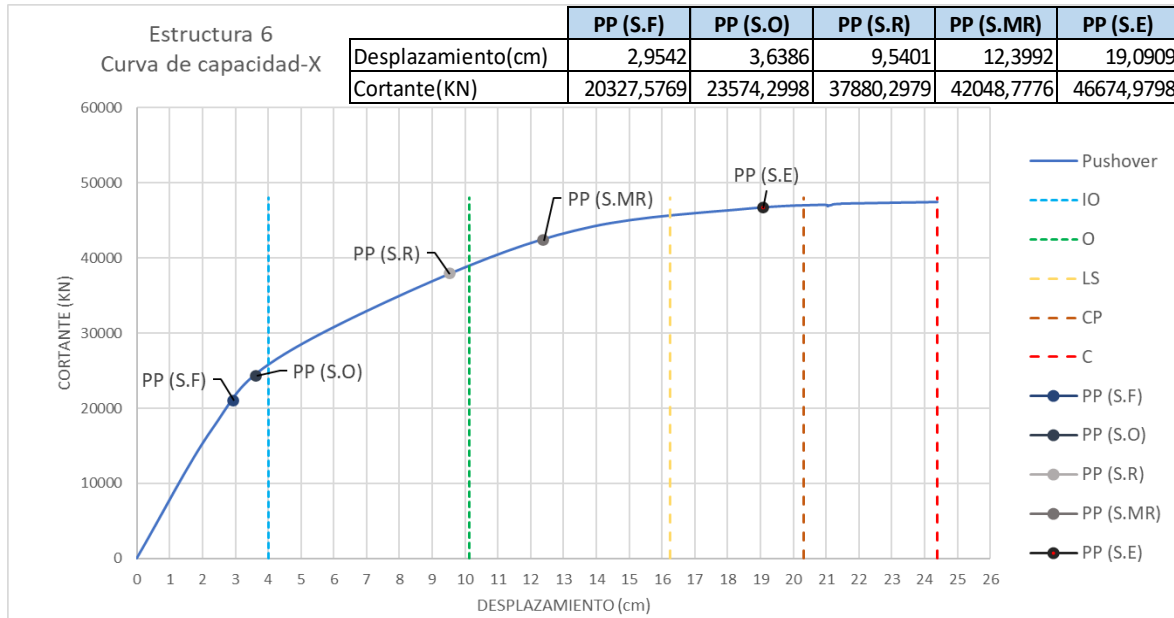
Los límites de la sectorización de la curva de capacidad se presentan en la tabla 62 para el sentido X y para el sentido Y.

**Tabla 62.** Limites curva sectorizada estructura 6 X-Y

Fuente: Elaboración propia

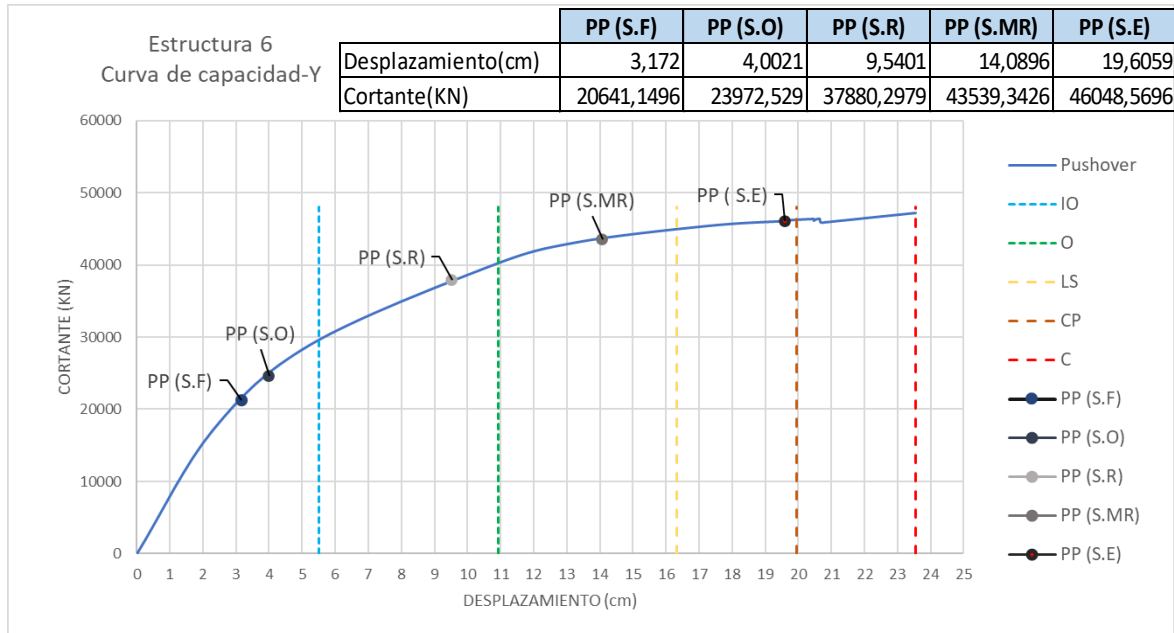
	Limites X	Limites Y
Punto fluencia efectiva (cm)	4,012	5,513
Desplazamiento maximo (cm)	24,392	23,544
$\Delta p$ (cap. Desp. Inelastico) (cm)	20,380	18,031
Niv operacional (cm)	10,126	10,923
Seguridad de vida (cm)	16,240	16,332
Precolapso (cm)	20,316	19,938
Colapso (cm)	24,392	23,544

La figura 127 y 128 presenta las curvas de capacidad delimitadas por los límites de desempeño de la tabla 62, además de mostrar los puntos de desempeño (PP: Performance Point) de los distintos niveles de demandas sísmicas obtenidos. Las figuras 129 a 138 presentan el estado de rotulas y la deformación de la estructura para cada nivel de demanda sísmica.



**Figura 127.** Desempeños estructura 6 (X)

Fuente: Elaboración propia

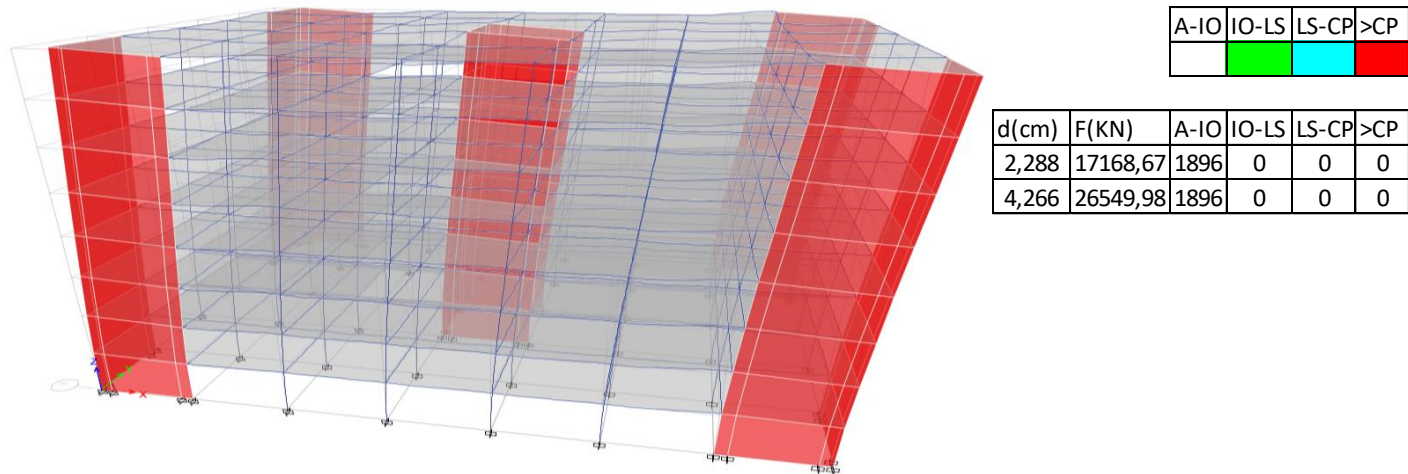


**Figura 128.** Desempeños estructura 6 (Y)

Fuente: Elaboración propia

• **Desempeño Sismo Frecuente**

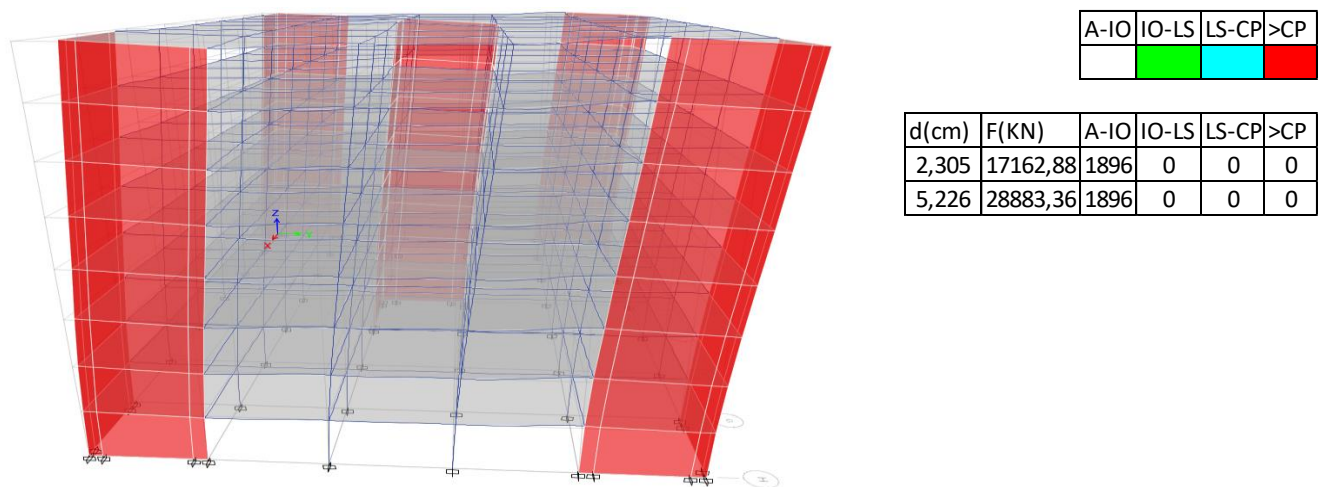
La estructura está en su rango elástico obteniendo un nivel de desempeño IO (figura 127), las rótulas se encuentran en un rango A-IO (figura 129), por lo que la estructura cumple los requerimientos.



**Figura 129.** Rótulas S.F estructura 6 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La figura 128 muestra el comportamiento de la estructura en el sentido Y, donde se alcanza un nivel de desempeño IO, las rótulas se encuentran en un rango A-IO (figura 130). La estructura se mantiene en su rango elástico y cumple los requerimientos.

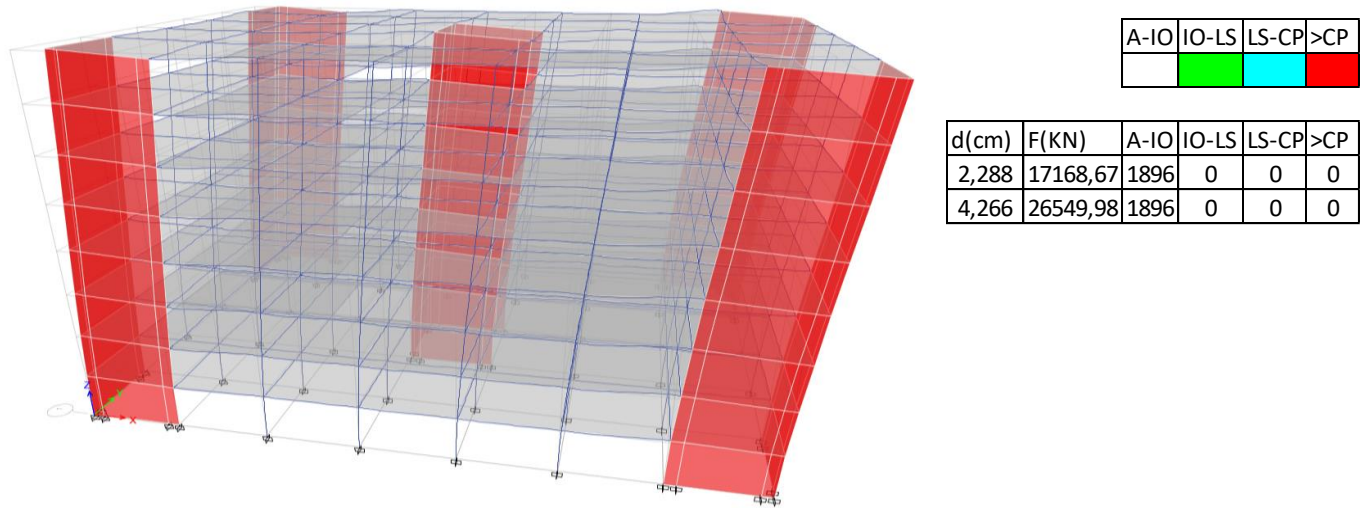


**Figura 130.** Rótulas S.F estructura 6 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Ocasional**

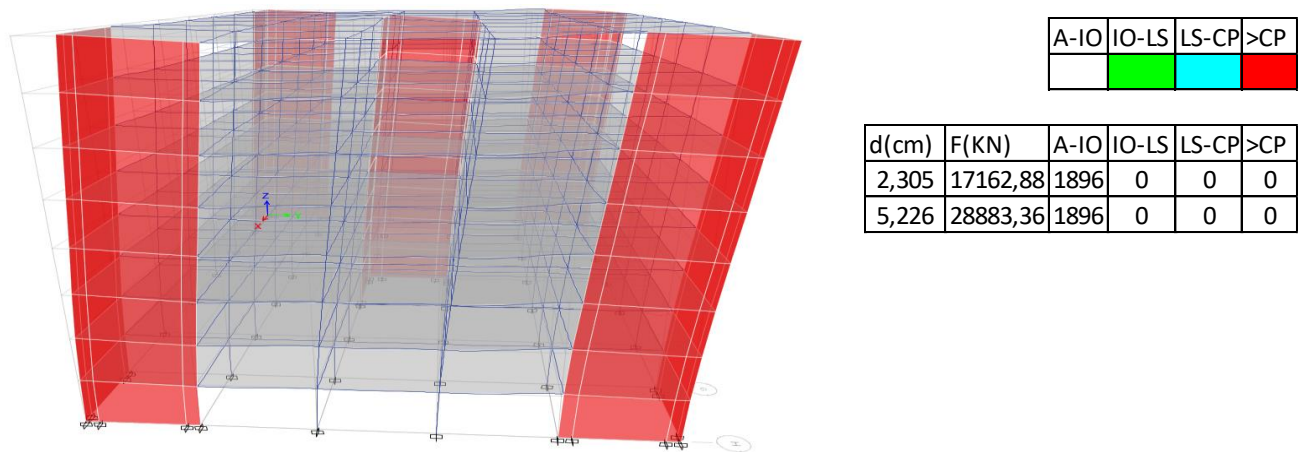
La estructura en sentido X alcanza un nivel de desempeño IO (figura 127), las rótulas se mantienen en un rango A-IO (figura 131). La estructura cumple los requerimientos de esta demanda y mantiene su rango elástico.



**Figura 131.** Rótulas S.O estructura 6 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

Para el sentido Y la estructura mantiene un nivel de desempeño O (figura 128), las rótulas se encuentran en un rango A-IO (figura 132). La estructura se encuentra en su rango elástico y cumple con el comportamiento esperado.

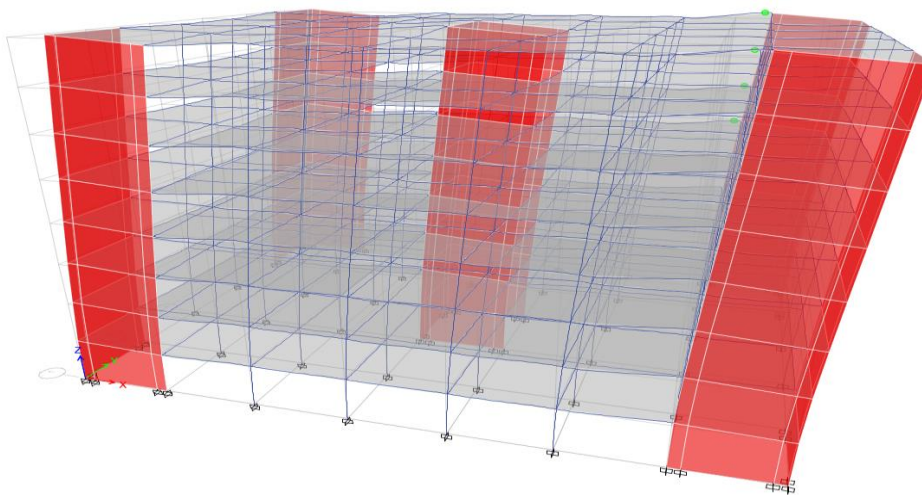


**Figura 132.** Rótulas S.O estructura 6 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

• **Desempeño Sismo Raro**

Para este nivel de demanda la estructura en sentido X tiene un nivel de desempeño O (figura 127), unas pocas rótulas logran alcanzar un rango IO-LS (Figura 133). La estructura cumple con lo requerido y presenta un buen comportamiento frente a esta demanda.



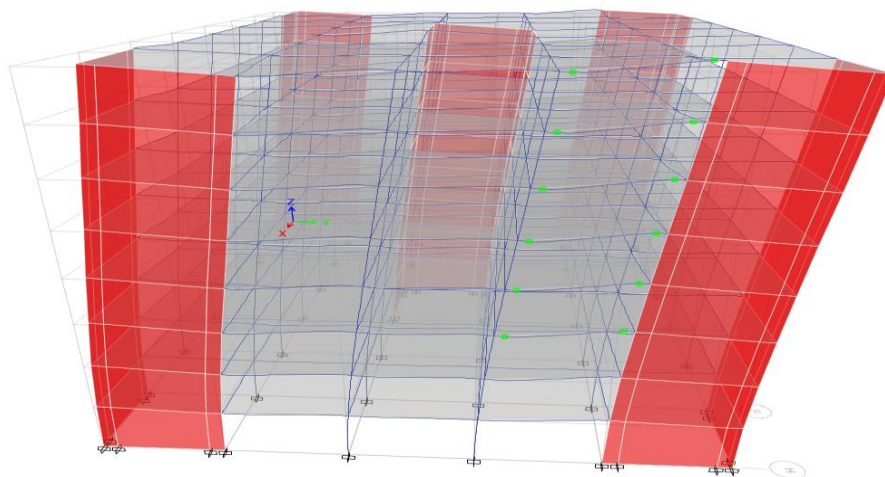
A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
4,266	26549,98	1896	0	0	0
9,629	38070,10	1892	4	0	0

**Figura 133.** Rótulas S.R estructura 6 (X)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

La estructura en sentido Y se mantienen en un nivel de desempeño O (figura 128), apenas unas cuantas rótulas entran en un rango IO-LS (figura 134). La estructura muestra un buen comportamiento frente a esta demanda y cumple los requerimientos.



A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP

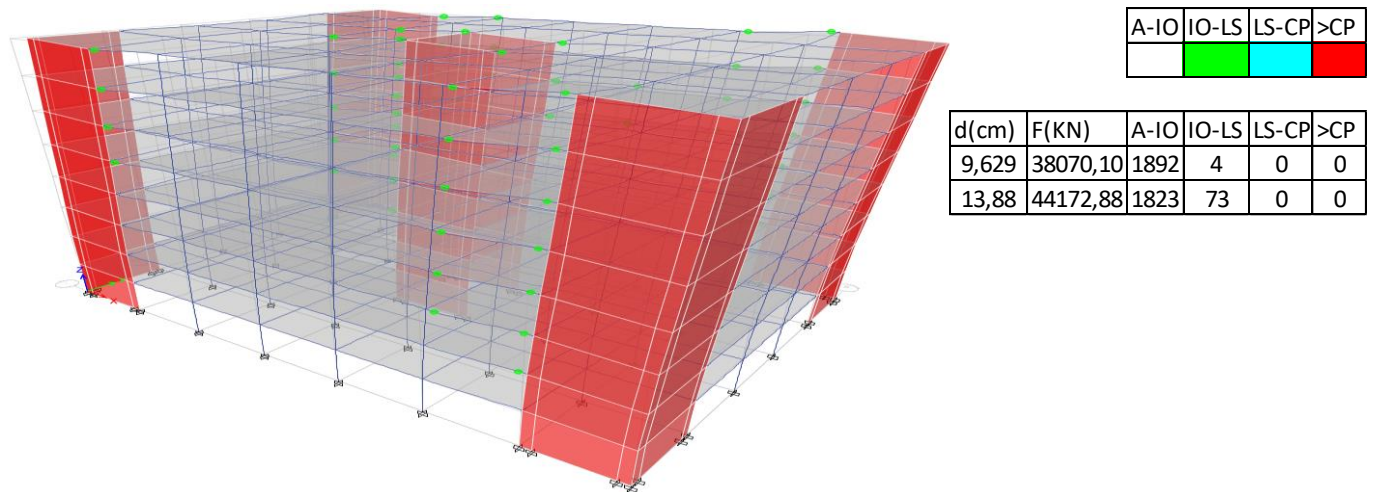
d(cm)	F(KN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
5,226	28883,36	1896	0	0	0
10,67	39761,24	1884	12	0	0

**Figura 134.** Rótulas S.R estructura 6 (Y)

Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

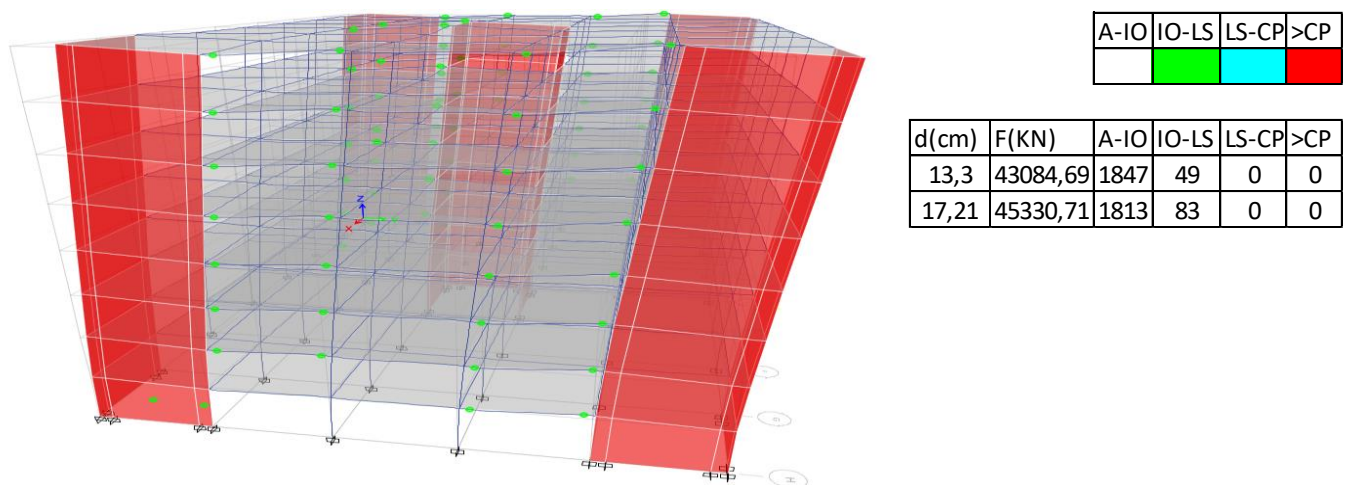
- **Desempeño Sismo Muy Raro**

La estructura para el sentido X alcanza un nivel de desempeño LS (figura 127), las rótulas se mantienen en un rango IO-LS (figura 135). La estructura presenta un adecuado comportamiento frente a esta demanda y cumple lo esperado.



**Figura 135.** Rótulas S.MR estructura 6 (X)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

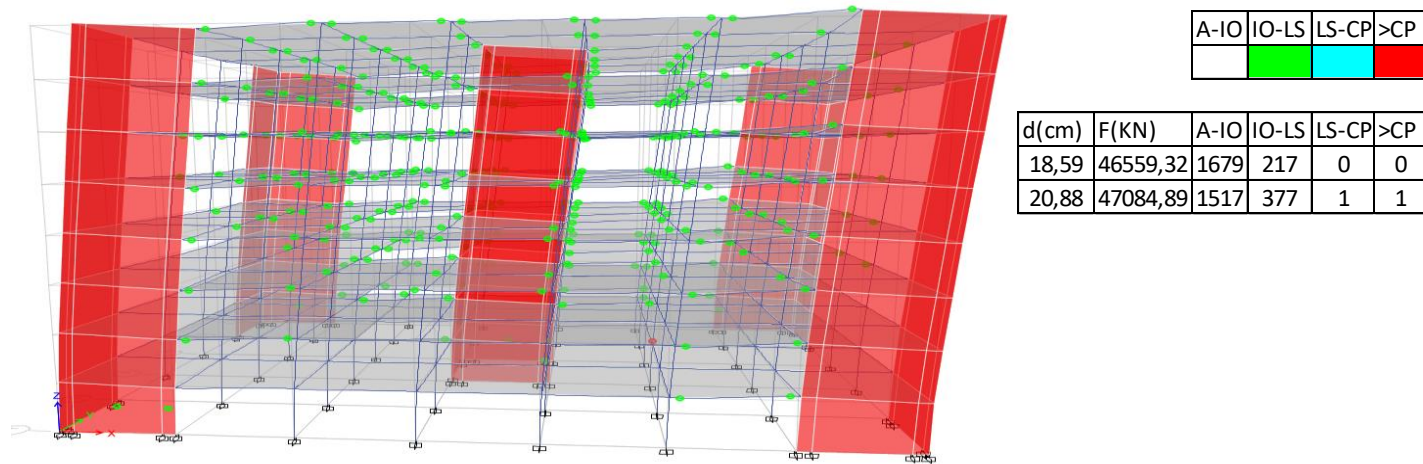
La figura 128 muestra el comportamiento de la estructura en sentido Y para esta demanda, la cual logra mantenerse en un nivel de desempeño LS, las rótulas se mantienen en un rango IO-LS (figura 136). La estructura tiene un buen comportamiento y cumple con lo establecido.



**Figura 136.** Rótulas S.MR estructura 6 (Y)  
 Fuente: ETABS® (Modelo elaboración propia)

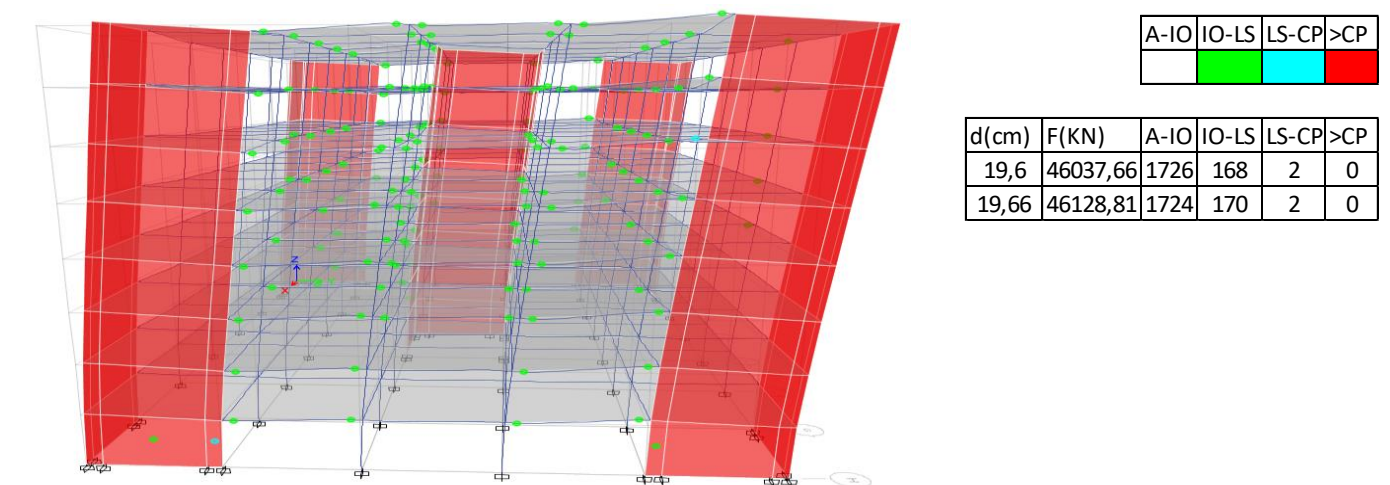
• **Desempeño Sismo Extremo**

La estructura en sentido x logra soportar esta demanda y obtiene un nivel de desempeño CP (figura 127), las rótulas se mantienen en mayoría en un rango IO-LS y se observa una en un rango >CP (figura 137), con lo que es un comportamiento aceptable y cumple los requerimientos.



**Figura 137.** Rótulas S.E estructura 6 (X)  
 Fuente: ETABS (Modelo elaboración propia)

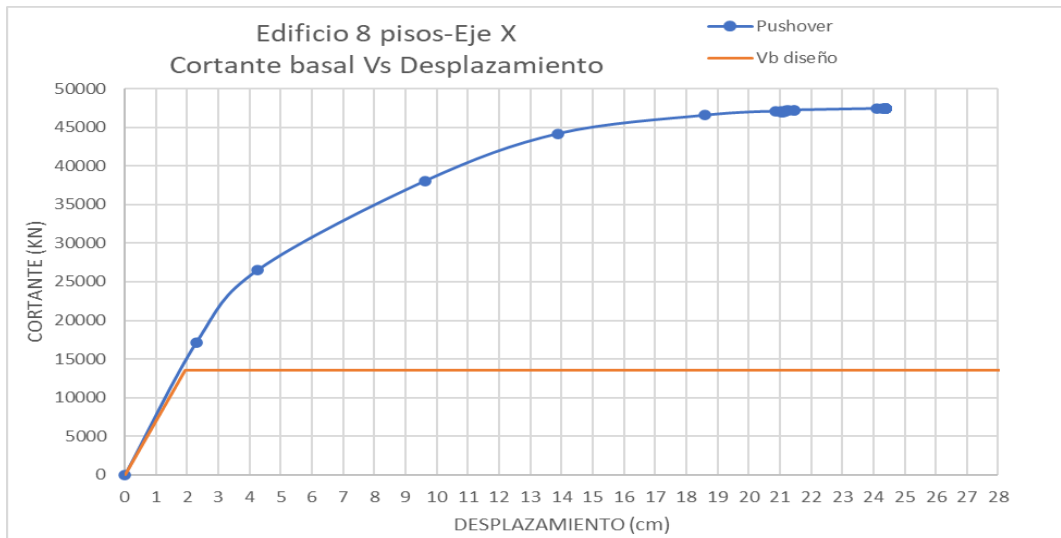
De igual manera en sentido Y la estructura alcanza un nivel de desempeño CP (figura 128), las rótulas se mantienen en su mayoría en un rango IO-LS y alcanzando LS-CP (figura 138), obteniendo para la estructura un buen comportamiento alcanzado el objetivo esperado.



**Figura 138.** Rótulas S.E estructura 6 (Y)  
 Fuente: ETABS (Modelo elaboración propia)

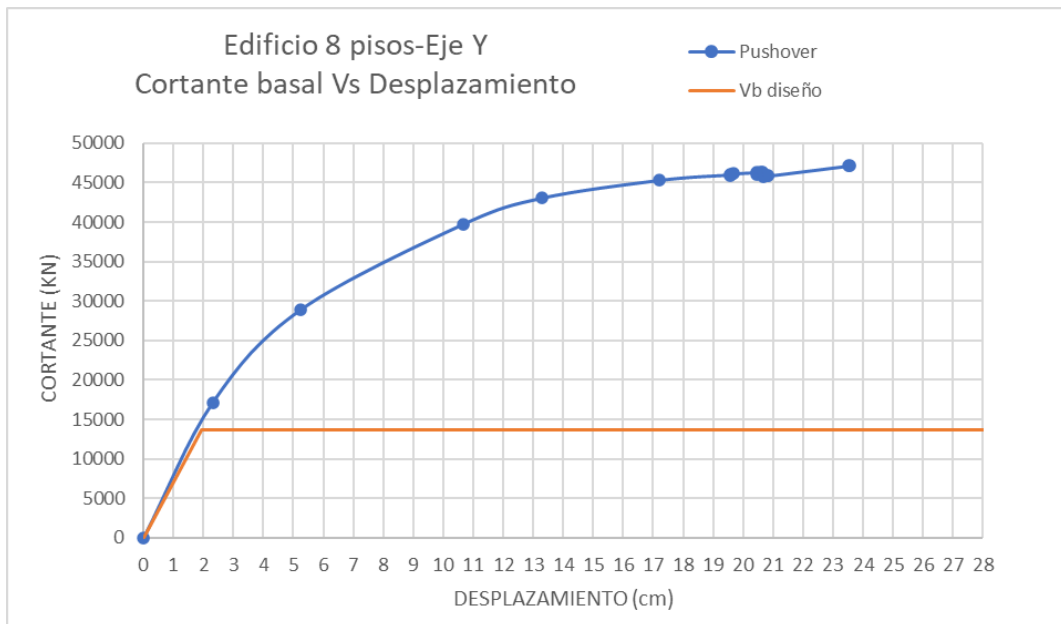
- **Curva de Capacidad vs Cortante de Diseño**

Se compara la curva de capacidad obtenida con el cortante basal de diseño del NSR-10 a la cual es sometida la estructura. Este cortante basal será el cortante dinámico obtenido y si es necesario corregido con el cortante sísmico mínimo de F.H.E exigido por el NSR-10.



**Figura 139.** Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 6 (x)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 140.** Curva de capacidad vs Vb diseño estructura 6 (y)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 139 y 140 muestran que la estructura 6 tiene una capacidad muy superior al cortante del diseño del NSR-10, resistiendo sin problemas esta demanda.

- **Coefficiente R Calculado**

Se calcula  $R_{\mu}$  con las ecuaciones 10,11 y 12 dependiendo del caso,  $R_w$  se obtiene en tabla 9,  $R_{\Omega}$  con la ecuación 13 y el R por la ecuación 8, este R es con base a la cortante de diseño obtenido.

**Tabla 63.** Cálculo de factor R estructura 6

Fuente: Elaboración propia

Factor de ductilidad $R_{\mu x}$	
Desplazamiento cedente (cm)	4,0123
Desplazamiento maximo (cm)	24,392145
$\mu$	6,0793
t entre 0,5 a 1 seg	
$R_{\mu x}$	3,34046

Factor de ductilidad $R_{\mu y}$	
Desplazamiento cedente (cm)	5,5132
Desplazamiento maximo (cm)	23,544252
$\mu$	4,2705
t entre 0,5 a 1 seg	
$R_{\mu y}$	2,74610

Factor de redundancia $R_w x$	
$R_w x$	1

Factor de redundancia $R_w y$	
$R_w y$	1

Factor de sobre resistencia $R_{\Omega x}$	
Vb max(KN)	47458,8209
Vb diseño(KN)	13533,3586
$R_{\Omega x}$	3,50680288

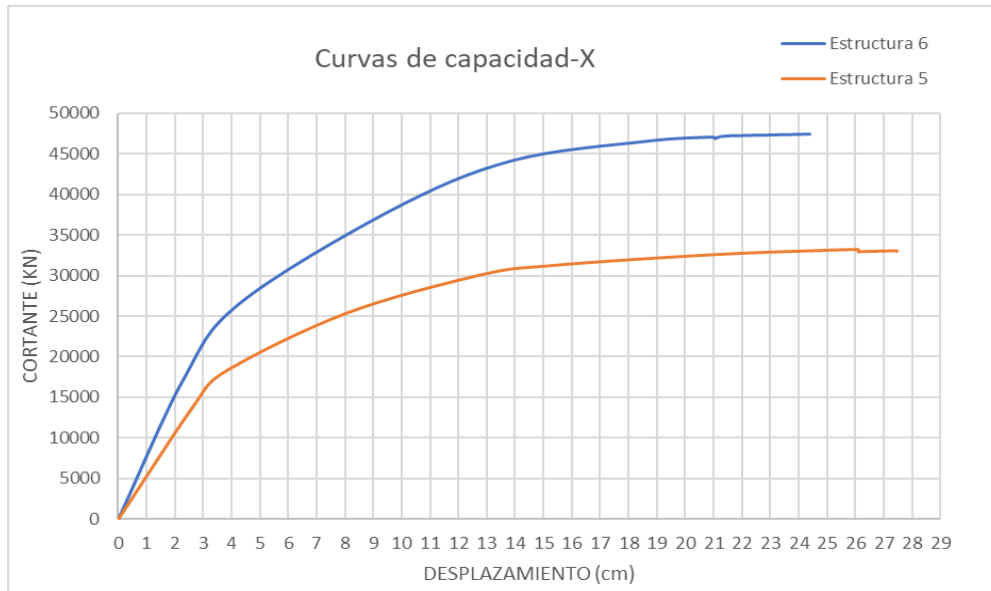
Factor de sobre resistencia $R_{\Omega y}$	
Vb max(KN)	47138,8572
Vb diseño(KN)	13704,3063
$R_{\Omega y}$	3,4397113

Coeficiente de modificacion de respuesta x	
$R_x$	11,7143408

Coeficiente de modificacion de respuesta y	
$R_y$	9,44578021

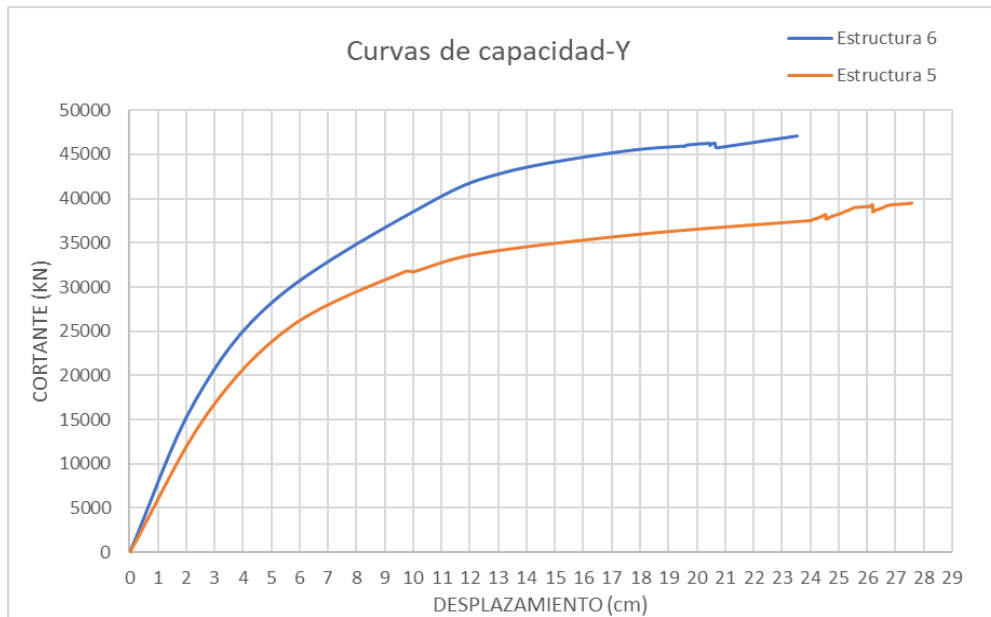
Los coeficientes R obtenidos fueron altos y superiores al escogido  $R=7$  (tabla 63). Esto debido a la sobre resistencia alta obtenida para ambos sentidos y la baja relación demanda/capacidad de varios elementos verticales, lo que nos indica junto con los niveles desempeño obtenidos un diseño bastante competente frente a todas las demandas.

### 7.3.3 Comparaciones E5 vs E6



**Figura 141.** Curva capacidad X-E5 vs E6

Fuente: Elaboración propia



**Figura 142.** Curva capacidad Y-E5 vs E6

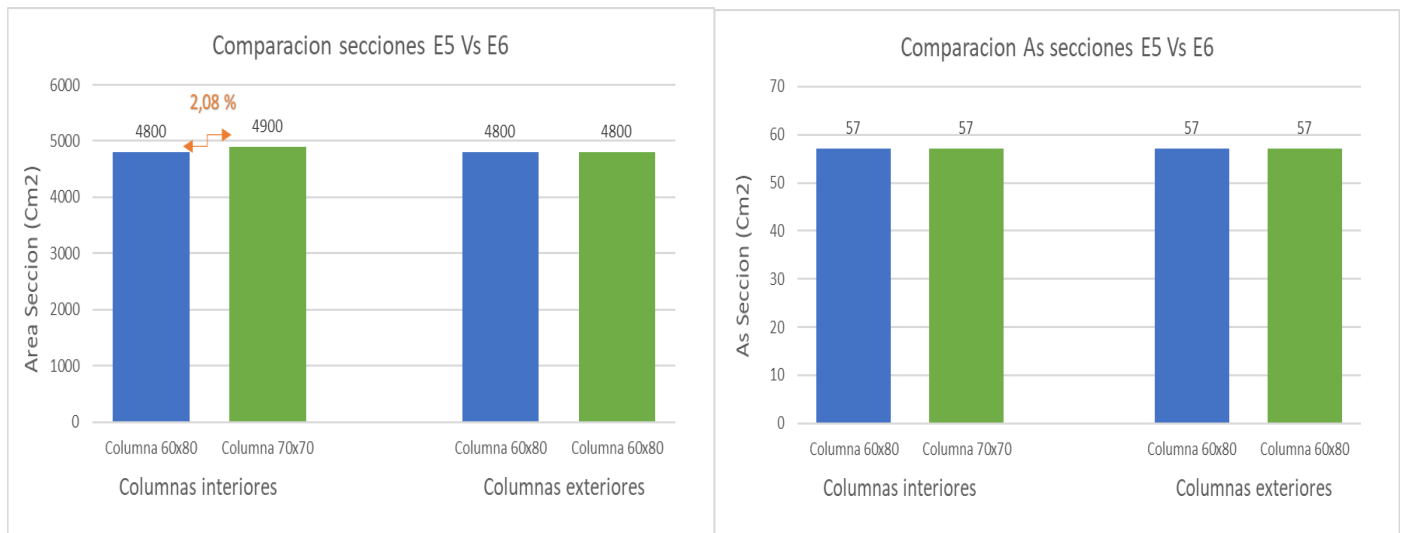
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 64.** Niveles de desempeño E5 vs E6

Fuente: Elaboración propia

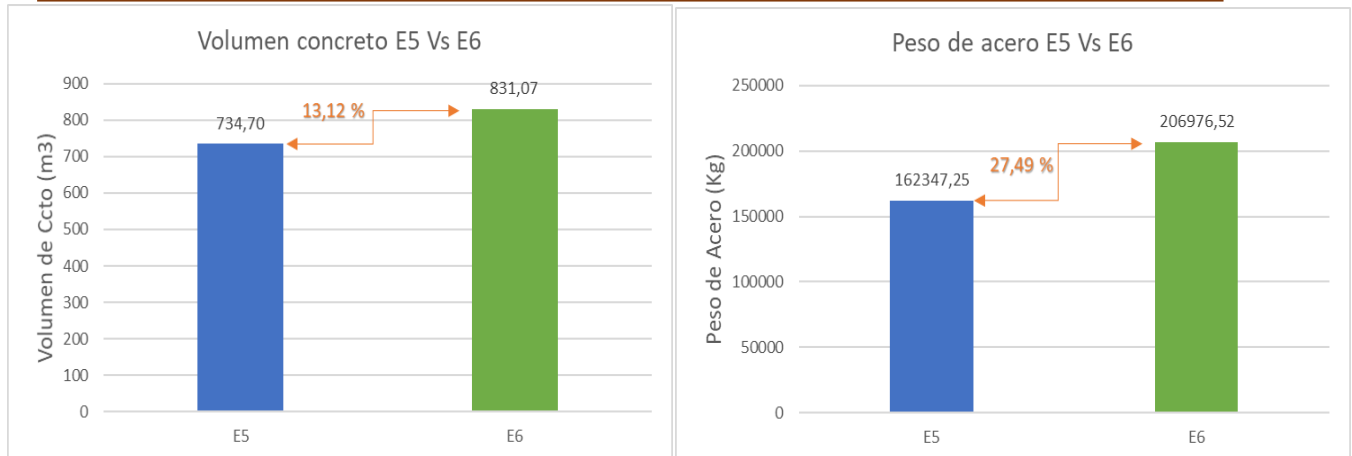
Movimiento sísmico	Estructura 5		Estructura 6	
	Nivel de desempeño-X	Nivel de desempeño-Y	Nivel de desempeño-X	Nivel de desempeño-Y
Frecuente	IO	IO	IO	IO
Ocasional	IO	IO	IO	IO
Raro	LS	O	O	O
Muy raro	CP	LS	LS	LS
Extremo	N.F	N.F	CP	CP

La estructura 6 tiene una capacidad superior como muestra las figuras 141 y 142, debido a que se buscó el desempeño esperado frente al sismo máximo, con una mejor configuración estructural de muros y columnas. Las secciones de los elementos columna se mantiene muy similar, solo las columnas interiores aumentan de sección, donde hay un aumento del solo 2.08 % en área de concreto y áreas de acero se mantienen igual, como muestra la figura 143. La estructura 5 aunque no resiste la demanda del sismo extremo tiene un comportamiento bueno frente a la demanda del NSR-10, además de cumplir varias demandas y estar cerca de los desempeños esperados, que por criterio del calculista podrían ser completamente aceptables en ciertas demandas.



**Figura 143.** Comparación de secciones E5 vs E6

Fuente: Elaboración propia



**Figura 144.** Comparación de cantidades de elementos verticales E5 vs E6  
Fuente: Elaboración propia

El aumento de cantidades de la estructura 6 de los elementos verticales (figura 124), se debe principalmente a la adición de los muros en sentido Y, las cantidades de columnas son muy similares. Los resultados de los diferentes niveles de desempeño de ambas estructuras nos permiten concluir que siendo las estructuras muy similares hay una gran diferencia de capacidad donde se observa como con una mejor configuración aumenta considerablemente la capacidad de la estructura y reduce la demanda/capacidad de los elementos. Podría permitirse una optimización por la buena demanda/capacidad de los elementos y el buen control de deriva alejado del límite del 1% que maneja la estructura 6.

---

---

## 8. CONCLUSIONES

El presente estudio fue dirigido a los procedimientos del NSR-10 y diseño sísmico basado en desempeño de edificaciones esenciales en concreto reforzado, basado en los criterios del ATC-40, FEMA 356, FEMA 440 y VISION 2000, tomando en cuenta un nivel de demanda de sismo extremo, el cual podría no considerarse para el diseño de la estructura, ya que no está contemplado en el NSR-10 y solo con previo estudio entra en consideración en la ATC-40.

- El NSR-10 no nos provee un rango o limitaciones de la deriva o de la demanda/capacidad de los elementos estructurales para cumplir con los diferentes niveles de desempeño, los cuales podrían estar relacionados como muestran los resultados.
- Para las estructuras diseñadas por el NSR-10 tienen un buen desempeño frente a los estándares nacionales, es recomendable para un control de los daños de las demandas más exigentes, contar con una reserva estructural considerable, no tener un índice elevado de la demanda/capacidad en los elementos y alejarse un poco del límite de la deriva (1%).
- Con los resultados se observa que para la zona 4c, a mayor número de pisos de la estructura los requerimientos de capacidad aumentan, lo que indica que las estructuras piden cada vez más sobre resistencia con respecto a la demanda de diseño.
- Se observa en las comparaciones de material una menor diferencia para las estructuras de ocho pisos, y estas cantidades aumentan para la de cinco pisos y aun mas para la de tres pisos, esto debido al aumento de sobre resistencia requerido a mayor altura de las estructuras, por lo que se gasta menos en las estructuras de mayor altura en la zona 4c.
- Para las estructuras de baja altura se evidencia la necesidad del uso de pantallas o muros de concreto para mejorar el comportamiento frente a las diferentes demandas.
- Es adecuado la presencia de estructuras con las alturas presentadas en este trabajo para la zona 4c, los periodos del terreno están alejados.
- En la zona 4c para cumplir las demandas del presente estudio, es mas adecuado el uso del sistema estructural combinado de pórticos y muros de concreto. La presencia de estructuras de 8 pisos por el buen comportamiento además del ahorro del material presentado.
- Se puede predecir con certeza el comportamiento del edificio para cada demanda.

- 
- En general las estructuras al intentar diseñarlas muy cerca del límite del NSR-10, tienden a no ser capaces de resistir la demanda del sismo extremo.
  - Las estructuras diseñadas por el NSR-10 presentan un comportamiento aceptable para estándares internacionales a excepción del sismo extremo, ya sea quedando muy cerca del nivel esperado o por criterio de calculista considerarse adecuadas frente a cierta demanda.
  - Para obtener estructuras (Importancia IV) con desempeño idóneas frente a todas las demandas, se puede permitir su incursión inelástica verificando su comportamiento y estado de daño para las demandas de sismo frecuente y ocasional.
  - Es requerido un proceso iterativo para generar estructuras con un adecuado comportamiento y mecanismo de colapso frente a las demandas, además de optimizar los materiales.
  - Los factores R obtenidos de las estructuras del NSR-10 concuerdan con los recomendados y en algunos casos obteniendo mayores. Para las estructuras de desempeño este factor aumenta debido a la gran sobre resistencia ganada, por lo cual para la demanda del NSR-10 podría optimizarse y reducir secciones en las estructuras.
  - Los resultados demostraron que los procedimientos de diseño sísmico del NSR-10 para este tipo de edificaciones esenciales, con las propiedades de la zona 4c de Cali o para zonas de similares características, provee un adecuado comportamiento al colapso.
  - Los resultados obtenidos por el análisis pushover y por el diseño por desempeño proporcionan información exacta de la rigidez inicial y fluencia de la estructura, además del comportamiento para cada nivel de desempeño y demanda sísmica solicitada.
  - Las estructuras obtenidas por los procedimientos del NSR-10 tienden a tener un nivel de desempeño de seguridad de vida de acuerdo a la demanda de su uso e importancia, concordando con el objetivo buscado de las normas actuales de diseño, aunque no garantiza un comportamiento adecuado para todos los niveles de demanda según criterios de desempeño.
  - Las estructuras diseñadas por desempeño presentan un gran comportamiento y cumplen con todos los requisitos, aunque aumentando cantidad de materiales y refuerzos, por esto en algún momento puede ser más idóneo pensar en otros mecanismos de disipación los cuales pueden economizar la estructura.
-

---

---

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Colombia, 2010.
- SEAOC.(1995). Visión 2000: performance-based seismic engineering of buildings, Sacramento, California, Structural Engineers Associations of California.
- ATC-40. Seismic evaluation and retrofit of concrete building. Applied Technology Council. Redwood City, California, USA. 1996.
- FEMA 356. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Washington, D.C. Buildings Seismic Safety Council. USA. 1998.
- FEMA 440. Improvement of nonlinear static seismic análisis prodecures. Applied Technology Council. Redwood City, California, USA. 1996.
- López,R., Suarez, L. y Herrera, J.C (2001), Verificacion de curvas de capacidad de HAZUS para puerto rico. Revista internacional de desastres naturales accidentes e infraestructura civil, Vol.1 (1), p. 61-78.
- Bilgin, Huseyin. (2013). Fragility-Based assessment of public buildings in turkey. Engineering Structures. 56,1283-1294.
- Chopra, A.K. Dynamic of structure-Theory and applications to earthquake engineering. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. USA. 1995.
- Afanador G., Nelson. Evaluación del nivel de desempeño de los hospitales diseñados bajo la NSR-98-MIC-2008-I-1. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.2008.
- Sánchez-Badillo A (2005), “Diseño por desempeño de marcos de concreto reforzado, de mediana y gran altura ubicados en la Zona del Lago del Distrito Federal”, Tesis de Maestría en revisión. Posgrado en Ingeniería Estructural. División de Ciencias Básicas e Ingeniería, UAM-AZCAPOTZALCO.
- Lozano, J. E. y Alsina, J. M. (2006). Evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas de hormigón reforzado entre 3 y 8 pisos en la zona 2 de la ciudad de Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2008.
- Helmut Krawinkler. Pros and cons os seismic performance evaluation. Department of civil engineering,Stanford university, Stanford,USA.

- 
- 
- Salvador safina, Seminario UCV. Desempeño sísmico de estructuras ,2004
  - Sameh A. El-betar, Seismic performance of existing R.C framed Buildings. Housing and building National Research Center, Cairo, Egypt
  - Victor Gioncu, Framed Structures. Ductility and seismic response :General report. Department of architecture, Politehnica University Timisoara, Timisoara, Romania. 2000
  - Delgadillo Alanya J. Análisis no lineal estático de estructuras y la norma E-030. Universidad nacional de ingeniería civil, Lima Peru. 2005
  - Cardenas Et al. Comparación técnica de estructuras metálicas, analizadas mediante el método lineal de segundo orden y análisis estático no lineal (Pushover). Pontificia universidad católica del Ecuador, facultad de ingeniería civil, Quito Ecuador. 2016
  - Calcina Peña R. Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no-lineal, Universidad privada Tacna, escuela posgrados, Tacna Perú. 2017
  - Huapaya Huertas R. Evaluación de los indicadores de comportamiento sísmico de edificios con sistema aporticado a través del método estático no lineal. Universidad Ricardo palma, facultad ingeniería civil, Lima Peru. 2017
  - Taghineshad Et al. Evaluation of drift under pushover análisis in reinforced concrete momento frames, University of south carolina, USA. 2018
  - Aguiar Et al. Diagrama momento-curvatura y momento rotación para elementos de hormigón armado y acero con ASCE/SEI 41 y sistema de computación CEINCI-LAB. Revista CIENCIA vol. 17, 2 191-228, escuela politécnica nacional, Ecuador 2015.
  - Daza-Duarte L, Nuevo enfoque para determinar el factor de modificación de respuesta. Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil 33, Escuela de arquitectura, Universidad de puerto rico , San Jan Puerto Rico.
  - Aguiar R, El factor de sobre resistencia en estructuras de hormigón armado sin muros de corte. Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil Vol 7 (2). 2007
  - Aguiar R, Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte, Monografía CIMNE IS-58. 2007
- 
-

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Tipos de vigas estructura 1

Tipo 1				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 2				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 3				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 4				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	10,46	2#4+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 5				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 6				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 7				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 8				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 9				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 10				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5

Tipo 11				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 12				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	10,46	2#4+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 13				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	10,46	2#4+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 14				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 15				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5

## Anexo 2a. Tipos de vigas estructura 2

Tipo 1				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 2				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 3				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 4				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	10,46	2#4+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 5				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 6				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 7				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 8				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 9				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 10				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5

Tipo 11				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 12				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	10,46	2#4+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 13				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	10,46	2#4+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 14				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 15				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5

### Anexo 3a. Tipos de vigas estructura 3

Tipo 1				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 2				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 3				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 4				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 5				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 6				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 7				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 8				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 9				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 10				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 11				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	10,46	2#4+4#5
As bot	10,46	2#4+4#5	10,46	2#4+4#5
Tipo 12				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	9,9	5#5
As bot	10,46	2#4+4#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 13				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 14				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5

Tipo 15				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 16				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 17				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 18				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	10,46	2#4+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 19				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
Tipo 20				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	9,9	5#5
As bot	13,62	2#6+4#5	7,92	4#5
Tipo 21				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	10,46	2#4+4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 22				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	10,46	2#4+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 23				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 24				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	4#5	6,5	4#5
Tipo 25				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 26				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	11,8	6#5	11,8	6#5
Tipo 27				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	11,8	6#5	7,92	4#5
Tipo 28				
	As i (cm2)	barras i	As j (cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	9,9	4#5	7,92	4#5

### Anexo 4a. Tipos de vigas estructura 4

Tipo 1				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 2				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 3				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 4				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 5				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 6				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 7				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 8				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 9				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	9,9	4#5	7,92	4#5
Tipo 10				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 11				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	13,62	2#6+4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 12				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5

## Anexo 5a. Tipos de vigas estructura 5

Tipo 1				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 2				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 3				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 4				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 5				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 6				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 7				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 8				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 9				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 10				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 11				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 12				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 13				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 14				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5

Tipo 15				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 16				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 17				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 18				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 19				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 20				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	17,1	6#6	13,38	4#6+1#5
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 21				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,38	4#6+1#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 22				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	15,36	2#5+4#6
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 23				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	11,4	4#6
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 24				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	17,1	6#6
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5
Tipo 25				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	17,1	6#6	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 26				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 27				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	11,4	4#6
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5
Tipo 28				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	17,1	6#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5

Tipo 29				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	17,1	6#6	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 30				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 31				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	11,8	6#5
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 32				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 33				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5
Tipo 34				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	15,68	4#5+2#7
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 35				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 36				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	22,01	5#6+2#7	14,25	5#6
As bot	11,8	6#5	9,9	5#5
Tipo 37				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	14,25	5#6	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 38				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	17,1	6#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 39				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 40				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 41				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	19,16	4#6+2#7
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5

Tipo 42				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	19,16	4#6+2#7	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 43				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	17,1	6#6	17,1	6#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 44				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	13,94	4#6+2#4
As bot	7,92	4#5	11,8	6#5
Tipo 45				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,94	4#6+2#4	19,16	4#6+2#7
As bot	11,8	6#5	11,8	6#5
Tipo 46				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	19,16	4#6+2#7	13,94	4#6+2#4
As bot	11,8	6#5	11,8	6#5
Tipo 47				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,94	4#6+2#4	11,4	4#6
As bot	11,8	6#5	7,92	4#5
Tipo 48				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	18,06	4#5+2#8
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 49				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 50				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5
Tipo 51				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	15,68	4#5+2#7
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 52				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	9,9	5#5
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 53				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5

## Anexo 6a. Tipos de vigas estructura 6

Tipo 1				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 2				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 3				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 4				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 5				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 6				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 7				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 8				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 9				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 10				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 11				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 12				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	9,9	5#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5

Tipo 13				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 14				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	6,5	2#4+2#5	6,5	2#4+2#5
Tipo 15				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 16				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 17				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 18				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 19				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 20				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	9,9	5#5	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 21				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 22				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	11,8	6#5
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 23				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	7,92	4#5
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 24				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5

Tipo 25				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	17,66	5#5+2#7
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 26				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 27				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	19,16	4#6+2#7	13,94	4#6+2#4
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 28				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,94	4#6+2#4	11,4	4#6
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 29				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	11,4	4#6
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 30				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	9,9	5#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 31				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	19,16	4#6+2#7
As bot	7,92	4#5	9,9	5#5
Tipo 32				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	17,66	5#5+2#7	9,9	5#5
As bot	9,9	5#5	7,92	4#5
Tipo 33				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	11,8	6#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5

Tipo 34				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,8	6#5	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 35				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 36				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	17,1	6#6	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 37				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	11,4	4#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 38				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	11,4	4#6	17,1	6#6
As bot	9,9	5#5	9,9	5#5
Tipo 39				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	15,68	4#5+2#7
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 40				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	15,68	4#5+2#7	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 41				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	7,92	4#5	13,62	2#6+4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5
Tipo 42				
	As i (cm2)	barras i	As j(cm2)	barras j
As top	13,62	2#6+4#5	7,92	4#5
As bot	7,92	4#5	7,92	4#5

## Anexo 7. D/C columnas estructura 1

Label	Section	P kN	M Major kN-cm	M Minor kN-cm	PMM Combo	PMM Ratio
C1	C-50X50	55,7695	-6260,112	-18736,454	0.9M-SY+0.3SX	0,88
C2	C-50X50	309,0929	-6495,853	20470,538	0.9M-SY+0.3SX	0,769
C3	C-50X50	235,3286	-19057,195	-6173,186	0.9M-SX+0.3SY	0,758
C4	C-50X50	235,4102	-19042,233	6173,186	0.9M-SX+0.3SY	0,757
C5	C-50X50	309,1923	-6482,715	-20470,538	0.9M-SY+0.3SX	0,769
C6	C-50X50	307,7122	20518,699	-6418,158	0.9M-SX+0.3SY	0,772
C7	C-50X50	1111,5756	6355,194	-20570,773	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,7
C8	C-50X50	1103,5216	20432,694	6275,875	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,694
C9	C-50X50	1078,1926	20414,274	-6180,752	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,689
C10	C-50X50	1086,3441	6338,355	-20579,333	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,696
C11	C-50X50	232,2316	-6381,275	-19233,589	0.9M-SY+0.3SX	0,771
C12	C-50X50	1103,7644	6259,594	-20663,065	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,699
C13	C-50X50	928,3607	6711,965	21161,922	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,694
C14	C-50X50	903,0844	6707,268	-21065,595	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,688
C15	C-50X50	1078,5785	6244,531	-20641,249	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,695
C16	C-50X50	231,9985	6383,112	-19302,481	0.9M-SY+0.3SX	0,774
C17	C-50X50	1104,0944	6258,527	-20754,754	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,701
C18	C-50X50	444,9951	6129,665	21143,236	0.9M-SY+0.3SX	0,691
C19	C-50X50	444,9952	6125,132	-21143,236	0.9M-SY+0.3SX	0,691
C20	C-50X50	1078,9215	6243,316	-20701,733	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,696
C21	C-50X50	231,5156	-6383,217	-19378,74	0.9M-SY+0.3SX	0,778
C22	C-50X50	1116,2944	-6316,851	-20773,922	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,704
C23	C-50X50	940,7706	-6770,656	21273,958	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,699
C24	C-50X50	928,1802	-6811,499	-21226,03	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,697
C25	C-50X50	1091,0769	-6301,474	20774,688	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,7
C26	C-50X50	230,8828	6381,375	-19462,278	0.9M-SY+0.3SX	0,782
C27	C-50X50	1103,2618	6355,14	20915,637	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,706
C28	C-50X50	1087,0987	6244,948	20711,874	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,698
C29	C-50X50	1087,1891	6240,489	-20710,55	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,698
C30	C-50X50	1090,6777	6292,955	-20866,255	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,702
C31	C-50X50	229,3186	-6448,75	-19537,161	0.9M-SY+0.3SX	0,787
C32	C-50X50	1086,2017	-6355,606	21008,035	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,706
C33	C-50X50	1069,9852	-6231,598	-20799,633	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,697
C34	C-50X50	1069,9991	-6227,189	20801,651	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,697
C35	C-50X50	1086,2658	-6340,164	-21004,96	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,705
C36	C-50X50	55,7107	-6237,798	18736,454	0.9M-SY+0.3SX	0,879
C37	C-50X50	231,8373	6423,796	19156,393	0.9M-SY+0.3SX	0,768
C38	C-50X50	232,1557	-6356,537	19233,589	0.9M-SY+0.3SX	0,77
C39	C-50X50	232,0087	6358,361	19302,481	0.9M-SY+0.3SX	0,774
C40	C-50X50	231,525	-6358,465	19378,74	0.9M-SY+0.3SX	0,777
C41	C-50X50	230,8116	6356,636	19462,278	0.9M-SY+0.3SX	0,782
C42	C-50X50	229,4567	-6423,83	19537,161	0.9M-SY+0.3SX	0,787
C43	C-50X50	54,8503	6237,789	19271,585	0.9M-SY+0.3SX	0,904
C44	C-50X50	54,8946	6260,103	-19271,585	0.9M-SY+0.3SX	0,904
C45	C-50X50	307,5098	6495,85	21068,612	0.9M-SY+0.3SX	0,797
C46	C-50X50	317,3677	6391,217	-20892,153	0.9M-SY+0.3SX	0,781
C47	C-50X50	317,3963	6387,138	20892,153	0.9M-SY+0.3SX	0,78
C48	C-50X50	307,5992	6482,712	-21068,612	0.9M-SY+0.3SX	0,797

## Anexo 8. D/C columnas estructura 2

Label	Section	P kN	M Major kN-cm	M Minor kN-cm	PMM Combo	PMM Ratio
C1	C-65X65	109,0027	-8102,323	-24753,552	0.9M-SY+0.3SX	0,395
C2	C-65X65	687,6767	-9205,029	-26078,131	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,345
C3	C-65X65	683,519	-9084,286	26032,687	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,343
C4	C-65X65	608,4187	-9024,28	25978,65	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,342
C5	C-65X65	605,2231	-9134,166	-26043,773	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,344
C6	C-65X65	278,9529	8114,578	-25219,515	0.9M-SY+0.3SX	0,346
C7	C-65X65	1131,0412	7983,429	-26213,043	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,374
C8	C-65X65	1126,0205	7842,071	26177,167	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,372
C9	C-65X65	1101,1084	7836,547	-26068,951	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,37
C10	C-65X65	1106,0812	7966,496	-26133,365	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,372
C11	C-65X65	279,5443	-8091,264	-25303,63	0.9M-SY+0.3SX	0,347
C12	C-65X65	1129,0906	7956,829	-26301,272	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,374
C13	C-65X65	967,5986	8487,713	26940,967	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,371
C14	C-65X65	942,661	8482,464	-26832,166	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,368
C15	C-65X65	1104,1038	7940,192	-26216,261	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,372
C16	C-65X65	279,2439	8091,524	-25383,674	0.9M-SY+0.3SX	0,348
C17	C-65X65	1128,7617	7952,779	-26389,287	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,375
C18	C-65X65	811,1465	7814,174	27698,472	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,359
C19	C-65X65	786,2337	7809,152	-27589,993	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,355
C20	C-65X65	1103,779	7936,16	-26298,703	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,373
C21	C-65X65	278,8873	-8091,537	-25471,384	0.9M-SY+0.3SX	0,349
C22	C-65X65	1141,475	-8012,167	-26426,381	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,377
C23	C-65X65	979,984	-8543,653	27066,257	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,374
C24	C-65X65	967,4942	-8591,376	-27011,626	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,372
C25	C-65X65	1116,5198	-7995,705	26426,604	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,375
C26	C-65X65	278,523	8091,286	-25567,543	0.9M-SY+0.3SX	0,351
C27	C-65X65	1129,386	8061,034	26502,864	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,377
C28	C-65X65	1124,3034	7925,817	26437,42	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,375
C29	C-65X65	1124,2619	7920,343	-26436,406	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,375
C30	C-65X65	1116,9015	7990,659	26527,182	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,376
C31	C-65X65	277,2256	-8114,577	-25659,719	0.9M-SY+0.3SX	0,353
C32	C-65X65	1106,1481	-7982,928	26606,471	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,377
C33	C-65X65	1101,3715	-7844,54	-26535,499	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,375
C34	C-65X65	1101,3748	-7839,406	26536,425	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,375
C35	C-65X65	1106,1339	-7966,438	-26605,08	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,376
C36	C-65X65	108,9586	-8076,413	24753,552	0.9M-SY+0.3SX	0,395
C37	C-65X65	279,0576	8086,787	25219,515	0.9M-SY+0.3SX	0,345
C38	C-65X65	279,5123	-8063,531	25303,63	0.9M-SY+0.3SX	0,346
C39	C-65X65	279,245	8063,789	25383,674	0.9M-SY+0.3SX	0,348
C40	C-65X65	278,8883	-8063,802	25471,384	0.9M-SY+0.3SX	0,349
C41	C-65X65	278,492	8063,552	25567,543	0.9M-SY+0.3SX	0,351
C42	C-65X65	277,3268	-8086,786	25659,719	0.9M-SY+0.3SX	0,353
C43	C-65X65	108,299	8076,416	25371,272	0.9M-SY+0.3SX	0,405
C44	C-65X65	108,3341	8102,326	-25371,272	0.9M-SY+0.3SX	0,405
C45	C-65X65	604,0691	9149,975	26707,019	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,351
C46	C-65X65	608,4478	9028,961	-26639,627	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,35
C47	C-65X65	608,4666	9024,064	26640,694	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,35
C48	C-65X65	604,1364	9134,469	-26705,945	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,351

**Anexo 9. D/C columnas y muros estructura 3**

Label	Section	P kN	M Major kN-cm	M Minor kN-cm	PMM Combo	PMM Ratio
C9	C-60X60	2162,452	327,845	-7187,99	1.2M+1.6L	0,418
C8	C-60X60	2241,1195	7449,481	182,469	1.2M+1.6L	0,433
C7	C-60X60	2194,9712	116,145	-7296,084	1.2M+1.6L	0,425
C6	C-60X60	1121,8818	14017,705	-4244,051	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,302
C5	C-60X60	1256,1961	-14232,954	-4175,596	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,32
C48	C-60X60	1261,1489	14404,495	4192,059	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,322
C45	C-60X60	1261,3671	14421,816	-4192,784	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,322
C42	C-60X60	1232,7072	6077,463	12339,815	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,308
C41	C-60X60	1212,1695	14469,937	4946,927	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,321
C38	C-60X60	1201,3698	14356,904	4447,695	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,316
C37	C-60X60	1119,9117	13983,412	4213,669	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,302
C36	C-60X60	868,5603	13744,17	4348,154	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,279
C35	C-60X60	2117,4493	7038,402	11,529	1.2M+1.6L	0,41
C34	C-60X60	2166,8698	-75,308	-7202,675	1.2M+1.6L	0,419
C33	C-60X60	2166,958	-71,752	7202,968	1.2M+1.6L	0,419
C32	C-60X60	2118,0288	7040,328	-28,156	1.2M+1.6L	0,41
C31	C-60X60	1233,4759	6089,471	-12348,499	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,308
C30	C-60X60	2181,2753	7250,559	-17,958	1.2M+1.6L	0,422
C29	C-60X60	2224,0665	7392,797	-7,657	1.2M+1.6L	0,43
C28	C-60X60	2225,3427	7397,039	-10,276	1.2M+1.6L	0,43
C27	C-60X60	2210,6688	7348,263	-21,643	1.2M+1.6L	0,428
C26	C-60X60	1230,7914	14494,975	-4964,379	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,324
C25	C-60X60	2207,7975	-7338,719	-310,746	1.2M+1.6L	0,427
C24	C-60X60	1990,1043	-16034,929	-6615,107	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,438
C23	C-60X60	2007,4894	-16023,709	6672,895	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,44
C22	C-60X60	2276,9836	-7,476	7568,693	1.2M+1.6L	0,44
C20	C-60X60	1978,2885	13799,674	6575,831	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,42
C2	C-60X60	1281,053	-14299,732	4258,22	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,324
C19	C-60X60	868,8299	13775,038	-4353,116	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,28
C18	C-60X60	858,6035	-13594,918	-3400,543	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,269
C17	C-60X60	2226,1027	7399,565	50,008	1.2M+1.6L	0,431
C15	C-60X60	2125,746	7065,98	-18,145	1.2M+1.6L	0,411
C14	C-60X60	1592,074	14325,036	5292,054	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,366
C13	C-60X60	1640,4589	14326,452	5452,885	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,372
C12	C-60X60	2204,5664	7327,979	-210,88	1.2M+1.6L	0,426
C11	C-60X60	1202,8662	14392,098	-4483,78	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,317
C10	C-60X60	2116,7203	104,975	-7035,978	1.2M+1.6L	0,409
C1	C-60X60	857,5795	-13583,781	3366,38	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,268

Pier Label	Design Type	D/C Ratio
P1	Uniform	0,997
P2	Uniform	0,998
P17	Uniform	0,953
P17	Uniform	0,953
P17	Uniform	0,953
P18	Uniform	0,951
P18	Uniform	0,951
P18	Uniform	0,951
P19	Uniform	0,912
P19	Uniform	0,912
P19	Uniform	0,912
P20	Uniform	0,999
P20	Uniform	0,999
P20	Uniform	0,999
P21	Uniform	0,868
P21	Uniform	0,868
P21	Uniform	0,868

### Anexo 10. D/C columnas y muros estructura 4

Label	Section	P tonf	M Major tonf-cm	M Minor tonf-cm	PMM Combo	PMM Ratio
C2	C-70X70	141,4671	-1582,68	-512,677	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,238
C5	C-70X70	138,8832	-1574,867	-503,313	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,235
C7	C-70X70	233,8806	847,583	3,8	1.2M+1.6L	0,323
C8	C-70X70	234,5796	850,117	17,544	1.2M+1.6L	0,324
C9	C-70X70	226,511	39,501	-820,876	1.2M+1.6L	0,313
C10	C-70X70	225,8122	8,571	-818,343	1.2M+1.6L	0,312
C11	C-70X70	129,6496	717,116	-1630,186	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,238
C12	C-70X70	230,0035	833,533	-23,682	1.2M+1.6L	0,318
C13	C-70X70	174,9766	634,115	1614,073	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,273
C14	C-70X70	170,0041	616,095	-1605,814	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,267
C15	C-70X70	221,9562	13,589	-804,369	1.2M+1.6L	0,307
C17	C-70X70	229,5208	831,783	-26,66	1.2M+1.6L	0,317
C20	C-70X70	221,4671	15,902	802,597	1.2M+1.6L	0,306
C22	C-70X70	233,3496	845,659	-11,814	1.2M+1.6L	0,322
C23	C-70X70	204,6055	-1683,984	741,49	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,311
C24	C-70X70	202,7996	-1684,971	734,946	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,309
C25	C-70X70	226,4086	-820,505	-4,373	1.2M+1.6L	0,313
C26	C-70X70	136,0293	716,19	-1859,379	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,258
C27	C-70X70	230,4775	835,25	-4,512	1.2M+1.6L	0,318
C28	C-70X70	231,6374	839,454	-2,026	1.2M+1.6L	0,32
C29	C-70X70	231,5309	839,068	-1,913	1.2M+1.6L	0,32
C30	C-70X70	227,4748	824,369	-1,627	1.2M+1.6L	0,314
C32	C-70X70	204,1868	739,973	1854,63	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,317
C33	C-70X70	205,5807	745,024	-1847,834	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,319
C34	C-70X70	205,5715	744,991	-1850,009	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,319
C35	C-70X70	204,1452	739,822	-1857,856	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,317
C38	C-70X70	129,4871	715,283	1626,964	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,237
C41	C-70X70	134,1026	715,427	1858,552	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,256
C45	C-70X70	133,4408	748,788	1972,685	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,264
C48	C-70X70	133,3966	747,957	-1973,133	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,264
C3	C-70X70	129,4764	700,183	-1689,12	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,241
C4	C-70X70	132,8087	694,441	-1769,473	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,249
C16	C-70X70	129,3089	698,611	1685,674	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,241
C21	C-70X70	130,84	691,526	1767,841	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,247

Pier Label	Design Type	D/C Ratio
P1	Uniform	0,929
P2	Uniform	0,929
P19	Uniform	0,814
P19	Uniform	0,814
P19	Uniform	0,814
P20	Uniform	0,921
P20	Uniform	0,921
P20	Uniform	0,921
P21	Uniform	0,823
P21	Uniform	0,823
P21	Uniform	0,823
P21	Uniform	0,823
P22	Uniform	0,85
P22	Uniform	0,85
P22	Uniform	0,85
P23	Uniform	0,845
P23	Uniform	0,845
P23	Uniform	0,845
P23	Uniform	0,845
P24	Uniform	0,843
P24	Uniform	0,843
P24	Uniform	0,843
P24	Uniform	0,843
P25	Uniform	0,848
P25	Uniform	0,848
P25	Uniform	0,848

### Anexo 11. D/C columnas y muros estructura 5

Label	Section	P kN	M Major kN-cm	M Minor kN-cm	PMM Combo	PMM Ratio
C2	C-60X80	2312,7526	-13010,788	-9075,241	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,348
C5	C-60X80	2269,8423	-12930,556	-8906,861	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,342
C7	C-60X80	3637,1698	12089,952	-78,988	1.2M+1.6L	0,521
C8	C-60X80	3633,094	507,761	14256,261	1.2M+1.6L	0,521
C9	C-60X80	3506,3376	500,106	-13758,869	1.2M+1.6L	0,502
C10	C-60X80	3503,62	372,661	-13748,205	1.2M+1.6L	0,502
C11	C-60X80	2157,2864	7337,129	-20367,782	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,341
C12	C-60X80	3615,4605	12017,791	-276,411	1.2M+1.6L	0,518
C13	C-60X80	3027,6039	1420,924	11880,318	1.2M+1.6L	0,434
C14	C-60X80	2902,6976	1413,86	-11390,185	1.2M+1.6L	0,416
C15	C-60X80	3481,8375	11573,628	-5,754	1.2M+1.6L	0,499
C16	C-60X80	2175,5477	7231,52	-20957,443	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,345
C17	C-60X80	3550,4491	11801,693	-191,978	1.2M+1.6L	0,509
C20	C-60X80	3419,6479	453,953	-13418,699	1.2M+1.6L	0,49
C21	C-60X80	2237,2162	7436,507	-21886,324	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,356
C22	C-60X80	3656,0069	313,3	-14346,171	1.2M+1.6L	0,524
C25	C-60X80	3523,8731	301,056	13827,678	1.2M+1.6L	0,505
C26	C-60X80	2282,5272	7587,12	-23030,46	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,366
C27	C-60X80	3640,5825	12101,296	-111,664	1.2M+1.6L	0,522
C28	C-60X80	3652,7274	631,547	14333,302	1.2M+1.6L	0,523
C29	C-60X80	3648,4927	12127,59	-65,765	1.2M+1.6L	0,523
C30	C-60X80	3573,5241	11878,394	146,32	1.2M+1.6L	0,512
C32	C-60X80	3492,7089	11609,765	104,051	1.2M+1.6L	0,501
C33	C-60X80	3487,8845	545,121	-13686,459	1.2M+1.6L	0,5
C34	C-60X80	3487,1576	11591,312	-32,985	1.2M+1.6L	0,5
C35	C-60X80	3490,2462	11601,578	-150,138	1.2M+1.6L	0,5
C38	C-60X80	2150,7954	7321,778	20317,402	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,34
C39	C-60X80	2168,5464	-7208,248	20905,168	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,344
C40	C-60X80	2191,7164	7285,265	21784,235	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,35
C41	C-60X80	2239,3193	7443,497	22938,444	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,36
C45	C-60X80	2186,6449	-7268,408	25274,877	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,368
C48	C-60X80	2185,1372	7263,396	-25277,696	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,368

Pier Label	Design Type	D/C Ratio
P10	Uniform	0,995
P10	Uniform	0,995
P10	Uniform	0,995
P11	Uniform	0,994
P11	Uniform	0,994
P11	Uniform	0,994
P12	Uniform	0,993
P12	Uniform	0,993
P12	Uniform	0,993
P12	Uniform	0,993
P13	Uniform	0,994
P13	Uniform	0,994
P13	Uniform	0,994
P13	Uniform	0,994
P14	Uniform	0,993
P14	Uniform	0,993
P14	Uniform	0,993
P14	Uniform	0,993
P15	Uniform	0,992
P15	Uniform	0,992
P15	Uniform	0,992
P15	Uniform	0,992
P16	Uniform	0,831
P16	Uniform	0,831
P16	Uniform	0,831
P18	Uniform	0,992
P18	Uniform	0,992
P18	Uniform	0,992
P19	Uniform	0,945

**Anexo 12. D/C columnas y muros estructura 6**

Label	Section	P tonf	M Major tonf-cm	M Minor tonf-cm	PMM Combo	PMM Ratio
C7	C-70X70	373,6403	1354,072	-6,728	1.2M+1.6L	0,516
C8	C-70X70	370,6779	1343,337	19,621	1.2M+1.6L	0,512
C9	C-70X70	357,7712	1296,563	-0,232	1.2M+1.6L	0,494
C10	C-70X70	359,9691	51,635	-1304,528	1.2M+1.6L	0,497
C11	C-80X60	221,1575	867,822	-1230,102	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,326
C12	C-70X70	370,4621	41,747	-1342,555	1.2M+1.6L	0,512
C13	C-70X70	309,4521	1121,454	111,918	1.2M+1.6L	0,427
C14	C-70X70	296,7369	140,5	-1075,375	1.2M+1.6L	0,41
C15	C-70X70	356,8091	1293,076	1,002	1.2M+1.6L	0,493
C16	C-80X60	217,4581	853,306	-1244,808	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,322
C17	C-70X70	363,8357	1318,54	-12,946	1.2M+1.6L	0,503
C20	C-70X70	350,5617	1270,436	-7,205	1.2M+1.6L	0,484
C21	C-80X60	222,225	872,011	-1276,182	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,329
C22	C-70X70	374,0055	26,589	-1355,396	1.2M+1.6L	0,517
C25	C-70X70	360,582	1306,749	12,357	1.2M+1.6L	0,498
C26	C-80X60	228,7477	897,606	-1312,282	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,339
C27	C-70X70	372,8574	1351,235	-6,039	1.2M+1.6L	0,515
C28	C-70X70	372,54	1350,085	3,529	1.2M+1.6L	0,515
C29	C-70X70	372,2037	1348,866	-4,859	1.2M+1.6L	0,514
C30	C-70X70	365,9906	50,916	1326,35	1.2M+1.6L	0,506
C32	C-70X70	360,2241	1305,452	8,309	1.2M+1.6L	0,498
C33	C-70X70	360,4376	45,838	-1306,226	1.2M+1.6L	0,498
C34	C-70X70	360,4158	1306,147	-0,801	1.2M+1.6L	0,498
C35	C-70X70	359,9763	1304,554	-10,433	1.2M+1.6L	0,497
C38	C-80X60	220,7491	866,219	1229,504	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,325
C39	C-80X60	216,8934	851,09	1243,808	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,321
C40	C-80X60	217,7411	854,416	1269,247	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,323
C41	C-80X60	224,3819	880,474	1305,622	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,333
C1	C-60X80	215,7271	717,077	2083,139	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,336
C3	C-60X80	215,6827	716,929	-2086,398	1.2M+1L-SY+0.3SX	0,336
C4	C-60X80	224,8456	-1187,244	882,294	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,329
C6	C-60X80	220,6963	-1180,495	866,012	1.2M+1L-SX+0.3SY	0,324

Pier Label	Design Type	D/C Ratio
P10	Uniform	0,952
P10	Uniform	0,952
P10	Uniform	0,952
P11	Uniform	0,9
P11	Uniform	0,9
P11	Uniform	0,9
P12	Uniform	0,898
P12	Uniform	0,898
P12	Uniform	0,898
P13	Uniform	0,915
P13	Uniform	0,915
P13	Uniform	0,915
P14	Uniform	0,919
P14	Uniform	0,919
P14	Uniform	0,919
P15	Uniform	0,918
P15	Uniform	0,918
P15	Uniform	0,918
P19	Uniform	0,957
P19	Uniform	0,957
P19	Uniform	0,957
P20	Uniform	0,936
P20	Uniform	0,936
P20	Uniform	0,936
P21	Uniform	0,935
P21	Uniform	0,935
P21	Uniform	0,935
P22	Uniform	0,953
P22	Uniform	0,953
P22	Uniform	0,953
P23	Uniform	0,953
P23	Uniform	0,953
P23	Uniform	0,953

### Anexo 13. Mapa clínicas y hospitales Zona 4c-Cali

