

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**ANALISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE MUROS
ESTRUCTURALES Y EL SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA EN UN EDIFICIO DE OCHO PISOS EN LA CIUDAD DE
AREQUIPA, APLICANDO EL ANALISIS ESTATICO NO LINEAL
(PUSHOVER)**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Chávez Pinazo Merlig Joel

Vega Núñez Dante Gonzalo

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Rosas Espinoza Jorge

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 10 de Enero del 2023

Dictamen: 005676-C-EPIC-2023

Visto el borrador del expediente 005676, presentado por:

2014241541 - VEGA NUÑEZ DANTE GONZALO

2014220311 - CHAVEZ PINAZO MERLIG JOEL

Titulado:

**ANALISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES Y EL SISTEMA DE MUROS
DE DUCTILIDAD LIMITADA EN UN EDIFICIO DE OCHO PISOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA,
APLICANDO EL ANALISIS ESTATICO NO LINEAL (PUSHOVER)**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1887 - GUILLEN MALAGA MILAGROS SOCORRO
DICTAMINADOR**



**1938 - FEBRES ROSADO OLGER JAVIER
DICTAMINADOR**



**3045 - BUSTAMANTE MORA BORIS ANDRE
DICTAMINADOR**





DEDICATORIA

A Dios, nuestros familiares, amigos y todas las personas que de una u otra manera permitieron lograr nuestras metas, por haber confiado en nosotros y apoyarnos a lo largo de nuestra vida universitaria el cual nos permitió culminar con éxito nuestros estudios y guiarnos por el buen camino, dándonos las fuerzas para afrontar adversidades sin perder la fe y poder seguir adelante sin desmayar.

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestros padres, hermanos por su comprensión y haber permitido realizar este trabajo de investigación y que son nuestra inspiración para seguir siendo mejores personas.

A la Universidad Católica de Santa María y la escuela Profesional de Ingeniería Civil por habernos brindado todo el conocimiento necesario.

A nuestro asesor el Ing. Jorge Rosas Espinoza por habernos asesorado en este trabajo.

Y a todos nuestros amigos de la universidad que contribuyeron al esfuerzo por superarnos y ser personas de bien.

INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCION	xvi
1. GENERALIDADES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	2
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.2. HIPOTESIS.....	2
1.2.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	2
1.2.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. JUSTIFICACION	4
1.4.1. JUSTIFICACION SOCIAL	4
1.4.2. JUSTIFICACION AMBIENTAL	5
1.4.3. JUSTIFICACION ECONOMICA	5
1.4.4. JUSTIFICACION TECNOLOGICA	5
1.4.5. JUSTIFICACION POLITICA.....	5
1.4.6. JUSTIFICACION ETICA	6
1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	6
1.5.1. ALCANCE	6
1.5.2. LIMITACIONES	6
1.6. APORTE DE LA INVESTIGACION	7
1.7. ESTADO DEL ARTE	7
1.8. ANALISIS DE VARIABLES	8
1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	8
1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE	8
1.9. POBLACION Y MUESTRA.....	9
2. MARCO TEORICO	10
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	10

2.2. CRITERIOS DE ESTRUCTURACION Y DISEÑO	14
2.2.1. SIMPLICIDAD Y SIMETRÍA	14
2.2.2. RESISTENCIA Y DUCTILIDAD	15
2.2.3. HIPERESTATICIDAD Y MONOLITISMO.....	15
2.2.4. UNIFORMIDAD Y CONTINUIDAD DE LA ESTRUCTURA	16
2.2.5. RIGIDEZ LATERAL.....	16
2.2.6. EXISTENCIA DE DIAFRAGMA RÍGIDO	17
2.2.7. ELEMENTOS ESTRUCTURALES	17
2.2.8. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	20
2.2.9. EL DISEÑO EN CONCRETO ARMADO	20
2.3. SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	21
2.3.1. SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES	21
2.3.2. SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	22
2.4. RELACIONES LINEALES Y NO LINEALES	23
2.4.1. GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN	23
2.4.2. RÓTULAS PLÁSTICAS TIPO FIBRA	24
2.5. ANALISIS NO LINEAL ESTÁTICO.....	26
2.5.1. DEFINICION DE ANALISIS ESTÁTICO NO LINEAL.....	26
2.5.2. CURVA DE CAPACIDAD Y REPRESENTACIÓN BILINEAL.....	29
2.5.3. ESPECTRO DE CAPACIDAD	29
2.5.4. ESPECTRO DE DEMANDA.....	30
2.5.5. PUNTO DE DESEMPEÑO	32
2.5.6. PROCEDIMIENTO DEL ANALISIS.....	33
2.5.7. PATRON DE CARGAS LATERALES	37
2.6. COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE LAS ESTRUCTURAS	37
2.6.1. TIPOS DE COMPORTAMIENTO NO LINEAL.....	38
2.7. CAPACIDAD, DEMANDA Y DESEMPEÑO	39
2.7.1. NIVELES DE DESEMPEÑO.....	39
2.7.2. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD	45
3. DESARROLLO.....	46
3.1. DESCRIPCION DE LA EDIFICACION	46
3.2. PLANOS	47
3.3. REVISION ANALISIS LINEAL.....	48
3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	48
3.3.1.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	48
3.3.1.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	49

3.3.2. CREACION DEL MODELO COMPUTACIONAL	50
3.3.2.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	50
3.3.2.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	60
3.3.3. REVISION ANALISIS ESTATICO LINEAL.....	65
3.3.3.1. ANÁLISIS SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	65
3.3.3.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	67
3.3.4. ANALISIS DINAMICO LINEAL.....	68
3.3.4.1. ANÁLISIS SISTEMA MUROS ESTRUCTURALES	68
3.3.4.2. ANÁLISIS SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	72
3.3.5. CONTROL DE DISTORCIONES.....	75
3.3.5.1. CONTROL DEL SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	75
3.3.5.2. CONTROL DEL SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	79
3.4. APLICACIÓN DEL ANALISIS ESTAIKO NO LINEAL (PUSHOVER)	82
3.4.1. MODELO COMPUTACIONAL.....	82
3.4.1.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	83
3.4.1.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	86
3.4.2. NO LINEALIDAD DEL MATERIAL.....	86
3.4.2.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	86
3.4.2.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	87
3.4.3. CREACION DE CASO DE CARGA POR GRAVEDAD.....	88
3.4.3.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	88
3.4.3.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	89
3.4.4. CREACION DEL CASO DE CARGA MONOTONICA	90
3.4.4.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	90
3.4.4.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	102
3.4.5. ASIGNACION DE ROTULAS PLASTICCAS TIPO FIBRA A ELEMENTOS.....	114
3.4.5.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	114
3.4.5.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	115
3.4.6. DERIVAS SEGÚN HAZUS.....	116
3.4.6.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	117
3.4.6.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	120
4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE AMBOS SISTEMAS ESTRUCTURALES	124
4.1. VALIDACION	124
4.2. CURVAS DE CAPACIDAD	128
4.2.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES	128
4.2.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	129

4.2.3. COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS	130
4.2.3.1. DIRECCIÓN "X"	130
4.2.3.2. DIRECCIÓN "Y"	131
4.3. OBTENCION DE VALOR NUMERICO Y GRAFICO DE PUNTOS DE DESEMPEÑO	132
4.3.1. METODO FEMA 440	132
4.3.1.1. DIRECCIÓN "X"	132
4.3.1.2. DIRECCIÓN "Y"	134
4.3.2. METODO ASCE 41-17	136
4.3.2.1. DIRECCIÓN "X"	136
4.3.2.2. DIRECCIÓN "Y"	138
4.4. CLASIFICACION Y COMPARACION DEL NIVEL DE DESEMPEÑO PARA AMBOS SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	140
4.4.1. SECTORIZACION SEGÚN LA PROPUESTA DE VISSION 2000	140
4.4.1.1. DIRECCIÓN "X"	140
4.4.1.2. DIRECCION "Y"	145
4.4.2. SECTORIZACION SEGÚN LA PROPUESTA ATC-40	150
4.4.2.1. DIRECCION "X"	150
4.4.2.2. DIRECCION "Y"	153
CONCLUSIONES.....	157
RECOMENDACIONES.....	160
REFERENCIA	161
ANEXOS.....	163

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo sistema muros estructurales	21
Figura 2: Ejemplo sistema de muros de ductilidad Limitada	23
Figura 3: Grafico esfuerzo – deformación de concreto armado	23
Figura 4: Modelo Idealizado de elementos viga – columna	24
Figura 5: Deformaciones y esfuerzos	25
Figura 6: Esfuerzos y visualización tipo fibra	26
Figura 7: Secuencia del proceso de análisis estático no lineal	27
Figura 8: Grafico espectro de capacidad	28
Figura 9: Grafico de curva de capacidad y representación bilineal	29
Figura 10: Curva y espectro de capacidad	30
Figura 11: Cambio de formato del espectro de demanda a ADRS	32
Figura 12: Grafico espectro de capacidad, espectro de demanda y obtención de punto de desempeño	32
Figura 13: Gráfico de método de espectro de capacidad	36
Figura 14: Gráfica de método de coeficientes	36
Figura 15: Esquema de desarrollo de un sistema a partir de una curva pushover	37
Figura 16: Niveles de desempeño	40
Figura 17: Curva de capacidad según Vision 2000 y sectorización	45
Figura 18: Curva de capacidad según ATC - 40 y sectorización	45
Figura 19: Ubicación del edificio	46
Figura 20: Plano en planta sistema de muros estructurales	47
Figura 21: Plano en planta sistema MDL	48
Figura 22: Definición de material concreto sistema muros estructurales	50
Figura 23: Definición del material acero sistema muros estructurales	51
Figura 24: Definición de sección de viga sistema muros estructurales	52
Figura 25: Vista en planta de muros estructurales	53
Figura 26: Definición de columna sistema muros estructurales	54
Figura 27: Definición de placa sistema muros estructurales	55
Figura 28: Definición de Losa sistema muros estructurales	56
Figura 29: Cargas aplicadas en losa aligerada sistema muros estructurales	57
Figura 30: Elevación del edificio sistema de muros estructurales	58
Figura 31: Vista de planta y diafragma rígido del sistema de muros estructurales	59
Figura 32: Vista 3D del edificio sistema muros estructurales	59
Figura 33: Definición del material concreto sistema MDL	60
Figura 34: Definición de placa sistema MDL	61
Figura 35: Definición de losa maciza sistema MDL	62
Figura 36: Definición de carga sistema MDL	63
Figura 37: Elevación del edificio sistema MDL	63
Figura 38: Vista en planta y diafragma rígido sistema MDL	64
Figura 39: Vista 3D del edificio sistema MDL	64
Figura 40: Combinación de carga viva y muerta en Etabs	66
Figura 41: Combinación de carga muerta y viva	67
Figura 42: Creación de espectro sistema muros estructurales	69
Figura 43: Definición del número de modos de vibración sistema Muros Estructurales	70

Figura 44: Definición de carga de sismo dinámico para eje X sistema muros estructurales	71
Figura 45: Definición de carga de sismo dinámico para eje Y sistema Muros Estructurales	72
Figura 46: Creación de espectro sistema MDL	73
Figura 47: Definición de carga de sismo dinámico para eje X sistema MDL	74
Figura 48: Definición de carga de sismo dinámico para eje Y sistema MDL	75
Figura 49: Creación de combinación de cargas sistema muros estructurales	76
Figura 50: Grafico de drifts sistema muros estructurales eje X-Y y limite	78
Figura 51: Grafico de drifts sistema muros estructurales eje X-Y	78
Figura 52: Creación de combinación de cargas sistema MDL	79
Figura 53: Grafico de drifts sistema MDL eje X-Y y limite	81
Figura 54: Grafico de drifts sistema MDL eje X-Y	81
Figura 55: Asignación de acero para columnas	83
Figura 56: Detalle de Viga	84
Figura 57: Asignación de acero a viga	84
Figura 58: Sección de placa	85
Figura 59: Asignación de acero para placa	85
Figura 60: Detalle de acero en MDL	86
Figura 61: Grafica concreto confinado y sin confinar para muros estructurales	87
Figura 62: Grafica concreto confinado para MDL	88
Figura 63: Creación de caso de carga por gravedad sistema muros estructurales	89
Figura 64: Creación de caso de carga por gravedad sistema MDL	89
Figura 65: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales	91
Figura 66: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales	92
Figura 67: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales .	92
Figura 68: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica XX muros estructurales	94
Figura 69: Creación del caso de carga monotónica en dirección X sistema muros estructurales	95
Figura 70: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales	96
Figura 71: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales	97
Figura 72: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales ..	97
Figura 73: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica YY muros estructurales	99
Figura 74: Creación del caso de carga monotónica en dirección Y sistema muros estructurales	100
Figura 75: Asignación de control de desplazamiento ANLEXX sistema muros estructurales	101
Figura 76: Asignación de control de desplazamiento ANLEYY sistema muros estructurales	101
Figura 77: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL	103
Figura 78: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL	104
Figura 79: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL	104
Figura 80: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica XX MDL	106
Figura 81: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL	107
Figura 82: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL	108
Figura 83: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL	108
Figura 84: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica YY MDL	110
Figura 85: Creación del caso de carga monotónica en dirección X sistema MDL	111
Figura 86: Creación del caso de carga monotónica en dirección Y sistema MDL	112
Figura 87: Asignación de control de desplazamiento ANLEXX sistema MDL	113
Figura 88: Asignación de control de desplazamiento ANLEXX sistema MDL	113
Figura 89: Creación tipo fibra	114
Figura 90: Asignación rotula tipo fibra para elementos frame sistema muros estructurales	114
Figura 91: Asignación de rotula a placas sistema muros estructurales	115

Figura 92: Asignación de rotula a placas sistema MDL	115
Figura 93: Descripción del tipo de edificación	116
Figura 94: Grafico de drifts ANLEXX sistema muros estructurales y limite	118
Figura 95: Grafico de drift ANLEXX Sistema muros estructurales	118
Figura 96: Grafico de drifts ANLEYY sistema muros estructurales y limite.....	119
Figura 97: Grafico de drift ANLEYY Sistema muros estructurales.....	120
Figura 98: Grafico de drifts ANLEXX sistema MDL y limite	121
Figura 99: Grafico de drift ANLEXX Sistema MDL	121
Figura 100: Grafico de drifts ANLEYY sistema MDL y limite	122
Figura 101: Grafico de drift ANLEYY Sistema MDL	123
Figura 102: Muro WSH1 tomado como referencia	125
Figura 103: Grafica fuerza cortante – desplazamiento del ensayo físico experimental	125
Figura 104: Modelo 3D del muro WHS1	126
Figura 105: Histéresis fuerza – desplazamiento en el modelo computacional comparado con el ensayo.....	126
Figura 106: Curva de capacidad del análisis estático no lineal comparado con el experimental	127
Figura 107: Grafica Curva de Capacidad dirección X sistema muros estructurales	128
Figura 108: Grafica Curva de Capacidad dirección Y sistema muros estructurales	129
Figura 109: Grafica Curva de Capacidad dirección X sistema MDL	129
Figura 110: Grafica Curva de Capacidad dirección Y sistema MDL.....	130
Figura 111: Comparación de curva de capacidad de sistema muros estructurales y MDL en dirección X.....	131
Figura 112: Comparación de curva de capacidad de sistema muros estructurales y MDL en dirección Y.....	131
Figura 113: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema muros estructurales eje X	132
Figura 114: Espectro de demanda y capacidad según FEMA 440 sistema muros estructurales eje X	132
Figura 115: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema MDL eje X	133
Figura 116: Espectro de demanda y capacidad según FEMA sistema MDL eje X	133
Figura 117: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema muros estructurales eje Y .	134
Figura 118: Espectro de demanda y capacidad según FEMA 440 sistema Muros Estructurales eje Y	134
Figura 119: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema MDL eje Y.....	135
Figura 120: Espectro de demanda y capacidad según FEMA 440 sistema MDL eje Y	135
Figura 121: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 sistema muros estructurales eje X	136
Figura 122: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema muros estructurales eje X	136
Figura 123: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 Sistema MDL eje X	137
Figura 124: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema MDL eje X	137
Figura 125: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 Sistema muros estructurales eje Y	138
Figura 126: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema muros estructurales eje Y	138
Figura 127: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 sistema MDL eje Y	139
Figura 128: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema MDL eje Y	139
Figura 129: Desplazamiento elástico sistema muros estructurales eje X.....	140

Figura 130: Grafica curva de capacidad y representación bilineal sistema muros estructurales eje X	140
Figura 131: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema muros estructurales eje X método FEMA 440	141
Figura 132: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema muros estructurales eje X método ASCE 41-17	142
Figura 133: Grafica Curva de Capacidad y representación bilineal sistema MDL eje X	143
Figura 134: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño Sistema MDL eje X método FEMA 440	144
Figura 135: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño Sistema MDL eje X método ASCE 41-17	144
Figura 136: Desplazamiento elástico sistema muros estructurales eje Y	145
Figura 137: Grafica curva de capacidad y representación bilineal sistema muros estructurales eje Y	145
Figura 138: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema muros estructurales eje Y método FEMA 440	146
Figura 139: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema muros estructurales eje Y método ASCE 41-17	147
Figura 140: Desplazamiento elástico sistema MDL eje Y	147
Figura 141: Grafica curva de capacidad y representación bilineal sistema MDL eje Y	148
Figura 142: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema MDL eje Y método FEMA 440	149
Figura 143: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema MDL eje Y método ASCE 41-17	149
Figura 144: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema muros estructurales eje X método FEMA 440.....	150
Figura 145: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema muros estructurales eje X método ASCE 41-17.....	151
Figura 146: Sectorización (ATC-40) y Punto desempeño Sistema MDL eje X método FEMA 440	152
Figura 147: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño Sistema MDL eje X método ASCE 41-17 ...	152
Figura 148: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema muros estructurales eje Y método FEMA 440.....	153
Figura 149: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema muros estructurales eje Y método ASCE 41-17.....	154
Figura 150: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema MDL eje Y método FEMA 440.....	155
Figura 151: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema MDL eje Y método ASCE 41-17....	155

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de desempeño según VISION 2000	40
Tabla 2: Niveles de desempeño según ATC – 40	43
Tabla 3: Características del concreto para sistema de muros estructurales	48
Tabla 4: Características del acero sistema de muros estructurales.....	49
Tabla 5: Características del concreto para sistema MDL.....	49
Tabla 6: Características del acero sistema MDL	49
Tabla 7: Dimensiones y nombres de viga sistema de muros estructurales	52
Tabla 8: Dimensiones de columnas sistema de muros estructurales	54
Tabla 9: Espesores de Placas sistema de muros estructurales	55
Tabla 10: Espesores de Losas sistema de muros estructurales	55
Tabla 11: Peso propio para losa aligerada	57
Tabla 12: Dimensiones de placas MDL.....	61
Tabla 13: Determinación de la cortante basal en X y Y para sistema de muros estructurales	65
Tabla 14: Porcentaje de fuerza cortante de muros estructurales	66
Tabla 15: Masa sísmica por niveles de muros estructurales	66
Tabla 16: Determinación de la cortante basal en X y Y para sistema de MDL.....	67
Tabla 17: Masa sísmica por niveles de MDL.....	68
Tabla 18: Modos de vibración sistema muros estructurales	70
Tabla 19: Modos de vibración sistema MDL	73
Tabla 20: Drifts de la estructura de muros estructurales en dirección X	77
Tabla 21: Drifts de la estructura muros estructurales en dirección Y	77
Tabla 22: Drifts de la estructura MDL en dirección X	80
Tabla 23: Drifts de la estructura MDL en dirección Y	80
Tabla 24: Diámetros y área de aceros	82
Tabla 25: Detalle de cálculo de área de acero para viga	85
Tabla 26: Modos de vibración sistema de muros estructurales	90
Tabla 27: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales	91
Tabla 28: Fuerzas laterales por nivel en dirección X sistema de muros estructurales	93
Tabla 29: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales	96
Tabla 30: Fuerzas laterales por nivel en dirección Y sistema de muros estructurales.....	98
Tabla 31: Modos de vibración sistema de MDL	102
Tabla 32: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL	103
Tabla 33: Fuerzas laterales por nivel en dirección X sistema de MDL	105
Tabla 34: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL	107
Tabla 35: Fuerzas laterales por nivel en dirección Y sistema de MDL	109
Tabla 36: Drifts máximos para tipos de edificación según el daño	117
Tabla 37: Drifts ANLEXX de la estructura muros estructurales en dirección X	117
Tabla 38: Drifts ANLEYX de la estructura Muros Estructurales en dirección Y	119
Tabla 39: Drifts ANLEXX de la estructura MDL en dirección X.....	120
Tabla 40: Drifts ANLEYX de la estructura MDL en dirección Y	122
Tabla 41: Valores máximos obtenidos de los ensayos físico y computacional.....	127
Tabla 42: Resumen de resultados de ambos sistemas estructurales	156

RESUMEN

En esta tesis se utilizó el programa Etabs v20, primero para el análisis lineal estático y dinámico para poder verificar el correcto diseño del edificio según las normas NTE 020, NTE 030 y NTE 060, para los modelos de muros estructurales y de muros de ductilidad limitada; segundo para análisis estático no lineal (pushover) se utilizó rótulas plásticas por el método de fibras tomando los conceptos y recomendaciones de “nonlinear structural analysis for seismic design (NIST GCR 10-917-5). Para el punto de desempeño se utilizó la norma Fema 440 (espectro de capacidad) y para la clasificación en niveles de desempeño de ambos tipos de estructura en sus respectivas direcciones se utilizó los límites dados por Vision 2000, SEAOC y ATC-40.

Se tomó como caso de investigación una edificación que inicialmente estaba propuesta con el sistema estructural de muros de ductilidad limitada, pero por cuestiones internas del cliente, este optó por cambiar este sistema y quedó con el sistema de muros estructurales, el cual se utilizó para realizar la edificación. Se vio la oportunidad de contar con el diseño estructural de ambos sistemas para la misma edificación y distribución típica del edificio de departamentos, se optó por realizar una comparación de ambos sistemas, pero utilizando el análisis estático no lineal y se obtuvo después de todo el estudio los resultados por desempeño de ambos, finalmente se realizó una comparación de los mismos y se concluyó cuál de los dos tiene un mejor nivel de desempeño ante un sismo máximo.

Palabras Clave:

Rótulas plásticas, pushover, punto de desempeño, nivel de desempeño, espectro de capacidad.

ABSTRACT

This thesis uses the etabs v20 program, first for the linear static and dynamic analysis in order to verify the correct design of the building according to the NTE 020, NTE 030 and NTE 060 standards for the structural walls and limited ductility Wall models; second for nonlinear static analysis (pushover) using plastic hinges by the fiber method taking the concepts and recommendations of "nonlinear structural analysis for seismic design (NIST GCR 10-917-5). For the performance point, the Fema 440 standard (capacity spectrum) was used and for the classification in performance levels of both types of structure in their respective directions, the limits given by Vision 2000, SEAOC were used.

A building that was initially proposed with the structural system of limited ductility walls was taken as a case of investigation, but due to internal issues of the client, he chose to change this system until he was left with the structural walls system, which was used to carry out the building. Seeing the opportunity to have the structural design of both systems for the same building and typical distribution of the apartment building, we opted to make a comparison of both systems, but using the nonlinear static Analysis and having after all the study the results by performance of both and make a comparison of them and conclude which of the two has a better level of performance against a maximum earthquake.

Keywords:

Plastic hinges, pushover, performance point, performance levels, capacity spectrum.

INTRODUCCION

La ciudad de Arequipa está ubicada en una zona altamente sísmica, exponiendo a las edificaciones a un riesgo estructural permanente, la amenaza de un sismo severo es latente, por eso, nuestra norma actual estableció condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas se comporten sísmicamente acorde a los parámetros.

En la presente tesis se propuso realizar el análisis por desempeño, se tomó como referencia un edificio de ocho niveles, para dos sistemas de estructuración como muros estructurales y con muros de ductilidad limitada, se utilizó el análisis estático no lineal (pushover) con la cual se observó cuál es el punto de desempeño y los límites de operatividad de cada edificación ante un sismo máximo propuesto.

El análisis estático no lineal (Pushover) nos permitió evaluar el desempeño de una edificación y nos indicó cuando falló la estructura ante un sismo de gran magnitud, categorizándolo y/o ubicándolo en qué nivel de desempeño que se encuentra para cada caso de sistema estructural, se tomó en cuenta los parámetros de Vision 2000 y para el análisis de curva de capacidad y punto de desempeño Fema 440 y ATC-40.

En ese sentido, esta investigación tomó los planos de una edificación de ocho niveles en la ciudad de Arequipa ya diseñada y se procedió a realizar el modelamiento, realizar el análisis lineal, verificar que se cumpla con los parámetros de acuerdo a las normas NTE 020, NTE 030 y NTE 060 para ambos sistemas de estructuración. Luego se procedió a realizar el análisis estático no lineal (pushover) que es objetivo de esta investigación

La presente tesis contiene cuatro capítulos que tiene como primer capítulo generalidades donde se desarrolla y plantea el problema e hipótesis de la presente tesis, el segundo capítulo corresponde a marco teórico donde se ve toda la parte conceptual necesaria para la comprensión del tema, desarrollando conceptos de sistemas estructurales de muros estructurales y muros de ductilidad limitada, curva de capacidad, rotulas tipo fibra, análisis no lineal estático, punto

desempeño, niveles de desempeño según VISION 2000 y ATC 40. El tercer capítulo corresponde al desarrollo que contiene la parte práctica y utilización del programa desde el modelamiento como es la definición de elementos estructurales, definición de materiales, aplicación del análisis lineal estático y dinámico, asignación de rótulas plásticas tipo fibra a elementos estructurales para ambos sistemas, creación de primer estado de carga por gravedad, creación de estados de carga monotónica para cada dirección. El cuarto y último capítulo corresponde a los resultados obtenidos del análisis estático no lineal como la curva de capacidad de ambos sistemas en sus respectivas direcciones, punto de desempeño de ambos sistemas, sectorización según Vision 2000 y ATC 40 de ambos sistemas estructurales y una comparación de ambos para apreciar en un cuadro resumen todos los datos obtenidos.



CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nuestro país se ubica en una zona altamente sísmica perteneciendo al cinturón de fuego del pacífico, donde podemos experimentar movimientos sísmicos de pequeña, mediana o gran magnitud en cualquier momento, si bien en los últimos años no se ha experimentado sismos devastadores, si existen registros a lo largo de la historia donde se puede ver algunos donde si ocasionaron daños humanos y materiales de acuerdo a su magnitud.

Usualmente en el Perú los edificios se han construido utilizando análisis elásticos, pese a que en un sismo severo la mayoría experimenta deformaciones inelásticas. Como esta tesis abarco dos tipos de sistemas estructurales de muros estructurales y muros de ductilidad limitada se pudo ver de manera rápida el análisis lineal y las diferencias que existen entre ellos, para nuestro objetivo de estudio con el Análisis Estático No Lineal lo que se comparó es el desempeño y todo lo que conlleva a ello en este tipo de análisis.

Por lo tanto, se tuvo en cuenta las recomendaciones de Fema 440, ASCE 41-17, Vision 2000, ATC - 40 y las normas peruanas de edificación para este caso, donde se evaluó con el análisis estático no lineal dos sistemas de edificación que fueron de muros estructurales y muros de ductilidad limitada

y vimos como esto afecto a ambos sistemas, se realizó una evaluación final por desempeño presentando comparaciones.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué sistema de estructuración planteada, Muros Estructurales y muros de Ductilidad Limitada, tuvo un mejor Desempeño sísmico utilizando el análisis estático no lineal (Pushover) categorizándolos con los diferentes niveles de desempeño?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál fue el nivel de desempeño del edificio propuesto con un sistema estructural de muros estructurales?

¿Cuál fue el nivel de desempeño del edificio propuesto con un sistema estructural con muros de ductilidad limitada?

1.2. HIPOTESIS

1.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

El sistema de muros de ductilidad limitada tuvo un mejor desempeño que el sistema muros estructurales, ubicándose en los niveles de desempeño totalmente ocupacional y/o operacional a diferencia del sistema muros estructurales que se ubicó en los rangos resguardo de vida y/o seguridad de vida.

1.2.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- El nivel de desempeño para el sistema estructural muros estructurales estuvo en el rango resguardo de vida por los desplazamientos mayores que este sistema tuvo respecto al de muros de ductilidad limitada.
- El nivel de desempeño para el sistema estructural de muros de ductilidad limitada estuvo en el rango ocupacional y operacional por tener una mayor rigidez y densidad de muros respecto al sistema de muros estructurales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo por desempeño entre la estructura con sistema de muros estructurales y muros de ductilidad limitada utilizando el análisis estático no lineal (pushover) tomando como referencia un edificio de ocho niveles ubicado en la ciudad de Arequipa.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelamiento del edificio de ocho niveles con el sistema muros estructurales en Etabs
- Modelamiento del edificio de ocho niveles con el sistema de muros de ductilidad limitada en Etabs.
- Verificar el diseño del edificio en ambos sistemas con el análisis lineal con las normas peruanas en Etabs.
- Aplicar el análisis estático no lineal (Pushover) con el método de rótulas plásticas utilizando el modelo de fibras.

- Obtener la curva de capacidad, Punto de desempeño según ASCE 41-17 y FEMA 440
- Clasificar ambos sistemas de estructuración de acuerdo a los niveles dados por Vision 2000, SEAOC y ATC-40 para ambas direcciones en ambos sistemas estructurales.

1.4. JUSTIFICACION

Se utilizó el análisis estático no lineal (pushover) con el objetivo de obtener el nivel de desempeño para ambos casos y se realizó a su vez la comparación entre ambos sistemas, para este análisis se utilizó el programa Etabs v20 para poder obtener como resultado final el punto de desempeño y curva de capacidad en ambas direcciones para los dos sistemas estructurales.

Nuestra tesis sirve también para lograr una mayor difusión de este tipo de análisis, el cual es complementario al análisis lineal, este tipo de análisis podemos usarlo en construcciones donde existe la duda de una correcta estructuración, en edificaciones construidas empíricamente o en construcciones dañadas por algún sismo dando como resultado final un nivel de seguridad o peligro según sea el caso. De esta manera podemos evitar un colapso, pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas graves ante un eventual sismo.

1.4.1. JUSTIFICACION SOCIAL

Este trabajo se justifica de manera social dado que nos encontramos en una zona altamente sísmica las cuales generan daños materiales y humanos. Por eso es fundamental difundir ciertos criterios para poder estar prevenidos ante un eventual movimiento sísmico tales como un análisis por desempeño de las edificaciones previniendo un daño o colapso fatal dependiendo del tipo de edificación y que uso se le da.

1.4.2. JUSTIFICACION AMBIENTAL

La ciudad de Arequipa tiene edificaciones de mediana y gran altura con diferentes usos así como edificaciones coloniales las cuales fueron sometidas a movimiento sísmicos a lo largo de los años y es por esta razón que es necesario realizar un análisis por desempeño sísmico para proteger vidas humanas y edificaciones aledañas para evitar posibles daños

1.4.3. JUSTIFICACION ECONOMICA

El análisis estático no lineal nos permite clasificar a las edificaciones en los diferentes niveles de desempeño, de esta manera podremos prevenir que tipo de daño sufriría ante un eventual sismo y poder realizar los reforzamientos o mejora de diseño necesario para que los elementos estructurales no se vean afectados siendo estos los mas costosos en reparar.

1.4.4. JUSTIFICACION TECNOLOGICA

Para poder desarrollar correctamente el análisis estático no lineal es necesario trabajar con las normas americanas Fema y ASCE 41-13 que son las que se utilizan en nuestro país para poder evaluar una edificación por desempeño. Estas normas nos dan recomendaciones y consideración para poder utilizarlas junto con el programa Etabs que es el programa que toma en su base de datos a estas normas.

1.4.5. JUSTIFICACION POLITICA

Para esta investigación se tomó como base a un edificio de departamentos en la ciudad de Arequipa el cual estuvo planteado con dos sistemas estructurales, muros estructurales y muros de ductilidad limitada, que son muy comunes para realizar este tipo de edificaciones destinadas a vivienda es por eso que es muy importante tener un análisis estático no lineal o análisis por desempeño para poder conocer cuál será el desplazamiento que sufren este tipo de edificaciones. Esto servirá para consideraciones en la construcción de otros edificios similares.

1.4.6. JUSTIFICACION ETICA

La norma peruana no contempla este tipo de análisis y es por eso que no se tiene presente esto al momento de hacer una edificación. Esta investigación busca proporcionar información de dos sistemas estructurales para tomar como referencia para futuras edificaciones.

1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES

1.5.1. ALCANCE

Para en análisis no lineal se observó cómo se comportarán ambos sistemas estructurales muros estructurales y muros de ductilidad Limitada en el rango inelástico utilizando el programa Etabs v20 asignando rótulas plásticas tipo fibras en elementos estructurales. Posteriormente, se conoció mediante el punto de desempeño y curva de capacidad el nivel de desempeño de ambos sistemas y compararlos.

1.5.2. LIMITACIONES

En este caso el análisis no lineal se limitó a la parte estática más no al análisis dinámico, ya que este a pesar de ser aún más preciso es a su vez más complejo y se necesitaría mayor capacidad de procesamiento de datos, es por esta razón que nos enfocamos únicamente en el análisis estático no lineal utilizando el programa Etabs v20 ya mencionado usando las recomendaciones y parámetros de la norma HAZUS, ASCE 41-17, FEMA 440. Dicho análisis estático no lineal se realizó para ambos sistemas estructurales solo para un sismo máximo y poder realizar la comparación y concluir al final de la investigación cuál de los dos sistemas tuvo un mejor desempeño. No se realizó pruebas a escala en laboratorio, solo se utilizó el programa Etabs siendo este el mejor programa que mejor cumple con el análisis

1.6. APOORTE DE LA INVESTIGACION

La presente tesis buscó realizar la evaluación de dos sistemas de edificación, muros estructurales y muros de ductilidad limitada ubicado en la ciudad de Arequipa utilizando el análisis estático no lineal para la obtención del nivel de desempeño de cada uno, compararlos y sacar las respectivas conclusiones después del estudio.

1.7. ESTADO DEL ARTE

La información para esta investigación se revisó en diferentes libros con temas de análisis no lineal en diseño de estructuras y diferentes tesis del método pushover tanto nacionales como internacionales; con el fin de dar sustento y viabilidad a este tema de investigación.

Primero se revisó una tesis local, elaborada por el ingeniero Norman Fernando Fuentes Rivera, donde confirmo que los edificios con un sistema estructural de muros estructurales diseñados con la actual norma peruana de edificaciones, pueden alcanzar ductilidades de desplazamientos importantes.

También se revisó la tesis del ingeniero Jack Arthur Mayhua Huaman, donde demuestro que, con la aplicación del análisis estático no lineal, cumplió con los resultados claros y aproximados a la realidad del desempeño sísmico, lo que ayudo a conocer el comportamiento estructural que tendrá la estructura ante cada nivel de peligro sísmico.

La tesis de Ayala Orihuela Enmy Carla realizo el análisis estático no lineal de un pabellón universitario, siendo esta una edificación esencial sometiéndolo a tres niveles de sismo como frecuente, ocasional, raro y muy raro en ambos sentidos obteniendo como resultado los desplazamientos correspondientes, curvas de capacidad y sectorización de niveles de desempeño validando así la hipótesis planteada.

Samillan Farro realizó el análisis de un edificio de ocho pisos en Lambayeque donde pudo confirmar su hipótesis concluyendo que el edificio analizado se ubicó en el nivel funcional según Vision 2000 habiendo determinado la curva de capacidad, punto de desempeño en ambas direcciones mediante el análisis estático no lineal.

Navarro Peña tomó como estudio un edificio de muros de ductilidad limitada ubicado en la ciudad de Lima de 6 niveles y realizó el análisis estático no lineal y según la norma ATC-40 halló el punto de desempeño en la curva de capacidad concluyendo que se encontró en el nivel de seguridad de vida y que los elementos no tuvieron gran incursión en el rango inelástico.

Barro Camino realizó la evaluación por desempeño de una institución educativa en el centro poblado de Yungasuyo en el departamento de Amazonas donde tuvo como resultados finales clasificando a la estructura en un nivel de seguridad de vida por lo que sugiere reforzar dicha institución dado que no cumplió con lo establecido en los códigos Fema y ATC.

Además, se tomó en consideración la norma NTE 030, del reglamento nacional de edificaciones, donde dentro de los cuatro sistemas estructurales que contempla, se centró el tema de investigación en el sistema muros estructurales y muros de ductilidad limitada, como lo es el edificio multifamiliar de ocho niveles en la ciudad de Arequipa.

1.8. ANALISIS DE VARIABLES

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Sistema estructural.

1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Desempeño sísmico que presenta la edificación con ambos sistemas estructurales.

1.9. POBLACION Y MUESTRA

Se tomó como población el edificio multifamiliar de ocho niveles con los sistemas muros estructurales y de muros de ductilidad limitada y realizar la comparación entre ambos, se determinó qué sistema estructural tiene un mejor desempeño teniendo en cuenta que se tiene una misma configuración y/o distribución arquitectónica.



CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Se consultó diferentes investigaciones nacionales y también internacionales previamente a la elaboración de la presente tesis.

- Duarte B. y Santamaría D. (2017)

En la tesis de Duarte y Santamaria se realizó la aplicación del análisis estático no Lineal a un edificio de la facultad de medicina ubicado en la universidad de El Salvador, donde pudieron observar que dicha edificación había sido una de las más antiguas y había soportado sismos a lo largo de su vida presentando en ese transcurso numerosas fallas en elementos estructurales y no estructurales. Es por esto que se decide determinar la capacidad y/o desempeño sísmico de esta edificación para ver el grado de vulnerabilidad que presenta y poder evitar en un futuro perdidas irreparables. Llegando a la conclusión y la obtención del punto de desempeño con un desplazamiento de 15.89cm que cumplió con el nivel de seguridad de vida con un cortante de 2523.41 tonf hallado con el método de ATC-40 y recomienda después de haber realizado la inspección de la estructura que es recomendable

realizar reparaciones a elementos agrietados con la técnica de “reparación con resina epoxi” con la que se lograra una mejor adherencia en el material dañado.

- Fuentes Rivera Silva, N (2018)

En la tesis de Fuentes Rivera Silva se buscó como objetivo la evaluación del desempeño de un edificio de concreto armado de cinco niveles ubicado en el departamento de Lima, aplicando el análisis estático no lineal para obtener la capacidad de la estructura y el espectro de capacidad por Fema 440 y posteriormente la obtención del punto de desempeño. Concluyendo finalmente en qué el nivel de desempeño debido a un sismo severo o sismo de diseño tuvo un nivel de seguridad de vida y para un sismo máximo tuvo el nivel de estabilidad estructural los cuales según ATC-40 indico que se protege la seguridad de vida humana, como recomendaciones Fuentes R. indico que es necesario e importante tener una estructura capaz de deformarse sin llegar al colapso y que se deforme de manera dúctil cuando sea sometido a un sismo que incursione en el rango inelástico.

- Soto Geldres, C (2018)

En la tesis de Soto Geldres se tomó como modelo estructural a un edificio de seis niveles con el sistema de muros de ductilidad limitada, ubicado en el distrito del Rímac, provincia de Lima. Dicha edificación fue diseñada en el 2003 en base la norma sismo resistente vigente hasta esa fecha. Esta investigación tuvo como finalidad la determinación del punto de desempeño utilizando el análisis estático no lineal. Llegando a la conclusión de que los resultados obtenidos según la norma ATC-40 el punto de desempeño se encuentra en la zona de seguridad de vida y los elementos no tienen gran incursión en el rango inelástico.

- Sumillan Farro, R (2019)

En la tesis de Sumillan Farro se realizó el análisis pushover de un edificio con el sistema de estructuración muros estructurales de ocho niveles ubicado en la ciudad de Chiclayo – Lambayeque con el objetivo de evaluar su desempeño frente a eventos sísmicos utilizando el método de espectro capacidad Fema 440 y el método de coeficientes ASCE 41-13. Donde logro

confirmar la hipótesis planteada donde se dice que el edificio estaría en in nivel funcional según los parámetros del SEAOCE, Vision 2000.

- Cienfuegos Villanueva, M (2022)

En la tesis de Cienfuegos Villanueva se tuvo como objetivo la evaluación del desempeño estructural utilizando el análisis no lineal para el reforzamiento de la institución educativa 10202 “Virgen de la Paz” - Pacora, iniciando con el estudio del expediente técnico para realizar la identificación correspondiente. Luego procede a realizar el análisis pushover obteniendo la curva de capacidad, la cortante última y desplazamiento y ubica el punto de desempeño en la sectorización correspondiente que da como resultado “resguardo de vida”. Realiza también un análisis dinámico no lineal donde utiliza registros de sismos de Lima 1966, 1974, Pisco 2007 y obtiene las derivas correspondientes y llega a la conclusión final que la estructura presenta un buen desempeño y no requiere ningún tipo de reforzamiento.

- Reyes Lozada, C (2020)

En la tesis de Reyes Lozada se tomó como objeto de estudio el pabellón de ingeniería de la universidad técnica de Ambato en Ecuador para poder realizar el análisis no lineal estático utilizando dos modelos de rótulas plásticas que son las rótulas plásticas concentradas y de tipo fibra. Teniendo como resultados los noveles de daño, desplazamientos, derivas y comportamiento de las secciones en función de las rótulas y llegando a la conclusión que las rotulas tipo fibra pueden alcanzar hasta 3 veces más desplazamiento que el de rotulas concentradas.

- Orihuela Ayala, E y Orihuela Tolentino, M (2021)

En la tesis de Orihuela Ayala, E y Orihuela Tolentino, M se realizó el análisis por desempeño del pabellón D de la I.E Francisco Bolognesi en el distrito de Chilca, Huancayo. Bajo los lineamientos de la norma comité Visión 2000 (SEAO), obteniendo como resultado el nivel de desempeño en cada dirección de la edificación según el valor del punto de desempeño y la sectorización de Visión 2000. Como resultado de la investigación obtuvo que la edificación se

encuentra en el rango totalmente operacional en dirección “X” y operacional en la dirección “Y” deduciendo así que la estructura tendría daños moderados.

- Cahuana Cáceres, M y Caso Gian, C (2021)

En la tesis de Cahuana Cáceres, M y Caso Gian, C el objetivo fundamental fue realizar el análisis pushover del módulo III de la comisaria de Ciudad Nueva en Tacna, tomando como referencia la norma NTE 030 para posteriormente realizar el análisis no lineal tomando como sugerencia las indicaciones y recomendaciones dadas por ATC-40, ASCE 41-17, SEAOC con la aplicación del programa Etabs usando rótulas concentradas y tipo fibra para los elementos estructurales y así pudo hallar los resultados finales el cual evaluó según el comité Visión 2000. Concluyendo que para un sismo máximo o raro en ambas direcciones esta estructura se encuentra en el rango de colapso debido al inadecuado valor del coeficiente de reducción sísmica empleado y la mala ubicación de muros de albañilería confinada los cuales producen una irregularidad torsional.

- Cueva Sánchez, C (2022)

En la tesis de Cueva Sánchez, C se tomó una edificación esencial ubicada en Chiclayo que pertenece a una institución educativa a la cual se evaluó con el análisis pushover teniendo en consideración para el análisis un sismo raro y muy raro para las direcciones X y Y. Como resultado final se concluyó que para el eje X se tuvo un nivel de desempeño de Seguridad de Vida y para el eje Y un nivel de desempeño operacional, cumpliendo así la dirección X con los objetivos básicos para una edificación esencial. Como resultado final se concluyó que para el eje X se tubo in nivel de desempeño de Seguridad de Vida y para el eje Y un nivel de desempeño operacional, cumpliendo así la dirección X con los objetivos básicos para una edificación esencial, determino también con la rotura de muestras cilíndricas que la resistencia a la compresión obtenida fue de 188.25kg/cm² no cumpliendo con la esperada de 210kg/cm² según los planos.

2.2. CRITERIOS DE ESTRUCTURACION Y DISEÑO

Mientras más compleja sea la estructura, más difícil resulta predecir su comportamiento sísmico. Por esta razón, es aconsejable que la estructuración sea lo más simple y limpia posible, de manera que la idealización necesaria para su análisis sísmico se acerque lo más posible a la estructura real. Debe además tratar de evitarse que los elementos no estructurales distorsionen la distribución de fuerzas considerada, pues se generan fuerzas en elementos que no fueron diseñadas para esas condiciones. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

Los principales criterios que es necesario tomar en cuenta para lograr una estructura sismo-resistente, son:

2.2.1. SIMPLICIDAD Y SIMETRÍA

La experiencia ha demostrado repetidamente que las estructuras simples se comportan mejor durante los sismos. Hay dos razones principales para que esto sea así. Primero, nuestra habilidad para predecir el comportamiento sísmico de una estructura es marcadamente mayor para las estructuras simples que para las complejas; y segundo, nuestra habilidad para idealizar los elementos estructurales es mayor para las estructuras simples que para las complicadas. (Antonio Blanco Blasco, 2001).

La simetría de la estructura en dos direcciones es deseable por las mismas razones; falta de simetría produce efectos torsionales que son difíciles de evaluar y pueden ser muy destructivos. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

Las fuerzas de sismo se podrán idealizar actuando en el centro de masas de cada piso, mientras las fuerzas que absorben los elementos estarán ubicadas en el centro de rigidez; si no existe coincidencia entre el centro de masas y el centro de rigidez, el movimiento sísmico no solo ocasionará un movimiento de traslación, sino adicionalmente un giro en la planta estructural

(torsión), la cual hace incrementar los esfuerzos debidos al sismo, pudiéndose sobrepasar los esfuerzos resistentes (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.2.2. RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

Las estructuras deben tener resistencia sísmica adecuada en todas las direcciones. El sistema de resistencia sísmica debe existir por lo menos en dos direcciones ortogonales o aproximadamente ortogonales, de tal manera que se garantice la estabilidad tanto de la estructura como un todo, como de cada uno de sus elementos. (Antonio Blanco Blasco, 2001).

Las cargas deben transferirse desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia. Por lo tanto, debe proveerse una trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado transporte de las cargas. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

Un antecedente que es conveniente tener presente en la estructuración es que la ductilidad depende de la carga aplicada al elemento. Este efecto actúa en forma diferente, según el tipo de material constituyente. Si este es concreto armado, un aumento de la carga se traduce en un aumento de la resistencia con disminución de la ductilidad. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

Al suministrar ductilidad a una estructura debe tenerse presente que esta no depende únicamente de la ductilidad de sus elementos individuales, sino también de la correspondiente a las conexiones entre ellos, por lo cual estas deben diseñarse para permitir el desarrollo de dicha ductilidad. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.2.3. HIPERESTATICIDAD Y MONOLITISMO

Como concepto general de diseño sismo-resistente, debe indicarse la conveniencia de que las estructuras tengan una disposición hiperestática. Ello logra una mayor capacidad

resistente, al permitir que, por producción de rótulas plásticas, se disipe en mejor forma la energía sísmica y, por otra parte, al aumentar la capacidad resistente se otorga a la estructura un mayor grado de seguridad. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

En el diseño de estructuras donde el sistema de resistencia sísmica no sea hiperestático, es necesario tener en cuenta el efecto adverso que implicaría la falla de uno de los elementos o conexiones en la estabilidad de la estructura. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.2.4. UNIFORMIDAD Y CONTINUIDAD DE LA ESTRUCTURA

La estructura debe ser continua tanto en planta como en elevación con elementos que no cambien bruscamente de rigidez, con el fin de evitar concentraciones de esfuerzos.

Si se usan placas (muros de concreto armado) y se requiere eliminarlas en algún nivel, no deberá hacerse un cambio brusco, sino reducciones paulatinas con el fin de obtener una transición. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.2.5. RIGIDEZ LATERAL

Para que una estructura pueda resistir fuerzas horizontales sin tener deformaciones importantes, será necesario proveerla de elementos estructurales que aporten rigidez lateral en sus direcciones principales.

Las deformaciones importantes durante un sismo, ocasionan mayor efecto de pánico en los usuarios de la estructura, mayores daños en los elementos no estructurales y en general mayores efectos perjudiciales, habiéndose comprobado un mejor comportamiento en estructuras rígidas que en estructuras flexibles.

Las estructuras flexibles tienen la ventaja de ser más fáciles de analizar y de alcanzar la ductilidad deseada, al menos analíticamente.

Las estructuras rígidas tienen la ventaja de no tener mayores problemas constructivos y no tener que aislar y detallar cuidadosamente los elementos no estructurales, pero poseen la desventaja de no alcanzar ductilidades elevadas y su análisis es más complicado. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.2.6. EXISTENCIA DE DIAFRAGMA RÍGIDO

En los análisis es usual considerar como hipótesis básica la existencia de una losa rígida en su plano, que permite la idealización de la estructura como una unidad, donde las fuerzas horizontales aplicadas pueden distribuirse en las columnas y muros o placas de acuerdo a su rigidez lateral, manteniendo todas estas una misma deformación lateral para un determinado nivel.

Esta condición debe ser verificada teniendo cuidado de no tener losas con grandes aberturas que debiliten la rigidez de estas, las estructuras alargadas en planta tienen mayor posibilidad de sufrir diferentes movimientos sísmicos aplicados en sus extremos, situación que puede producir resultados indeseables. Una solución a este problema es independizar el edificio en dos o más secciones, mediante juntas de separación sísmica, que deben ser debidamente detalladas y construidas para evitar el choque de dos edificaciones vecinas. (Antonio Blanco Blasco, 2001).

2.2.7. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales principales de toda edificación son las Losas, Vigas, Columnas, Muros o Placas, Escaleras y la cimentación.

Adicional a estos se tiene otros menos importantes como son los parapetos, tabiques y los muros de contención (sótanos, de cisternas o de tanques)

- LOSAS

Las losas son elementos que hacen factible la existencia de los pisos y techos de una edificación.

Tienen dos funciones principales desde el punto de vista estructural: la primera, ligada a las cargas de gravedad, que es la transmisión hacia las vigas de las cargas propias de la losa, el piso terminando, la sobrecarga y eventualmente tabiques u otros elementos apoyados en ellos; y la segunda, ligada a las cargas de sismo, que es la obtención de la unidad de la estructura, de manera que esta tenga un comportamiento uniforme en cada piso, logrando que las columnas y muros se deformen una misma cantidad en cada nivel.

Las losas pueden dividirse en:

- Losas Macizas: Tienen un determinado espesor, íntegramente de concreto armado.
- Losas Nervadas: Tienen, en cambio, nervios o viguetas cada cierta distancia, unidas por una losa maciza superior más delgada, requiriendo de un encofrado que siga la superficie lateral de las nervaduras y el fondo de la losa superior.
- Losas aligeradas: Son en esencia losas nervadas, pero tienen como diferencia, que el espacio existente entre las nervaduras o viguetas este relleno por un ladrillo. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

- VIGAS

Son los elementos que reciben la carga de las losas y las transmiten hacia otras o directamente hacia las columnas o muros.

Generalmente, las vigas forman los denominados ejes de la estructura, teniendo las columnas ubicadas en sus intersecciones, el conjunto formado por las vigas y columnas recibe el nombre de pórticos.

Además de la función ya indicada (relativa a dar apoyo a las losas y transmitir su carga hacia las columnas o muros), las vigas tienen una función sísmica importantísima. Esta es la de constituir junto con las columnas y muros los elementos resistentes a los diferentes esfuerzos producidos por las fuerzas horizontales de sismo (cortantes, momentos y axiales).

- COLUMNAS

Son los elementos generalmente verticales, que reciben las cargas de las losas y de las vigas con el fin de transmitirlos hacia la cimentación y permiten que una edificación tenga varios niveles.

Desde el punto de vista sísmico, las columnas son elementos muy importantes, pues forman con las vigas los denominados pórticos, que constituyen el esqueleto sismo – resistente junto con los muros, si estos existen.

Las columnas se construyen de diferentes secciones, siendo común el uso de columnas circulares, cuadradas y rectangulares; también puede usarse otro tipo de secciones como las poligonales o trapezoidales, las cuales suelen ser más caras debido al encofrado mayor y dificultoso.

Las columnas son elementos principalmente sometidos a compresión y simultáneamente a los de flexión (flexocompresión), debido a que tienen momentos flectores transmitidos por las vigas y reciben cargas axiales de los diferentes niveles de la edificación. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

- MUROS O PLACAS

Son paredes de concreto armado que, dada su mayor dimensión en una dirección, muy superior a su ancho, proporcionan gran rigidez lateral y resistencia en esa dirección. Algunos autores definen a los muros como columnas de sección transversal muy alargada, destacando el hecho que en realidad una columna y una placa reciben los mismos esfuerzos,

ya que ambos cargan las vigas y las losas y reciben momentos de estas. (Antonio Blanco B. 2001)

2.2.8. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Estos desempeñan un papel positivo en el sentido de que colaboran a un mayor amortiguamiento dinámico, debido principalmente a que al producirse agrietamientos internos aumentan los rozamientos. En los sismos violentos, al agrietarse en forma importante contribuyen a disipar energía sísmica, aliviando a los elementos resistentes.

En algunos casos la tabiquería puede presentar efectos nocivos en la estructura; así tenemos por ejemplo el caso de tabiquería colocada en forma asimétrica en planta o tabiquería que produce columnas cortas (ventanas altas). En estos casos debe corregirse estos defectos mediante la independización de los tabiques o mediante la inclusión de otros elementos de concreto armado que anulen los efectos mencionados. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.2.9. EL DISEÑO EN CONCRETO ARMADO

- En el diseño por flexión buscar la falla por tracción evitando la falla por compresión, limitando la cuantía de acero a valores que proporcionen ductilidad adecuada.
- En un elemento sometido a flexión y cortante, dar más capacidad por cortante buscando evitar la falla por cortante. Esta es frágil mientras la falla por flexión es dúctil.
- En un elemento comprimido o en zonas donde existen compresiones importantes, confinar el concreto con refuerzo de acero transversal.
- Diseñar los elementos continuos con cuantías de fierro en tracción y en compresión que permitan la redistribución de momentos y una adecuada ductilidad.

- Diseñar las columnas con mayor capacidad de resistir momentos en relación con las vigas, de tal manera que las rótulas plásticas se formen en los extremos de vigas y no en las columnas.
- En un elemento sometido a flexocompresión y cortante (columnas y muros) dar más capacidad por cortante que por flexión. (Antonio Blanco Blasco, 2001)

2.3. SISTEMAS ESTRUCTURALES

2.3.1. SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS ESTRUCTURALES

Es un sistema principalmente de muros estructurales en el cual la fuerza cortante actúa mayormente en estos, en este sistema también se puede encontrar pórticos con la finalidad de otorgar más rigidez en zonas débiles de la estructura.

Se denomina muro de carga a las paredes de una edificación que poseen una función estructural, es decir, aquellas que soportan otros elementos estructurales del edificio.

Este tipo de sistema estructural están sujetos a compresión, ya que su función principal es la de soportar cargas.



Figura 1: Ejemplo sistema muros estructurales (Silva Omar, 2016)

2.3.2. SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

El sistema de muros de ductilidad limitada consta de la distribución de muros de concreto armado en las distintas paredes divisorias de los ambientes de una edificación. Tienen como principal característica el ser a la vez muros portantes y de corte. Es decir, que deben ser capaces de soportar las solicitaciones de gravedad como las de sismo, por lo que es necesario su diseño a flexo compresión y corte. Generalmente este sistema no tiene vigas y las losas se apoyan directamente en los muros. (Arias Aguilar, 2019)

Otra de las características destacadas del presente sistema, es el planteamiento de muros con espesores reducidos respecto a los espesores de uso tradicional y además están ubicados a separaciones cortas. Dichos espesores pueden oscilar entre el mínimo valor permitido por el reglamento nacional de edificaciones, de 0.10 m a un espesor de 0.15 m. (Arias Aguilar, 2019)

El sistema estructural conformado principalmente por estos muros toma ventaja de dos características sismorresistentes, como la rigidez y resistencia debido a la alta densidad de muros; sin embargo, dota a la estructura de una ductilidad limitada, que representa una baja capacidad de deformación de este. Siendo esta la última característica más importante para evitar el daño severo o colapso en una edificación, así como la posibilidad de una reparación (Díaz Figueroa, 2021)

Según la Norma NTE 030 con este sistema se puede construir como máximo ocho niveles y la resistencia mínima será de 17MPa o 175kgf/cm² según la norma NTE 060.

Desde el punto de vista del análisis no lineal ante un sismo máximo se podrá tener un desempeño mejor que al de otros sistemas estructurales basándose en desplazamientos máximos y categorizándolos en el nivel de desempeño respectivo, pero en cuanto a ductilidad esta será limitada por lo expuesto anteriormente y tendrá como resultado una curva de capacidad donde se verá que ante una fuerza mayor se dará un desplazamiento menor limitando así la ductilidad.

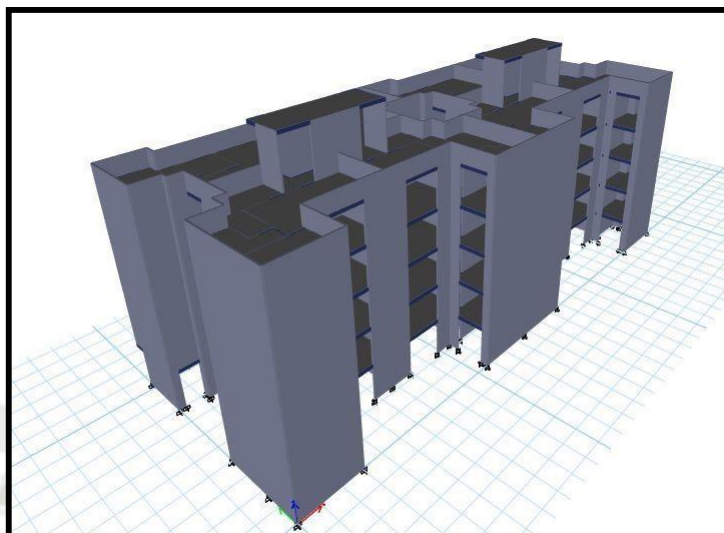


Figura 2: Ejemplo sistema de muros de ductilidad Limitada

2.4. RELACIONES LINEALES Y NO LINEALES

2.4.1. GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

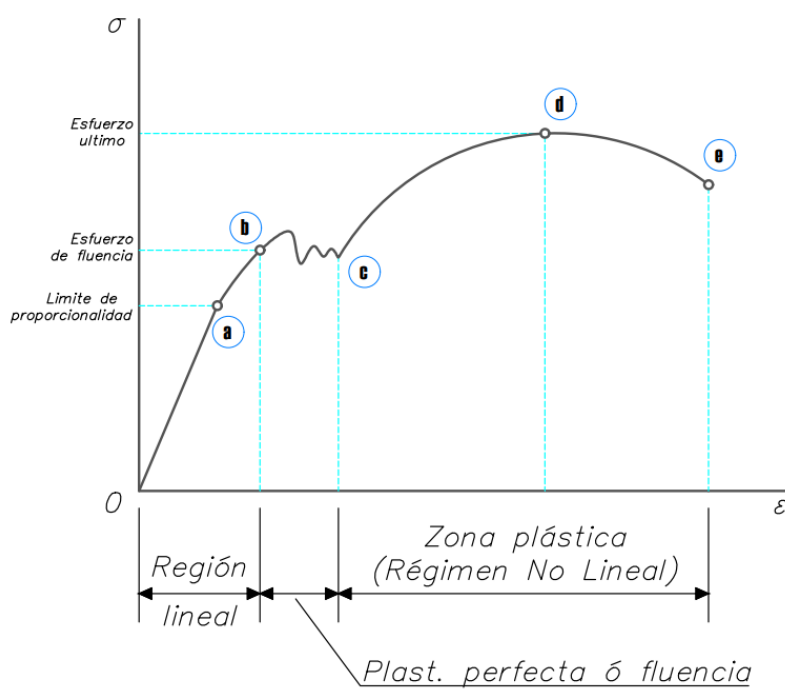


Figura 3: Grafico esfuerzo – deformación de concreto armado

En el gráfico de la figura 3 podemos observar dos regiones importantes, Región Lineal y Región No Lineal, siendo la región lineal representada por una recta con pendiente determinada, ya que la deformación es proporcional a los esfuerzos que se generan en la estructura. La región no lineal se representa por una parábola puesto que la deformación en este caso no siempre será proporcional a los esfuerzos, produciendo así distintos valores hasta dar como resultado final un punto de fractura o rotura.

2.4.2. RÓTULAS PLÁSTICAS TIPO FIBRA

Este modelo distribuye la plasticidad relacionada con las secciones transversales de los elementos que presentan integraciones numéricas, a lo largo de su extensión, se definen como tipos de material uniaxial para obtener la característica de deformación por tensión axial histerético no lineal en las secciones transversales. Las secciones planas siguen siendo un supuesto plano, donde las fibras se constituyen numéricamente sobre la sección transversal para conseguir tensiones resultantes como la fuerza y los momentos axiales versus fuerzas incrementales momento-curvatura y fuerza axial-deformación. Los parámetros de la sección transversal son integrados numéricamente en las diferentes partes a lo largo de su longitud, usando funciones de desplazamiento o interpolando dichas fuerzas (Spacone, 1996)

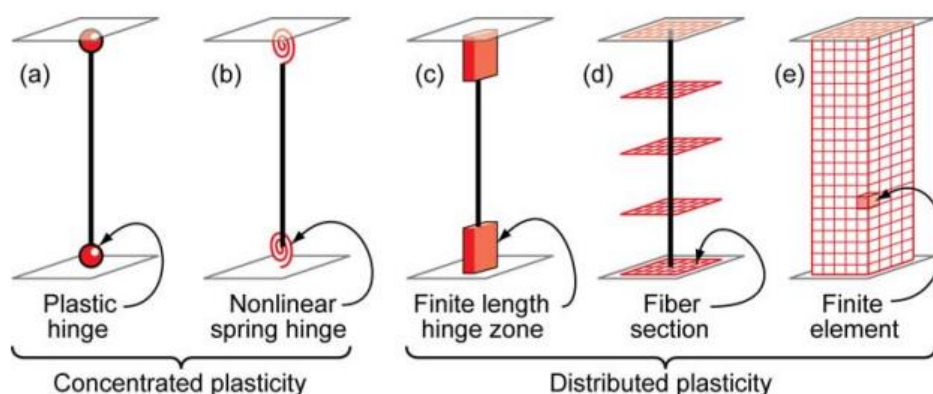


Figura 4: Modelo Idealizado de elementos viga – columna (NIST, Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design. 2010)

El modelo de formulación de fibra distribuida en su mayoría no informa sobre las rotaciones de bisagras plásticas, muy por el contrario, informan sobre deformaciones de fibras de la sección transversal de acero y hormigón. Estas deformaciones se darán de manera silenciosa el cual se caracteriza por su sensibilidad al momento, longitud del elemento, método de integración y los parámetros de endurecimiento. (Spacone, 1996)

Se define a las rótulas plásticas tipo fibra como la sucesión de puntos a lo largo de la sección transversal del elemento estructural (vigas, columnas, placas), cada uno de los puntos representa un área y tiene un diagrama esfuerzo – deformación, esto permite llegar al cálculo de los diagramas de momento – curvatura usando las propiedades de los materiales el cual nos brindara los diferentes momentos como el momento de fluencia, momento de agrietamiento, momento ultimo el cual nos servirá para poder realizar el análisis pushover.

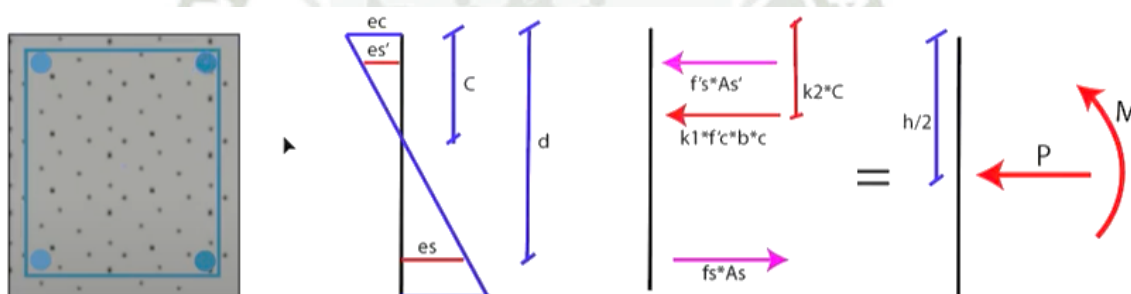


Figura 5: Deformaciones y esfuerzos (Fuente: Propia)

$$\frac{e_c}{c} = \frac{e'_s}{c - r}$$

$$e'_s = \frac{e_c \cdot (c - r)}{c}$$

$$\frac{e_c}{c} = \frac{e_s}{d - c}$$

$$e_s = \frac{e_c \cdot (d - c)}{c}$$

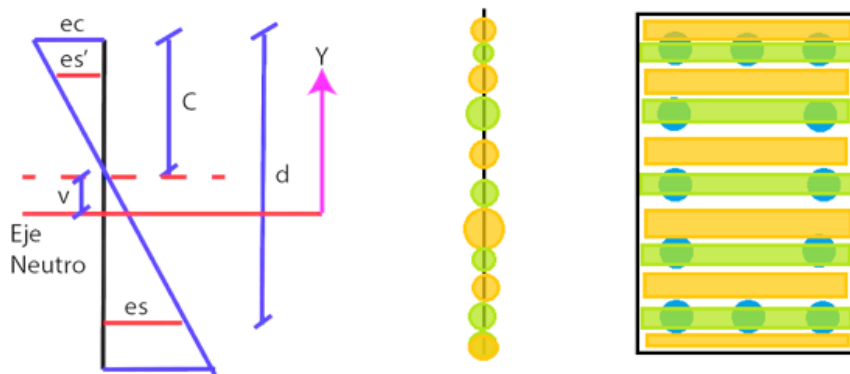


Figura 6: Esfuerzos y visualización tipo fibra (Fuente: propia)

Donde:

ec = esfuerzo del concreto a compresión

es = esfuerzo del acero a tracción

es' = esfuerzo del acero a compresión

d = distancia hasta el eje del acero a tracción

c = distancia del área a compresión del elemento

2.5. ANALISIS NO LINEAL ESTATICO

2.5.1. DEFINICION DE ANALISIS ESTATICO NO LINEAL

En la actualidad, las estructuras han avanzado en lo que concierne a sus métodos de diseño y análisis. La teoría clásica sigue siendo la base fundamental para el análisis y diseño, pero conforme va creciendo el conocimiento con respecto al comportamiento de los materiales, además de los estados de cargas y metodologías para estimar los desplazamientos de las estructuras, se ha ido indagando en criterios que se aproximan a los resultados obtenidos en la realidad.

Bien sabemos que los terremotos de Kobe (Japón, 1995) y Northridge (Estados Unidos, 1994) empezaron a dejar testimonio de la práctica de la ingeniería hasta los momentos. La

información provista por estos eventos se fundamentó en la incursión en rango inelástico por parte de los elementos estructurales que conformaron las edificaciones que colapsaron y/o presentaron daños importantes de consideración.

Como una alternativa a los complicados métodos de análisis estructural para evaluar el daño de las edificaciones que incurren en comportamiento inelástico aparece este método, el Pushover (Empujón), que realmente facilita de forma significativa los procedimientos dinámicos paso a paso y simplifica ciertos criterios. (Saavedra C, 2018)

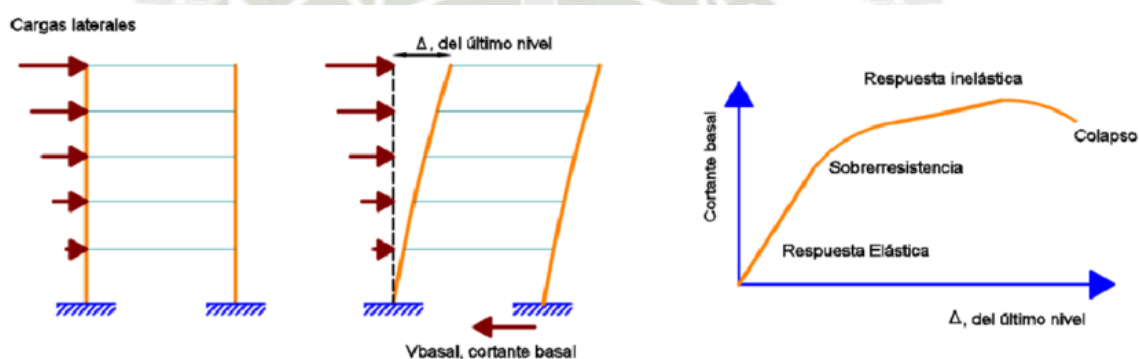


Figura 7: Secuencia del proceso de análisis estático no lineal (Saavedra C, 2018)

Este método se fundamenta en la comparación de los espectros de demanda y los espectros de diseño, en cuya intercepción se puede obtener el punto de desempeño estructural. De esta forma se puede proveer información del índice de daño probable que se puede producir al desplazar las estructuras una cierta cantidad de acuerdo a las fuerzas sísmicas impuestas. (Saavedra C, 2018)

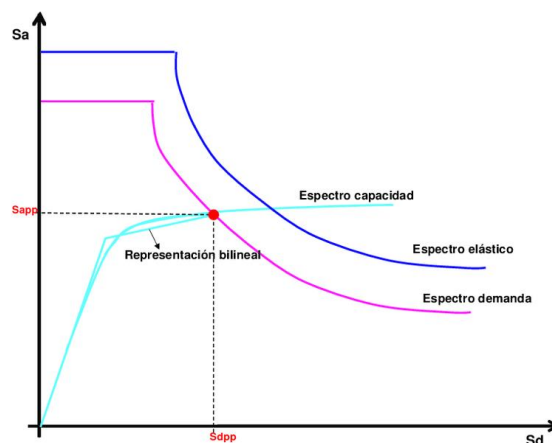


Figura 8: Gráfico espectro de capacidad (Fuente: Propia)

Ahora bien, esta información no es tan novedosa, ya que por los años 70 y 60 investigadores como Freeman y Blume propusieron ciertos criterios que fueron tomados en cuenta para la creación de parámetros que constituyeron lo que actualmente son las normas FEMA y ATC. Por supuesto, todo esto tiene que ver con los desplazamientos que ocurren en las estructuras cuando se aplica un espectro que induce unas aceleraciones, formándose fuerzas laterales que deben ser comparados con la resistencia que puede aportar la estructura y su comportamiento en regímenes inelásticos mediante los esfuerzos internos que en ellas se produce.

Lo interesante de este método es que no importa que método se utilice en función de calcular las demandas y donde realmente lo que se evalúa es la resistencia que se puede lograr en función de estos desplazamientos y no de las aceleraciones (o fuerzas). Por obvias razones ya conocidas la estructura se deforma elásticamente y luego de sobrepasar el estado límite de elasticidad empieza a comportarse en lo que conocemos actualmente como comportamiento no lineal. (Saavedra C, 2018)

2.5.2. CURVA DE CAPACIDAD Y REPRESENTACIÓN BILINEAL

La curva de capacidad es una gráfica de la cortante basal – desplazamiento del último nivel de la edificación el cual tiene una zona elástica y una zona inelástica. Para poder determinar las capacidades dentro del límite inelástico es necesario realizar el Análisis Estático no Lineal.

La curva de capacidad se construye generalmente para representar la respuesta del primer modo de la estructura, evaluando el modo fundamental de vibración como respuesta predominante. Considerando en periodos menores a 1s para las estructuras e incluso bajo la influencia de los modos más altos en vibración. (Orihuela Ayala E. 2021)

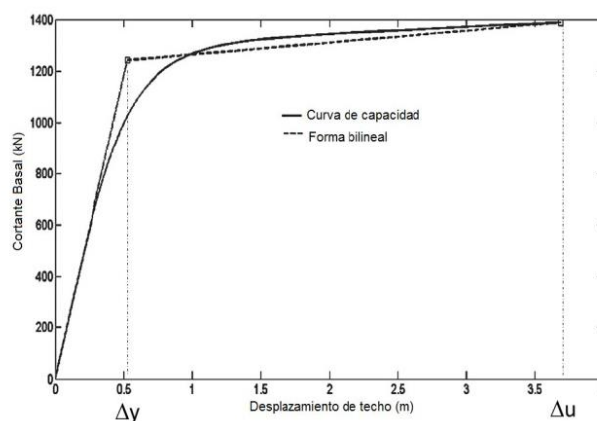


Figura 9: Grafico de curva de capacidad y representación bilineal (Redalyc.org 2015)

2.5.3. ESPECTRO DE CAPACIDAD

La relación fuerza-desplazamiento de una estructura se representa también mediante una curva desplazamiento versus fuerza por unidad de masa. Esta curva constituye el Espectro de Capacidad de la edificación y tiene, en el eje horizontal, el desplazamiento estructural, referido como desplazamiento espectral (S_d), y en el eje vertical el cociente fuerza restitutiva/masa, denominado aceleración espectral (S_a). La figura 8 muestra la obtención del Espectro de Capacidad sobre la base de la Curva de Capacidad. (A. Muñoz. PUCP 2017)

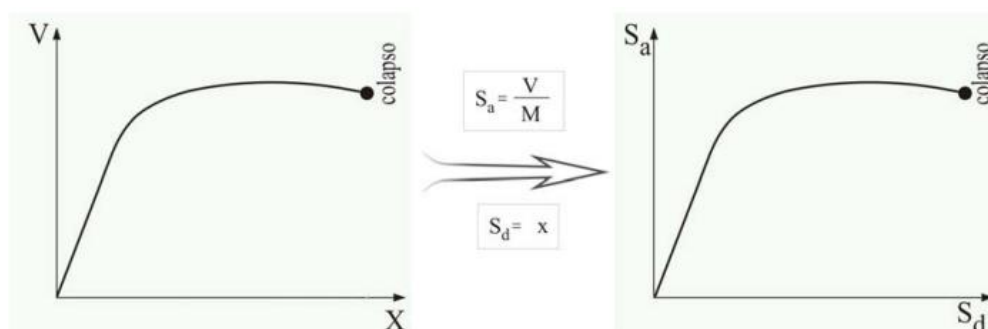


Figura 10: Curva y espectro de capacidad (A. Muñoz. PUCP 2017)

Durante un sismo, la principal fuerza que recibe la masa de un edificio es la fuerza restitutiva del sistema estructural, ya que la fuerza de amortiguamiento suele ser pequeña. Por tanto, la aceleración máxima que puede desarrollar el edificio puede estimarse como el cociente entre la fuerza restitutiva máxima y la masa de la edificación. Así, mientras mayor sea la fuerza que desarrolle el sistema resistente a acciones laterales, mayor será la aceleración que experimentará la edificación durante el sismo. (A. Muñoz. PUCP 2017)

Para una edificación en particular, la Curva de Capacidad muestra la fuerza máxima que recibiría la masa del edificio ante cada desplazamiento lateral del sistema estructural. El Espectro de Capacidad permite estimar la aceleración máxima que el edificio podría desarrollar ante cada desplazamiento lateral. (A. Muñoz. PUCP 2017)

2.5.4. ESPECTRO DE DEMANDA

Actualmente, es frecuente realizar análisis dinámicos empleando métodos espectrales, pues son conocidos por tener una precisión más que adecuada para la dificultad que demandan.

Estos métodos espectrales buscan representar las respuestas máximas de cualquier estructura (definida por un periodo T), frente a una sollicitación sísmica, a través de espectros de respuesta; por lo tanto, suelen ser representadas por medio de un gráfico aceleración espectral

(S_a) vs periodo (T). Es importante recalcar que el uso de los espectros es válido cuando el sistema es de un grado de libertad.

Entonces, para poder continuar con el desarrollo del método del espectro de capacidad, se debe obtener el espectro de demanda elástico. Esto se puede lograr a partir del conocimiento de las condiciones del sitio donde se realizará la evaluación sísmica de la estructura.

- ESPECTRO DE DEMANDA ELÁSTICO EN FORMATO ADRS

El espectro de demanda elástico debe construirse en un formato ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum, por sus siglas en inglés), quiere decir, aceleración espectral vs desplazamiento espectral (S_a vs S_d), en caso se tenga al espectro en un formato aceleración espectral vs periodo (S_a vs T).

Es necesario el formato ADRS del espectro, pues permite que ambos espectros, de capacidad y demanda, sean plotados en un mismo gráfico; esto permite una solución gráfica para encontrar el punto de desempeño de la estructura.

Para poder convertir un espectro de demanda de formato S_a vs T a un formato ADRS, se utiliza la siguiente expresión, donde la recta que pasa por el origen y por un punto de coordenadas (S_d , S_a), tiene por pendiente ($4 * \pi^2 / T^2$) que no es más que la velocidad angular al cuadrado (ω^2). (Silva Mercado R. 2018)

$$S_{di} = \frac{T_i}{4 * \pi^2} * S_{ai}$$

S_{di} = desplazamiento espectral para cada puntp de la grafica

S_{ai} = desplazamiento espectral para cada puntp de la grafica

T_i = periodo de cualquier tipo de estructura

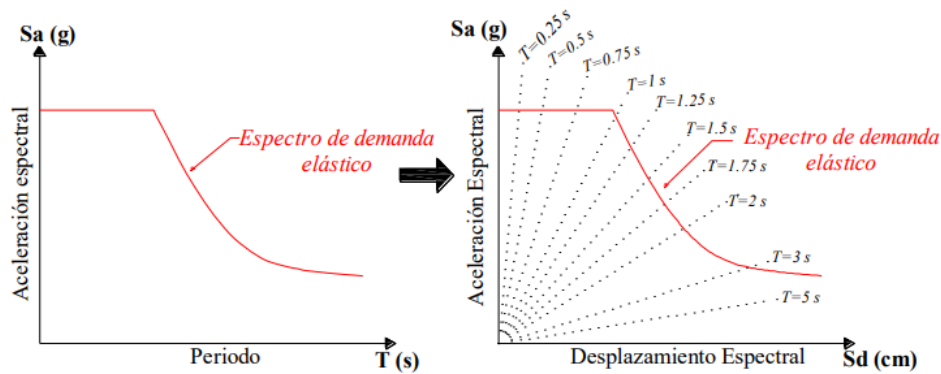


Figura 11: Cambio de formato del espectro de demanda a ADRS (Silva Mercado R. 2018)

2.5.5. PUNTO DE DESEMPEÑO

Podemos definir o entender el punto de desempeño como la intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda respectivo para el amortiguamiento efectivo visto en la figura 10, este punto representa el desplazamiento máximo de la estructura que se espera para un determinado sismo

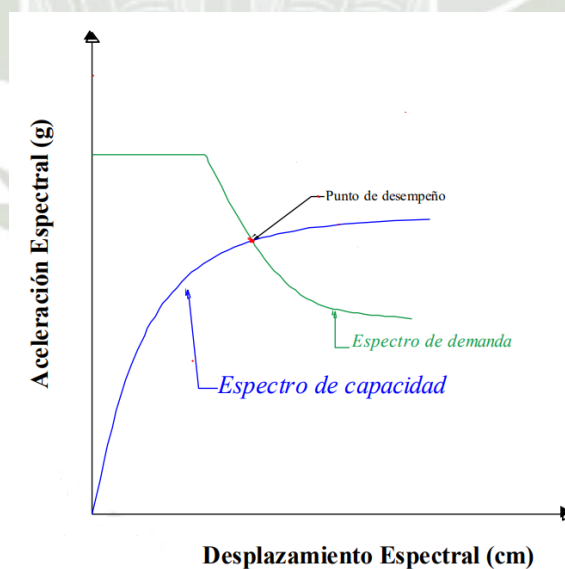


Figura 12: Grafico espectro de capacidad, espectro de demanda y obtención de punto de desempeño (Silva Mercado R. 2018)

2.5.6. PROCEDIMIENTO DEL ANALISIS

El análisis estático no lineal (pushover) determina la capacidad de la estructura basándose en la asignación de fuerzas laterales de manera escalonada hasta llegar a un desplazamiento máximo de la estructura.

El procedimiento para realizar un análisis estático no lineal es:

- Como paso inicial se debe realizar la modelación, definición de propiedades de materiales, definición de elementos estructurales y definición de carga viva y muerta según la norma.
- Definición de modos de vibración que tendrá la estructura
- El pushover empieza con la creación de casos de carga, como primer caso se creó el caso de carga por gravedad partiendo desde una condición inicial cero.
- Para la creación de los casos de carga monotónicas debemos tener en cuenta algunos criterios de los patrones de carga lateral. Existen 3 criterios o formas de agregar el patrón de cargas lateral como:
 - Distribución uniforme: Esta dada por la formula

$$F_i = \frac{W_i}{g}$$

Donde: W_i es el peso del nivel “i”

- Distribución con la forma fundamental u otros modos:

$$F_i = \frac{W_i}{g} * \varphi_{ri}$$

Donde: φ_{ri} es el elemento del nivel “r” de la forma modal correspondiente al modo de vibración “i”

- Distribución Adaptativa o acoplada:

Bracci presenta este modo para la cual toma un patrón de carga inicial F_i y se actualiza con el siguiente incremento

$$\Delta F_r^{k+1} = V_b^k \left(\frac{F_r^k}{V_b^k} - \frac{F_r^{k-1}}{V_b^{k-1}} \right) + \Delta V_b^{k-1} \left(\frac{F_r^k}{V_b^k} \right)$$

Donde “r” es el nivel de la planta, “k” es el numero incremental y ΔV_b el incremento del cortante basal.

Para elegir cuál de los criterios mencionados utilizar se tomó en cuenta la recomendación de la norma ATC-40 donde nos dice que la distribución vertical de fuerzas laterales debe ser proporcional a la forma del modo fundamental en la dirección considerada. Para poder ver que esta opción es la más adecuada se tomó como referencia un estudio publicado en la revista internacional de ingeniería de estructural por el ing. Edgar Tapia, docente de estructuras de la universidad autónoma Metropolitana-Azcapotzalco en la Ciudad de México donde realizo es estudio de la respuesta inelástica de edificios de ocho y diez niveles, usando diferentes patrones de carga lateral el cual utilizo los tres métodos antes mencionados para este estudio. Llego a la conclusión que, para el modelo de ocho niveles, el patrón del modo fundamental es una buena representación de las demandas que generara un sismo, representado por el patrón de fuerzas inerciales

- Entonces, como segundo caso de carga se crea una carga monotónica en dirección X partiendo del caso de carga por gravedad
- El tercer caso de carga se creó otra carga monotónica en dirección Y partiendo del caso de carga por gravedad
- Se agrega las rótulas plásticas a elementos estructurales como vigas, columnas y placas para el sistema de muros estructurales.
- Para el sistema de muros de ductilidad Limitada se asigna las rotulas plásticas solo a los muros.
- Finalmente, se obtiene la curva de capacidad (cortante vs desplazamiento del último nivel) y punto de desempeño con el cual se podrá sectorizar y evaluar el nivel que tiene cada sistema estructural.

Para hallar el punto de desempeño, utilizaremos dos métodos:

- Método de espectro de capacidad propuesto por FEMA 440

Este método constituye un elemento simple para determinar el punto de desempeño de una estructura el cual exige un proceso iterativo en el que inicialmente se compara un espectro de capacidad con el espectro de demanda, descrito a través del espectro de respuesta. (FEMA 440, 2005)

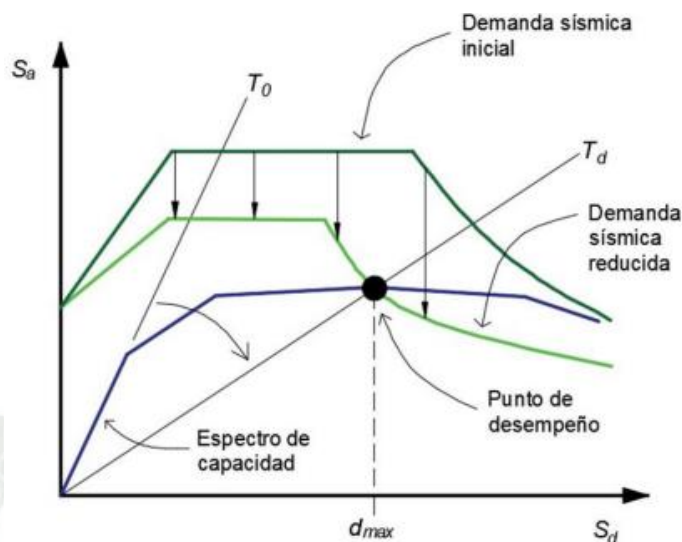


Figura 13: Gráfico de método de espectro de capacidad (Fuente: Fema 440)

- Método de los coeficientes propuesto por el ASCE 41-13

Estima el punto de desempeño de la estructura mediante un proceso numérico directo, que incluye el cálculo de una serie de coeficientes que modifican el desplazamiento espectral correspondiente al periodo fundamental efectivo, de acuerdo al desplazamiento máximo probable. (ASCE/SEI 41-13, 2014)

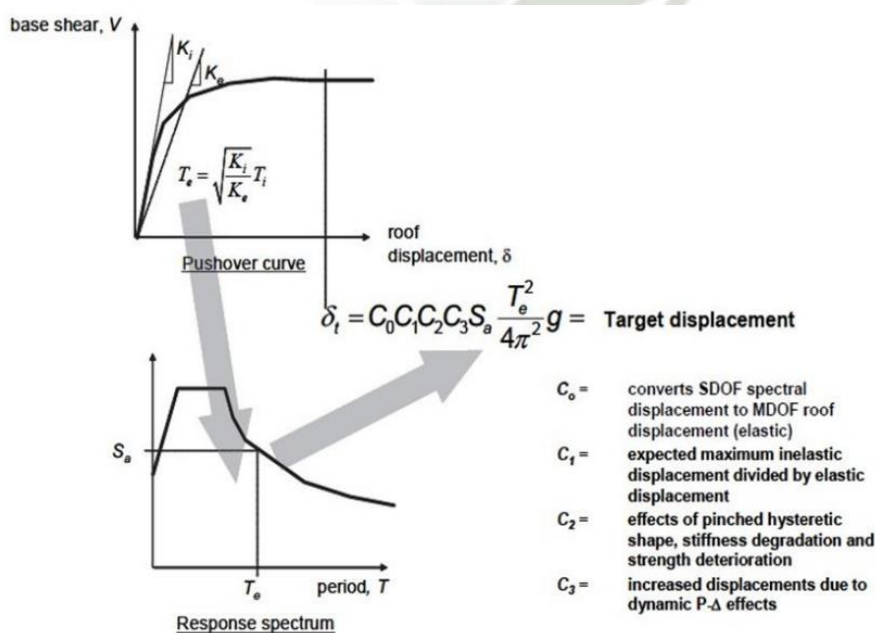


Figura 14: Gráfica de método de coeficientes (Fuente: ASCE 41-13)

2.5.7. PATRON DE CARGAS LATERALES

Tomando en consideración lo que dice la norma ASCE 41-17 que indica que: El patrón de cargas laterales se dio aplicando al modelo matemático en proporción a la distribución de masa en el plano de cada diafragma de piso. La distribución de estas fuerzas fue proporcional a la forma del Modo fundamental de vibración en la dirección considerada (ASCE/SEI 41-17, 2014). Esquema de desarrollo de un sistema SDOF a partir de una curva pushover.

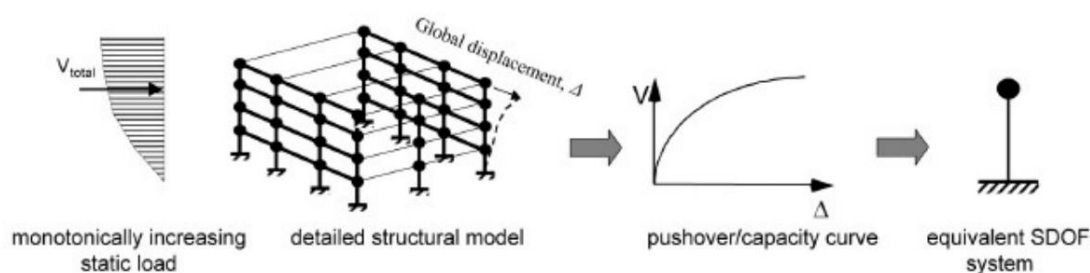


Figura 15: Esquema de desarrollo de un sistema a partir de una curva pushover (Fuente: FEMA 440)

2.6. COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE LAS ESTRUCTURAS

En la mayoría de edificaciones de nuestro país y del mundo, los ingenieros utilizan el análisis lineal, ya que este engloba una relación proporcional entre esfuerzos y deformaciones que por cierto genera buenos resultados, pero muchas de estas edificaciones resultan sobredimensionadas por trabajar en un rango determinado.

El análisis no lineal va un paso más allá del análisis lineal, ya que este ayuda a resolver problemas más complicados en lo que respecta daños estructurales en una edificación y es en este punto donde surge la diferencia entre el rango lineal y no lineal, podemos resaltar una diferencia entre ambos rangos con el concepto de rigidez.

Podemos definir la rigidez como una propiedad del material que resiste o es capaz de soportar esfuerzos sin tener deformaciones considerables. Existen factores como el material, forma o sección y el apoyo de un elemento los cuales afectan la rigidez del mismo. En conclusión, un análisis lineal supone que ante un proceso de deformación un elemento estructural mantendrá su rigidez inicial, en cambio un análisis no lineal considera que la rigidez no es constante en un proceso de deformación.

2.6.1. TIPOS DE COMPORTAMIENTO NO LINEAL

- GEOMETRÍA NO LINEAL

Se da cuando los cambios de rigidez afectan solamente la forma del elemento, altera sus dimensiones o existe alguna deformación. Si la deformación que se produce en elemento es muy grande, esto puede originar que la dirección de la carga se altere.

- MATERIALES NO LINEALES

Cuando existe incrementos de carga o una carga muy grande que hace que el material supere su resistencia máxima, vaya perdiendo rigidez lo cual hace que ya no pueda seguir soportando cargas y siga deformándose podemos hablar del concreto que podemos vincular a rajaduras o fisuraciones. Esto es muy importante cuando se desea hacer una reparación de estructuras, ya que en esos casos el diseño ya supero algunos límites de diseño y es por eso que se necesita ir más allá de un modelo lineal y evaluar hasta obtener una respuesta inelástica con el análisis no lineal.

2.7. CAPACIDAD, DEMANDA Y DESEMPEÑO

2.7.1. NIVELES DE DESEMPEÑO

Es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como de los elementos no estructurales y su contenido, relacionado con la función de la edificación. Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de significación pública (impacto en ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes (extensión, deterioro, degradación de los elementos estructurales o no estructurales, etc.) (SEAOC, 1995).

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (ATC-40, 1996).

- PROPUESTA VISION 2000 (SEAOC 1995)

En la tabla 1 Podemos observar los diferentes niveles de desempeño con la descripción de daños, estado de daños según el nivel y la manera de como calcular el valor numérico del límite de desplazamiento.

Tabla 1: Niveles de desempeño según VISION 2000 (SEAOC 1995)

Nivel de desempeño	Descripción de los daños	Estado de daño	Límite de desplazamiento del sistema
Totalmente operacional	No hay daño. El edificio es seguro. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente. La estructura conserva su rigidez y resistencia. No es necesario hacer reparaciones.	Despreciable	Δe
Operacional	Daño reducido en componentes no estructurales sin compromiso para la seguridad de los ocupantes. Daño muy reducido en elementos estructurales sin compromiso de la seguridad general. La estructura mantiene casi íntegramente su resistencia y rigidez. Luego del sismo, las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero podrían ser fácilmente recuperados.	Leve	$\Delta e + 0.30\Delta p$
Resguardo de Vida	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura ha perdido una parte importante de su rigidez y resistencia, pero conserva un margen de seguridad contra el colapso. Luego del sismo, es baja la probabilidad de derrumbes. Los ascensores podrían estar fuera de servicio, pero las rutas de evacuación están seguras. El edificio podría repararse aunque no siempre resulte económicamente aconsejable.	Moderado	$\Delta e + 0.60\Delta p$
Cerca al Colapso	Daño importante y extendido. La estructura ha sido seriamente afectada en su capacidad de resistir acciones laterales y cargas de gravedad, pero aún conserva un pequeño margen contra el colapso. Componentes no estructurales desplomados o en peligro de hacerlo. Probablemente, no es técnica o económicamente posible reparar el edificio. Las réplicas podrían ocasionar el colapso.	Extenso	$\Delta e + 0.80\Delta p$
Colapso	La estructura no puede ya resistir acciones laterales y ha perdido su competencia para cargas de gravedad. Pérdida de verticalidad y problemas de inestabilidad. Colapso parcial o total. No es posible reparar la edificación.	Completo	$\Delta e + 1.00\Delta p$

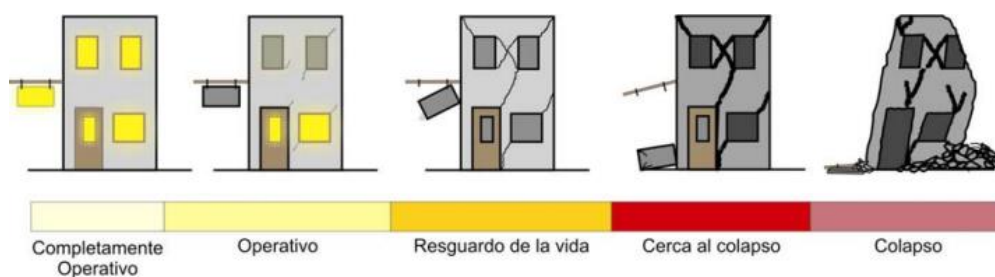


Figura 16: Niveles de desempeño (SEAOC 1995)

- PROPUESTA ATC – 40

El ATC – 40 presenta el nivel de desempeño para elementos estructurales, nivel de desempeño para elementos no estructurales y el nivel de desempeño de la edificación que resulta de la combinación de los dos tipos de daño mencionados anteriormente.

Niveles de daño en elementos estructurales

SP-1. Inmediata Ocupación: Después de ocurrido el terremoto la estructura debe presentar daños estructurales muy limitados, tal que los sistemas que soportan y resisten el edificio conserven sus características y capacidades como antes del terremoto. El riesgo de amenaza a la vida de los ocupantes del edificio debe ser insignificante, para que, de esta forma, la estructura pueda ser ocupada inmediatamente con reparaciones mínimas.

SP-2. Daño Controlado: Corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de inmediata ocupación y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que sean afectados.

SP-3 Seguridad: El estado de daños después de ocurrido el terremoto puede ser significativo, pero la estructura no colapsará debido a que los principales elementos estructurales conservan una gran parte de su capacidad resistente. Pueden producirse algunos heridos tanto en el interior como en el exterior, sin embargo, el riesgo de la vida de los ocupantes debido a un fallo de los elementos estructurales es muy bajo.

SP-4 Seguridad Limitada: Corresponde a un estado de daño entre los niveles de seguridad y estabilidad estructural. Proporciona un punto de partida para las situaciones donde una modificación puede no reunir todos los requerimientos estructurales del nivel de seguridad de vida.

SP-5 Estabilidad Estructural: Este nivel corresponde al estado de daño límite después de ocurrido un sismo en el cual el sistema estructural está muy cerca de experimentar un colapso parcial o total. Se producen daños sustanciales, pérdida de rigidez y resistencia en los elementos

estructurales. A pesar de que al sistema de cargas verticales continúa funcionando, hay un alto riesgo de que se produzca el colapso por causa de posibles réplicas. Es muy probable que los daños en las estructuras más antiguas sean técnica y económicamente irreparables.

SP-6 No Considerado: No corresponde a un nivel estructural como tal, pero ofrece condición para la cual solamente incluye la evaluación sísmica para los elementos no estructurales. (ATC – 40, 1996)

Niveles de daño en elementos no estructurales

NP-A Operacional: Se espera que después de ocurrido el sismo, los elementos no estructurales, maquinarias y sistemas del edificio continúen en su sitio y funcionando con normalidad después del sismo.

NP-B Ocupación inmediata: los elementos no estructurales y sistemas permanecen en su sitio, pueden presentarse algunas interrupciones en el funcionamiento de las maquinarias y equipos. Algunos servicios externos pueden no estar disponibles, aunque esto no compromete la ocupación del edificio.

NP-C Seguridad: Después de ocurrido el sismo pueden ocurrir daños considerables en los componentes y sistemas no estructurales, pero no debe incluir el colapso o caída de objetos demasiado pesados como para causar lesiones graves, tanto dentro como fuera del edificio. Los peligros secundarios tampoco deberán estar presentes, además, es posible que equipos y maquinaria no funcionen sin su respectiva intervención o reparación.

NP-D Amenaza reducida: En este estado de daños tras ocurrir el sismo podría incurrir en grandes daños a los componentes no estructurales, pero no incluyendo la caída de objetos grandes o pesados que podrían causar lesiones en un grupo de personas, como por ejemplo parapetos y muros exteriores de mampostería, entre otros.

NP- E No considerado: Este no es un nivel de desempeño, pero proporciona una designación para el caso común donde los elementos no estructurales no han sido evaluados o

inspeccionados a menos que tenga un efecto directo sobre la respuesta estructural. (ATC – 40, 1996)

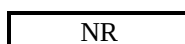
Niveles de desempeño del edificio

Tabla 2: Niveles de desempeño según ATC – 40 (ATC-40, 1996)

DESEMPEÑO NO ESTRUCTUR AL	NIVELES DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL					
	SP-1 Inmediata ocupacion	SP-2 Daño Controlado	SP-3 Seguridad	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No considerado
NP-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Inmediata Ocupacion	1-B Inmediata Ocupacion	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D Amenaza	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No considerado	NR	NR	3-E	3-E	5-E Estabilidad estructural	No Aplicable

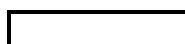


Niveles de desempeño usuales



NR

Otras posibles combinaciones de SP-NP



Combinaciones No Recomendadas SP-NP

1-A Operacional o Daño controlado: Es un nivel de desempeño relacionado con la funcionalidad, ya que el daño a la estructura del edificio es limitado y los daños en los sistemas y elementos no estructurales no impiden que la estructura continúe funcionando con

normalidad después del sismo. Las reparaciones necesarias son menores y se pueden llevar a cabo sin impedir la ocupación del edificio. (ATC – 40, 1996)

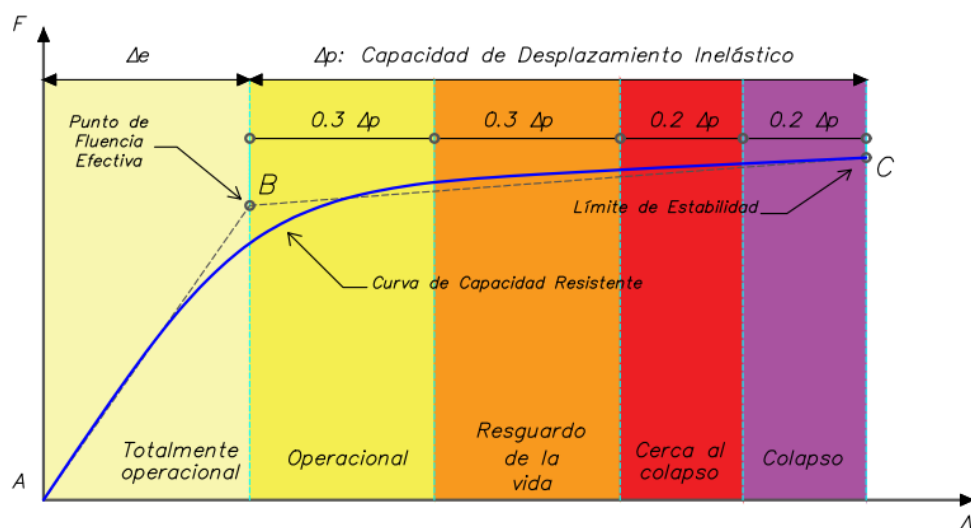
1-B Inmediata Ocupación: Corresponde al nivel de desempeño más utilizado para estructuras esenciales. Se espera que los espacios y sistemas del edificio puedan ser razonablemente utilizados después del sismo, a pesar de que pueden ocurrir algunos daños en los contenidos. Se mantiene la seguridad de los ocupantes. (ATC – 40, 1996)

3-C Seguridad: Este nivel pretende alcanzar un estado de daño que presenta una probabilidad extremadamente baja de las amenazas a la seguridad de vida, ya sea desde el daño estructural o de caída de elementos no estructurales. (ATC – 40, 1996)

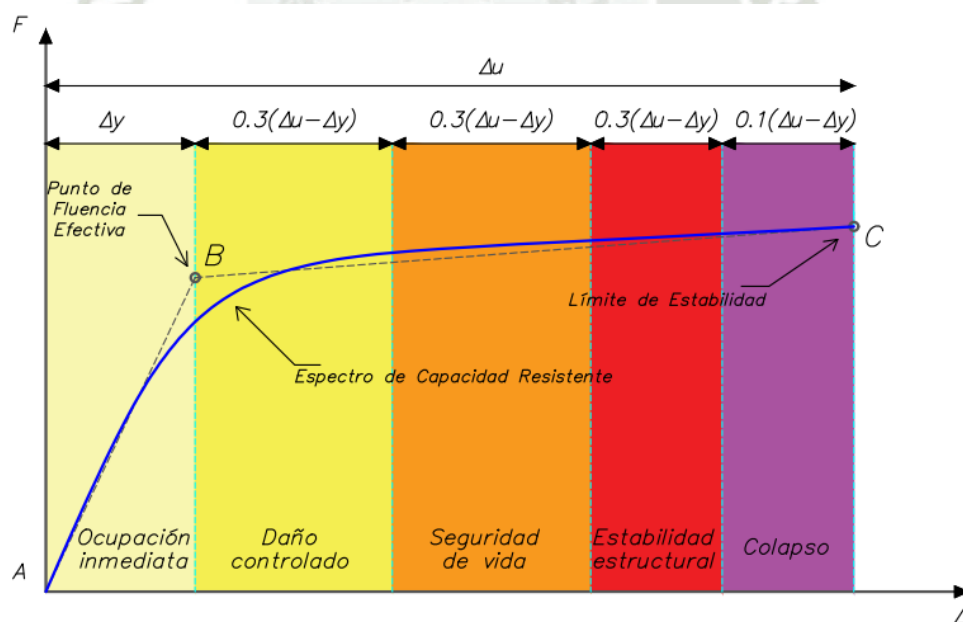
5-E Estabilidad Estructural: El margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentra prácticamente al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continúa garantizando la estabilidad del edificio. Los daños no estructurales no requieren ser evaluados debido al elevado nivel de daños en los elementos estructurales. No se garantiza la seguridad de los ocupantes ni transeúntes, por lo que se sugiere desalojar y, en algunos casos, demoler la estructura. (ATC – 40, 1996)

2.7.2. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD

- PROPUESTA VISION 2000 (SEAOC 1995)



- PROPUESTA ACT – 40



CAPITULO III

3. DESARROLLO

3.1. DESCRIPCION DE LA EDIFICACION

La edificación que se estudió es un edificio multifamiliar ubicado en el distrito de Paucarpata en la ciudad de Arequipa. Esta edificación consta de dos fachadas ya que el terreno se encuentra en la esquina de la manzana frente a un parque.



Figura 19: Ubicación del edificio (Fuente: Google Maps 2022)

3.2. PLANOS

Este edificio inicialmente se propuso realizar con el sistema estructural de muros de ductilidad limitada teniendo ya el diseño estructural de este, pero por motivos internos del cliente se optó por realizar nuevamente el diseño con otro sistema estructural, siendo este el sistema estructural muros estructurales con el cual se edificó. El edificio tiene un área de terreno total de 326 m², consta de 08 niveles típicos y por nivel tiene 03 departamentos de 95 m² cada uno aproximadamente, cuenta con un ascensor y escaleras para cada nivel. En la figura 18 se muestra el edificio con el sistema muros estructurales y en la figura 19 con el sistema de muros de ductilidad limitada.

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

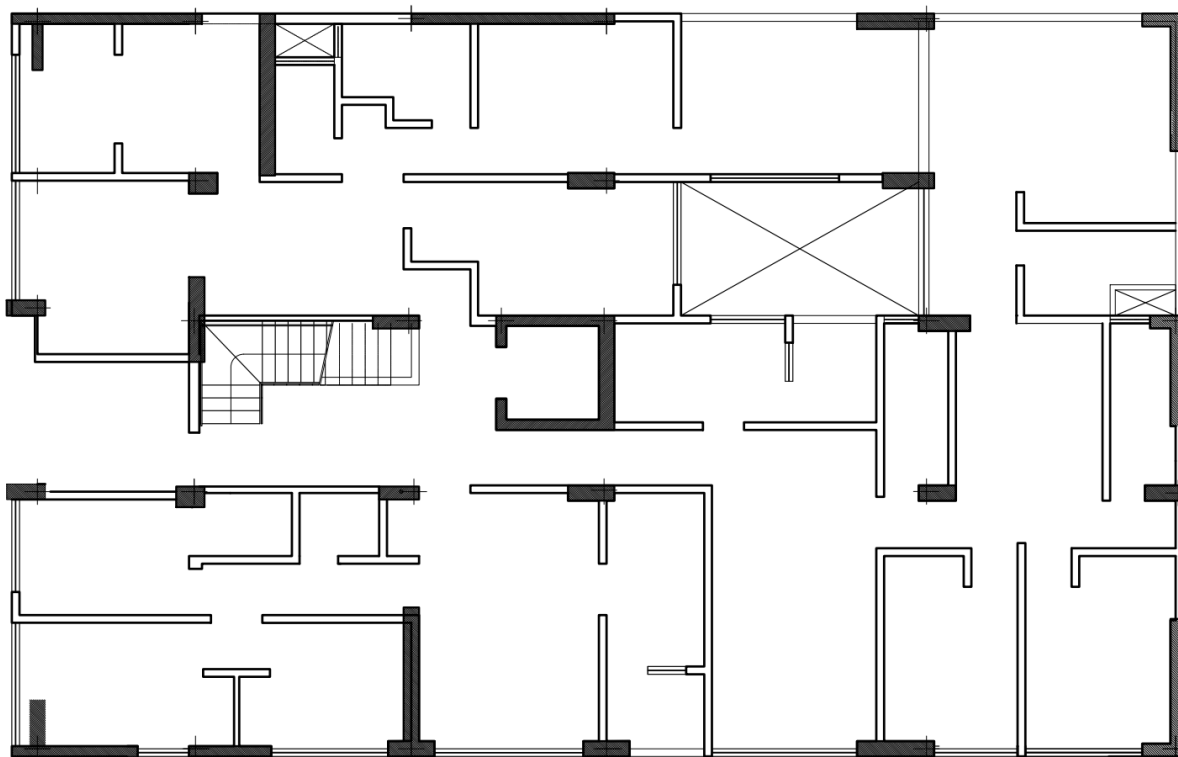


Figura 20: Plano en planta sistema de muros estructurales

- SISTEMA MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

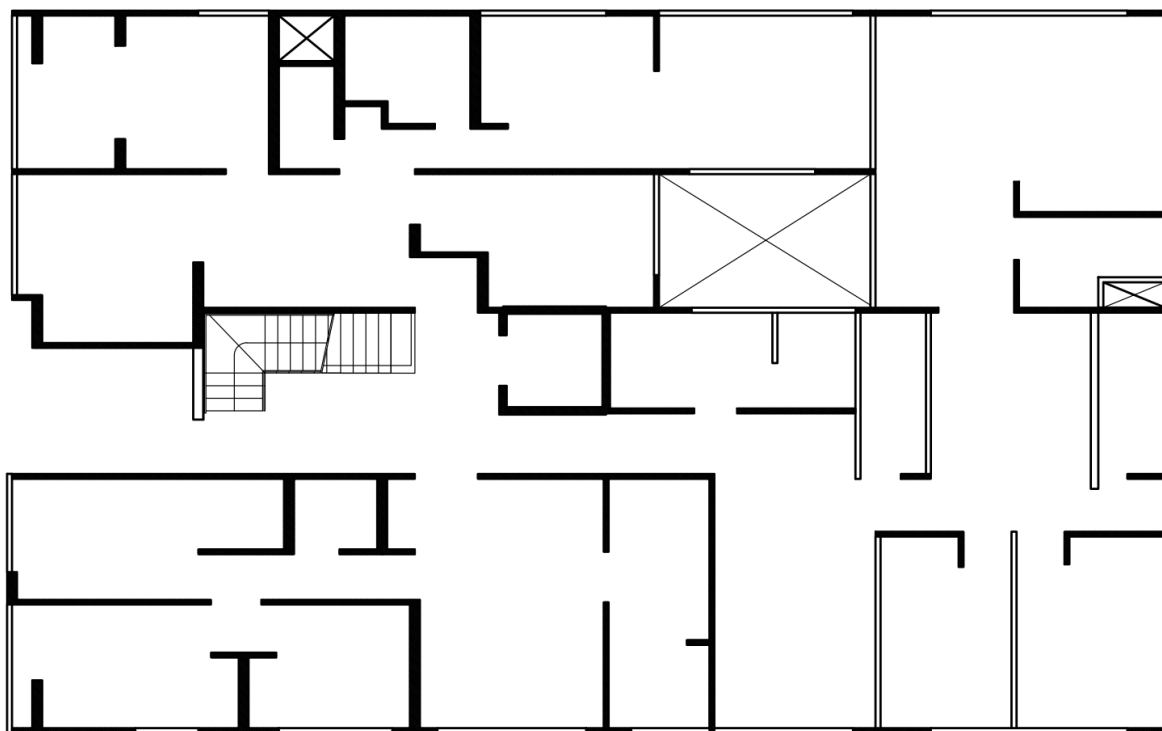


Figura 21: Plano en planta sistema MDL

3.3. REVISION ANALISIS LINEAL

3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

3.3.1.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

- CONCRETO

Tabla 3: Características del concreto para sistema de muros estructurales

CONCRETO			
CARACTERÍSTICA		VALOR	
Resistencia a la compresion	$f'c$	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	$f'c = 2800 \text{ tonf/m}^2$
Modulo de Elasticidad	$Ec = 15000 * \sqrt{f'c}$	$Ec = 251000 \text{ kg/cm}^2$	$Ec = 2510000 \text{ tonf/m}^2$
Coefficiente de Poisson	ν	0.2	
Peso especifico	γ	$\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$	$\gamma = 2.4 \text{ tonf/m}^3$

- ACERO

Tabla 4: Características del acero sistema de muros estructurales

ACERO			
CARACTERISTICA		VALOR	
Esfuerzo de fluencia	f_y	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	$f_y = 42000 \text{ tonf/m}^2$
Esfuerzo Ultimo	f_u	$f_u = 6300 \text{ kg/cm}^2$	$f_u = 63000 \text{ tonf/m}^2$

3.3.1.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- CONCRETO

Tabla 5: Características del concreto para sistema MDL

CONCRETO			
CARACTERISTICA		VALOR	
Resistencia a la compresion	f'_c	$f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c = 1750 \text{ tonf/m}^2$
Modulo de Elasticidad	$E_c = 15000 * \sqrt{f'_c}$	$E_c = 198431.3 \text{ kg/cm}^2$	$E_c = 1984313 \text{ tonf/m}^2$
Coefficiente de Poisson	ν	0.2	
Peso especifico	γ	$\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$	$\gamma = 2.4 \text{ tonf/m}^3$

- ACERO

Tabla 6: Características del acero sistema MDL

ACERO			
CARACTERISTICA		VALOR	
Esfuerzo de fluencia	f_y	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	$f_y = 42000 \text{ tonf/m}^2$
Esfuerzo Ultimo	f_u	$f_u = 6300 \text{ kg/cm}^2$	$f_u = 63000 \text{ tonf/m}^2$

3.3.2. CREACION DEL MODELO COMPUTACIONAL

3.3.2.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

- DEFINICIÓN DE MATERIALES

Se colocaron los datos obtenidos de las especificaciones técnicas del plano de estructuras, se puede ver todos estos en el punto 3.3.1 con sus respectivas fórmulas y unidades.

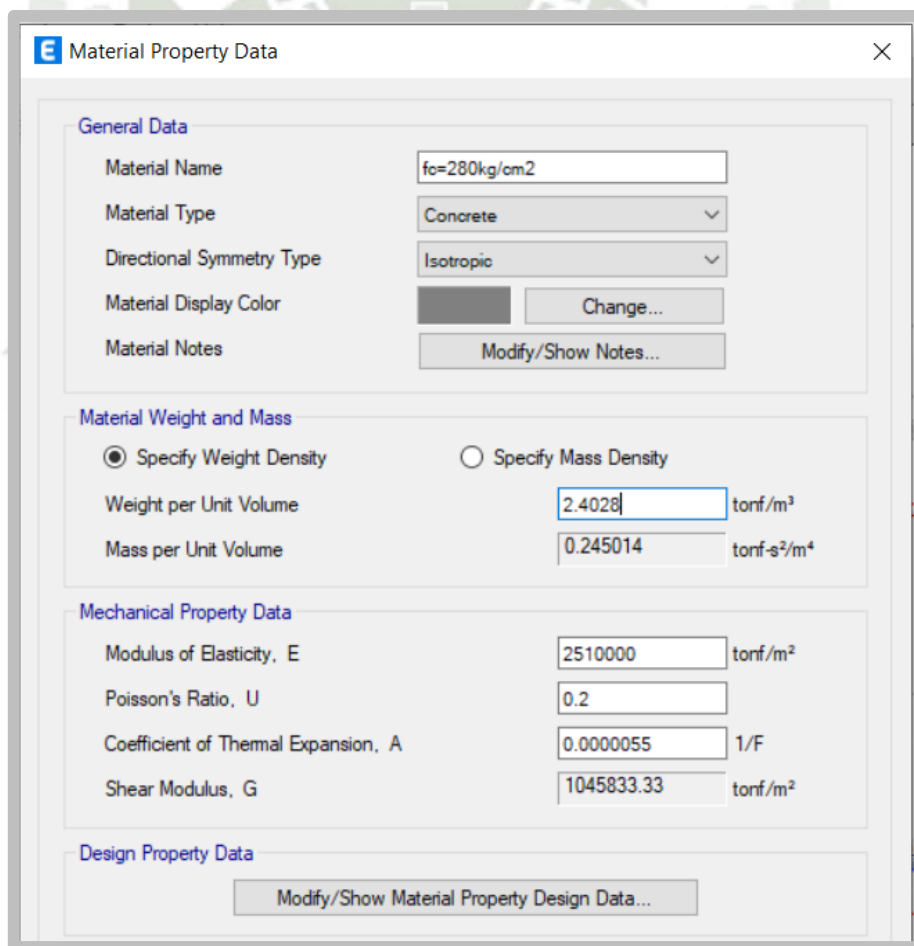


Figura 22: Definición de material concreto sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

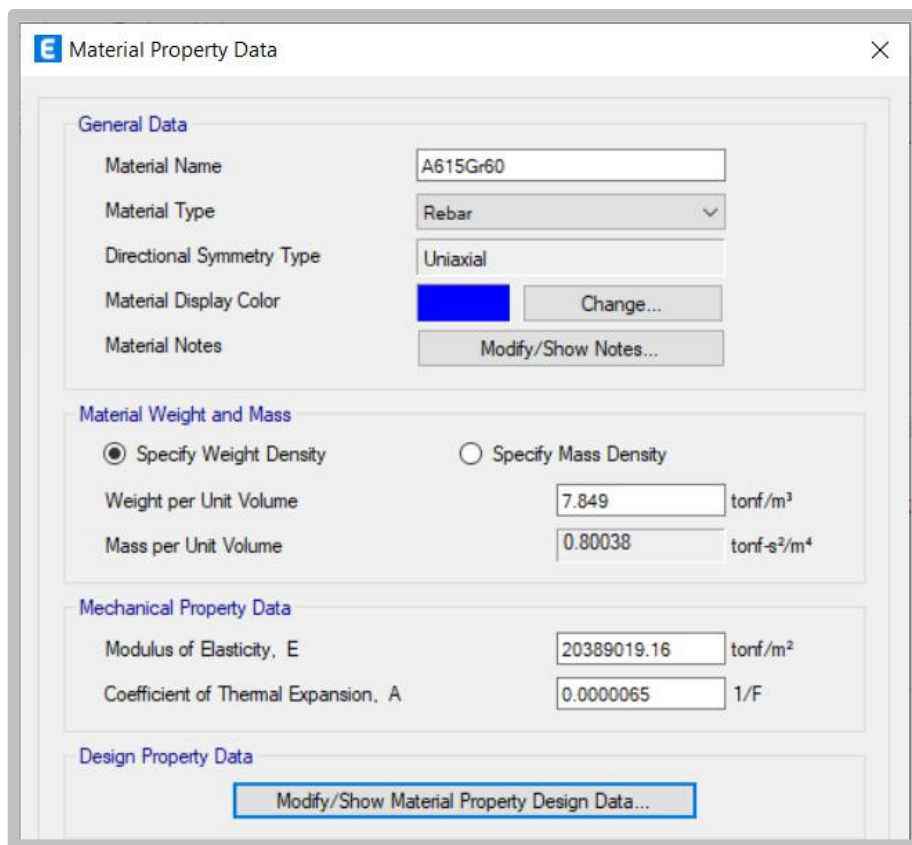


Figura 23: Definición del material acero sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- DEFINICIÓN DE SECCIONES

Para definir las secciones se tuvo en cuenta cuáles son sus dimensiones como la base y el peralte de las mismas, se especificó también el concreto que en nuestro caso fue de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

Las secciones de los elementos estructurales se visualizaron en los planos de estructuras, como vigas, columnas, placas, losas aligeradas y losas macizas.

- Se tomó los 05 tipos de vigas con sus respectivos nombres

Tabla 7: Dimensiones y nombres de viga sistema de muros estructurales

VIGAS		
DIMENSIONES	NOMBRE	
V 25x30	V106	V111
	V107	V112
	V108	V113
V 25x40	V101	V122
	V102	V133
	V105	V134
	V116	
V 30x30	V125	
V 30x40	V103	V126
	V104	V127
	V120	V128
	V121	V131
	V123	V132
V 30x50	V109	V119
	V110	V124
	V114	V129
	V115	V130
	V118	

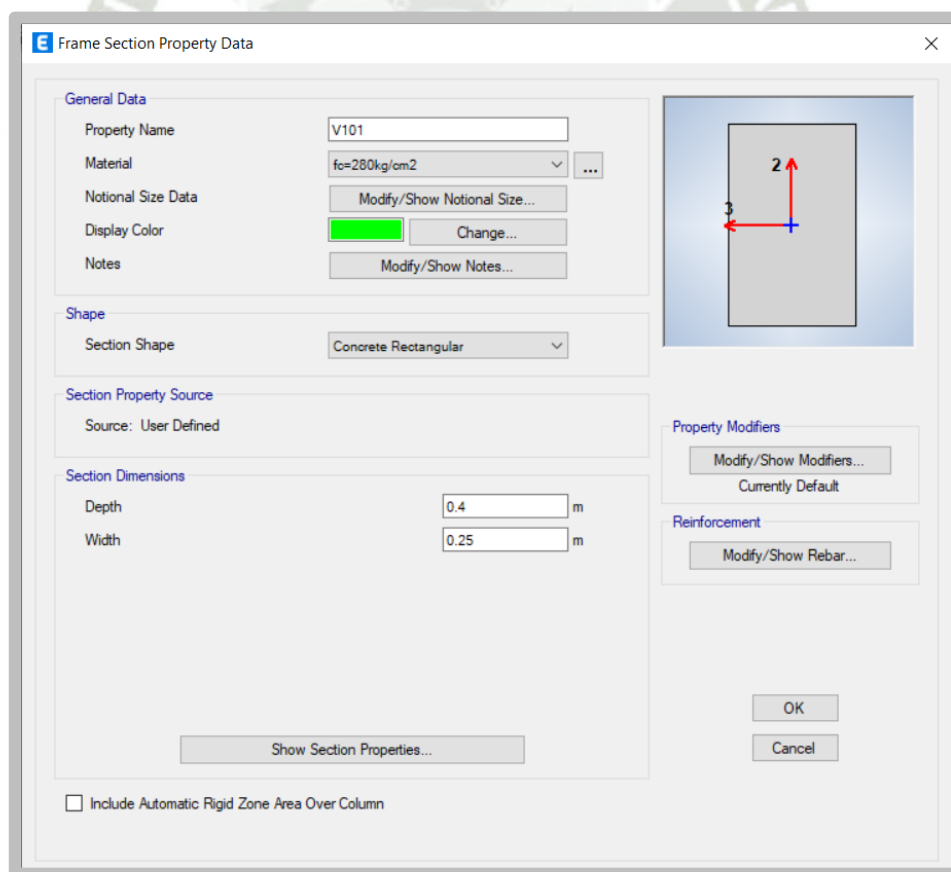


Figura 24: Definición de sección de viga sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

Ya que los criterios de estructuración fueron utilizados por el responsable del diseño estructural, para esta tesis se tomó como base un edificio ya diseñado para proceder a realizar el análisis estático no lineal, pero se pudo observar e interpretar el criterio que utilizó, siendo este un edificio con el sistema de muros estructurales son los muros o placas los responsables de resistir fuerzas sísmicas ya comprobado, donde estos tienen el 90% de la cortante y son las columnas en este caso elementos que soportan cargas por gravedad y muy poca cortante.

En la imagen podemos que ver entre los ejes E-K y ejes 5-8 existen losas de paño corto, esto solo figura en el modelamiento del programa más no en los planos de encofrado, se hizo esto para poder tener paños de losa más simétricos a pesar de tener un ancho o longitud dividido por vigas chatas a las cuales se le aplicó reléase en los extremos para que no pueda desarrollar momentos negativos e influya en los análisis posteriores.

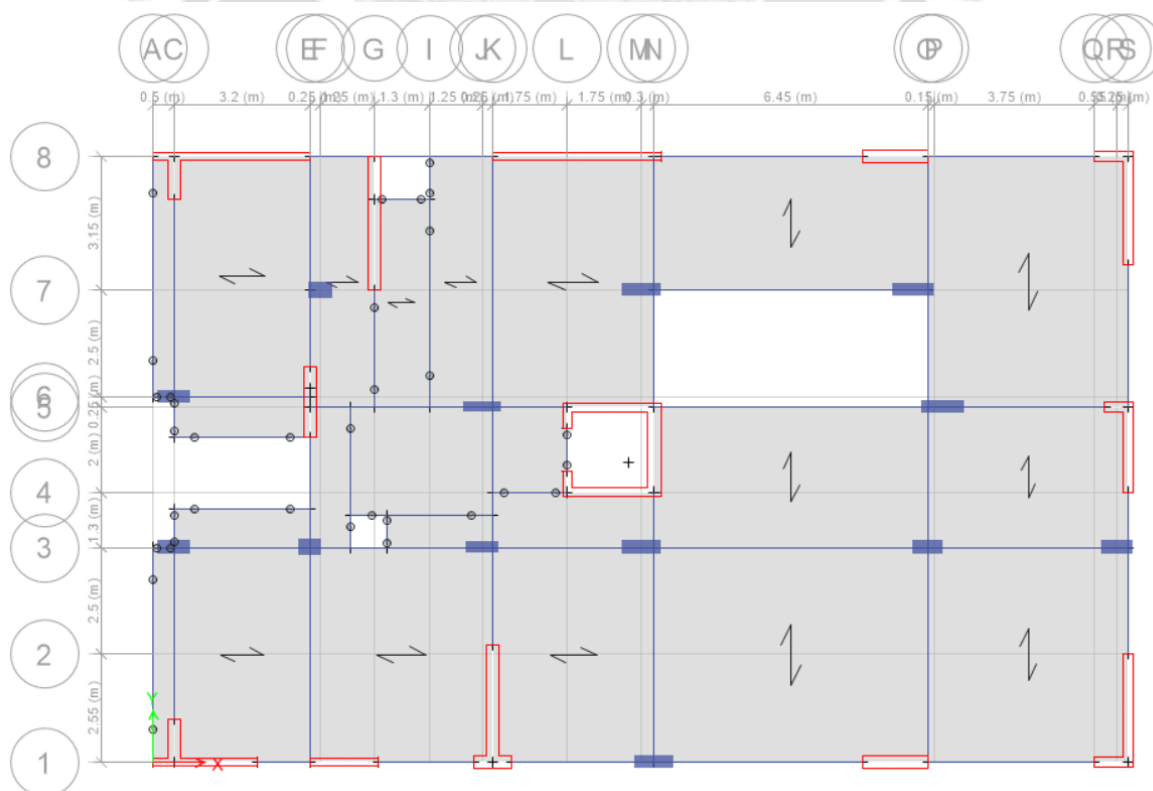
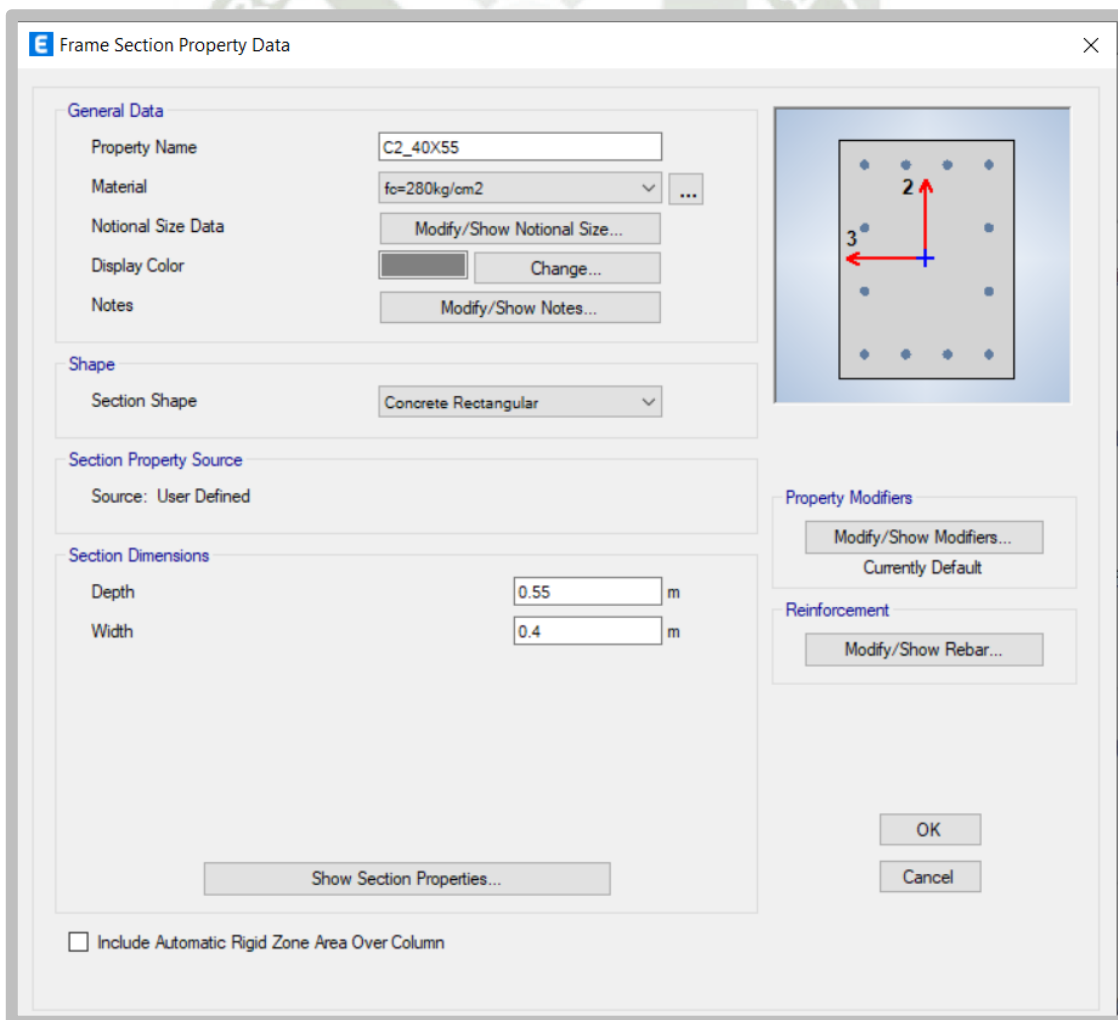


Figura 25: Vista en planta de muros estructurales (Fuente: Etabs)

- Se tomó los 08 tipos de columnas:

Tabla 8: Dimensiones de columnas sistema de muros estructurales

COLUMNAS	
C1	30x75
C2	40x55
C3	30x90
C4	30x90
C5	25x77
C6	25x90
C7	30x72
C8	30x100



Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C2_40x55

Material: fc=280kg/cm2

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.55 m

Width: 0.4 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Figura 26: Definición de columna sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- Se tomó los 03 tipos de placas:

Tabla 9: Espesores de Placas sistema de muros estructurales

PLACAS
Muros 20cm
Muros 25cm
Muros 30cm

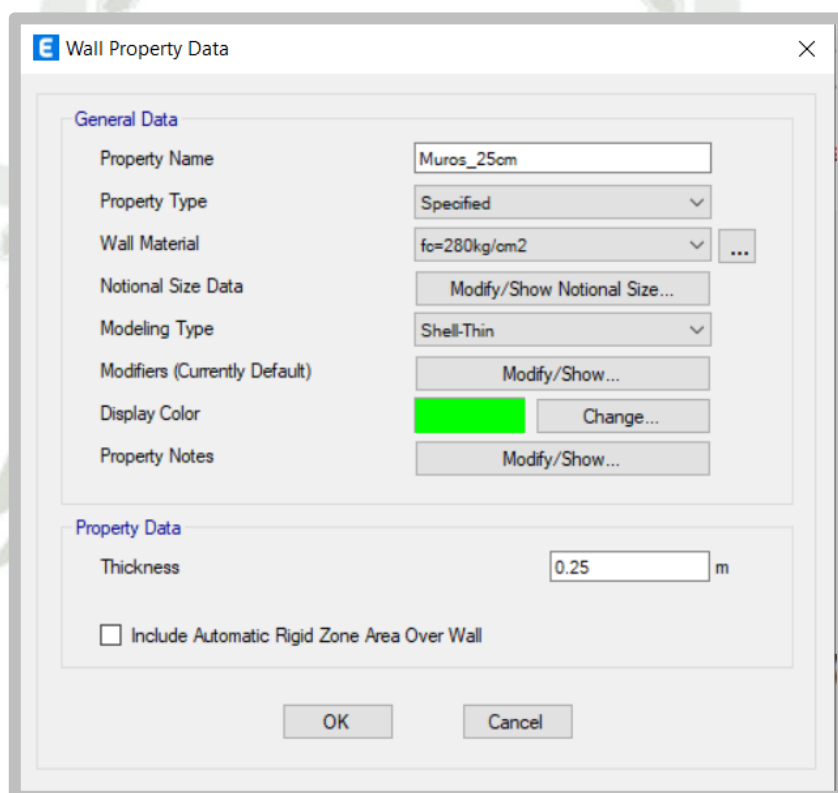


Figura 27: Definición de placa sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- Se tomó los 02 tipos de losas:

Tabla 10: Espesores de Losas sistema de muros estructurales

LOSAS	
TIPO	ESPESOR
L. Aligerada	20 cm
L. Maciza	20 cm

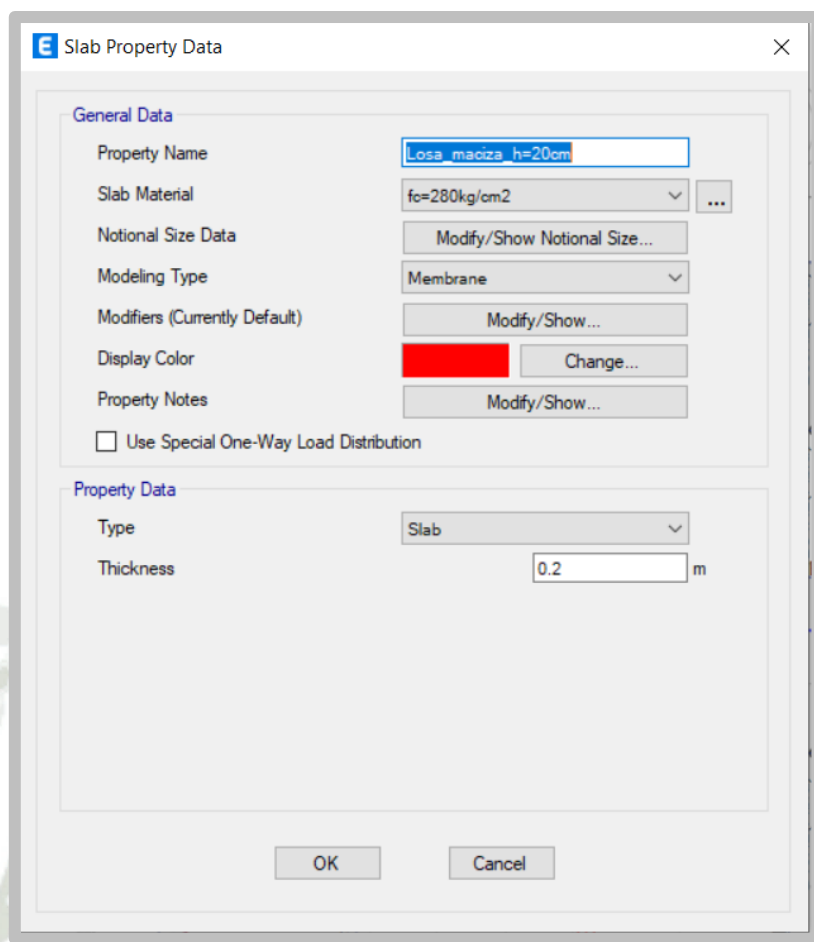


Figura 28: Definición de Losa sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- DEFINICIÓN DE TIPOS DE CARGAS

Para definir las cargas y/o peso propio de elementos se usó la norma NTE 020 y el programa ETABS para poder hallar el peso sísmico.

- Peso propio de elementos: Para elementos como columnas, vigas, placas, losas macizas el programa Etabs calculo los pesos de acuerdo a sus respectivas dimensiones y peso específico del concreto dado.
- Peso propio de losa aligerada: Para la losa aligerada de 20cm de espesor tomamos un peso de 300kgf/m^2 según la norma NTE 020.

Tabla 11: Peso propio para losa aligerada (Fuente Norma NTE 020)

Espesor del aligerado (m)	Espesor de la losa superior en metros	Pesos propio Kpa (Kgf/m ²)
0.17	0.05	2.8 (280)
0.20	0.05	3.0 (300)
0.25	0.05	3.5 (350)
0.30	0.05	4.2 (420)

- Peso Piso terminado: Según la norma NTE 020 esta carga debe ser de 100kgf/m²
- Carga Viva: La carga viva para el uso de vivienda es de 200kgf/m² y también se consideró la carga móvil de la tabiquería que tiene un valor de 100kgf/m² según la norma NTE 020.

Según la Norma NTE 020 para tabiquería móvil nos indica que: El peso de los tabiques móviles se incluirá como carga viva equivalente uniforme repartida por metro cuadrado, con un mínimo de 0.50 kPa (5º kgf/m²), para divisiones livianas móviles de media altura y de 1.0 kPa (100 kgf/m²) para divisiones livianas de altura completa. Cuando en el diseño se contemple tabiquerías móviles, deberá colocarse una nota al respecto, tanto en los planos de arquitectura como en los de estructuras (NTE 020)

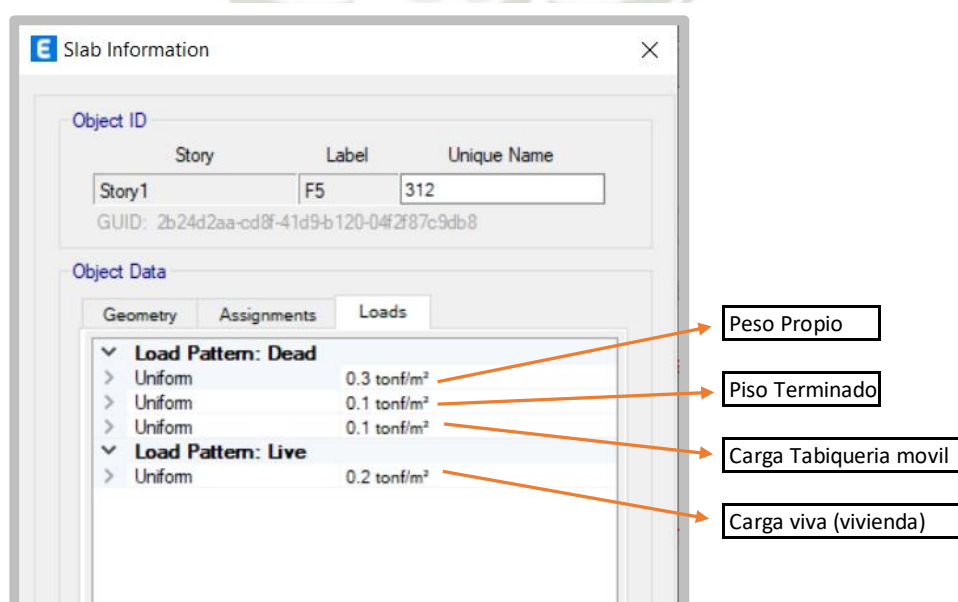


Figura 29: Cargas aplicadas en losa aligerada sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- MODELACIÓN

Sabiendo que este sistema de MDL se caracteriza básicamente porque las losas están apoyadas directamente a los muros sin necesidad de vigas y columnas. Para cuestiones del modelamiento se asignó vigas chatas agregándose release a los extremos para evitar que desarrolle momentos, ya que en los planos del diseño estructural no existen estas vigas ni tampoco en el proceso constructivo, solo cumplen la función de seccionar mejor las losas en paños simétricos (4 lados) para un mejor análisis del programa.



Figura 30: Elevación del edificio sistema de muros estructurales (Fuente: Etabs)

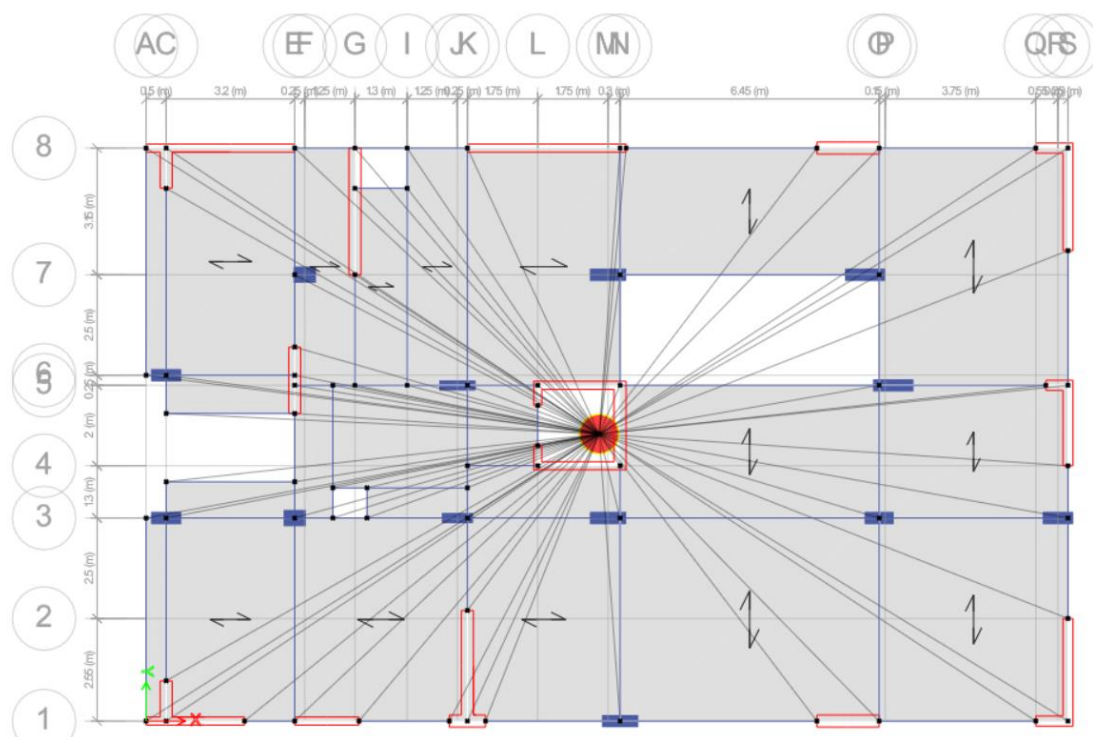


Figura 31: Vista de planta y diafragma rígido del sistema de muros estructurales (Fuente: Etabs)

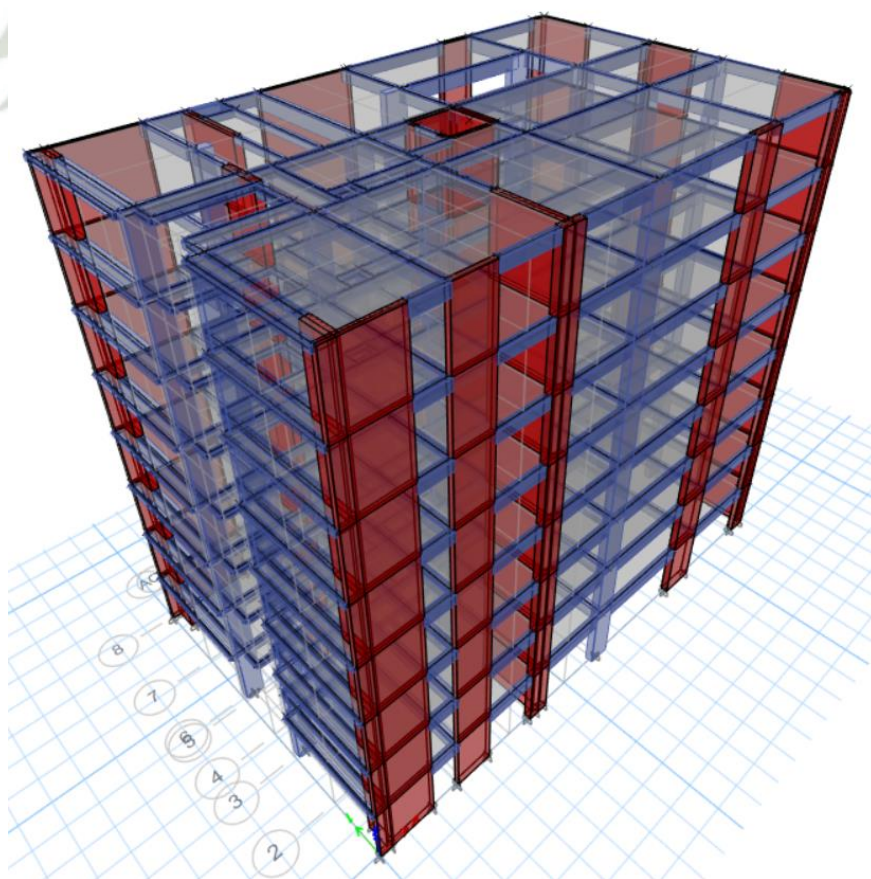
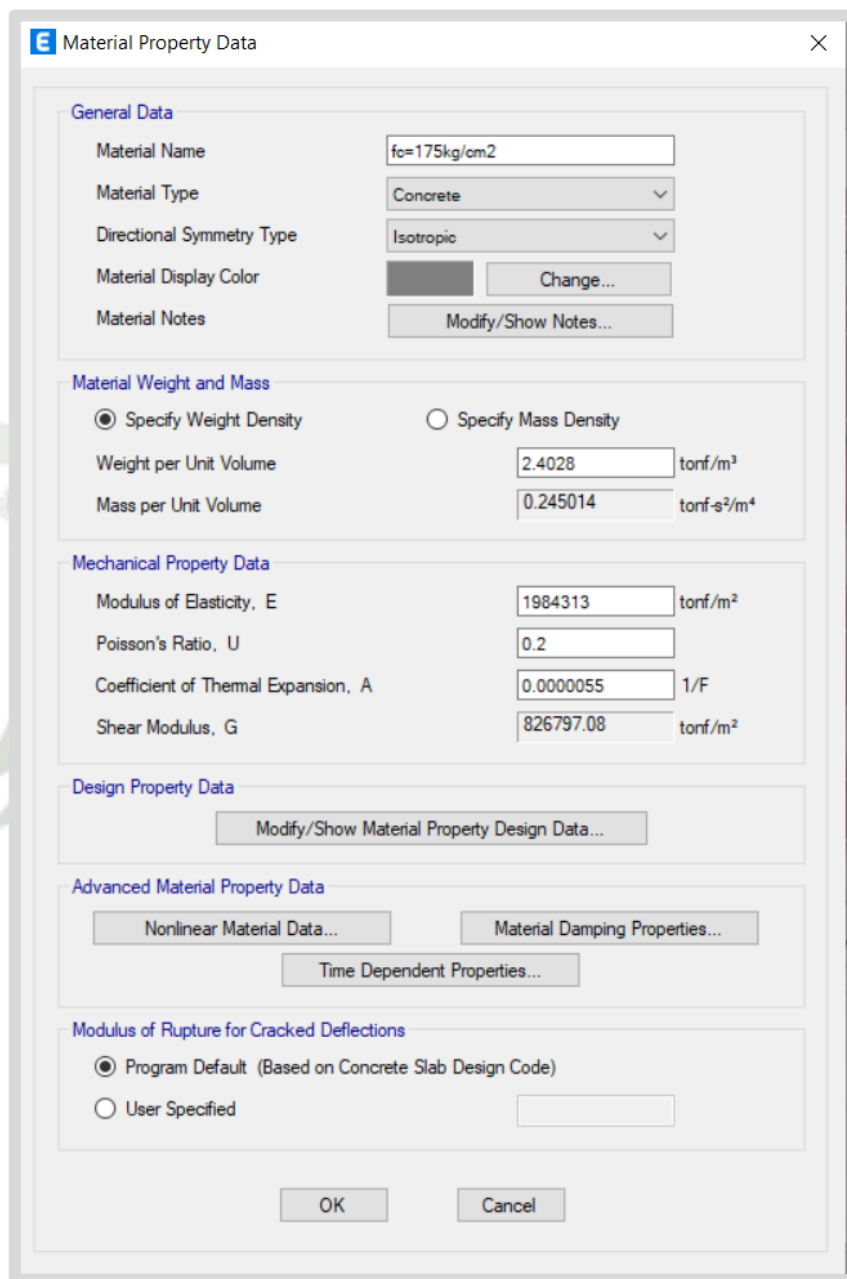


Figura 32: Vista 3D del edificio sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

3.3.2.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- DEFINICIÓN DE MATERIALES



Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: tonf/m³

Mass per Unit Volume: tonf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: tonf/m²

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/F

Shear Modulus, G: tonf/m²

Design Property Data

Advanced Material Property Data

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

☐ User Specified

Figura 33: Definición del material concreto sistema MDL (Fuente: Etabs)

- Definición de Secciones

Las secciones de los elementos estructurales se pueden visualizar en los planos de estructuras. Existen para este sistema de MDL placas y losas macizas.

- Se tomó los 03 tipos de placas

Tabla 12: Dimensiones de placas MDL

PLACAS
Muros 10cm
Muros 15cm
Muros 20cm

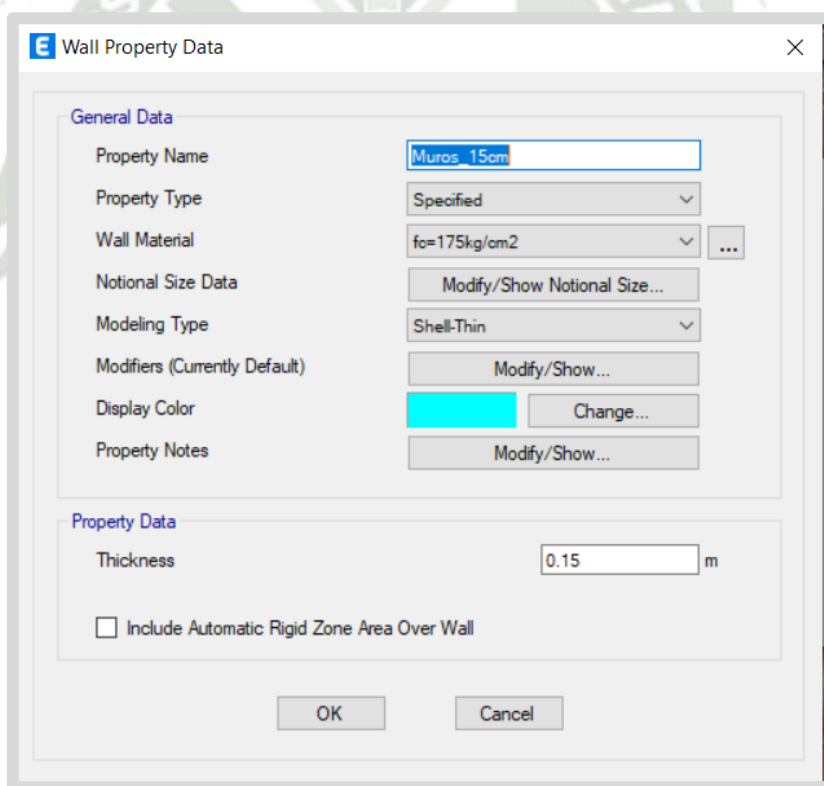


Figura 34: Definición de placa sistema MDL (Fuente: Etabs)

- Se tomó 01 tipos de losa maciza

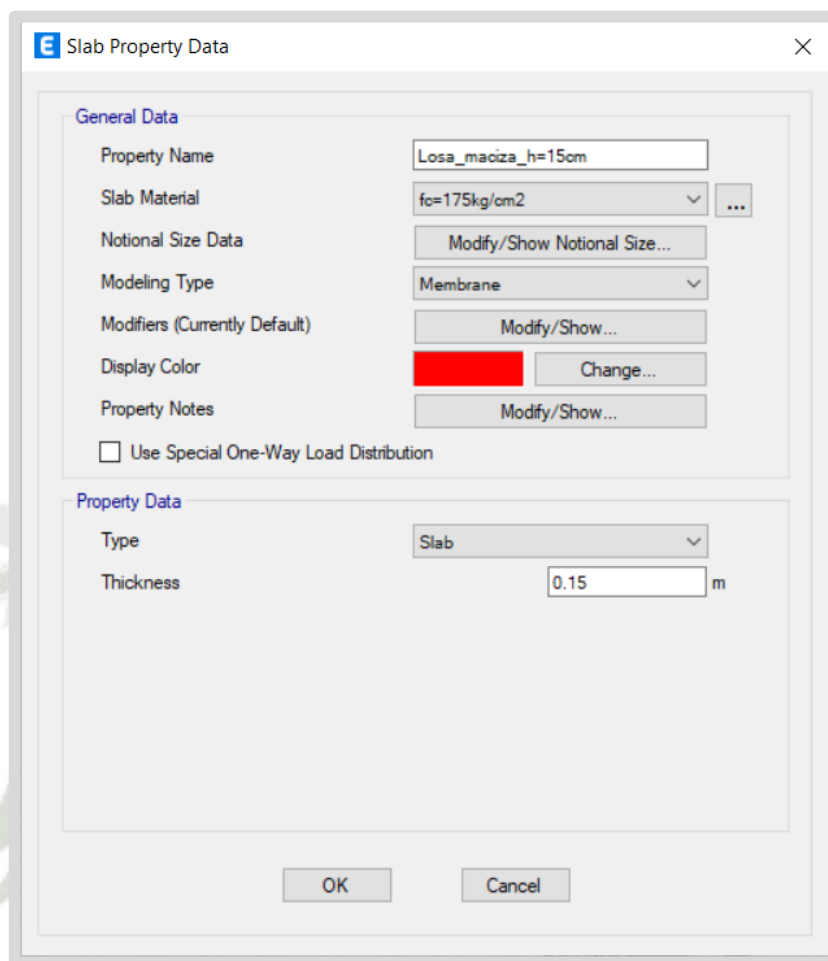


Figura 35: Definición de losa maciza sistema MDL (Fuente: Etabs)

- DEFINICIÓN DE TIPOS DE CARGAS

Para este sistema se tomó solo con la carga viva que es 200kg/m^2 según la norma, el peso propio o la carga muerta el programa ya lo considera

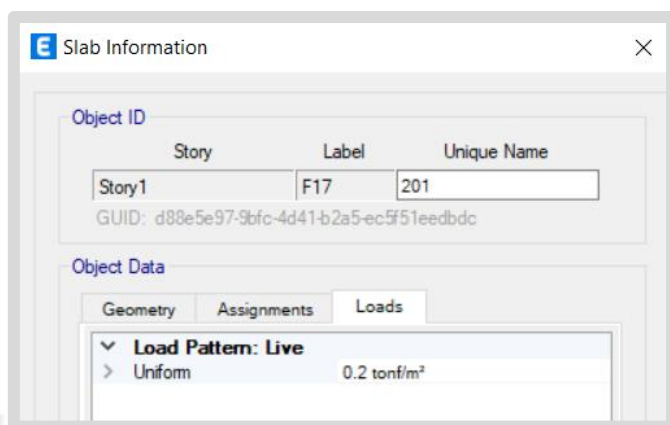


Figura 36: Definición de carga sistema MDL (Fuente: Etabs)

- MODELACIÓN

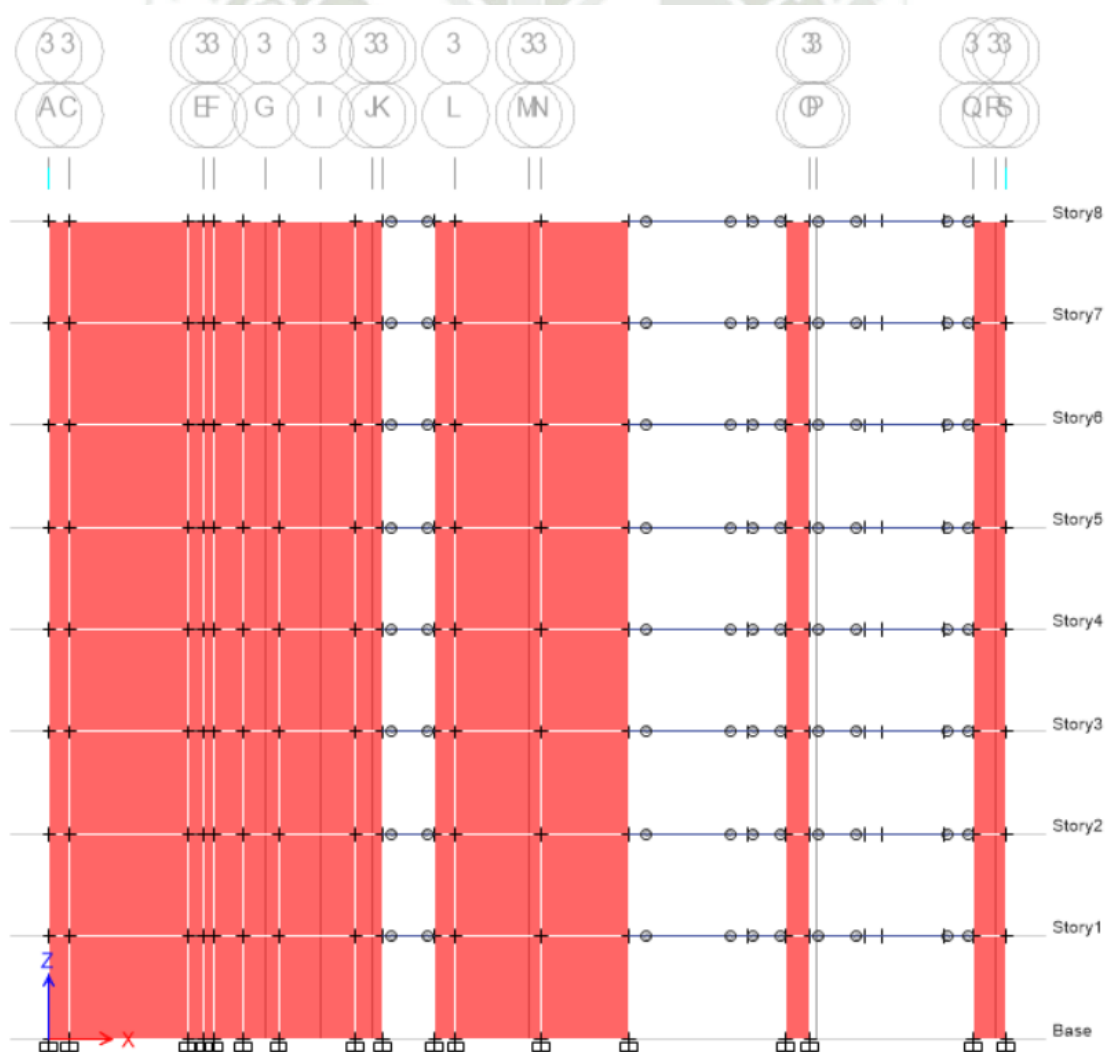


Figura 37: Elevación del edificio sistema MDL (Fuente: Etabs)

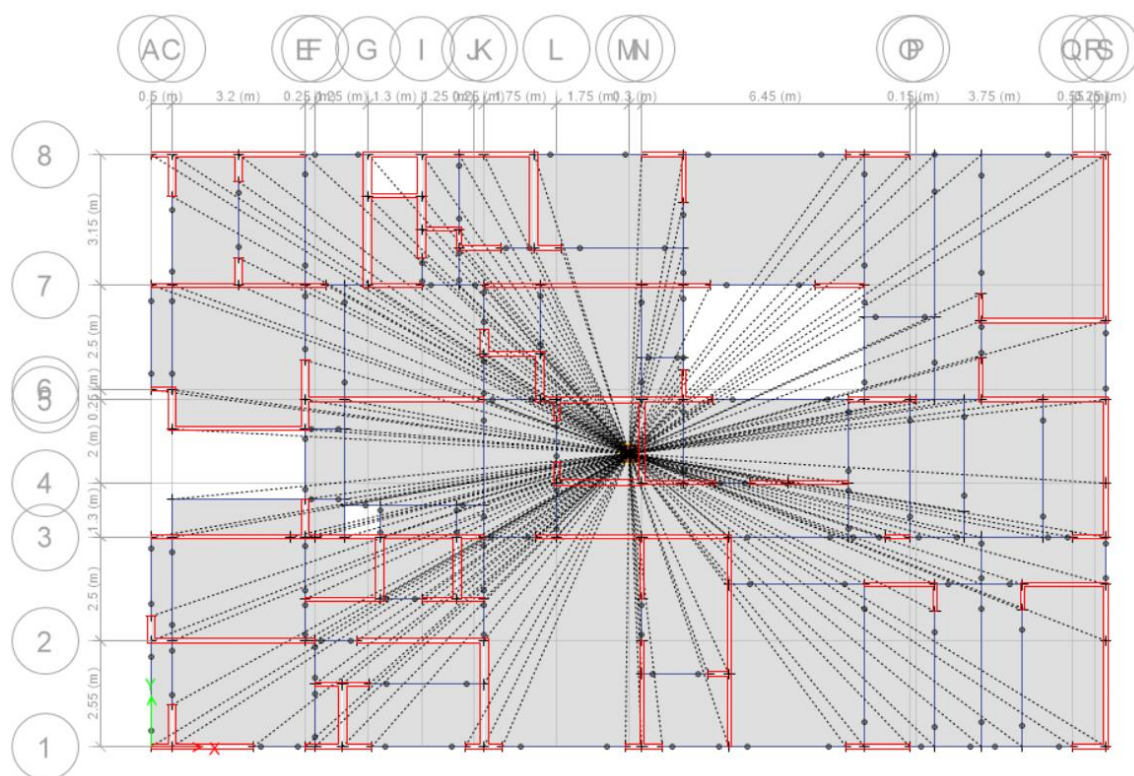


Figura 38: Vista en planta y diafragma rígido sistema MDL (Fuente: Etabs)

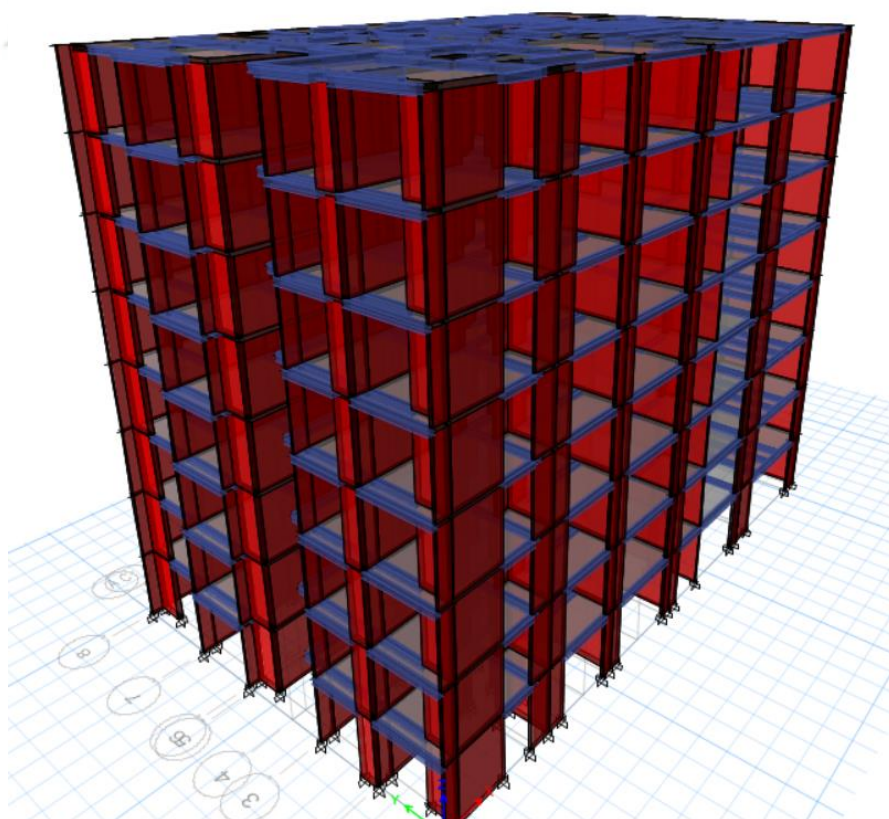


Figura 39: Vista 3D del edificio sistema MDL (Fuente: Etabs)

3.3.3. REVISION ANALISIS ESTATICO LINEAL

3.3.3.1. ANÁLISIS SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

- CALCULO CORTANTE BASAL

Para realizar el análisis estático lineal se calculó dicha fuerza utilizando los parámetros de la norma NTE 030.

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

V: Fuerza cortante en la base

Z: Factor de zona

U: Factor de uso

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de amplificación de suelo

R: Coeficiente de reducción sísmica

P: Peso sísmico de la estructura

Tabla 13: Determinación de la cortante basal en X y Y para sistema de muros estructurales (Fuente: Propia)

Z	0.35	Zona sísmica tipo 3 - Arequipa
U	1.00	Edificaciones comunes - categoria C
S	1.15	Suelo tipo S2
R*Ia*Ip	4.50	Irregularidad torsional Ip=0.75, Factor de reducción muros estructurales
Tp	0.60	Periodo del suelo
TL	2.00	
Ct	60.00	Muros estructurales
T	0.3533	Periodo fundamental
C	2.50	T<Tp entonces C=2.50
ZUCS/R	0.2236	Factor
P	2318.41	Peso de la edificación
Vxx = Vyy	518.42	Cortante basal
C/R	0.56	>0.11

Tabla 14: Porcentaje de fuerza cortante de muros estructurales (Fuente: Etabs)

EJE	FUERZA CORTANTE (tonf)	FUERZA CORTANTE PLACAS (tonf)	PORCENTAJE (%)
X	370.29	335.65	90.6%
Y	345.31	324.83	94%

- PESO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA “P”

El peso sísmico de la estructura se calcula en este caso con el programa ETABS considerando lo que establece la norma de acuerdo a la categoría de la edificación, para este caso se tomará 100% de la carga muerta y 25% de la carga viva.

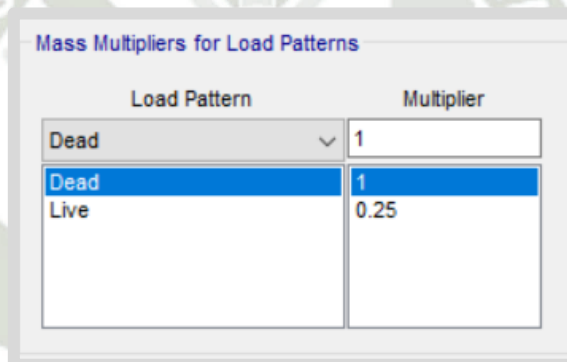


Figura 40: Combinación de carga viva y muerta en Etabs (Fuente: Etabs)

Tabla 15: Masa sísmica por niveles de muros estructurales (Fuente: Etabs)

Story	Mass X	Mass Y
Story8	25.70771	25.70771
Story7	30.08911	30.08911
Story6	30.08911	30.08911
Story5	30.08911	30.08911
Story4	30.08911	30.08911
Story3	30.08911	30.08911
Story2	30.08911	30.08911
Story1	30.08911	30.08911
TOTAL	236.33148	236.33148

Para el cálculo de la cortante basal necesitamos el peso sísmico, por lo tanto, multiplicamos la masa por la gravedad para obtenerlo.

$$P = 2318.41 \text{ tonf}$$

3.3.3.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Tabla 16: Determinación de la cortante basal en X y Y para sistema de MDL (Fuente: Propia)

Z	0.35	Zona sísmica tipo 3 - Arequipa
U	1.00	Edificaciones comunes - categoria C
S	1.15	Suelo tipo S2
$R \cdot I_a \cdot I_p$	4.00	Factor de reducción MDL
T_p	0.60	Periodo del suelo
TL	2.00	
Ct	60.00	Muros estructurales
T	0.3533	Periodo fundamental
C	2.50	$T < T_p$ entonces $C = 2.50$
ZUCS/R	0.2516	Factor
P	1868.59	Peso de la edificación
$V_{xx} = V_{yy}$	470.068	Cortante basal
C/R	0.63	> 0.11

- PESO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA “P”

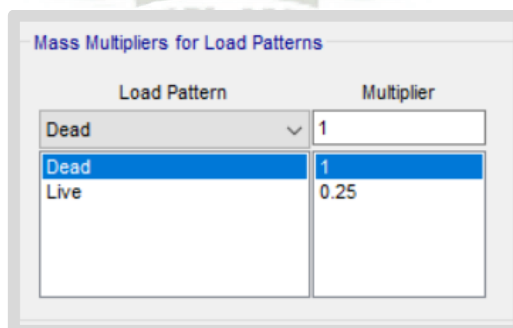


Figura 41: Combinación de carga muerta y viva (Fuente: Etabs)

Tabla 17: Masa sísmica por niveles de MDL (Fuente: Etabs)

Story	Mass X	Mass Y
Story8	19.2553	19.2553
Story7	24.43696	24.43696
Story6	24.43696	24.43696
Story5	24.43696	24.43696
Story4	24.43696	24.43696
Story3	24.47003	24.47003
Story2	24.56832	24.56832
Story1	24.43696	24.43696
TOTAL	190.47845	190.47845

Para el cálculo de la cortante basal necesitamos el peso sísmico, por lo tanto, multiplicamos la masa por la gravedad para obtenerlo

$$P = 1868.59 \text{ tonf}$$

3.3.4. ANALISIS DINAMICO LINEAL

3.3.4.1. ANÁLISIS SISTEMA MUROS ESTRUCTURALES

- ESPECTRO DE DISEÑO

Se usa la formula considerando los factores antes mencionados para poder introducirlos en el programa.

$$Z = 0.35$$

$$U = 1.00$$

$$S = 1.15$$

$$R = 6$$

$$g = 9.81$$

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

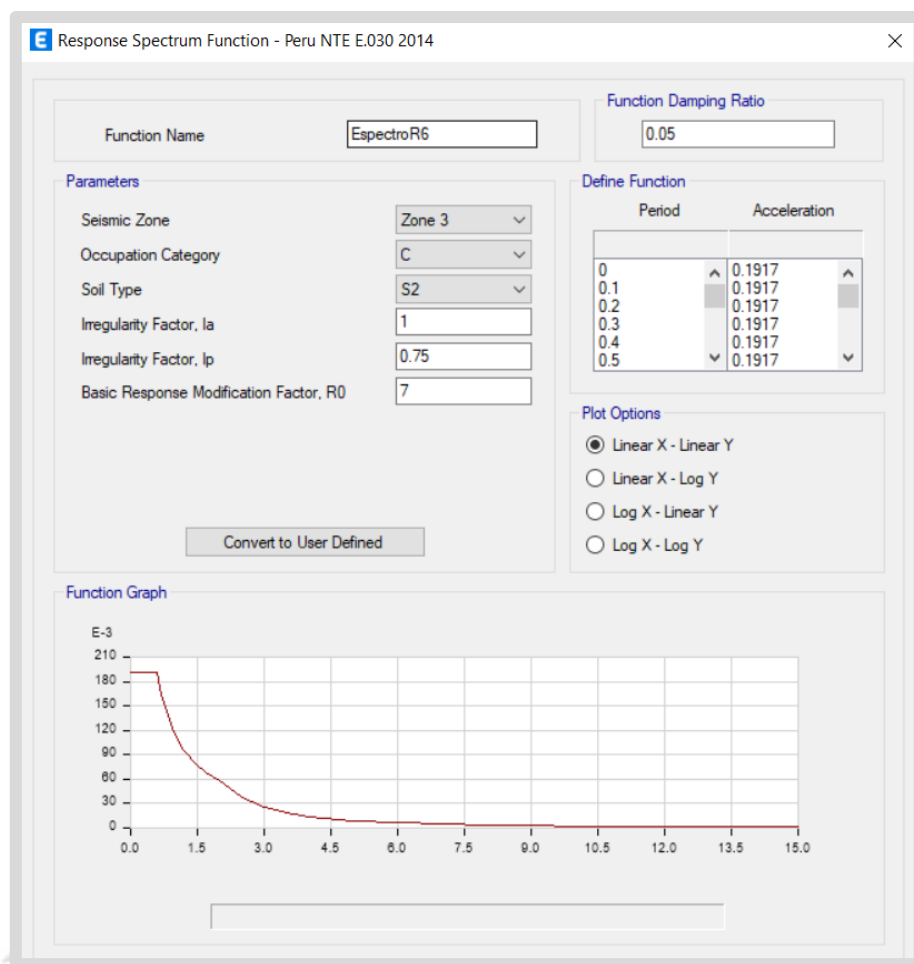


Figura 42: Creación de espectro sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- MODOS DE VIBRACIÓN

Se tomó 03 modos de vibración por nivel la cual hace un total de 24.

Se muestran los primeros modos de vibración que corresponden al eje X,Y. la tabla completa se verá en la parte de anexos.

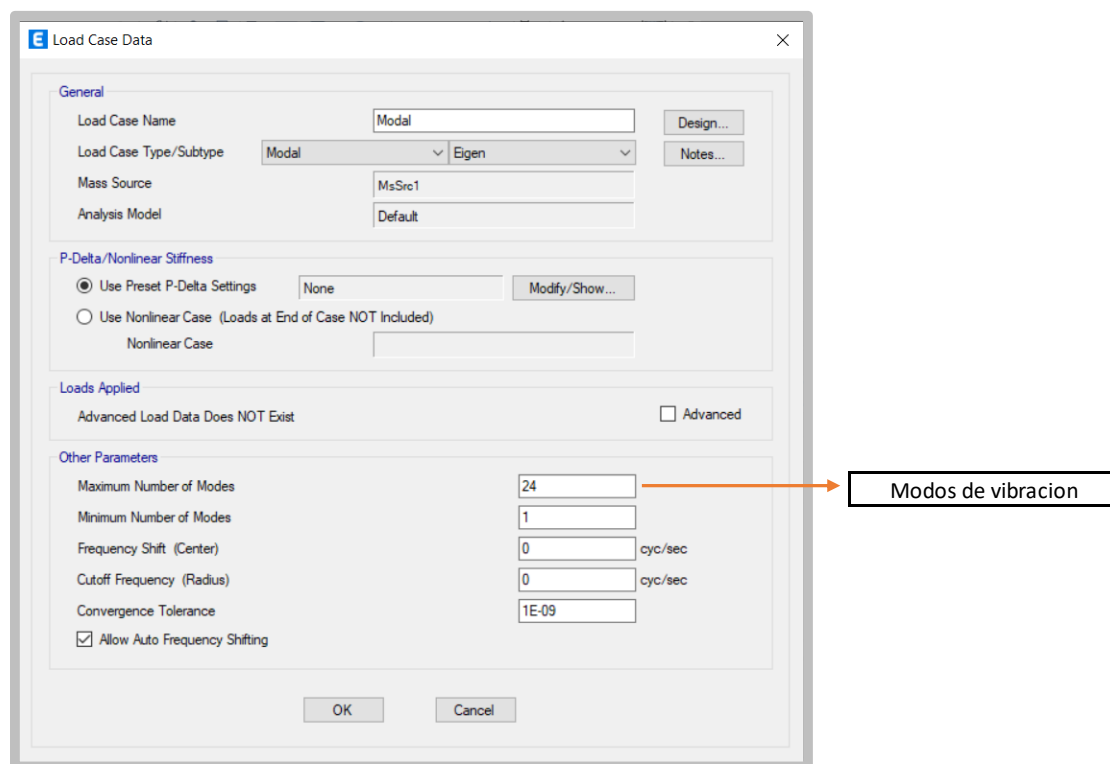


Figura 43: Definición del número de modos de vibración sistema Muros Estructurales (Fuente: Etabs)

Se muestran los primeros modos de vibración que corresponden al eje X,Y.

Tabla 18: Modos de vibración sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

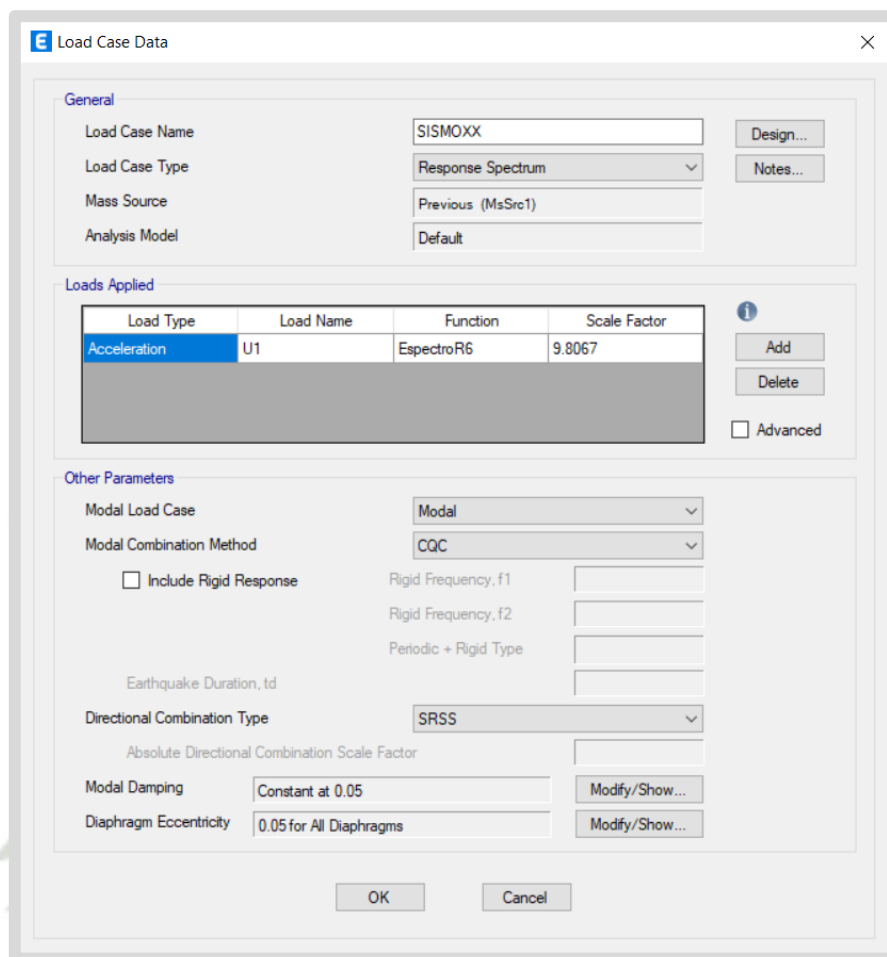
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	0.506	0.0171	0.6273	0	0.0171	0.6273	0.0614
Modal	2	0.475	0.6799	0.0066	0	0.697	0.6338	0.0373
Modal	3	0.386	0.0218	0.0738	0	0.7188	0.7076	0.6136

Entonces tenemos para nuestro caso los modos de vibración para ambos ejes con sus respectivos periodos:

Modo 1 eje Y: $T_y = 0.506$

Modo 2 eje X: $T_x = 0.475$

- CREACIÓN DE CARGA DE SISMO



Load Case Data

General

Load Case Name: SISMOXX

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	EspectroR6	9.8067

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Figura 44: Definición de carga de sismo dinámico para eje X sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

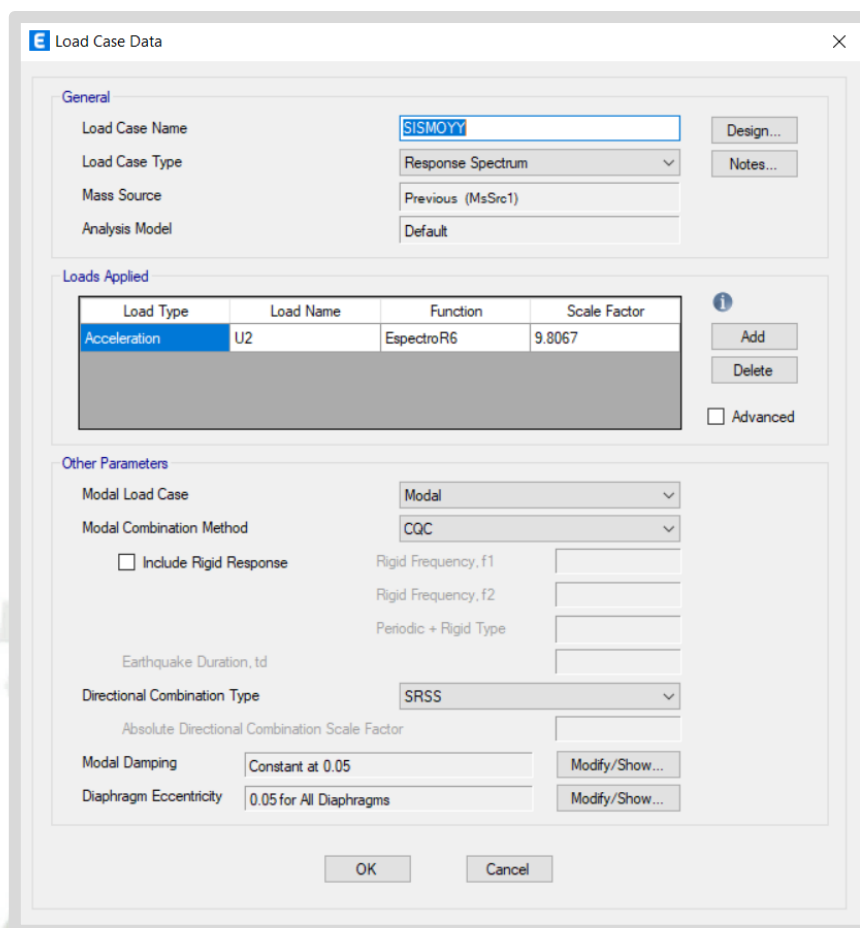


Figura 45: Definición de carga de sismo dinámico para eje Y sistema Muros Estructurales (Fuente: Etabs)

3.3.4.2. ANÁLISIS SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- ESPECTRO DE DISEÑO

Se usa la formula considerando los factores antes mencionados para poder introducirlos en el programa.

$$Z = 0.35$$

$$U = 1.00$$

$$S = 1.15$$

$$R = 4$$

$$g = 9.81$$

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

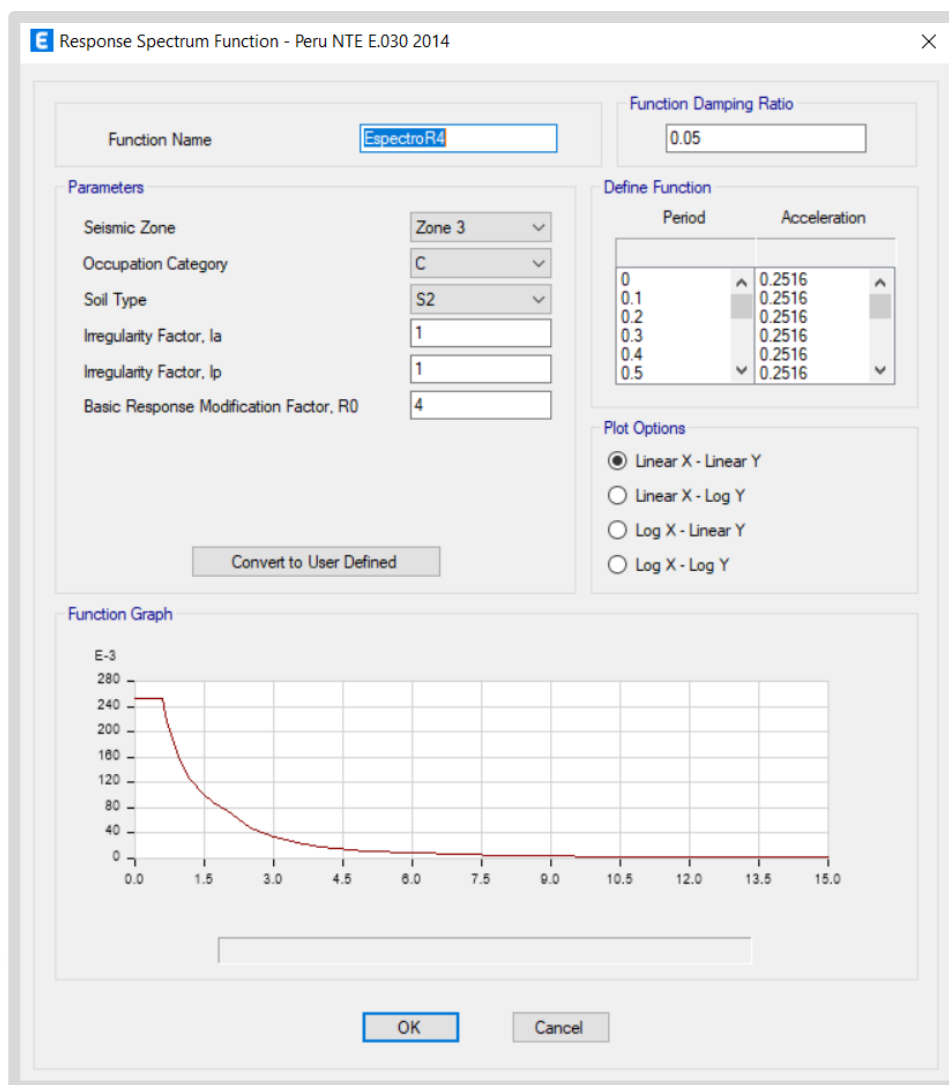


Figura 46: Creación de espectro sistema MDL (Fuente: Etabs)

- MODOS DE VIBRACIÓN

Se tomó 03 modos de vibración por nivel la cual hace un total de 24

Se muestran los primeros modos de vibración que corresponden al eje X,Y.

Tabla 19: Modos de vibración sistema MDL (Fuente: Etabs)

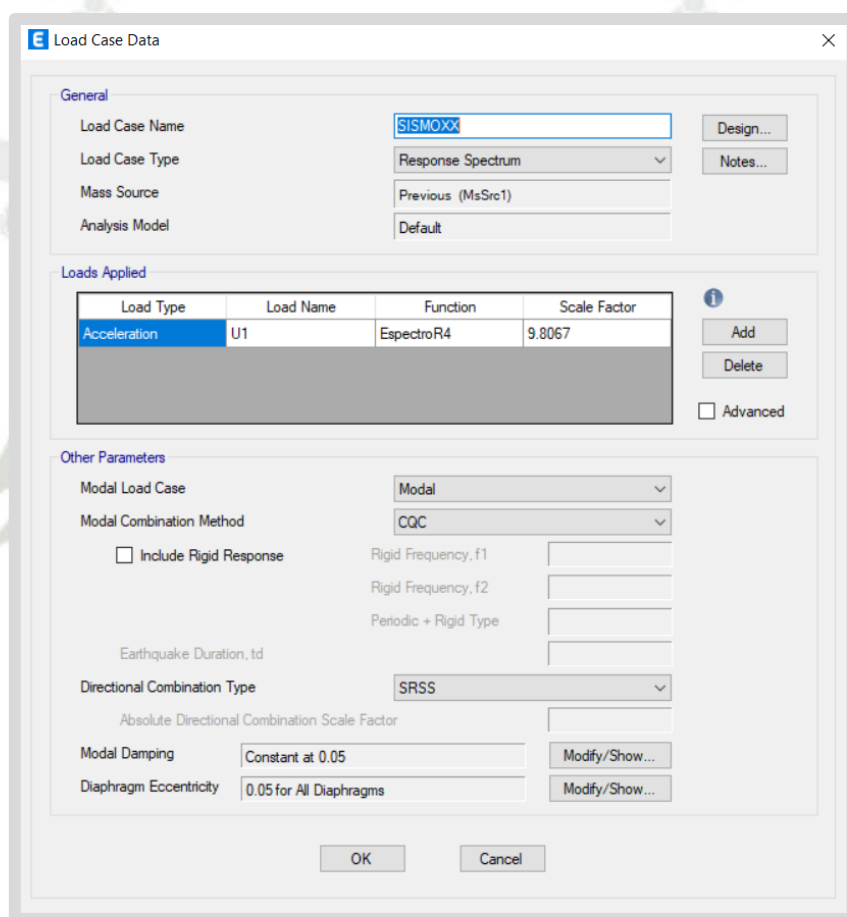
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	0.444	0.0068	0.6325	0	0.0068	0.6325	0.0291
Modal	2	0.386	0.1419	0.0139	0	0.1488	0.6464	0.5207
Modal	3	0.277	0.5351	0.0232	0	0.6839	0.6696	0.1296

Entonces tenemos para nuestro caso los modos de vibración para ambos ejes con sus respectivos periodos:

Modo 1 eje Y: $T_y = 0.6325$

Modo 3 eje X: $T_x = 0.277$

- CREACIÓN DE CARGA DE SISMO



Load Case Data

General

Load Case Name: SISMOXX

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	EspectroR4	9.8067

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Figura 47: Definición de carga de sismo dinámico para eje X sistema MDL (Fuente: Etabs)

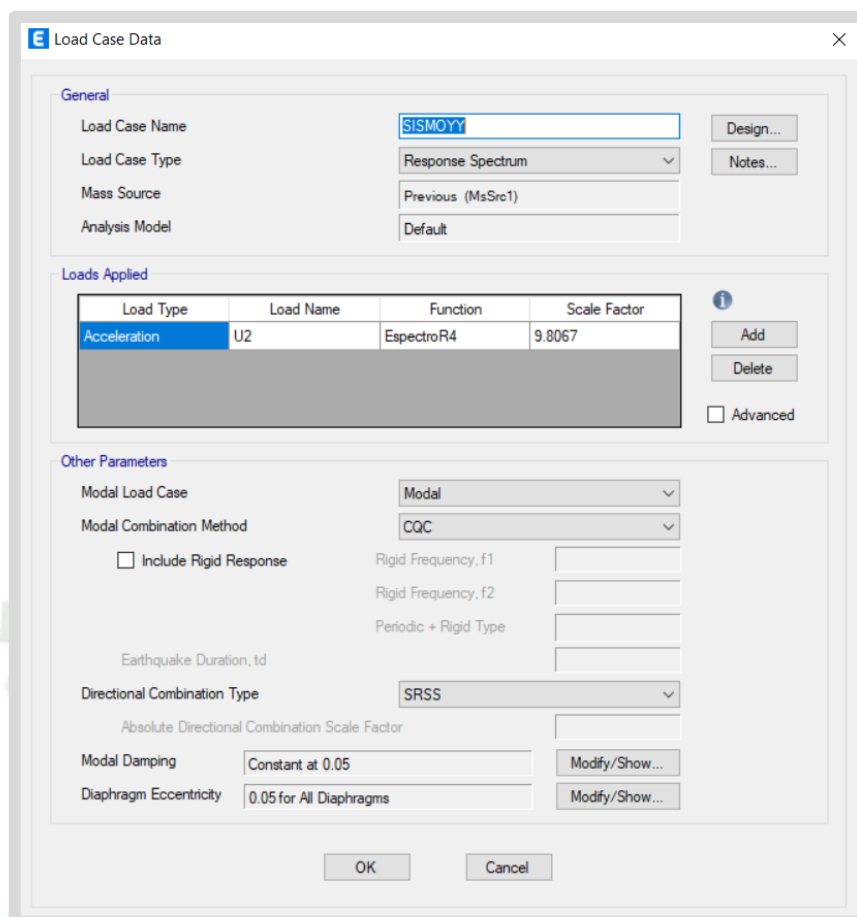


Figura 48: Definición de carga de sismo dinámico para eje Y sistema MDL (Fuente: Etabs)

3.3.5. CONTROL DE DISTORCIONES

3.3.5.1. CONTROL DEL SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

- DETERMINACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Según la norma en el artículo 31 nos dice que, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos.

Para poder cumplir con lo establecido en la norma se procedió a crear una combinación de carga (Load Combination) en ETABS para poder afectar los resultados por

$0.85R = 0.85 \cdot 7 = 4.4625$, a este resultado lo multiplicaremos por 1000 para poder realizar el control de desplazamiento de forma más sencilla.

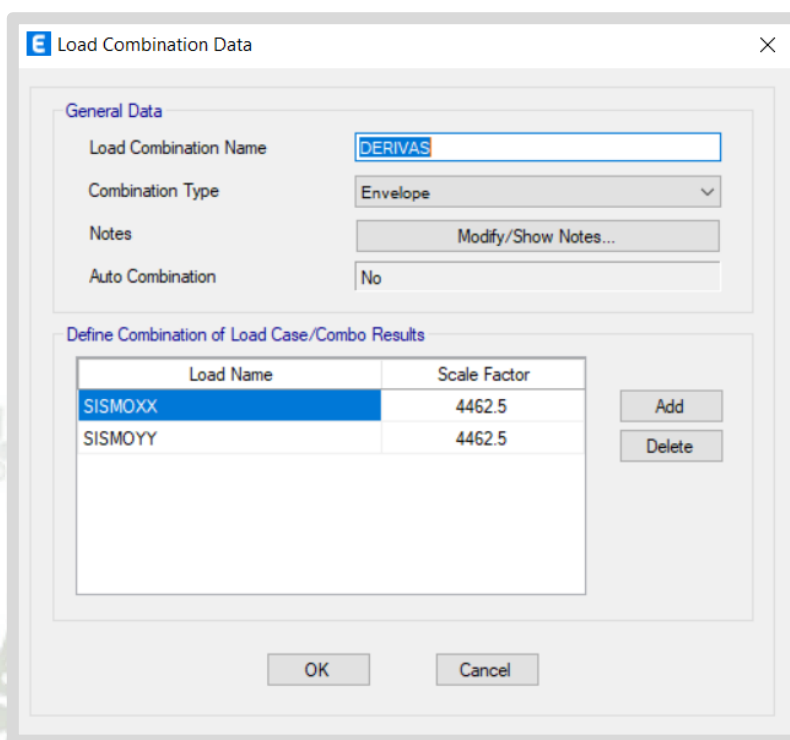


Figura 49: Creación de combinación de cargas sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS ADMISIBLES

Según la norma NTE 030 el límite de distorsión para muros estructurales es de $\Delta_i/h_{ei} < 0.007$

En las siguientes tablas 20 y 21 podemos observar cuáles fueron los Drifts máximos para ambas direcciones y en qué nivel de la edificación se da esto.

Tabla 20: Drifts de la estructura de muros estructurales en dirección X (Fuente: Etabs)

Story	Load Combination	Direction	Drift
Story8	DERIVAS	X	0.00334057
Story7	DERIVAS	X	0.00379526
Story6	DERIVAS	X	0.00420967
Story5	DERIVAS	X	0.00448772
Story4	DERIVAS	X	0.00450268
Story3	DERIVAS	X	0.00412779
Story2	DERIVAS	X	0.00322331
Story1	DERIVAS	X	0.00144859

Tabla 21: Drifts de la estructura muros estructurales en dirección Y (Fuente: Etabs)

Story	Load Combination	Direction	Drift
Story8	DERIVAS	Y	0.00534621
Story7	DERIVAS	Y	0.00575717
Story6	DERIVAS	Y	0.00610857
Story5	DERIVAS	Y	0.00625468
Story4	DERIVAS	Y	0.00605213
Story3	DERIVAS	Y	0.00535711
Story2	DERIVAS	Y	0.00402141
Story1	DERIVAS	Y	0.0017338

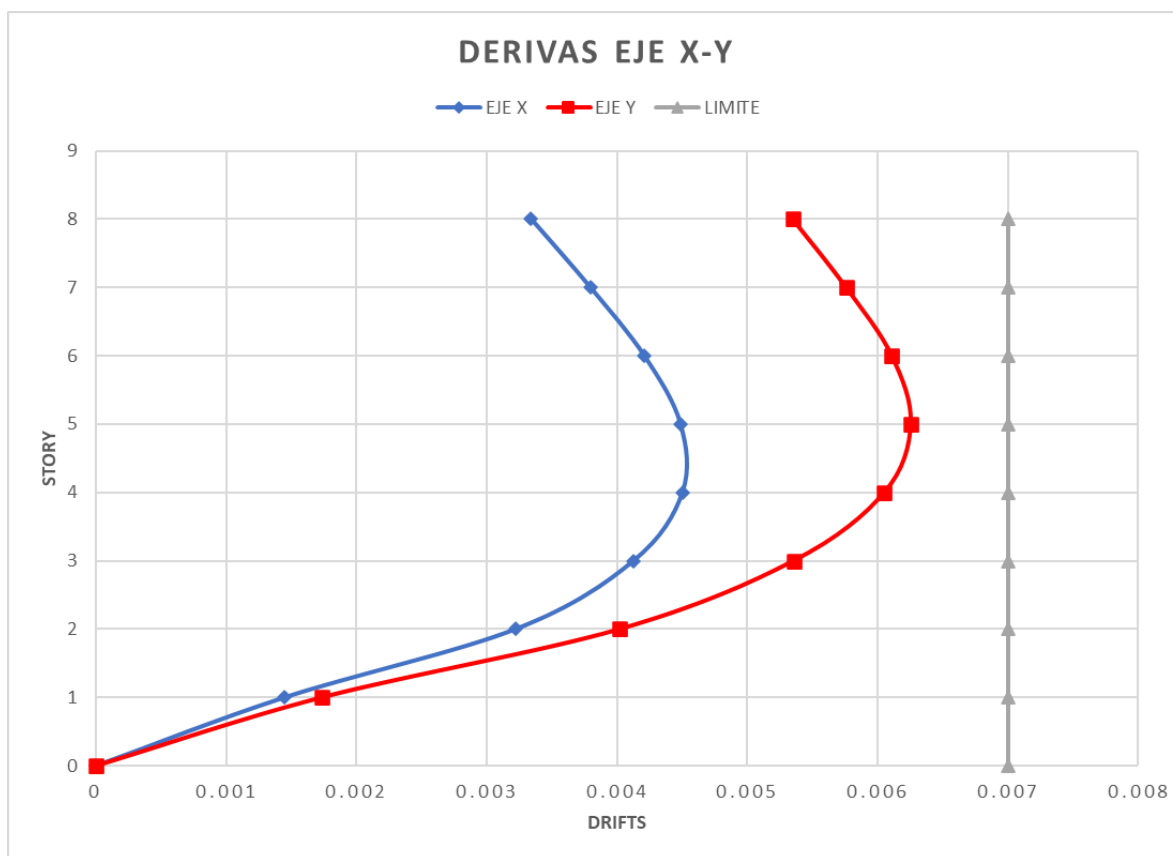


Figura 50: Grafico de drifts sistema muros estructurales eje X-Y y limite

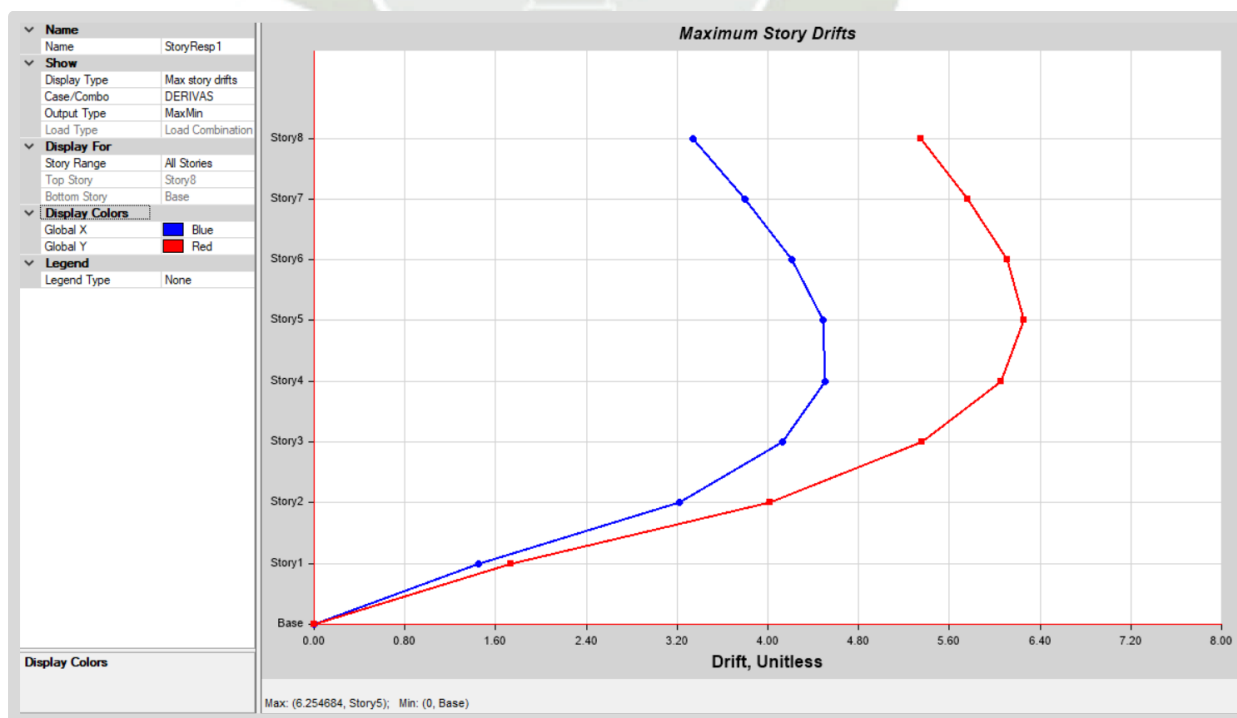


Figura 51: Grafico de drifts sistema muros estructurales eje X-Y (Fuente: Etabs)

Podemos observar que tanto para el eje X y Y los drifts o derivas no superaron el valor de 0.007 que indica la norma, por lo tanto, está correcto.

3.3.5.2. CONTROL DEL SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- DETERMINACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Según la norma para edificaciones regulares los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico.

Para poder cumplir con lo establecido en la norma se procedió a crear una combinación de carga (Load Combination) en ETABS para poder afectar los resultados por $0.75R = 0.75 \cdot 4 = 3$, a este resultado lo multiplicaremos por 1000 para poder realizar el control de desplazamiento de forma más sencilla.

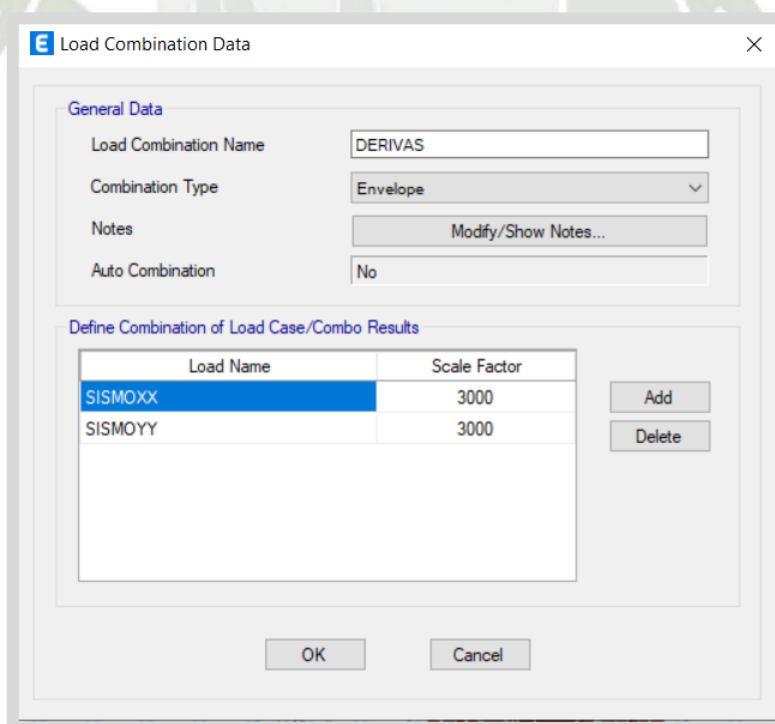


Figura 52: Creación de combinación de cargas sistema MDL (Fuente: Etabs)

- DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS ADMISIBLES

Según la norma NTE 030 el límite de distorsión para muros de ductilidad limitada es de $\Delta_i/h_{ei} < 0.005$

En las siguientes tablas 22 y 23 podemos observar cuales son los drifts máximos para ambas direcciones y en qué nivel de la edificación se da.

Tabla 22: Drifts de la estructura MDL en dirección X (Fuente: Etabs)

Story	Load Combination	Direction	Drift
Story8	DERIVAS	X	0.00187193
Story7	DERIVAS	X	0.00188807
Story6	DERIVAS	X	0.00186159
Story5	DERIVAS	X	0.00176704
Story4	DERIVAS	X	0.00159019
Story3	DERIVAS	X	0.00132003
Story2	DERIVAS	X	0.00094551
Story1	DERIVAS	X	0.00043404

Tabla 23: Drifts de la estructura MDL en dirección Y (Fuente: Etabs)

Story	Load Combination	Direction	Drift
Story8	DERIVAS	Y	0.00482407
Story7	DERIVAS	Y	0.00485926
Story6	DERIVAS	Y	0.00479444
Story5	DERIVAS	Y	0.00455496
Story4	DERIVAS	Y	0.00408136
Story3	DERIVAS	Y	0.0033544
Story2	DERIVAS	Y	0.0023821
Story1	DERIVAS	Y	0.00097995

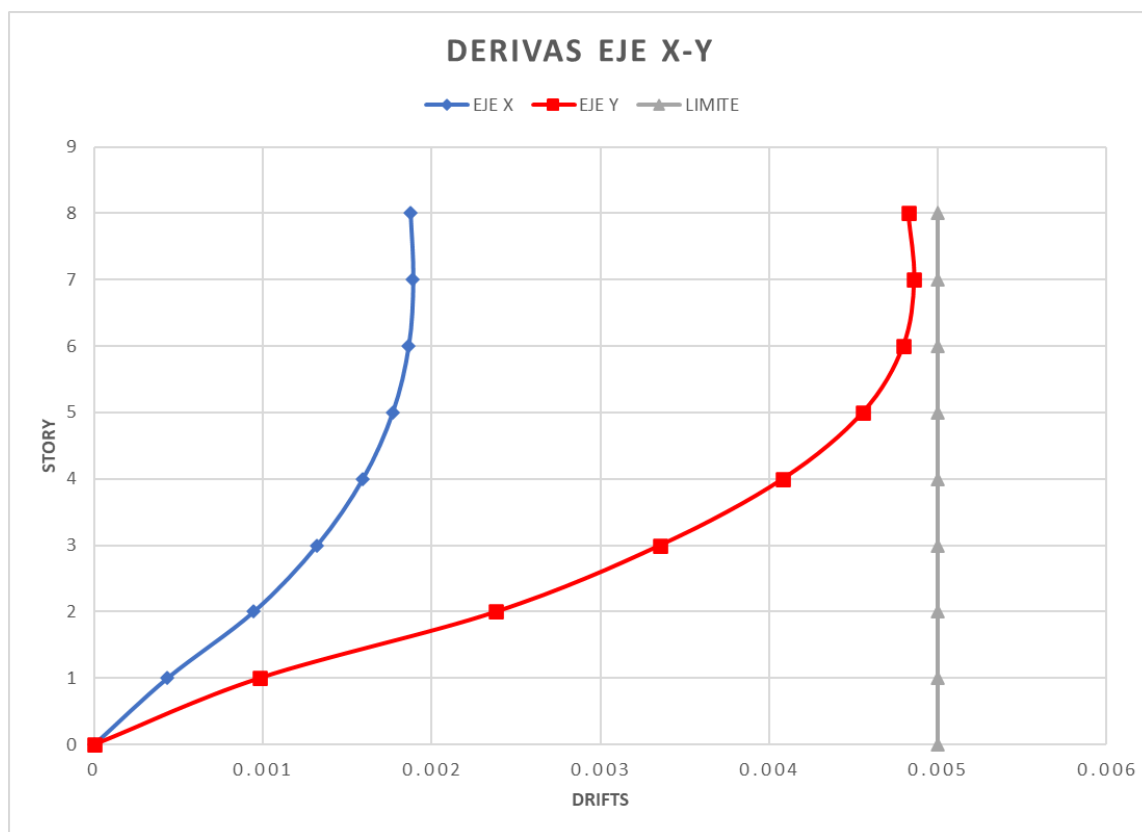


Figura 53: Grafico de drifts sistema MDL eje X-Y y limite

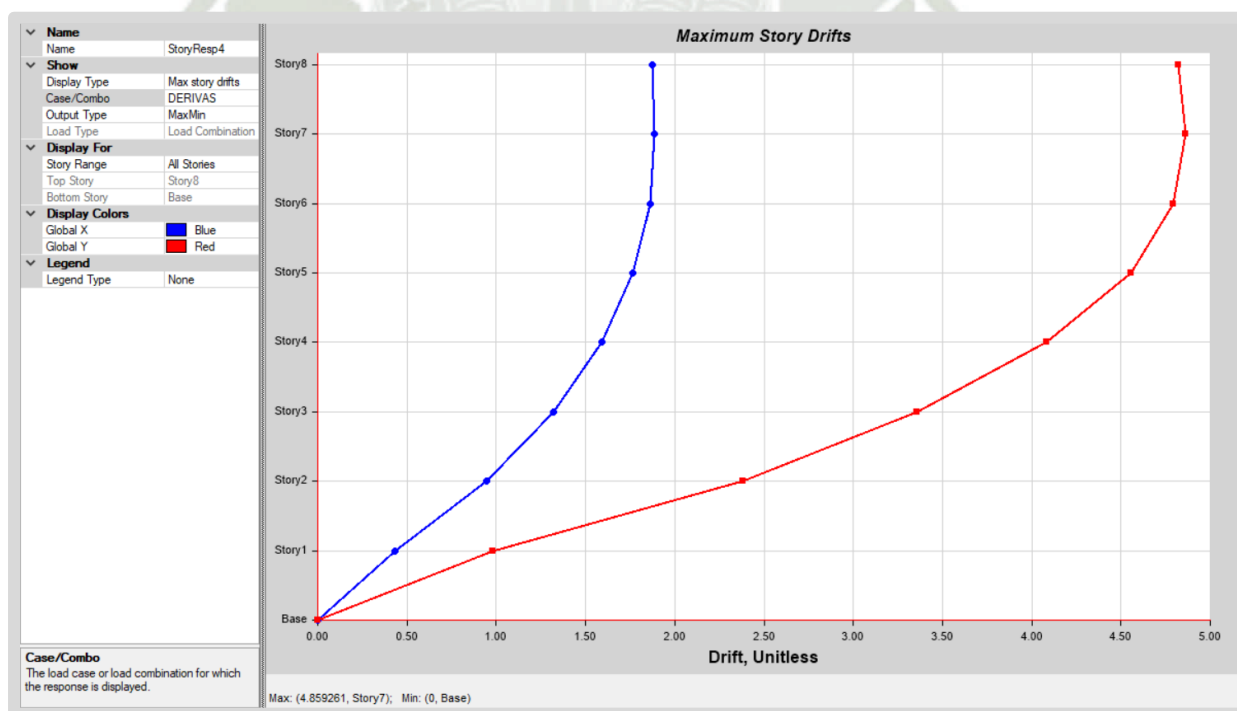


Figura 54: Grafico de drifts sistema MDL eje X-Y (Fuente: Etabs)

3.4. APLICACIÓN DEL ANALISIS ESTAICO NO LINEAL (PUSHOVER)

3.4.1. MODELO COMPUTACIONAL

Habiendo ya realizado el modelamiento en el análisis lineal de la edificación con la respectiva definición de materiales, secciones de elementos estructurales y cargas estipuladas de acuerdo a la norma; se agregó el acero a vigas, columnas y placas según los planos de estructuras.

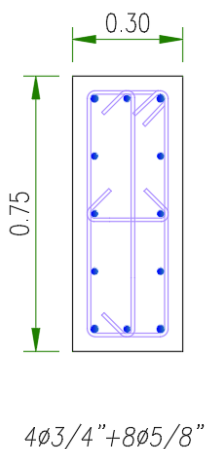
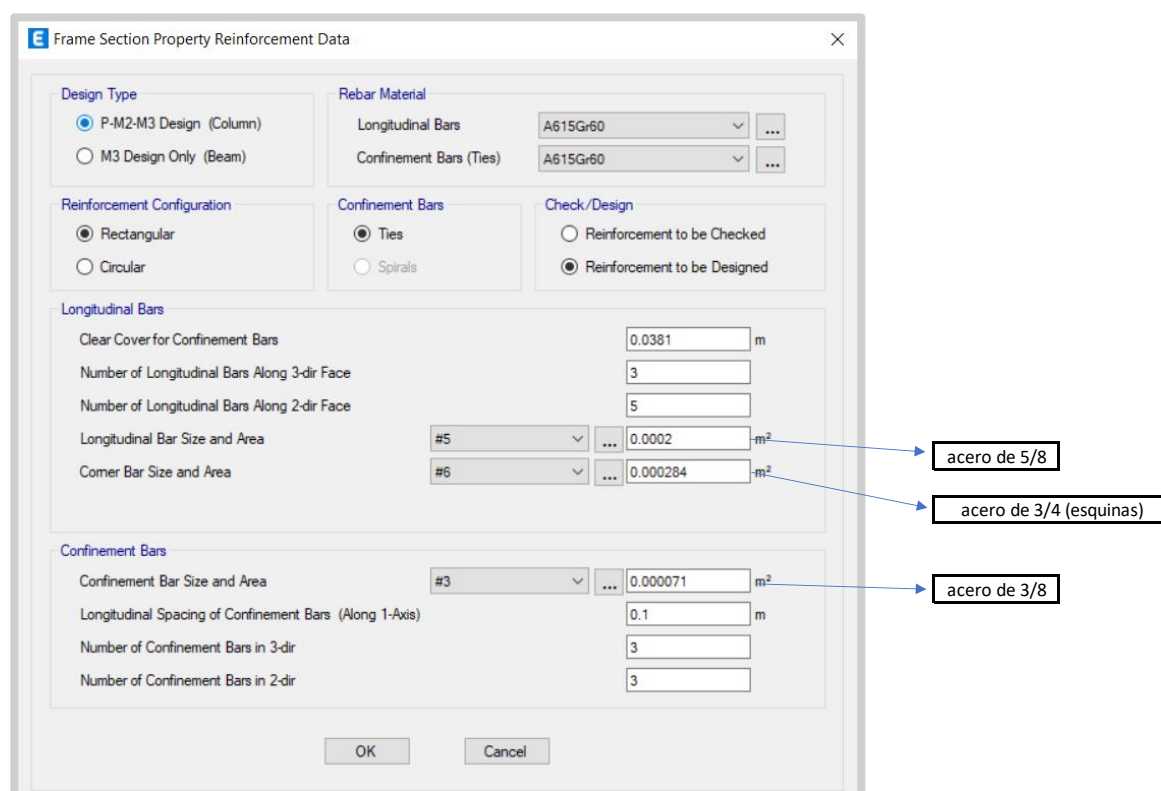
Tabla 24: Diámetros y área de aceros

# ACERO	DIAMETRO (pulg)	DIAMETRO (mm)	AREA (mm ²)	AREA (m ²)
#2	1/4	6.4	32	0.000032
#3	3/8	9.5	71	0.000071
#4	1/2	12.7	129	0.000129
#5	5/8	15.9	199	0.000199
#6	3/4	19.1	284	0.000284
#7	7/8	22.2	387	0.000387
#8	1	25.4	510	0.00051
#9	1 1/8	28.7	645	0.000645
#10	1 1/4	32.3	819	0.000819
#11	1 3/8	35.8	1006	0.001006
#14	1 3/4	43	1452	0.001452
#18	2 1/4	57.3	2581	0.002581

3.4.1.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

- ACERO COLUMNAS

Se usó como ejemplo la columna C-1 de 30x75

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

- ☒ P-M2-M3 Design (Column)
- ☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Reinforcement Configuration

- ☒ Rectangular
- ☐ Circular

Confinement Bars

- ☒ Ties
- ☐ Spirals

Check/Design

- ☐ Reinforcement to be Checked
- ☒ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 0.0381 m

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: #5 ... 0.0002 m²

Corner Bar Size and Area: #6 ... 0.000284 m²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: #3 ... 0.000071 m²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.1 m

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

acero de 5/8

acero de 3/4 (esquinas)

acero de 3/8

Figura 55: Asignación de acero para columnas (Fuente: Etabs)

- ACERO VIGAS

Se usó como ejemplo la viga V-102 que tiene una sección de 25x40 como se ve en la figura 55.

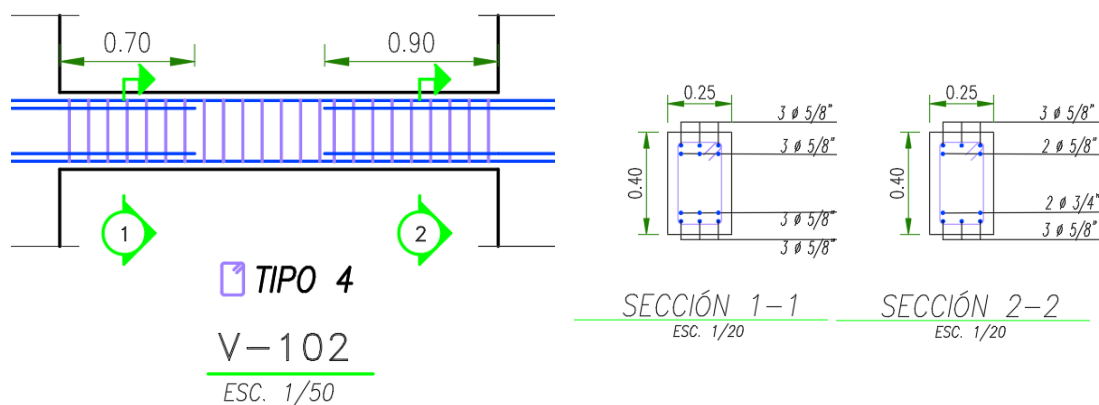


Figura 56: Detalle de Viga

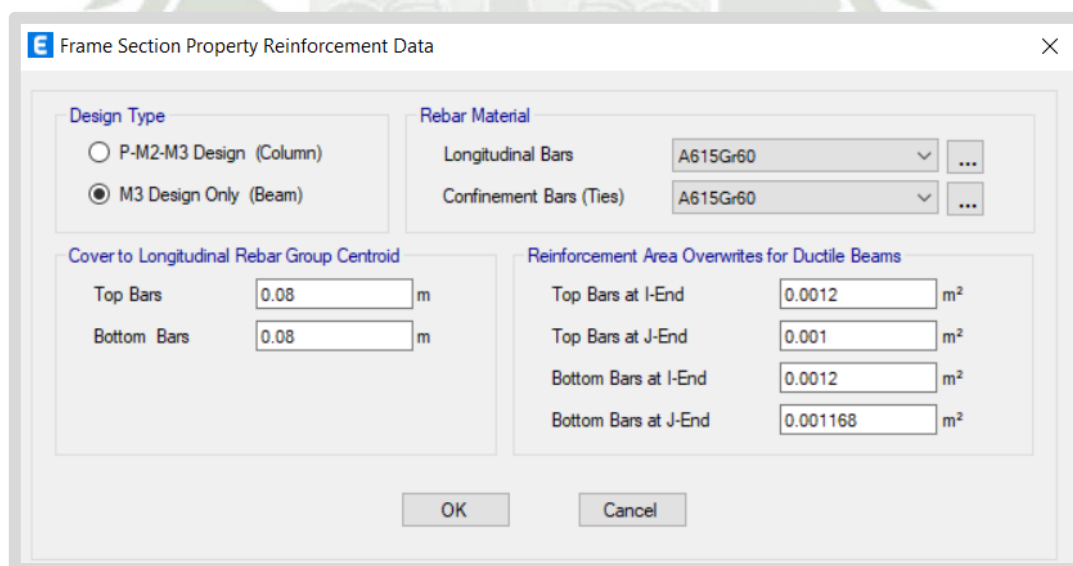


Figura 57: Asignación de acero a viga (Fuente: Etabs)

Tabla 25: Detalle de cálculo de área de acero para viga

DESCRIPCION		CANT. ACERO	AREA TOTAL m2
Top Bars at I-End	Acero sup izquierdo	6Ø5/8	0.0012
Top Bars at J-End	Acero sup derecho	5Ø5/8	0.001
Bottom Bars at I-End	Acero Inf izquierdo	6Ø5/8	0.0012
Bottom Bars at J-End	Acero Inf derecho	2Ø3/4 - 3Ø5/8	0.001168

- ACERO PLACAS

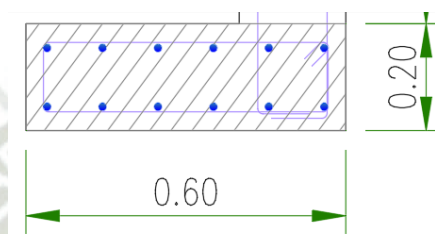


Figura 58: Sección de placa

Wall Hinge Reinforcement

Rebar Material

Material Flexure: A615Gr60

Material Shear: A615Gr60

Bar Clear Cover: 0.0381 m

Layout

Geometry

Start X (m)	Start Y (m)	End X (m)	End Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Start Zone Size (m)	End Zone Size (m)
9.75	8.35	9.75	7.85	0.5	0.2	0.5	0

Reinforcement

Flexural Detail - Each Face

Station	Bar Size	Bar Spacing (m)	Number of Bars
Start	#5		6
Center	#5	0.3048	0
End	#8		0

Flexural Detail (Additional Individual Bars)

Material	Distance (m)	Area (m2)
*		

Shear/Confinement Detail

Station	Bar Size	Bar Spacing (m)	Confined
Start	#5	0.1524	No
Center	#5	0.3048	No
End	#5	0.1524	Yes

OK Cancel

Figura 59: Asignación de acero para placa (Fuente: Etabs)

3.4.1.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- ACERO PLACAS

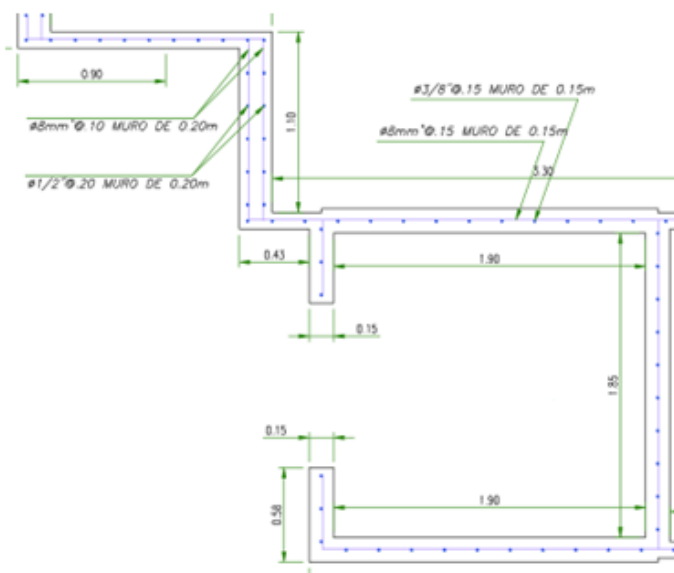


Figura 60: Detalle de acero en MDL

3.4.2. NO LINEALIDAD DEL MATERIAL

3.4.2.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

En la figura 59 podemos observar la gráfica donde se comparó la curva esfuerzo – deformación de un concreto confinado y sin confinar. Se puede observar que para el concreto confinado según Mander este tiene mayor capacidad de deformación y por ende más resistencia a la compresión.

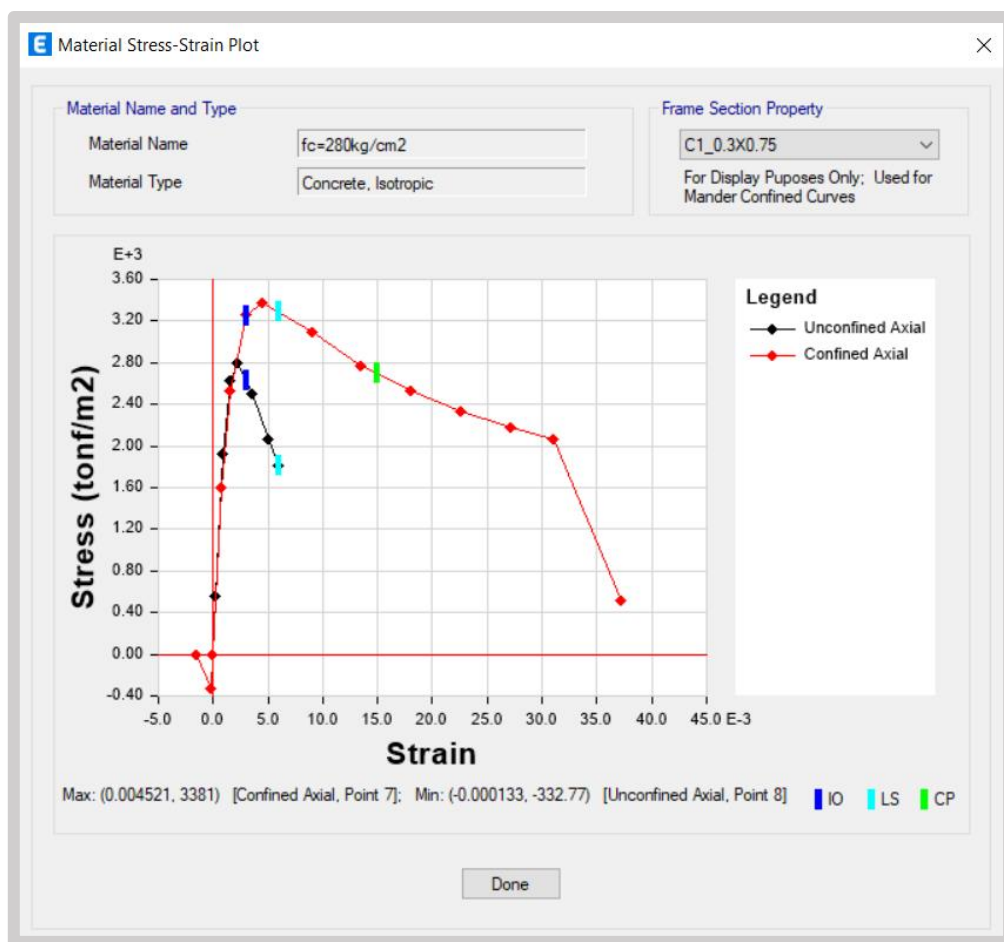


Figura 61: Grafica concreto confinado y sin confinar para muros estructurales (Fuente: Etabs)

3.4.2.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Para el caso de sistema de MDL los muros son elementos sin confinar, pero si se pudo observar el diagrama esfuerzo – deformación del concreto $f'_c=175\text{kg/cm}^2$ que se utiliza para los muros.

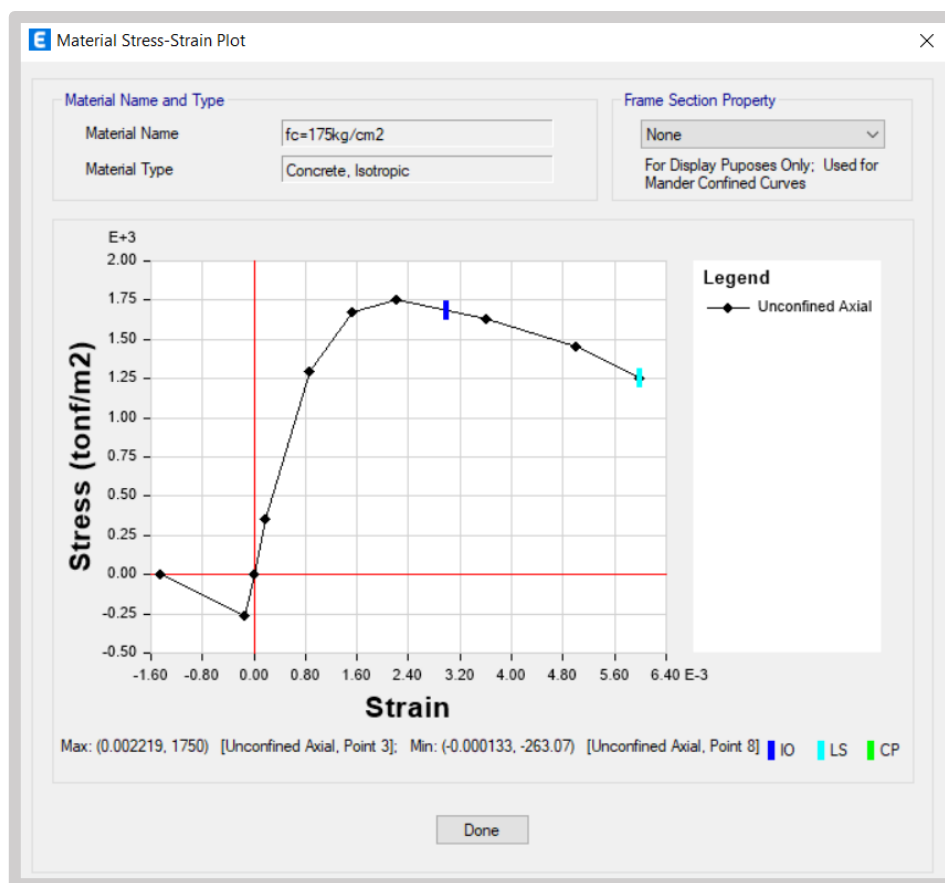


Figura 62: Grafica concreto confinado para MDL (Fuente: Etabs)

3.4.3. CREACION DE CASO DE CARGA POR GRAVEDAD

3.4.3.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Como primer paso fue necesario crear un caso de carga por gravedad de manera que todo el peso de la edificación pueda deformar la misma y por ende disminuya la rigidez, se consideró los valores de 100% para CM y 25% para CV. Este estado de carga fue el punto de partida (Zero Initial Conditions) para después agregar los siguientes casos de carga monotónica.

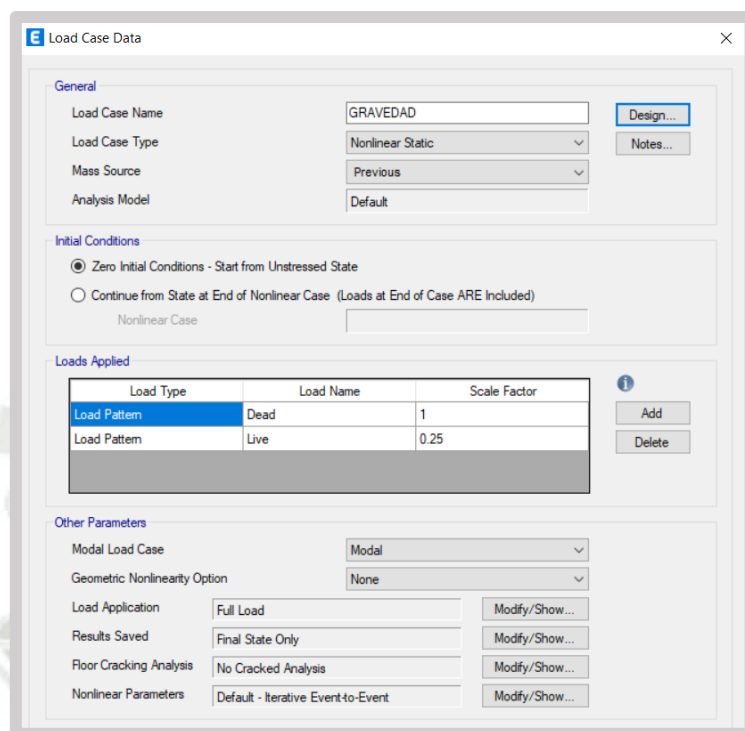


Figura 63: Creación de caso de carga por gravedad sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

3.4.3.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

De igual manera para este sistema se creó como primer caso de carga de gravedad partiendo como condición inicial con sus respectivos valores de CM y CV.

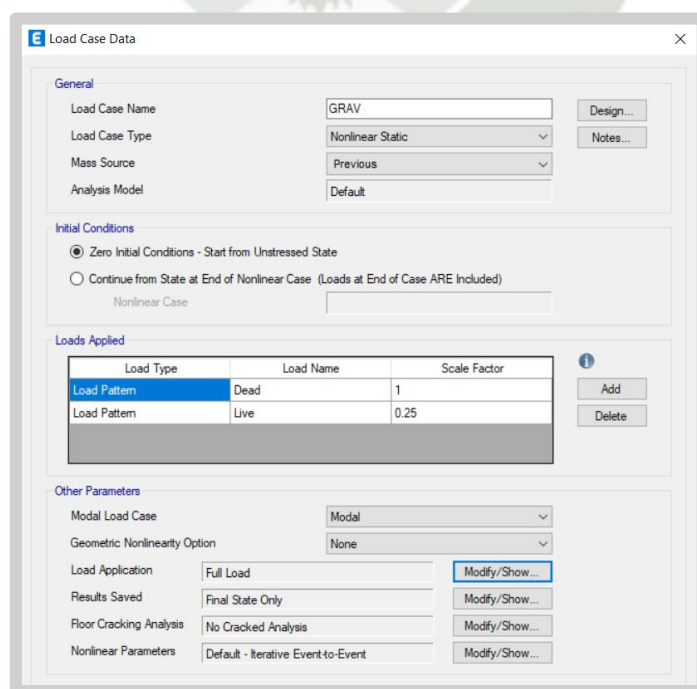


Figura 64: Creación de caso de carga por gravedad sistema MDL (Fuente: Etabs)

3.4.4. CREACION DEL CASO DE CARGA MONOTONICA

3.4.4.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

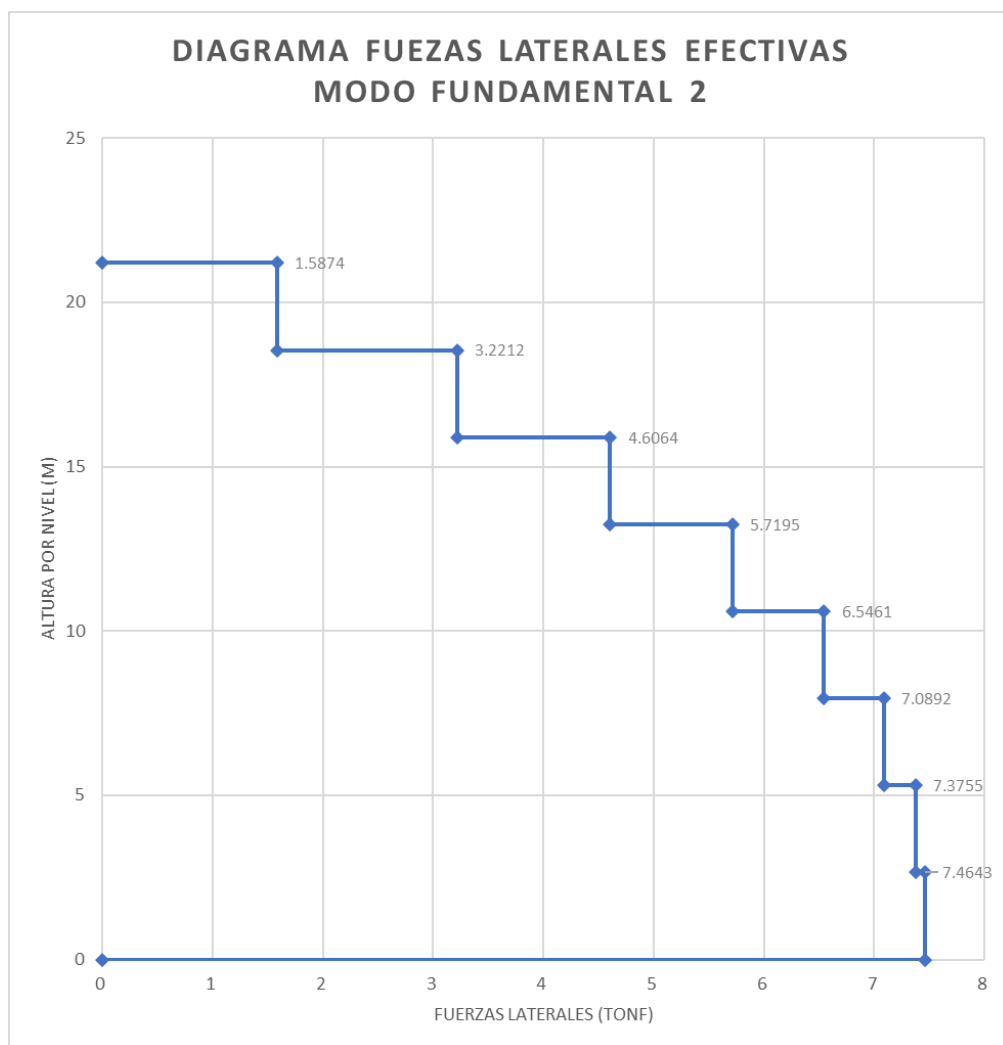
Se creó el caso de carga monotónica para ambos sentidos X, Y partiendo esta vez desde el estado de carga por gravedad. Debemos tener en cuenta algunos parámetros como “Load Name” que se refiere al modo de vibración, para el caso de la carga monotónica en dirección X tendremos el valor de 2 ya que el segundo modo de vibración corresponde a esta dirección teniendo un aporte de masa de 67.94% y 1 para el modo de vibración en sentido Y teniendo un aporte de masa de 61.3%.

Tabla 26: Modos de vibración sistema de muros estructurales (Fuente: Etabs)

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	0.515	0.0102	0.613	0	0.0102	0.613	0.0705
Modal	2	0.479	0.6794	0.0029	0	0.6897	0.6159	0.0298
Modal	3	0.388	0.0183	0.0799	0	0.708	0.6958	0.5983
Modal	4	0.128	0.0433	0.0875	0	0.7513	0.7833	0.0246
Modal	5	0.123	0.0991	0.0623	0	0.8503	0.8455	1.415E-05
Modal	6	0.096	0.0138	0.0153	0	0.8641	0.8608	0.1345
Modal	7	0.057	0.0356	0.0133	0	0.8997	0.8741	0.0097
Modal	8	0.054	0.0182	0.0439	0	0.9179	0.918	0.0004
Modal	9	0.042	0.0066	0.0052	0	0.9246	0.9232	0.0517

- MODO FUNDAMENTAL PARA DIRECCION “X”

En la figura 65 vemos el diagrama de fuerzas del análisis modal y en la tabla 27 los valores de este diagrama obtenidos del programa Etabs. Luego con estos datos podemos obtener la distribución de fuerzas laterales efectivas por nivel para este modo fundamental.



*Figura 65: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales
(Fuente: propia)*

Tabla 27: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales (Fuente: Etabs)

NIVEL	ELEVACIÓN (M)	X-Dir (tonf)
Nivel 08	21.2	1.5874
Nivel 07	18.55	3.2212
Nivel 06	15.9	4.6064
Nivel 05	13.25	5.7195
Nivel 04	10.6	6.5461
Nivel 03	7.95	7.0892
Nivel 02	5.3	7.3755
Nivel 01	2.65	7.4643
Base	0	0

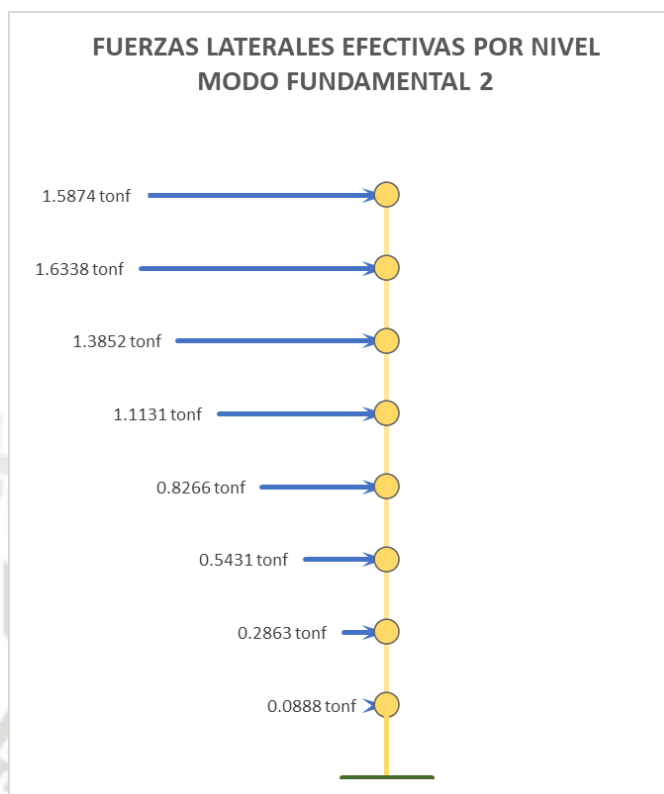


Figura 66: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales (Fuente: propia)

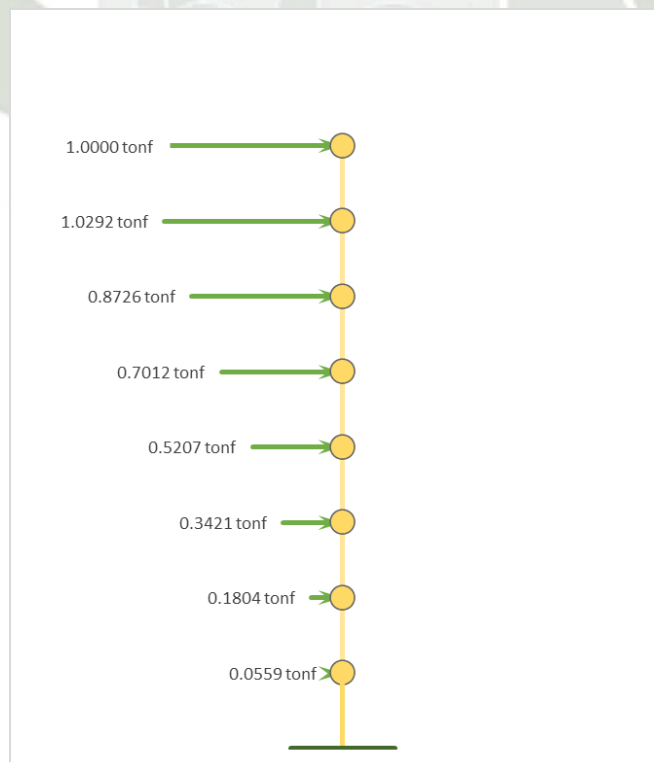


Figura 67: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 2 XX muros estructurales (Fuente: propia)

- PATRON DE CARGA LATERAL EN DIRECCION "X"

Sabemos que el modo fundamental 2 corresponde para la dirección X, este debe ser proporcional a este modo fundamental. En la figura 68 podemos ver los valores de este patrón de carga lateral para cada nivel producido por la creación del caso de carga monotónica.

Para poder comprobar que este patrón de cargas es proporcional al modo fundamental utilizamos los valores de la figura 67 donde se iguala la fuerza efectiva del último nivel a un valor de 1 tonf y los valores de los niveles inferiores respecto a este valor para utilizarlos como un factor y ver que existe proporcionalidad con las fuerzas laterales del caso de carga monotónica.

Tabla 28: Fuerzas laterales por nivel en dirección X sistema de muros estructurales (Fuente: Propia)

NIVEL	FUERZA LAT NIVEL 08	FACTOR	FUERZA LAT POR NIVEL
NIVEL 08	2.7346	1	2.7346
NIVEL 07	2.7346	1.0292	2.8145
NIVEL 06	2.7346	0.8726	2.3862
NIVEL 05	2.7346	0.7012	1.9175
NIVEL 04	2.7346	0.5207	1.4239
NIVEL 03	2.7346	0.3421	0.9355
NIVEL 02	2.7346	0.1804	0.4933
NIVEL 01	2.7346	0.0559	0.1529

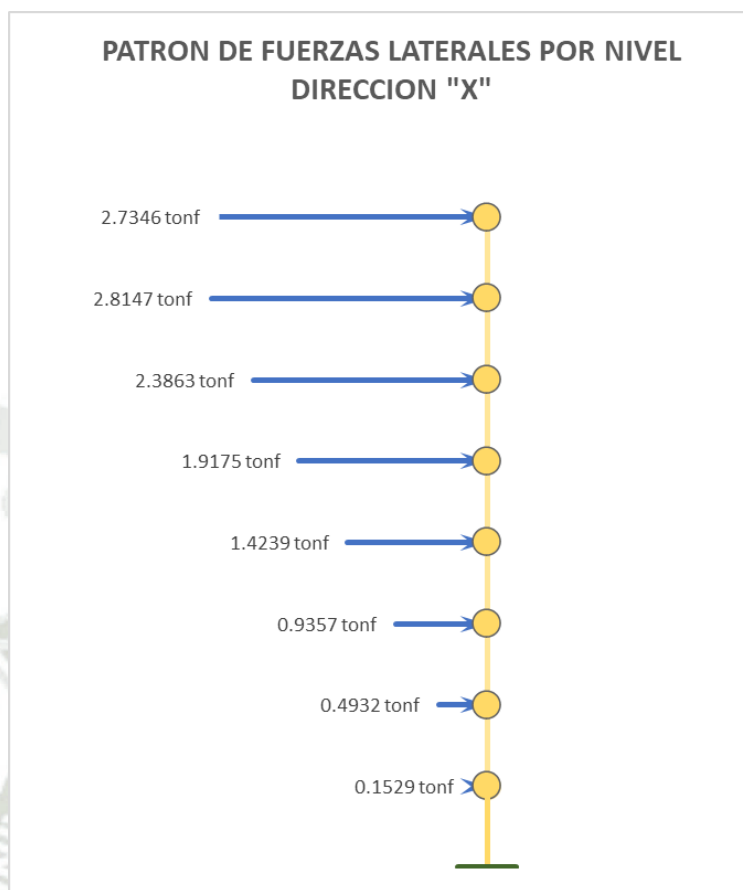
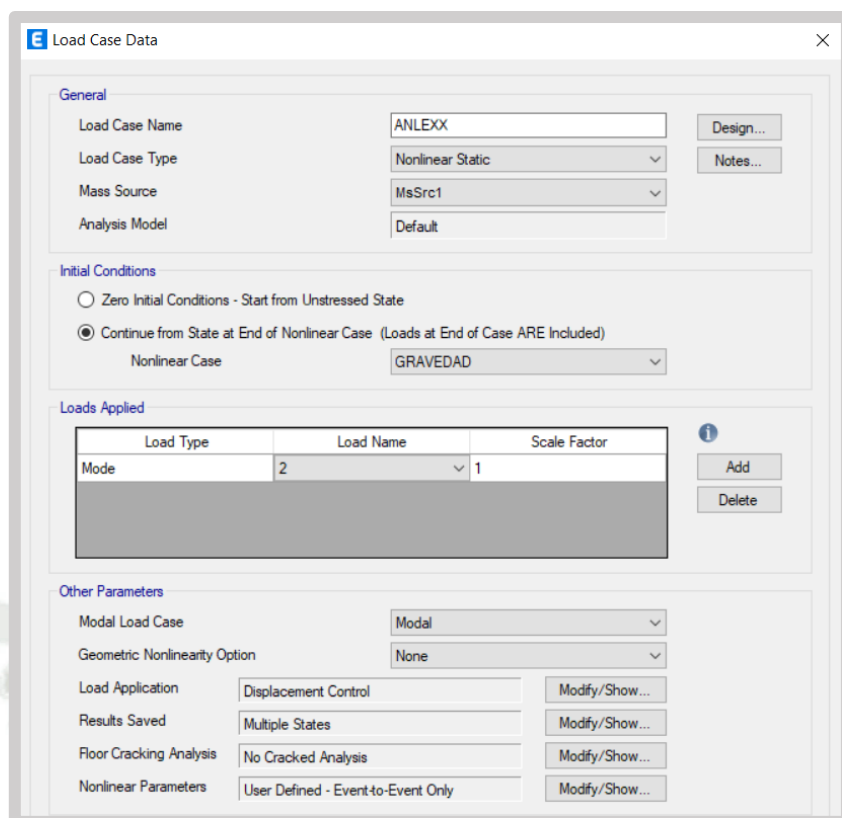


Figura 68: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica XX muros estructurales (Fuente: propia)



Load Case Data

General

Load Case Name: ANLEXX [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAVEDAD

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

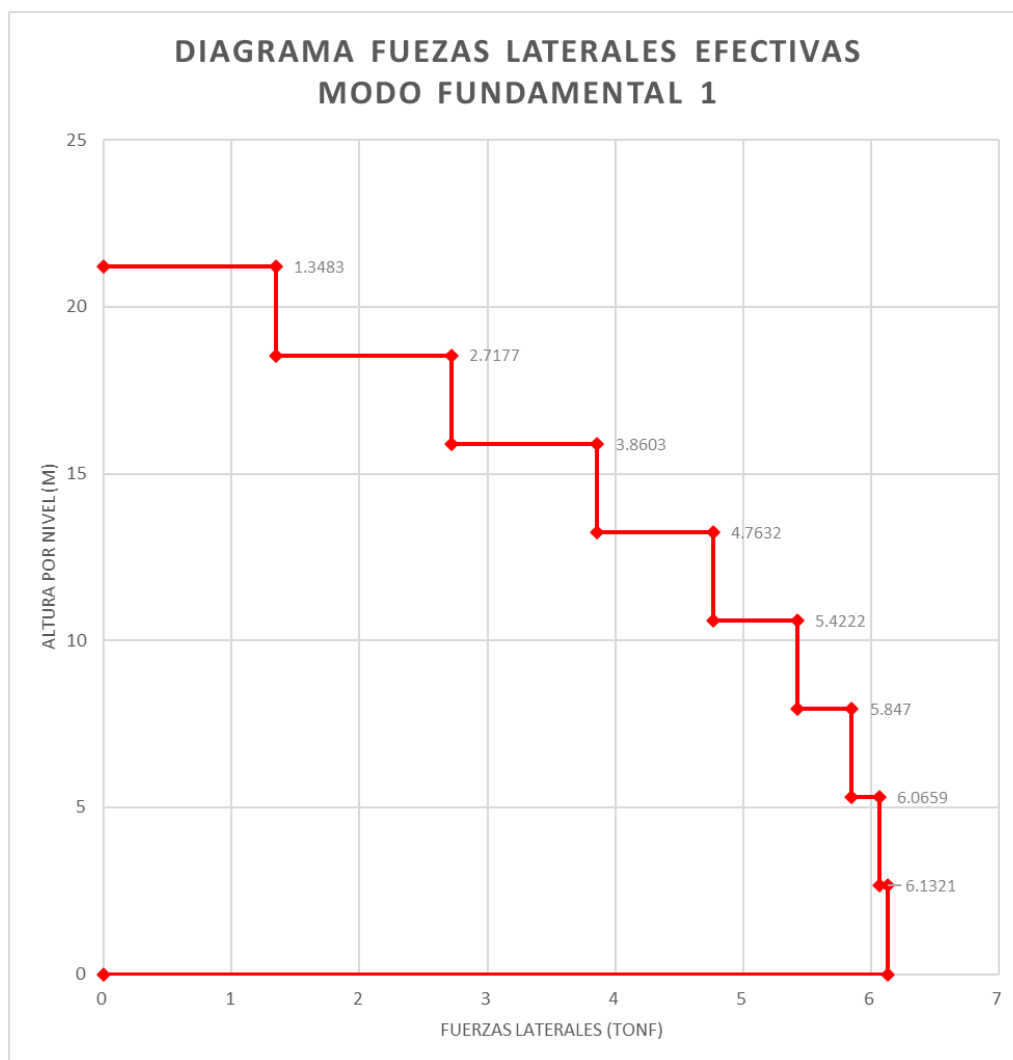
Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only [Modify/Show...]

Figura 69: Creación del caso de carga monotónica en dirección X sistema muros estructurales
(Fuente: Etabs)

- MODO FUNDAMENTAL PARA DIRECCION "Y"

En la figura 70 vemos el diagrama de fuerzas del análisis modal y en la tabla 29 los valores de este diagrama obtenidos del programa Etabs



*Figura 70: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales
(Fuente: propia)*

Tabla 29: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales (Fuente: Etabs)

NIVEL	ELEVACIÓN (M)	Y-Dir (tonf)
Nivel 08	21.2	1.3483
Nivel 07	18.55	2.7177
Nivel 06	15.9	3.8603
Nivel 05	13.25	4.7632
Nivel 04	10.6	5.4222
Nivel 03	7.95	5.847
Nivel 02	5.3	6.0659
Nivel 01	2.65	6.1321
Base	0	0

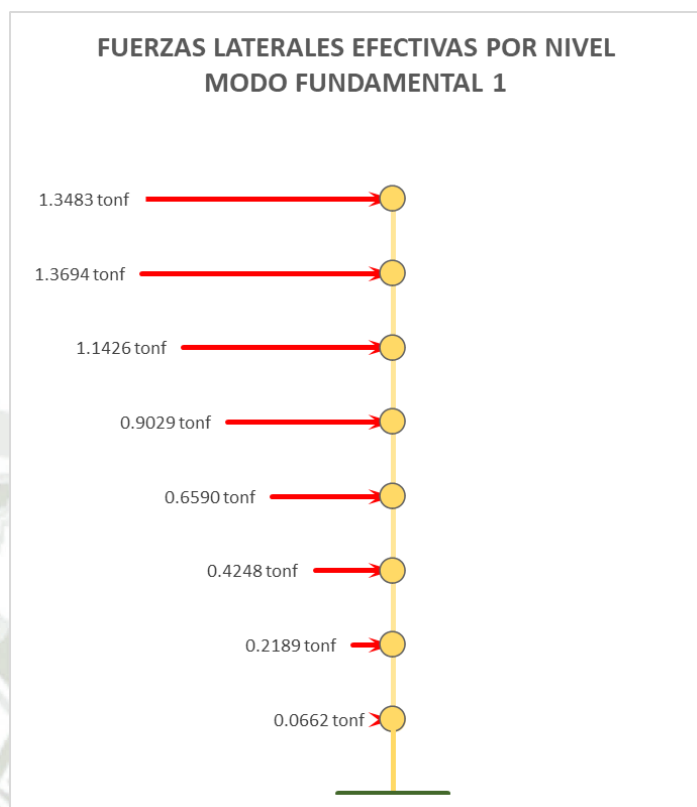


Figura 71: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales (Fuente: propia)

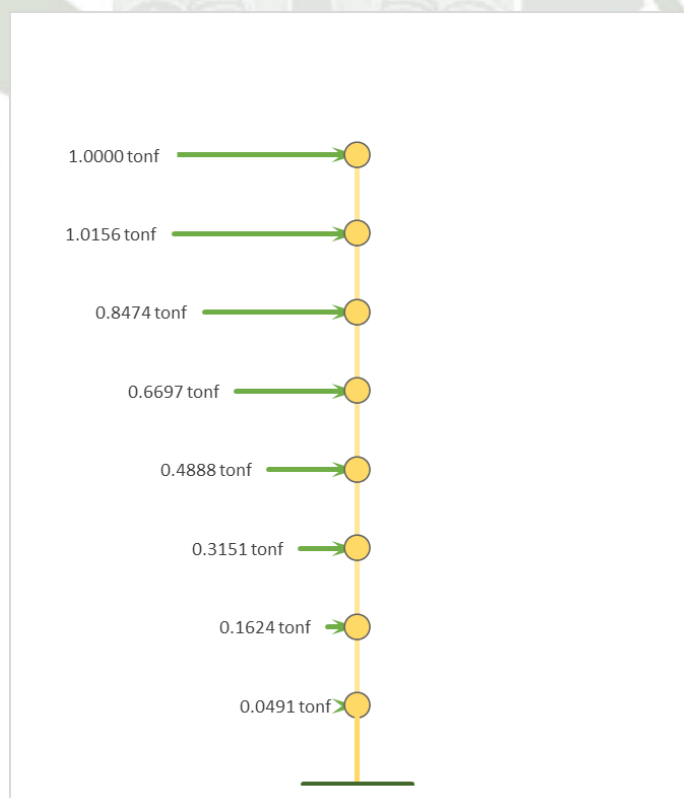


Figura 72: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY muros estructurales (Fuente: propia)

- PATRON DE CARGA LATERAL EN DIRECCION “Y”

Sabemos que el modo fundamental 1 corresponde para la dirección Y, este debe ser proporcional a este modo fundamental. En la figura 73 podemos ver los valores de este patrón de carga lateral para cada nivel producido por la creación del caso de carga monotónica.

Tabla 30: Fuerzas laterales por nivel en dirección Y sistema de muros estructurales (Fuente: Etabs)

NIVEL	FUERZA LAT NIVEL 08	FACTOR	FUERZA LAT POR NIVEL
NIVEL 08	4.7577	1	4.7577
NIVEL 07	4.7577	1.0156	4.8320
NIVEL 06	4.7577	0.8474	4.0317
NIVEL 05	4.7577	0.6697	3.1862
NIVEL 04	4.7577	0.4888	2.3256
NIVEL 03	4.7577	0.3151	1.4992
NIVEL 02	4.7577	0.1624	0.7727
NIVEL 01	4.7577	0.0491	0.2336

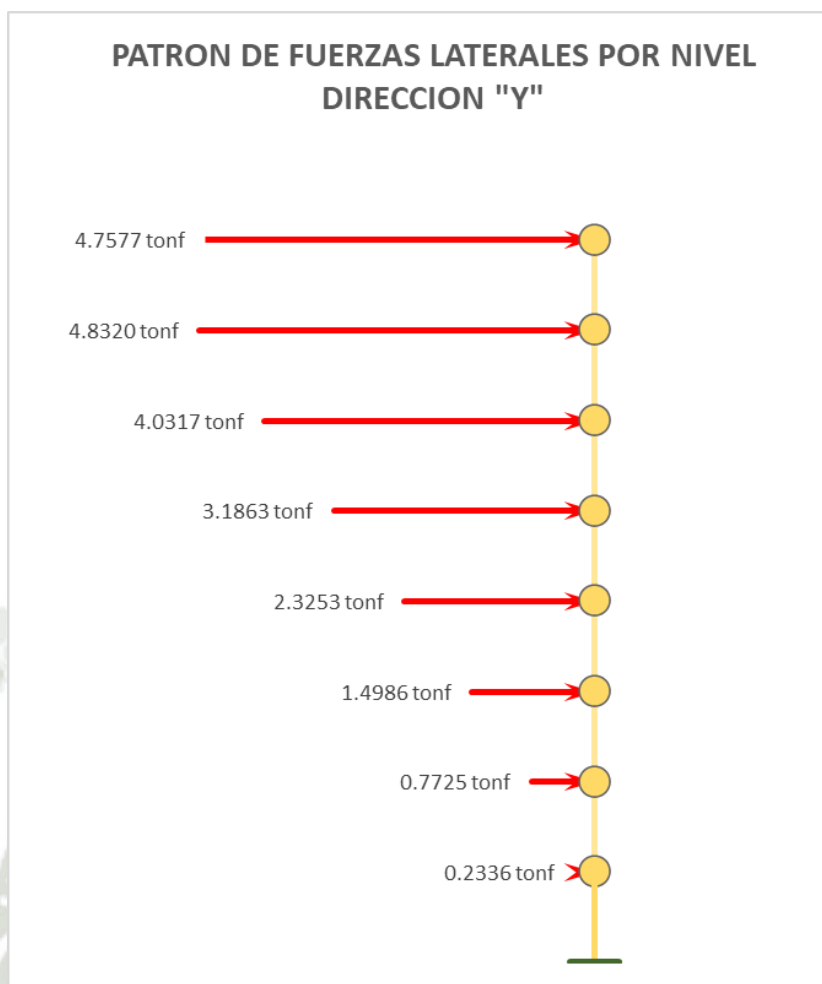
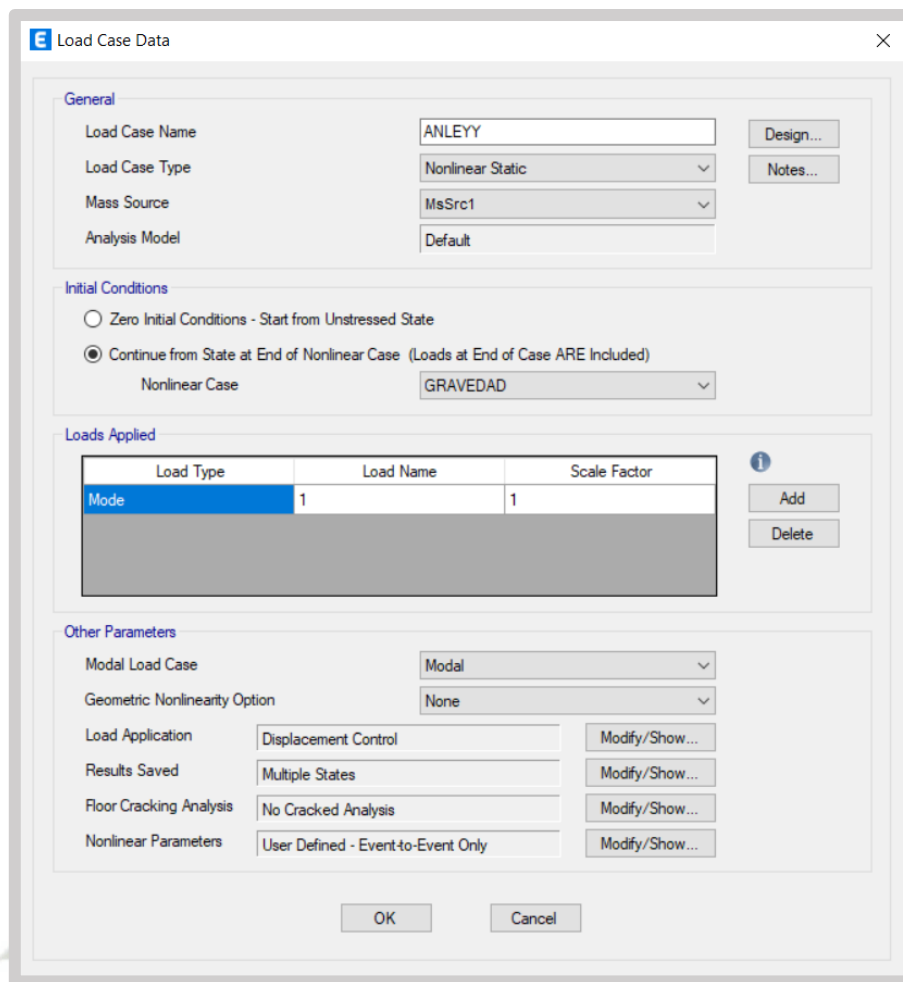


Figura 73: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica YY muros estructurales (Fuente: propia)



Load Case Data

General

Load Case Name: ANLEY

Load Case Type: Nonlinear Static

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAVEDAD

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control

Results Saved: Multiple States

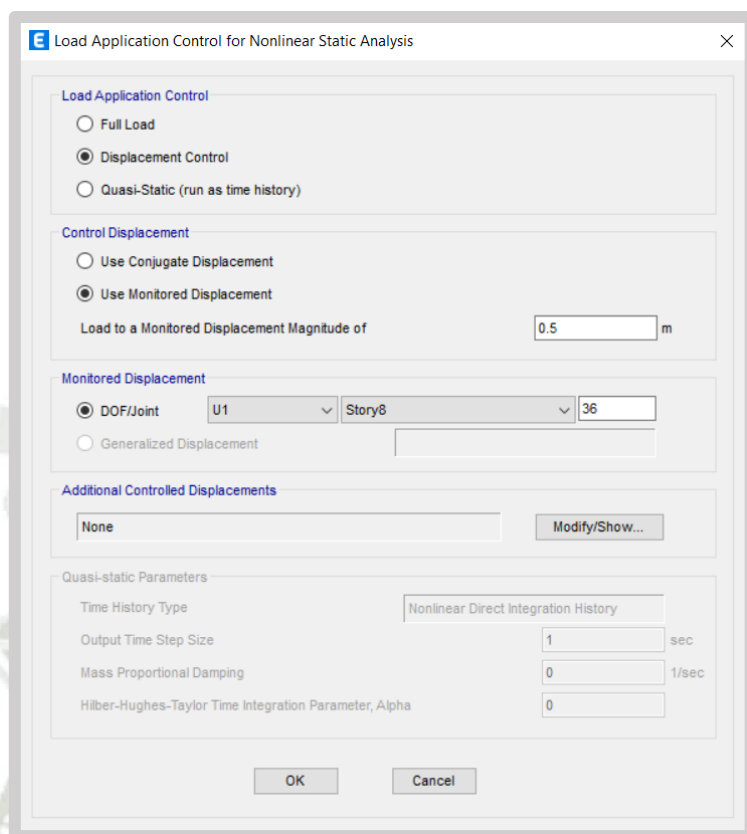
Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only

OK Cancel

Figura 74: Creación del caso de carga monótonica en dirección Y sistema muros estructurales
(Fuente: Etabs)

Se realizó algunas modificaciones para tener un desplazamiento controlado, se consideró para la dirección X un desplazamiento controlado de 0.5m siendo un poco elevado con el objetivo de ampliar el rango de análisis en la curva de capacidad que se obtendrá al finalizar el análisis. Cabe resaltar que este desplazamiento controlado se aplicó en el último nivel (story 08), U1 se refiere a la dirección X y tomamos como referencia el punto 36 que se ubica muy cerca al centro de masa de la edificación.



Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

☐ Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of m

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint

☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

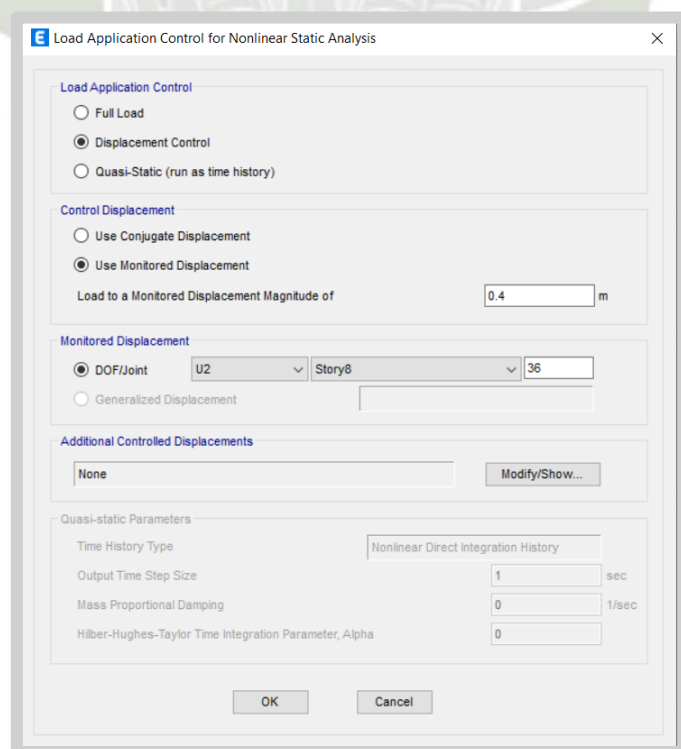
Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Figura 75: Asignación de control de desplazamiento ANLEXX sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)



Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

☐ Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of m

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint

☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Figura 76: Asignación de control de desplazamiento ANLEY systema muros estructurales (Fuente: Etabs)

3.4.4.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

De igual manera se creó el caso de carga monotónica para ambos sentidos X, Y partiendo esta vez desde el estado de carga por gravedad. Teniendo en cuenta que 3 es el tercer modo de vibración corresponde a dirección X y 1 para el modo de vibración en sentido Y.

Tabla 31: Modos de vibración sistema de MDL (Fuente: Etabs)

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	0.446	0.0063	0.6158	0	0.0063	0.6158	0.0286
Modal	2	0.388	0.1382	0.014	0	0.1445	0.6298	0.5067
Modal	3	0.279	0.522	0.0222	0	0.6666	0.652	0.1263
Modal	4	0.091	0.0006	0.1742	0	0.6672	0.8262	0.0242
Modal	5	0.081	0.0401	0.0197	0	0.7073	0.8459	0.1463
Modal	6	0.063	0.1615	0.0099	0	0.8688	0.8558	0.0309
Modal	7	0.039	0.0004	0.0545	0	0.8692	0.9103	0.007
Modal	8	0.036	0.0106	0.0049	0	0.8797	0.9152	0.0445
Modal	9	0.029	0.0462	0.0027	0	0.926	0.9179	0.0074

- MODO FUNDAMENTAL PARA DIRECCION "X"

En la figura 77 vemos el diagrama de fuerzas del análisis modal y en la tabla 32 los valores de este diagrama obtenidos del programa Etabs.

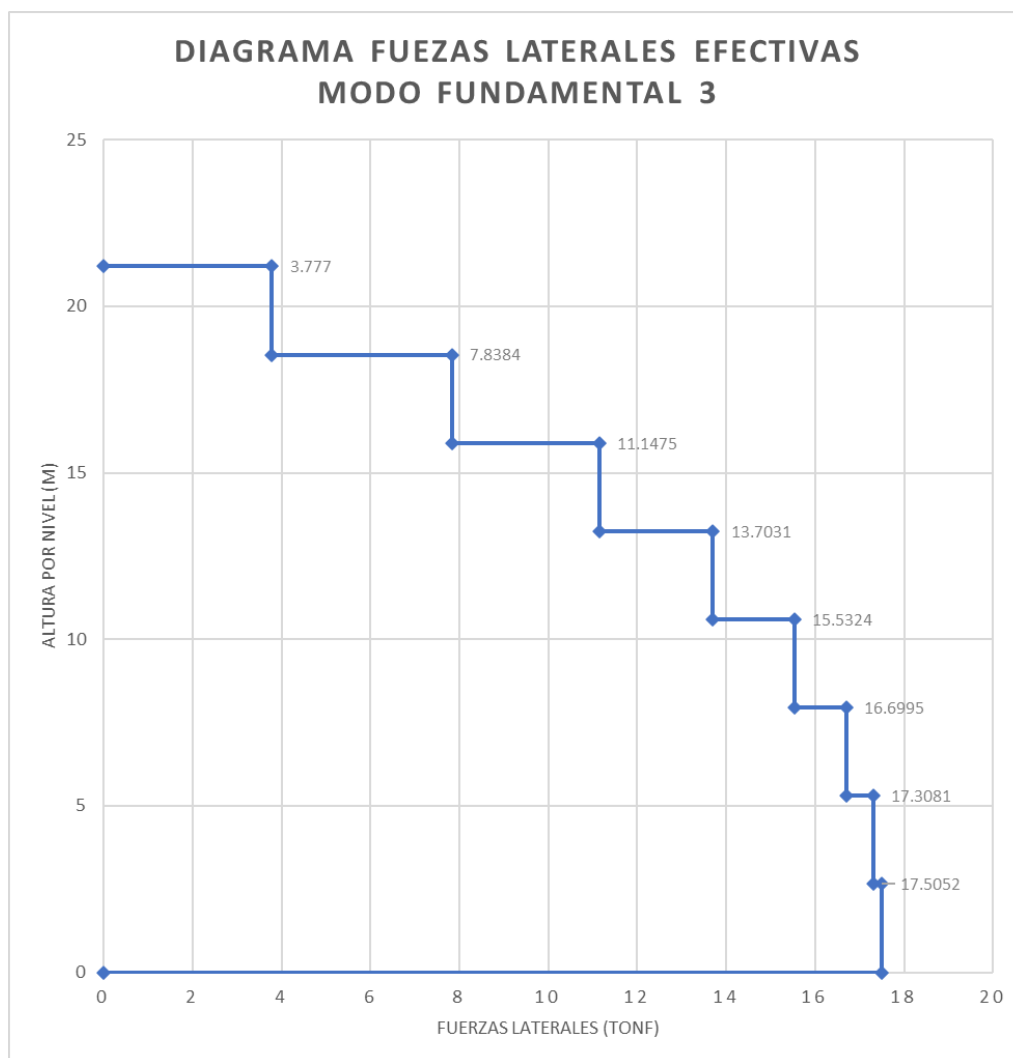


Figura 77: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL (Fuente: propia)

Tabla 32: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL (Fuente: Etabs)

NIVEL	ELEVACIÓN (M)	X-Dir (tonf)
Nivel 08	21.2	3.777
Nivel 07	18.55	7.8384
Nivel 06	15.9	11.1475
Nivel 05	13.25	13.7031
Nivel 04	10.6	15.5324
Nivel 03	7.95	16.6995
Nivel 02	5.3	17.3081
Nivel 01	2.65	17.5052
Base	0	0

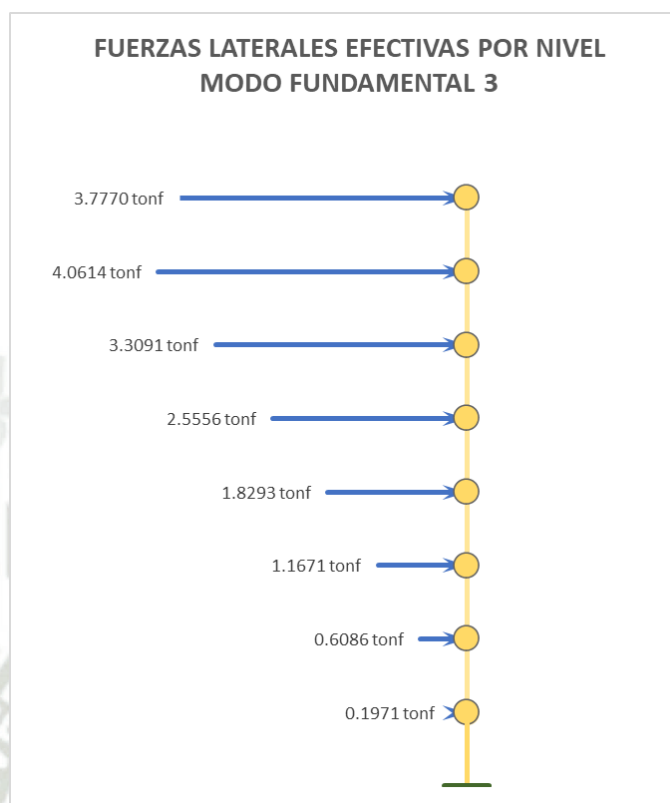


Figura 78: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL (Fuente: propia)

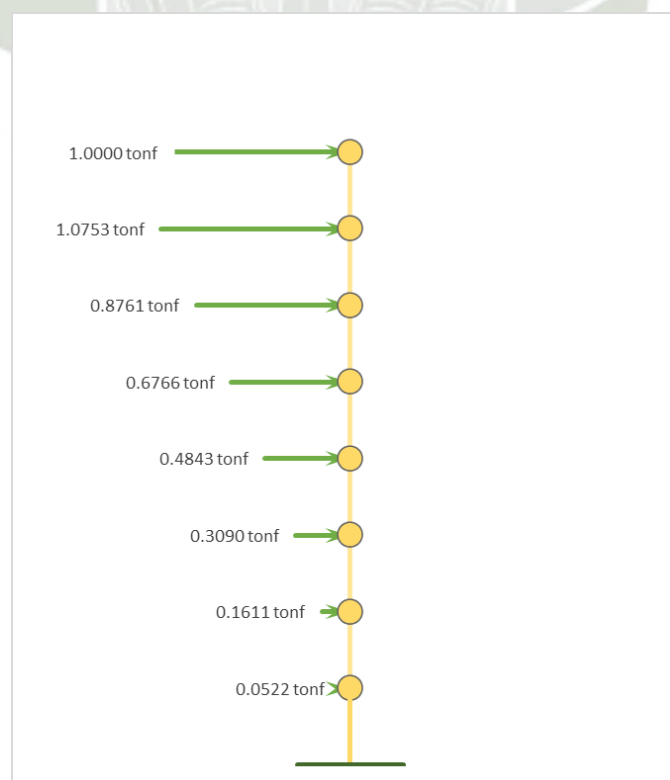


Figura 79: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 3 XX MDL (Fuente: propia)

- PATRON DE CARGA LATERAL EN DIRECCION "X"

Sabemos que el modo fundamental 3 corresponde para la dirección Y, este debe ser proporcional a este modo fundamental. En la figura 80 podemos ver los valores de este patrón de carga lateral para cada nivel producido por la creación del caso de carga monotónica.

Tabla 33: Fuerzas laterales por nivel en dirección X sistema de MDL (Fuente: Etabs)

NIVEL	FUERZA LAT NIVEL 08	FACTOR	FUERZA LAT POR NIVEL
NIVEL 08	5.9492	1	5.9492
NIVEL 07	5.9492	1.0753	6.3973
NIVEL 06	5.9492	0.8761	5.2122
NIVEL 05	5.9492	0.6766	4.0255
NIVEL 04	5.9492	0.4843	2.8813
NIVEL 03	5.9492	0.3090	1.8384
NIVEL 02	5.9492	0.1611	0.9585
NIVEL 01	5.9492	0.0522	0.3104

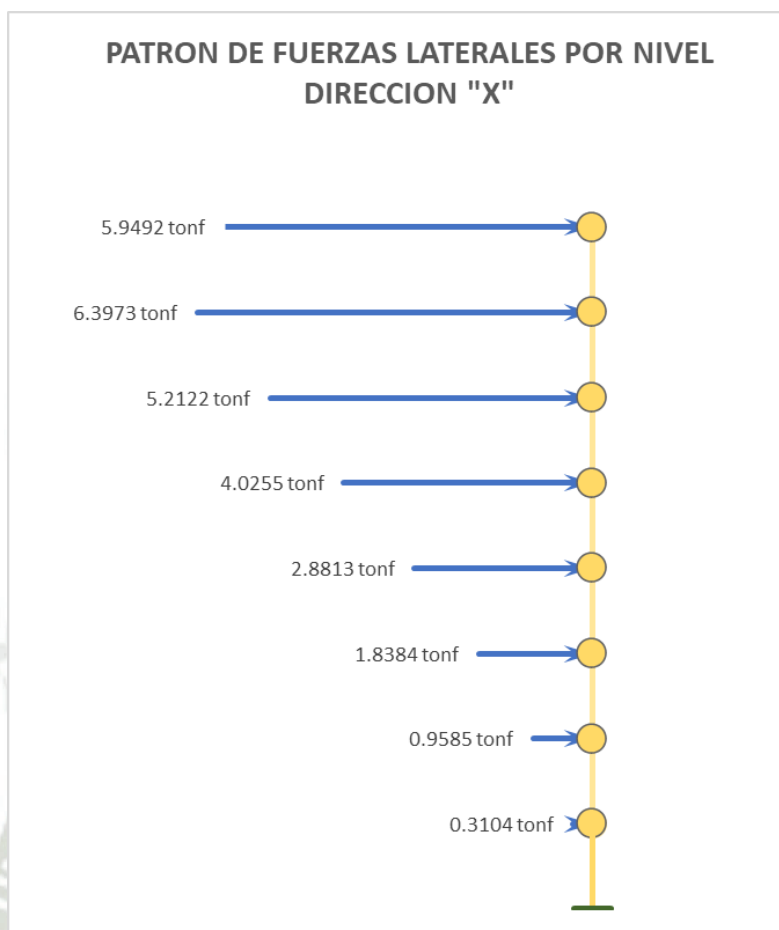


Figura 80: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica XX MDL (Fuente: propia)

- MODO FUNDAMENTAL PARA DIRECCION "Y"

En la figura 81 vemos el diagrama de fuerzas del análisis modal y en la tabla... los valores de este diagrama obtenidos del programa Etabs.

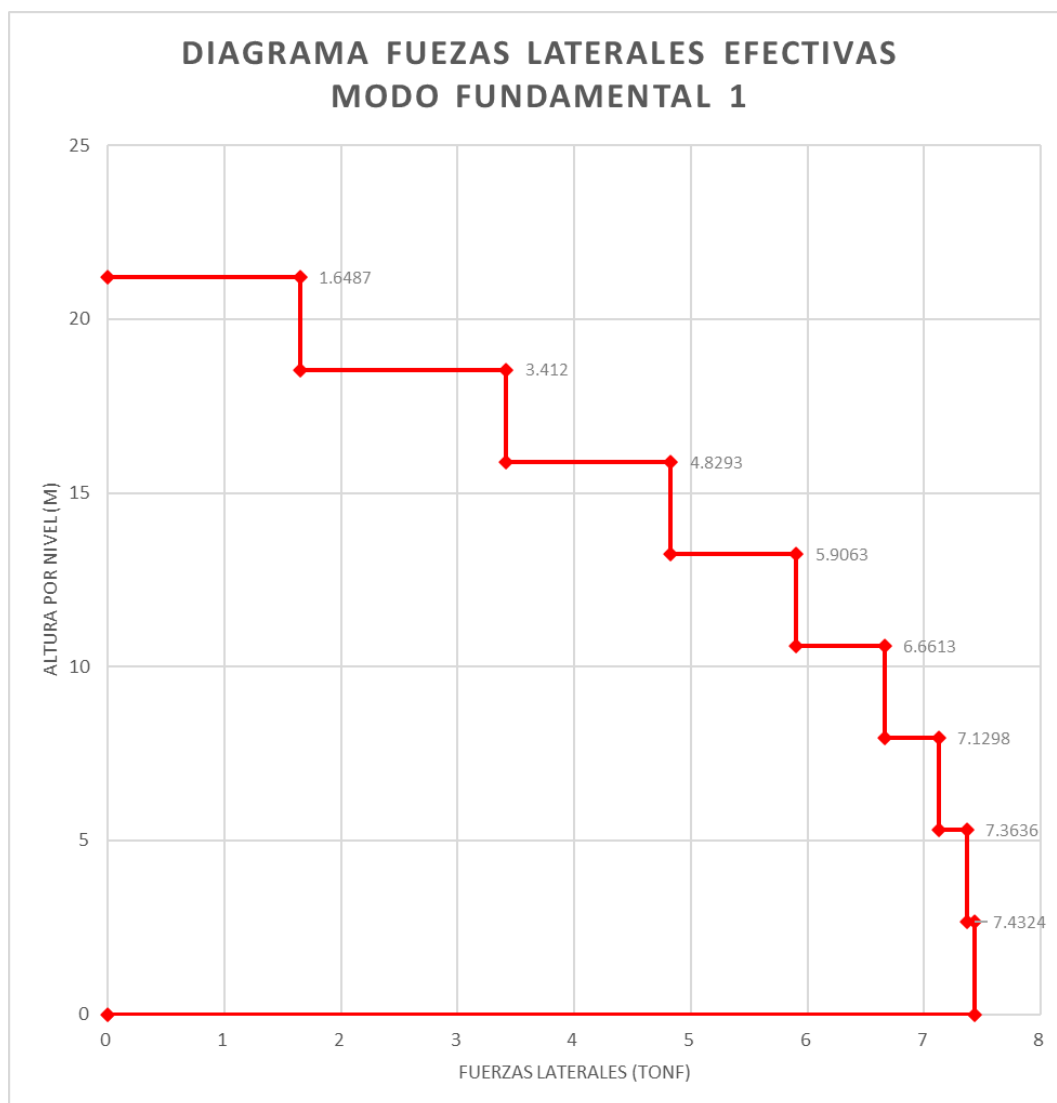


Figura 81: Diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL (Fuente: propia)

Tabla 34: Valores del diagrama de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL (Fuente: Etabs)

NIVEL	ELEVACIÓN (M)	Y-Dir (tonf)
Nivel 08	21.2	1.6487
Nivel 07	18.55	3.412
Nivel 06	15.9	4.8293
Nivel 05	13.25	5.9063
Nivel 04	10.6	6.6613
Nivel 03	7.95	7.1298
Nivel 02	5.3	7.3636
Nivel 01	2.65	7.4324
Base	0	0

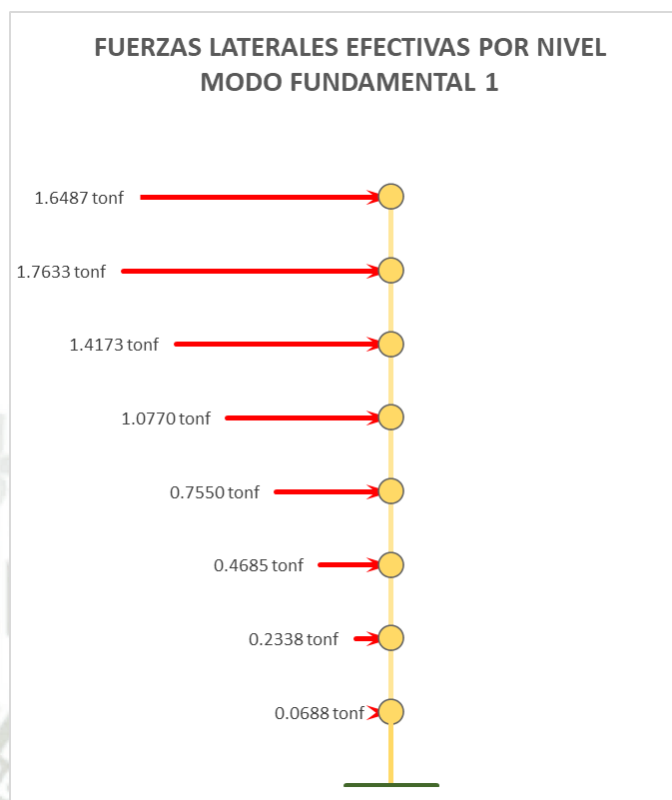


Figura 82: Fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL (Fuente: propia)

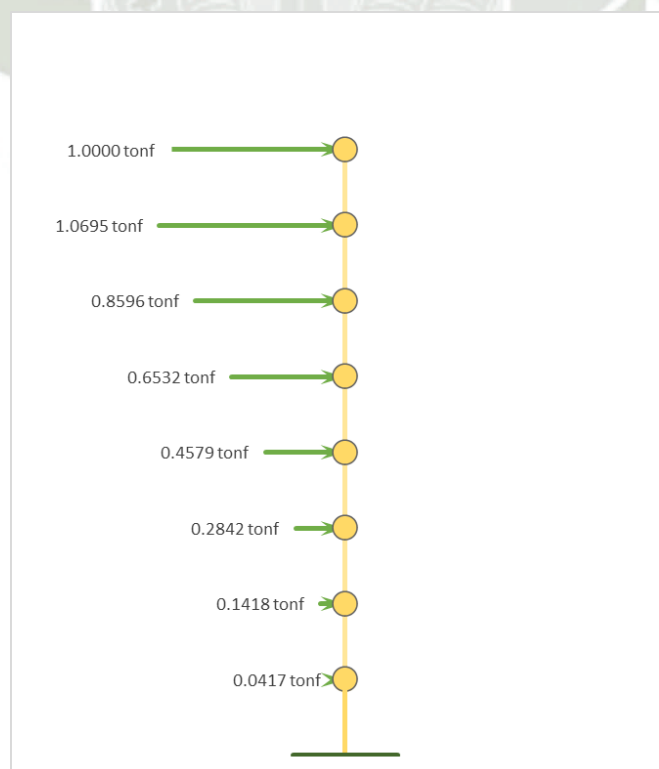


Figura 83: Proporción de fuerzas laterales efectivas modo fundamental 1 YY MDL (Fuente: propia)

- PATRON DE CARGA LATERAL EN DIRECCION "Y"

Sabemos que el modo fundamental 3 corresponde para la dirección Y, este debe ser proporcional a este modo fundamental. En la figura... podemos ver los valores de este patrón de carga lateral para cada nivel producido por la creación del caso de carga monotónica.

Tabla 35: Fuerzas laterales por nivel en dirección Y sistema de MDL (Fuente: Etabs)

NIVEL	FUERZA LAT NIVEL 08	FACTOR	FUERZA LAT POR NIVEL
NIVEL 08	3.9220	1	3.9220
NIVEL 07	3.9220	1.0695	4.1947
NIVEL 06	3.9220	0.8596	3.3717
NIVEL 05	3.9220	0.6532	2.5621
NIVEL 04	3.9220	0.4579	1.7960
NIVEL 03	3.9220	0.2841	1.1144
NIVEL 02	3.9220	0.1418	0.5561
NIVEL 01	3.9220	0.0417	0.1637

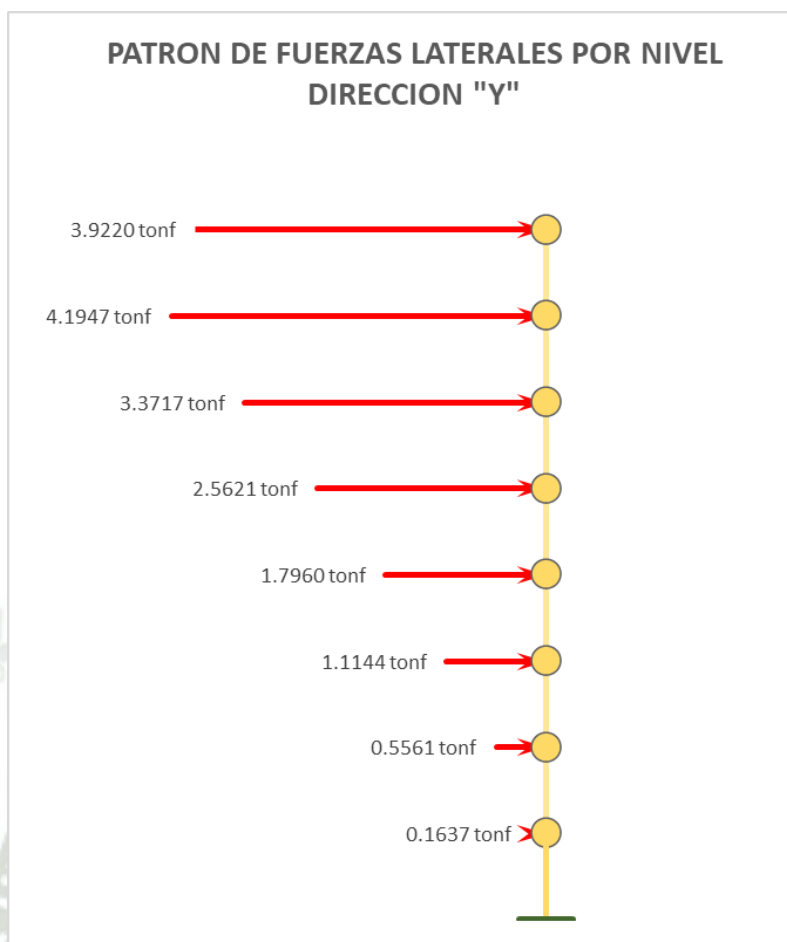
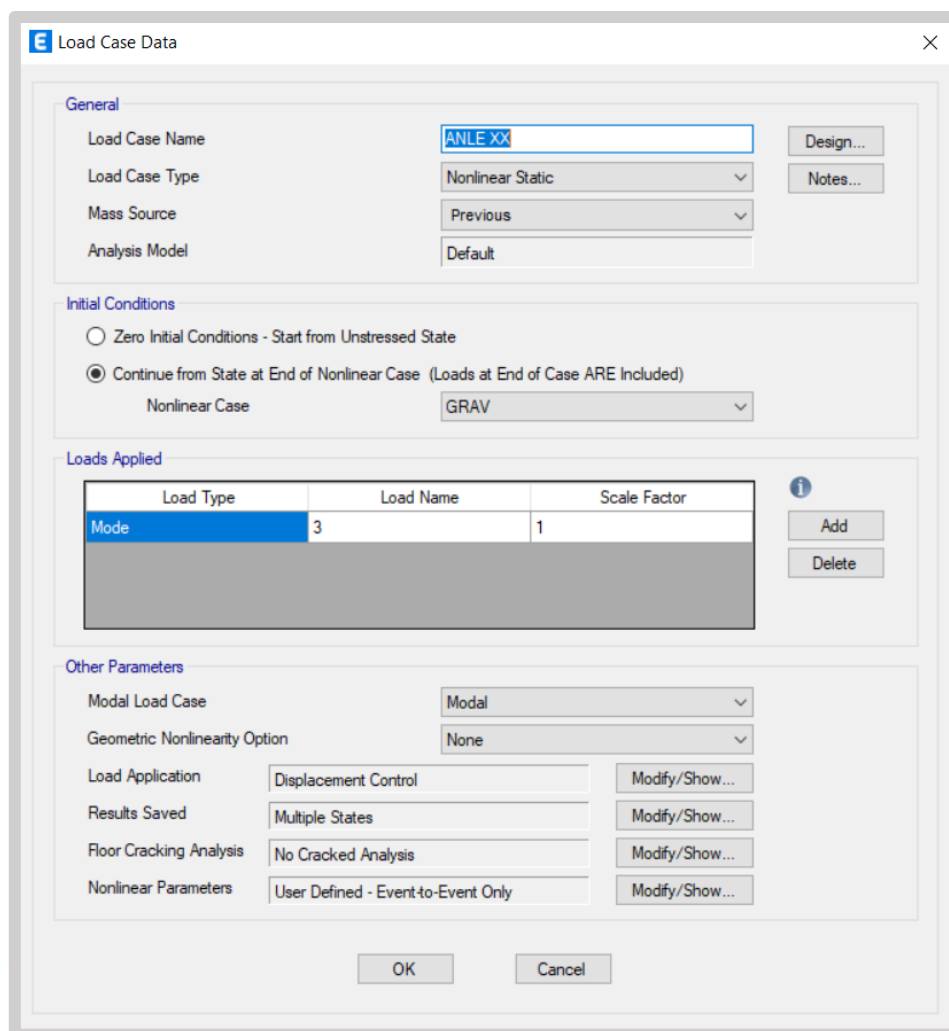


Figura 84: Patrón de fuerzas laterales de carga monotónica YY MDL (Fuente: propia)



Load Case Data

General

Load Case Name: ANLE XX

Load Case Type: Nonlinear Static

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAV

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	3	1

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control

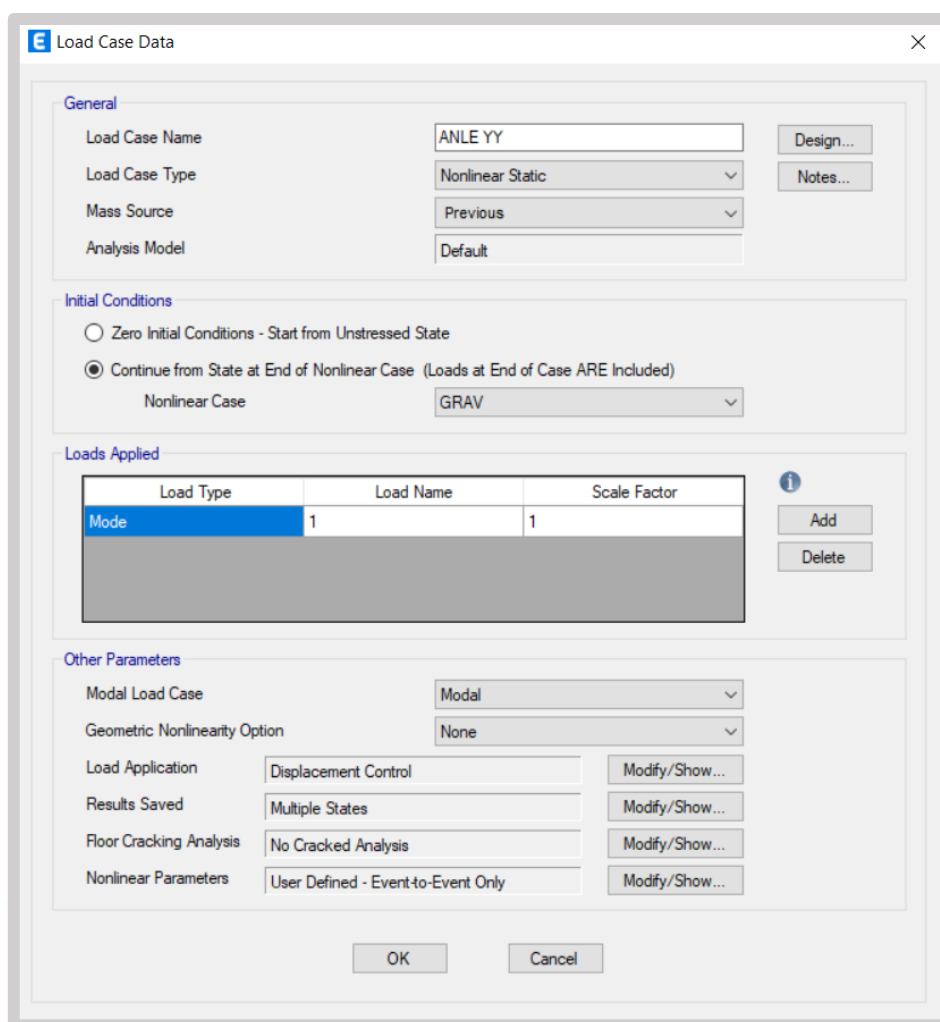
Results Saved: Multiple States

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only

OK Cancel

Figura 85: Creación del caso de carga monotónica en dirección X sistema MDL (Fuente: Etabs)



Load Case Data

General

Load Case Name: ANLE YY [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAV

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

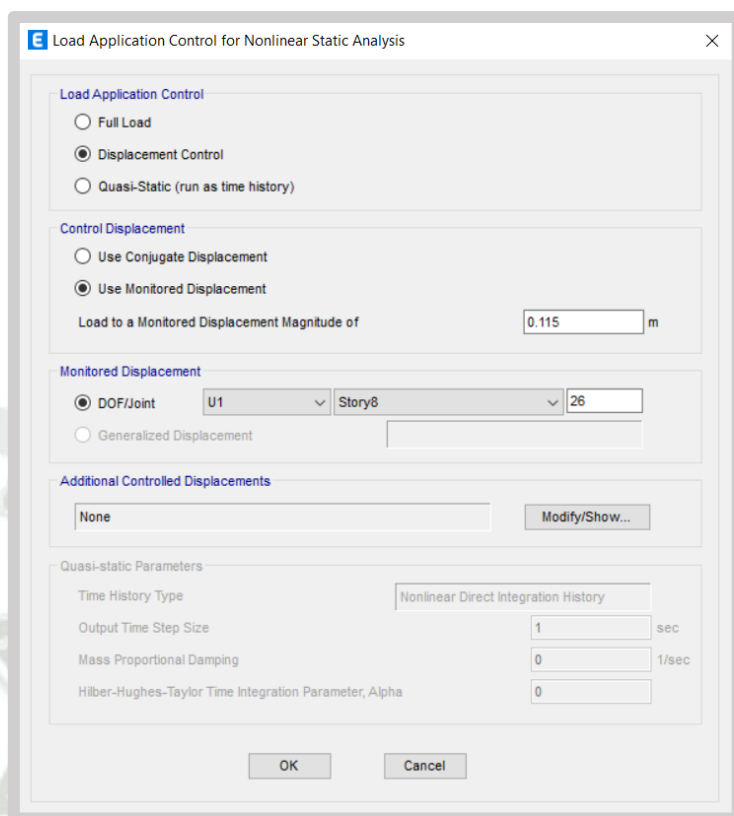
Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined - Event to Event Only [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 86: Creación del caso de carga monotónica en dirección Y sistema MDL (Fuente: Etabs)

De la misma manera se realizó algunas modificaciones para tener un desplazamiento controlado, consideraremos para la dirección X un desplazamiento controlado de 0.115m. Cabe resaltar que este desplazamiento controlado se aplicó en el último nivel (story 08), U1 se refiere a la dirección X y tomaremos como referencia el punto 26 que se ubica muy cerca al centro de masa de la edificación.



Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

☐ Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of m

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint

☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

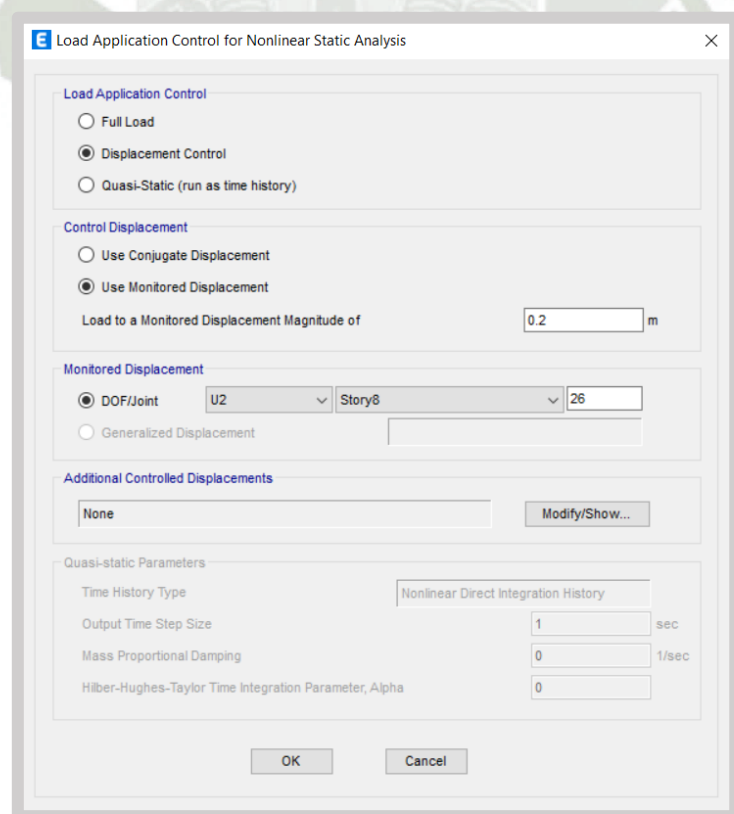
Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Figura 87: Asignación de control de desplazamiento ANLEX sistema MDL (Fuente: Etabs)



Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

☐ Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of m

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint

☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Figura 88: Asignación de control de desplazamiento ANLEX sistema MDL (Fuente: Etabs)

3.4.5. ASIGNACION DE ROTULAS PLASTICCAS TIPO FIBRA A ELEMENTOS

Para poder asignar las rotulas plásticas tipo fibra antes debemos crear este tipo en el programa

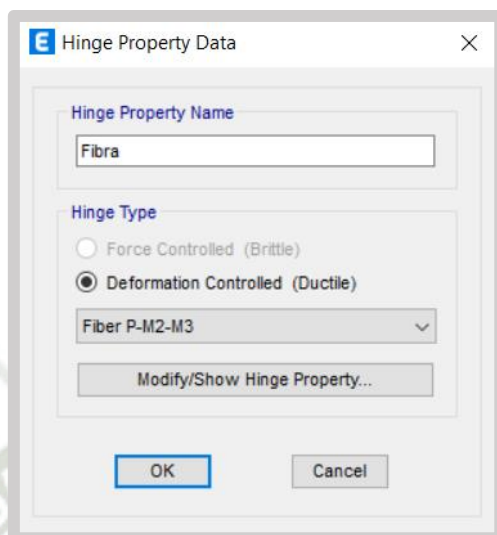


Figura 89: Creación tipo fibra (Fuente: Etabs)

3.4.5.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

- ASIGNACIÓN DE RÓTULAS A VIGAS Y COLUMNAS (ELEMENTOS FRAME)

Como primer paso se seleccionó vigas y columnas para realizar la asignación.

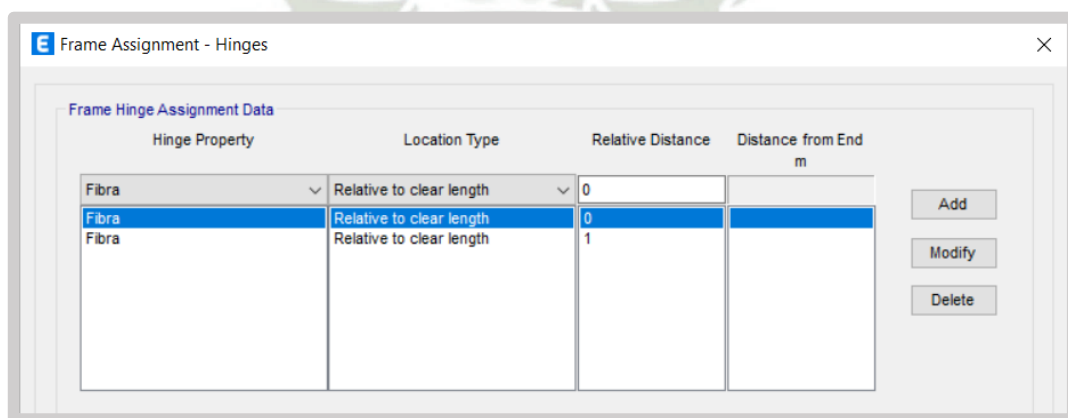


Figura 90: Asignación rotula tipo fibra para elementos frame sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- ASIGNACIÓN DE ROTULAS A PLACAS

Previamente se seleccionó todas las placas.

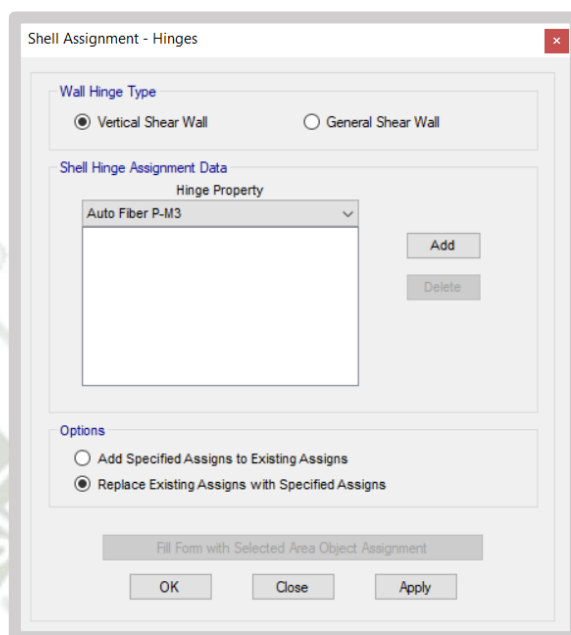


Figura 91: Asignación de rotula a placas sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

3.4.5.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- ASIGNACIÓN DE RÓTULAS A PLACAS O MUROS

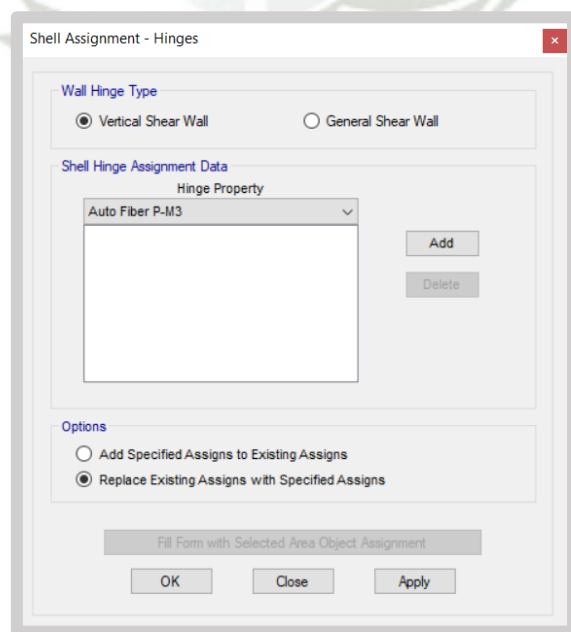


Figura 92: Asignación de rotula a placas sistema MDL (Fuente: Etabs)

3.4.6. DERIVAS SEGÚN HAZUS

Hazus nos dio algunos parámetros según el tipo de edificación con los drifts de control correspondientes, en nuestro caso utilizamos el tipo C2H donde C2 corresponde al tipo de edificación “concrete Shear walls” y H corresponde a “high rise” para 08 o más niveles.

Consideramos también para nuestro caso un daño completo ya que necesitamos saber cómo se desempeñarán ambas estructuras evaluando hasta el nivel de colapso, entonces para ambos sistemas tendremos un drift de 30/1000 o 0.030.

Concrete Shear Walls (C2):

The vertical components of the lateral-force-resisting system in these buildings are concrete shear walls that are usually bearing walls. In older buildings, the walls often are quite extensive and the wall stresses are low but reinforcing is light. In newer buildings, the shear walls often are limited in extent, generating concerns about boundary members and overturning forces.

Figura 93: Descripción del tipo de edificación (Fuente: HAZUS MR4)

Traduciendo lo que nos dice HAZUS MR4: Los componentes verticales del sistema resistente a fuerzas laterales en estos edificios son muros de corte de concreto que generalmente son muros de carga. En los edificios más antiguos, los muros suelen ser bastante extensos y las tensiones de los muros son bajas, pero el refuerzo es ligero. En los edificios más nuevos, los muros de corte a menudo tienen una extensión limitada, lo que genera preocupaciones sobre los miembros de los límites y las fuerzas de volteo.

Tabla 36: Drifts máximos para tipos de edificación según el daño (HAZUS MR4)

Type	Interstory Drift at Threshold of Damage State			
	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	0.0040	0.007	0.0187	0.0525
S4L	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L				
S5M				
S5H				
C1L	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
C2L	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
C2M	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
C2H	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300

3.4.6.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Para obtener los drift por niveles de cada caso de carga monotónica ANLEXX y ANLEYY en ambas direcciones se pudo generar la gráfica en Etabs y también tener los valores numéricos como se mostrará en las siguientes tablas 38 y 39.

- CASO DE CARGA MONOTÓNICA DIRECCIÓN X, ANLEXX

Tabla 37: Drifts ANLEXX de la estructura muros estructurales en dirección X

Story	Output Case	Direction	Drift
Story8	ANLEXX	X	0.026972
Story7	ANLEXX	X	0.027615
Story6	ANLEXX	X	0.028259
Story5	ANLEXX	X	0.028741
Story4	ANLEXX	X	0.028859
Story3	ANLEXX	X	0.028274
Story2	ANLEXX	X	0.025795
Story1	ANLEXX	X	0.012089

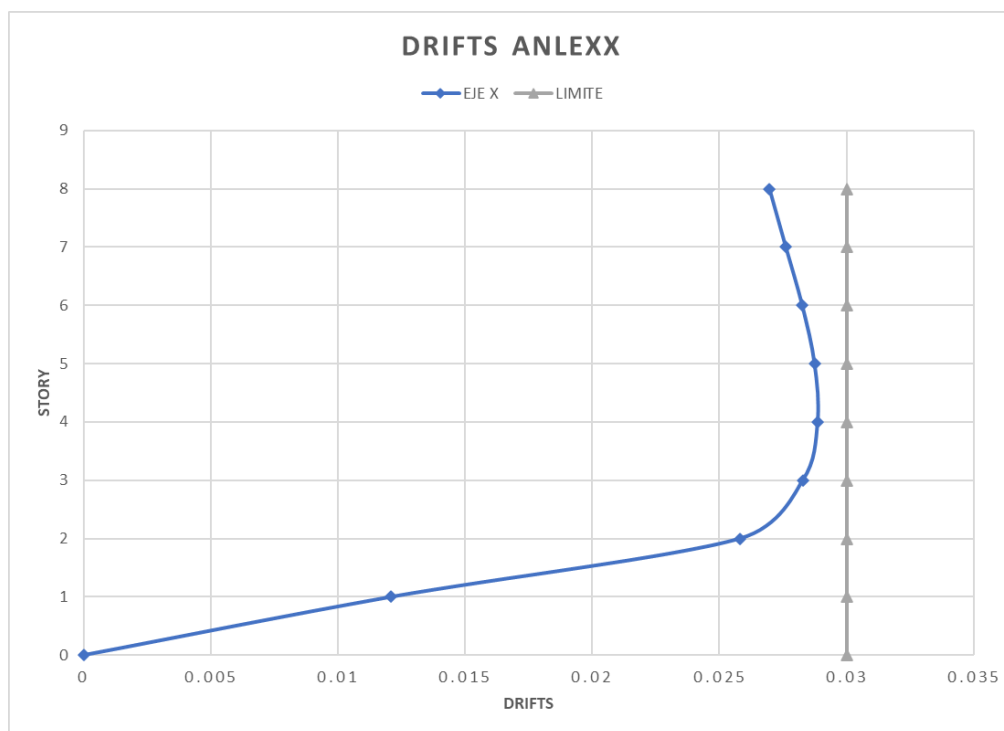


Figura 94: Grafico de drifts ANLEXX sistema muros estructurales y limite

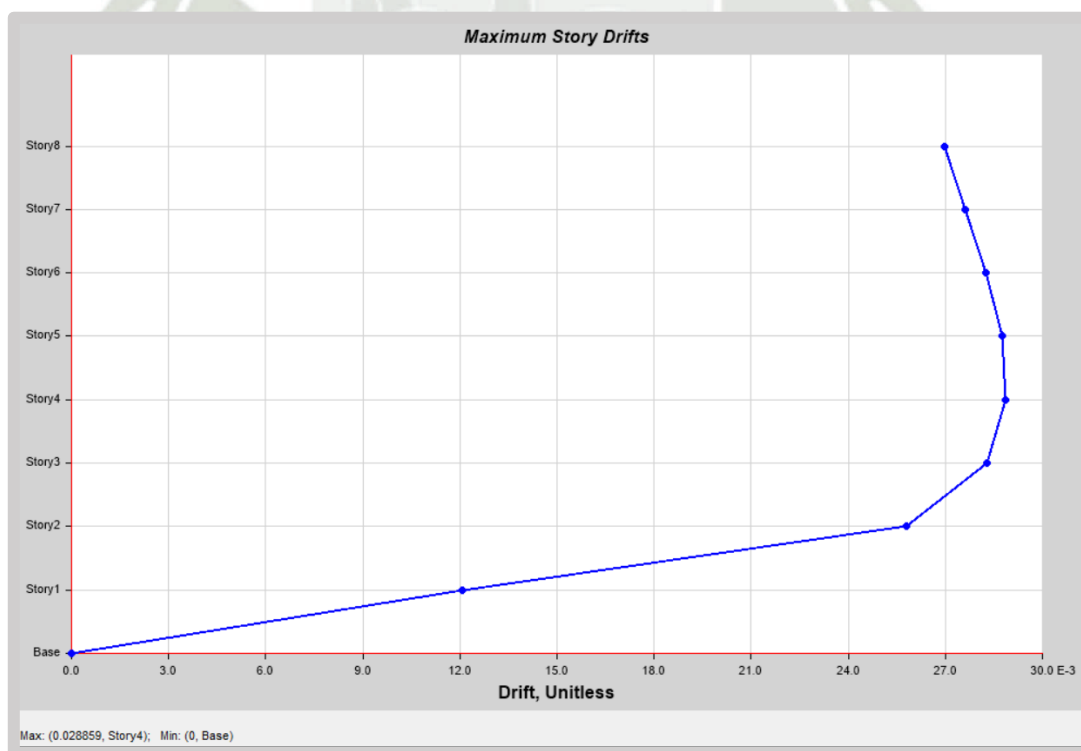


Figura 95: Grafico de drift ANLEXX Sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

- CASO DE CARGA MONOTÓNICA DIRECCIÓN Y, ANLEY Y

Tabla 38: Drifts ANLEY Y de la estructura Muros Estructurales en dirección Y

Story	Output Case	Direction	Drift
Story8	ANLEY Y	Y	0.028208
Story7	ANLEY Y	Y	0.028718
Story6	ANLEY Y	Y	0.029234
Story5	ANLEY Y	Y	0.0296
Story4	ANLEY Y	Y	0.029639
Story3	ANLEY Y	Y	0.02864
Story2	ANLEY Y	Y	0.025575
Story1	ANLEY Y	Y	0.011769

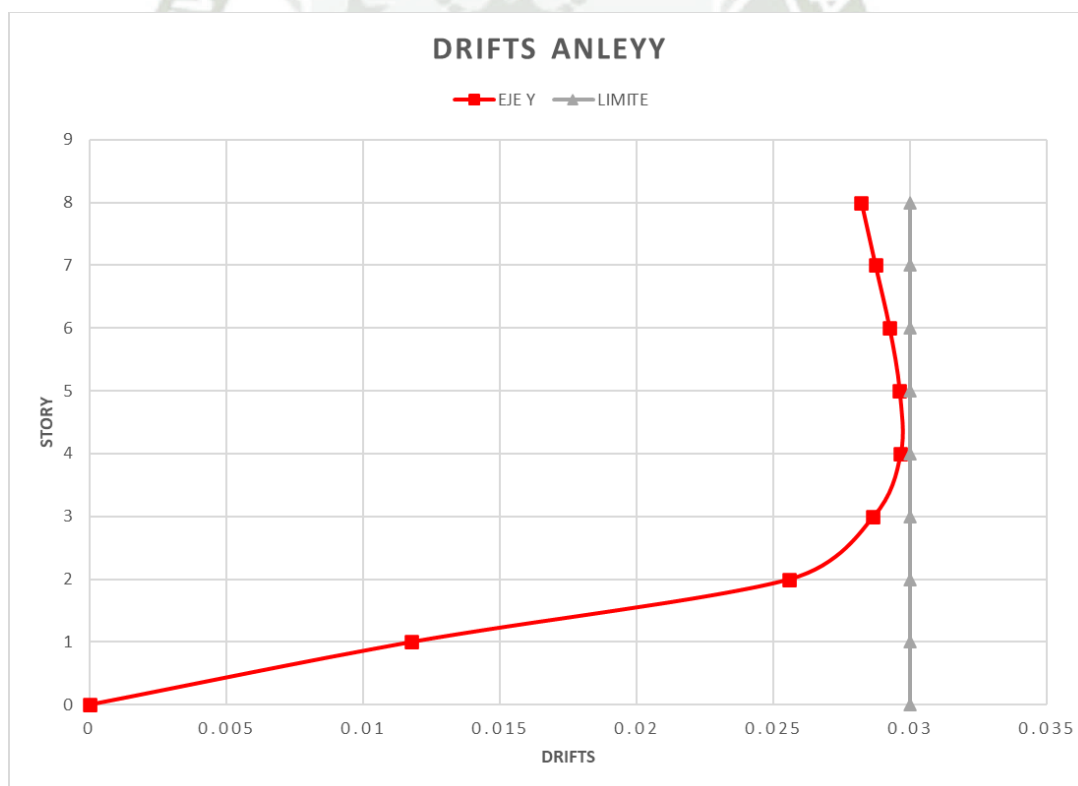


Figura 96: Grafico de drifts ANLEY Y sistema muros estructurales y limite

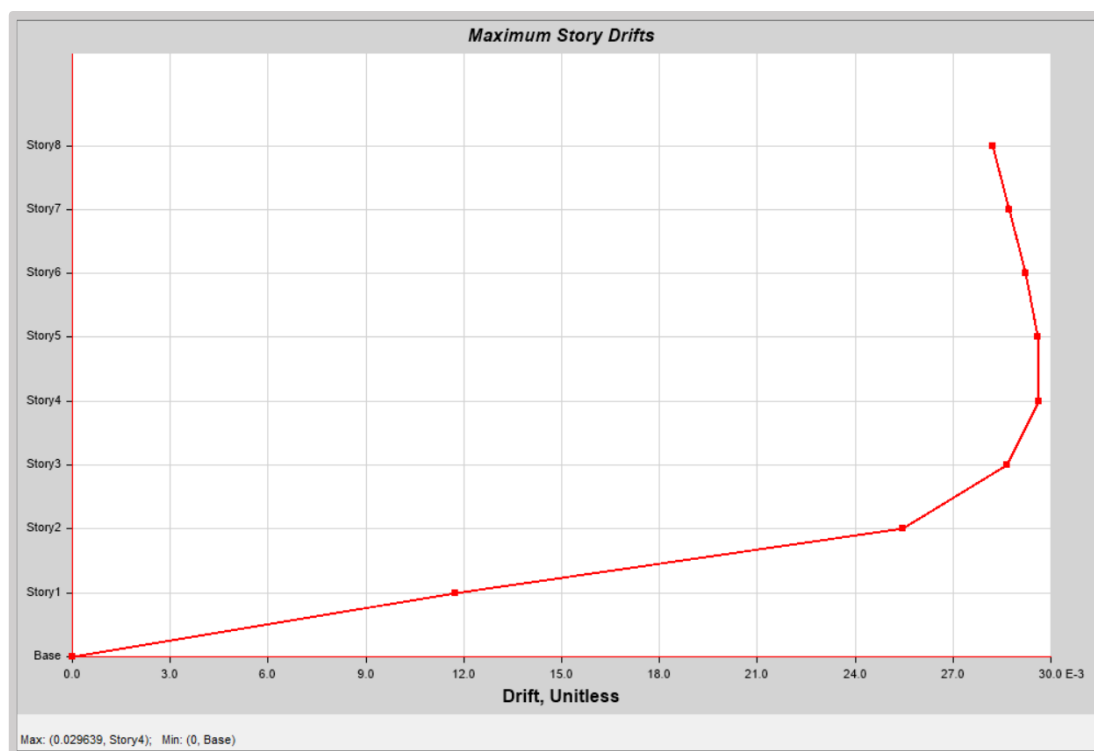


Figura 97: Grafico de drift ANLEY Systema muros estructurales (Fuente: Etabs)

3.4.6.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

- CASO DE CARGA MONOTÓNICA DIRECCIÓN X, ANLEXX

Tabla 39: Drifts ANLEXX de la estructura MDL en dirección X

Story	Output Case	Direction	Drift
Story8	ANLEXX	X	0.017281
Story7	ANLEXX	X	0.017369
Story6	ANLEXX	X	0.017435
Story5	ANLEXX	X	0.017453
Story4	ANLEXX	X	0.017409
Story3	ANLEXX	X	0.017253
Story2	ANLEXX	X	0.016842
Story1	ANLEXX	X	0.008372

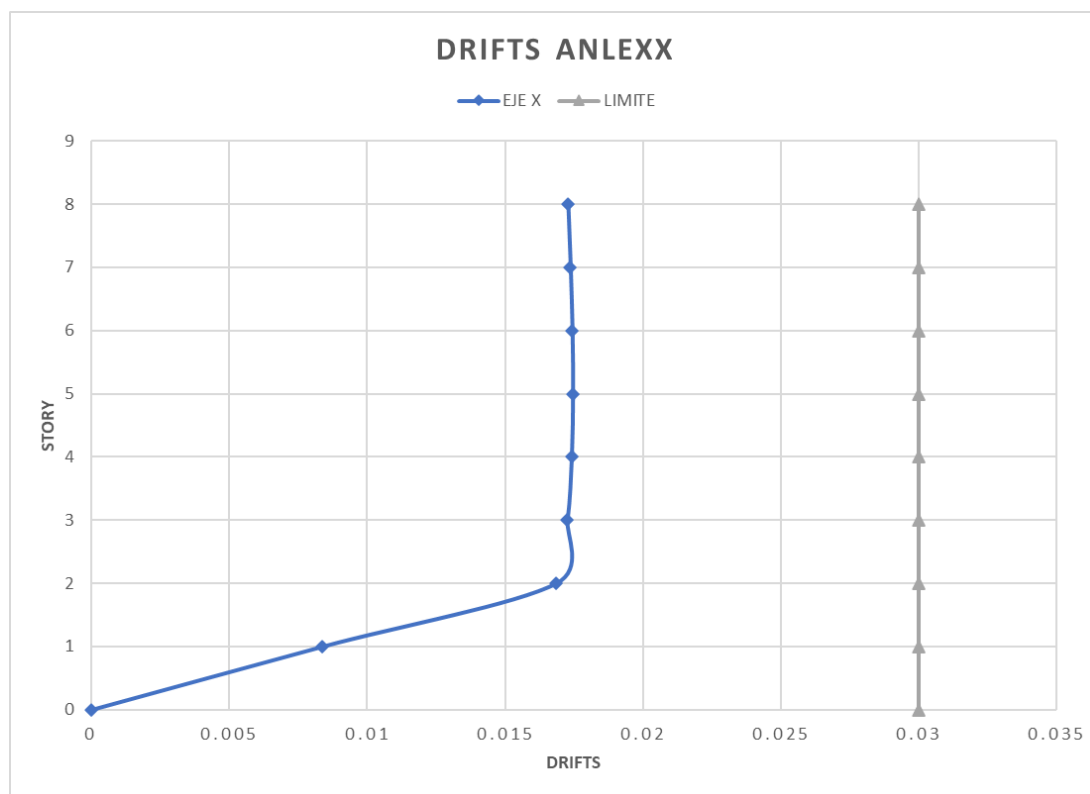


Figura 98: Grafico de drifts ANLEXX sistema MDL y límite

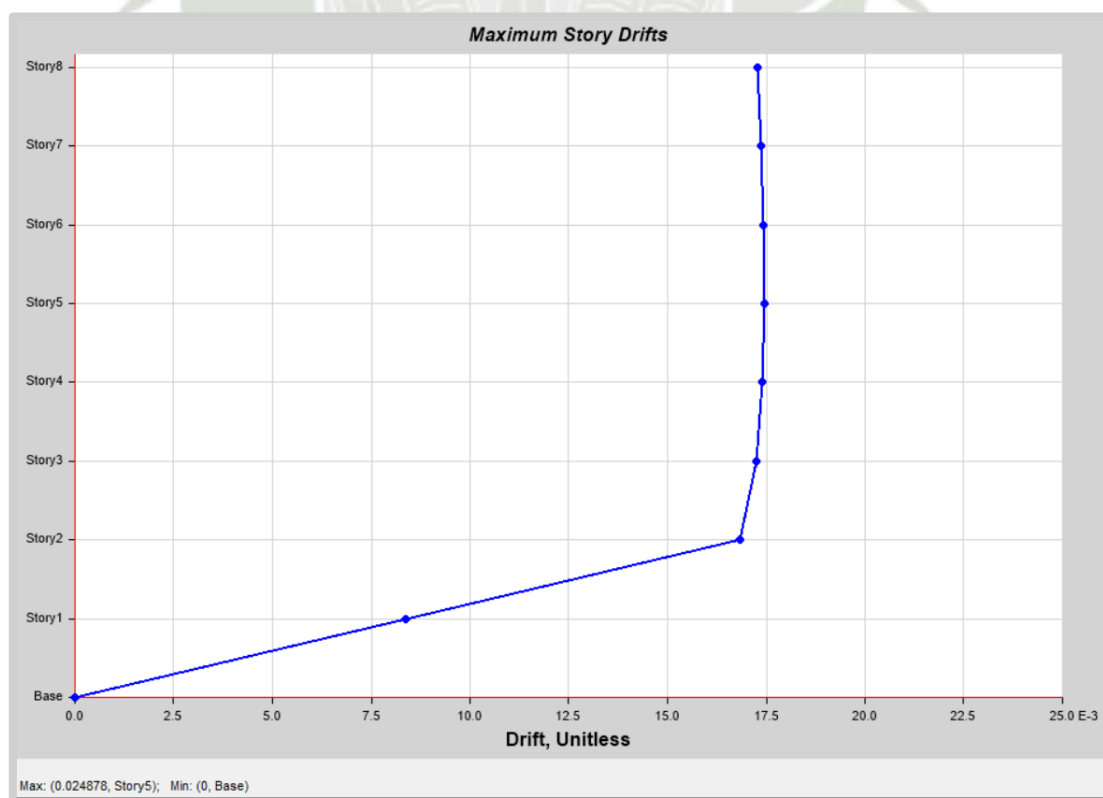


Figura 99: Grafico de drift ANLEXX Sistema MDL (Fuente: Etabs)

- CASO DE CARGA MONOTÓNICA DIRECCIÓN Y, ANLEY Y

Tabla 40: Drifts ANLEY Y de la estructura MDL en dirección Y

Story	Output Case	Direction	Drift
Story8	ANLEY Y	Y	0.012848
Story7	ANLEY Y	Y	0.012844
Story6	ANLEY Y	Y	0.012802
Story5	ANLEY Y	Y	0.012699
Story4	ANLEY Y	Y	0.012517
Story3	ANLEY Y	Y	0.012059
Story2	ANLEY Y	Y	0.011431
Story1	ANLEY Y	Y	0.005604

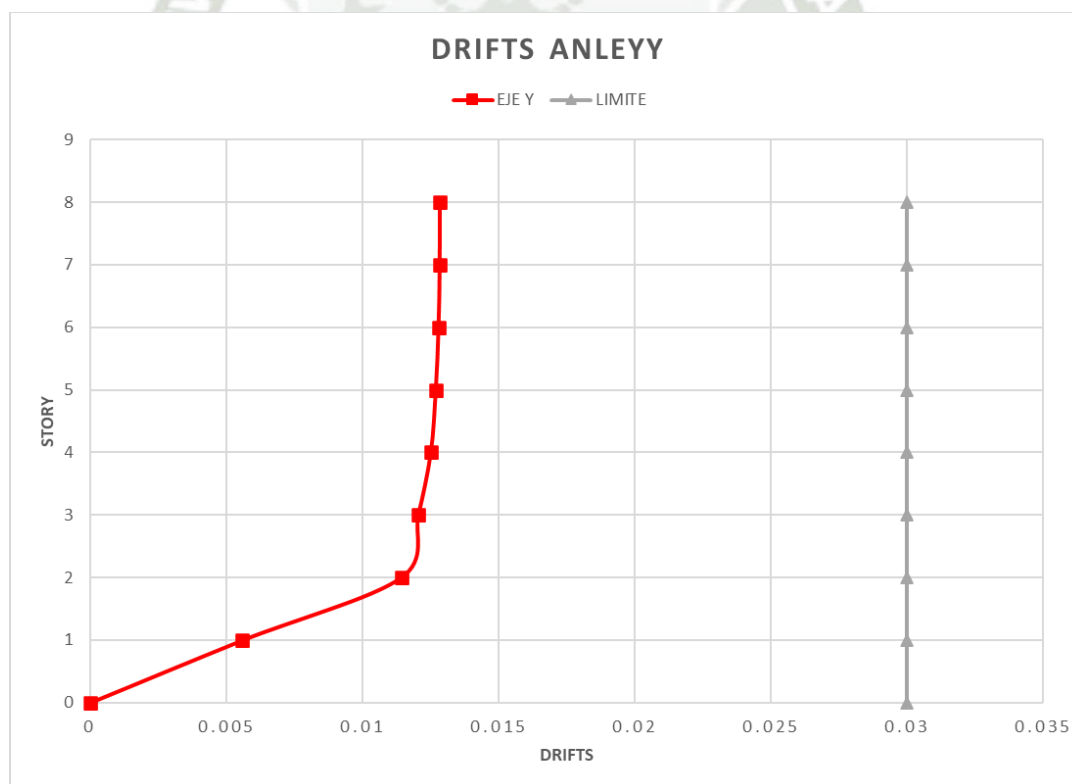


Figura 100: Grafico de drifts ANLEY Y sistema MDL y limite

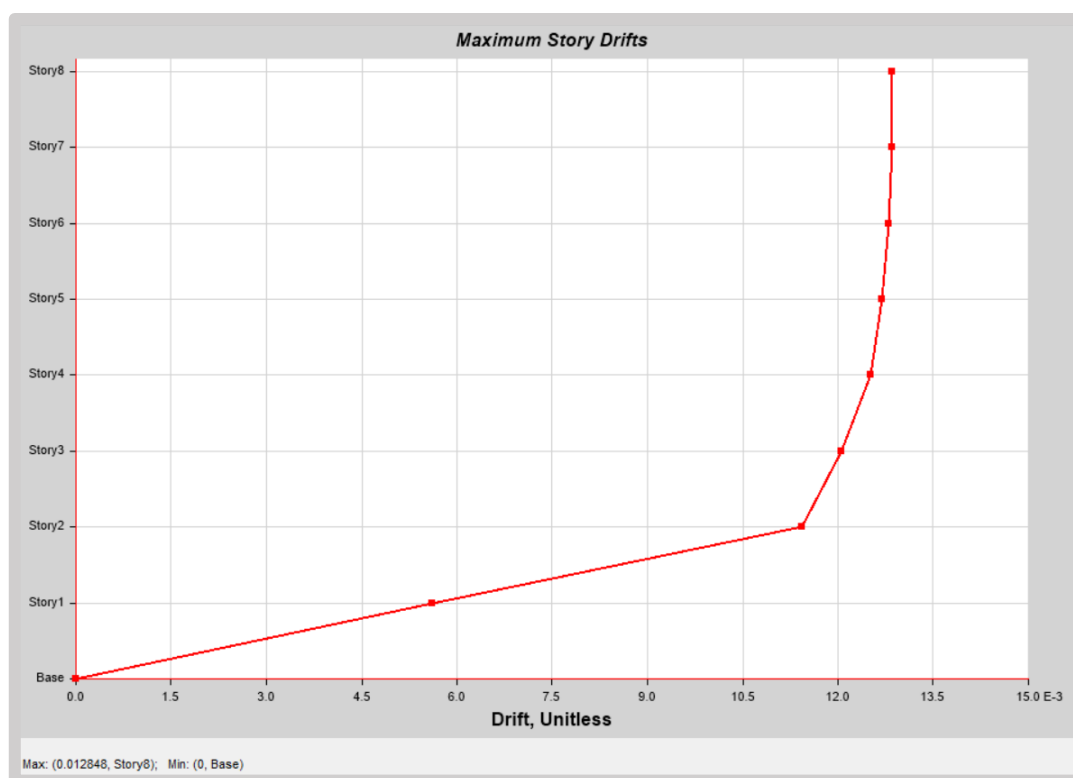


Figura 101: Grafico de drift ANLEYY Sistema MDL (Fuente: Etabs)

CAPITULO IV

4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE AMBOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

4.1. VALIDACION

Para realizar la validación de los resultados es necesario hacer pruebas de calibración en laboratorio construyendo un elemento estructural a escala determinada para someterlo a las pruebas correspondientes, tomamos como referencia la tesis titulada “Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de muros estructurales de mediana altura en base a desplazamientos y costos de reparación probables” del Ing. Carlos P. docente y jefe de laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se tomó como referencia el estudio realizado por el laboratorio ETH Zurich en Alemania a 6 muros de concreto armado seleccionando el muro por nombre WSH1 mostrado en la figura 85 que fue el utilizado para el proceso de calibración, se construyó el muro como prototipo a una escala inferior de 1:2.

Las características geométricas y propiedades mecánicas de este muro se resumen. Primero, el muro tuvo un espesor de 0.15m, largo de 2 m y una altura de 4.60m. La relación de aspecto de la altura respecto de la base tiene un valor de 2.3, siendo este un muro esbelto. Segundo, el acero de

refuerzo tiene una resistencia de fluencia de 550MPa, resistencia última de 620MPa. Tercero, el concreto tiene una resistencia a compresión de 45MPa y un módulo de elasticidad de 44.4GPa.

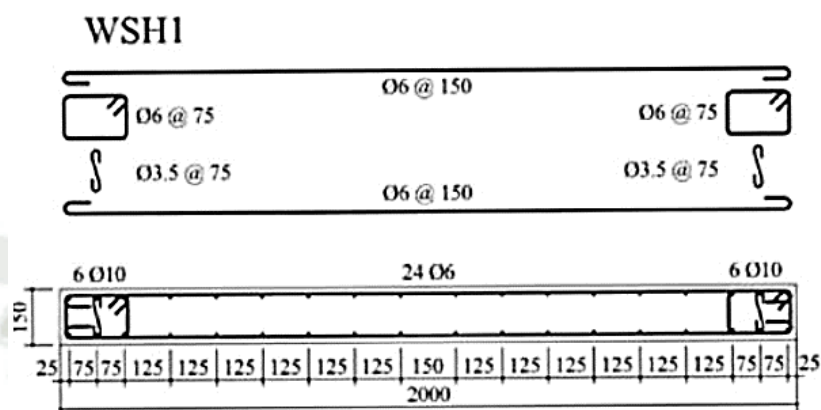


Figura 102: Muro WSH1 tomado como referencia (Pérez C, 2022)

En la figura 86 se puede observar la gráfica cortante basal – desplazamiento realizada por la tesis mencionada.

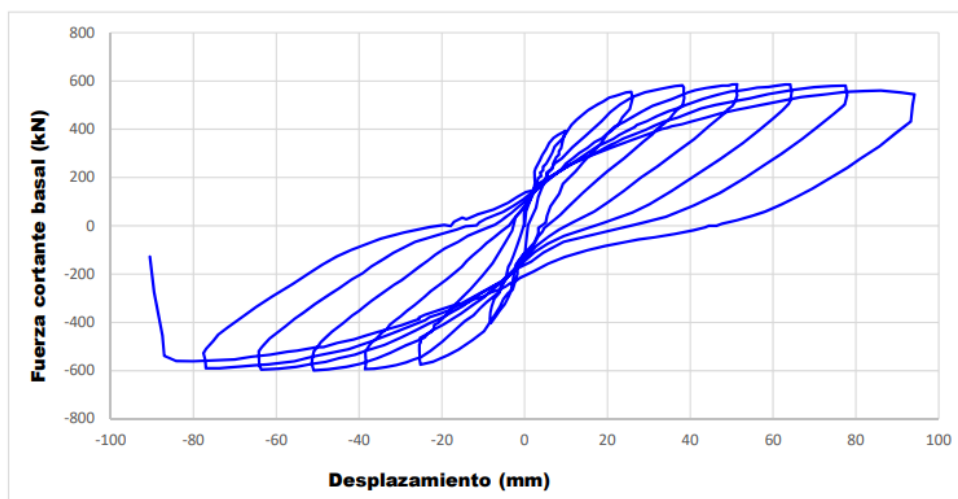


Figura 103: Grafica fuerza cortante – desplazamiento del ensayo físico experimental (Pérez C, 2022)

Modelo Computacional

Perez Neyra, C realizo un modelo computacional 3D del muro estructural ensayado en el modelo físico experimental. Utilizo el programa Etabs v18.1.1

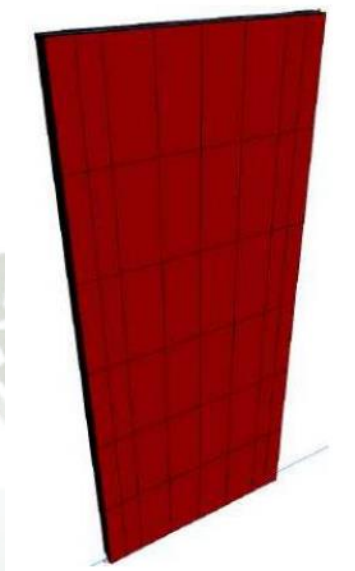


Figura 104: Modelo 3D del muro WHS1 (Perez C, 2022)

Se procedió a realizar la aplicación de cargas monotónicas con el programa Etabs para poder obtener la gráfica Fuerza cortante – desplazamiento usando el modelo tipo fibra y poder comparar con el modelo físico experimental.

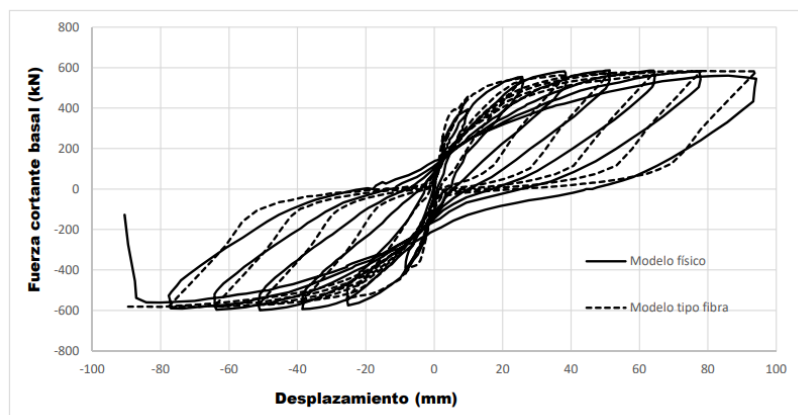


Figura 105: Histéresis fuerza – desplazamiento en el modelo computacional comparado con el ensayo (Perez C, 2022)

Según Perez, C se observó que la apertura de los lazos histeréticos así como la posición de los puntos que actúan como pivotes obtenidos a partir del modelo numérico se correlaciona adecuadamente con los resultados experimentales. La tabla 42 muestra los valores máximos de fuerza cortante y de rigidez lateral inicial para ambos sentidos del análisis. En promedio, se identificó que el modelo computacional subestima la resistencia máxima en 0.93% y que subestima la rigidez lateral inicial en 1.20%. Para fines de ingeniería, las diferencias encontradas se consideran aceptables.

Tabla 41: Valores máximos obtenidos de los ensayos físico y computacional

	Sentido XX+		Sentido XX-	
Modelo	Klat (KN/m)	Vmax (KN)	Klat (KN/m)	Vmax (KN)
Tipo fibra	102531	583	103832	591
Físico	104285	586	104582	599

Se realizó un análisis estático no lineal, también denominado pushover. Esto con la finalidad de verificar que la curva de capacidad estimada a partir del modelo computacional sea comparable con la curva envolvente del ensayo de laboratorio. La curva de capacidad del análisis pushover así como la curva experimental se muestran en la figura 89 (Perez C, 2022)

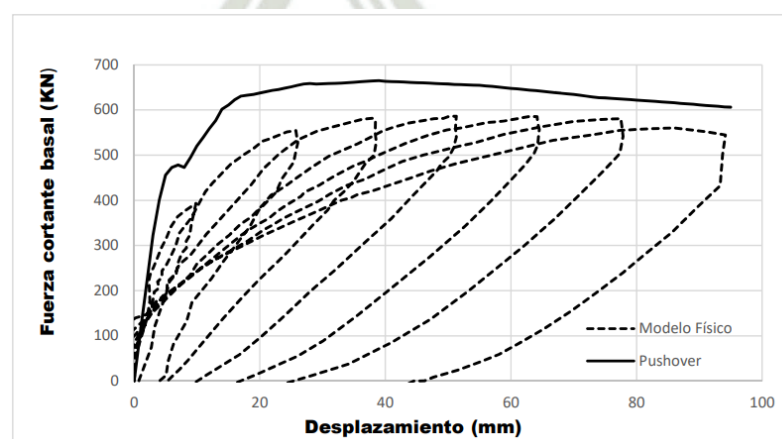


Figura 106: Curva de capacidad del análisis estático no lineal comparado con el experimental

La curva de capacidad obtenida mostró valores de fuerza cortante y rigidez lateral mayores a los de la envolvente del ensayo experimental, tal como se espera de un ensayo monotónico frente a uno cíclico (Deierlein et al., 2010). Por lo tanto, se concluyó que el software Etabs V18.1.1 con los parámetros adecuados puede simular el comportamiento no lineal estático y cíclico de un muro de concreto armado esbelto. Sobre la base de lo anterior, la idealización de los muros de concreto armado del edificio analizado en el capítulo 4 se desarrolló a partir del modelo tipo fibra. (Perez C, 2022)

4.2. CURVAS DE CAPACIDAD

4.2.1. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

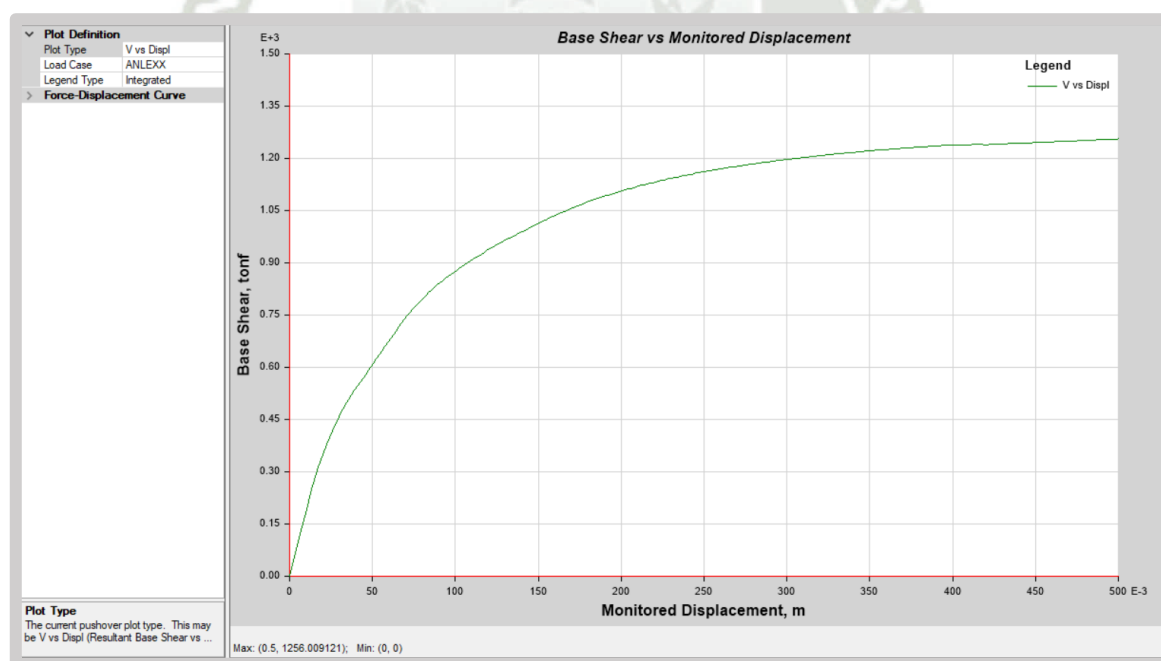


Figura 107: Grafica Curva de Capacidad dirección X sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

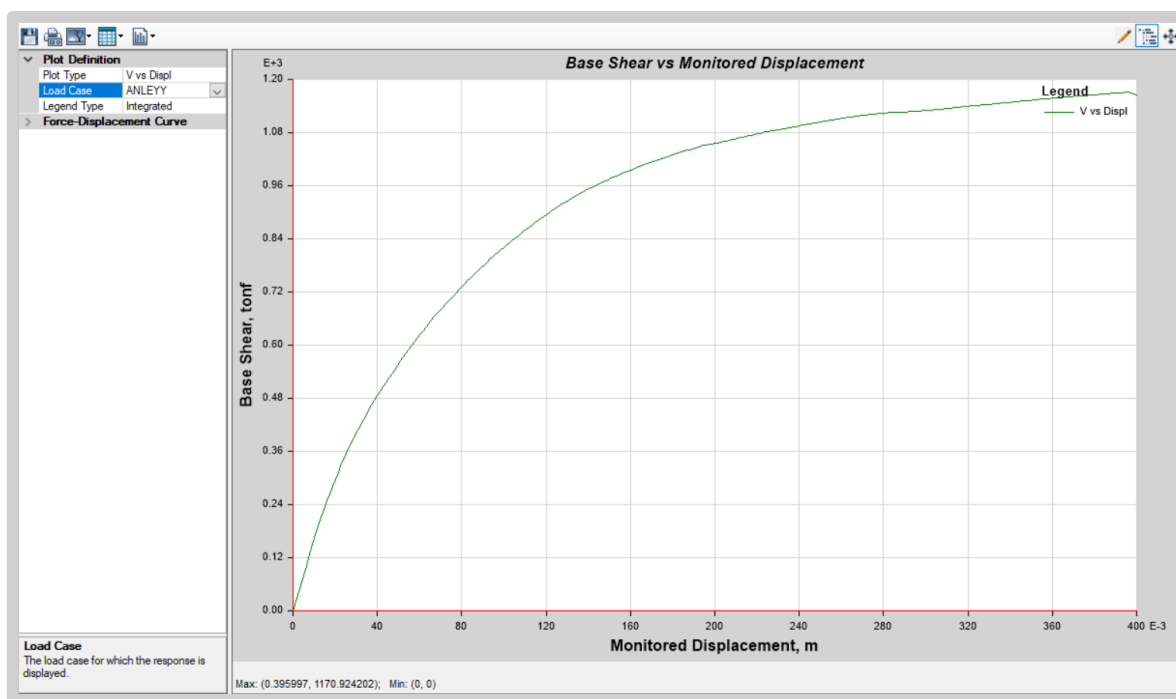


Figura 108: Grafica Curva de Capacidad dirección Y sistema muros estructurales (Fuente: Etabs)

4.2.2. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

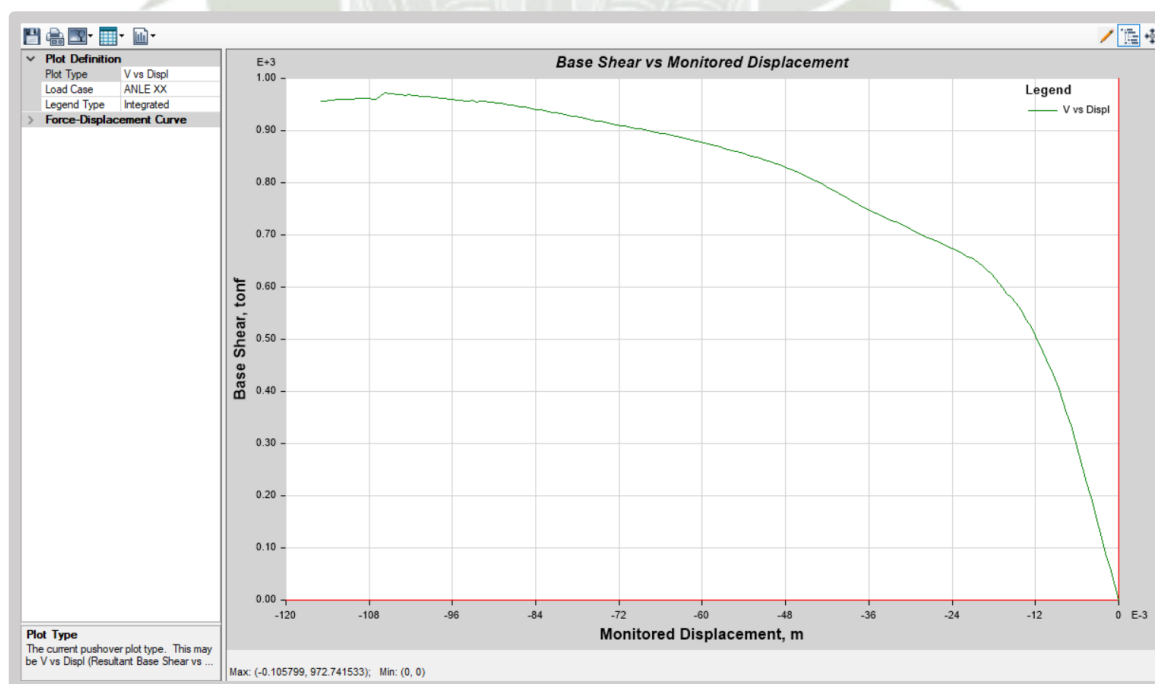


Figura 109: Grafica Curva de Capacidad dirección X sistema MDL (Fuente: Etabs)

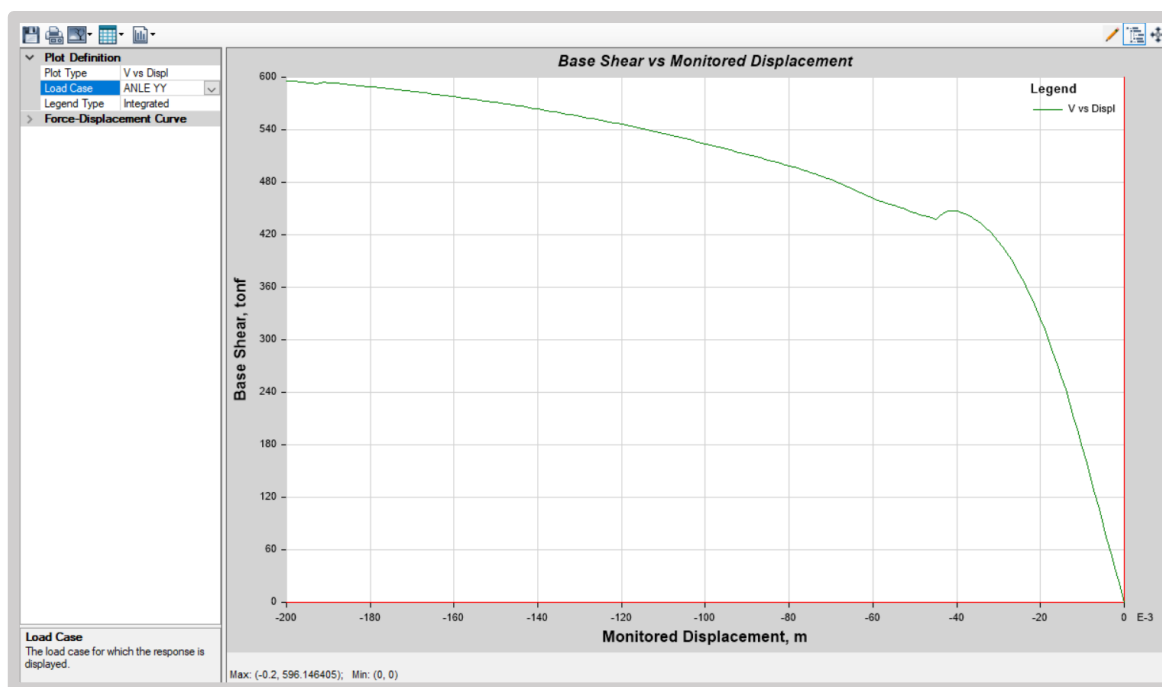


Figura 110: Grafica Curva de Capacidad dirección Y sistema MDL (Fuente: Etabs)

4.2.3. COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS

4.2.3.1. DIRECCIÓN "X"

Se observa en la figura 86 las curvas de capacidad de ambos sistemas en el eje X en una misma gráfica para poder apreciar con más precisión la diferencia que existe. La curva de capacidad del sistema muros estructurales tuvo mayor desplazamiento que el sistema de muros de ductilidad limitada, podemos decir que esto sucedió por la mayor densidad de muros que tiene el sistema de muros de ductilidad limitada.

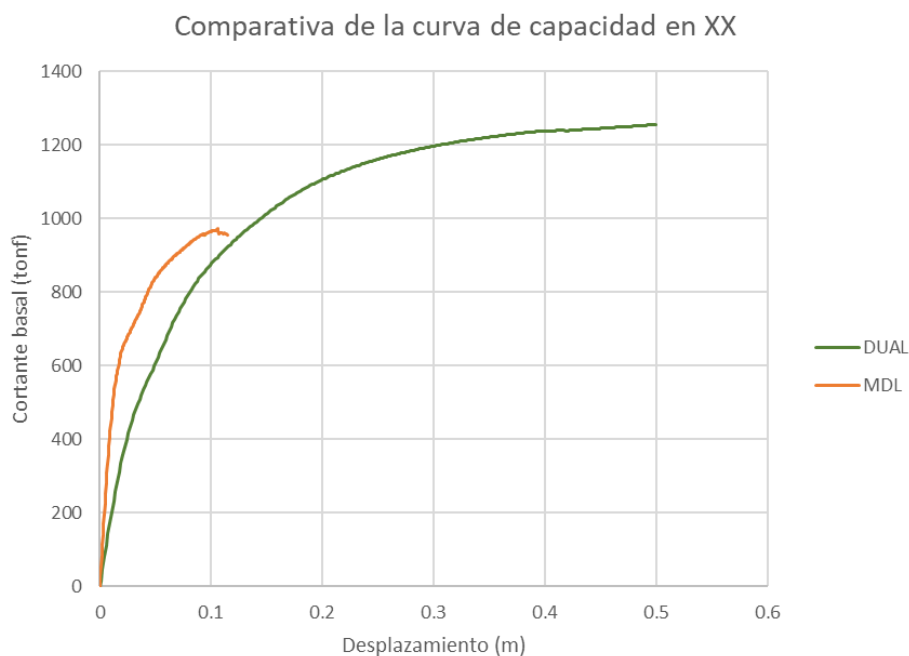


Figura 111: Comparación de curva de capacidad de sistema muros estructurales y MDL en dirección X

4.2.3.2. DIRECCIÓN "Y"

De la misma manera que en el eje X podemos observar en la siguiente imagen que el sistema muros estructurales tuvo mayor desplazamiento que el sistema de muros de ductilidad limitada por la densidad de muros.

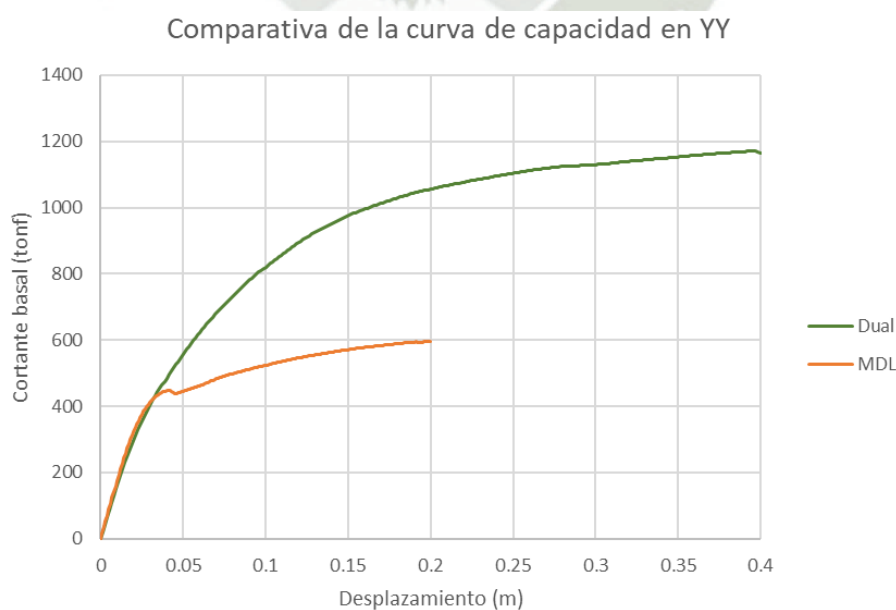


Figura 112: Comparación de curva de capacidad de sistema muros estructurales y MDL en dirección Y

4.3. OBTENCION DE VALOR NUMERICO Y GRAFICO DE PUNTOS DE DESEMPEÑO

4.3.1. METODO FEMA 440

4.3.1.1. DIRECCIÓN "X"

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Del programa Etabs se obtuvo los siguientes valores del espectro de capacidad y demanda para el eje X.

Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (tonf)	945.5881
Displacement (m)	0.122665
Sa (g)	0.599972
Sd (m)	0.090772

Figura 113: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema muros estructurales eje X
(Fuente: Etabs)

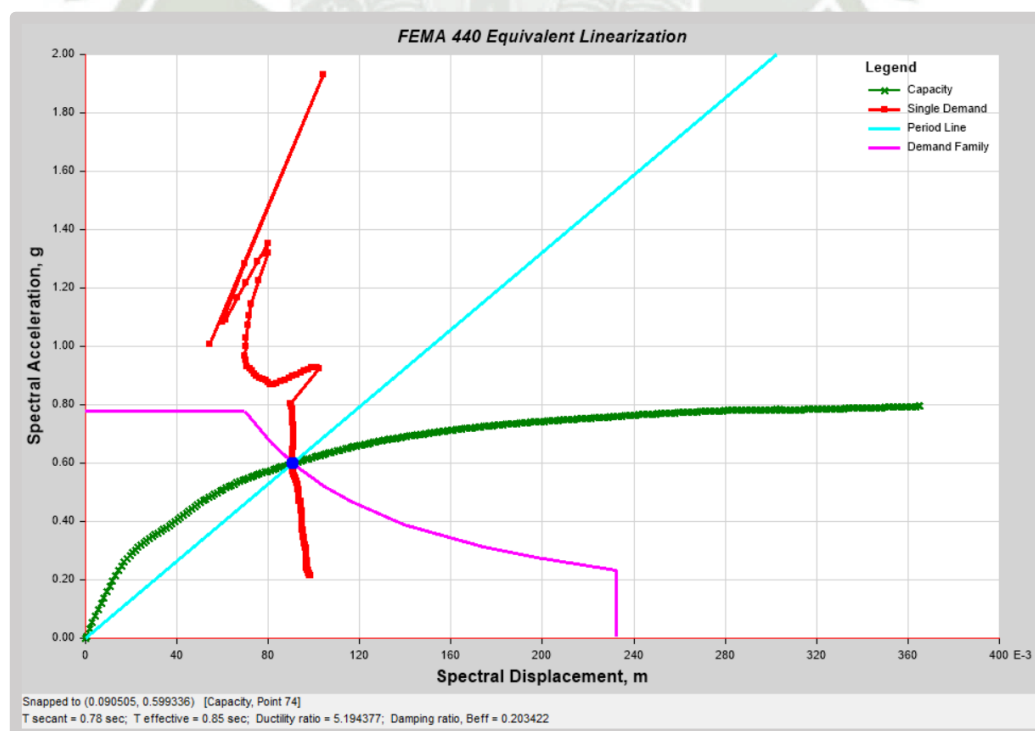


Figura 114: Espectro de demanda y capacidad según FEMA 440 sistema muros estructurales eje X
(Fuente: Etabs)

Se observa que el punto de desempeño para este sistema en el eje X tuvo un desplazamiento de 12.3 cm según FEMA.

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (tonf)	612.2082
Displacement (m)	0.018194
Sa (g)	0.783927
Sd (m)	0.017315

Figura 115: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema MDL eje X (Fuente: Etabs)

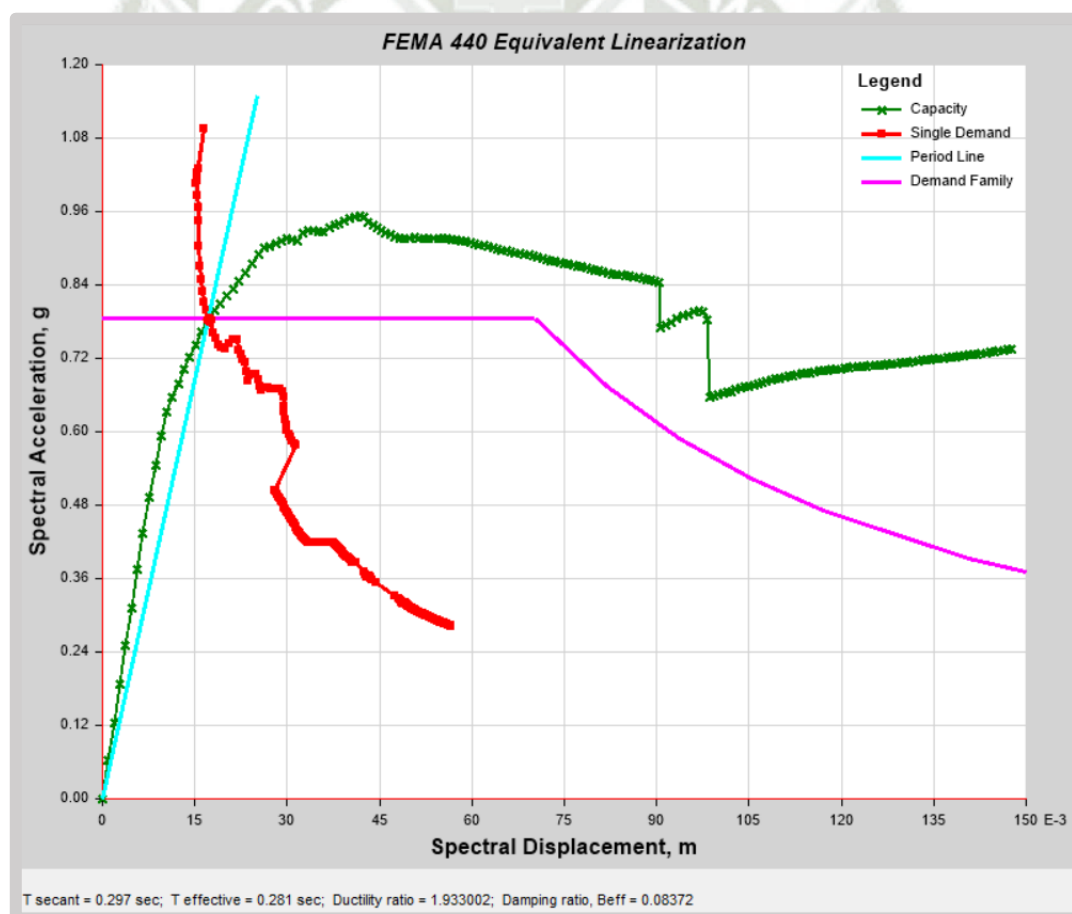


Figura 116: Espectro de demanda y capacidad según FEMA sistema MDL eje X (Fuente: Etabs)

Podemos observar que el punto de desempeño para este sistema en el eje X tuvo un desplazamiento de 1.81 cm según FEMA.

4.3.1.2. DIRECCIÓN “Y”

- Sistema de Muros Estructurales

Del programa ETABS obtenemos los siguientes valores del espectro de capacidad y demanda para el eje Y.

Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (tonf)	1011.8131
Displacement (m)	0.169105
Sa (g)	0.528182
Sd (m)	0.105028

Figura 117: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema muros estructurales eje Y
(Fuente: Etabs)

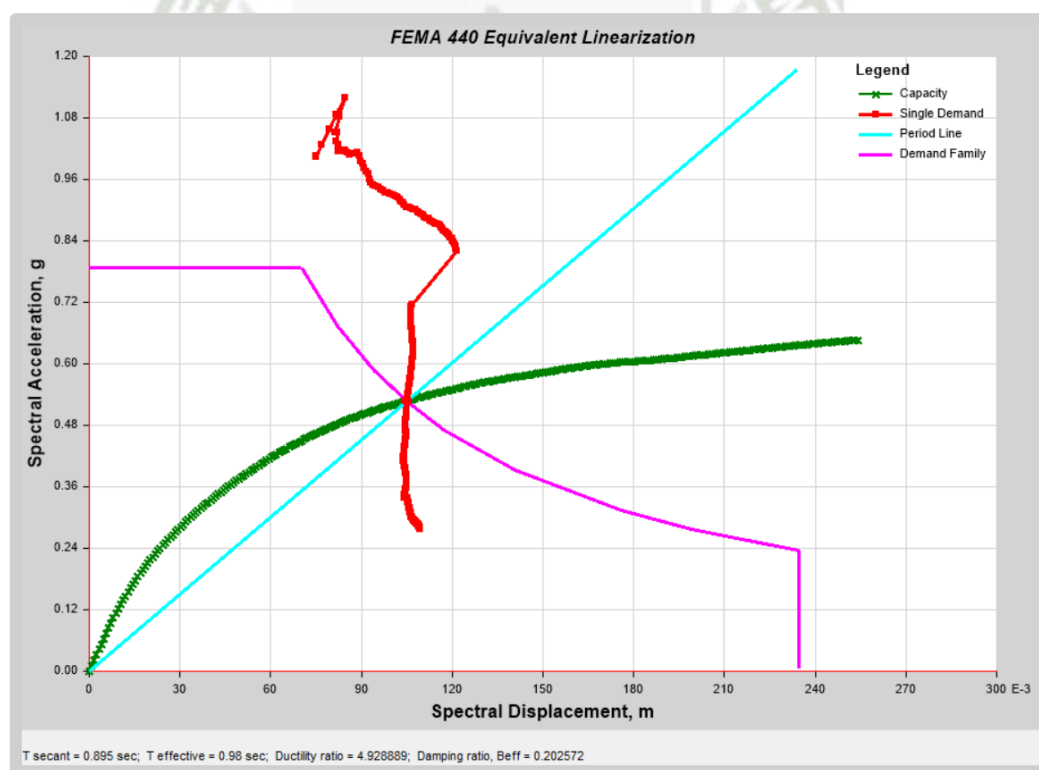


Figura 118: Espectro de demanda y capacidad según FEMA 440 sistema Muros Estructurales eje Y
(Fuente: Etabs)

Podemos observar que el punto de desempeño para este sistema en el eje Y tiene un desplazamiento de 16.9 cm según FEMA.

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (tonf)	546.0061
Displacement (m)	-0.119889
Sa (g)	0.334719
Sd (m)	0.075816

Figura 119: Valores de punto de desempeño según FEMA 440 Sistema MDL eje Y (Fuente: Etabs)

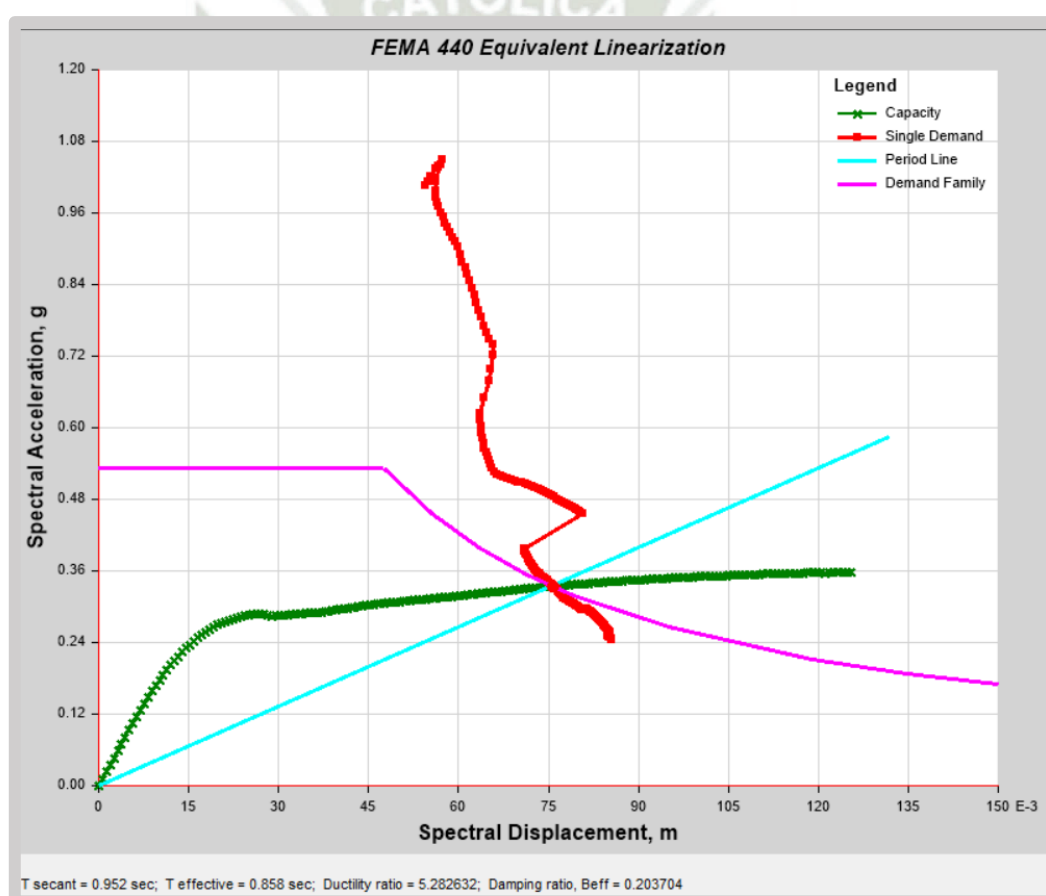


Figura 120: Espectro de demanda y capacidad según FEMA 440 sistema MDL eje Y (Fuente: Etabs)

Podemos observar que el punto de desempeño para este sistema en el eje Y tuvo un desplazamiento de 11.9 cm según FEMA.

4.3.2. METODO ASCE 41-17

4.3.2.1. DIRECCIÓN "X"

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Target Displacement Results	
Displ. (m)	0.108823
Shear (tonf)	904.8998

Figura 121: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 sistema muros estructurales eje X
(Fuente: Etabs)

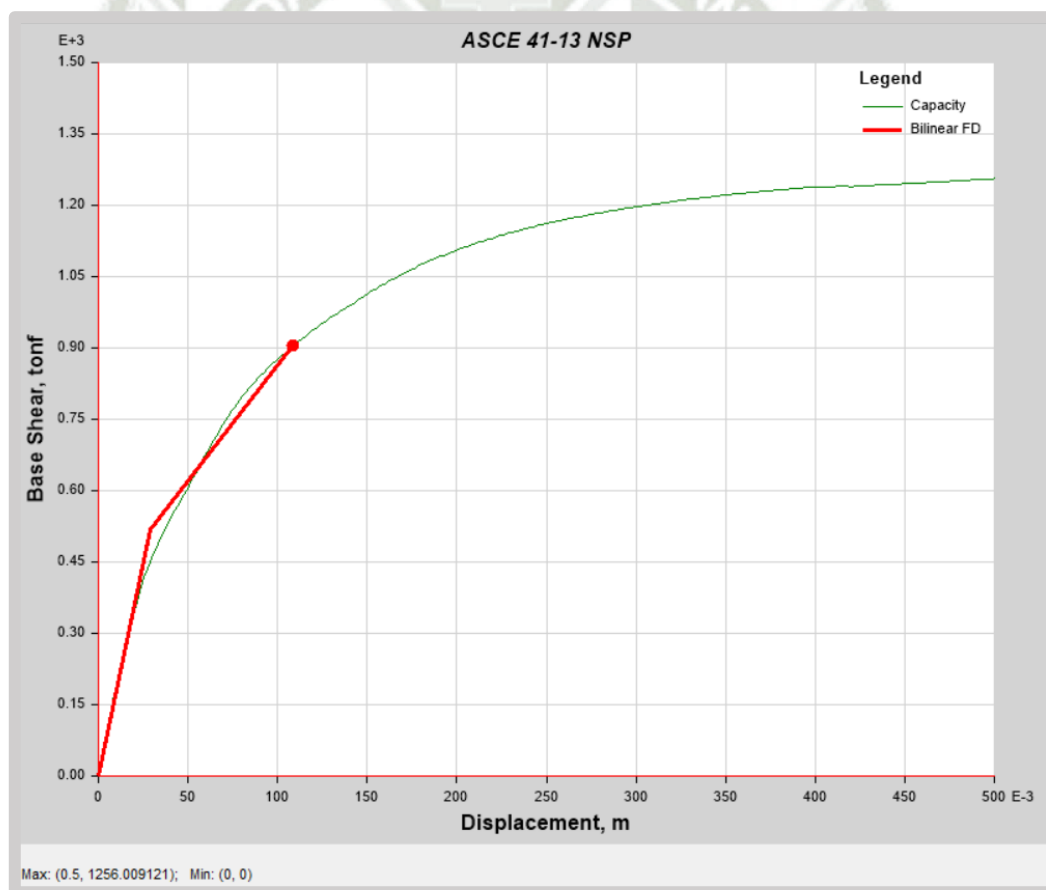


Figura 122: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema muros estructurales eje X
(Fuente: Etabs)

Se observa que la recta bilineal termino justamente en el punto de desempeño y para este sistema en el eje X tuvo un desplazamiento de 10.8 cm según ASCE.

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Target Displacement Results	
Displ. (m)	0.024502
Shear (tonf)	676.8508

Figura 123: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 Sistema MDL eje X (Fuente: Etabs)

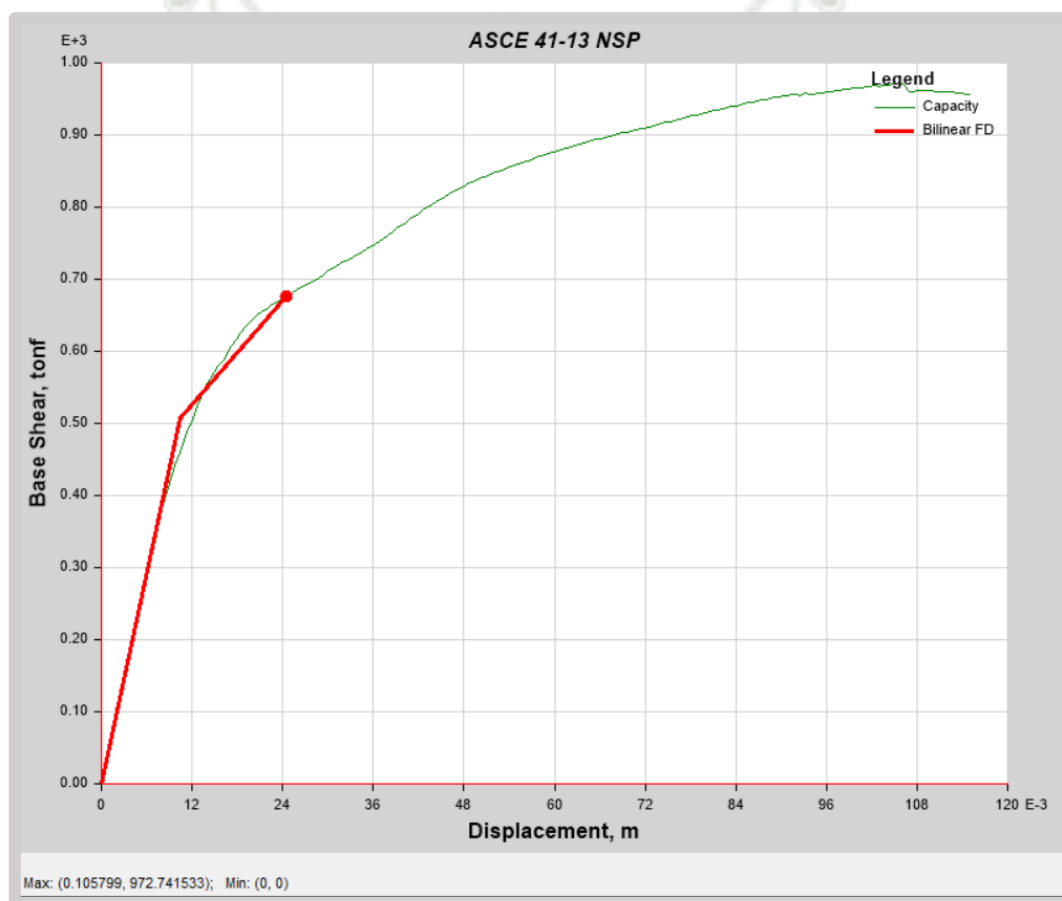


Figura 124: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema MDL eje X (Fuente: Etabs)

Se observa que la recta bilineal termino justamente en el punto de desempeño y para este sistema en el eje X tuvo un desplazamiento de 2.45 cm según ASCE

4.3.2.2. DIRECCIÓN “Y”

- Sistema de Muros Estructurales

Target Displacement Results	
Displ. (m)	0.163702
Shear (tonf)	1002.4965

Figura 125: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 Sistema muros estructurales eje Y
(Fuente: Etabs)

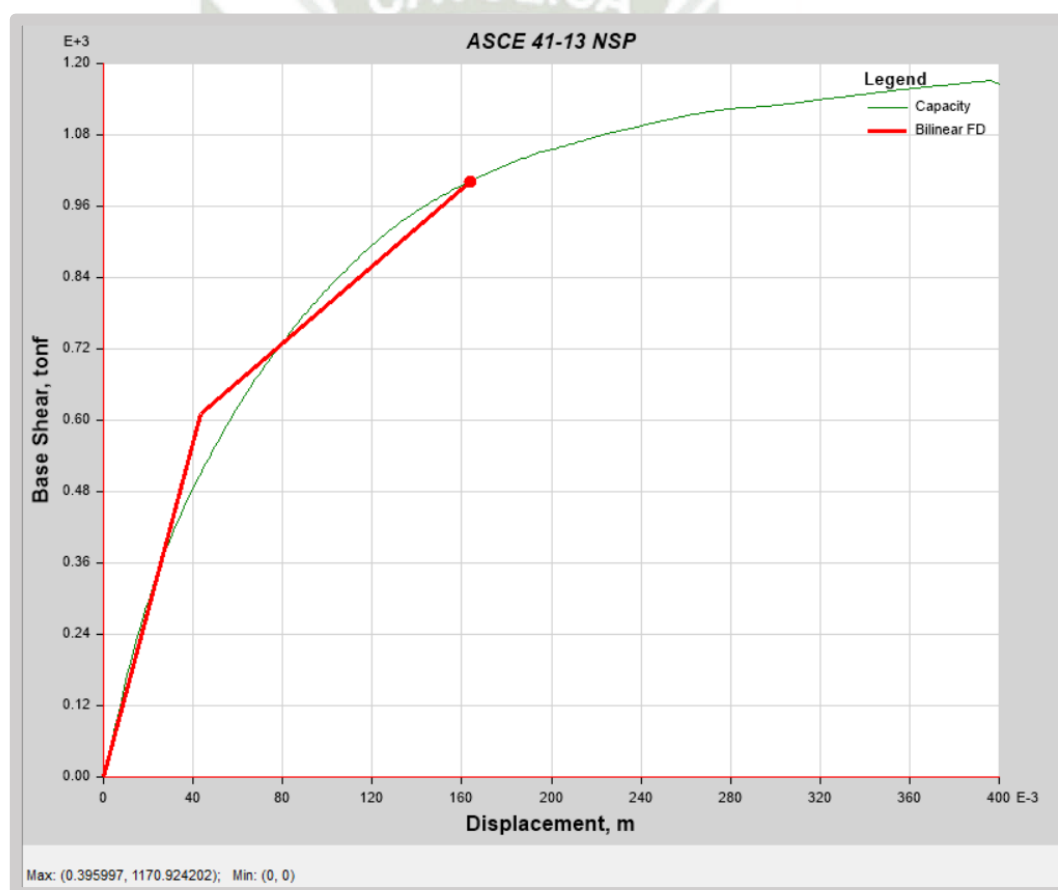


Figura 126: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema muros estructurales eje Y
(Fuente: Etabs)

Se observa que la recta bilineal termino justamente en el punto de desempeño y para este sistema en el eje y tuvo un desplazamiento de 16.4 cm según ASCE

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Target Displacement Results	
Displ. (m)	0.121076
Shear (tonf)	547.2129

Figura 127: Valores de punto de desempeño según ASCE 41-17 sistema MDL eje Y (Fuente: Etabs)

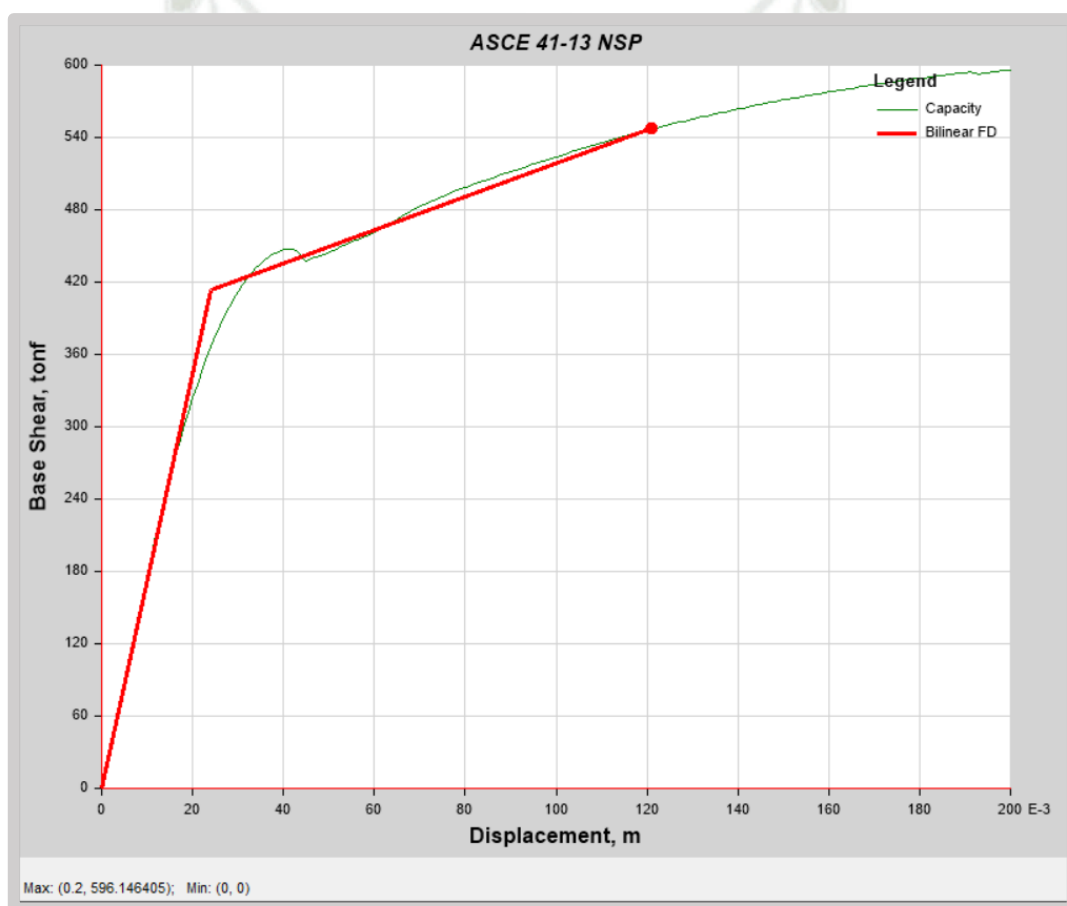


Figura 128: Espectro de demanda y capacidad según ASCE 41-17 sistema MDL eje Y (Fuente: Etabs)

Se observa que la recta bilineal termino justamente en el punto de desempeño y para este sistema en el eje y tuvo un desplazamiento de 12.1 cm según ASCE.

4.4. CLASIFICACION Y COMPARACION DEL NIVEL DE DESEMPEÑO PARA AMBOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

4.4.1. SECTORIZACION SEGÚN LA PROPUESTA DE VISSION 2000

4.4.1.1. DIRECCIÓN “X”

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Como primer dato tuvimos el primer punto de la recta bilineal obtenido del programa Etabs que corresponde al rango elástico $D_y = 0.0872\text{m}$ y como desplazamiento último $D_u = 0.5\text{m}$ que corresponde el final o desplazamiento de colapso de la curva de capacidad mostrado en la figura 111 y 112.

Dy (m)	0.087234
Vy (tonf)	1041.8819

Figura 129: Desplazamiento elástico sistema muros estructurales eje X (Fuente: Etabs)

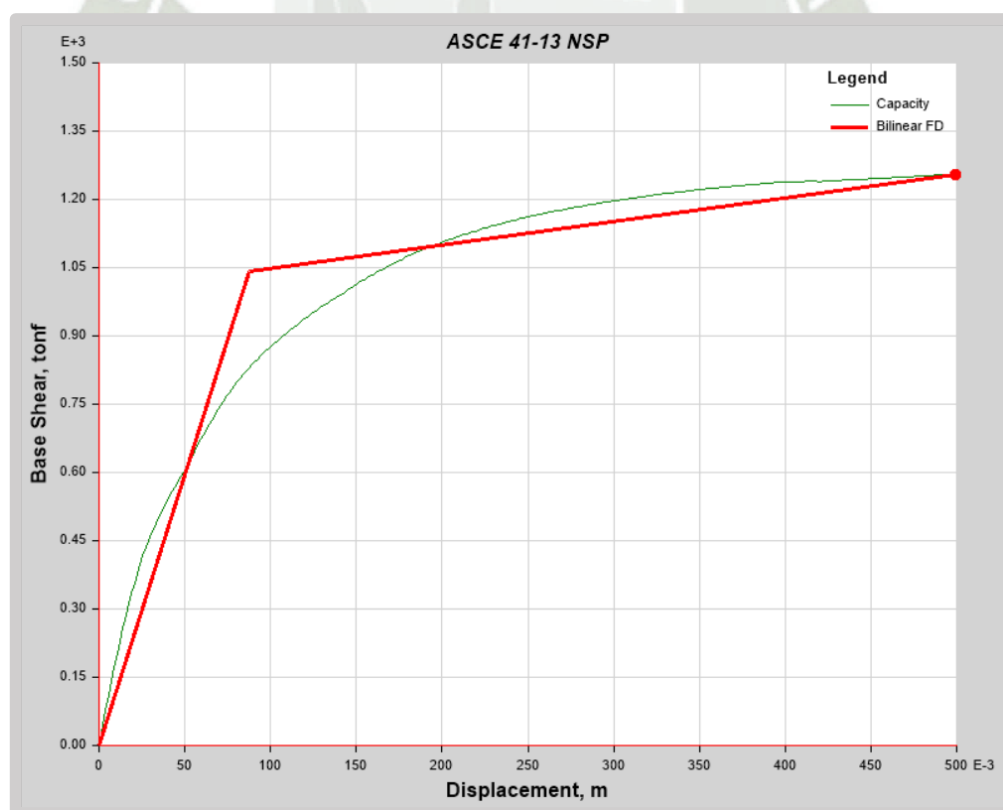


Figura 130: Grafica curva de capacidad y representación bilineal sistema muros estructurales eje X (Fuente: ETABS)

Para mayor precisión se graficó las curvas en Excel con la sectorización correspondiente.

En las figuras 114 y 115 se ubicó el punto de desempeño para el eje X del sistema muros estructurales obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 12.3 cm
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 10.8 cm

Para ambos métodos el desplazamiento fue similar y se encuentran dentro del rango **operacional** en dirección X según la propuesta de VISION 2000.

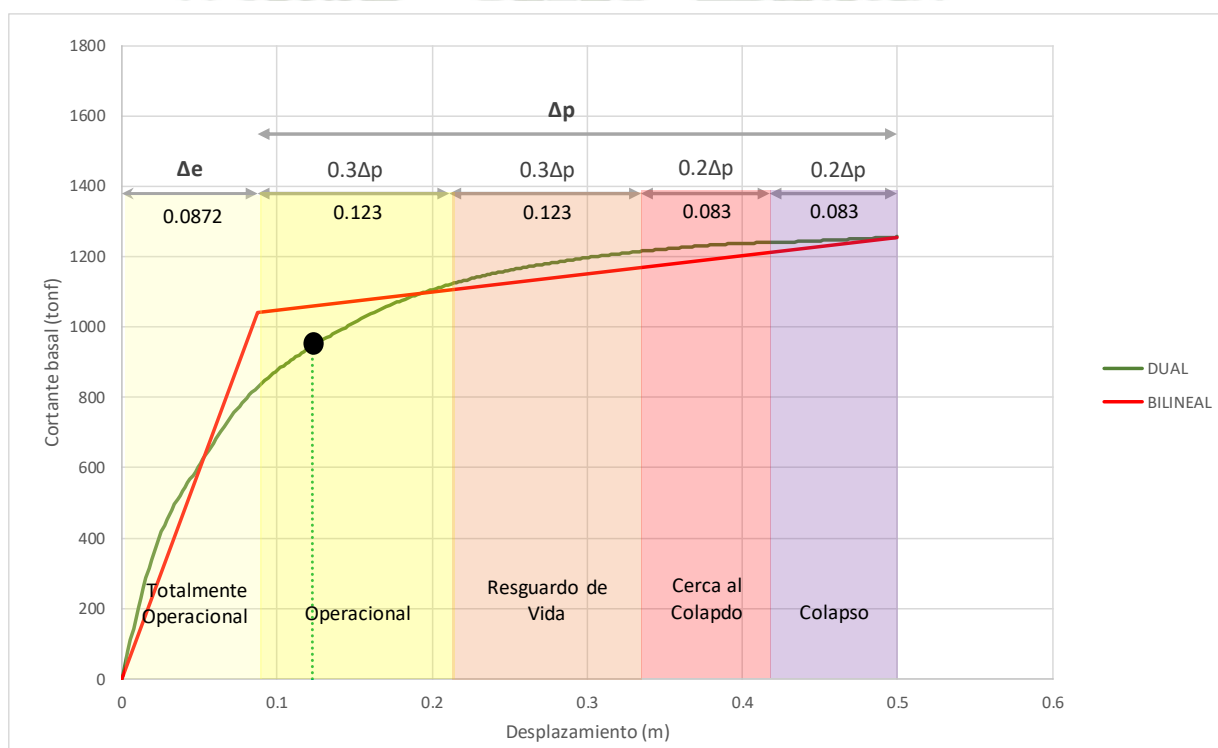


Figura 131: Sectorización (VISION 2000) y punto de desempeño sistema muros estructurales eje X método FEMA 440 (Fuente: Propia)

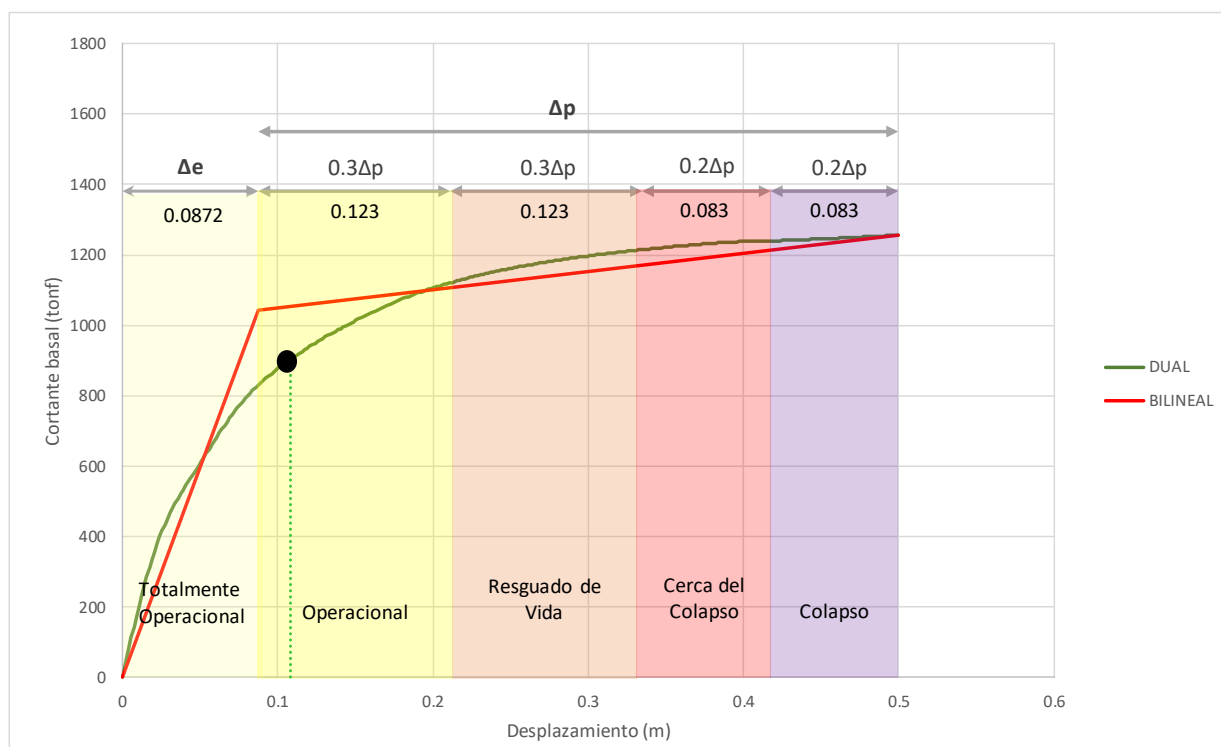


Figura 132: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema muros estructurales eje X método ASCE 41-17 (Fuente: Propia)

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

El primer punto de la recta bilineal obtenido del programa ETABS que corresponde al rango elástico $D_y = 0.0241$ m y como desplazamiento último $D_u = 0.115$ m que corresponde el final o desplazamiento de colapso de la curva de capacidad mostrado en la figura 115.

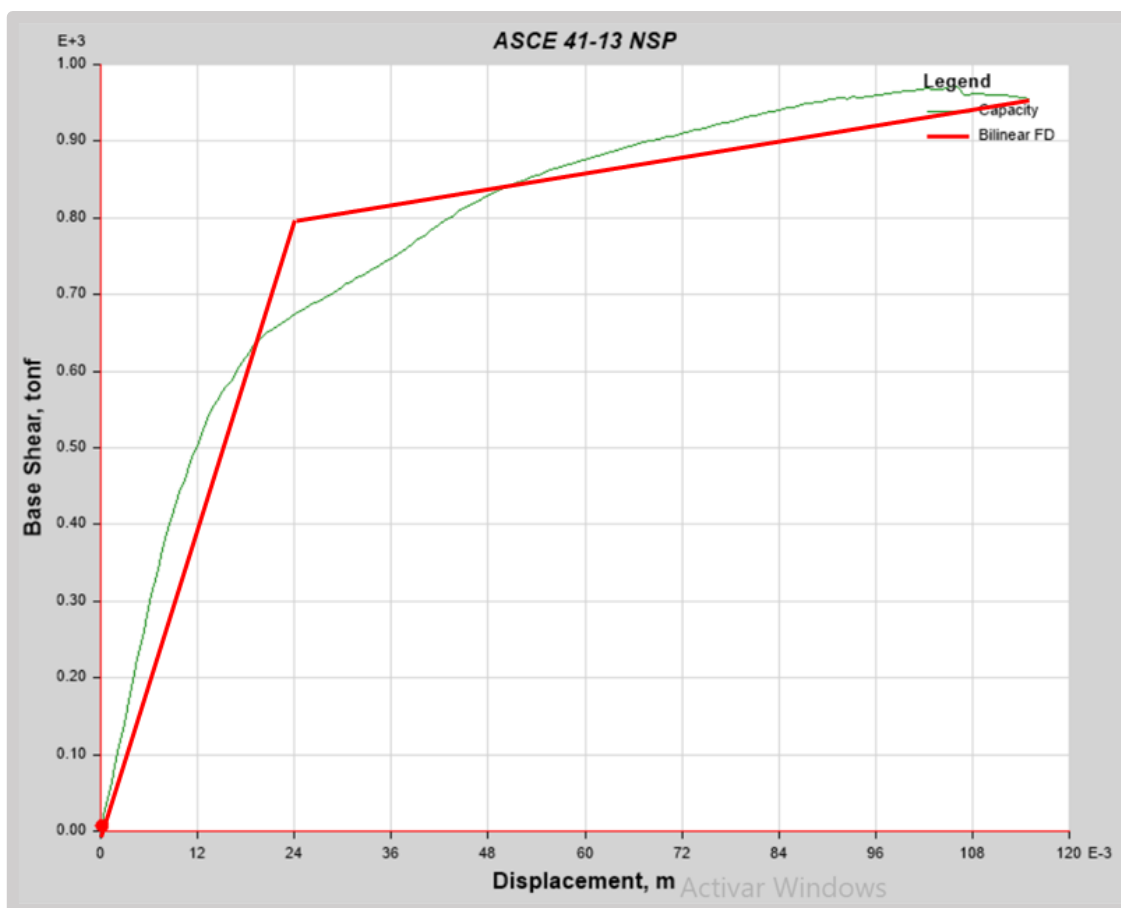


Figura 133: Gráfica Curva de Capacidad y representación bilineal sistema MDL eje X (Fuente: ETABS)

Se graficó las curvas en Excel con la sectorización correspondiente. En las figuras 116 y 117 se ubicó el punto de desempeño para el eje X del sistema MDL obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 1.81 cm
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 2.45 cm

Se ve que para el método FEMA el desplazamiento se encontró dentro del rango Totalmente Operacional y para el método ASECW se encontró en el límite del rango Totalmente operacional y Operacional. En este caso como la diferencia entre ambos métodos fue mínima, podemos decir que ambos se encontraron en el rango **totalmente operacional** en dirección XX según la propuesta VISION 2000.

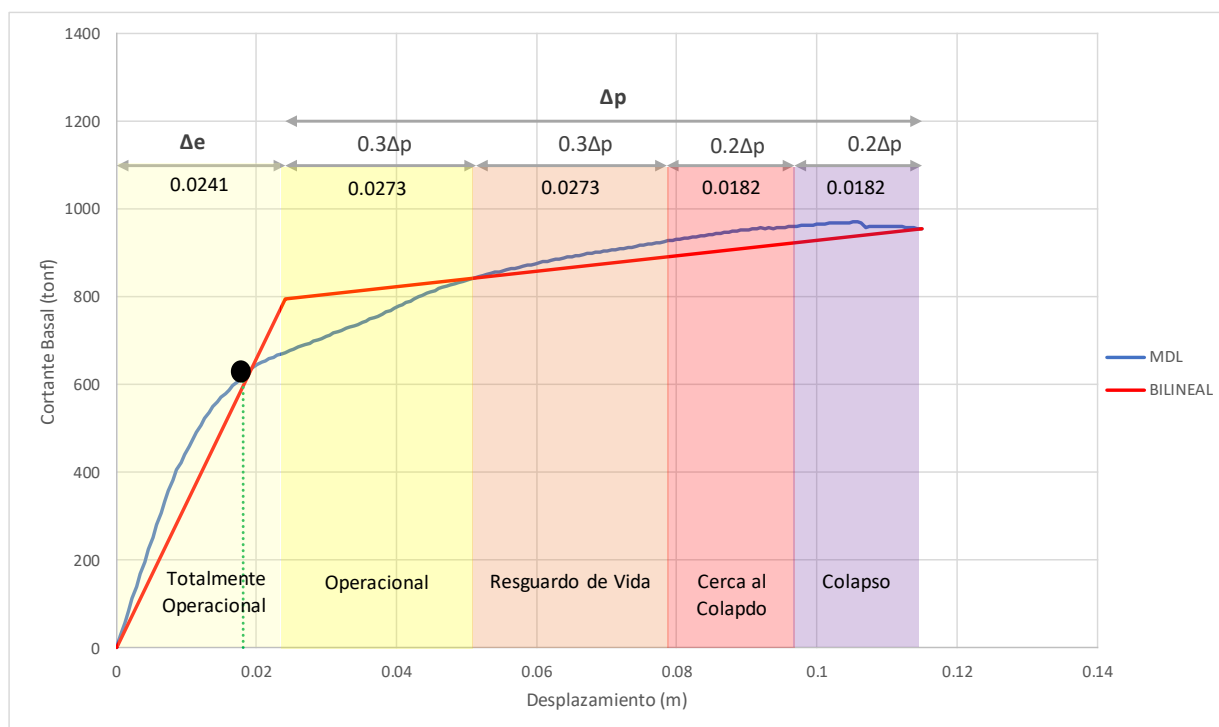


Figura 134: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño Sistema MDL eje X método FEMA 440
(Fuente: Propia)

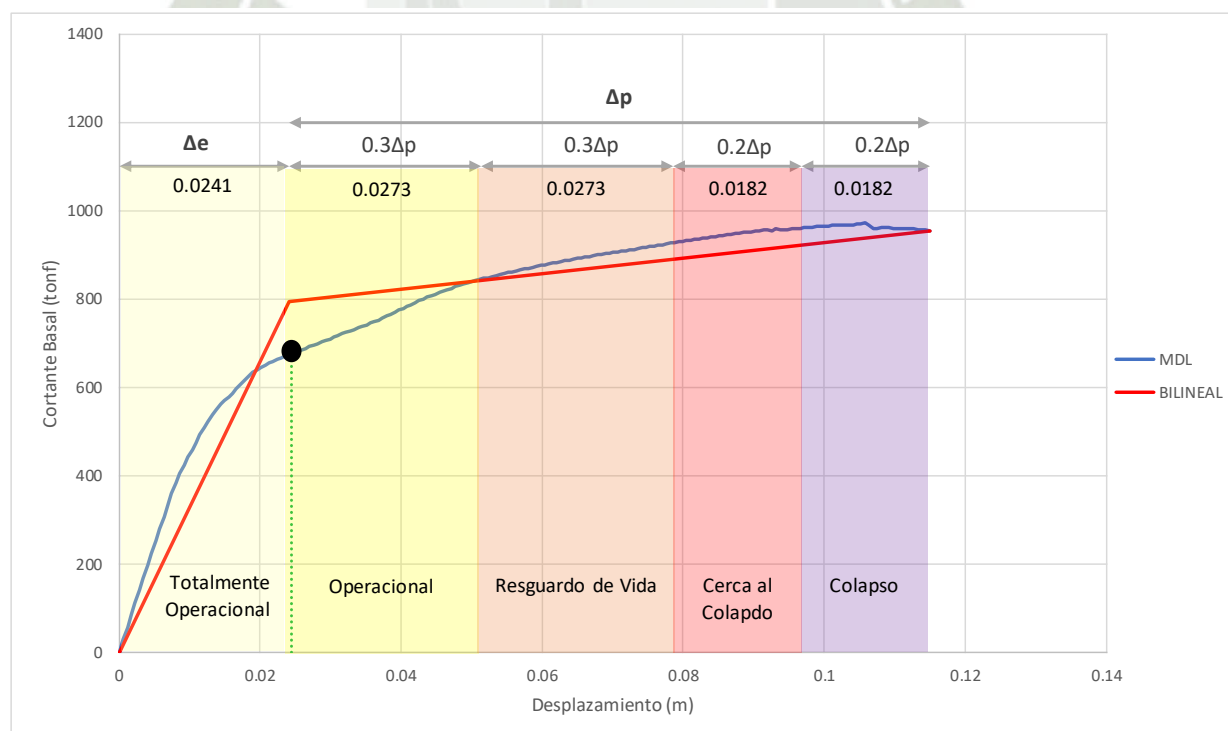


Figura 135: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño Sistema MDL eje X método ASCE 41-17
(Fuente: Propia)

4.4.1.2. DIRECCION "Y"

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

El primer punto de la recta bilineal obtenido del programa ETABS que corresponde al rango elástico $D_y = 0.0858$ m y como desplazamiento último $D_u = 0.4$ cm que corresponde el final o desplazamiento de colapso de la curva de capacidad mostrado en la figura 118 y 119.

Dy (m)	0.085869
Vy (tonf)	949.3486

Figura 136: Desplazamiento elástico sistema muros estructurales eje Y (Fuente: Etabs)

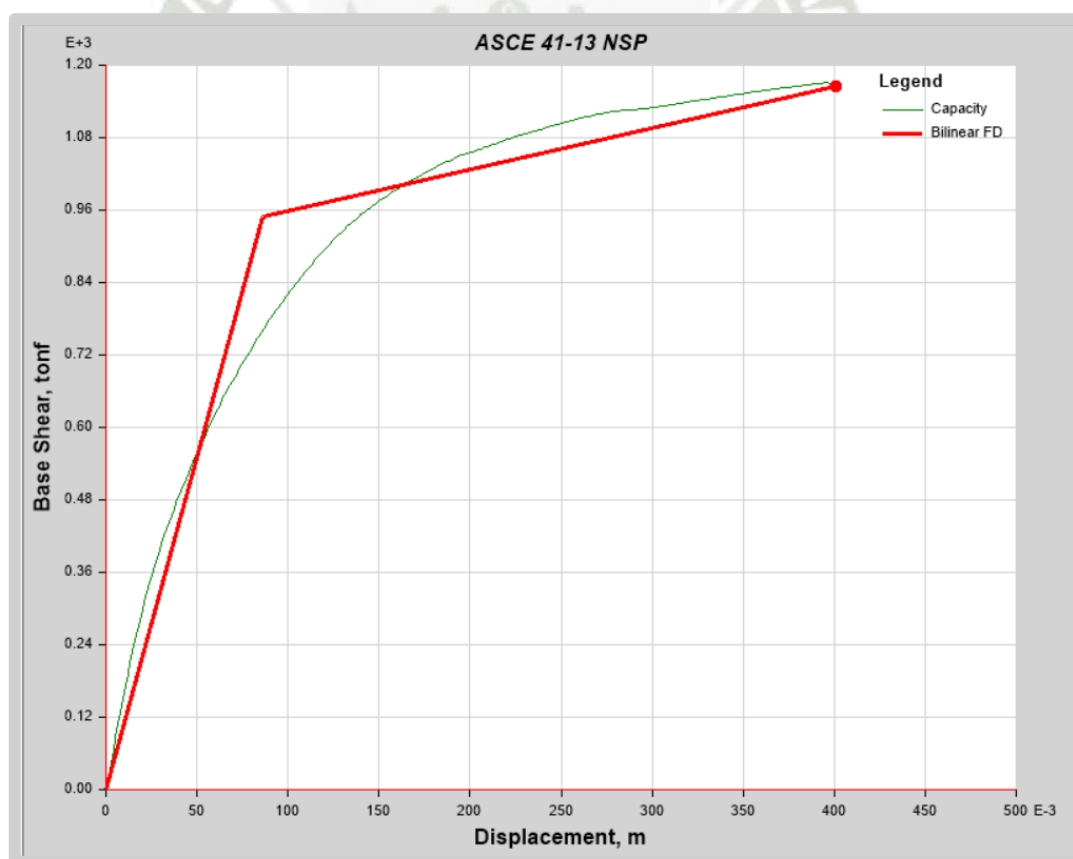


Figura 137: Grafica curva de capacidad y representación bilineal sistema muros estructurales eje Y (Fuente: Etabs)

En las figuras 120 y 121 se ubicó el punto de desempeño para el eje Y del sistema muros estructurales obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 16.9 cm o 0.169 m
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 16.4 cm o 0.164 m

Podemos ver que para ambos métodos el desplazamiento fue similar y se encontró dentro del rango **operacional** en dirección Y según la propuesta de VISION 2000.

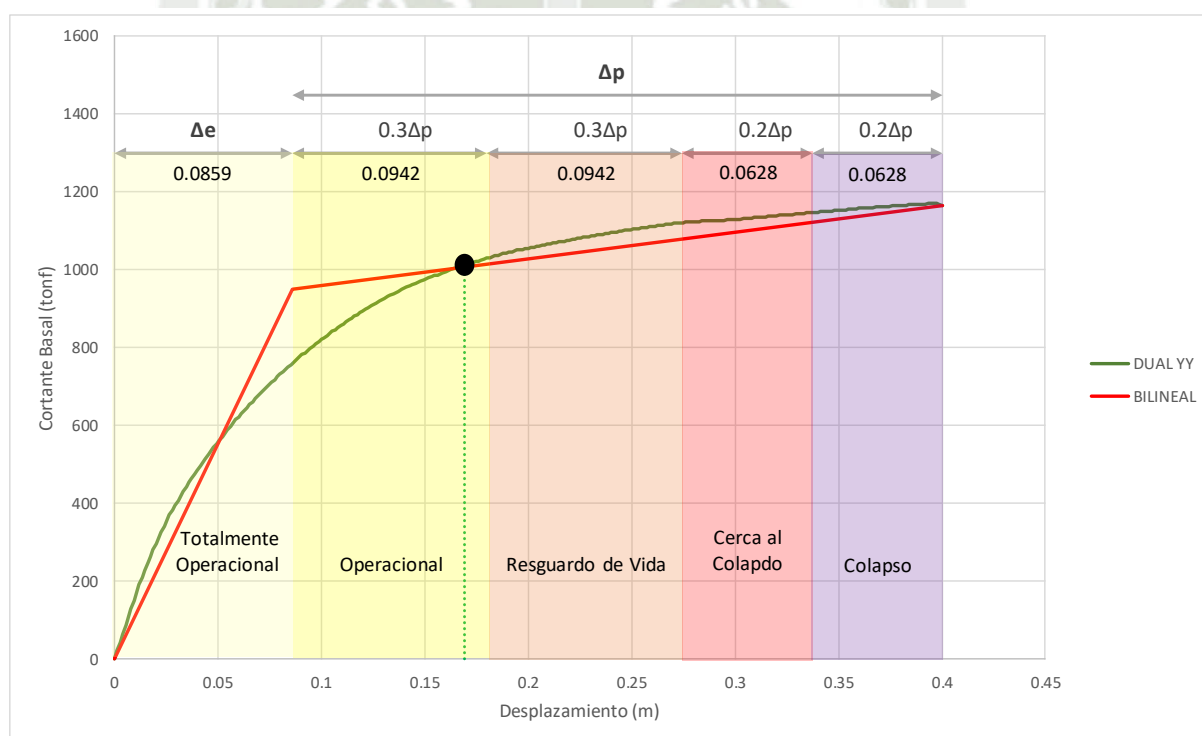


Figura 138: Sectorización (VISION 2000) y punto de desempeño sistema muros estructurales eje Y método FEMA 440 (Fuente: Propia)

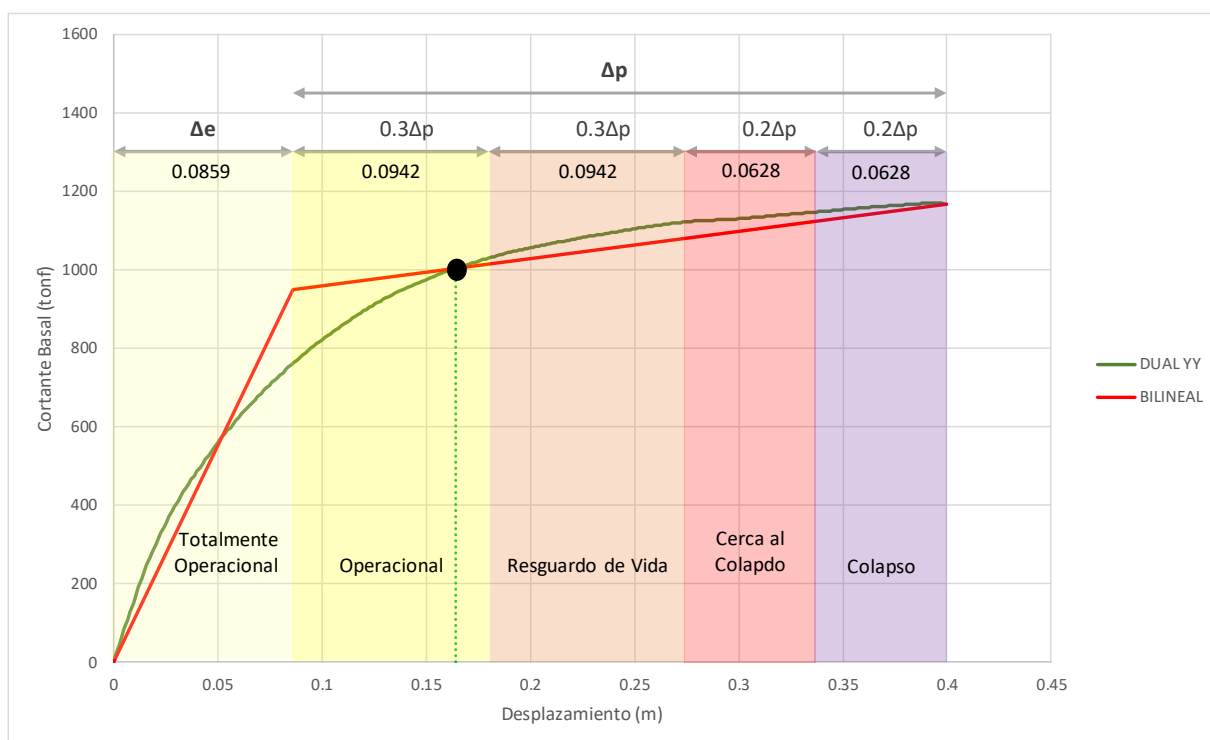


Figura 139: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema muros estructurales eje Y método ASCE 41-17 (Fuente: Propia)

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Observamos en la siguiente figura el primer punto de la resta bilineal correspondiente al rango elástico $D_y = 0.0267\text{m}$ y $D_u = 0.2\text{ m}$ que corresponde al desplazamiento último.

D_y (m)	0.026677
V_y (tonf)	454.2946

Figura 140: Desplazamiento elástico sistema MDL eje Y (Fuente: Etabs)

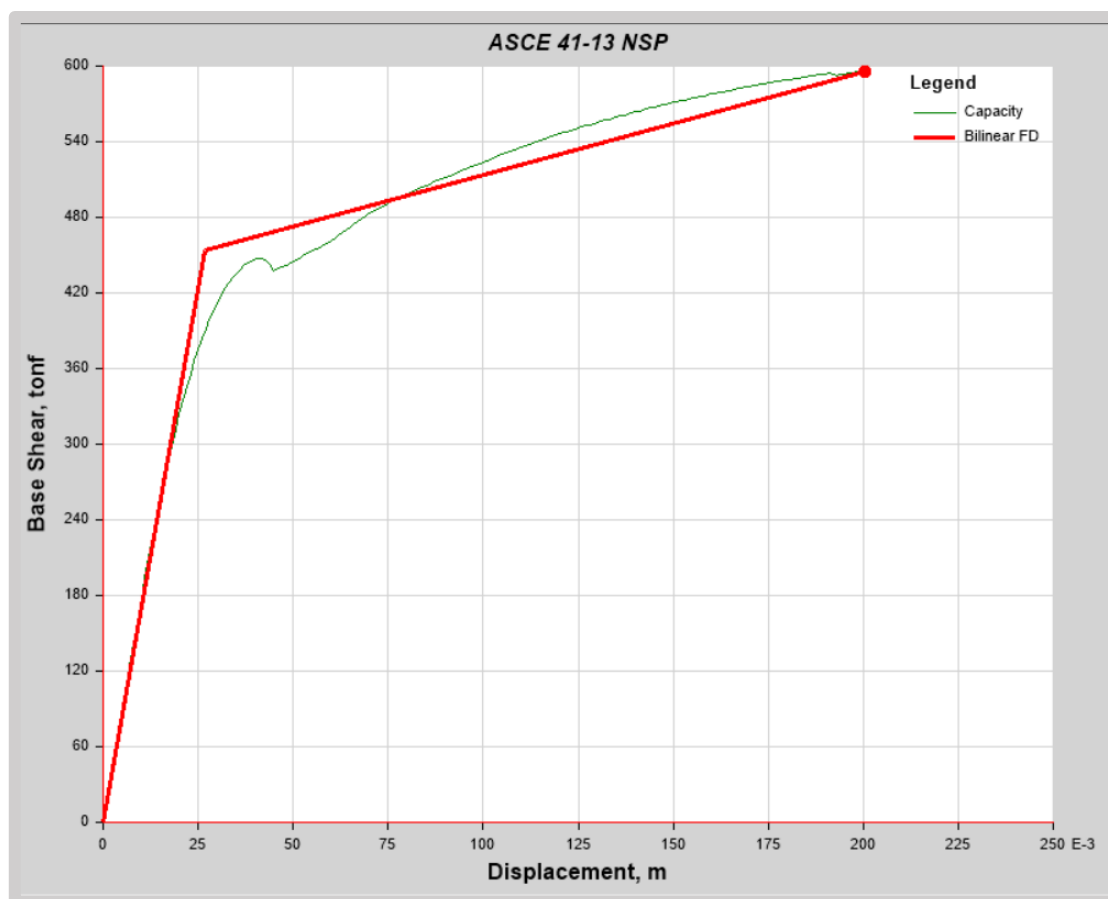


Figura 141: Grafica curva de capacidad y representación bilineal sistema MDL eje Y (Fuente: Etabs)

En las figuras 124 y 125 se ubicó el punto de desempeño para el eje Y del sistema MDL obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 11.9 cm o 0.119 m
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 12.1 cm o 0.121 m

Podemos ver que para ambos métodos el desplazamiento fue similar y se encontró dentro del rango **resguardo de vida** en dirección Y según la propuesta de VISION 2000.

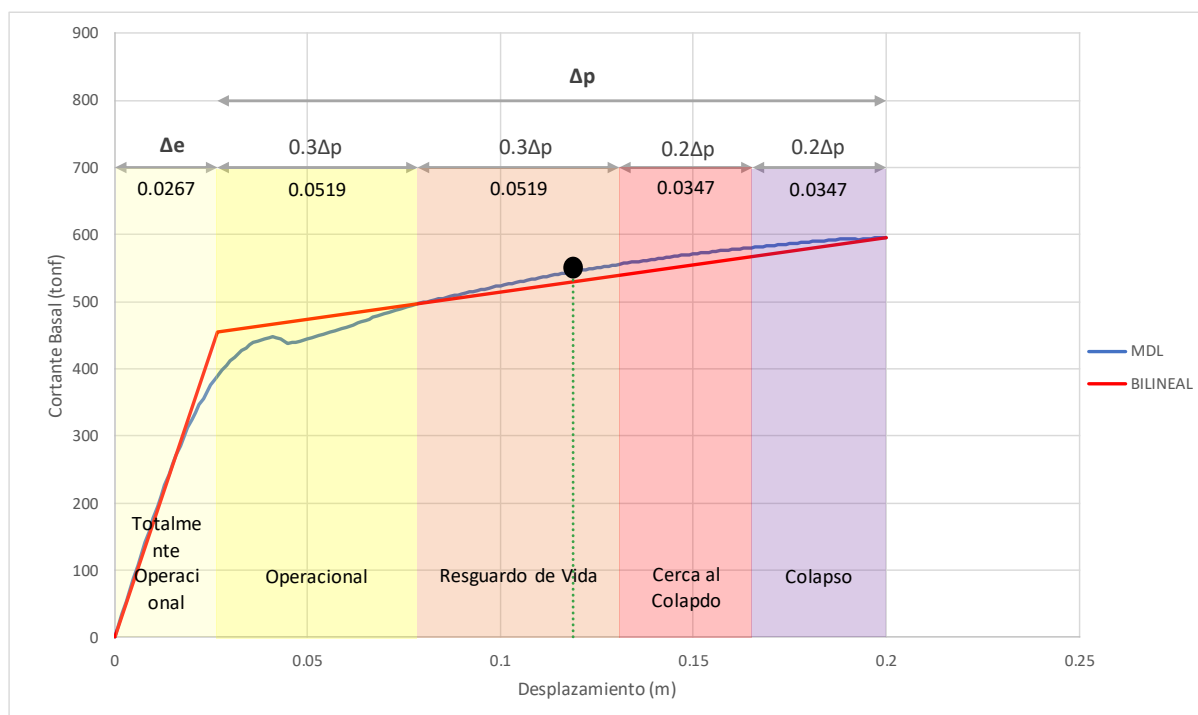


Figura 142: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema MDL eje Y método FEMA 440
(Fuente: Propia)

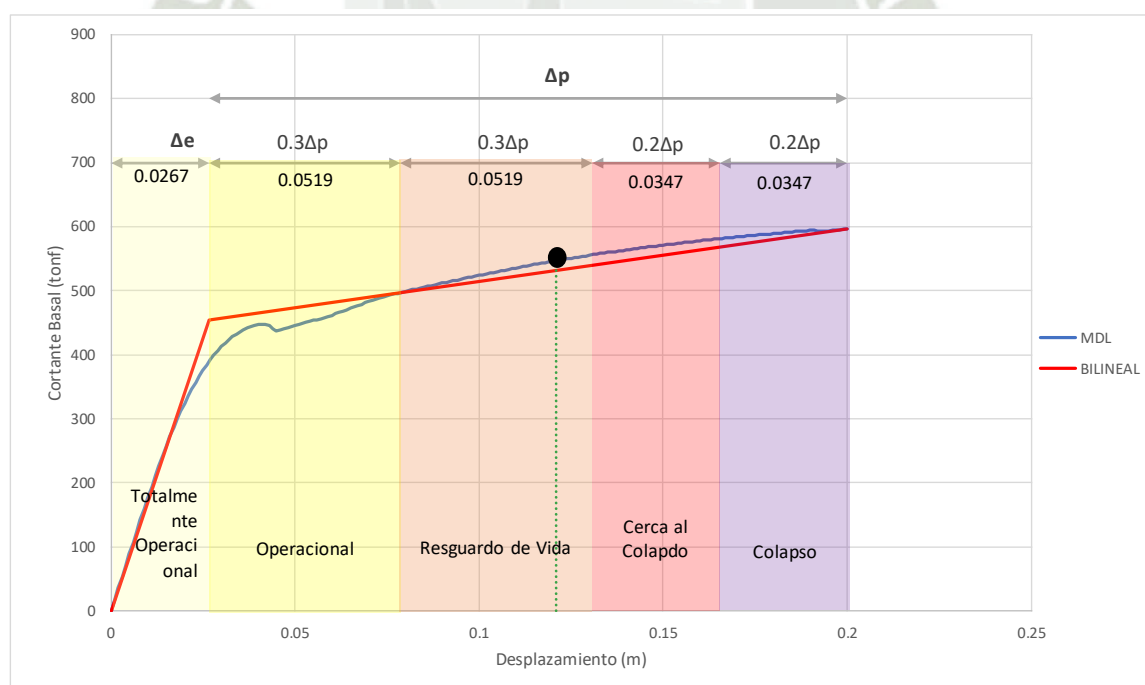


Figura 143: Sectorización (VISION 2000) y punto desempeño sistema MDL eje Y método ASCE 41-17
(Fuente: Propia)

4.4.2. SECTORIZACION SEGÚN LA PROPUESTA ATC-40

4.4.2.1. DIRECCION "X"

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

En las figuras 126 y 127 se ubicó el punto de desempeño para el eje X del sistema Muros Estructurales obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 12.3 cm
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 10.8 cm

Podemos ver que para ambos métodos el desplazamiento fue similar y se encontró dentro del rango de **daño controlado** en dirección X según la propuesta de ATC-40.

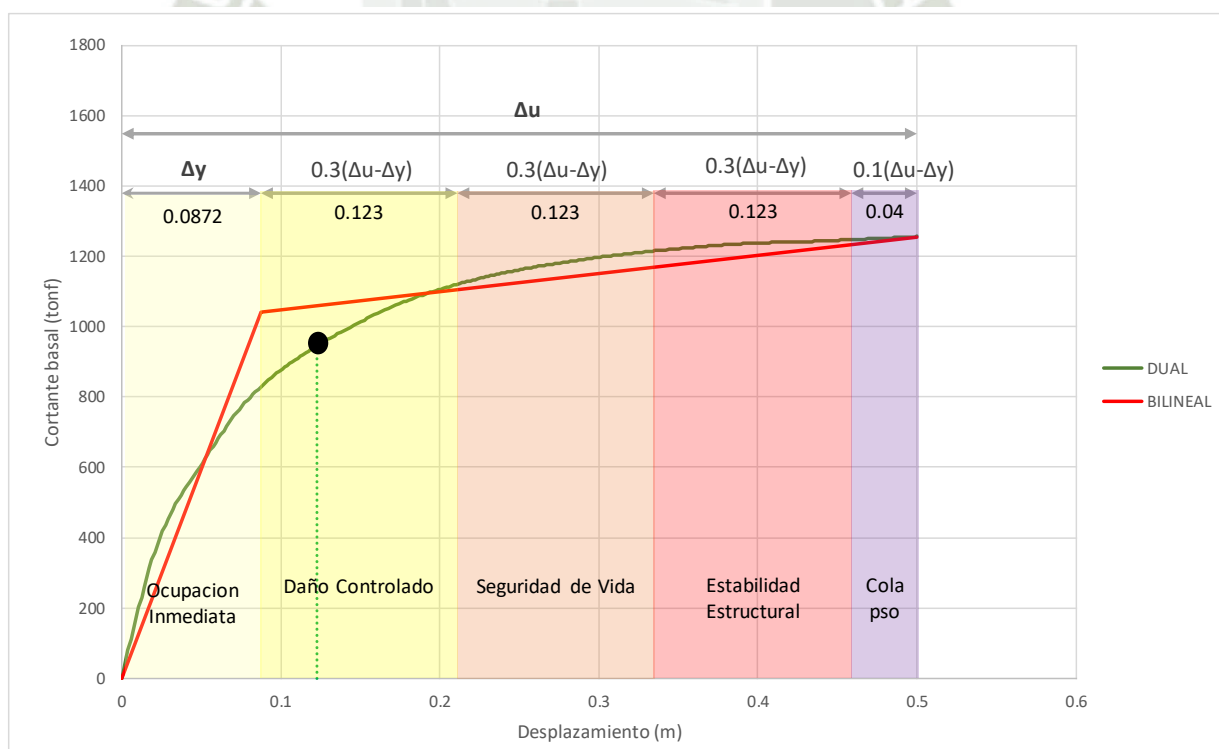


Figura 144: Sectorización (ATC-40) y punto de desempeño sistema muros estructurales eje X método FEMA 440 (Fuente: Propia)

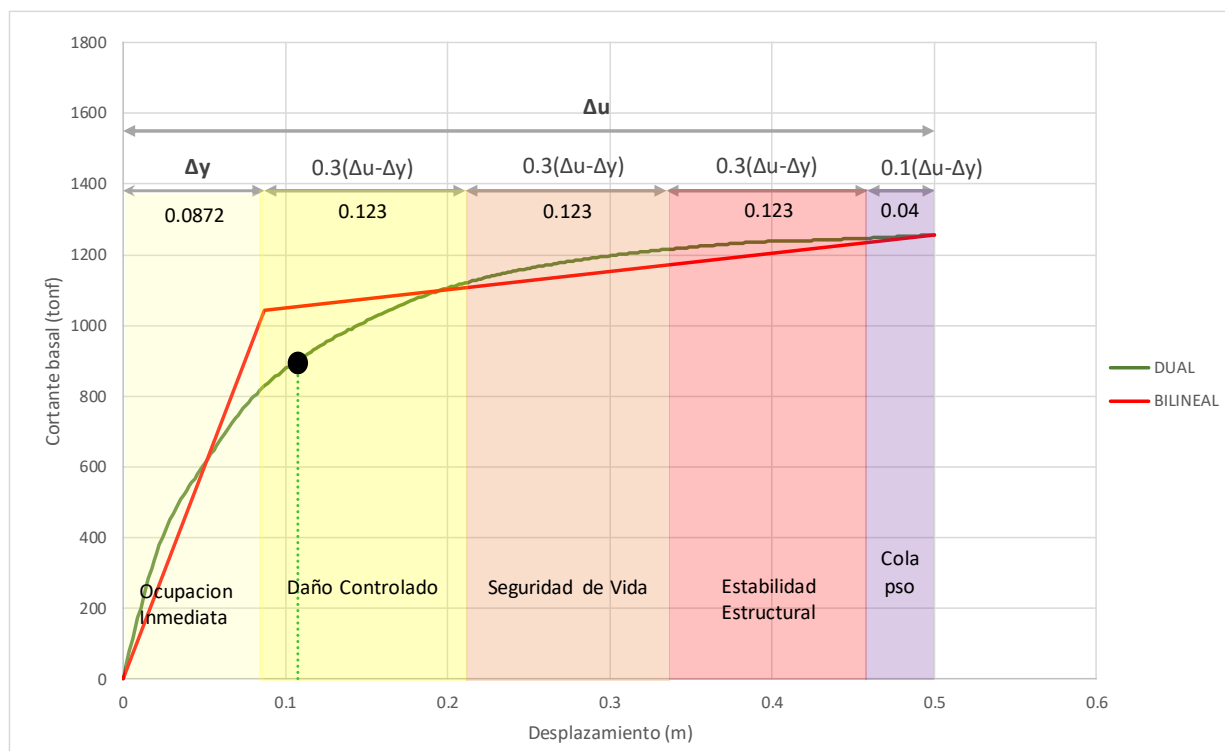


Figura 145: Sectorización (ATC-40) y punto de desempeño sistema muros estructurales eje X método ASCE 41-17 (Fuente: Propia)

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Se graficó las curvas en Excel con la sectorización correspondiente. En las figuras 128 y 129 se ubicó el punto de desempeño para el eje X del sistema MDL obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 1.81 cm
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 2.45 cm

Se ve que para el método FEMA el desplazamiento se dio dentro del rango ocupación inmediata y para el método ASCE se encontró en el límite del rango ocupación Inmediata y daño controlado. En este caso como la diferencia entre ambos métodos fue mínima podemos decir que ambos se encontraron en el rango **ocupación inmediata** en dirección XX según la propuesta ATC – 40.

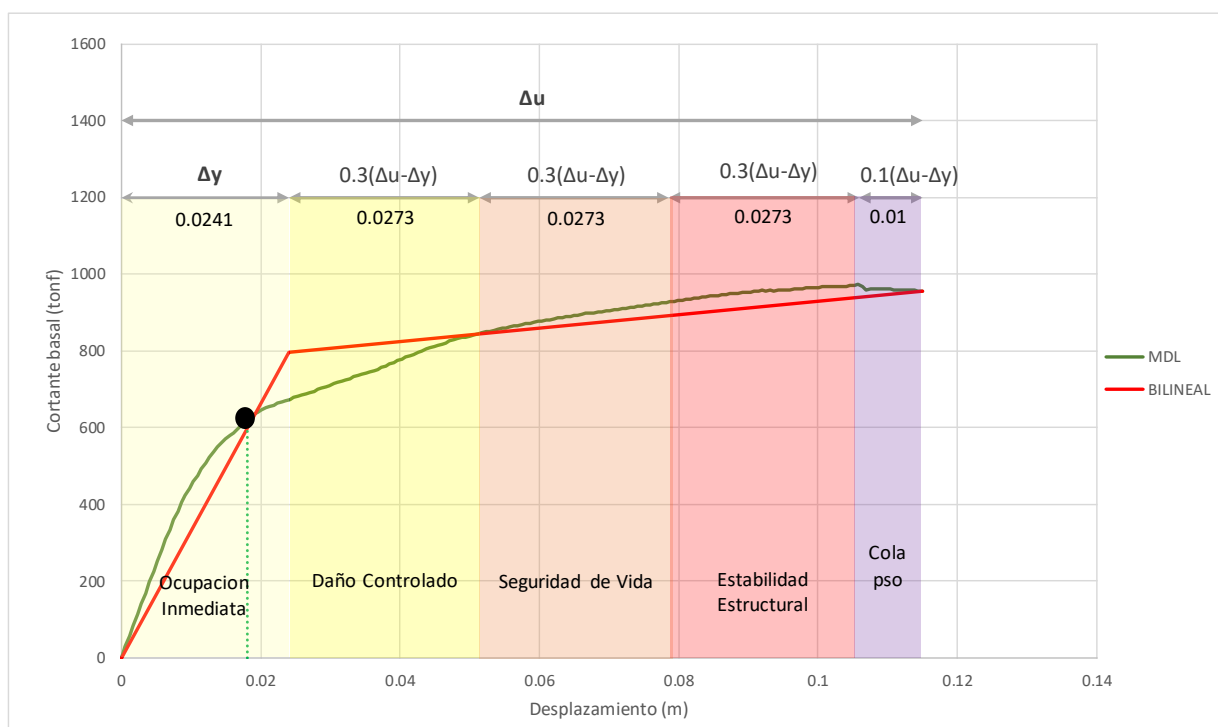


Figura 146: Sectorización (ATC-40) y Punto desempeño Sistema MDL eje X método FEMA 440
(Fuente: Propia)

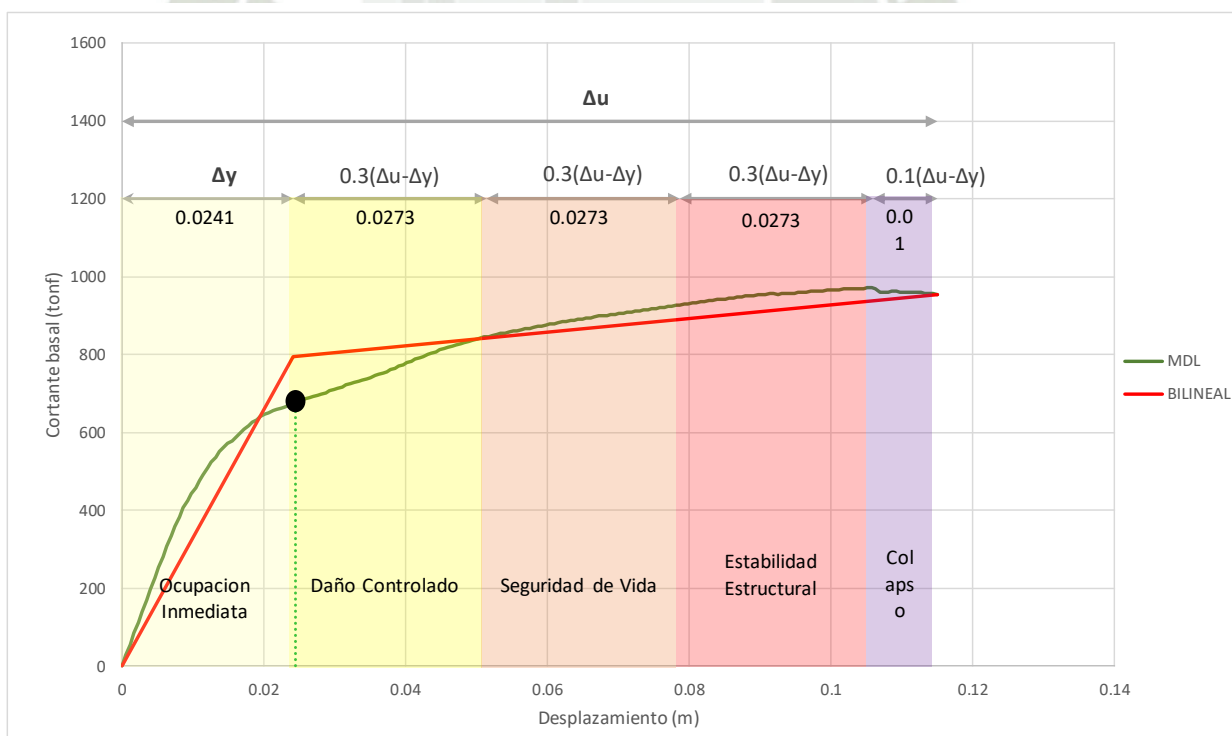


Figura 147: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño Sistema MDL eje X método ASCE 41-17
(Fuente: Propia)

4.4.2.2. DIRECCION “Y”

- SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Se ubicó el punto de desempeño para el eje Y del sistema de muros estructurales, como se muestra en las figuras 130 y 131, obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 16.9 cm
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 16.4 cm

Podemos ver que para ambos métodos el desplazamiento es similar y se encuentra dentro del rango de **daño controlado** en dirección X según la propuesta de ATC-40.

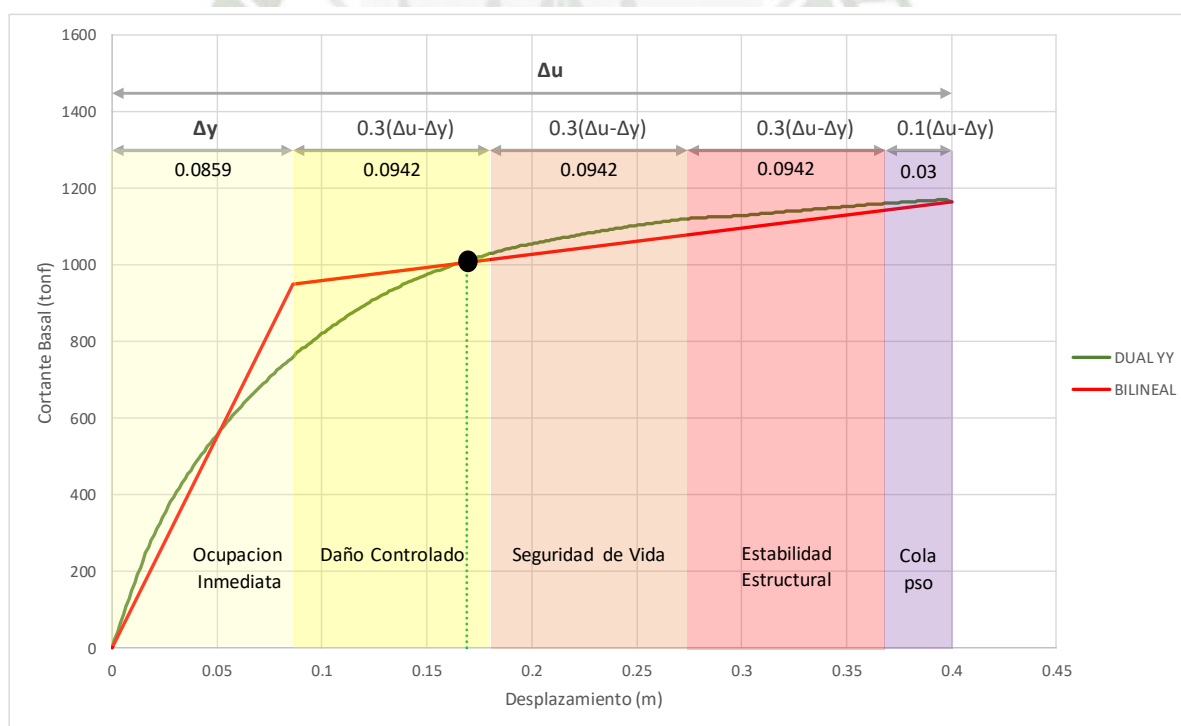


Figura 148: Sectorización (ATC-40) y punto de desempeño sistema muros estructurales eje Y método FEMA 440 (Fuente: Propia)

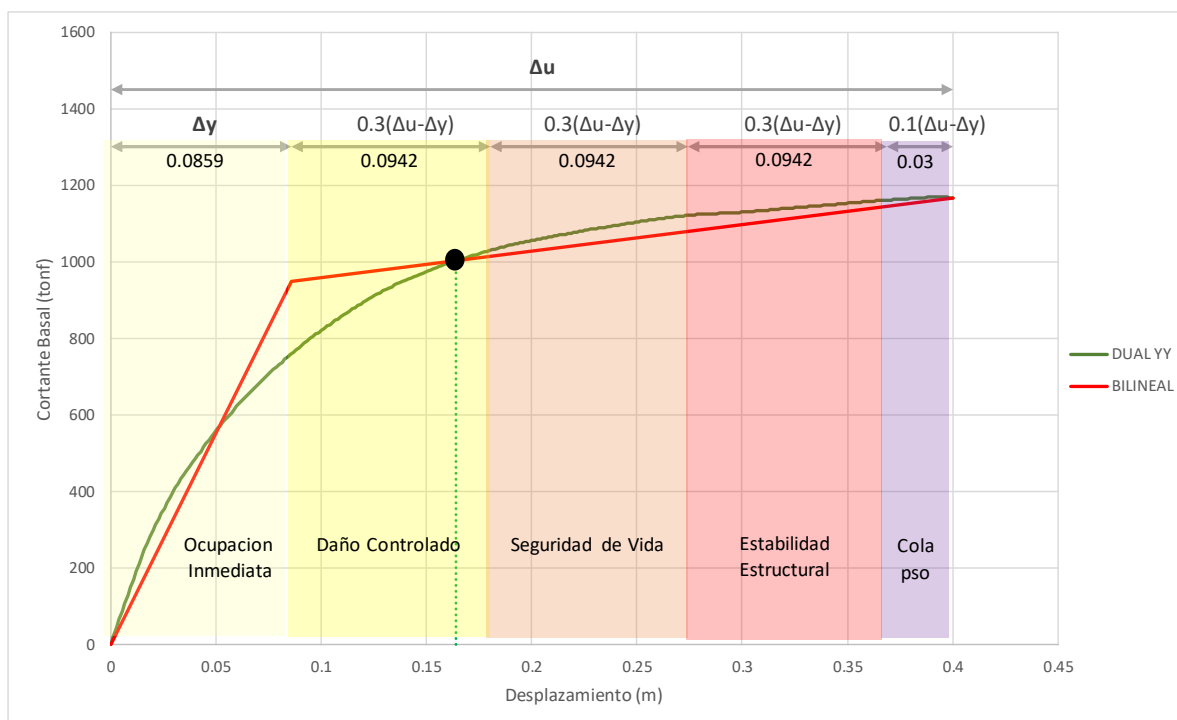


Figura 149: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema muros estructurales eje Y método ASCE 41-17 (Fuente: Propia)

- SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

En las figuras 132 y 133 se ubicó el punto de desempeño para el eje Y del sistema MDL obtenido con el método de FEMA 440 y ASCE 41-17, se puede ver en la sección 4.2.1 y 4.2.2 la forma en la que se obtuvo estos datos.

- Desplazamiento según FEMA 440: 11.9 cm
- Desplazamiento según ASCE 41-17: 12.1 cm

Podemos ver que para ambos métodos el desplazamiento fue similar y se encontró dentro del rango de **seguridad de vida** en dirección y según la propuesta de ATC-40.

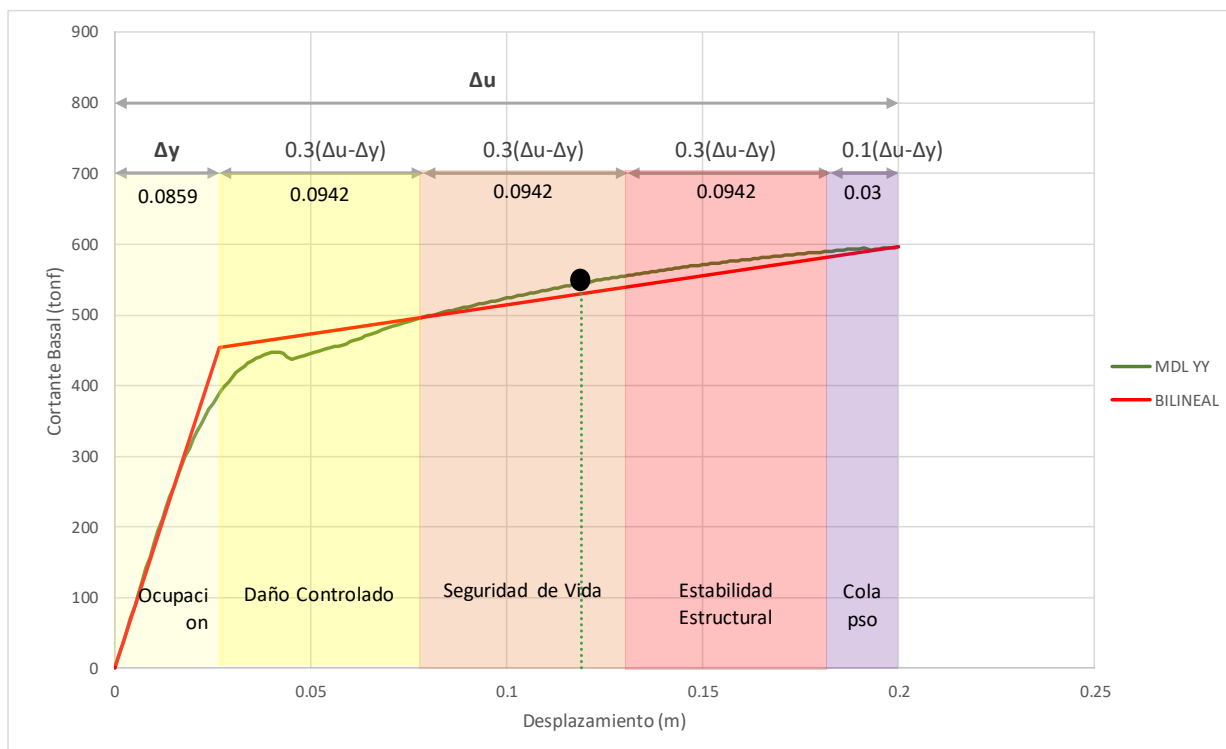


Figura 150: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema MDL eje Y método FEMA 440
(Fuente: Propia)

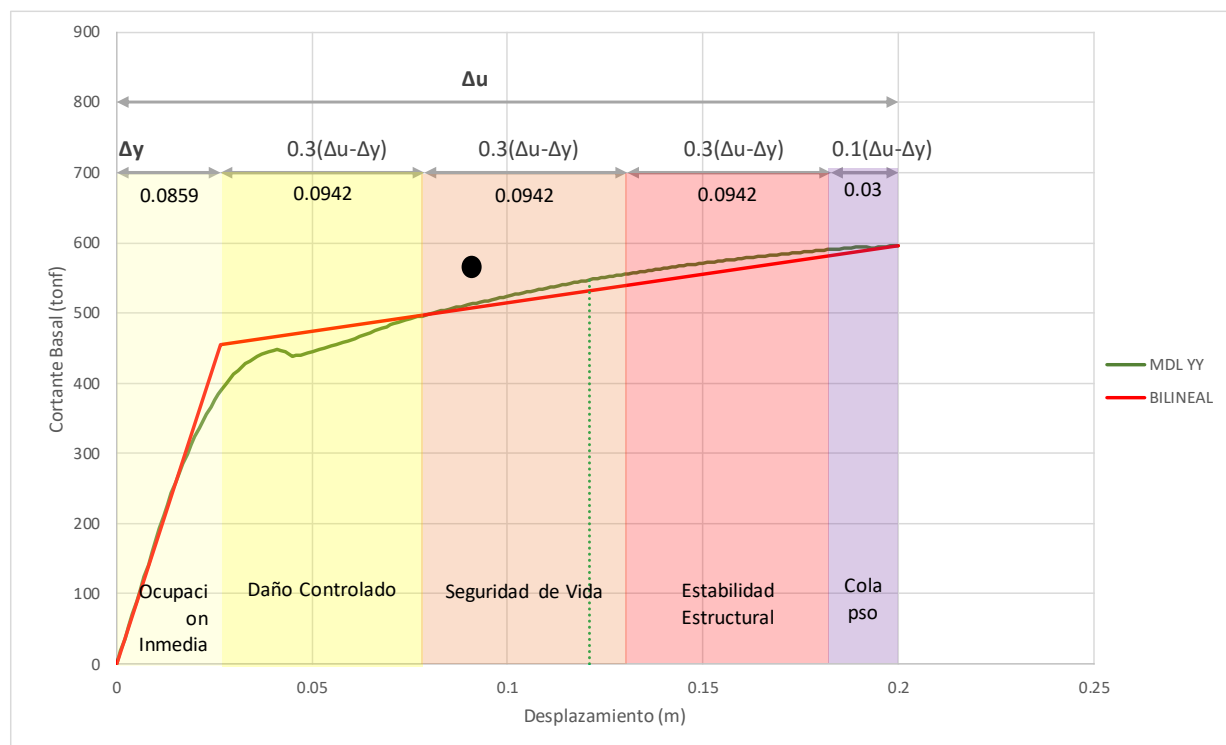


Figura 151: Sectorización (ATC-40) y punto desempeño sistema MDL eje Y método ASCE 41-17
(Fuente: Propia)

Se ubicó el punto de desempeño en los sectores correspondientes para ambos sistemas estructurales (muros estructurales y MDL) en ambas direcciones según las propuestas de VISION 2000 y ATC-40, se realizó el siguiente cuadro resumen para poder apreciar mejor los resultados finales.

Tabla 42: Resumen de resultados de ambos sistemas estructurales

SISTEMA	METODO	DIRECCION	DESPLAZ. PUNTO DESEMPEÑO	SECTOR VISION 2000	SECTOR ATC - 40
MUROS ESTRUCTURALES	FEMA 440	XX	12.3 cm	Operacional	Daño Controlado
		YY	16.9 cm	Operacional	Daño Controlado
	ASCE 41-17	XX	10.8 cm	Operacional	Daño Controlado
		YY	16.4 cm	Operacional	Daño Controlado
MDL	FEMA 440	XX	1.81 cm	Totalmente Operacional	Ocupacion Inmediata
		YY	11.9 cm	Resguardo de Vida	Seguridad de Vida
	ASCE 41-17	XX	2.45 cm	Totalmente Operacional	Ocupacion Inmediata
		YY	12.1 cm	Resguardo de Vida	Seguridad de Vida



CONCLUSIONES

1. En base a los resultados obtenidos de la revisión del análisis lineal según la norma NTE 030 2018, se obtuvo un valor de deriva de 0.0045 en dirección X y 0.00625 en dirección Y detallado en las tablas 30 y 31. Entonces se pudo concluir que el edificio no excede el límite de deriva $\Delta i / h_{ei} < 0.007$ establecido para edificios construidos con el sistema de muros estructurales. Se observó también, que no presento irregularidades en altura, pero si una irregularidad torsional en planta lo cual se procedió a utilizar el factor adecuado según la norma ya mencionada. Además, se observó que el edificio presenta mayor rigidez en la dirección X por la densidad de muros o placas que existe.

2. En base a los resultados obtenidos de la revisión del análisis lineal según la norma NTE 030 2018, se obtuvo un valor de deriva de 0.00188 en dirección X y 0.00486 en dirección Y detallado en las tablas 32 y 33. Entonces se concluyó que el edificio no excede el límite de deriva $\Delta i / h_{ei} < 0.005$ establecido para edificios construidos con el sistema MDL. Se observó también que no presenta irregularidades en altura ni en planta. Además, se observó que el edificio presenta mayor rigidez en la dirección X por la densidad de muros que existe.

3. El edificio de 08 niveles para ambos sistemas estructurales, muros estructurales y MDL teniendo una misma distribución en todos los niveles y en base al paso inicial que es el análisis lineal, se concluyó que el sistema de MDL tiene mayor rigidez que el sistema muros estructurales, especialmente en el eje X.

4. Para el análisis estático no lineal (Pushover) se utilizó la norma Hazus la cual limita la deriva en 0.0300. En conclusión, con los datos obtenidos de la aplicación de la carga monotónica para ambas direcciones se obtuvo que para el sistema muros estructurales en dirección "X" y "Y" se tuvo una deriva de 0.0288 para la dirección "X" y para la dirección "Y" una deriva de 0.0296 estando así por debajo del límite permitido.

5. Para el análisis estático no Lineal (pushover) se utilizó la norma Hazus la cual limita la deriva en 0.0300. En conclusión, con los datos obtenidos de la aplicación de la carga monotónica para ambas direcciones se obtuvo que para el sistema MDL en dirección "X" y "Y" se tuvo una deriva de 0.0175 para la dirección "X" y para la dirección "Y" una deriva de 0.0128, estando así por debajo del límite permitido.

6. La estructura con sistema muros estructurales alcanzó su capacidad máxima en dirección "X" cuando alcanzó un desplazamiento de 0.5 m y un cortante de, 1256.01 tonf. Para la dirección "Y" tuvimos un desplazamiento máximo de 0.40 m y un cortante de, 1165.89 tonf.

7. La estructura con sistema MDL alcanzó su capacidad máxima en dirección "X" cuando alcanzó un desplazamiento de 0.115 m y un cortante de 955.56 tonf. Para la dirección "Y" tuvimos un desplazamiento máximo de 0.2 m y un cortante de 596.14 tonf.

8. Para el sistema muros estructurales según el método de espectro de demanda y capacidad (FEMA 440) el punto de desempeño para la dirección "X" tuvo un desplazamiento de 12.3 cm y con el método de coeficientes (ASCE 41.17) un desplazamiento de 10.8 cm, viendo que ambos resultados son muy similares. Para la dirección "Y" según FEMA 440 el punto de desempeño tuvo un desplazamiento de 16.9 cm y según ASCE 41-17 un desplazamiento de 16.4 cm, siendo de igual manera valor muy cercano.

9. Para el sistema MDL según el método de espectro de demanda y capacidad (FEMA 440) el punto de desempeño para la dirección "X" tuvo un desplazamiento de 1.81 cm y con el método de coeficientes (ASCE 41.17) un desplazamiento de 2.45 cm, viendo que ambos resultados son muy similares. Para la dirección "Y" según FEMA 440 el punto de desempeño tuvo un desplazamiento de 11.9 cm y según ASCE 41-17 un desplazamiento de 12.1 cm siendo de igual manera valores muy cercanos.

10. Según la sectorización planteada por SEAOC, VISION 2000 el edificio con sistema muros estructurales tanto en dirección “X” y “Y” evaluado con ambos métodos (FEMA 440 y ASCE 41-17) se concluyó que se encuentra ante un sismo máximo en estado operacional el cual nos indica que puede existir un daño muy reducido en elementos estructurales y la estructura mantiene casi íntegramente su resistencia y rigidez.

11. Según la sectorización planteada por SEAOC, VISION 2000 el edificio con sistema MDL en dirección “X” evaluado con ambos métodos (FEMA 440 y ASCE 41-17) se concluyó que se encuentra ante un sismo máximo en estado totalmente operacional el cual nos indicó que no existe daño y el edificio es seguro sin necesidad de reparaciones. En dirección “Y” también para ambos métodos se encuentra ante un sismo máximo en estado de resguardo de vida y nos indicó que el daño es moderado y la estructura pudo haber perdido una parte de su rigidez.

12. Según la sectorización planteada por ATC - 40 el edificio con sistema muros estructurales tanto en dirección “X” y “Y” evaluado con ambos métodos (FEMA 440 y ASCE 41-17) se pudo concluir que se encuentra ante un sismo máximo en estado de daño controlado el cual nos indicó que puede existir un daño limitado y reducido el cual no impide que la estructura siga funcionando con normalidad.

13. Según la sectorización planteada por ATC - 40 el edificio con sistema MDL en dirección “X” evaluado con ambos métodos (FEMA 440 y ASCE 41-17) se pudo concluir que se encontró ante un sismo máximo en estado de ocupación inmediata donde indica que el edificio puede ser ocupado después del sismo a pesar de poder ocurrir algunos daños leves. En dirección “Y” de igual manera para ambos métodos ante un sismo máximo se encontró en el estado de seguridad de vida donde el daño presenta una probabilidad extremadamente baja para la seguridad de vida.

14. Comparando ambos sistemas se concluyó que el sistema de MDL tuvo un mejor desempeño que el sistema muros estructurales ante un sismo máximo, ya que tiene una mayor

densidad de muros propios del sistema MDL lo cual aporta mayor rigidez que el sistema de muros Estructurales.

RECOMENDACIONES

1. Nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica, por la cual, los sismos hacen que se produzca grandes desplazamientos en las estructuras el cual puede exceder el rango elástico, por ese motivo es recomendable incorporar a nuestras normas la evaluación estructural por desempeño sísmico ya que con esto se puede conocer cuál sería la respuesta no lineal de la edificación y ver que daño se presentaría ante sismos máximos.
2. Es recomendable evaluar bien el tipo de sistema estructural que se desea emplear ya que cada uno varía no solo en el proceso constructivo, sino que también en el comportamiento estructural, en las estructuras en estudio se pudo observar las características de ambos teniendo en cuenta que ambos tienen la misma distribución arquitectónica sometidos a un mismo sismo.
3. Es necesario tener una estructura capaz de lograr una deformación suficiente sin llegar al colapso, primando siempre el resguardo de vida de los seres humanos y controlar posibles pérdidas económicas que pueda haber.

REFERENCIA

Gregory G. Deierlein, Andrei M. Reinford, Michael R. Willford (2010) Nonlinear Structural Analysis for Seismic Design. A guide for practicing Engineers.

Br. Ramon de Jesús Samillan Farro (2019) Análisis del desempeño sísmico no lineal estático de una edificación Chiclayo – Lambayeque

ASCE 41-17 Seismic Evaluation And Retrofit of existing Buildings, American Society of civil engineers

Cesar Eduardo Duarte Bonilla, Marlon Exequias Martínez Chavarría, José Jonathan Santamaria Diaz (2017) Análisis Estático No Lineal del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la universidad de El Salvador.

Technical Note Material Stress – Strain Curves (2008) Computers and Structures, inc

Departament of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directore FEMA Washington, D.C (2003) Multi-Hazard Loss Estimation Methology Earthquake Model “Hazus MR4”

Arabella Alexandra Vargas Castillo, Tracy Beatriz Terrazos Monroy (2016) Diseño estructural de un edificio de 7 pisos con muros de ductilidad limitada. Tesis para optar el titulo de ingeniero civil Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Carlos Alberto Soto Geldres (2018) Aplicación de la norma sismorresistente NTE 030 2018 y análisis pushover para la evaluación del comportamiento estructural en edificios de muros de ductilidad limitada de 6 pisos en el distrito de Rímac – Lima Perú. Tesis para optar el título de ingeniero civil, Lima: Universidad San Martin de Porres

ATC – 40 (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.

Fernández Hoyos Waldirsays (2018) Analisis pushover para evaluar el desempeño sísmico de una institución educativa en el centro poblado Yungasuyo, Provincia Utcubamba – Amazonas

Fuentes Rivera Silva, Norman Fernando (2018) Desempeño Sísmico en un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal pushover

Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma técnica NTE 030. Diseño sismo resistente 2018.

Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma técnica NTE 060 Concreto Armado 2006.

FEMA 440 (2005) Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Applied Technology Council. California

Rodrigo Manolo Gallardo Olortegui, Paola Carolina Gallardo Olortegui (2019) Analisis comparativo para determinar la mejor alternativa de construcción entre el sistema Muros Estructuralesy de muros de ductilidad Limitada. Tesis para optar el titulo de ingeniero civil, Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

David Jesús Arias Aguilar, Cesar Alonso Quijada Lavado (2019) Comparacion de asperctos estructurales y económicos entre un edificio de ocho pisos para vivienda de muros de ductilidad limitada y sistema Muros Estructuralestipo I optimizado. Tesis para optar el titulo de ingeniero civil, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ronald David Ugel Garrido, Reyes Indira Herrera Gonzales, Sigrít Daniela Pérez Colmenares (2016) Revisión paramétrica del comportamiento sismo-resistente de edificios de acero de gran altura con diferentes configuraciones de rigidizadores laterales.

Roberto Marcio Silva Mercado (2018) Desempeño sísmico de muros de quinchá tradicional mediante el método del espectro de capacidad. Tesis para optar el titulo de ingeniero civil, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

ACI 318 -11 Requisitos de Reglamento para concreto estructural. Version en español y sistema métrico. Preparado por el comité 318. American concrete institute

J.B. Mander, M.J.N Priestley and Park (2018) Theoretical Stress – Strain Model for confined Concrete

Otazzi, G. (2003) Apuntes del Curso concreto armado I. Fondo editorial Pontifica Universidad Catolica del Perú

ANEXOS

CARTA DE AUTORIZACION DE USO DE INFORMACION

Yo, Carlos Pérez Neyra, identificado con DNI 77390672, en mi calidad de ingeniero civil estructural con CIP 264933. **OTORGO LA AUTORIZACION.**

Al señor Merlig Joel Chávez Pinazo identificado con DNI 71710361 y al señor Dante Gonzalo Vega Núñez identificado con DNI 72802012 egresados/bachilleres de la carrera de ingeniería civil para que se utilice los planos e información correspondientes a los planos estructurales de una edificación multifamiliar de ocho niveles ubicado en el distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa; con sistemas de muros estructurales y muros con ductilidad limitada de mi autoría **PARA FINES ACADEMICOS** y puedan desarrollar su trabajo de investigación o tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil.

Atentamente,

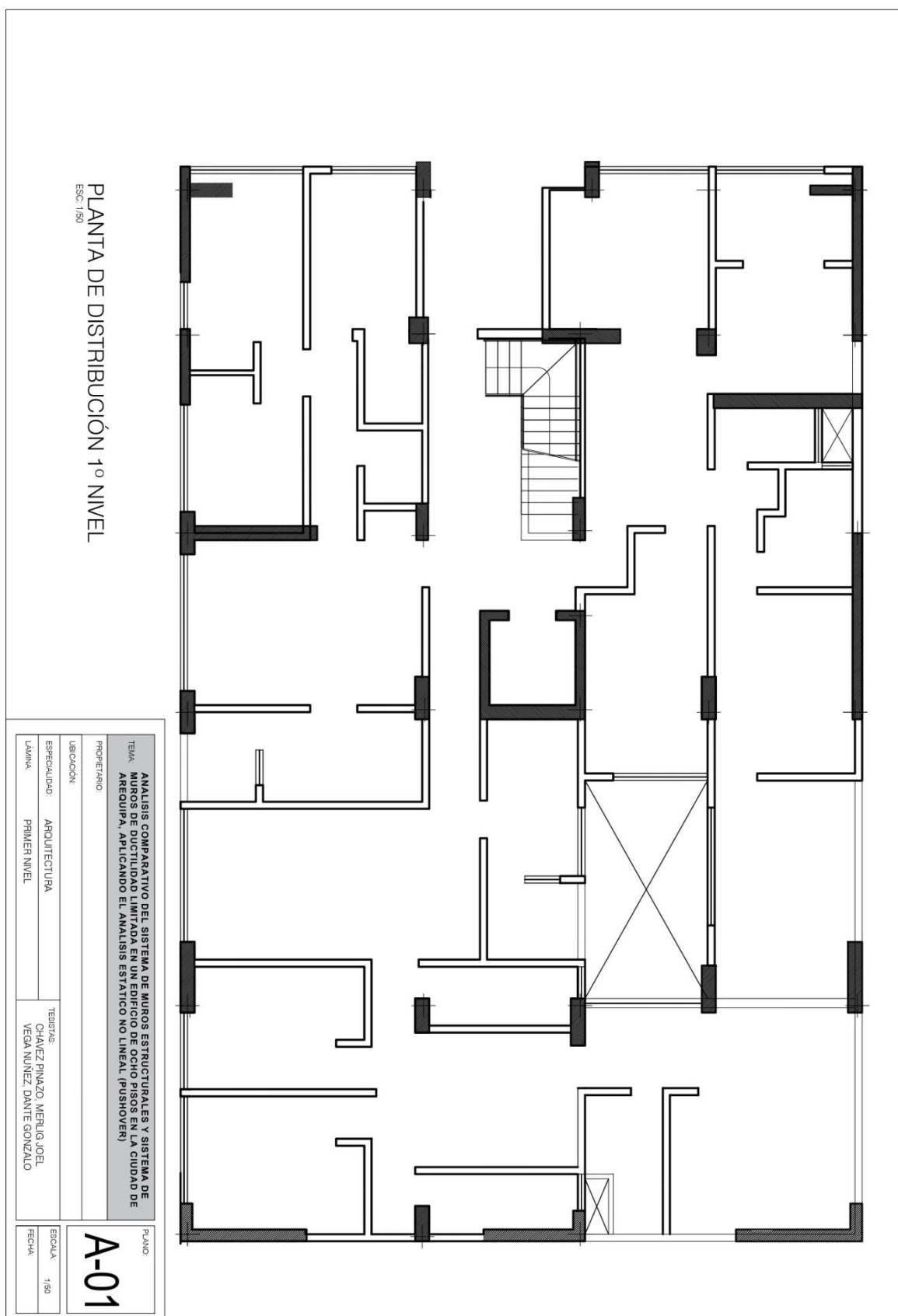


M. Eng. Carlos Pérez Neyra

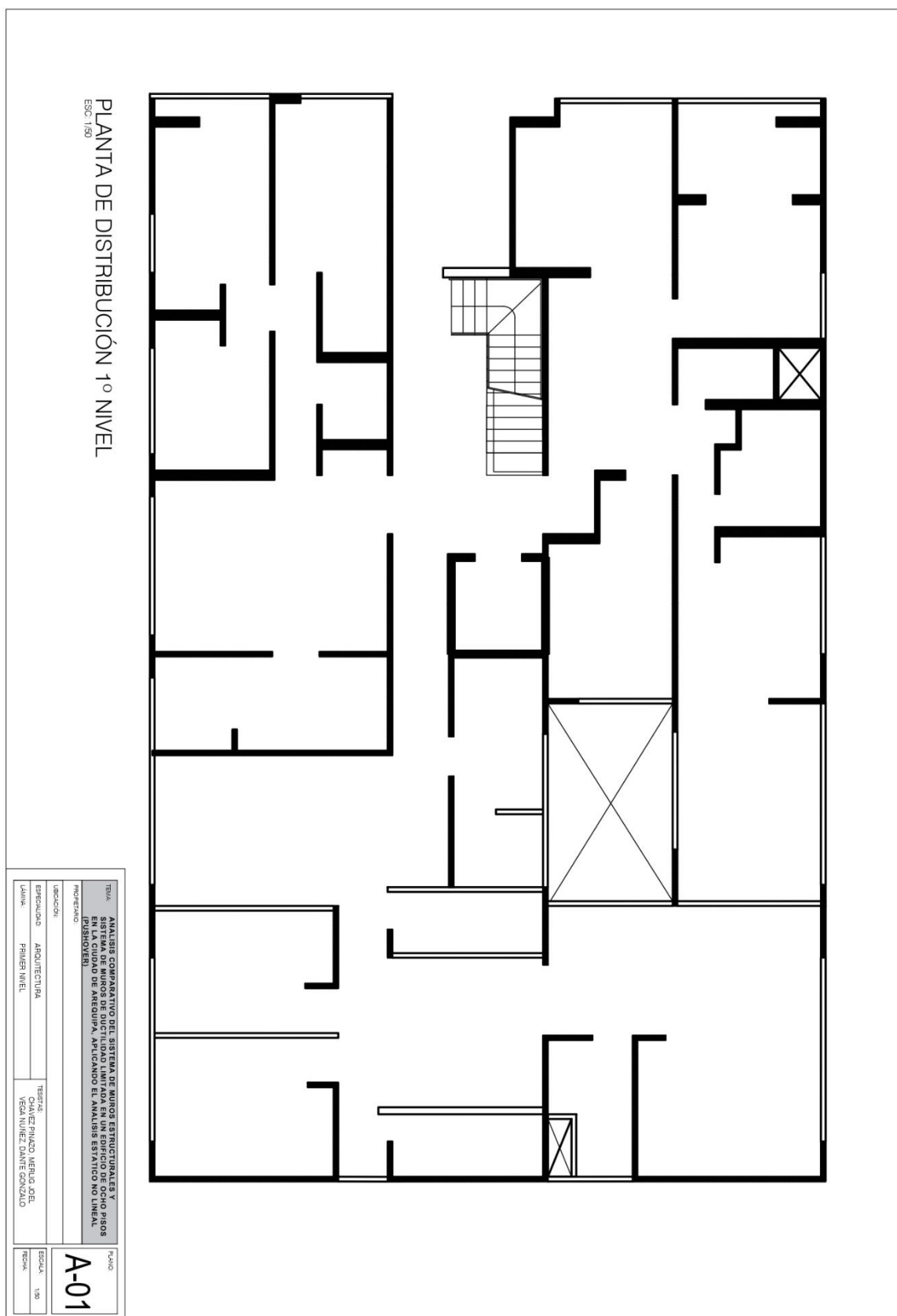


PLANOS ARQUITECTURA

SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES



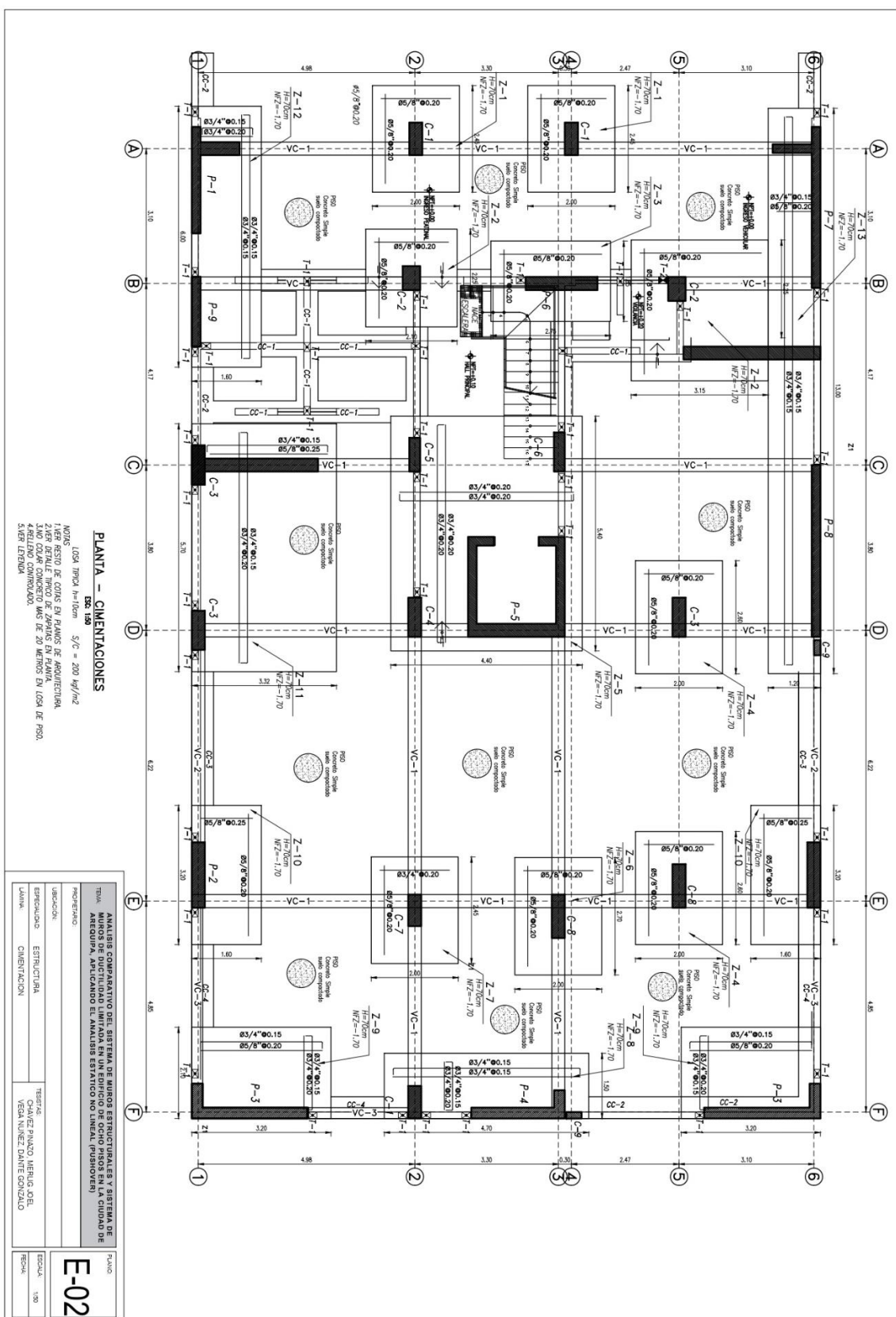
SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA





PLANOS DE ESTRUCTURAS

PLANO ESTRUCTURAS DE MUROS ESTRUCTURALES



CUADRO DE COLUMNAS

TIPO	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
TECHO	443/4*865/8"	1263/4"	443/4*1065/8"	661*1663/4"	1065/8"	441*1663/4"	443/4*865/8"	443/4*1065/8"
6TO PISO	ACERO LONGITUDINAL							
5TO PISO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
4TO PISO	ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
TECHO	ACERO LONGITUDINAL							
3ER PISO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
2DO PISO	ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
TECHO	ACERO LONGITUDINAL							
1ER PISO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
BASE	ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem

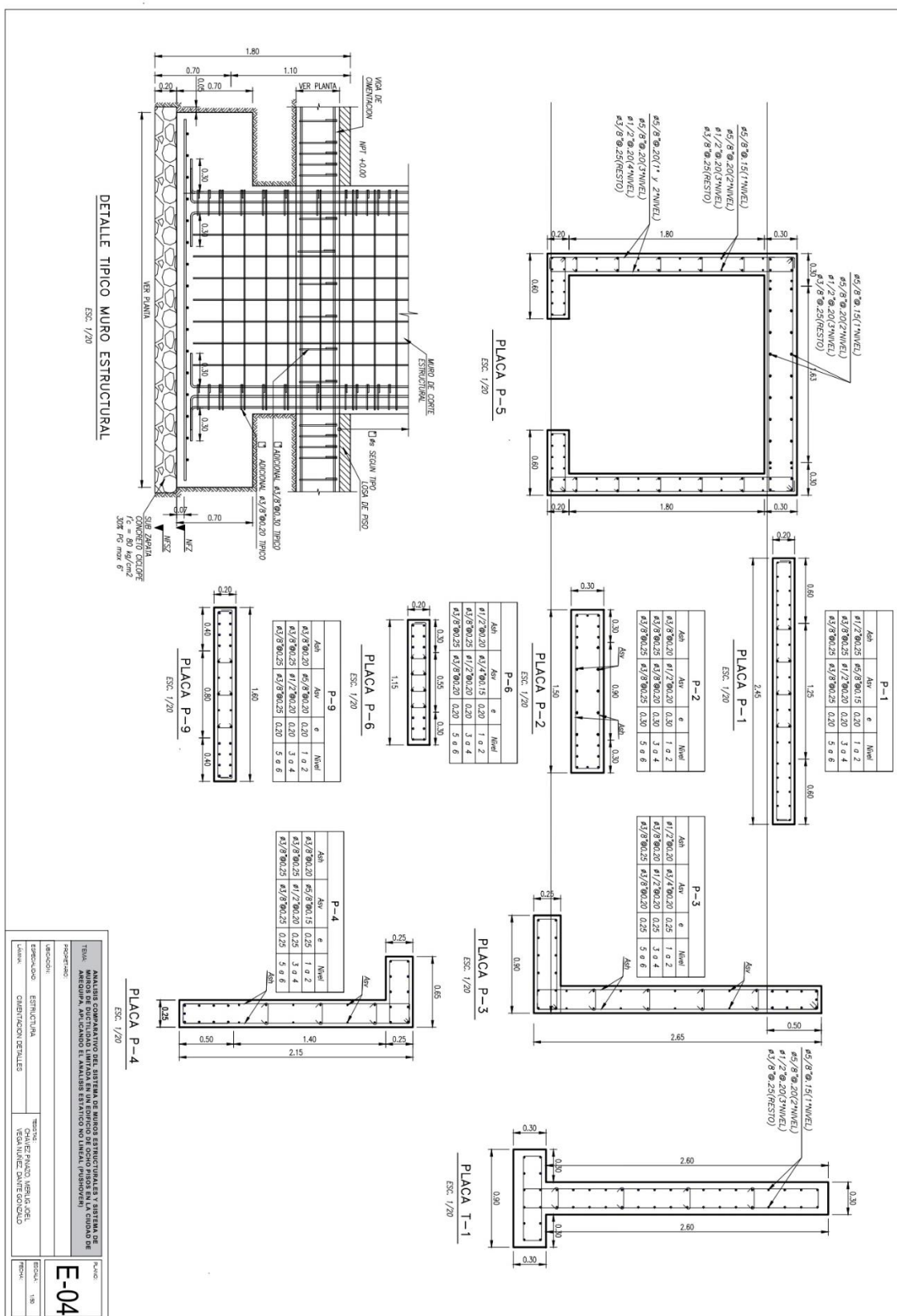
CUADRO DE ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN COLUMNAS

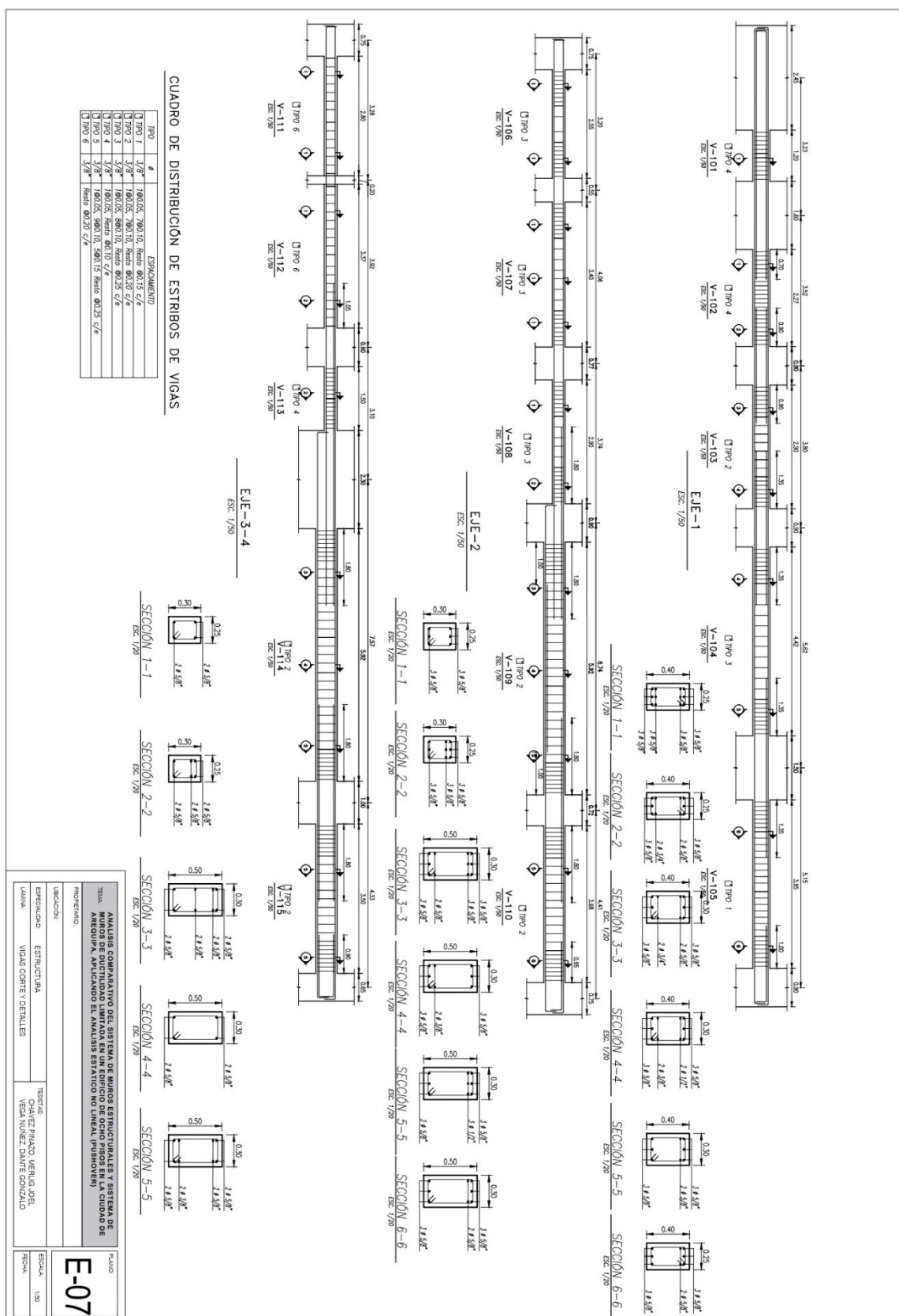
Tipo 1	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 2	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 3	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 4	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 5	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 6	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 7	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e
Tipo 8	661/2"	1663,05	796,10	Rio	661,20	c/e

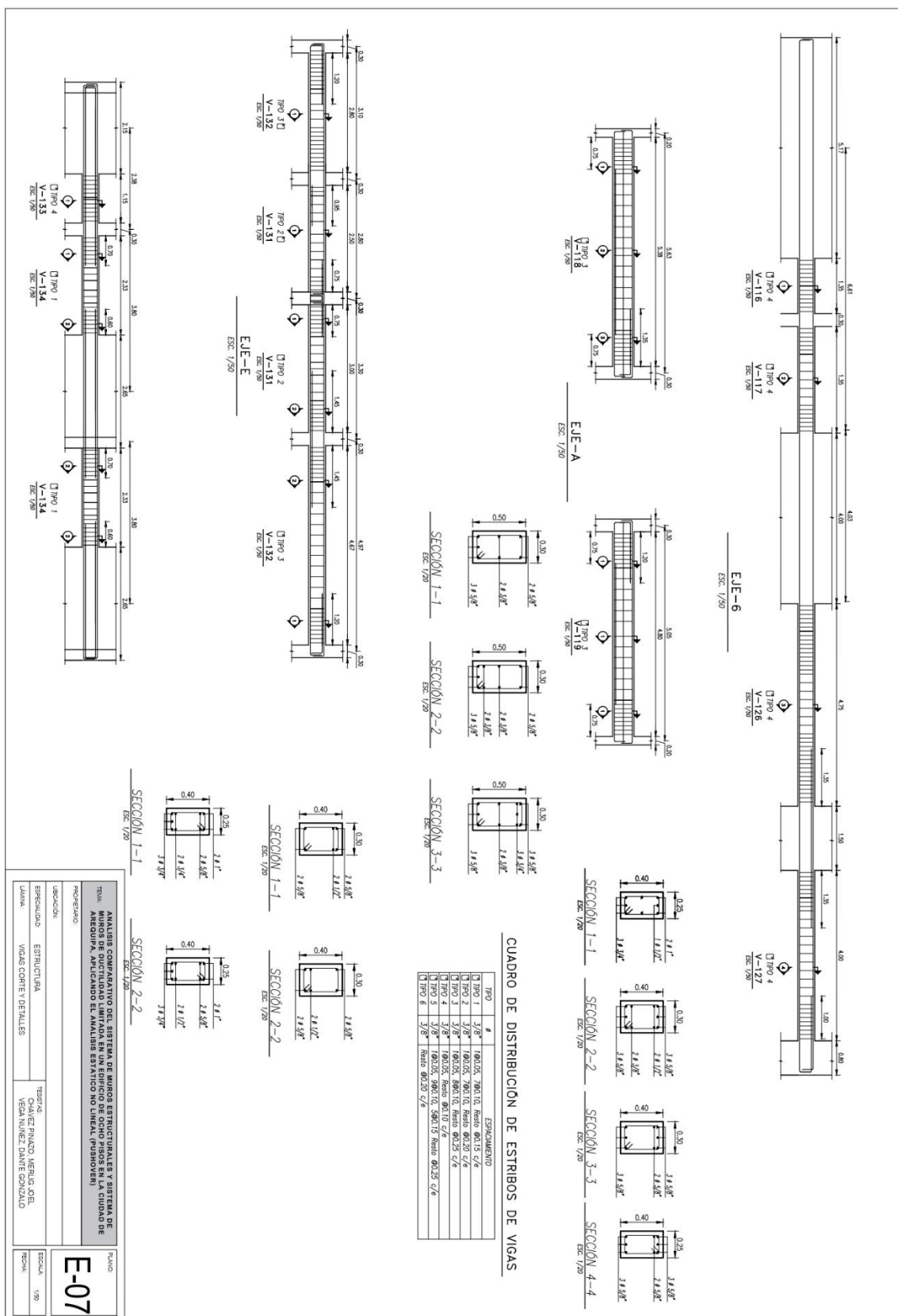
ES: 1/20

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES Y SISTEMA DE		PISO
TEMA: ARQUITECTURA, APLICANDO EL ANÁLISIS ESTATICO NO LINEAL (PUSHOVER)		
PROYECTO	ESTRUCTURA	TEMPERATURA
UBICACIÓN	CONSTRUCCIÓN DE DETALLES	FECHA
AUTOR: CHÁVEZ PIAZO, VERAIG JOEL		1/20
LUGAR: CIMENTACIÓN DE DETALLES		

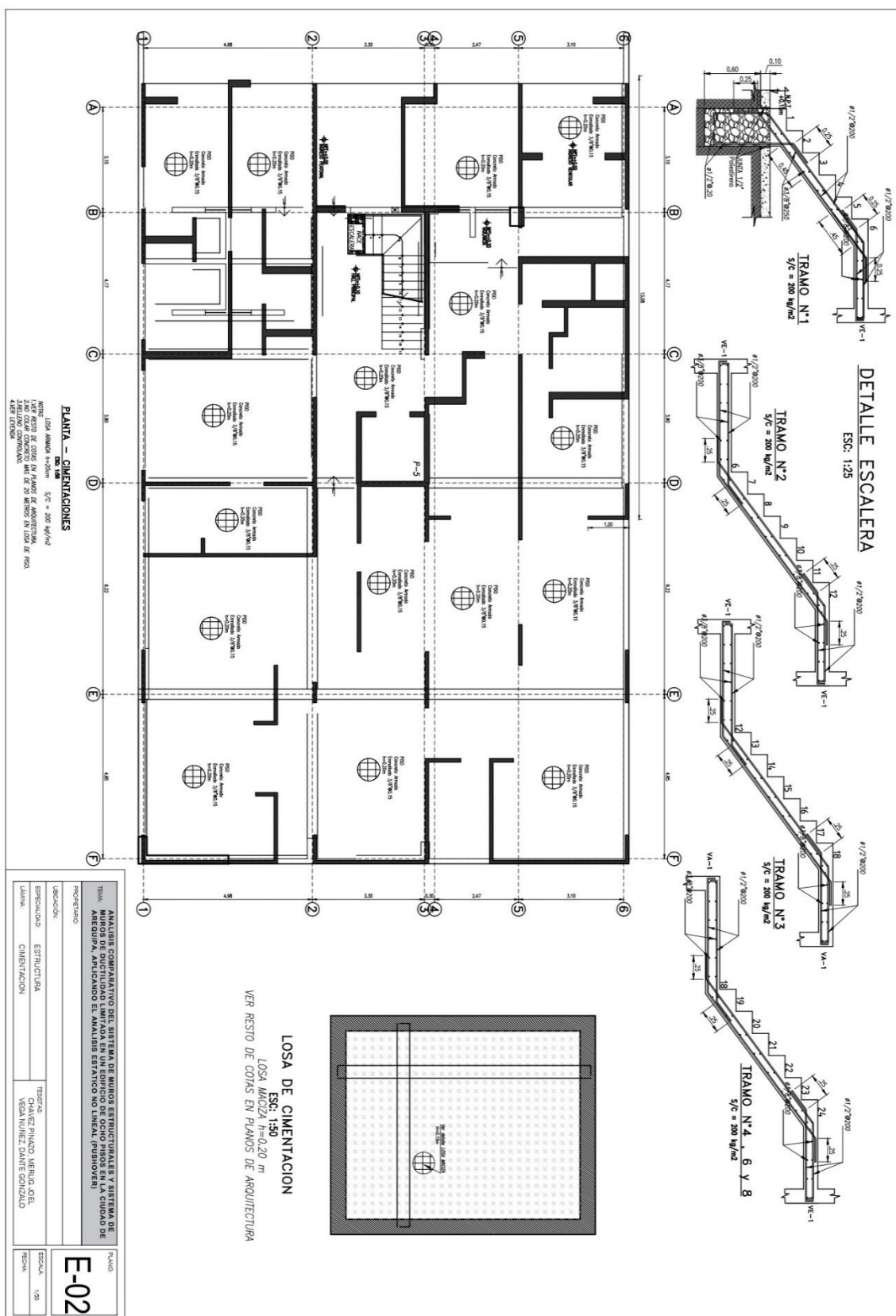
E-03

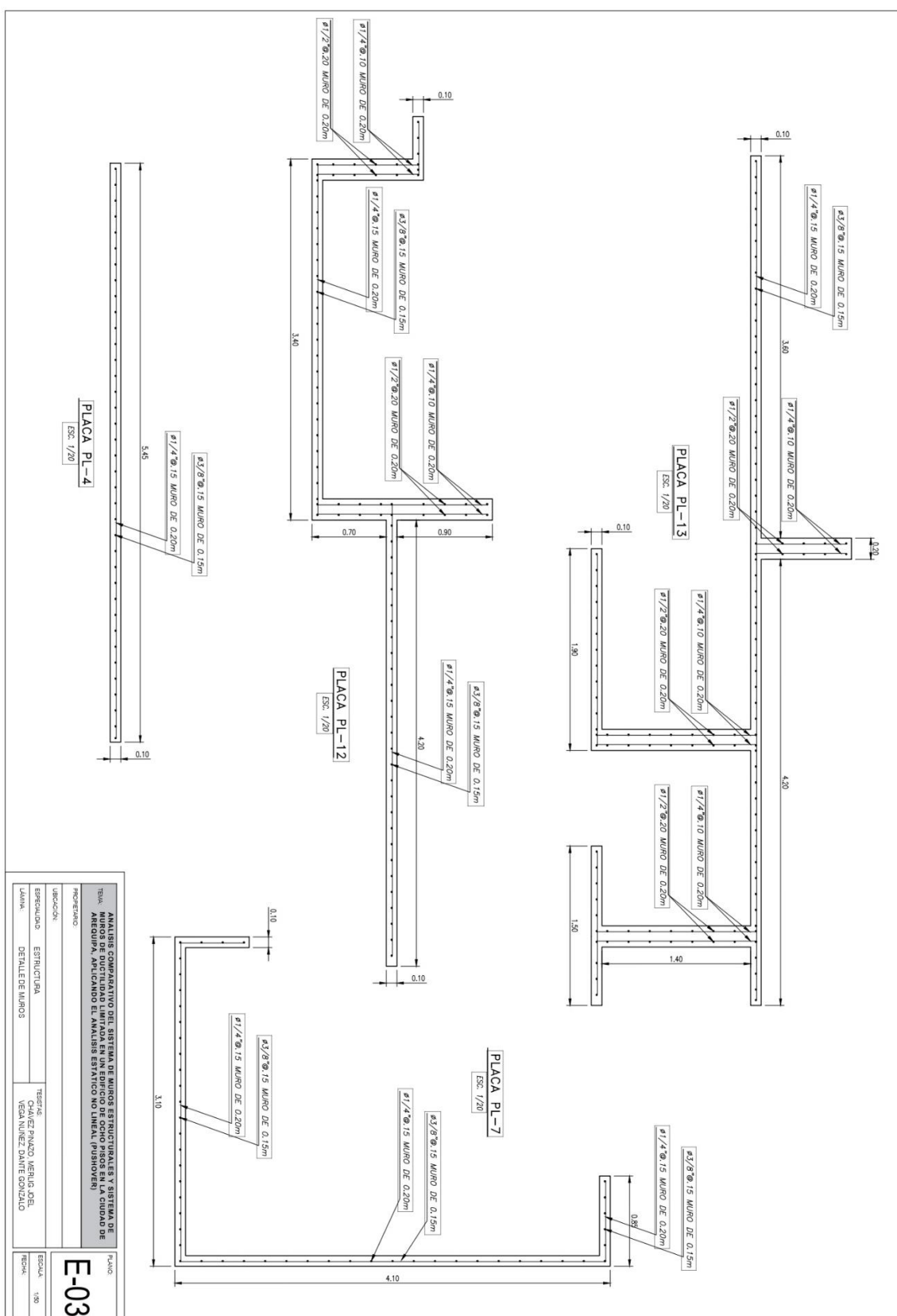


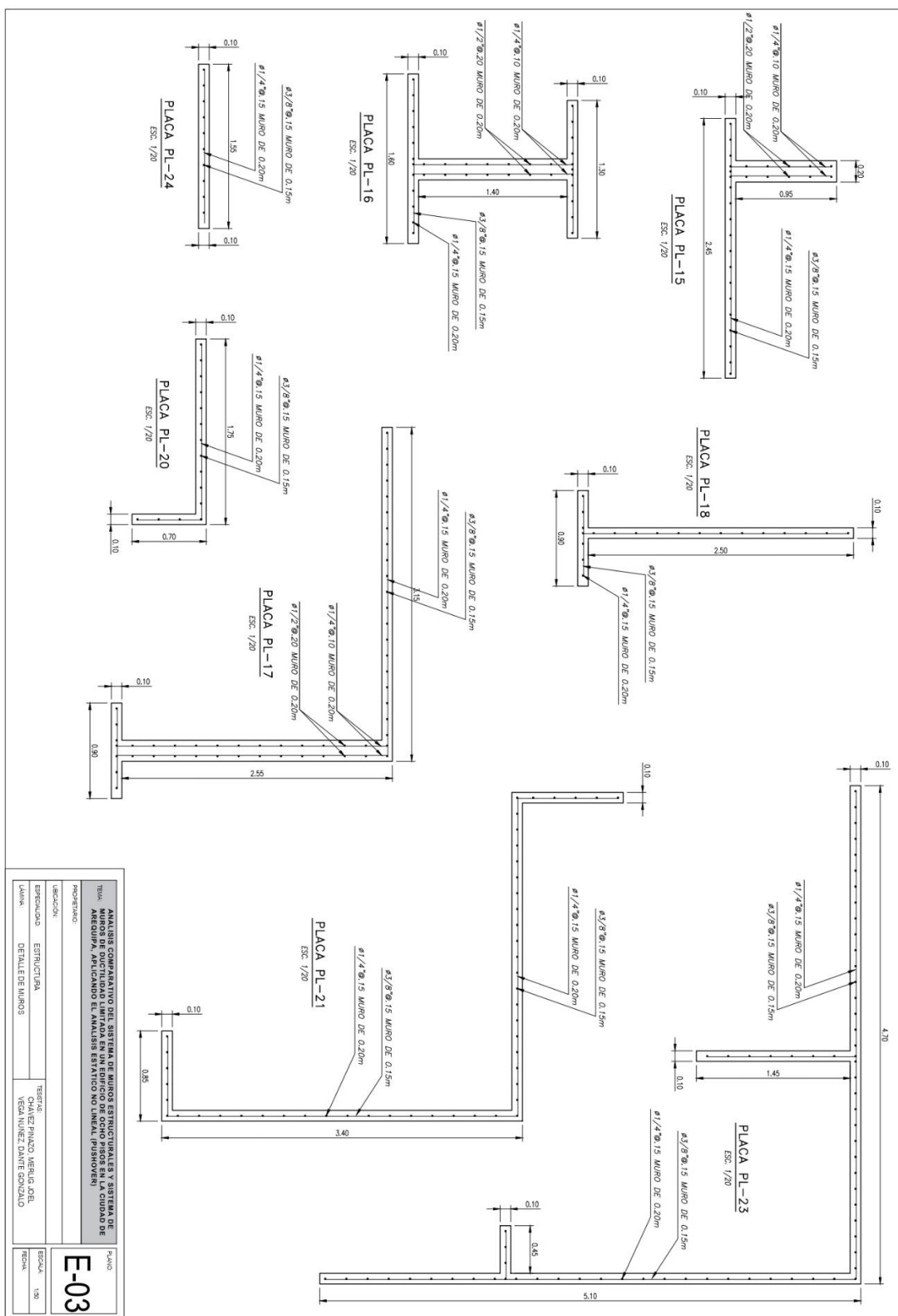


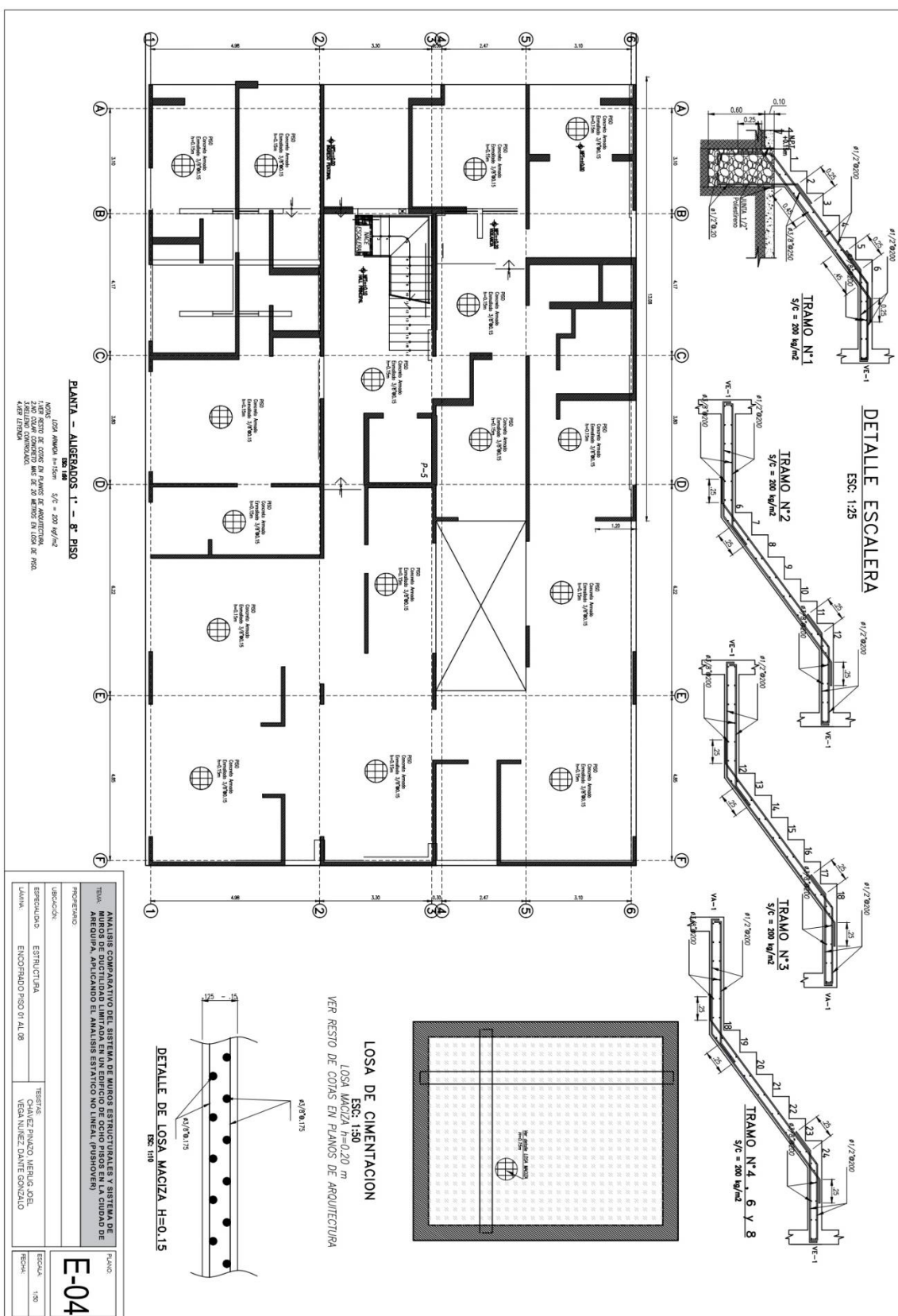


PLANO ESTRUCTURAS MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA











MODOS DE VIBRACION

SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Case	Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.506	0.0171	0.6273	0.0171	0.6273	0.2886	0.0088	0.0614	0.2886	0.0088	0.0614
Modal	2	0.475	0.6799	0.0066	0.697	0.6338	0.0025	0.2923	0.0373	0.291	0.3011	0.0987
Modal	3	0.386	0.0218	0.0738	0.7188	0.7076	0.0336	0.0121	0.6136	0.3246	0.3132	0.7123
Modal	4	0.126	0.0519	0.0783	0.7707	0.7859	0.1723	0.138	0.0245	0.4969	0.4512	0.7368
Modal	5	0.122	0.0905	0.0721	0.8613	0.858	0.1521	0.2104	3.51E-06	0.649	0.6616	0.7368
Modal	6	0.095	0.0145	0.0146	0.8758	0.8726	0.0327	0.0276	0.1357	0.6817	0.6892	0.8724
Modal	7	0.057	0.0373	0.0118	0.9131	0.8844	0.0254	0.0785	0.0097	0.7071	0.7677	0.8821
Modal	8	0.053	0.0167	0.0458	0.9298	0.9302	0.0986	0.0359	0.0005	0.8057	0.8035	0.8826
Modal	9	0.041	0.0068	0.0051	0.9367	0.9353	0.011	0.0152	0.0524	0.8166	0.8187	0.9349
Modal	10	0.033	0.021	0.0044	0.9577	0.9397	0.0122	0.0593	0.005	0.8289	0.878	0.9399
Modal	11	0.031	0.0063	0.0248	0.964	0.9646	0.0679	0.0176	0.0004	0.8968	0.8956	0.9403
Modal	12	0.024	0.0035	0.0026	0.9675	0.9672	0.0073	0.0097	0.0259	0.9041	0.9052	0.9662
Modal	13	0.022	0.0123	0.0017	0.9798	0.9688	0.0046	0.0342	0.0032	0.9087	0.9395	0.9694
Modal	14	0.021	0.0025	0.0143	0.9823	0.9831	0.0403	0.0072	0.0003	0.9491	0.9467	0.9697
Modal	15	0.017	0.009	0.0017	0.9914	0.9849	0.0052	0.0271	0.0007	0.9542	0.9738	0.9704
Modal	16	0.017	0.0002	0.0005	0.9915	0.9853	0.0013	0.0005	0.0149	0.9555	0.9743	0.9853
Modal	17	0.016	0.001	0.008	0.9926	0.9934	0.0243	0.0031	0.0005	0.9798	0.9775	0.9857
Modal	18	0.013	0.0048	0.0004	0.9974	0.9938	0.0012	0.0144	0.0002	0.981	0.9918	0.986
Modal	19	0.013	0.0003	0.0046	0.9976	0.9984	0.014	0.0009	1.86E-05	0.995	0.9927	0.986
Modal	20	0.013	0.0004	0.0001	0.998	0.9984	0.0002	0.0012	0.0085	0.9952	0.9939	0.9945
Modal	21	0.012	0.0015	0.0002	0.9996	0.9987	0.0007	0.0048	0.0001	0.9959	0.9987	0.9946
Modal	22	0.011	0.0003	0.0013	0.9999	0.9999	0.0039	0.0009	4.93E-06	0.9998	0.9996	0.9946
Modal	23	0.011	0.0001	0.0001	1	1	0.0002	0.0004	0.0041	1	0.9999	0.9987
Modal	24	0.009	2.12E-05	3.66E-06	1	1	1.30E-05	0.0001	0.0013	1	1	1

SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Case	Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.444	0.0068	0.6325	0.0068	0.6325	0.3529	0.0038	0.0291	0.3529	0.0038	0.0291
Modal	2	0.386	0.1419	0.0139	0.1488	0.6464	0.0091	0.0791	0.5207	0.362	0.0828	0.5497
Modal	3	0.277	0.5351	0.0232	0.6839	0.6696	0.0137	0.2792	0.1296	0.3757	0.3621	0.6793
Modal	4	0.09	0.0007	0.1789	0.6846	0.8486	0.27	0.0017	0.024	0.6457	0.3638	0.7033
Modal	5	0.08	0.0411	0.0192	0.7257	0.8678	0.0294	0.063	0.1505	0.6751	0.4268	0.8538
Modal	6	0.062	0.1653	0.0102	0.891	0.878	0.0173	0.2888	0.0317	0.6924	0.7156	0.8854
Modal	7	0.038	0.0004	0.056	0.8914	0.934	0.1254	0.0009	0.007	0.8179	0.7165	0.8924
Modal	8	0.035	0.0109	0.0049	0.9023	0.9389	0.0118	0.0248	0.0459	0.8296	0.7414	0.9383
Modal	9	0.029	0.0476	0.0028	0.9499	0.9417	0.007	0.1132	0.0077	0.8366	0.8546	0.946
Modal	10	0.023	0.0011	0.0283	0.951	0.97	0.0758	0.003	0.0001	0.9125	0.8576	0.9461
Modal	11	0.022	0.0034	0.0001	0.9544	0.9701	0.0002	0.0089	0.0243	0.9126	0.8666	0.9704
Modal	12	0.018	0.0213	0.001	0.9757	0.9711	0.0028	0.0605	0.0028	0.9154	0.9271	0.9732
Modal	13	0.016	0.0017	0.0086	0.9774	0.9796	0.0249	0.0049	0.0035	0.9403	0.932	0.9766
Modal	14	0.015	0.0003	0.0063	0.9778	0.9859	0.0176	0.001	0.0092	0.9579	0.933	0.9858
Modal	15	0.014	0.0107	0.0003	0.9885	0.9863	0.001	0.0316	0.0013	0.959	0.9646	0.9871
Modal	16	0.013	0.001	0.0034	0.9895	0.9897	0.0104	0.003	0.0025	0.9694	0.9676	0.9896
Modal	17	0.012	0.0002	0.0046	0.9897	0.9943	0.0135	0.0006	0.0043	0.983	0.9682	0.9939
Modal	18	0.011	0.0012	0.0011	0.9909	0.9954	0.0035	0.0037	0.002	0.9864	0.9719	0.9959
Modal	19	0.011	0.0049	0.0005	0.9958	0.996	0.0015	0.015	2.35E-05	0.9879	0.9869	0.9959
Modal	20	0.01	1.69E-05	0.0006	0.9958	0.9965	0.0018	4.66E-05	0.0005	0.9897	0.9869	0.9964
Modal	21	0.01	0.0011	0.0018	0.9969	0.9984	0.0055	0.0034	0.0016	0.9952	0.9903	0.9979
Modal	22	0.009	0.002	0.0007	0.9989	0.999	0.002	0.0063	0.0011	0.9971	0.9966	0.999
Modal	23	0.009	0.001	0.0001	0.9999	0.9991	0.0002	0.0031	4.90E-05	0.9974	0.9998	0.999
Modal	24	0.008	0.0001	0.0009	1	1	0.0026	0.0002	0.001	1	1	1



CURVAS DE CAPACIDAD

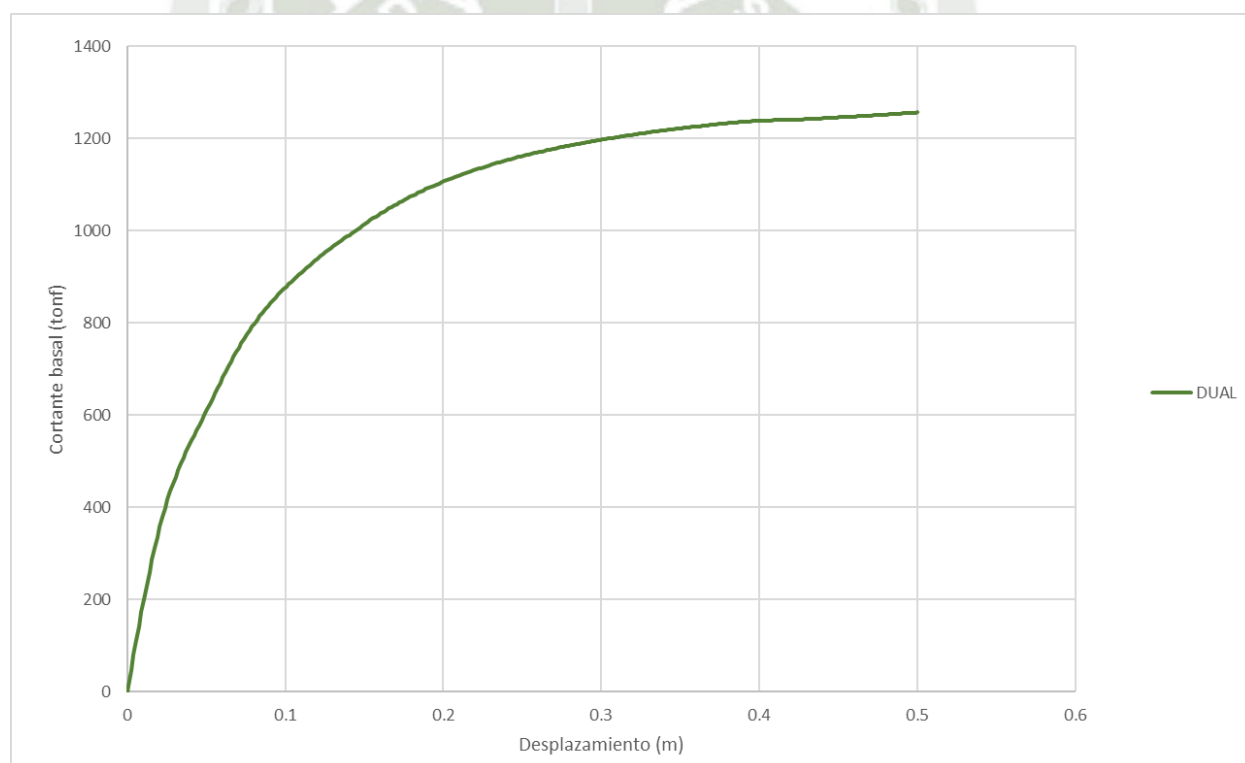
SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

PUNTO	DESPLAZAMIENTO	CORTANTE	45	0.072296	756.0851
1	0	0	46	0.073965	765.3756
2	0.000632	12.8861	47	0.075632	774.2824
3	0.002298	46.7943	48	0.077298	782.8893
4	0.003965	80.2745	49	0.078965	791.1475
5	0.005632	112.0908	50	0.080632	799.1782
6	0.007298	142.3759	51	0.082298	807.07
7	0.008965	172.3982	52	0.083965	814.7508
8	0.010632	201.5099	53	0.085632	822.246
9	0.012298	230.4211	54	0.087298	829.4762
10	0.013965	258.9306	55	0.088965	836.3763
11	0.015632	285.8939	56	0.090632	843.1282
12	0.017298	312.5246	57	0.092298	849.4879
13	0.018965	336.0447	58	0.093965	855.6699
14	0.020632	357.9529	59	0.095632	861.8395
15	0.022298	379.2773	60	0.097298	867.6176
16	0.023965	399.3956	61	0.098965	873.3799
17	0.025632	417.8442	62	0.100632	878.929
18	0.027298	435.4475	63	0.102298	884.3273
19	0.028965	451.0193	64	0.103965	889.7321
20	0.030632	466.5269	65	0.105632	895.0293
21	0.032298	480.691	66	0.107298	900.243
22	0.033965	495.0964	67	0.108965	905.3337
23	0.035632	508.6192	68	0.110632	910.4065
24	0.037298	521.3262	69	0.112298	915.4252
25	0.038965	533.384	70	0.113965	920.4264
26	0.040632	545.0092	71	0.115632	925.3871
27	0.042298	556.5602	72	0.117298	930.2412
28	0.043965	567.3459	73	0.118965	935.0651
29	0.045632	578.152	74	0.120632	939.8384
30	0.047298	589.0303	75	0.122298	944.5487
31	0.048965	600.3986	76	0.123965	949.2706
32	0.050632	612.1542	77	0.125632	953.8702
33	0.052298	623.9871	78	0.127298	958.4354
34	0.053965	635.7973	79	0.128963	962.954
35	0.055632	647.5454	80	0.130632	967.175
36	0.057298	659.0318	81	0.132298	971.0857
37	0.058965	670.4933	82	0.133965	974.835
38	0.060632	682.0149	83	0.135632	978.803
39	0.062298	693.3545	84	0.137298	982.8761
40	0.063965	704.6532	85	0.138965	987.1054
41	0.065632	715.841	86	0.140632	989.8541
42	0.067298	726.5899	87	0.142298	994.0901
43	0.068965	736.7901	88	0.143963	998.5224
44	0.070632	746.5842	89	0.145632	1002.8102

90	0.147298	1006.7974	138	0.227298	1139.6413
91	0.148965	1010.757	139	0.228965	1141.4144
92	0.150632	1014.7315	140	0.230632	1143.1744
93	0.152298	1018.7656	141	0.232298	1144.9268
94	0.153965	1022.7137	142	0.233965	1146.6535
95	0.155632	1026.6076	143	0.235632	1148.337
96	0.157297	1030.3708	144	0.237298	1150.0178
97	0.158965	1034.0018	145	0.238965	1151.6207
98	0.160632	1037.5823	146	0.240632	1153.194
99	0.162298	1041.1373	147	0.242298	1154.7417
100	0.163965	1044.5704	148	0.243965	1156.2802
101	0.165632	1047.931	149	0.245632	1157.7945
102	0.167298	1051.2289	150	0.247298	1159.2747
103	0.168965	1054.4538	151	0.248965	1160.7266
104	0.170632	1057.5849	152	0.250632	1162.1791
105	0.172298	1060.7985	153	0.252298	1163.6025
106	0.173965	1063.9601	154	0.253965	1165.0012
107	0.175632	1067.0666	155	0.255632	1166.3825
108	0.177298	1070.1663	156	0.257298	1167.7331
109	0.178965	1073.1878	157	0.258965	1169.0827
110	0.180632	1076.1719	158	0.260632	1170.3777
111	0.182298	1078.9645	159	0.262298	1171.6864
112	0.183965	1081.7685	160	0.263965	1172.956
113	0.185632	1084.4772	161	0.265632	1174.1966
114	0.187298	1087.1336	162	0.267298	1175.4628
115	0.188965	1089.7662	163	0.268965	1176.6987
116	0.190632	1092.362	164	0.270632	1177.9259
117	0.192298	1094.9436	165	0.272298	1179.1279
118	0.193965	1097.4429	166	0.273965	1180.334
119	0.195632	1099.8962	167	0.275632	1181.5236
120	0.197298	1102.3	168	0.277298	1182.6482
121	0.198965	1104.6735	169	0.278965	1183.7962
122	0.200632	1106.9982	170	0.280632	1184.9223
123	0.202298	1109.2648	171	0.282298	1186.0485
124	0.203965	1111.5374	172	0.283965	1187.1695
125	0.205632	1113.7374	173	0.285632	1188.2704
126	0.207298	1115.9321	174	0.287298	1189.37
127	0.208965	1118.0582	175	0.288965	1190.4498
128	0.210632	1120.1866	176	0.290632	1191.5183
129	0.212298	1122.2863	177	0.292298	1192.5905
130	0.213965	1124.3474	178	0.293965	1193.6343
131	0.215632	1126.2976	179	0.295632	1194.6749
132	0.217298	1128.2909	180	0.297298	1195.6478
133	0.218965	1130.2452	181	0.298965	1196.6175
134	0.220632	1132.1913	182	0.300632	1197.6138
135	0.222298	1134.0614	183	0.302298	1198.5938
136	0.223965	1135.9357	184	0.303965	1199.535
137	0.225632	1137.7858	185	0.305632	1200.3968

186	0.307298	1201.1755	234	0.387298	1235.0359
187	0.308965	1202.1564	235	0.388965	1235.4566
188	0.310632	1203.0725	236	0.390632	1235.9492
189	0.312298	1203.9753	237	0.392298	1236.4337
190	0.313965	1204.8693	238	0.393965	1236.8913
191	0.315632	1205.6811	239	0.395632	1237.0924
192	0.317298	1206.6134	240	0.397298	1237.3948
193	0.318965	1207.4863	241	0.398965	1237.6709
194	0.320632	1208.356	242	0.400632	1237.9558
195	0.322298	1209.207	243	0.402298	1238.2421
196	0.323965	1210.0422	244	0.403965	1238.4286
197	0.325632	1210.8604	245	0.405632	1238.7212
198	0.327298	1211.6661	246	0.407298	1239.0344
199	0.328965	1212.4841	247	0.408965	1239.2404
200	0.330632	1213.2883	248	0.410632	1239.494
201	0.332298	1214.0261	249	0.412298	1239.7282
202	0.333965	1214.7916	250	0.413965	1239.9725
203	0.335632	1215.5335	251	0.415632	1240.208
204	0.337298	1216.2682	252	0.417298	1239.58
205	0.338965	1216.9927	253	0.418965	1239.2883
206	0.340632	1217.7026	254	0.420628	1239.3387
207	0.342298	1218.407	255	0.422298	1240.0395
208	0.343965	1219.0824	256	0.423965	1240.6116
209	0.345632	1219.7673	257	0.425632	1240.8272
210	0.347298	1220.4615	258	0.427298	1241.1392
211	0.348965	1221.154	259	0.428965	1241.4508
212	0.350632	1221.8479	260	0.430632	1241.7587
213	0.352298	1222.5317	261	0.432298	1242.0476
214	0.353965	1223.2125	262	0.433965	1242.3416
215	0.355632	1223.8969	263	0.435632	1242.6357
216	0.357298	1224.5597	264	0.437298	1242.9497
217	0.358965	1225.2174	265	0.438965	1243.2763
218	0.360632	1225.87	266	0.440632	1243.6044
219	0.362298	1226.4974	267	0.442298	1243.8993
220	0.363965	1227.1254	268	0.443965	1244.2228
221	0.365632	1227.7546	269	0.445632	1244.5367
222	0.367298	1228.3906	270	0.447298	1244.8524
223	0.368965	1229.0662	271	0.448965	1245.1849
224	0.370632	1229.5782	272	0.450632	1245.5045
225	0.372298	1230.2477	273	0.452298	1245.8497
226	0.373965	1230.8427	274	0.453965	1246.1899
227	0.375632	1231.3579	275	0.455632	1246.5336
228	0.377298	1232.0363	276	0.457298	1246.8749
229	0.378965	1232.5205	277	0.458965	1247.2059
230	0.380632	1233.0075	278	0.460632	1247.5304
231	0.382298	1233.5082	279	0.462298	1247.8717
232	0.383965	1234.0245	280	0.463965	1248.2151
233	0.385632	1234.4897	281	0.465632	1248.5717

282	0.467298	1248.9254	293	0.485632	1252.8184
283	0.468965	1249.2842	294	0.487298	1253.1844
284	0.470632	1249.6342	295	0.488965	1253.6053
285	0.472298	1249.9863	296	0.490632	1253.9252
286	0.473965	1250.3358	297	0.492298	1254.3425
287	0.475632	1250.6955	298	0.493965	1254.6649
288	0.477298	1251.0507	299	0.495632	1255.0328
289	0.478965	1251.4035	300	0.497298	1255.402
290	0.480632	1251.7505	301	0.498965	1255.7775
291	0.482298	1252.099	302	0.5	1256.0091
292	0.483965	1252.4585			



SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

PUNTO	DESPLAZAMIENTO	CORTANTE			
1	0	0	46	0.025875	685.6654
2	0.000575	28.1535	47	0.02645	688.7972
3	0.00115	56.3075	48	0.027025	691.928
4	0.001725	84.4612	49	0.0276	695.4365
5	0.0023	112.6149	50	0.028175	699.0425
6	0.002875	140.7663	51	0.02875	702.5087
7	0.00345	168.9145	52	0.029325	706.1439
8	0.004025	197.0561	53	0.0299	710.0999
9	0.0046	225.1952	54	0.030475	713.921
10	0.005175	253.1538	55	0.03105	717.3478
11	0.00575	280.7678	56	0.031625	721.1554
12	0.006325	307.8675	57	0.0322	724.6513
13	0.0069	333.7972	58	0.032775	728.0562
14	0.007475	359.0034	59	0.03335	731.6806
15	0.00805	382.563	60	0.033925	734.9781
16	0.008625	405.3807	61	0.0345	738.2792
17	0.0092	423.4293	62	0.035075	741.8789
18	0.009775	441.7289	63	0.03565	745.49
19	0.01035	459.2757	64	0.036225	749.2014
20	0.010925	475.6681	65	0.0368	752.621
21	0.0115	492.1414	66	0.037375	756.7669
22	0.012075	507.9836	67	0.03795	761.1903
23	0.01265	522.7328	68	0.038525	765.6676
24	0.013225	537.1769	69	0.0391	770.072
25	0.0138	550.3366	70	0.039675	774.4341
26	0.014375	561.8431	71	0.04025	778.8602
27	0.01495	571.5642	72	0.040825	783.176
28	0.015525	579.6955	73	0.0414	787.4634
29	0.0161	586.8317	74	0.041975	791.6672
30	0.016675	597.8557	75	0.04255	795.8485
31	0.01725	607.1664	76	0.043125	799.9794
32	0.017825	616.503	77	0.0437	804.0418
33	0.0184	625.2251	78	0.044275	808.014
34	0.018975	633.402	79	0.04485	811.7107
35	0.01955	640.6662	80	0.045425	815.1074
36	0.020125	646.2916	81	0.046	818.4445
37	0.0207	651.3519	82	0.046575	821.7016
38	0.021275	655.4627	83	0.04715	824.9568
39	0.02185	659.0417	84	0.047725	828.1108
40	0.022425	662.7898	85	0.0483	831.0379
41	0.023	666.7287	86	0.048875	834.0217
42	0.023575	670.7485	87	0.04945	836.7933
43	0.02415	674.4071	88	0.050025	839.5019
44	0.024725	678.3957	89	0.0506	842.0431
45	0.0253	682.1883	90	0.051175	844.4538
			91	0.05175	846.8452

92	0.052325	849.0379	140	0.079925	930.9833
93	0.0529	851.2629	141	0.0805	932.4172
94	0.053475	853.5327	142	0.081075	933.857
95	0.05405	855.7477	143	0.08165	935.2892
96	0.054625	857.9417	144	0.082225	936.6858
97	0.0552	860.1087	145	0.0828	938.11
98	0.055775	862.2084	146	0.083375	939.5084
99	0.05635	864.2654	147	0.08395	940.8942
100	0.056925	866.3369	148	0.084525	942.2169
101	0.0575	868.2945	149	0.0851	943.5458
102	0.058075	870.1941	150	0.085675	944.8673
103	0.05865	872.1603	151	0.08625	946.1781
104	0.059225	874.1372	152	0.086825	947.4259
105	0.0598	876.0441	153	0.0874	948.6551
106	0.060375	877.9706	154	0.087975	949.8412
107	0.06095	879.8051	155	0.08855	950.8993
108	0.061525	881.6243	156	0.089125	951.9298
109	0.0621	883.4258	157	0.0897	952.9669
110	0.062675	885.225	158	0.090275	953.9978
111	0.06325	887.0191	159	0.09085	955.1578
112	0.063825	888.7941	160	0.091425	956.0963
113	0.0644	890.4516	161	0.092	957.191
114	0.064975	892.1095	162	0.092575	954.3776
115	0.06555	893.7722	163	0.093149	958.4534
116	0.066125	895.4038	164	0.093725	956.0309
117	0.0667	896.9827	165	0.0943	957.1054
118	0.067275	898.4828	166	0.094875	958.0908
119	0.06785	899.9602	167	0.09545	959.0189
120	0.068425	901.4365	168	0.096025	959.8904
121	0.069	902.849	169	0.0966	960.793
122	0.069575	904.2087	170	0.097175	961.6594
123	0.07015	905.5907	171	0.09775	962.4845
124	0.070725	906.9719	172	0.098325	963.2744
125	0.0713	908.3629	173	0.0989	964.0306
126	0.071875	909.827	174	0.099475	964.8078
127	0.07245	911.3441	175	0.10005	965.5802
128	0.073025	912.8125	176	0.100625	966.3434
129	0.0736	914.3702	177	0.1012	967.0812
130	0.074175	915.9308	178	0.101775	967.8116
131	0.07475	917.4419	179	0.10235	968.4591
132	0.075325	918.9728	180	0.102925	967.927
133	0.0759	920.4854	181	0.1035	968.2212
134	0.076475	922.0126	182	0.104075	968.3126
135	0.07705	923.536	183	0.10465	970.1858
136	0.077625	925.0286	184	0.105225	971.5534
137	0.0782	926.5565	185	0.105799	972.7415
138	0.078775	928.0429	186	0.106374	968.1254
139	0.07935	929.5352	187	0.10695	959.5885

188	0.107525	960.7819	195	0.11155	959.9447
189	0.1081	961.5406	196	0.112125	960.0009
190	0.108675	961.8497	197	0.1127	959.2698
191	0.10925	961.7019	198	0.113275	958.2547
192	0.109825	960.9119	199	0.11385	957.3513
193	0.1104	960.4177	200	0.114425	956.1651
194	0.110975	959.7231	201	0.115	955.5628

